

تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر مشهد)

حسن محمودزاده^۱ - استادیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
افسانه نقدیسی - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
سحر مؤمنی - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۲

چکیده

با توسعه شهرنشینی، مقادیر زیادی از مساحت مناطق کشاورزی و جنگلی جای خود را به خانه‌ها، مناطق صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها می‌دهند. گرم‌تر شدن محیط‌زیست شهری یکی از این آثار ناآگاهانه توسعه شهری ناپایدار است که "جزیره حرارتی شهری" نامیده می‌شود. در این تحقیق جزایر حرارتی شهر مشهد که یکی از مهم‌ترین مراکز جمعیتی و توریستی ایران به شمار می‌آید و در طول چند دهه اخیر رشد شهری سریعی داشته، مورد مطالعه قرار گرفته است که با استفاده از داده‌های OLI و TIRS لندست ۸ و استفاده از الگوریتم دو پنجره بر اساس مقدار دمای سطح زمین و مقدار کسر پوشش گیاهی سطح زمین (که بر اساس شاخص پوشش گیاهی سطح زمین و پوشش گیاهی جزء به جزء سطح زمین محاسبه می‌شود) نقشه طبقات حرارتی شهر مشهد محاسبه شد. نتایج نشان داد، بین شاخص پوشش گیاهی و دمای سطحی زمین ارتباطی وجود دارد که به ما کمک می‌کند دمای سطحی را پیش‌بینی کنیم. با استفاده از شاخص پوشش گیاهی و الگوریتم پنجره مجزا مشخص شد، منطقه ۶ بیشترین دما و کمترین فضای سبز و منطقه ۱۲ کمترین دما و بیشترین فضای سبز را داراست.

کلیدواژه‌ها: جزیره حرارتی شهری، شاخص NDVI، دمای سطح زمین، مشهد.

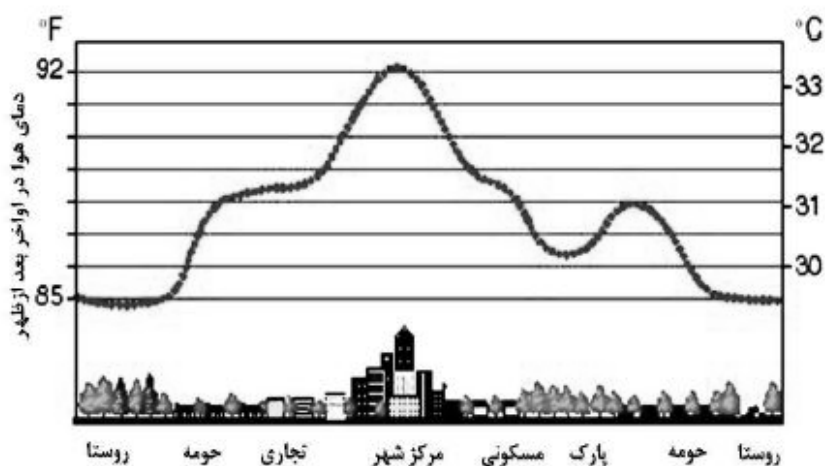
۱- مقدمه

امروزه تصاویر سنجش‌ازدور به‌عنوان ابزاری جدید در بررسی پوشش سطح زمین و انواع کاربری‌های اراضی شناخته می‌شود (محرمی، ۱۳۹۳). با توسعه شهرنشینی، مساحت زیادی از مناطق کشاورزی و جنگل و مرتع جای خود

را به مناطق مسکونی، صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها داده‌اند (متکان و همکاران، ۱۳۹۳). شهر به دلیل وجود ذرات معلق، کمتر از نواحی روستایی آفتاب دریافت می‌کند و باین حال گرم‌تر از نواحی روستایی مجاور است؛ زیرا محیط شهر، هم به علت تولید حرارت بیشتر ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و هم به علت وجود سطوح نفوذناپذیر و ساختمان‌های بلند به‌عنوان جمع‌کننده حرارت عمل کرده و جزیره حرارت شهری بر روی شهر تشکیل می‌شود (نبلیه بروجنی و همکاران، ۱۳۹۵). اختلاف دما به‌طور معمول در شب بیشتر از طول روز است. در مواقعی که وزش باد ضعیف است، آشکارتر است. علت اصلی جزایر گرمایی شهری تغییر سطح زمین در اثر توسعه شهری است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۶)؛ از این رو، محدوده‌های شهری دارای بیلان انرژی متفاوتی در مقایسه با نواحی طبیعی و روستایی پیرامون خود هستند (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲).

فرایندهای متعددی در بین اجزای ساختاری شهر حضور دارند که در عملکرد حرارتی شهر و تشکیل جزایر حرارتی مؤثرند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

- تغییر در ویژگی‌های فیزیکی سطوح (آلیدو، ظرفیت حرارتی، هدایت حرارتی) به علت جایگزینی پوشش گیاهی با آسفالت و بتون
- کاهش رطوبت سطحی موردنیاز برای تبخیر و تعرق
- تغییرات در شار تابشی و جریان‌های نزدیک به سطح
- انتشار گرمای انسان‌ساز (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل ۱- نیمرخ جزیره حرارتی شهری (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲)

تاکنون در جهان مطالعات گسترده‌ای در زمینه دمای سطوح شهری انجام گرفته است. Tan et al. (2010)، جزیره گرمایی شهری و تأثیر آن بر امواج گرما و سلامت انسان در شانگهای چین انجام شده است. نتایج نشان داد که سایت‌های مختلف (مرکز شهر) درجات مختلفی از گرم شدن را تجربه کرده‌اند همچنین بررسی میزان مرگ‌ومیر در

تابستان در داخل و اطراف شانگهای نشان داده است که UHI به‌طور مستقیم مسئول بدتر شدن اثرات سو بر سلامت انسانی است. Ying-ying Li et al. (2012)، الگوهای جزایر حرارتی همراه با توسعه سریع شهری پرجمعیت‌ترین شهر چین، شانگهای را با استفاده از داده‌های ماهواره لندست بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۸ مورد پایش قرار دادند و نتیجه گرفتند که تغییر در پوشش کاربری اراضی با کاهش در اراضی کشاورزی، جنگل و مرتع و افزایش اراضی شهری موجب تغییر در الگوی جزایر حرارتی شده است. Radhi et al. (2013) نیز تأثیر شهرسازی را بر روی رفتار حرارتی ساختمان‌های جدید در بحرین با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و GIS و ایستگاه‌های هواشناسی موردمطالعه قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین دمای هوا ۲ تا ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های شهری و کاهش پوشش گیاهی بوده است. Song, Y & Wu. (2016) بررسی تأثیر ترکیبی و فیزیکی شهری، در ایالت ویسکانسین آمریکا انجام شده است که نتایج کلی پژوهش آنان نشان از نقش بی‌چون چرای سطوح غیرقابل نفوذ در تنوع جزایر حرارتی مناطق شهری دارد.

رنگزن و همکاران (۱۳۸۹) بررسی و تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از RS و GIS شهر اهواز انجام شده است نتایج نشان‌دهنده توانایی بالای داده‌های سنجش‌ازدور در مطالعه پارامترهای محیطی در حوزه شهرهاست. مزیدی و حسینی (۱۳۹۱) تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر جزیره گرمایی در منطقه شهری یزد با استفاده از داده‌های سنجنده های TM و ETM بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲ مورد پایش قرار داده است و نتیجه گرفتند که شهر یزد در طی سال‌های اخیر رشد نسبتاً سریعی داشته و در نتیجه تغییرات چشم‌گیری در کاربری اراضی آن ایجاد شده است. همچنین رابطه میان NDVI و دمای سطح زمین با استفاده از تحلیل همبستگی و رگرسیون دومتغیره بیا کننده تأثیر پوشش گیاهی در کاهش دما به علت وجود فرآیند تبخیر و تعرق سطحی است. ترکاشوند (۱۳۹۵) آشکارسازی جزایر حرارتی شهر اراک مبتنی بر تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی با استفاده از داده‌های حسگرهای OLI و TIRS لندست، اخذ گردیده است. نتایج نشان داد که دو پارامتر پوشش گیاهی و مناطق ساخته‌شده شهری با دمای سطح زمین همبستگی قوی دارند، به‌طوری‌که شاخص پوشش گیاهی باعث تعدیل جزایر حرارتی شهری و مناطق ساخته‌شده شهری موجب تشدید جزایر حرارتی شری اراک گردیده‌اند. علیزاده بنا و همکاران (۱۳۹۵) به‌منظور بررسی روند توسعه شهری و جزیره حرارتی مشهد از تصاویر سنجنده لندست ۵ و ۸ در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ استفاده شده است. دمای سطح زمین توسط الگوریتم تک بانندی با کمک نرم‌افزار landsatTRS تعیین شد. نتایج حاصله نشان دادند کاهش اراضی کشاورزی و تبدیل آن‌ها به مسکونی سبب کاهش شاخص NDVI در این مناطق و دمای سطح زمین در کل منطقه ۱٫۴ درجه افزایش در حداکثر و ۰٫۷ درجه افزایش در حداقل داشته که نمایانگر تشدید جزایر حرارتی است.

جدول ۱- مأخذ: نگارندگان

نام محقق	سال	منطقه مورد بررسی	مواد و روش	نتیجه
Tan et al.	۲۰۱۰	شانگهای چین	جزایر حرارتی شهری و تأثیر آن بر امواج گرما و سلامت انسان	جزایر حرارتی شهری به طور مستقیم مسئول بدتر شدن اثرات سو بر سلامت انسانی است
Ying-ying Li et al.	۲۰۱۲	شانگهای چین	استفاده از داده‌های ماهواره لندست و بررسی الگوهای جزایر حرارتی همراه با توسعه شهری	کاهش در اراضی کشاورزی، جنگل و مرتع و افزایش اراضی شهری موجب تغییر در الگوی جزایر حرارتی شده است
Radhi et al.	۲۰۱۳	بحرین	استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور و ایستگاه‌های هواشناسی و بررسی تأثیر شهرسازی بر روی رفتار حرارتی ساختمان‌ها	فعالیت‌های شهری و کاهش پوشش گیاهی باعث افزایش میانگین دمای هوا شده است.
Song, Y & Wu	۲۰۱۶	ویسکانسین آمریکا	بررسی تأثیر ترکیبی و فیزیکی شهری	سطوح غیرقابل نفوذ نقش مؤثری در تنوع جزایر حرارتی مناطق شهری دارد
رنگزن و همکاران	۱۳۸۹	اهواز	مطالعه پارامترهای محیطی با استفاده از داده‌های سنجنده ETM	میزان اثرگذاری کاربری‌های شهری در ظهور شرایط حرارتی کنونی شهر اهواز را مشخص می‌کند.
مزیدی و حسینی	۱۳۹۱	یزد	تحلیل همبستگی و رگرسیون دو متغیره با استفاده از داده‌های سنجنده های TM و ETM	تأثیر پوشش گیاهی در کاهش دما به علت وجود فرایند تبخیر و تعرق سطحی را بیان می‌کند.
ترکاشوند	۱۳۹۵	اراک	تحلیل های خودهمبستگی های فضایی با استفاده از داده‌های حسگرهای OLI و TIRS	دو پارامتر پوشش گیاهی و مناطق ساخته شده شهری با دمای سطح زمین همبستگی قوی دارند. شاخص پوشش گیاهی باعث تعدیل جزایر حرارتی شهری و مناطق ساخته شده شهری باعث تشدید جزایر حرارتی شهری می‌شوند.
علیزاده بنا و همکاران	۱۳۹۵	مشهد	استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۵ و ۸ و محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تک بانندی به کمک نرم‌افزار landsat TRS جدید	کاهش اراضی کشاورزی و تبدیل آن‌ها به مناطق مسکونی باعث کاهش شاخص NDVI در این مناطق و دمای سطح زمین افزایش پیدا می‌کند

در این تحقیق با استفاده از داده‌های OLI و TIRS لندست ۸ و استفاده از الگوریتم دو پنجره بر اساس مقدار دمای سطح زمین و مقدار کسر پوشش گیاهی سطح زمین (که بر اساس شاخص پوشش گیاهی سطح زمین و پوشش گیاهی جزء به جزء سطح زمین محاسبه می‌شود) نقشه طبقات حرارتی شهر مشهد محاسبه شد. با توجه به طبقات

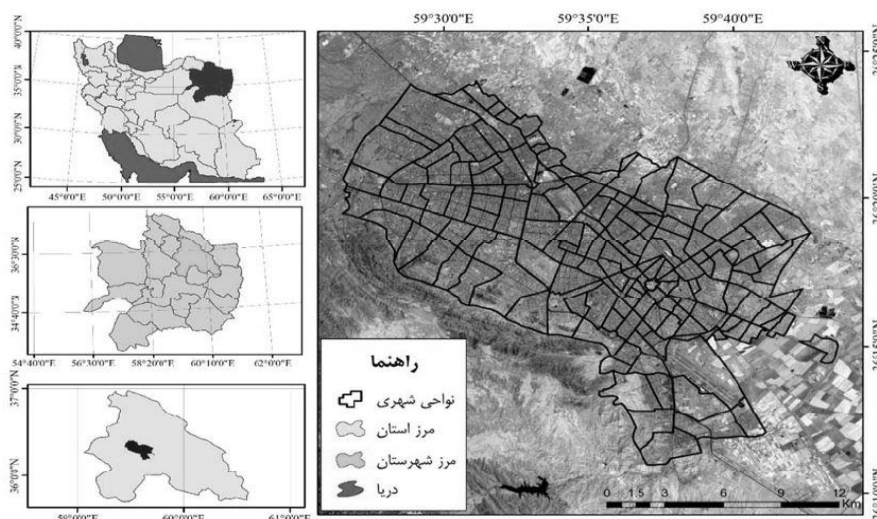
حرارتی، نقشه کاربری‌های اراضی شهری و پوشش گیاهی سطح زمین بهترین و بدترین مناطق از نظر فضای سبز و بیشترین و کمترین دمای سطحی مشخص گردید و برای مناطق نامناسب راهکارهایی پیشنهاد شد. در الگوریتم دو پنجره چون از ۲ باند حرارتی برای انجام محاسبات استفاده می‌شود مقدار خطای محاسبات بسیار کاهش پیدا می‌کند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

مشهد، مرکز استان خراسان رضوی، دومین کلان‌شهر مهم ایران محسوب می‌شود که بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۰، جمعیت آن (بدون در نظر گرفتن توس و قرقی) بالغ بر ۲۷۶۶۲۵۸ نفر بوده است. طبق آخرین برآوردها جمعیت مشهد در سال ۱۳۹۵ برابر با ۳,۰۰۱,۱۸۴ نفر است (آمارنامه شهر مشهد، ۱۳۹۵).

در سال ۱۳۹۵ با احتساب نواحی منفصل توس و قرقی با ۳۲۸ کیلومتر مربع مساحت، در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۷ دقیقه و شامل ۱۳ منطقه شهرداری است. این شهر در حوضه آبریز کشف رود، بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد قرار دارد. ارتفاع شهر از سطح دریا ۹۹۹ متر است. میانگین حداکثر دمای آن ۲۲,۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل دمای آن ۹,۱ درجه سانتی‌گراد زیر صفر است (آمارنامه شهر مشهد، ۱۳۹۵).



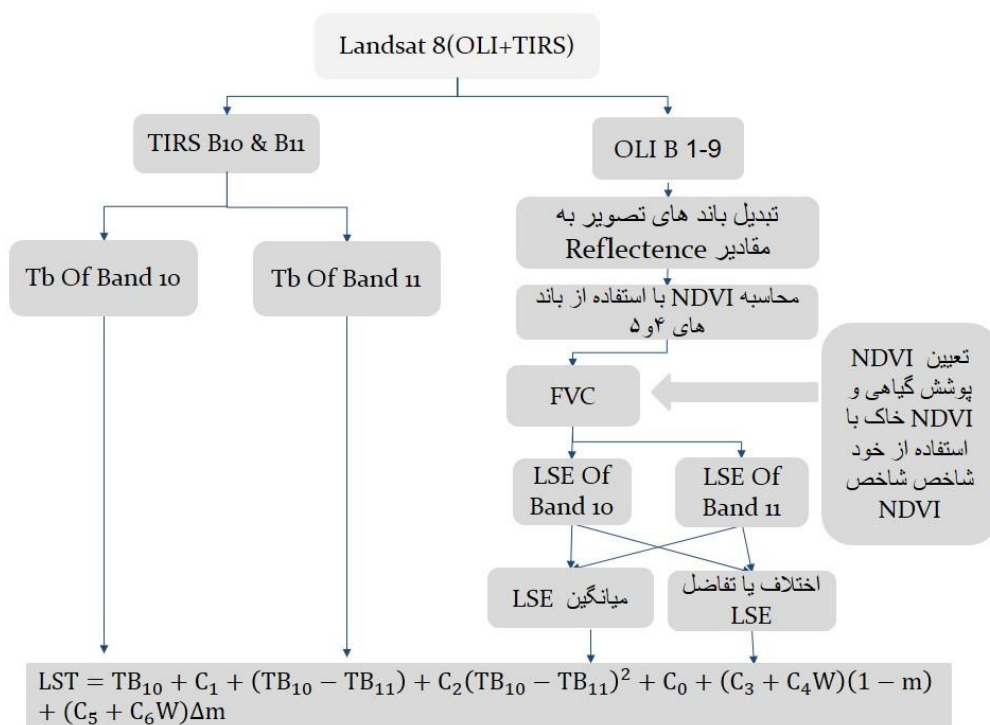
شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (احمدی و داداشی رودباری، ۱۳۹۵)

۲-۲- داده‌ها و روش‌ها

عمده‌ترین مرحله در انجام پروژه‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی جمع‌آوری داده است به‌نحوی که بیشترین هزینه و زمان را به خود اختصاص می‌دهد (قاسمیان، ۱۳۷۳). در این تحقیق تلاش شده است تا با

استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای روشی برای تعیین دمای سطحی مناطق موجود در طرح جامع شهر مشهد ارائه گردد. بدین منظور پس از انجام عملیات پیش‌پردازش بر روی تصویر و اصلاحات لازم، برای تعیین نوع کاربری از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شده است.

به‌طورکلی در این تحقیق پس از اعمال تصحیحات رادیومتریک بر روی تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های به‌دست‌آمده از آن‌ها را تبدیل به فایل وکتوری و برای جلوگیری از خطا به‌صورت کدهای مشخص طبقه‌بندی می‌کنیم به این صورت که به طبقه پوشش گیاهی کد ۱ و ... می‌دهیم. در پایان با استفاده از intersect نقشه‌های پوشش گیاهی، دمای سطح زمین و کاربری اراضی را روی هم می‌اندازیم. نتیجه نهایی نقشه‌ای است که تمام اشتراک‌های به‌دست‌آمده از نقشه‌های پوشش سطحی - دمای سطح زمین و کاربری اراضی را به‌صورت یک جدول با کد ۳ رقمی که هر رقم آن نشان‌دهنده یک طبقه با خصوصیات خاص است آشکار می‌کند. تصاویر مورد استفاده در این تحقیق مربوط به لندست ۸ و سنجنده های TRS (باندهای ۱۰ و ۱۱) و OLI (باندهای ۱ تا ۹) در تاریخ ۲۰۱۷، ۶، ۶ (۱۳۹۶، ۳، ۶) است.



شکل ۳- فلوجارت اجرای الگوریتم Split Window (مأخذ: Latif, 2014)

۳- نتایج و بحث

برای به دست آوردن دمای روشنایی^۱ باندهای ۱۰ و ۱۱ ابتدا باید تصویر را به رادیانس تبدیل کرد. لذا ابتدا باید مقادیر درجات خاکستری^۲ باندهای شماره ۱۰ و ۱۱ سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ را به صورت جداگانه به رادیانس بالای اتمسفر تبدیل می‌کنیم. برای تبدیل از روش زیر استفاده می‌کنیم:

۳-۱- به دست آوردن رادیانس طیفی در سنجنده

برای تبدیل ارزش‌های خام تصویر به رادیانس در سنجنده برای تصویر لندست OLI از رابطه ۱ استفاده می‌شود.

$$L\lambda = \left(\frac{LMAX\lambda - LMIN\lambda}{Qcalmax - Qcalmin} \right) (Qcal - Qcalmin) + Lmin\lambda$$

$L\lambda$ رادیانس طیفی در سنجنده $[W/(m^2sr \mu m)]$ ،

$Qcal$ ارزش پیکسل،

$Qcalmin$ حداقل ارزش پیکسل،

$Qcalmax$ حداکثر ارزش پیکسل،

$LMAX\lambda$ و $LMIN\lambda$ حداقل و حداکثر رادیانس طیفی در سنجنده $[W/(m^2sr \mu m)]$.

برای به دست آوردن رادیانس طیفی در سنجنده OLI از رابطه ۲ استفاده می‌شود:

$$L\lambda = ML \times Qcal + ML \quad (2)$$

در رابطه (۲)، $L\lambda$ رادیانس در بالای اتمسفر $(watts/m^2*srad* \mu m)$ ،

ML ضریب تبدیل ضربی،

$Qcal$ ارزش پیکسل باند ۱۰ و ۱۱

و AL ضریب تبدیل تجمیع کننده است (Rajeshwari A, Mani N d).

۳-۲- به دست آوردن ضریب انعکاس

ضریب انعکاس روی زمین طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$\lambda\rho = \frac{\pi.L\lambda.d^2}{ESUN\lambda.cos\theta s} \quad (3)$$

$L\lambda$ رادیانس طیفی در سنجنده $[W/(m^2sr \mu m)]$ ،

d فاصله زمین تا خورشید (واحد نجومی)،

$ESUN$ میانگین تابش خورشید $[W/(m^2sr \mu m)]$

θ زاویه تابش خورشید (درجه).

1 Brightness Temperature

2 Digital Number

پس از تبدیل مقادیر DN باندهای ۱۰ و ۱۱ به رادیانس بالای اتمسفر، حال باید این دو باند تصحیح شده را به دمای روشنایی^۱ تبدیل کنیم.

۳-۳- به دست آوردن دمای روشنایی

داده‌های باند حرارتی می‌تواند از رادیانس طیفی در سنجنده به دمای روشنایی تبدیل شود. دمای روشنایی با فرض اینکه زمین جسم سیاه است (ضریب انتشار^۲=۱) محاسبه می‌شود و شامل تأثیرات اتمسفر است (جذب و تشعشع). دمای روشنایی را با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده از رابطه ۴ به دست می‌آوریم:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda+1}\right)} \quad (4)$$

T دمای مؤثر روشنایی در سنجنده برحسب کلونین،

K2 ضریب کالیبراسیون ۲ برحسب کلونین،

k1 ضریب کالیبراسیون ۱ برحسب [W/(m²sr μm)]

Lλ رادیانس طیفی در سنجنده است. مقادیر ضریب کالیبراسیون برای باندهای ۱۰ و ۱۱ از جدول (۲) به دست

می‌آید.

جدول ۲- ضرایب کالیبراسیون. (مأخذ: Latif,2014)

K2	K1	باند
1321.08	774.89	10
1201.14	480.89	11

در مرحله بعد شاخص NDVI باید محاسبه گردد. قبل از محاسبه شاخص NDVI لازم است تا مقادیر درجات خاکستری^۳ باندهای انعکاسی سنجنده OLI (تنها باندهای شماره ۴ و ۵ جهت محاسبه شاخص NDVI لازم است) را تصحیح رادیو متریک و به رفلکتانس تبدیل شود.

۳-۴- به دست آوردن دمای سطح زمین

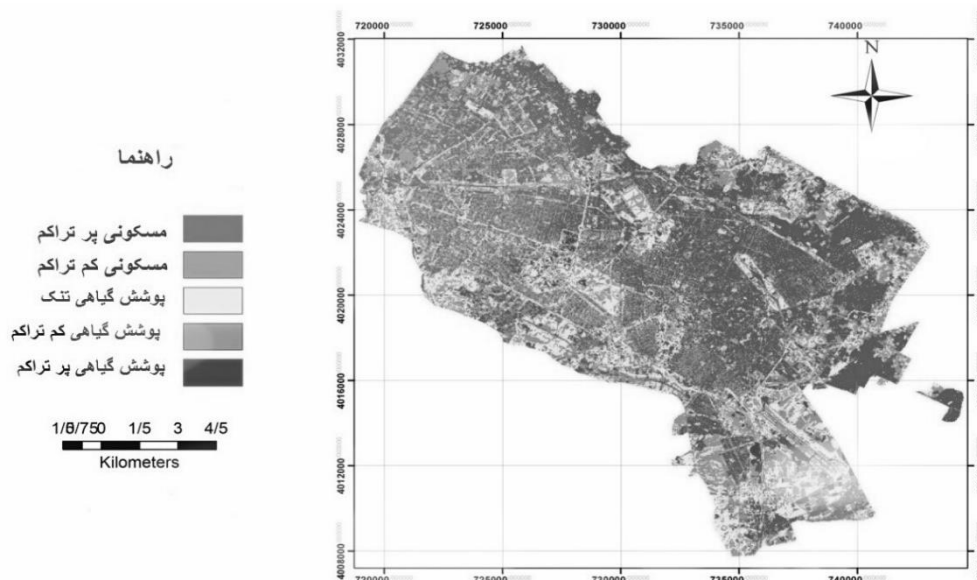
به دست آوردن دمای سطح زمین نیازمند دانش پیرامون توان تشعشعی سطح زمین (LSE) است. برای به دست آوردن توان تشعشعی از روش ترکیبی آستانه NDVI و طبقه‌بندی تصویر استفاده شد. شاخص NDVI بر پایه ارتباط جذب انرژی در محدوده طیفی قرمز توسط کلروفیل و افزایش انعکاس در انرژی مادون قرمز نزدیک برای پوشش گیاهی سالم استوار است (Lenney et al., 1996). NDVI را با استفاده از روش‌های زیر می‌توان محاسبه کرد. برای سنجنده OLI لندست ۸ مقدار NDVI از رابطه (۵) به دست می‌آید.

1 Brightness Temperature

2 emissivity

3 Digital Number

$$NDVI_{OLI/TIRST} = (B5-B4)/(B5+B4) \quad (5)$$



شکل ۴- پوشش گیاهی طبقه‌بندی شده شهر مشهد. مأخذ: نگارندگان

توان تشعشعی سطح زمین^۱ با استفاده از ترکیب روش آستانه NDVI و طبقه‌بندی تصاویر برآورد شد (B5 باند مادون قرمز نزدیک و B4 باند قرمز سنجنده).

$$LSE = \epsilon_s (1 - FVC) + \epsilon_v * FVC \quad (6)$$

در این مرحله پوشش گیاهی جزء به جزء باید محاسبه شود. برای محاسبه این فاکتور از شاخص NDVI استفاده می‌شود. پوشش گیاهی جزء به جزء برآوردی کسری از منطقه تحت پوشش گیاهی است. از این فاکتور برای تخمین LSE استفاده می‌شود.

$$FVC = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (7)$$

در رابطه (۶)، ϵ_s و ϵ_v به ترتیب مقادیر توان تشعشعی خاک و پوشش گیاهی و کسر پوشش گیاهی^۲ است. کسر پوشش گیاهی برای یک پیکسل محاسبه می‌شود. در رابطه (۷) $NDVI_{max}$ ، مربوط به پوشش گیاهی (بیشترین میزان NDVI) و $NDVI_{min}$ ، مربوط به خاک (کمترین میزان NDVI) است.

شاخص FVC برای محیط‌های با پوشش ترکیبی مانند محیط شهری که عوارض متعددی در داخل یک پیکسل قرار می‌گیرند، مناسب است؛ زیرا این شاخص فقط اطلاعات مربوط به سطح پوشش داده شده توسط پوشش گیاهی

1 Land Surface Earth (LSE)

2 Fractional Vegetation Cover (FVC)

را در اختیار ما می‌گذارد و از اطلاعات مربوط به تراکم پوشش گیاهی که منجر به غیرواقعی نشان داده شدن میزان این پوشش می‌شود، چشم‌پوشی می‌کند. از داده‌های جدول (۳) استفاده می‌شود:

جدول ۳- ضرایب انتشار خاک و گیاه (مأخذ: Latif,2014)

Emissivity	Band10	Band11
انتشار خاک ϵ_s	۰,۹۷۱	۰,۹۷۷
انتشار گیاه ϵ_v	۰,۹۸۷	۰,۹۸۹

بعد از محاسبه این مقادیر با استفاده از فرمول (۸) مقدار دمای سطح زمین را محاسبه می‌کنیم. برای به دست آوردن دمای سطح زمین از داده‌های حرارتی لندست ۸ TIRS از الگوریتم دو پنجره استفاده شده است (Latif,2014)

$$LST = TB_{10} + C_1 + (TB_{10} - TB_{11}) + C_2(TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4W)(1 - m) + (C_5 + C_6W)\Delta m \quad (8)$$

در فرمول (۸) مقادیر ثابت از جدول (۴) و مقادیر m و Δm از فرمول (۹) و (۱۰) به دست می‌آید (Latif,2014):

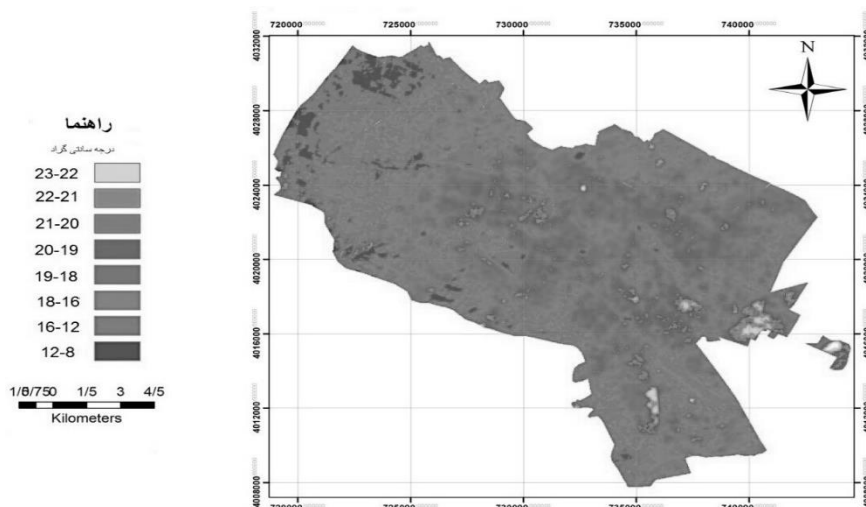
$$\text{mean of LSE} = m = \frac{LSE_{10} + LSE_{11}}{2} \quad (9)$$

$$\text{Difference of LSE} = \Delta m = LSE_{10} - LSE_{11} \quad (10)$$

جدول ۴- مقادیر ثابت فرمول split-window (مأخذ: Latif,2014)

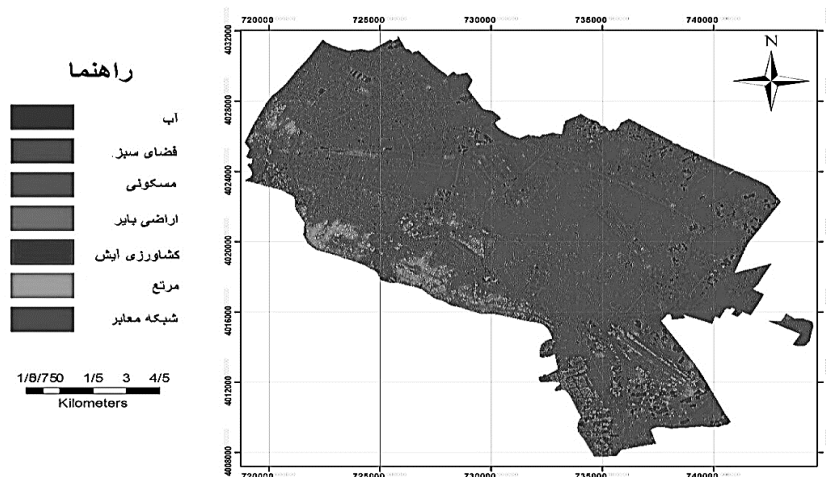
ثابت	مقدار
C0	-0.268
C1	1.378
C2	0.183
C3	54.300
C4	2.238
C5	-129.200
C6	16.400

نتیجه به صورت نقشه زیر است:



شکل ۵- نقشه طبقات حرارتی مشهد. مأخذ: نگارندگان

همچنین برای طبقه‌بندی تصاویر از الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد. در این روش طبقه‌بندی، هر پیکسل به کلاسی انتصاب داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق به آن کلاسی را دارد (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹). در واقع در این روش از واریانس و کوواریانس کلاس‌ها استفاده می‌شود و هر پیکسل تصویر به کلاسی که بیشترین شباهت را با آن دارد اختصاص داده می‌شود (علوی پناه، ۱۳۹۲).



شکل ۶- طبقه‌بندی نظارت‌شده تصویر ۲۰۱۷ شهر مشهد با استفاده از روش حداکثر احتمال. مأخذ: نگارندگان

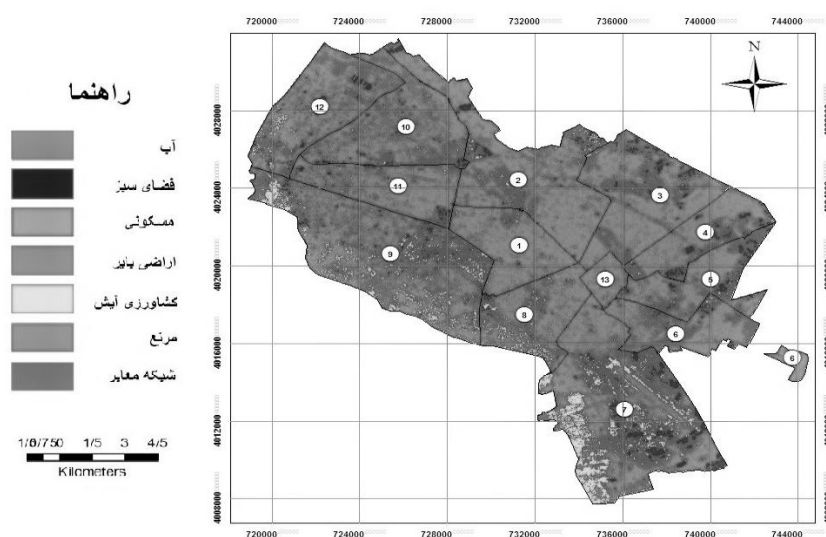
در این مطالعه، تصاویر به ۶ طبقه (شامل: پوشش گیاهی، مسکونی، آب، اراضی بایر، مرتع، شبکه معابر) تقسیم گردید. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی از روش ماتریس درهمی استفاده شده است که متوسط دقت حدود ۹۸٪ برآورد شده است.

۴- جمع بندی

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که دمای سطح زمین تحت تأثیر کاربری اراضی مختلف سطح زمین تغییر پیدا می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با ایجاد رابطه بین شاخص پوشش گیاهی از جمله NDVI و FVC می‌توانیم درجه حرارت زمین را پیش‌بینی کنیم همچنین جهت دست پیدا کردن به نتایج بهتر در رابطه با برآورد دمای سطح زمین می‌توان از تصاویر سنجنده های با قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی بالاتر استفاده کرد. (فیضی زاده و دیده‌بان، ۱۳۹۵) بر این اساس استفاده از الگوریتم پنجره مجزا به دلیل استفاده از ۲ باند حرارتی نسبت به روش تک پنجره‌ای دقت بیشتری دارد علاوه بر باندهای حرارتی معیارهای دیگری نیز در این الگوریتم تأثیرگذار هستند که بر اساس روابط ریاضی به دست می‌آید. همان‌طور که در تحقیقات قبلی مشخص شده است دمای سطحی در مناطقی که پوشش گیاهی کمتری دارد بیشتر است (Feizizadeh, et al, 2012) و همچنین بستر آسفالت و پوشش بام‌ها با رنگ تیره دمای بیشتری نسبت به پوشش‌های رنگ روشن (بام‌های سبز) دارند.

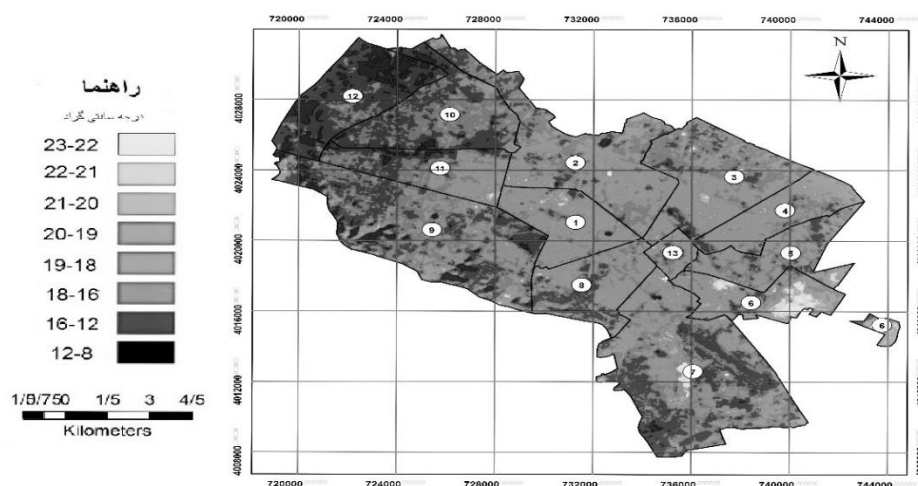
به‌طور خلاصه نتایج این تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

در بررسی ارتباط بین کاربری اراضی، دمای سطح زمین و پوشش گیاهی مشخص شد کاربری فضای سبز با دمای ۱۱ درجه سانتی‌گراد و کاربری آب با ۸ درجه سانتی‌گراد کمترین دمای سطحی و کاربری مسکونی با دمای ۲۱ درجه و پوشش آسفالت با دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد بیشترین دمای سطحی را دارند. عامل پوشش آسفالت تأثیر زیادی در ایجاد جزایر حرارتی دارد قسمت‌های شمالی شهر مشهد، فرودگاه و بزرگراه‌های که مقدار آسفالت به‌کاررفته در آن‌ها زیاد است دمای بالاتری دارند.



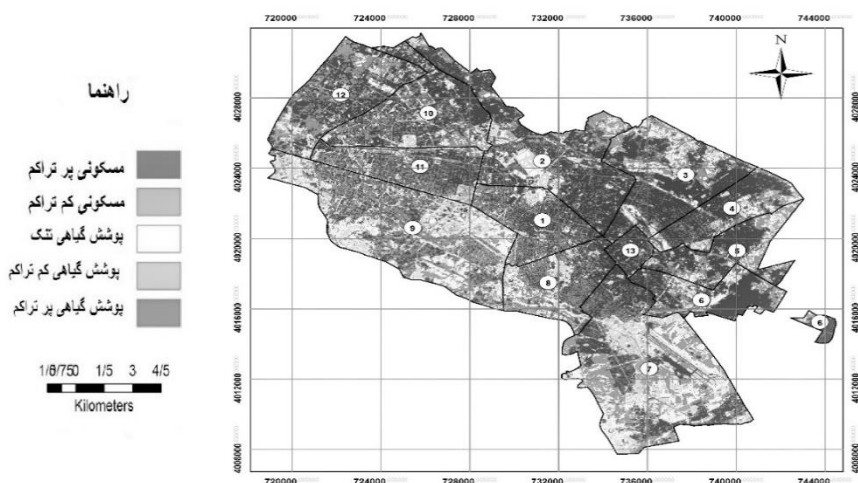
شکل ۷- طبقه‌بندی کاربری اراضی و مناطق شهرداری مشهد. مأخذ: نویسندگان

منطقه ۶ بیشترین دما و کمترین فضای سبز را دارد و نشان‌دهنده منطقه مسکونی با تراکم بالا و بدون پوشش گیاهی است و منطقه ۱۲ کمترین دما و بیشترین فضای سبز را دارا است. با حرکت از مرکز شهر به سمت کوهپایه‌های اطراف شهر مشهد عواملی مثل باد و پوشش گیاهی بیشتر به کاهش دما کمک می‌کنند (شکل ۷)



شکل ۸- طبقه‌بندی دمای سطحی و مناطق شهرداری مشهد. مأخذ: نویسندگان

شاخص‌ترین فضاهای سبز شهری پارک ملت در منطقه ۹ و کوه سنگی در منطقه ۸ است که با توجه به دور بودن این فضاهای سبز از مناطق صنعتی و مناطق پرتراکم شهر مشهد، دمای سطحی بسیار پایین است (شکل ۸). در منطقه ۹ مشهد (ارتفاعات آب و برق) و کمربند سبز اطراف مشهد قسمتی از پوشش گیاهی مرتع و زمین بایر وجود دارد که یک پوشش گیاهی طبیعی را در بر گرفته است بهتر این مناطق توسط قرق احیا شود و از تخریب آن جلوگیری شود (شکل ۹).



شکل ۹- طبقه‌بندی پوشش گیاهی و مناطق شهرداری مشهد مأخذ: نویسندگان

منابع

- احمدی، محمود، داداشی رودباری، عباسعلی؛ ۱۳۹۵. آثار ترکیبات بیوفیزیکی در شکل‌گیری جزایر حرارتی شهر. *سنجش‌ازدور و GIS/ایران*. سال هشتم. شماره سوم. پاییز ۱۳۹۵
- آمارنامه شهر مشهد؛ ۱۳۹۴. شهرداری مشهد. معاونت برنامه‌ریزی و توسعه. دی‌ماه ۱۳۹۵
- ترکاشوند، محمدقاسم؛ ۱۳۹۵. آشکارسازی جزایر حرارتی شهر اراک مبتنی بر تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی. *فصل‌نامه آمایش محیط*. شماره ۳۵. ص ۲
- الحسینی المدرسی، سید علی، ساعتی، مهدی، ابراهیمی، سید عقیل؛ ۱۳۹۴. استخراج جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از تصاویر ASTER. اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. ۲۹ و ۳۰ دی‌ماه. ص ۲
- دباغیان امیری، مجید، شاهدی، کاکا، دیو سالار، اسدالله؛ ۱۳۹۳. بررسی ارتباط پوشش شهری و غیرشهری با جزایر حرارتی با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS. همایش ملی الکترونیکی دستاوردهای نوین در علوم مهندسی و پایه. رنگزن، کاظم، فیروزی، محمدعلی، تقی زاده، ایوب، مهدی زاده، رامین؛ ۱۳۸۹. بررسی و تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از R.S و GIS. اولین سمینار ملی کاربرد GIS در برنامه‌ریزی اقتصادی اجتماعی و شهری.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر، عزیز، قاسم، کریمی احمدآباد، مصطفی، مقبل، معصومه؛ ۱۳۹۱. رفتار سنجی الگوهای دمای سطوح فیزیکی مختلف در محیط‌زیست شهری، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۶، بهار ۱۳۹۲، صص ۸۶-۶۷.
- صادقی، حمید، عقیقی، محمدابراهیم، صوری، داوود؛ ۱۳۹۶. بررسی وقوع پدیده جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Aster (منطقه مورد مطالعه: شهر شیراز). سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم مهندسی. ۹ شهریورماه. ص ۴.
- علوی پناه، سید کاظم، هاشمی دره بادامی، سیروس، کاظم‌زاده، علی؛ ۱۳۹۴. تحلیل زمانی-مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری- پوشش زمین. *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*. دوره ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴، صص ۱۷-۱.
- علوی پناه، سید کاظم؛ ۱۳۹۲. کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین (علوم خاک). انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم.
- علوی پناه، سید کاظم؛ ۱۳۹۴. سنجش‌ازدور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. انتشارات دانشگاه تهران.
- علیزاده بنا، لیدا، ثنایی نژاد، سید حسین، مینائی، مسعود؛ ۱۳۹۵. بررسی ارتباط گرمایی شهری مشهد با عملکرد پوشش گیاهی شهری و کشاورزی با استفاده از تصاویر لندست در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵. اولین کنفرانس ملی سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم زمین.
- فاطمی، سید باقر؛ رضایی، یوسف؛ ۱۳۸۹. مبانی سنجش‌ازدور، انتشارات آزاده. چاپ دوم
- فیضی زاده، بختیار، دیده‌بان، خلیل؛ ۱۳۹۵. برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد. *فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر*. دوره ۲۵. شماره ۹۸. تابستان ۹۵.

متکان، علی اکبر، نوحه گر، احمد، میرباقری، بابک، ترک چین، ناهید؛ ۱۳۹۳. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. سال پنجم. شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۳

محرمی، جاوید؛ ۱۳۹۴، بررسی نقش کاربری اراضی در تولید جزیره گرمایی شهری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما، جهانبخش اصل، سعید. آب‌وهوا شناسی. دانشگاه تبریز. ص ۱۱

مزیدی، احمد، حسینی، فاطمه السادات؛ ۱۳۹۴. تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین‌بر جزیره گرمایی در منطقه شهری یزد با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور. *جغرافیا و توسعه*. شماره ۳۸. بهار.

نیلیه بروجنی، مرضیه، احمدی ندوشن، مژگان، فروغی ابری، مریم؛ ۱۳۹۵. پایش دمای سطح زمین در شهر اصفهان با استفاده از سنجش‌ازدور و بررسی رابطه آن با شاخص NDVI. ششمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. ۱۶ دی‌ماه. ص ۱.

هاشمی، سید محمود، علوی پناه، سید کاظم، دیناروندی، مرتضی؛ ۱۳۹۱. ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط‌زیست شهری با کاربرد سنجش‌ازدور حرارتی. *محیط‌شناسی*. سال سی و نهم. شماره ۱. بهار. صص ۸۱-۹۲

Feizizadeh, B, Blaschke, T, Nazmfar, H, Akbari, E and Kohbanani, H, R., 2012. Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in Maraqeh County, Iran, *Journal of Environmental Planning and Management* 2012, 1–26

<http://gis-remote-sensing.mihanblog.com/post/22>

Latif, S. H., 2014. Land Surface Temperature Retrieval of Landsat-8 Data Using Split Window Algorithm, 2321-9939

Lenney, M. P., Woodcock, C. E., Collins, J. B., & Hamdi, H., 1996. The status of agricultural lands in Egypt: the use of multitemporal NDVI features derived from Landsat TM. *Remote Sensing of Environment*, 56(1), 8-20.

Rajeshwari, A., & Mani, N. D. Estimation of land surface temperature of dindigul district using landsat data

Song, Y. & Wu, C., 2016. Examining the impact of urban biophysical composition and neighboring environment on surface urban heat island effect. *Advances in space research*, 57(1), 96-109

Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., & Chen, H. 2010. The Urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International journal of biometeorology*, 54(1), 75-84

