

ارزیابی شاخص های طیفی و استخراج عوارض ساخته شده و ساخته نشده شهری و مقایسه آن با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۷ و ۸ مطالعه موردی: شهر تهران

وحید عیسی زاده - دانشجوی کارشناسی ارشد، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشگاه تهران، تهران، ایران
ابوالفضل قنبری^۱ - دانشیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
خلیل ولیزاده کامران - دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۵

چکیده

حرارت سطح زمین یکی از شاخص های مهم در پژوهش مدل های تعادل انرژی در سطح زمین و فعل و انفعالات بین زمین و اتمسفر در مقیاس های منطقه ای و جهانی است. امروز تصاویر ماهواره ای در طول موج های مادون قرمز و قرمز حرارتی به دلیل پوشش وسیع، منبع اطلاعاتی مناسبی برای تهیه نقشه های حرارتی سطح آب و خشکی هستند. امروزه در شهرها پدیده جزایر حرارتی خسارات متعددی چه جانی و مالی به شهروندان تحمیل می کند و یکی از معضلات در شهرها به شمار می رود که برای بررسی و کنترل این پدیده می توان از تصاویر ماهواره ای مناسب استفاده کرد و بخش های آلوده شهر را شناسایی و مدیریت کرد، لذا هدف از این پژوهش، تهیه تغییرات صورت گرفته در ساخت و سازهای شهری و افزایش بی رویه ساختمان ها و رابطه آن ها با دمای سطح زمین با استفاده از داده های سنجنده های ETM, OLI ماهواره لندست در دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۰۲ برای شهر تهران است. در انجام این پژوهش از روش Gram_Schmidet که جهت تلفیق این تصاویر توسعه داده شده است، استفاده گردید و داده های دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۰۲ که همگی در فصل زمستان تصویربرداری شده اند، تهیه و مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. برای صحت سنجی روش و میزان دقت طبقه بندی نیز از شاخص های ضریب همبستگی، ضریب کاپا استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد؛ شاخص های VbSWIR_BI و IBI بالاترین دقت را نسبت به سایر شاخص ها دارند؛ در حالی که نتایج شاخص VbSWIR_BI تغییرات زمانی و مکانی شهر تهران را در یک نتیجه قابل قبول نشان می دهد؛ همچنین با توجه به نتایج به دست آمده از طریق دمای سطح زمین، با افزایش ساخت و سازها افزایش دمای شهر تهران به مناطق شمالی و مرکزی شهر نیز کشیده شده است.

واژگان کلیدی: کاربری اراضی، شاخص طیفی، دمای سطح زمین، جزایر حرارتی، تهران.

مقدمه

امروزه تغییرات گسترده شهرها به عنوان یک چالش اساسی در برنامه‌ریزی شهری مطرح است و بسیاری از کشورهای در حال توسعه به طور مستقیم و غیر مستقیم با آن مواجه‌اند. گزارش شده است که در سال ۲۰۱۴، ۴۰۰ هزار کیلومتر مربع از سطح زمین تحت پوشش مناطق ساخته شده قرار دارد (Jaeger et al, 2014: 294). این مقدار به سرعت در حال افزایش است و پیش‌بینی شده است تا سال ۲۰۳۰ به هفتصد تا یک میلیون و دویست هزار کیلومتر مربع افزایش یابد (Angel et al, 2005: 207). در ایران نیز تغییرات عمده در مناطق شهری به ویژه شهرهای بزرگ به عنوان یکی از مباحث مهم توسعه شهری مطرح است و به دلیل وقوع تغییرات اساسی طی دهه‌های گذشته اهمیت بیشتری یافته است (مجموعه مقالات، تهران، ۱۳۷۰). گفتنی است شهرنشینی و تکامل ساختارهای شهری، همچنین استفاده از زمین‌های شهری نتیجه توسعه اجتماعی و اقتصادی در شرایط خاصی است که بسیاری از مناطق شهری با آن مواجه هستند (Coison et al, 2014: 38)، همچنین طی دهه‌های گذشته، توسعه فیزیکی شهرها تهدید اصلی منابع طبیعی واکولوژیکی در سطح جهان و عامل تغییرات فراوانی از جمله تغییرات کاربری اراضی، افزایش انواع آلودگی و تغییرات آب و هوای مناطق شهری و غیر شهری بوده است. این دگرگونی‌های گسترده انسانی، پیامدهای ناخواسته و ناخوشایندی از قبیل افت کیفی زیست محیطی را در مقیاس گوناگون محلی، منطقه‌ای و جهانی به همراه دارد که در نتیجه به کاهش کیفیت زندگی منجر می‌شود (Gago et al, 2013: 750). تعامل بین توسعه اجتماعی، اقتصادی و محیط زیست شهری، مناطق ساخته شده شهری را گسترش داده (Angel et al, 2016: 24) و امروزه تغییرات بدون در نظر گرفتن برنامه توسعه شهری، به مشکلی عمده تبدیل شده است. تحلیل گسترش شهر این امکان را برای تصمیم‌گیران سیاست‌های شهری فراهم می‌کند که بتوانند ضمن ارزیابی سیاست‌های فعلی، گسترش آینده شهر و تغییرات کاربری اراضی را به سمت توسعه پایدار هدایت کنند. پایش تغییرات مناطق شهری با استفاده از فناوری سنجش از دور به دلیل برداشت دوره‌ای تصاویر و اخذ داده‌ها در مقیاس مورد نیاز مطالعات ناحیه‌ای، به طور گسترده توسط برنامه‌ریزان شهری در کاربردهای متفاوتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مهمترین کاربرد این تصاویر در مطالعات کاربری اراضی و پوشش زمین (Demir et al, 2013: 312) و همچنین پایش مخاطرات زیست محیطی (Brisco et al, 2013: 114) بوده است. استخراج عوارض شهری از تصاویر ماهواره‌ای از دو روش کلی طبقه‌بندی و استفاده از شاخص‌های طیفی صورت می‌گیرد (Bovolo et al, 2008: 2070). شاخص‌های طیفی که از ترکیب باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای محاسبه می‌شوند، سبب می‌شود تا با صحت بیشتری، عوارض از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شود. شاخص طیفی ترکیبی از چند باند طیفی است که اطلاعات در آن به صورت بهینه‌سازی شده و معنی‌دار نمایش داده می‌شود. با استفاده از شاخص‌های طیفی، تصاویری تولید می‌شود که میزان اطلاعات بیشتری نسبت به باندهای عادی سنجنده دارند. استفاده از شاخص‌های طیفی مزیت‌های فراوانی دارد، نظیر: بازسازی یک یا چند پدیده، تولید اطلاعات جدید، ساده‌سازی فرآیند تفسیر و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، افزایش صحت طبقه‌بندی در تولید نقشه‌های موضوعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. شاخص‌های طیفی انواع متفاوتی دارند و به عنوان یک محصول میانی و یا محصول نهایی قابل استفاده هستند (XUH, 2008: 29). شاخص‌های طیفی به طور گسترده‌ای در بررسی تغییرات پوشش گیاهی (Kaliraj et al, 2012: 269) بررسی گسترش مناطق شهری (Bagan et al, 2012: 222) و مدیریت تولید گیاهان زراعی (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۷۰)، بررسی خشکسالی کشاورزی (بنفشه و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۳). بررسی تغییرات مکانی-زمانی الگوی حرارتی زمین (زرین و علوی پناه، ۱۳۹۵) و همچنین هیدرولوژی (Dronova et al, 2011: 3236) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال، از ویژگی‌های بازتابی گیاهان برای محاسبه شاخص‌های مختلف

گیاهی استفاده می‌شود. یکی از پرکاربردترین شاخص‌های گیاهی، شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) است. این شاخص در بررسی تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی کاربرد گسترده‌ای دارد. گفتنی است شاخص‌های UI (شاخص شهری) و NDBI از طیف الکترومغناطیس مادون قرمز میانی^۱ و باند مادون قرمز نزدیک^۲ استفاده می‌کنند. شاخص IBI نیز از ترکیب طیف‌های الکترومغناطیس مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی و مرئی^۳ استفاده می‌کند. از ترکیب طیف‌های الکترومغناطیس مادون قرمز حرارتی^۴، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی و باندهای مرئی، شاخص NDISI به دست می‌آید. دو شاخص VrNIR-BI (شاخص‌های مناطق ساخته شده قابل مشاهده) و VgNIR-BI^۵ (شاخص مناطق ساخته شده قابل مشاهده) بر طیف مرئی (باندهای قرمز، سبز) و مادون قرمز نزدیک و در نهایت شاخص VbsWIR1-BI^۶ (شاخص مناطق ساخته شده قابل مشاهده) بر باند مرئی آبی و باند اول مادون قرمز موج کوتاه مبتنی است. همانند شاخص پوشش گیاهی (Rouse et al., 1973: 317) و دمای سطح زمین (Weng et al., 2004)، شاخص‌های طیفی اراضی ساخته شده به عنوان شاخص و پارامتری در تحقیقات زیست محیطی در شهر شهر استفاده می‌شوند (Polydoros & Cartalis, 2015: 99). در این راستا پژوهش‌های مختلفی توسط پژوهشگران صورت گرفته است. (Matushita et al, 2007: 2651) با استفاده از شاخص NDVI به بررسی پارامترهای زیست - فیزیکی از قبیل زیست توده گیاهی، محتوای آب و ارتفاع گیاه پرداختند. با استفاده از شاخص طیفی می‌توان پوشش گیاهی موجود در منطقه را از سایر پوشش‌های زمین جدا ساخت و یا میزان سلامت و تنش گیاه را آشکار کرد (Bouzekri et al, 2015:867). در پژوهش دیگری از شاخص استخراج مناطق ساخته شده (BAEI) برای تشخیص مناطق ساخته شده در یکی از شهرهای الجزایر استفاده گردید که نتایج نشان داد که این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر مورد استفاده دارای صحت بالاتری بود. پژوهش‌های شهری نیز استفاده از شاخص‌های طیفی به منظور شناسایی فضای سبز شهری و یا شناسایی محدوده شهر و جداسازی آن از سایر مناطق همواره مورد توجه بوده است. در زمان استفاده از شاخص‌های طیفی ضروری است تا برای تفکیک مناطق متفاوت، حد آستانه تعریف شود (پیر نظر و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۲۷) در پژوهشی به بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده لندست ۸ برای شهر تهران پرداختند نتایج آن‌ها نشان داد که فضای سبز پس از کلاس آب خنک ترین کلاس بوده و می‌تواند نقش مهمی در تعدیل دمای سطح زمین و اطراف خود ایفا نماید. (علیرضا و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۴۴) در پژوهشی به ارزیابی تغییرات دمایی کاربری اراضی شهر زنجان در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ با استفاده از مقایسه الگوریتم‌های برآورد دمایی سطح زمین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که الگوریتم تک کانال در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ دارای کمترین RMSE و MAPE و بیشترین دقت می‌باشد (Zhang et al, 2009: 264). با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص تفاوت نرمال شده مناطق ساخته شده (NDBI) که این شاخص از باند های مادون قرمز نزدیک و باند مادون قرمز کوتاه استفاده می‌کند و شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی، مناطق ساخته شده و پوشش گیاهی را استخراج و سپس رابطه آن‌ها را با درصد سطوح نفوذناپذیر و دمای سطح زمین نشان دادند. نتایج نیز بیانگر همبستگی مثبت و قوی بین NDBI و درصد سطوح نفوذناپذیر و دمای سطح زمین

- 1 .Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- 2 .Urban Index
- 3 .Near-Infrared Channel
- 4 .Mid-Infrared Channels
- 5 .Visible Channels
- 6 .Thermal infrared
- 7 .Visible Red/Green-Based Built-up Index
- 8 .Visible Nir/Green-Based Built-up Index
- 9 .Visible Blue Based Built-up Index

است. (عیسی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۵) در پژوهشی به بررسی پایش دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸ و الگوریتم‌های تک کاناله و پنجر مجزا برای شهرستان دزفول پرداختند. نتایج نشان داد که روش پنجره مجزا مقدار بسیار بالاتری را نسبت به روش پلانک که مقدار بسیار پایینی را نشان می‌دهد دارد. در مجموع باید بیان کرد که روش‌های محاسبه LST از طریق تصاویر ماهواره‌ای با دمای به دست آمده از ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک شهرستان دزفول تفاوت بسیار داشته و دقت بالایی ارائه نمی‌دهد. (Gao et al, 2009: 236) برای استخراج سطوح نفوذ ناپذیر در شهر فوج چین و تأثیرات آن بر روی جزایر حرارتی از شاخص نرمال سطح نفوذناپذیر (NDISI)، این شاخص از باندهای طیفی در محدوده مادون قرمز حرارتی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز کوتاه و باند مرئی استفاده می‌کند. در پژوهش یاد شده طبقه بندی مناطق ساخته شده با شاخص NDISI با روش‌های آنالیز اختلاط طیفی^۲ مقایسه و نتایج بیانگر دقت کلی بالاتر شاخص NDISI بوده است. (عطاری و همکاران، ۱۳۹۹: ۴۳) در پژوهشی به مقایسه عملکرد شاخص‌های طیفی با طبقه بندی شیء‌گرا در استخراج مناطق ساخته شده در مناطق شهری تهران و گرگان پرداختند. نتایج نشان داد که بهترین شاخص طیفی مناطق ساخته شده برای شهر تهران، شاخص استخراج مناطق ساخته شده با صحت کلی ۸۲ درصد و برای شهر گرگان، شاخص نرمال مناطق ساخته شده با صحت کلی ۸۶ درصد به دست آمد. (Polydoros et al, 2015: 99). با استفاده از شاخص‌های NDBI، NDVI و شاخص‌های مبتنی بر سایر شاخص‌های مناطق ساخته شده (IBI) که این شاخص از سه شاخص SAVI، MNDWI، NDBI استفاده می‌کند و مناطق ساخته شده را در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که این شاخص‌ها توانایی زیادی در شناسایی تغییرات داشته‌اند. برخی از محققان به منظور استخراج مناطق ساخته شده تنها از ترکیب باندهای مرئی با باندهای مادون قرمز نزدیک استفاده کرده‌اند که از آن نمونه می‌توان به (Masek et al, 2000: 3486) اشاره کرد. شهر تهران به دلیل رشد سریع جمعیت، گسترش فیزیکی بی‌رویه‌ایی را در چند دهه اخیر تجربه کرده است. جایگزین شدن ساختمان‌ها، عوارض شهری مانند سنگ فرش و سایر ساخت و سازهای شهری به جای پوشش طبیعی، آثار محیطی از بین رفتن منابع طبیعی، کاهش فضاهای باز، آلودگی هوا، نابودی زمین‌های کشاورزی و افزایش دمای سطح زمین است. با توجه به تحولات جمعیتی، تقاطع برای مسکن و زیر ساخت‌های شهری رو به افزایش است و فضاهای سبز به مناطق ساخته شده تبدیل می‌شوند و این گسترش و توسعه شهری آسیب‌های اجتماعی، اقتصادی و نتایج نامطلوب زیست محیطی مانند تغییرات اراضی جنگلی و زمین‌های کشاورزی آلودگی هوا، آب و خاک در فضای شهری به بار آورده است از این رو یافتن شاخص‌ها یا طبقه‌بندی کننده مناسب که بتواند مناطق ساخته شده را با دقت استخراج نماید و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روند تغییرات را شناسایی کند کمک شایانی به مدیران در قسمت‌های مختلف می‌نماید. هدف از این پژوهش، کارایی شاخص‌های طیفی و استخراج اراضی ساخته شده (Built up) و ساخته نشده (Non Built up) از طریق محاسبه شاخص‌های (IBI, NDBI, UI, Vbs WIR1-B1, Vg NIR -BI, VR NIR, BI) بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ شهر تهران است؛ همچنین، این پژوهش به بررسی کارایی شاخص‌های متفاوت طیفی و دمایی سطح زمین در مناطق ساخته شده و ساخته نشده تهران با توجه به بافت شهر و وجود سایر کاربری‌ها پرداخته و عملکرد شاخص‌ها در بافت‌های مختلف شهری را با توجه به انواع کاربری‌ها، مورد بررسی قرار داده است و این دو مناطق را با هم از نظر دمای سطح زمین مورد مقایسه تطبیقی قرار داده است.

1. Normalized Difference Impervious Surface Index (NDISI)

2. Spectral Mixture Analysis

3. Index-based Built-up Index (IBI)

مبانی نظری

در گذشته توسعه شهری در سیر تکامل خود دارای روند نسبتاً متعادلی بود (حسینی و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۸)، اما تحولات فرهنگی اجتماعی و اقتصادی قرن ۱۹ و ۲۰ متأثر از مدرنیسم، گسترش سریع شهرها و پیدایش کلان شهرها را موجب شده و تغییرات بنیادی را در سازمان فضایی و کالبدی آن‌ها به وجود آورده است (زیاری، ۱۳۸۲: ۱۵۱). استقرار و توسعه فیزیکی شهرها در وهله اول، تاریخ شرایط محیطی و جغرافیایی آن‌هاست. فضاهای مجاور شهری در ارتباط با عوامل گوناگون محیط طبیعی، از جمله شکل ناهمواری‌ها و همجواری آن‌ها با عوارض طبیعی مانند کوه، دشت، رودخانه و شرایط اقلیمی حاکم بر آن‌ها در چگونگی توسعه شهرها نقش تعیین کننده‌ای دارند، به طوری که شهرها به تبعیت از این شرایط شکل می‌گیرند. این شرایط در تعیین نقش اندازه شهرها و روستاها سهم عمده‌ای دارند و مناسب بودن محیط‌های جغرافیایی به صورت ناحیه‌ای، تأثیر بسزایی در روند شکل‌گیری و توسعه آن‌ها خواهد داشت (Bullard, 2003: 22)، عواملی مانند موقعیت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، شکل ناهمواری، آب و هوا، خاک و پوشش گیاهی و شبکه آب‌ها، هریک به گونه‌ای در پیدایش و شکل‌گیری، وسعت و گسترش مراکز شهری و تعیین نقش آن‌ها مؤثرند و هر کدام به صورت مجزا یا مشترک در ارتباط با عملکرد نسبی آن‌ها در شرایط حاکم بر جغرافیای منطقه، سیمای کنونی شهرهای ایران را متأثر می‌سازند. عرض جغرافیایی که بیانگر موقعیت خصوصی یک شهر است در چگونگی توزیع شهرهای نقش داشته است. به موازات افزایش عرض‌های جغرافیایی و دور شدن از نواحی گرم و خشک ایران و نزدیک شدن به نواحی معتدل و عرض‌های میانه، با کاهش درجه حرارت و افزایش میزان ریزش‌های جوی بر تعداد ساکنان شهرها افزوده می‌شود، لذا با افزایش عرض جغرافیایی، میل به اسکان به صورت شکل‌های شهری زیاد می‌شود (Bullard, 2003: 22). این پدیده نشان می‌دهد که وجود آب کافی و اعتدال هوا در عرض‌های جغرافیایی بالای ایران، موجب جذب جمعیت بیشتری نسبت به دیگر نواحی شده است و برقراری امکانات طبیعی و انسانی اقتصادی در یک مکان آن‌ها را برای استقرار مراکز شهری آماده کرده است (رضوانی، ۱۳۷۴: ۱۱۷). یکی عامل توسعه شهری، سیاست دولت‌ها از جنبه‌های مختلف از جمله توسعه شهرهای اداری، سیاسی، حومه‌نشینی، فرسودگی شهر مرکزی و کنترل فرم توسعه شهرها و استفاده بهینه از زمین‌های شهری است. در اثر رشد فزاینده شهرها، گسترش فیزیکی شهر به مناطق پیرامون و همچنین افزایش تراکم و انباشتگی در درون شهرها اجتناب ناپذیر خواهد بود (پناهی و همکاران، ۱۳۸۸: ۲). یکی از موضوعات حیاتی قرن بیست و یکم صاحب نظران شهری، در ارتباط با پایداری شهر و فرم شهر (فشرده‌گی یا پراکنش) است (رهنما و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۰۱)؛ به همین دلیل توجه به فرم فضایی شهر، ضرورتی اساسی در برنامه‌های توسعه شهری است (حسین‌زاده دلیر و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۱۳). سنجش از دور در چند دهه اخیر به طور فزاینده‌ای در پژوهش‌های شهری مورد استفاده قرار گرفته است، زیرا می‌توان از آن در بررسی گسترده و الگوی مناطق ساخته شده، چشم انداز و برنامه‌ریزی توسعه شهری، ارزیابی ریسک و مدیریت بحران شهری و مدیریت منابع، اطلاعات کسب کرد. تصاویر ماهواره‌ای به دلیل برداشت دوره‌ای تصاویر، امکان پردازش رقومی، اخذ داده‌ها در منطقه وسیع و با هزینه نسبتاً کم در مقیاس مورد نیاز مطالعات ناحیه‌ای، به طور گسترده توسط برنامه‌ریزان شهری در کاربردهای متفاوتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Xu, 2008: 4269). یکی از پردازش‌های پرکاربرد تصاویر سنجش از دور، محاسبه شاخص طیفی است که حاصل یک محاسبه ریاضی بین دو یا چند باند طیفی است، که به واسطه آن اهداف زمینی خاص بهتر شناسایی و بارز می‌شوند. در تصاویر به دست آمده از شاخص‌های طیفی اطلاعات جدیدی تولید می‌شود که در تصاویر اصلی وجود ندارد. تصویر شاخص طیفی ترکیبی از چند تصویر است که اطلاعات در آن به صورت بهینه سازی شده نمایش داده می‌شود. مقادیر شاخص‌های طیفی در محدوده خاص و قابل تفسیر قرار دارد و اعداد منتسب به هر پدیده، معنی‌دار است. عموماً شاخص‌های طیفی در مطالعات گیاه، خاک، آب و سکونتگاه‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند (Singh, 1989:)

1003). به عنوان مثال با استفاده از یک شاخص طیفی می‌توان پوشش گیاهی موجود در منطقه را از سایر پوشش‌ها جدا و متمایز ساخت. شاخص طیفی همچنین می‌تواند میزان سلامت و تنش گیاه را آشکار کند و تغییرات آن به طور معناداری به تغییر وضعیت سلامت گیاه وابسته است. از کاربردهای شاخص‌های طیفی می‌توان به شناسایی پدیده، شناسایی تغییرات درون پدیده‌ها که ممکن است به صورت ظاهری نشانه‌هایی از آن‌ها دیده نشود، کاهش اثر توپوگرافی و سایه، افزایش صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای اشاره نمود (Singh, 1989: 1003). تمام شاخص‌های طیفی از جمله شاخص‌های پوشش گیاهی و شاخص‌های خاک براساس داده‌های تجربی و با رویکرد تجربی و براساس ویژگی‌های جذب و بازتاب پدیده‌ها در طول موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیس تعریف شده‌اند (Xu, 2007:1381). امروزه به منظور تشخیص سریع مناطق ساخته شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های طیفی مختلفی ارائه شده است که عبارتند از: شاخص شهری، شاخص تفاوت نرمال شده مناطق ساخته شده، شاخص‌های مبتنی بر سایر شاخص‌های مناطق ساخته شده، شاخص نرمال سطح نفوذ ناپذیر و همچنین دو شاخص مبتنی بر باندهای مرئی سبز و قرمز برای مناطق ساخته شده (Wing, 2012: 475). گفتنی است که شاخص‌های UI و NDBI از باندهای طیفی در محدوده مادون قرمز کوتاه^۱ (SWIR) و باند مادون قرمز نزدیک^۲ (NIR) استفاده می‌کند. از ترکیب باندهای طیفی مادون قرمز حرارتی^۳ (TIR)، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز کوتاه و باند مرئی، شاخص NDISI به دست می‌آید. شاخص‌های طیفی مناطق ساخته شده به عنوان شاخص و پارامتری در تحقیقات شهری استفاده می‌شوند (Polydor's & Curtails, 2015: 99). در این پژوهش، کارایی شاخص‌های طیفی و استخراج اراضی ساخته شده (Built up) و ساخته نشده (Non - Built up) از طریق محاسبه شاخص‌های (IBI, NDBI, UI, Vbs WIR1-B1, Vg NIR -BI, VR NIR- BI) بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ سنجنده ETM+ در سال ۲۰۰۲ و تصاویر ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS در سال ۲۰۱۹ و ارتباط آن با دمای سطح زمین در شهر تهران است. در حالی که چنین پژوهشی برای کلان شهر تهران که در منطقه نیمه خشک قرار گرفته است و اراضی بایر و با پوشش گیاهی خشک سبب خطا در طبقه‌بندی اراضی ساخته شده، انجام نگرفته است. لازم به ذکر است، تغییرات زمانی و مکانی شهر تهران از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ در این پژوهش بررسی شده است.

روش پژوهش

در این پژوهش از تصاویر مربوط به ماهواره لندست ۷ سنجنده ETM+ و ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS استفاده شده است. تصاویر در مسیر ۱۶۴ و در ردیف ۳۵ از سیستم مرجع جهانی (WRS) قرار دارد. تصویر لندست ۷ سنجنده ETM+ در ۸ ژوئن ۲۰۰۲ به دست آمده و شامل هشت باند است. در حالی که تصویر لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS در ۱۱ ژوئن ۲۰۱۹ به دست آمده و شامل یازده باند است (<http://landsat.usgs.gov>). محصولات لندست ۷ با اعداد دیجیتال ۸ بیتی و تصاویر لندست ۸ با اعداد دیجیتال ۱۶ بیتی ذخیره شده اند (Landsat 7 Science Data Users Hand book)، مشخصات دو تصویر به همراه زمان برداشت تصویر در جدول (۱) نشان داده شده است.

1 .Short-wavelength Infrared (SWIR)

2 .Near-Infrared (NIR)

3 .Thermal Infrared (TIR)

جدول شماره ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸

تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸				تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷			
باند	طول موج	سنجنده	قدرت تفکیک (متر)	باند	طول موج	سنجنده	قدرت تفکیک (متر)
Band1_Costal aerosol	۰/۴۳ - ۰/۴۵	OLI	۳۰	Band1_Blue	۰/۴۵ - ۰/۵۲	+ETM	۳۰
Band2_Blue	۰/۴۵ - ۰/۵۱	OLI	۳۰	Band2_Green	۰/۵۲ - ۰/۶۰	+ETM	۳۰
Band3_Green	۰/۵۳ - ۰/۵۹	OLI	۳۰	Band3_Red	۰/۶۳ - ۰/۶۹	+ETM	۳۰
Band4_Red	۰/۶۴ - ۰/۶۷	OLI	۳۰	Band4_Near infrared	۰/۷۵ - ۰/۹۰	+ETM	۳۰
Band5_Near infrared	۰/۸۵ - ۸۸/۰	OLI	۳۰	Band5_infrared	۱/۵۵ - ۱/۷۵	+ETM	۳۰
Band6_SWIR1	۱/۵۷ - ۱/۶۵	OLI	۳۰	Band6_Thermal infrared	۱۰/۴ - ۱۲/۵۰	+ETM	۶۰
Band7_SWIR2	۲/۱۱ - ۲/۲۹	OLI	۳۰	Band7_Near infrared	۲/۰۸ - ۲/۲۵	+ETM	۳۰
Band8_Panchromatic	۰/۵۰ - ۰/۶۸	OLI	۱۵	Band8_Green-Near infrared	۰/۵۲ - ۰/۹۰	+ETM	۱۵
Band9_Cirrus	۱/۳۶ - ۱/۳۸	OLI	۳۰	.....	.....	.....	.....
Band10_Thermal Infrared	۱۰/۶۰ - ۱۱/۱۹	(TIRS) 1	۱۰۰	.....	.....	.....	.....
Band11_Thermal Infrared	۱۱/۵۰ - ۱۲/۵۱	(TIRS) 1	۱۰۰	.....	.....	.....	.....
زمان برداشت تصویر: ۲۰۱۹				زمان برداشت تصویر: ۲۰۰۲			

پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸

در این پژوهش بعد از این که داده‌های خام مورد نیاز از سایت^۱ USGS دریافت شد و سپس پیش پردازش‌های از نوع تصحیحات هندسی، رادیومتریکی و اتمسفری بر روی تصاویر لندست ۷ سنجنده +ETM و تصاویر لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS صورت گرفت. مقدار خام پیکسل‌ها که به عنوان شماره^۲ دیجیتال شناخته می‌شود در باندهای چندطیفی^۳ و باندهای حرارتی به رادیانس طیفی بالای اتمسفر^۴ و برای باندهای حرارتی به دمایی روشنایی^۵ تبدیل شده است. می‌توان گفت که رادیانس طیفی بالای اتمسفر از باندهای چندطیفی و حرارتی تصاویر لندست ۷ سنجنده +ETM و لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS را می‌توان با استفاده از معادلات ۱ و ۲ مورد محاسبه قرار داد. در این پژوهش، با استفاده از الگوریتم Radiometric Calibration موجود در نرم افزار ENVI 5.3، رادیانس طیفی بالای اتمسفر مورد محاسبه قرار گرفته و سپس خروجی Radiometric Calibration به عنوان ورودی الگوریتم FLAASH مورد استفاده قرار گرفت و تصحیح اتمسفری اعمال شد و سپس با الگوریتم FLAASH نتایج بین بازه ۰-۱ قرار داده شده است (ENVI, 2009: 37) و در عدد ۴۰۰ برای تصاویر ۸ بیتی (۰-۲۵۵) ضرب شد (Xu, 2010: 559).

$$L\lambda \text{ (Landsat - 7)} = \text{Grescale} * \text{Qcal} + \text{Brescale} \quad (1)$$

$L\lambda$ تابش طیفی دریافت شده از سوی سنجنده برحسب $(W/m^2 * Sr * \mu m)$ ، Grescale و Brescale به ترتیب Gain و Offset سنجنده بر حسب $(W/m^2 * Sr * \mu m)$ ، ارزش پیکسل واسنجی شده کوانتیزه شده است. مقادیر فوق را می‌توان از متادیتای تصویر به دست آورد (Landsat 7 Science Data Users Handbook).

$$L\lambda \text{ (Landsat - 7)} = ML * \text{Qcal} + AL \quad (2)$$

1. United States Geological Survey
2. Digital Number
3. Multispectral Bands
4. Top of Atmosphere
5. Brightness Temperature
6. Quantized Calibrated Pixel Value

ML و AL به ترتیب رادیانس MULT و رادیانس ADD که از متادیتای تصاویر به دست می‌آید و Qcal ارزش پیکسل واسنجی شده کوانتیزه شده است (USGS, 2013a). برای محاسبه دمای روشنایی از باندهای حرارتی ماهواره لندست ۷ سنجنده ETM+ (باند ۶) و باند حرارتی ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI/TIR (باند ۱۰) مورد استفاده قرار گرفت. زمانی که محاسبه رادیانس طیفی انجام شد. باندهای حرارتی با استفاده از الگوریتم Thermal Atmospheric Correction مورد تصحیح اتمسفری قرار گرفتند و دمای روشنایی را برای لندست ۷ و ۸ با معادله ۳ مورد محاسبه قرار گرفته است.

$$TB = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

TB دمای روشنایی سنجنده برحسب کلون و K2 و K1 ضرایب ثابت کالیبراسیون دمای روشنایی سنجنده هستند که به ترتیب بر حسب کلون و $(W/m^2 * Sr * \mu m)$ ، متادیتای تصاویر موجود است (USGS, 2006 & Chander et al, 2009: 901) در جدول (۲) ضرایب کالیبراسیون دمای روشنایی برای ماهواره لندست ۷ باند ۶ و ماهواره لندست ۸ باند ۱۰ نشان داده شده است (Chander et al, 2009: 901).

جدول شماره ۲. ضرایب ثابت کالیبراسیون دمای روشنایی

ضریب	K1	K2
واحد	$(W/m^2 * Sr * \mu m)$	Kelvin
لندست ۷ باند ۶	۶۶۶/۰۹	۱۲۸۲/۷۱
لندست ۸ باند ۱۰	۷۷۴/۸۸۵۳	۱۳۳۱/۰۷۸۷

کاومورا برای تولید اطلاعات به روز مناطق شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شاخص UI (معادله ۱) را معرفی کرد (Kawamura et al, 1996: 321). شاخص UI از باند مادون قرمز نزدیک و باند دوم مادون قرمز موج کوتاه (SWIR2) استفاده می‌کند. باید توجه داشت که این شاخص بر اساس رابطه معکوس بین روشنایی مناطق شهری در باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه، طراحی شده است (Kawamura et al, 1996: 322). در اوایل سال ۲۰۰۰ شاخص NDBI (Zha et al, 2003: 590)، این شاخص از واکنش طیفی انحصاری مناطق ساخته شده و سایر کاربری‌ها استفاده کرد. همانند UI شاخص NDBI از تفاوت واکنش‌های طیفی مناطق ساخته شده با سایر کاربری‌ها در بخش‌های مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه استفاده می‌کند. با این تفاوت که در شاخص NDBI از باند اول مادون قرمز موج کوتاه (SWIR1) استفاده می‌شود. در این پژوهش برای بررسی تغییرات کاربری اراضی از شاخص‌های ذکر شده در جدول (۳) استفاده گردیده است.

جدول شماره ۳. نحوه محاسبه شاخص‌های طیفی

شاخص‌ها	الگوریتم
UI	$(SWIR2-NIR)/(SWIR2+NIR)$
NDBI	$(SWIR1-NIR)/(SWIR1+NIR)$
IBI	$((2 SWIR1/(SWIR1+NIR)-[NIR/(NIR+Red)+Green/(Green+SWIR1)]))/((2 SWIR1/(SWIR1+NIR)+[NIR/(NIR+Red)+Green/(Green+SWIR1)]))$
NDISI	$(TIR1-((Green+NIR+SWIR1)/3))/(TIR1+((Green+NIR+SWIR1)/3))$
NIR-BI Vg	$((Green-NIR))/((Green+NIR))$
NIR-BI Vr	$((Red-NIR))/((Red+NIR))$
SWIR1-BI Vb	$((SWIR1-bLUE))/((SWIR1-BLUE))$

1. Sensor Brightness Temperature
2. Kawamura

نحوه محاسبه شاخص‌های طیفی

در این پژوهش به منظور بازیابی دمای سطح از روش پنجره واحد استفاده شده است. در این روش سه پارامتر قابلیت عبور دهندگی، میانگین دمای موثر جو و گسیلمندی سطحی مورد نیاز است. برای محاسبه پارامتر دوم و سوم (میانگین دمای مؤثر جو و گسیلمندی سطحی) نیازمند دو پارامتر هواشناسی دمای هوا نزدیک به سطح زمین و مقدار بخار آب جو هستیم که می‌بایست همزمان با عبور ماهواره از منطقه مورد نیاز از هدر فایل موجود در داده‌های تصاویر ماهواره‌های لندست و استر تهیه شده است. در زیر روش پنجره واحد به منظور بازیابی دمای سطح زمین به تفصیل بیان شده است.

متوسط دمای جو

به منظور محاسبه متوسط دمای جو از معادلات رابطه‌ای خطی در جدول (۲) استفاده شده است. براساس اطلاعات موجود در این جدول و موقعیت منطقه مورد مطالعه از معادله ۴ برای محاسبه متوسط دمای جو در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول شماره ۴. معادلات محاسبه دمای جوی (Ta) در مناطق مختلف

معادله رابطه خطی	اتمسفر
$17,9769 + 0,91715 * T.$	مناطق گرمسیری
$16,0110 + 0,92621 * T.$	عرض جغرافیایی میانه (تابستان)
$19,3704 + 0,91118 * T.$	عرض جغرافیایی میانه (زمستان)

$$Ta = 16.0110 + 0.92621 * T \quad (4)$$

Ta: میانگین دمای اتمسفری

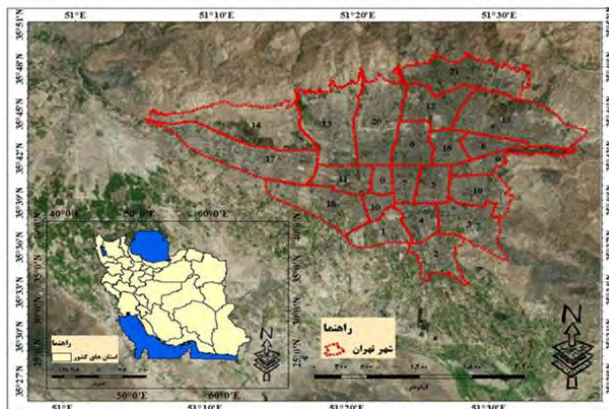
T: دمای هوای نزدیک به سطح زمین بر حسب کلوین

تلفیق و بهبود بصری تصویر

پژوهش‌های متعدد نشان داده است اهمیت بهبود وضوح تصاویر در طبقه بندی اتوماتیک و نیمه اتوماتیک و ویژگی‌های استخراج روش (GS) یکی از تکنیک‌های ترکیب تصاویری که قادر به حفظ ویژگی‌های یک تصویر چندبندی هستند برای بالابردن قدرت تفکیک مکانی آن تصویر پس از ترکیب کردن با داده‌های پانکروماتیک با وضوح بالا این روش از تکنیک‌های فیوژن در سطح پیکسل و براساس تصویر است. مقیاس هیستوگرام رایج ترین روش برای افزایش سطح خاکستری است. فرض اساسی این روش این است که در تصویر خروجی هیستوگرام، تعداد پیکسل‌ها در تمام سایه خاکستری باید برابر باشد (Du et al, 2014: 672).

محدوده مورد مطالعه

شهر تهران در ۵۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۶۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۸۳ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. شهر تهران در فلات مرکزی، در دامنه جنوبی کوه‌های البرز با جهت شیب کلی از شمال به جنوب و در دشتی نسبتاً هموار واقع شده است و مساحتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع و جمعیتی معادل هشت میلیون و هفتصد هزار نفر دارد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). شهر تهران دارای اقلیمی نیمه خشک است و بیشتر از ارتفاعات البرز مرکزی تأثیر پذیرفته است. متوسط بارندگی این منطقه نیز ۳۳۳ میلی متر در سال است (حجاری زاده و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۵) موقعیت کشوری و استانی شهر تهران در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل شماره ۱. موقعیت کشوری و استانی منطقه مورد مطالعه

بحث و یافته‌ها

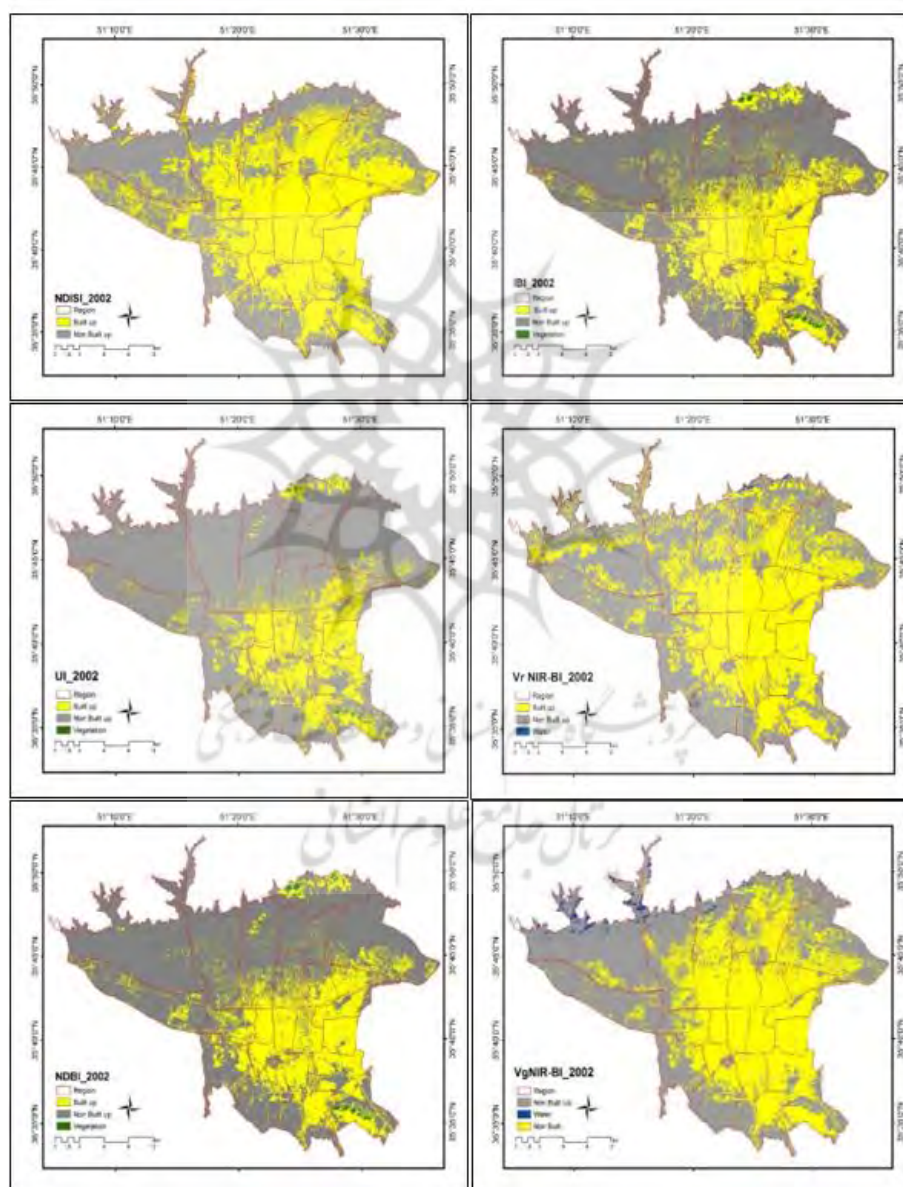
در این پژوهش، دقت کمی با استفاده از داده‌های نمونه برداری تصویری به عنوان نقاط مرجع استفاده گردیده است. نتایج ارزیابی دقت در جدول (۵) ارائه شده که برای بهترین شاخص جهت طبقه‌بندی شاخص UI بهترین نتایج را با میزان دقت ۷۹/۹۷٪ نشان می‌دهد که به عنوان بهترین روش برای استخراج پدیده‌های ساخت و ساز است. براساس نتایج ترکیب داده‌ها با استفاده از روش (GC) با تصاویر اصلی شاخص $VG\ WIR1 - BI$ بالاترین دقت و اعتبارسنجی را به میزان ۷۱/۶۹٪ نسبت به دیگر شاخص‌ها در نظر گرفته شده است و شاخص $VbSWIR1 - BI$ با ۶۱٪/۱۳ پایین ترین میزان دقت سنجی را دارد. با توجه به میزان ضریب کاپا و دقت و ارزیابی در تصاویر خروجی بعد از ترکیب داده‌ها با استفاده از روش (GC) نقشه‌های خروجی نشان می‌دهد که درصد افزایش ساخت و سازها با استفاده از شاخص‌های بیان شده بیش ترین درصد روند توسعه شهری مربوط به شاخص UI_{2019} است در حالی که همین شاخص برای سال ۲۰۰۲ میزان ۴۵/۳۲٪ را نشان می‌دهد و کمترین میزان روند توسعه ساخت و سازها نیز با استفاده از شاخص UI_{2019} $VbSWIR1 - BI$ است که ۱۶/۹۸٪ را نشان داده، سال ۲۰۰۲ می‌باشد. اشکال کاربری و اراضی شهر تهران با استفاده از لندست ۷ و ۸ در اشکال (۲ و ۳) نشان داده شده است و نتایج تغییرات صورت گرفته در ساخت و سازهای شهری با استفاده از شاخص‌های طیفی در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول شماره ۵. ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی شاخص‌های طیفی

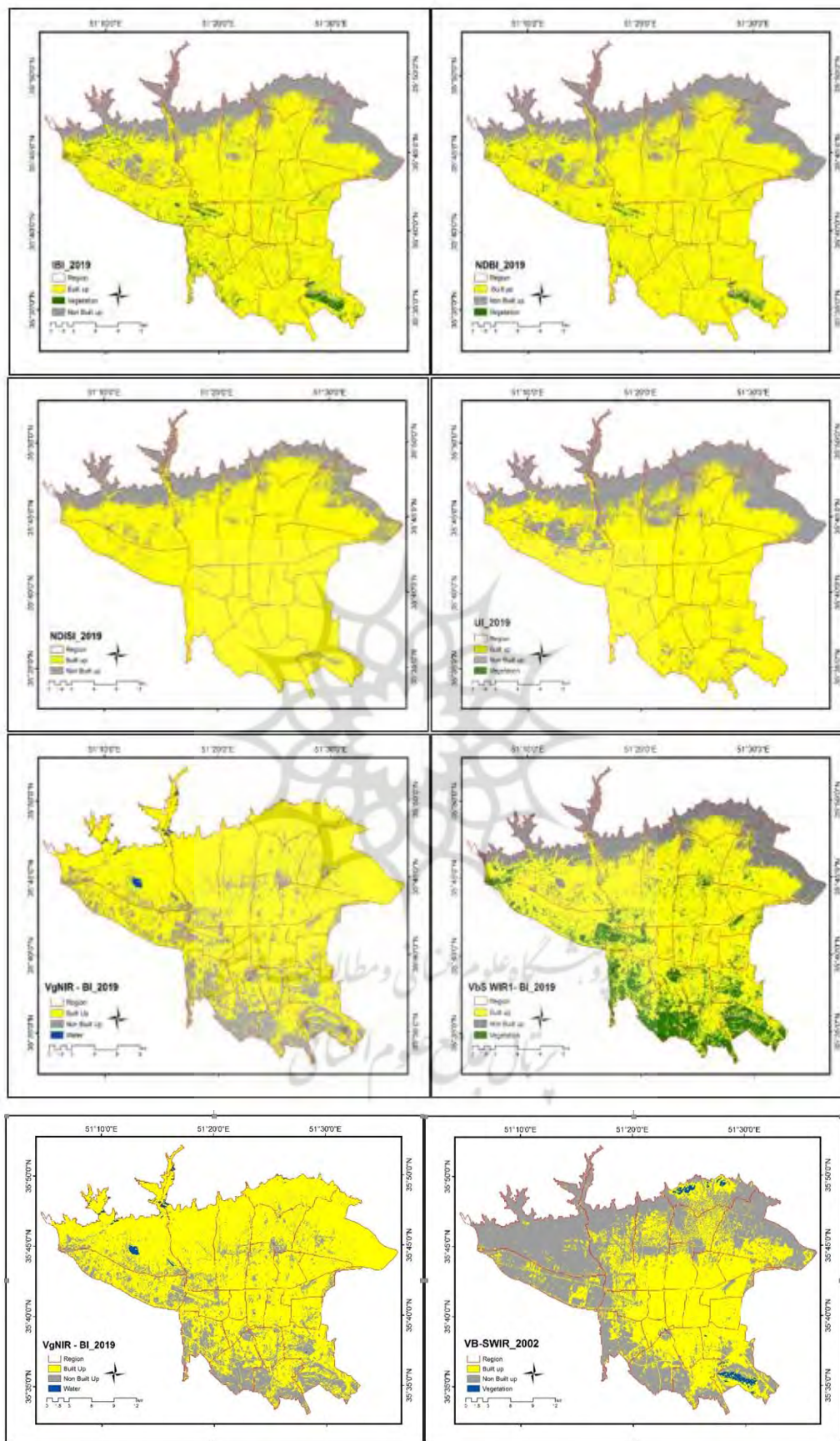
	IBI	NDBI	NDISI	UI	VbSWIR1-BI	VG WIR1- BI	VR WIR1-BI
After fusion and enhancement							
Omission error (OE) (%)							
Built-up	۱۸/۱۸	۱۵/۳۲	۶۶/۲۵	۷۷/۴۸	۲۳/۱۵	۲۹/۱۲	۳۰/۶۲
Non-built-up	۶۷/۷۷	۷۴/۱۴	۳۰/۳۳	۱۱/۸۹	۶۳/۴۳	۷۷/۵۷	۷۸/۱۱
Commission error (CE) (%)							
Built-up	۲۴/۷۳	۲۴/۲۵	۶۵/۰۶	۶۱/۴۹	۲۵/۳۳	۱۹/۱۵	۳۳/۱۵
Non-built-up	۶۱/۷۱	۶۰/۷۸	۳۱/۴۶	۲۸/۲۲	۶۹/۴۶	۱۹/۱۵	۱۵/۳۳
OA (%)	۶۶/۹۳	۶۸/۷۵	۵۷/۹۸	۷۱/۷۹	۶۲/۴۳	۶۱/۰۶	۶۰/۵۵
K (%)	۰/۱۴۴۲	۰/۱۳۷۳	۰/۰۳۴۵	۰/۱۲۴۵	۰/۱۱۸۲	- ۰/۰۰۳۹	- ۰/۰۱۹۹
Before fusion and enhancement							
OA (%)	۶۸/۲۷	۶۹/۲۱	۶۹/۹۲	۶۹/۵۴	۶۱/۱۳	۷۱/۶۹	۴۸/۶۷
K (%)	۰/۳۰۸۳	۰/۳۰۰۷	۰/۳۴۶۹	۰/۰۵۸۶	۰/۲۶۸۳	۰/۲۱	- ۰/۰۷۰۲

جدول شماره ۶. نتایج تغییرات صورت گرفته در ساخت و سازهای شهری با استفاده از شاخص های طیفی

Index	2002		2019		2002-2019	
	Built up(HE)	Built up (%)	Built up(HE)	Built up (%)	Increase of built-up land(HE)	Increase of built-up land (%)
1 IBI	۲۵/۳۷۹	۳۳//۵۵	۵۴//۱۴۸	۷۱//۵۸	۲۸//۷۶۹	۳۸//۰۳
2 NDBI	۲۱/۹۳۸	۲۹//۰۰	۵۴//۳۸۸	۷۱//۸۴	۳۲//۴۰۰	۴۲//۸۳
3 NDISI	۴۰/۱۰۲	۵۳//۰۲	۶۰//۳۳۳	۷۹//۷۶	۲۰//۲۳۱	۲۶//۷۵
4 UI	۱۷/۰۸۰	۲۲//۵۸	۵۱//۳۶۰	۶۷//۹۰	۳۴//۲۸۰	۴۵//۳۲
5 VbSWIR1 – BI	۳۴/۴۶۱	۴۵//۵۶	۴۷//۳۰۶	۶۲//۵۴	۱۲//۸۴۵	۱۶//۹۸
6 VG WIR1 – BI	۳۴/۷۲۹	۴۵/۹۱ %	۵۹//۳۱۰	۷۸//۴۱	۲۴//۵۸۱	۳۲//۵۰
7 VR WIR1-BI	۳۶/۵۲۳	۴۸/۲۸ %	۶۷//۵۲۱	۸۹//۲۹	۳۰//۹۹۸	۴۰//۹۸



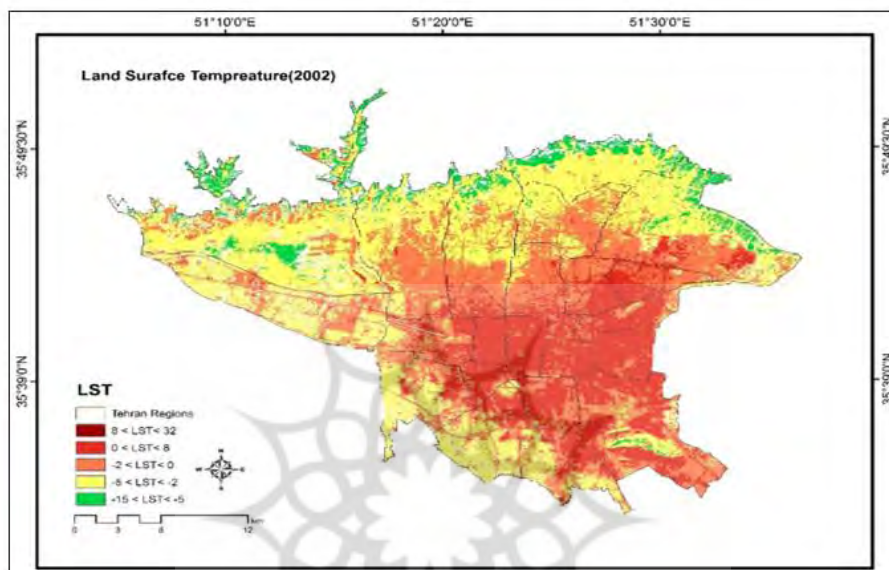
شکل شماره ۲. اشکال کاربری اراضی شهر تهران با استفاده از داده های لندست ۷ مربوط به سال ۲۰۰۲



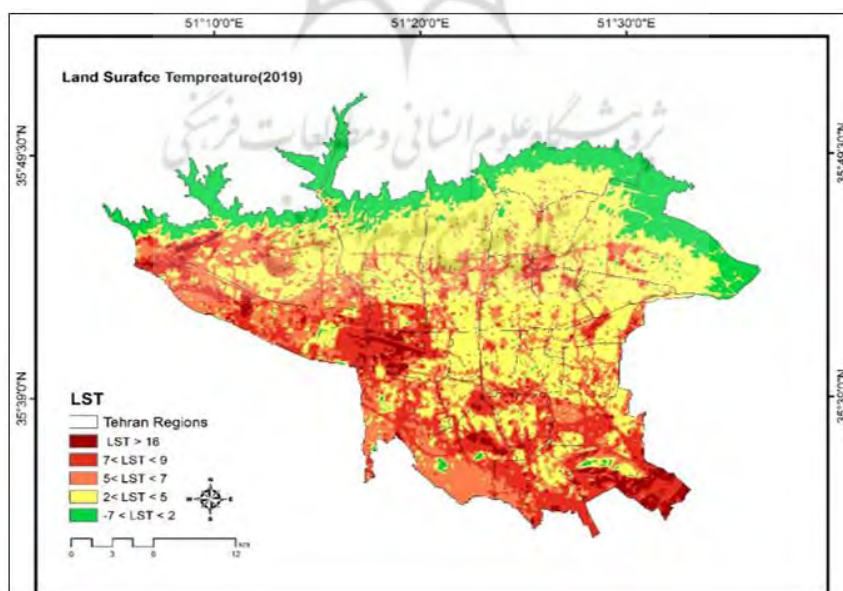
شکل شماره ۳. اشکال کاربری اراضی شهر تهران با استفاده از داده های لندست ۸ مربوط به سال های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۲

محاسبه دمای سطح زمین

دمای سطح زمین عامل مهمی در تغییر جهانی آب و هوا، رشد پوشش گیاهی، و یخچال‌های طبیعی است. استفاده از روش‌های دورسنجی و تصاویر ماهواره‌ای از جمله روش‌هایی هستند که می‌توانند در تخمین دمای سطح زمین بسیار مفید عمل کنند. از جمله ماهواره‌هایی که می‌توان با استفاده از آن‌ها دمای سطح زمین را تخمین زد می‌توان به ماهواره‌های سری و همچنین LST اشاره کرد. نتایج حاصل از محاسبه دمای سطح شهر تهران برای سال ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ در شکل (۴ و ۵) قابل مشاهده است.



شکل شماره ۴. دمای محاسبه شده سطح زمین برای سال ۲۰۰۲



شکل شماره ۵. دمای محاسبه شده سطح زمین برای سال ۲۰۱۹

با توجه به نتایج به دست آمده از طریق نقشه‌های خروجی دمای سطح زمین نشان داده شده است که یک رابطه معناداری بین افزایش ساخت و سازهای انسان ساز و روند افزایش دمای سطح زمین وجود دارد. از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ مقادیر

زمین‌های تغییر کاربری یافته برای ساختن ساختمان‌های متعدد شهری تغییرات افزایش دمای سطح زمین نیز به مناطق شمالی شهر تهران کشیده شد است که نتایج حاصل از این واقعیت در شکل (۴ و ۵) نشان داده شده است. طی این دوره ۱۸ ساله همان طور که در نتایج خروجی از شاخص‌های مورد استفاده نشان داده شده است. با این شرایط می‌توان گفت در تصویر LST سال ۲۰۰۲ میزان دمایی هوا عدد ۳۲ درجه را نشان می‌دهد. این در حالی است که بیشترین دمایی سطح زمین بر مراکز شهری منطبق است، اما میزان دمایی هوا برای تصویر LST سال ۲۰۱۹ عدد بیشتر از ۱۶ درجه را نشان می‌دهد در این سال بیشترین میزان دمایی هوای سطح زمین بر مناطق حاشیه‌ای، کارخانجات و قسمت‌های شمال غربی و جنوبی شهر تهران منطبق بوده است.

نتیجه‌گیری

افزایش جمعیت شهری و در پی آن رشد بی‌رویه شهری لزوم توجه به مسائل شهری را برای برنامه‌ریزان ضروری کرده است. از مسائل مهم امروزه که در مناطق شهری رخ می‌دهد، بحث گسترش شهری و تغییرات کاربری ارضی، همچنین تبدیل اراضی شده و ساخته نشده به اراضی ساخته شده است. پیشرفت‌های پی در پی تکنولوژی سنجش از دور، شاخص‌های مختلف طیفی را برای طبقه‌بندی به وجود آورده است. در این پژوهش اجرای هفت شاخص طیفی در طبقه‌بندی و تغییر اراضی ساخته شده و ساخته نشده با تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است. در بخش سنجش از دور شهری بیشتر پژوهش‌ها روی محدوده مادون قرمز موج کوتاه از طیف الکترومغناطیسی صورت گرفته است، زیرا در این محدوده اراضی ساخته شده بازتاب بالایی دارند و می‌توانند از ویژگی‌های دیگر تفکیک شوند. مرور پژوهش‌های انجام شده درباره شاخص‌های طیفی نشان می‌دهد که استفاده از باندهای طیفی آبی در تلفیق با باند مادون قرمز نزدیک برای طبقه‌بندی اراضی ساخته شده و اراضی ساخته نشده در مقایسه با پژوهش‌های گذشته بیشتر کند و نتایج این پژوهش نشان داد که این شاخص به خوبی توانسته طبقه‌بندی اراضی ساخته شده را انجام دهد. در این پژوهش برای افزایش قدرت تفکیک مکانی جهت بارزتر کردن پدیده‌ها از روش تلفیق داده‌های pan و Multispectral و همچنین تصاویر حرارتی نیز استفاده گردیده که سبب شده تا قدرت تفکیک مکانی پدیده‌ها افزایش یابد. در این پژوهش روش (GC) به ما کمک کرد تا با ترکیب داده‌های Pan, Multispectral نتایج بهتری را به دست آوریم. طبقه‌بندی صورت گرفته از طریق شاخص‌های طیفی نشان داد که شاخص‌های VbSWIR_BI و IBI بالاترین دقت را به ترتیب ۶۱/۱۳٪ و ۶۸/۲۷٪ نسبت به سایر شاخص‌ها دارند نشان دادند. مطابق نتایج شاخص VbSWIR_BI-BI تغییرات زمانی و مکانی شهر تهران را در یک نتیجه قابل قبول نشان می‌دهد؛ بنابراین، می‌توان گفت؛ دمای سطح زمین یکی از معیارهای مهم در برنامه‌ریزی فضایی است، زیرا به عنوان عامل مهمی در کنترل فرایندهای زیستی، شیمیایی و فیزیکی زمین است. با توجه به نتایج به دست آمده از طریق دمای برآورد شده سطح زمین نشان می‌دهد که با افزایش ساخت و سازها افزایش دمای شهر تهران به مناطق شمالی و مرکزی شهر در سال ۲۰۰۲ نیز کشیده شده است. در حالی که بیشترین دمای سطح زمین برای سال ۲۰۱۹ بر قسمت‌های جنوبی و شمال غربی شهر تهران منطبق است؛ بنابراین، می‌توان گفت که ارتباط نزدیکی بین دمای سطحی زمین و همچنین کاربری‌های شهری و ساخت و سازهای مصنوع در شهر تهران وجود دارد و کاربری اراضی یا پوشش زمین یک منطقه پارامتر مهمی در مقدار دمای سطح زمین است. فعالیت‌های طبیعی و مصنوع شرایط فیزیکی یک منطقه را تغییر می‌دهد و این فعالیت همچنین بر مقداری دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه تأثیرگذار بوده است. به دنبال ساخت و سازهای موجود در قسمت‌های مرکزی و شمالی شهر تهران باعث افزایش دمای سطح زمین در این ناحیه از شهر تهران شده است و یکی از شرایطی که بر روی دمای سطح زمین شهر تهران تأثیرگذار بوده است می‌تواند عوامل طبیعی (ارتفاع از سطح دریا یا عدم وجود

پوشش گیاهی) یا در اثر فعالیت ساخت و ساز انسانی باشد؛ همچنین، نتایج بیانگر آن است که در سال ۲۰۰۲ دمای سطح زمین در قسمت‌های مرکزی و شمالی شهر تهران بروز و ظهور بیشتری دارد. در حالی که عواملی از قبیل (نوع کاربری اراضی، پوشش زمین، مقدار پوشش گیاهی، فصول سال، زمان روز، نوع اکوسیستم، عرض جغرافیایی و عوامل محدودکننده و محرک رشد پوشش گیاهی مثل آب و انرژی خورشیدی باعث شده است که دمای سطح زمین برای سال ۲۰۱۹ در قسمت‌های جنوبی و شمال غربی شهر تهران بالاتر برود.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- (۱) بذرافشان، محسن؛ امام، یحیی؛ فلاح شمسی، سید رشید (۱۳۹۳) بررسی رفتار سری زمانی بازتاب طیفی و شاخص‌های پوشش گیاهی مزارع چغندر قند با استفاده از داده‌های سنجنده مادیس، نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، شماره ۱۳، صص. ۱۷۰-۱۵۹.
- (۲) پناهی، رجب و زیاری، کرامت‌الله (۱۳۸۸) بررسی تأثیر فعالیت‌های کشت و صنعت بر شهر نو بنیاد پارس آباد، پژوهش‌های جغرافیای انسانی شماره ۷۰، صص. ۱۴-۱.
- (۳) پیر نظر، مجتبی، روستایی، شهرام؛ فیضی زاده، بختیار؛ رئیسی نافچی، 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، شماره ۲۹، صص. ۲۴۰-۲۲۷.
- (۴) حسینی، هادی و سلیمانی مقدم، سید هادی (۱۳۸۵) توسعه شهری و تضعیف مفاهیم محله‌ای، فصلنامه مسکن و انقلاب، شماره ۱۱۳، صص. ۴۱-۲۸.
- (۵) حجاری زاده، زهرا و نادر، پروین (۱۳۸۸) بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر، فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه‌ای)، شماره ۱، صص. ۵۶-۴۳.
- (۶) حسین زاده دلیر، کریم و هوشیار، حسن (۱۳۸۵) دیدگاه‌ها عوامل و عناصر مؤثر توسعه فیزیکی شهرهای ایران، مجله جغرافیایی و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۶، صص. ۲۲۶-۲۱۳.
- (۷) رضایی بنفشه، مجید؛ رضایی، علی؛ فریدپور، مجتبی (۱۳۹۴) تحلیل خشکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی با تأکید بر سنجش از دور و شاخص وضعیت پوشش گیاهی، نشریه دانش آب و خاک، شماره ۱، صص. ۱۲۳-۱۱۳.
- (۸) رضوانی، علی اصغر (۱۳۷۴) روابط متقابل شهر و روستا با تأکید بر ایران، تهران: انتشارات پیام نور.
- (۹) رهنما، محمدرحیم و عباس‌زاده، غلامرضا (۱۳۸۵) بررسی تطبیقی سنجش درجه پراکنش / فشردگی در کلان شهرهای سیدنی و مشهد، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۶، صص. ۱۲۸-۱۰۱.
- (۱۰) زرین، جواد و علوی پناه، سید کاظم (۱۳۹۵) بررسی تغییرات الگوی حرارتی در بازه زمانی ۳۰ ساله با استفاده از باندهای حرارتی تصاویر ماهواره لندست مطالعه موردی اراضی جنوبی جزیره آبادان، اولین همایش بین‌المللی مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست محیطی ایران راهکارها و چالش‌ها، ایران، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.
- (۱۱) زیاری، کرامت‌الله (۱۳۸۲) تحولات اجتماعی - فرهنگی ناشی از انقلاب صنعتی در توسعه فضایی تهران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱، صص. ۱۶۴-۱۵۱.
- (۱۲) عیسی‌زاده، وحید؛ آسیایی، شکوفه؛ عیسی‌زاده، اسماعیل (۱۳۹۹) بررسی پایش دمای سطح زمین با استفاده تصاویر لندست ۸ و الگوریتم‌های تک‌کاناله و پنجره مجزا منطقه مورد مطالعه شهرستان دزفول، جغرافیا و روابط انسانی، شماره ۳، صص. ۲۵-۲۸.
- (۱۳) عطارچی، سارا؛ پوررحیمی، مجتبی؛ عیسی‌زاده، وحید (۱۳۹۹) مقایسه عملکرد شاخص‌های طیفی با طبقه‌بندی شیء‌گرا در استخراج مناطق ساخته شده در مناطق شهری مطالعه موردی شهر تهران و شهر گرگان، پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، شماره ۸، صص. ۴۳-۲۳.

۱۴) محمدی، علیرضا؛ خدابنده لو، بهروز؛ بابایی، پریسا (۱۴۰۰) ارزیابی تغییرات دمایی کاربری اراضی شهر زنجان در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ با استفاده از مقایسه الگوریتم‌های برآورد دمای سطح زمین، مجله آمایش جغرافیایی فضا، شماره ۱۱، صص. ۱۴۴-۱۲۷.

۱۵) مجموعه مقالات طرح ریزی کالبدی تهران (۱۳۷۰) مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.

۱۶) مرکز آمار ایران (۱۳۹۵) نتایج تفصیلی سرشماری عمومی و نفوس و مسکن.

- 17) Angel, Shlomo. & Stephen, Sheppard. (2005) the dynamics of global urban expansion, *Journal Transport and Urban*, Vol.1, pp. 7-20.
- 18) Shlomo, Angel. & Alejandro, M.Blei. (2016) the spatial structure of American cities: The great majority of workplaces are no longer in CBDs, employment sub-centers, or live-work communities, *Journal cities*, Vol.51, No.51, pp.21-35.
- 19) Bob, Brisco. & Mouffe, Schmitt. & Kiven, Murnaghan. & Spread, Kaya. & Arnold, Roth. (2013) SAR polar metric change detection for flooded vegetation. *International, Journal of Digital Earth*, Vol.6, pp. 103-114.
- 20) Bovolo, Francesca. & Lorenzo, Bruzzone. & Mattia, Marconcini. (2008) A novel approach to unsupervised change detection based on a semisupervised SVM and a similarity measure, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.46, No.7, pp.2070-2082.
- 21) Bagan, Hasi. & Yoshiki, Yamagata. (2012) Landsat analysis of urban growth: Ho Tokyo became the world's largest megacity during the last 40 years, *Journal Remote sensing of Environment*, Vol.127, pp. 210-222.
- 22) Bouzekri1, Sara. & Abdel Aziz, Lasbet. & Ammar, Lachehab. (2015) A New Spectral Index for Extraction of Built-Up Area Using Landsat-8 Data, *Journal Indian Society of Remote Sensing*, Vol.43, pp.867-873.
- 23) Bullard, R.D. (2007) Atlanta Mega sprawl, *Forum for Applied Research and Public Policy*, Vol.14, pp.17-23.
- 24) Coisnon, Thomas. & Walid, Oueslati. & Julien, Salanié. (2014) Urban sprawl occurrence under spatially varying agricultural amenities, *Journal Regional Science and Urban Economics*, Vol. 44, No.1, pp. 38-49.
- 25) Chander, Gyanesh. & Brian, L. Markham, & Dennis, L. Helder. (2009) Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, *Journal Remote sensing of environment*, Vol.113, No.5 pp. 893-903.
- 26) Demir, Begüm. & Francesca, Bovolo. & Lorenzo, Bruzzone. (2013) Updating land-cover maps by classification of image time series A novel change-detection-driven transfer learning approach, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.51, No.1, pp.300-312.
- 27) Dronova, Iryna. & Peng, Gong. & Lin, Wang. (2011) Object-based analysis and change detection of major wetland cover types and their classification uncertainty during the low water period at Poyang Lake China, *Journal Remote sensing of Environment*, Vol.115, No.12, pp.3220-3236.
- 28) Du, Zhiqiang. & Wenbo, Li. & Dongbo, Zhou. & Liqiao, Tian. & Feng, Ling. & Hailei, Wang. & Yuanmiao, Gui. & Bingyu, Sun. (2014) Analysis of Landsat-8 OLI Imagery for Land Surface Water Mapping, *Journal Remote Sensing Letters*, Vol.5, No.7, pp.672-681.
- 29) ENVI. (2009) Atmospheric correction module: QUAC and FLAASH User Guide, Available online, [_www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envi/Flaash Module.pdf_](http://www.exelisvis.com/portals/0/pdfs/envi/Flaash%20Module.pdf) (accessed 19 December 2014).
- 30) Gago, Eulalia. & Julio, Jdraque. & Roldan, R. & Pacheco, Torres. & Javier, Ordóñez. (2013) The City and Urban Heat Islands a Review of Strategies to Mitigate Adverse Effects, *Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 25, No. 25, pp.749-758.
- 31) Gao, Yan. & J-F, Mas. & Navarrete, A. (2009) The improvement of an Object-oriented Classification using multi-temporal MODIS EVI satellite data, *International Journal of Digital Earth*, Vol.2, pp.219-236.
- 32) Jaeger, Jochen. AG. & Christian, Schwick. (2014) improving the measurement of urban sprawl Weighted Urban Proliferation (WUP) and its application to Switzerland, *Journal*

- Ecological Indicators, Vol.1, No.38, pp. 294–308.
- 33) Kaliraj, S. S. & Muthu, Meenakshi. & V. K, Malar. (2012) Application of remote sensing in detection of forest cover changes using geo-statistical change detection matrices-a case study of devanampatti reserve forest, tamilnadu, India, Journal Nature Environment and Pollution Technology an International Quarterly Scientific, Vol.11, No.1, pp. 261–269.
 - 34) Kawamura, Makoto. (1996) Relation between Social and Environmental Conditions in Colombo Sri Lanka and the Urban Index Estimated by Satellite Remote Sensing Data, Journal International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.51, pp.321-326.
 - 35) Matsushita, Bunkei. & Wei, Yang. & Jin, Chen. & Yuyichi, Onda. & Guoyu, Qiu. (2007) Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects A case study in high-density Cypress forest. Sensors, Vol.7, No.11, pp. 2636-2651.
 - 36) Masek, J. G. & Lindsay, F. E. & Goward, S. N. (2000) Dynamics of urban growth in the Washington DC metropolitan area, 1973-1996, from Landsat observations, International Journal of Remote Sensing, Vol. 33. No. 18, pp. 3473–3486.
 - 37) Polydoros, Anastasios. & Constantinou, Cartalis. (2015) Use of Earth Observation based indices for the monitoring of built-up area features and dynamics in support of urban energy studies, Journal Energy and Buildings, Vol. 98, pp.92–99.
 - 38) Rouse, J.W. & Haas, R.H. & Schell, J.A. & Deering, D.W. (1973) Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp.309–317.
 - 39) USGS. (2006) Multi-resolution Land Characteristics 2001 (MRLC2001) Image Processing Procedure, Available online: [_http://landcover.usgs.gov/pdf/image_preprocessing.pdf_](http://landcover.usgs.gov/pdf/image_preprocessing.pdf) (accessed: 19 December 2014).
 - 40) USGS. (2013a) using the USGS Landsat 8 Product, Available online: [_http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php_](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php) (accessed: 19 December 2014).
 - 41) Singh, Ashbindu. (1989) Review article digital change detection techniques using remotely sensed Data, journal international of remote sensing, Vol.10, No.6, pp.989-1003.
 - 42) Weng, Qihao. & Dengsheng, Lu. & Jacquelyn, Schubring. (2004) Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies, Remote Sensing of Environment, Vol. 89, No. 4, pp.467–483.
 - 43) Weng, Qihao. (2012) remote sensing of impervious surfaces in the urban areas Requirements methods and trends, Journal Remote Sensing of Environment, No.117, pp.34–49.
 - 44) Xu, Hanqiu. (2008) a new index for delineating built-up land features in satellite imagery, International Journal of Remote Sensing, Vol. 29, No.14, pp. 4269–4276.
 - 45) Xu, Hanqiu. (2007) extraction of urban built-up land feature from Landsat imagery using a thematic- oriented index combination technique, Journal Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.73, No.12, pp. 1381-1391.
 - 46) Xu, Hanqiu. (2010) Analysis of Impervious Surface and its Impact on Urban Heat Environment using the Normalized Difference Impervious Surface Index (NDISI), Journal Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.76, No.5, pp.557–565.
 - 47) Zha, Yong. & Jay, Gao. & Shaoxiang, Ni. (2003) Use of Normalized Difference Built-Up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery, Journal International of Remote Sensing, Vol.24, No.3, pp. 583–594.