



## پایش مکانی-زمانی تغییرات دمای سطح و ارتباط آن با تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۶۴ مطالعه موردی: شهر آمل

نعمیم میجانی<sup>۱\*</sup>، محمد کریمی فیروزجایی<sup>۱</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی- دانشکده جغرافیا - دانشگاه تهران

### چکیده:

طی دهه‌های گذشته سطح زمین دستخوش تغییرات فراوانی ناشی از فعالیت‌های انسانی از جمله تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهرها شده است. این تغییرات گسترده انسانی، پیامدهای ناخواسته و ناخواهایندی همچون افت کیفی محیط زیستی را به همراه دارد که سرانجام به کاهش کیفیت زندگی منجر می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح برای محدوده شهر آمل و حومه آن طی بازه زمانی سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۹۴ می‌باشد. برای این منظور در این پژوهش از تصاویر چند زمانه لندست ۵ و ۸، محصول بخار آب مودیس و داده‌های زمینی استفاده شده است. برای محاسبه دمای سطح زمین از الگوریتم تک باندی و برای طبقه‌بندی تصاویر از الگوریتم بیشترین شباهت استفاده شده است. میانگین دمای کاربری‌های مختلف در تمام سال‌ها بررسی و ارتباط بین دمای سطح و شاخص پوشش گیاهی تحلیل شده است. سپس تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح زمین بررسی و درنهایت رابطه بین تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح منطقه طی بازه زمانی مورد مطالعه تجزیه و تحلیل شده است. نتایج پژوهش نشان دهنده این است که تغییرات کاربری اراضی به نحوی بوده که اراضی ساخته شده با رشد ۷۸ درصدی و اراضی کشاورزی با کاهش چشمگیری مواجه شده‌اند. بین دمای سطح با شاخص پوشش گیاهی ارتباط معکوس با ضریب همبستگی بالا وجود دارد. در تمام سال‌ها کاربری اراضی ساخته شده بیشترین و کاربری‌های فضای سبز و کشاورزی کمترین میانگین دمای سطح را دارند. بررسی ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح نشان می‌دهد که تبدیل دیگر اراضی به اراضی ساخته شده بیشترین تغییرات دما در حدود ۷ درجه رو به همراه داشته است. نتایج پژوهش اهمیت برنامه‌ریزی و مدیریت برای حفظ اراضی کشاورزی و فضای سبز و جلوگیری از تبدیل آن‌ها به اراضی ساخته شده را نمایان می‌سازد. برای این منظور استفاده از فن آوری سنجش از دور بسیار کارا و موثر می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** دمای سطح زمین، الگوریتم تک باندی، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، سنجش از دور.

## ۱- مقدمه

امروزه با توسعه شهرنشینی مساحت بسیار زیادی از جمله کشاورزی، فضای سبز و غیره جای خود را به مناطق شهری، مناطق صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها داده‌اند. افزایش جمعیت، مشکلات زیادی همچون افزایش آلودگی ناشی از صنایع و افزایش تردد اتوبوس‌ها و در نتیجه افزایش دمای سطح در مناطق شهری و اطراف آن را به همراه دارد. دمای سطح زمین ( $LST^1$ ) یکی از پارامترهای کلیدی برای کنترل و ارزیابی فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سطح زمین و یک عامل مهم برای مطالعه آب‌وهوا در مناطق شهری محسوب می‌شود [۱]. افزایش دمای سطح در مناطق شهری مشکلاتی فراوانی ایجاد می‌کند. نخستین اثر مهم افزایش دمای شهری افزایش مصرف انرژی، آب و الکتریسیته و درنتیجه افزایش سرانه بار مالی بهویژه در ماههای گرم سال می‌باشد [۲]. مسئله دوم اینکه پدیده افزایش دما سطح نمایانگر کمبود شدید فضای سبز شهری است. کمبود فضای سبز شهری معمولاً خود موجب بروز مشکلات دیگری در محیط شهری می‌شود. با توجه به روند افزایش جمعیت، نگرانی‌های مربوط به مصرف انرژی، دغدغه برای ایجاد محیط‌های شهری با کیفیت‌تر و اهمیت برنامه‌ریزی برای محیط شهری و حفظ منابع طبیعی در دنیای امروز بررسی روند تغییرات کاربری اراضی و تاثیر آن بر تغییرات دمای سطح را مهم کرده است. داده‌های دمای ثبت شده توسط ایستگاه‌های سینپوتیک فاقد قدرت تفکیک مکانی مناسب می‌باشند. اما تصاویر سنجش از دور به دلیل پوشش وسیع و پیوسته، بهنگام بودن و توانایی کسب اطلاعات در محدوده‌های انعکاسی و حرارتی امواج الکترومغناطیسی، منبع اطلاعاتی مناسبی برای تهیه نقشه‌های حرارتی به شمار آمده و کاربردهای بسیاری برای بررسی دقیق تغییرات اقلیم و کاربری اراضی مناطق شهری و غیرشهری دارند.

در طول دو دهه اخیر نیاز فراوان به اطلاعات دمای سطح زمین برای مطالعات محیطی و فعالیت‌های مدیریتی منابع زمین، سنجش از دور دمای سطح زمین را به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل کرده است [۳]. نخستین مطالعاتی که کوشیدند با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی وضعیت حرارتی شهری را مطالعه کنند از داده‌های سنجنده NOAA AVHRR استفاده کردند [۴، ۵، ۶ و ۷]. قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی برای تمام این مطالعات ۱/۱ کیلومتر بوده که فقط برای تهیه نقشه کوچک مقیاس دمای مناطق شهری مناسب می‌باشد. با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی ماهواره‌های لندست و استر امکان استخراج درجه حرارت سطح زمین و مطالعه دقیق‌تر تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح مناطق شهری فراهم شده و مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است [۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶]. اکسیان و کرین (۲۰۰۹) با بررسی پوشش زمین و ویژگی‌های حرارتی آن به کمک داده‌های لندست در منطقه شهر تمپابای و لاس وگاس نشان دادند که می‌توان ویژگی‌های حرارتی سطح زمین و الگوهای آن را از طریق کیفیت کاربری اراضی شناسایی کرد. چن و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح در ایالت کوانتاک چین دریافتند که طی سال‌های اخیر مناطق با بیشینه دما در مناطق شهری افزایش یافته که ناشی از تغییر و تحولات کاربری‌های اراضی در این منطقه می‌باشد. در مطالعاتی متعددی در گذشته ارتباط بین دما و شاخص‌های بیوفیزیکی سطح مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی ارتباط بین  $LST^2$  و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده ( $NDVI^3$ ) از اولین مطالعات در این حوزه بوده است [۱۷، ۱۸ و ۱۹]. در ادامه مطالعاتی درباره ارتباط دیگر شاخص‌های بیوفیزیکی همچون کسر پوشش گیاهی ( $FVC^3$ ) و درصد سطوح نفوذناپذیر با دمای سطح انجام شده است که نتایج نشان دهنده از ارتباط قوی بین این شاخص‌ها و دمای سطح زمین می‌باشد [۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵]. افزایش جمعیت شهر آمل در دهه‌های گذشته باعث افزایش ساخت و سازهای بی‌رویه و بی‌برنامه شهری و گسترش آن در جهت‌های مختلف شده است. گسترش فیزیکی اراضی ساخته شده باعث ایجاد تغییرات زیادی در کاربری اراضی شهری و کاربری‌های منابع طبیعی اطراف شهر شده است. این موضوع

<sup>1</sup> Land Surface Temperature

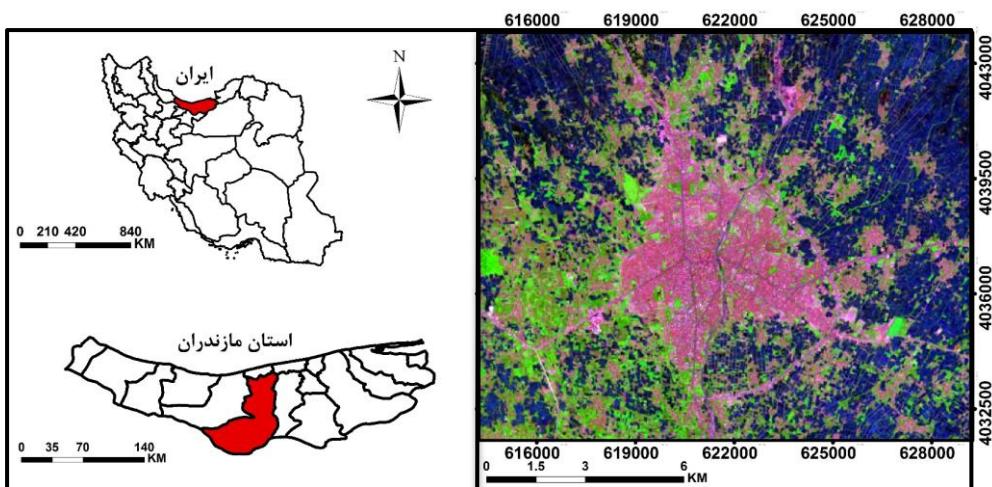
<sup>2</sup> Normalized Difference Vegetation Index

<sup>3</sup> Fraction Vegetation Cover

مشکلاتی از قبیل ناسازگاری در کاربری‌ها و آشفتگی محیط شهری را به همراه داشته است. لذا جهت انجام فرآیند برنامه‌ریزی، اهمیت و ضرورت مطالعه روی تغییرات کاربری اراضی و درنتیجه، روند تغییرات دمایی سطح ناشی از آن نمایان می‌گردد. هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با تغییرات دمای سطح محدوده شهر آمل و حومه آن در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۶۴ می‌باشد.

## ۲- محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل شهرستان آمل یکی از بزرگ‌ترین و صنعتی‌ترین شهرهای شمال ایران است. این شهرستان در مرکز استان مازندران و طرفین رود هراز با ارتفاع ۷۶ متر از سطح دریا در ۵۲ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و در فاصله ۷۰ کیلومتری غرب ساری، مرکز استان، ۱۸ کیلومتری جنوب دریای خزر و شش کیلومتری شمال دامنه کوه البرز و ۱۸۰ کیلومتری شمال شرقی تهران قرار دارد. این شهرستان با جمعیتی برابر با ۳۷۰۷۷۴ نفر جمعیت (شهر آمل؛ ۲۷۱۲۶۹ نفر) و ۳۰۷۴,۴ کیلومتر مربع مساحت در ناحیه S۳۹ سیستم تصویر UTM واقع شده است. شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان داده شده است.



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه

## ۳- مواد و روش

### ۳-۱- داده‌ها

در مطالعه حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و لندست ۸ استفاده شده است. این تصاویر زمین مرجع شده و در سیستم تصویر UTM در ناحیه S۳۹ قرار دارند. برای تکمیل پارامترهای ورودی برای تهیه نقشه دمای سطح از تصاویر ماهواره‌ای از محصول بخار آب سنجنده مودیس و داده‌های ایستگاه هواشناسی نزدیک به منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. برای جمع آوری داده‌های آموزشی لازم جهت انجام فرآیند طبقه‌بندی از نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های مختلف و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای در دسترس استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در پژوهش در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی مورد استفاده

نوع داده	ماهواره (سنجدنه)	قدرت تفکیک / مقیاس	تاریخ (شمسی)
تصاویر ماهواره‌ای	لندست ۵ (TM)	۳۰ متر	۱۳۶۴
تصاویر ماهواره‌ای	لندست ۵ (TM)	۳۰ متر	۱۳۷۹
تصویر ماهواره‌ای	لندست ۸	۳۰ متر	۱۳۹۴
نقشه توپوگرافی	---	۱:۲۵۰۰۰	۱۳۶۴-۷۹-۹۴
بخار آب	mod 07 MODIS	-	۱۳۷۸-۹۴
داده‌های ایستگاه هواشناسی	-	-	۱۳۶۴-۹۴

### ۲-۳- روش تحقیق

#### ۱-۲-۳- پیش‌پردازش

به منظور کنترل کیفیت داده‌ها و آگاهی از وجود خطاهای هندسی و رادیومتری داده‌ها مورد بررسی اولیه قرار گرفتند. نظر به اهمیت دقت تصحیح هندسی بر صحت نتایج آشکارسازی تغییرات، قبل از شروع پردازش‌ها و مقایسه‌های تصاویر مذکور، با توجه به زمین مرجع بودن این تصاویر، تصحیح هندسی به روش ثبت تصویر به نقشه انجام شد. برای این منظور از نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه برای سال‌های مختلف استفاده شده است. سپس با توجه به اهمیت تأثیر اثرات رادیومتریکی و جوی بر نتایج نهایی بررسی تغییرات کاربری اراضی و محاسبه دمای سطح، تمام تصاویر با استفاده از الگوریتم تصحیح اتمسفری FLAASH تصحیح شدند.

#### ۲-۲- طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی تغییرات

انواع طبقه‌های کاربری اراضی موجود در محدوده مورد مطالعه با توجه به تسلط کامل نگارنده بر منطقه، بازدیدهای میدانی و تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای مشخص شدند. این طبقه‌ها شامل اراضی ساخته شده، کشاورزی، فضای سبز و بایر می باشند. پیش از طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر، بایستی داده‌های آموزشی به دقت انتخاب شوند. هدف از عملیات آموزشی آن است که به یک مجموعه آماری، که بیانگر الگوی طیفی پوشش زمینی باشد دست یابیم. تعریف اشتباه کلاس‌های موردنیاز توسط داده‌های آموزشی، بر کل روند طبقه‌بندی با نظارت تأثیر گذاشته و موجب طبقه‌بندی اشتباه تصویر می‌شود [۲۶]. در این مرحله، با استفاده از تفسیر چشمی و اطلاعات نقشه‌های توپوگرافی به تهیه داده‌های آموزشی برای هر چهار طبقه جهت استفاده در عملیات طبقه‌بندی نظارت شده اقدام گردید. در این پژوهش، از روش بیشترین شباهت برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده شده است. در این روش بعد از ارزیابی احتمالات در هر کلاس، پیکسل‌ها به کلاس‌هایی که بیشترین احتمال را دارند اختصاص می‌یابند [۲۶].

پس از پایان عملیات طبقه‌بندی تصاویر، دقت طبقه‌بندی با استفاده از نقاط کنترل جمع‌آوری شده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه و تفسیر تصاویر ارزیابی شد. در نهایت، پس از ارزیابی دقت طبقه‌بندی و تائید معنی دار بودن خطاهای، مساحت مربوط به کاربری‌ها در تمام سال‌ها استخراج گردید. جهت پی بردن به تغییرات حادث شده در مقطع زمانی مورد مطالعه، تصاویر طبقه‌بندی شده مورد مقایسه قرار گرفتند. برای بررسی و تحلیل دقیق تغییرات، از مدل کراس‌تپ استفاده شده است. در این مدل هم محاسبه تعداد پیکسل‌های که بین دو تاریخ تصویربرداری، تغییریافته امکان‌پذیر شده و هم می‌توان ماهیت تغییرات اراضی را مشخص کرد.

### ۳-۲-۳- نقشه شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده

شاخص NDVI نسبت به تغییر در مقدار بیومس، مقدار کلروفیل و تنفس در مقدار آب تاج پوشش واکنش نشان می‌دهد، این شاخص اساسا بر پایه رفتارهای مختلف نمایش داده شده به وسیله اختلاف در طول موج‌های الکترومغناطیسی گسیل شده از گیاهان می‌باشد. این شاخص از رابطه (۱) به دست می‌آید [۲۷].

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $\rho_{nir}$  و  $\rho_{red}$  به ترتیب بازنگشتنی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشد. مقادیر این شاخص بین -۱ و +۱ می‌باشد.

### ۳-۲-۴- دمای سطح

برای محاسبه دمای سطح منطقه از الگوریتم تک باندی استفاده شده است. این الگوریتم توسط جیمز و سوبرینو [۲۸] توسعه یافته و رابطه کلی ارائه شده برای محاسبه دمای سطح در این الگوریتم به صورت رابطه (۲) می‌باشد.

$$LST = \gamma \left[ \frac{1}{\epsilon} (\psi_1 L_{sen} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta \quad (2)$$

در رابطه (۲)، LST دمای سطح،  $L_{sen}$  میزان انرژی ثبت شده در سنجنده برای باند حرارتی،  $\epsilon$  میزان توان تشعشعی مربوط به طول موج باند حرارتی مورد استفاده،  $\gamma$  و  $\delta$  دو پارامتر وابسته به تابع پلانک هستند که به ترتیب با استفاده از رابطه (۳) و (۴) محاسبه می‌شود. همچنین  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  و  $\psi_3$  توابع ثابت اتمسفری هستند که برای لندست ۸ از طریق رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$\gamma = \frac{T_{sen}^2}{b_\lambda L_{sen}} \quad (3)$$

$$\delta = -\gamma \times L_{sen} + T_{sen} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \psi_1 = 0/04019w^2 + 0/02916w + 1/01523 \\ \psi_2 = -0/38333w^2 - 1/50294w - 0/20324 \\ \psi_3 = +0/00918w^2 + 1/36072w - 0/27514 \end{cases} \quad (5)$$

در روابط فوق،  $T_{sen}$  دمای درخشندگی ثبت شده در سنجنده،  $L_{sen}$  میزان انرژی ثبت شده در سنجنده برای باند حرارتی،  $b_\lambda$  ضریب ثابتی است که برای باند ۱۰ لندست ۸ برابر با ۱۳۲۴ درجه کلوین در نظر گرفته می‌شود.  $w$  میزان بخار آب موجود در اتمسفر که با استفاده از محصول بخار آب مودیس برای تاریخ موردنظر به دست می‌آید. برای محاسبه توان تشعشعی عوارض سطح از روش جیمز و سوبرینو [۲۹] استفاده شده است.

در نهایت نقشه‌های دمای سطح و شاخص پوشش گیاهی منطقه بررسی و ارتباط بین این دو پارامتر استخراج شده است. میانگین دمای هریک از کاربری‌های اراضی در سال‌های مختلف محاسبه و تحلیل شده است در انتهای با توجه به نقشه‌های تغییرات دمای سطح و کاربری اراضی برای بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۶۴ تاثیر تغییرات کاربری اراضی بر تغییرات دمای سطح بررسی شده است.

## ۴- بحث و نتایج

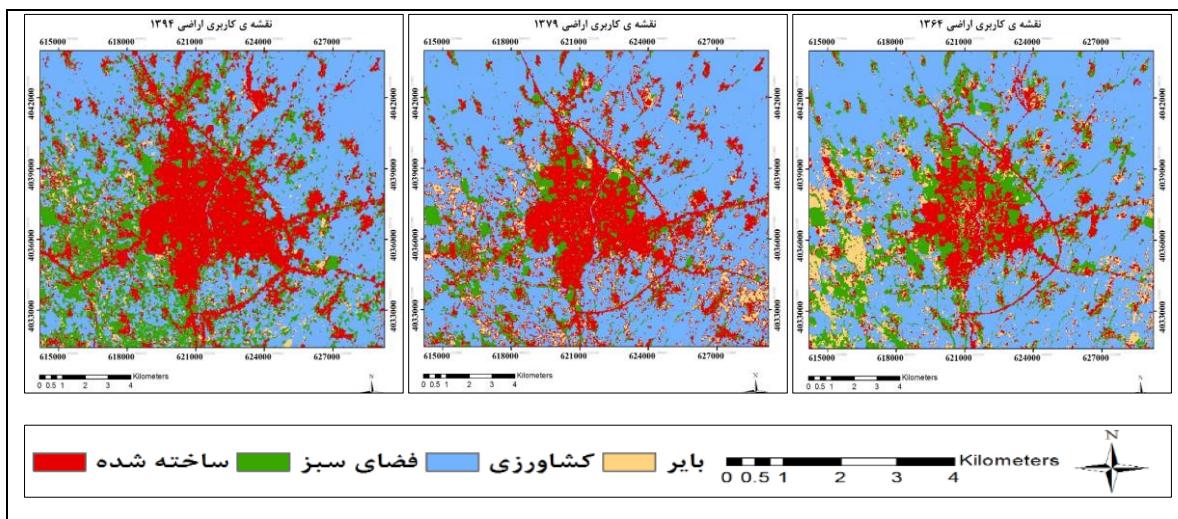
### ۴-۱- نتایج طبقه‌بندی تصاویر

تصحیح هندسی تصاویر، قبل از انجام عملیات طبقه‌بندی با خطای کمتر از ۵/۰ پیکسل انجام شده است. نتایج حاصل از ارزیابی دقیق طبقه‌بندی در جدول (۲) نشان داده شده است.

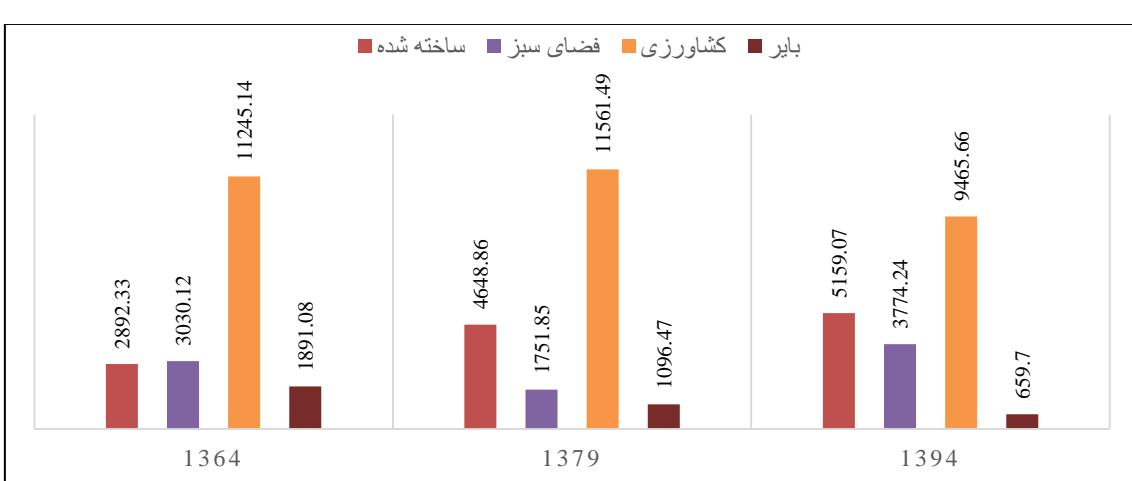
جدول ۲: ارزیابی دقیق نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده

سال	۱۳۶۴	۱۳۷۹	۱۳۹۴
ضریب کاپا	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۹۳
صحت کلی	۸۹	۹۰	۹۲

نتیجه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۷۹-۱۳۹۴ به صورت شکل (۲) نشان داده شده است.



مساحت کاربری‌های اراضی برای دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴ به صورت شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: مساحت طبقات مختلف کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۷۹-۱۳۹۴ (هکتار)

#### ۲-۴- تحلیل تغییرات احداث شده در کاربری اراضی

طبق جدول ماتریسی حاصل از مدل کراس-تپ می‌توان گفت که محدوده‌ی مورد مطالعه از لحاظ تغییر و دگرگونی کاربری‌ها، طی مقطع زمانی مورد مطالعه چه مقدار تغییرات داشته است. نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در دوره زمانی مورد بررسی در جدول شماره (۳) نشان داده شده است.

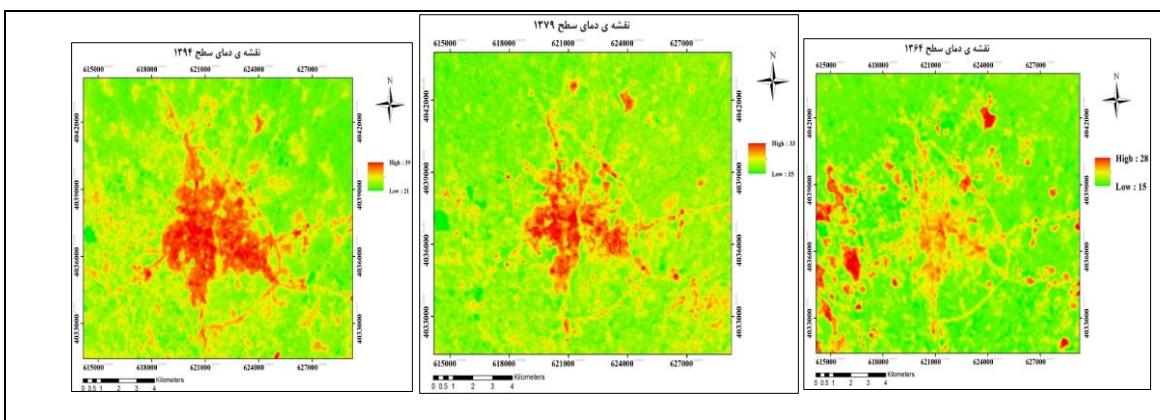
جدول ۳: ماتریس تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۹۴ (هکتار)

	ساخته شده	فضای سبز	کشاورزی	بایر	(۱۳۹۴)
ساخته شده	۶۲/۲۷۱۶	۳۹/۹۳۰	۱۵/۹۴۵	۹۱/۵۶۶	۰۷/۵۱۵۹
فضای سبز	۱۹/۲۳	۳۳/۱۲۷۸	۵/۱۸۴۶	۲۲/۶۲۶	۲۴/۳۷۷۴
کشاورزی	۳/۷۵	۵۶/۷۵۱	۵۹/۸۰۵۶	۲۱/۵۸۲	۶۶/۹۴۶۵
بایر	۲۲/۷۷	۸۴/۶۹	۹/۳۹۶	۷۴/۱۱۵	۷/۶۵۹
(۱۳۶۴)	۳۳/۲۸۹۲	۱۲/۳۰۳۰	۱۴/۱۱۲۴۵	۰/۸۱۸۹۱	۶۷/۱۹۰۵۸

نتایج حاصل از جدول (۳) بیانگر این است که وسعت اراضی کشاورزی از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۹۴ روند کاهشی داشته است. به طوری که ۹۴۵/۱۵ هکتار به اراضی ساخته شده، ۱۸۴۶/۶ هکتار به اراضی فضای سبز و ۳۹۶/۹ هکتار به اراضی بایر تبدیل شده است. این تغییرات در حاشیه کناری شهر نمود بیشتری دارد. کاربری فضای سبز از ۳۰۳۰/۱۲ هکتار در سال ۱۳۶۴ به ۳۷۷۴/۲۴ هکتار در سال ۱۳۹۴ رسیده است که رشد ۲۴ درصدی را نشان می‌دهد. روند رشد کاربری فضای سبز در جنوب شرقی شهر با تبدیل زمین‌های کشاورزی به باغ مرکبات کاملاً مشخص می‌باشد. رشد کاربری فضای سبز به نسبت رشد کاربری ساخته شده دارای سرعت کمتری است. کاربری ساخته شده روند رو به رشد قبل ملاحظه‌ای در دوره زمانی مورد مطالعه داشته است، به طوری که از ۱۵ درصد کل محدوده در سال ۱۳۶۴ با ۲۲۶۶/۷۴ هکتار افزایش وسعت، به ۲۷ درصد کل مساحت محدوده در سال ۱۳۹۴ رسیده است. بررسی تغییرات کاربری اراضی بایر نیز در بازه زمانی مورد مطالعه کاوش مساحت را نشان می‌دهد.

#### ۳-۴- دمای سطح

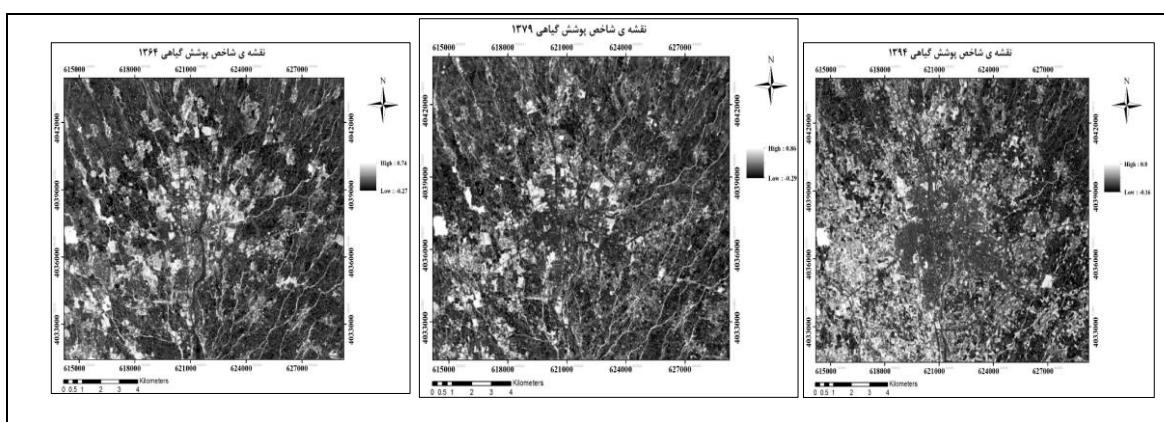
منطقه مورد مطالعه به دلیل شرایط خاص محیطی، به واسطه قرارگیری کاربری‌های ساخته شده، کشاورزی، فضای سبز و بایر کنار یکدیگر از نظر دمایی دارای بیشینه و کمینه با اختلاف زیاد می‌باشد. نقشه‌های دمای سطح بدست آمده برای منطقه، طی دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۳۷۹-۱۳۹۴ به صورت شکل (۴) نشان داده شده است



شکل ۴: نقشه دمای سطح برای سال‌های ۱۳۶۴-۱۳۷۹-۱۳۹۴ (درجه سانتی‌گراد)

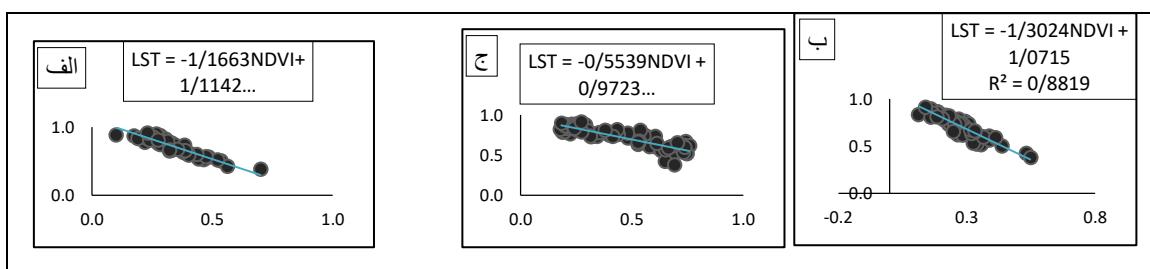
#### ۴-۴- رابطه بین پوشش گیاهی و دمای سطح منطقه

نقشه‌های اختلاف شاخص پوشش گیاهی نرمال شده برای سال‌های مختلف به صورت شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵: نقشه اختلاف شاخص پوشش گیاهی نرمال شده برای سال های ۱۳۶۴-۱۳۷۹-۱۳۹۴

دماه سطح، از شرایط مختلف سطح تأثیر می‌پذیرد، نواحی دارای تجمع پوشش گیاهی بیشتر نسبت به مکان‌های عاری از پوشش گیاهی، دماه سطح پایین تری دارند. پوشش گیاهی با جذب انرژی خورشید و تعرق آب از طریق برگ-های خود یک سیستم تهویه مطبوع طبیعی ایجاد می‌کند. ارتباط بین دماه سطح و مقادیر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده با استفاده از نقاط نمونه بررسی و نتایج آن به صورت شکل (۶) نشان داده شده است.

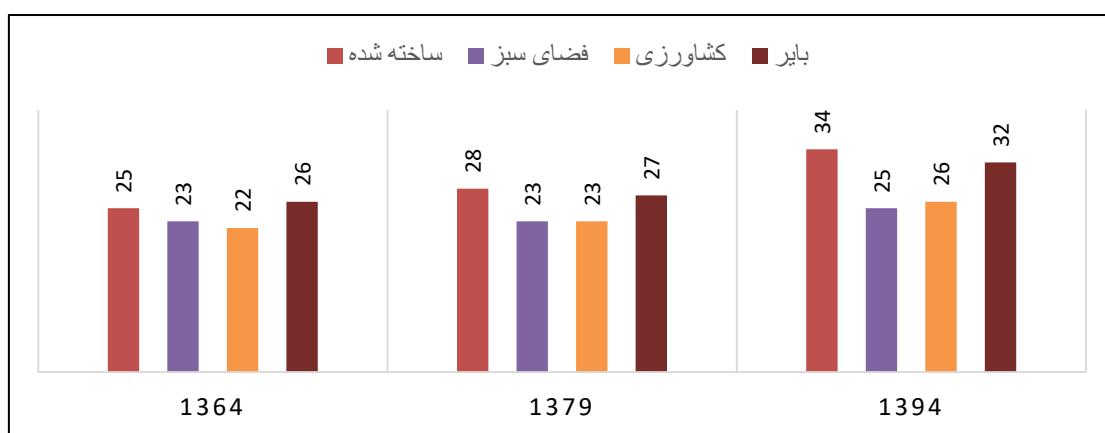


شکل ۶: ارتباط بین دماه سطح و مقادیر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده: الف: ۱۳۶۴ ب: ۱۳۷۹ ج: ۱۳۹۴

بررسی ارتباط بین دماه سطح و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، ارتباط خطی معکوس با ضریب همبستگی بالا را نشان می‌دهد.

#### ۴-۵- ارتباط بین کاربری اراضی و دماه سطح

نتایج بررسی میانگین دماه سطح انواع کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه برای سال‌های مختلف به صورت شکل (۷) نشان داده شده است.

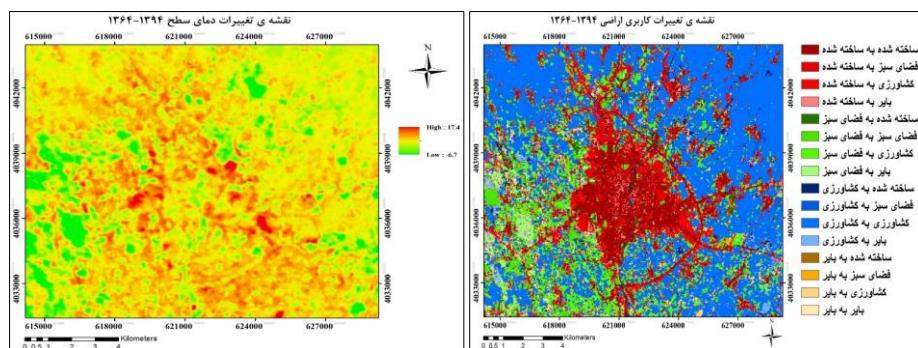


شکل ۷: نتایج بررسی میانگین دماه سطح انواع کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه

اراضی کشاورزی، به دلیل رطوبت بالا و ظرفیت حرارتی بالای آب دیر گرم می‌شوند. همچنین کاربری‌های فضای سبز به دلیل شاخص سطح برگ، درصد تعرق بالا و ایجاد سایه، دمایی پایین دارند. بیشترین دما مربوط به مناطق ساخته شده می‌باشد. این اراضی به علت توان تشعشی بالای مصالح شهری مانند آسفالت و سیمان بیشترین جذب نور خورشید را دارند. این مناطق همچنین به علت فعالیت‌های گرماساز انسانی، تردد وسایل نقلیه موتوری و ... بیشترین دما را نسبت به دیگر کاربری‌های زمین دارند. اراضی با پوشش خصوصیاتی همچون رطوبت و درصد سبزینگی پایین، دارای میانگین دمایی بالایی می‌باشند. در طی سال‌های مختلف اراضی کشاورزی و فضای سبز دارای ثبات در میانگین دمای سطح بوده و تغییرات چندانی در این زمینه نداشته‌اند. ولی میانگین دمای سطح اراضی ساخته شده طی ۳۰ سال گذشته روند افزایشی را شاهد بوده و میانگین دمای سطح آن حدود ۹ درجه افزایش پیدا کرده است از دلایل اصلی این موضوع می‌توان به توسعه صنایع و ابزار گرماساز همچون اتومبیل‌ها در سطح شهر به نسبت گذشته اشاره کرد.

#### ۴-۶- رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح

جهت بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تغییرات دمای سطح، نقشه تغییرات دمای سطح منطقه برای بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴ تهیه و با نقشه تغییرات کاربری اراضی مربوط به همان بازه زمانی بررسی شده است. نقشه تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح منطقه در بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴ به صورت شکل (۸) و نتایج حاصل از بررسی تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح منطقه در جدول (۴) نشان داده شده است.



شکل ۸: نقشه تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح منطقه

جدول ۴: نتایج بررسی میانگین تغییرات دمای سطح و تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴

تغییرات کاربری	ساخته شده به ساخته شده	کشاورزی به ساخته شده	فضای سبز به ساخته شده	بلژو به ساخته شده	ساخته شده به کشاورزی	کشاورزی به کشاورزی	فضای سبز به کشاورزی	بلژو به کشاورزی	ساخته شده به فضای سبز	کشاورزی به فضای سبز	فضای سبز به فضای سبز	بلژو به فضای سبز
میانگین تغییرات	۶	۷	۸	۲	-۶	۱	۱	-۴	-۷	-۱	۱	-۵

نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات دما به مناطقی اختصاص دارد که طی ۳۰ سال گذشته از دیگر کاربری‌ها به کاربری ساخته شده تبدیل شده‌اند. مناطقی که به صورت کاربری ساخته شده باقی مانده‌اند نیز به دلیل افزایش فعالیت‌های انسانی گرماساز افزایش دمای قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهند. اراضی فضای سبز و کشاورزی که

دستخوش تغییرات کاربری قرار نگرفته‌اند دارای کمترین تغییرات دما در منطقه هستند. تبدیل اراضی کشاورزی و فضای سبز به اراضی باир و بلعکس نیز تغییرات زیاد دمای سطح را به همراه خواهد داشت.

#### ۵- نتیجه‌گیری

امروزه با توسعه شهرنشینی مناطق زیادی از منابع طبیعی از جمله کاربری کشاورزی، فضای سبز و غیره جای خود را به مناطق شهری، مناطق صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها داده‌اند. این موضوع باعث ایجاد مشکلات و ناهنجاری‌های زیادی در مناطق شهری و غیرشهری می‌گردد. این مطالعه از طریق تلفیق داده‌های چند زمانه حرارتی و انعکاسی و به کارگیری الگوریتم‌های مربوط به علم سنجش از دور درصد پاسخگویی به سوالات متعددی در مورد نحوه تغییرات کاربری اراضی در شهر آمل و حومه آن در بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴ و تأثیر آن بر تغییرات دمای سطح در بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۶۴ مورد نظر می‌باشد. برای این منظور در این پژوهش از تصاویر چند زمانه لندست مربوط به سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۳۹۴، محصول بخار آب مودیس و داده‌های زمینی جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های هواشناسی و نقشه‌های توپوگرافی منطقه استفاده شده است. برای محاسبه دمای سطح زمین از الگوریتم تک باندی و برای طبقه‌بندی تصاویر از الگوریتم بیشترین شباهت استفاده شده است. میانگین دمای کاربری‌های مختلف در تمام سال‌ها بررسی و ارتباط بین دمای سطح و شاخص پوشش گیاهی تحلیل شده است. سپس تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح زمین بررسی و درنهایت رابطه بین تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح منطقه طی بازه زمانی مورد مطالعه تجزیه و تحلیل شده است. محدود مطالعه در طی دوره زمانی ۱۳۶۴-۱۳۹۴ دارای چهار طبقه کاربری ساخته شده، فضای سبز، کشاورزی و بایر می‌باشد. بررسی تغییرات کاربری اراضی افزایش مساحت برای کاربری‌های ساخته شده و فضای سبز و کاهش مساحت اراضی کشاورزی و بایر را طی دوره زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد. سرعت افزایش اراضی ساخته شده بیشتر از سرعت افزایش اراضی فضای سبز می‌باشد که همین امر سبب از بین رفتن اراضی کشاورزی و فضای سبز اطراف شهر و تبدیل آن به اراضی ساخته شده گردیده است. بررسی ارتباط بین دمای سطح و شاخص پوشش گیاهی ارتباط خطی معکوس با ضریب همبستگی بالا را نشان می‌دهد. در تمام سال‌های مورد مطالعه، اراضی ساخته شده دارای بیشترین و اراضی فضای سبز دارای کمترین میانگین دمای سطح می‌باشند. بررسی ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمای سطح نشان می‌دهد که تبدیل اراضی کشاورزی و فضای سبز به اراضی ساخته شده بیشترین تغییرات دما در حدود ۷ درجه را نشان می‌دهد همچنان عدم تغییر اراضی فضای سبز و کشاورزی کمترین تغییرات دما طی ۳۰ سال گذشته را در منطقه مورد مطالعه موجب شده است. نتایج پژوهش اهمیت برنامه‌ریزی و مدیریت برای حفظ اراضی کشاورزی و فضای سبز و جلوگیری از تبدیل آنها به اراضی ساخته شده که سبب افزایش دمای سطح و اثرات زیست محیطی منفی می‌گردد را نمایان می‌سازد. برای این منظور استفاده از قابلیت‌های فناوری سنجش از دور در زمینه‌های اپتیک و حرارتی بسیار کارا و موثر می‌باشد.

#### مراجع

- [1] C. W. Mackev. X. Lee and R. B. Smith. "Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island", *Building and Environment*, 49, 348-358, 2012.
- [2] M. Santamouris and D. Kolokotsa. "On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe", *Energy and Buildings*, 98, 125-133, 2015.
- [3] J. C. Jiménez-Muñoz and J. A. Sobrino, "A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22), 2003.
- [4] R. Balling and S. Brazel. "High-resolution surface temperature patterns in a complex urban terrain", *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54(9), 1289-1293, 1988.
- [5] K. P. Gallo and T. W. Owen. Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias. *Journal of Applied Meteorology*, 38(6), 806-813, 1999.

- [6] K. P. Gallo, A. L. McNab, T. R. Karl, J. F. Brown, J. J. Hood and J. D. Tarnley, "The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect", *Journal of Applied Meteorology*, 32(5), 899-908, 1993.
- [7] D. R. Streutker, "A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas", *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2595-2608, 2002.
- [8] C. Aniello, K. Morgan, A. Bushev, & L. Newland, "Mapping micro-urban heat islands using Landsat TM and a GIS", *Computers & Geosciences*, 21(8), 965-969, 1995.
- [9] X. L. Chen, H. M. Zhao, P. Li and Z. Yin, Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote sensing of environment*, 104(2), 133-146, 2006.
- [10] S. Haashemi, O. Weng, A. Darvishi and S. K. Alavipanah, "Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City", *Remote Sensing*, 8(4), 352, 2016.
- [11] X. Li, W. Zhou, Z. Ouvang, W. Xu and H. Zheng, "Spatial pattern of greenspace affects land surface temperature: evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area", China, *Landscape ecology*, 27(6), 887-898, 2012.
- [12] L. Liu and Y. Zhang, "Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong", *Remote Sensing*, 3(7), 1535-1552, 2011.
- [13] U. Raiasekar, & O. Weng, "Urban heat island monitoring and analysis using a non-parametric model: A case study of Indianapolis", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(1), 86-96, 2009.
- [14] G. Guo, Z. Wu, R. Xiao, Y. Chen, X. Liu and X. Zhang, "Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters", *Landscape and Urban Planning*, 135, 1-10, 2015.
- [15] O. Weng, "A remote sensing - GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China", *International journal of remote sensing*, 22(10), 1999-2014, 2001.
- [16] F. Yuan and M. E. Bauer, "Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery", *Remote Sensing of environment*, 106(3), 375-386, 2007.
- [17] K. P. Gallo and T. W. Owen, Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias. *Journal of Applied Meteorology*, 38(6), 806-813, 1999.
- [18] K. P. Gallo, A. L. McNab, T. R. Karl, J. F. Brown, J. J. Hood and J. D. Tarnley, "The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect", *Journal of Applied Meteorology*, 32(5), 899-908, 1993.
- [19] C. P. Lo, D. A. Quattrochi and J. C. Luval, "Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect", *International Journal of Remote Sensing*, 18(2), 287-304, 1997.
- [20] Deng, C. & Wu, C. (2013). Examining the impacts of urban biophysical compositions on surface urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach. *Remote Sensing of Environment*, 131, 262-274.
- [21] M. Heinl, A. Hammerle, U. Tanneiner and G. Leitinger, "Determinants of urban–rural land surface temperature differences—A landscape scale perspective, *Landscape and Urban Planning*, 134, 33-42, 2015.
- [22] J. Jiang and G. Tian, "Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing", *Procedia environmental sciences*, 2, 571-575, 2010.
- [23] O. Rotem-Mindali, Y. Michael, D. Helman and I. M. Lensky, "The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing", *Applied Geography*, 56, 145-153, 2015.
- [24] Q. Weng, "Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335-344, 2009.
- [25] F. Yuan and M. E. Bauer, "Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery", *Remote Sensing of environment*, 106(3), 375-386, 2007.
- [26] J. R. Otukei and T. Blaschke, "Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S27-S31, 2010.
- [27] J. C. Jiménez-Muñoz and J. A. Sobrino, "A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22), 2003.

- [28] J. C. Jiménez-Muñoz and J. A. Sobrino, "A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22), 2003.
- [29] J. A. Sobrino, J. C. Jiménez-Muñoz, G. Sòria, M. Romaguera, L. Guanter, J. Moreno and P. Martínez, "Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2), 316-327, 2008.