



## تحلیل روند توسعه جزیره حرارتی شهری در رابطه با تغییر کاربری اراضی/پوشش با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست

سیروس هاشمی دره بادامی<sup>۱\*</sup>، ایثار نورایی صفت<sup>۲</sup>، سعید کریمی<sup>۳</sup>، سجاد نظری<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه تهران

۳. استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۴. دانش آموخته کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه

### مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۷ دی ۱۳۹۳

پذیرش: ۱۵ تیر ۱۳۹۴

دسترسی اینترنتی: ۲۵ آذر ۱۳۹۴

واژه‌های کلیدی:

جزیره حرارتی شهری

کسر پوشش گیاهی

آزمون من-کندال

تغییرات کاربری اراضی/پوشش

گسترش شهر

### چکیده

استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای یک روش ارزان و کارآمد برای بررسی روند تغییرات پدیده‌های طبیعی و انسانی می‌باشد. هدف از تحقیق تحلیل توسعه جزیره حرارتی شهر رشت با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. برای این تحقیق از سری زمانی تصاویر لندست بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ استفاده شد. از روش حد آستانه NDVI و کسر پوشش گیاهی برای بدست آوردن توان تشعشعی سطح زمین و از قانون پلانک برای تصاویر TM<sup>+</sup> و ETM<sup>+</sup> و الگوریتم پنجره‌های مجزا برای تصاویر OLI/TIRS، برای بازیابی دمای سطح زمین استفاده شد. روند تغییرات جزیره حرارتی و کسر پوشش گیاهی نیز توسط روش‌های آماری و آزمون من-کندال تجزیه و تحلیل شد. بررسی آماری روند کسر پوشش گیاهی نشان داد که میانگین کسر پوشش گیاهی در دوره مورد مطالعه کاهش یافته است و چولگی داده‌ها به سمت کسر پوشش گیاهی پایین تغییر یافته است این روند کاهش کسر پوشش گیاهی میانگین دمای نرمال شده در دوره مورد مطالعه را افزایش داده است و چولگی داده‌های دمای سطح زمین را به سمت دماهای بالا تغییر داده است. تحلیل فضایی روند من-کندال نشان داد که در بیشتر منطقه مورد مطالعه دمای سطح زمین دارای روند افزایشی و کسر پوشش گیاهی دارای روند کاهش است و شدت این روندها در مناطقی بیشتر دیده می‌شود که در دوره مورد مطالعه با تغییرات کاربری از اراضی کشاورزی و باغات به کاربری ساخته شده، مواجه بوده‌اند.

\*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [siroushashemi62@gmail.com](mailto:siroushashemi62@gmail.com)

## مقدمه

زمین به عنوان یک سیستم یکپارچه از تعامل اجزاء آن، از جمله خاک کره، هوا کره، آب کره، و زیست کره، در نظر گرفته شده است. با این حال، رشد سریع شهرنشینی، که در سراسر جهان در حال رخ دادن است، عوامل استرس‌زای انسانی بی سابقه‌ای را به ارمغان آورده است که برخی بر این باورند که این عوامل ممکن است عملکرد و ساختار سیستم زمین و یا بخشی از آن را دچار تغییر کند (۷، ۸ و ۱۱). تاها (۲۶) نشان داد که بیش از ۹۰٪ از کربن انسانی تولید گازهای گلخانه‌ای در شهرها تولید می‌شود. پاکسازی زمین برای ساختن شهرها و جاده‌ها، و تقاضا برای کالاها و منابع، توسط ساکنان شهری، از گذشته تا به امروز، دلیل عمده اکثر تغییرات کاربری/پوشش زمین، از جمله جنگل‌زدایی می‌باشد که موجب کاهش مقدار رسوب کربن جهانی شده است. تغییرات سطوح زمین و اتمسفر عمیقاً با ساخت و ساز و عملکرد شهرها مرتبط هستند (۲۸ و ۲۹). مواد سطحی جدید با ساختمان‌ها، جاده‌ها، و زیرساخت‌های دیگر، همراه با تغییرات مورفولوژی سطح، مبادلات انرژی و آب و جریان هوا را تغییر می‌دهد. این تغییرات با انتشار انسانی مستقیم گرما، دی اکسید کربن و آلاینده‌ها ترکیب شده و منجر به یک اقلیم شهری متمایز می‌شود (۱۵ و ۲۱). یکی از شناخته شده‌ترین اثرات توسعه شهر، جزیره حرارتی شهری (UHI; Urban Heat Island) است پدیده‌ای که به موجب آن مناطق شهری درجه حرارت بالاتری نسبت به مناطق روستایی اطراف آن تجربه می‌کنند (۱۹، ۲۲ و ۳۲). سطوح غیر قابل نفوذ در مناطق شهری معمولاً بازتاب کمی دارند. به این معنی که بیشتر تابش خورشید توسط سطح جذب می‌شود (۲۵ و ۲۷). سطوح غیر قابل نفوذ از نفوذ آب رواناب به زمین جلوگیری می‌کند که باعث کاهش رطوبت خاک منطقه می‌شود. این تا حد زیادی رطوبت قابل دسترس برای دفع حرارت از طریق فرآیند انتقال حرارت نهان تبخیر را کاهش می‌دهد (۲۶ و ۳۱). دمای سطحی زمین (LST; Land surface temperature) یکی از پارامترهای کلیدی در خصوصیات فیزیک سطح زمین در همه مقیاس‌ها از محلی تا جهانی

محسوب می‌شود. و از مهم‌ترین متغیرهاییست که توسط سنجش از دور به دست می‌آید. دانش در مورد LST اطلاعات مفیدی را در مورد تغییرات زمانی و مکانی حالت موازنه سطح ارائه می‌دهد و از اهمیت ویژه‌ای در بسیاری از برنامه‌های کاربردی در زمینه‌های گوناگون از جمله تبخیر و تعرق، تغییرات آب و هوایی، چرخه هیدرولوژیکی، نظارت بر پوشش گیاهی، اقلیم مناطق شهری و مطالعات زیست محیطی دارد و به عنوان یکی از ارجح‌ترین پارامترهای برنامه بین‌المللی زیست سپهر و زمین سپهر شناخته شده است (۵ و ۱۷). تصاویر حرارتی به طور گسترده برای استخراج LST و بررسی UHI مورد استفاده قرار گرفته است. این مطالعات بیشتر بر روی رابطه بین LST و شاخص پوشش گیاهی، مانند NDVI، برای مثال، رابطه LST و شاخص پوشش گیاهی برای بازیابی پارامترهای بیوفیزیکی سطح، توسط کاستاس و همکاران (۱۴) برای استخراج تغییرات حرارتی زیر پیکسل، و توسط سوبرینو و همکاران (۲۳) برای تجزیه و تحلیل روند تغییرات پوشش زمین، مورد استفاده قرار گرفته است. در بسیاری از مطالعات رابطه منفی بین شاخص‌های پوشش گیاهی و دمای سطح زمین مشاهده شده است. و یا مطالعه رابطه بین دمای سطح زمین با کاربری/پوشش زمین توسط امیری و همکاران (۴) برای ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری زمین بر دمای سطح زمین و جزیره حرارتی شهری، نقش گسترش شهر بر کاهش فضای سبز و توسعه جزیره حرارتی توسط علوی‌پناه و همکاران (۱) تعیین الگوی‌های مکانی-زمانی ترکیب بیوفیزیکی سطح و رابطه آن با دمای سطح زمین و جزیره حرارتی شهری توسط گوا و همکاران (۱۰) و تعیین تأثیر قدرت تفکیک‌های مکانی مختلف در تغییرات رابطه دمای سطح زمین با کاربری/پوشش زمین و شناسایی مقیاس عملیاتی برای مطالعات چشم‌انداز حرارتی شهر، توسط ونگ و همکاران (۳۰) و بویانتیف و وو (۶) مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعات بر نقش کاربری‌های مختلف در جذب انرژی خورشید و توسعه جزیره حرارتی تأکید شده است. علاوه بر این مطالعاتی نیز بر روی راه‌های کاهش جزیره حرارتی شهری انجام شده است از جمله

شهری و با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای لندست و تحلیل‌های آماری و GIS، انجام شده است.

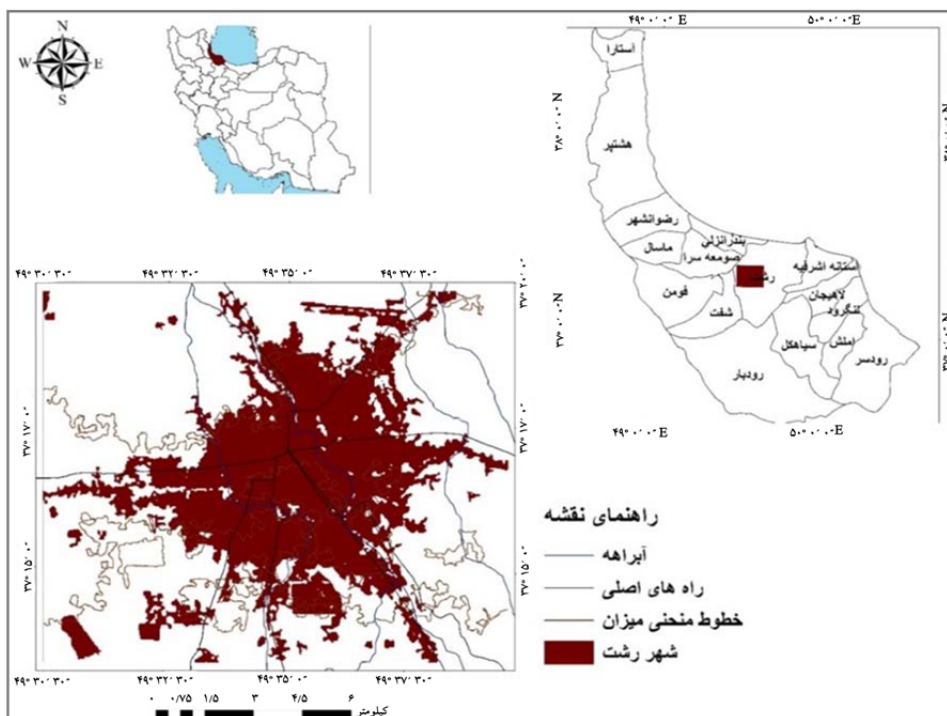
### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

آب و هوای رشت از جمله آب و هوای معتدل کاسپین و شبه مدیترانه‌ای است که دارای تابستان‌های گرم و شرجی و زمستان‌های سرد و مرطوب است. ارتفاع متوسط این شهر از سطح دریا ۵ متر است. ویژگی‌های طبیعی، ارتباطی و گردشگری این شهر موجب بالا رفتن جمعیت و توسعه فیزیکی این شهر شده است.

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق محدوده مرز شهر رشت با حومه اطراف آن است. منطقه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی بین  $37^{\circ} 30' 30''$  تا  $39^{\circ} 30' 00''$  طول شرقی و  $35^{\circ} 17' 35''$  تا  $37^{\circ} 17' 10''$  عرض شمالی واقع شده است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گیلان و شهرستان رشت در شکل ۱ آورده شده است.

بررسی نتایج استراتژی‌های کاهش جزیره حرارتی شهری ماکي و همکاران (۱۸) و تأثیر افزایش انعکاس بر کاهش جزیره حرارتی شهری هاشمی و همکاران (۲) که نتایج آنها نشان داد که افزایش بازتابندگی سطوح شهری می‌تواند در کاهش جزیره حرارتی شهری نقش مؤثری داشته باشد. مطالعاتی نیز بر تأثیر جزیره حرارتی بر روی ساکنین و زندگی شهری تأکید داشتند از جمله سوپرینو و همکاران (۲۳) با بررسی جزیره حرارتی شهر مادرید، نقش آن را بر آسایش حرارتی در طول روز و شب را ارزیابی کردند. سو و همکاران (۲۴) روابط بین پوشش زمین و درجه حرارت سطح در یک جزیره حرارتی شهری و اثرات آن بر حساسیت حرارتی جمعیت را تعیین کردند و نشان دادند که جزیره حرارتی شهری توسط مدل جهانی دست کم گرفته شده و خطر بیماری برای جمعیت شهری افزایش یافته است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر تغییرات کاربری/پوشش زمین در نتیجه گسترش شهر و همچنین تغییر در پوشش گیاهی منطقه در نتیجه جنگل‌زدایی و تغییر جنگل و باغات به زمین‌های کشاورزی بر دمای سطح زمین و جزیره حرارتی



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

### داده‌های مورد استفاده و پیش‌پردازش تصاویر

در این تحقیق از سری زمانی تصاویر لندست TM (۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰)، ETM<sup>+</sup> (۲۰۰۰) و OLI/TIRS (۲۰۱۵) اواخر مرداد ماه، استفاده شد. برای بررسی روند تغییرات تصویر سال ۱۹۹۰ با نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ منطقه ثبت هندسی شد و سپس سایر تصاویر نسبت به آن تصحیح هندسی شدند. در این تحقیق برای تبدیل ارزش‌های پیکسل به تابش طیفی در سنجنده، برای تصاویر سنجنده‌های TM و ETM<sup>+</sup> از رابطه ۱ استفاده گردید.

$$L_{\lambda} = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Qcal_{max} - Qcal_{min}} \right) (Qcal - Qcal_{min}) + LMIN_{\lambda} \quad [1]$$

در این رابطه؛  $L_{\lambda}$  رادیانس طیفی در سنجنده  $[W/(m^2 sr \mu m)]$ ، مقدار پیکسل،  $Qcal$  حداقل مقدار

پیکسل،  $Qcal_{max}$  حداکثر مقدار پیکسل،  $LMAX_{\lambda}$  و  $LMIN_{\lambda}$  حداقل و حداکثر رادیانس طیفی در سنجنده  $[W/(m^2 sr \mu m)]$  و برای تبدیل ارزش‌های پیکسل به تابش طیفی در سنجنده (OLI/TIRS) از رابطه ۲ استفاده شد.

$$L_{\lambda} = ML \times Q_{CAL} + AL \quad [2]$$

در این رابطه؛  $L_{\lambda}$  رادیانس طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده  $[W/(m^2 sr \mu m)]$ ،  $ML$  فاکتور تبدیل ضربی،  $Q_{CAL}$  مقادیر پیکسل محصول استاندارد کوانتیزه شده و کالیبره شده (DN)،  $AL$  ضریب تبدیل جمعی می‌باشد. در جدول ۱ مقادیر ضریب‌های ضربی و جمعی تابش در بالای اتمسفر برای باندهای مختلف سنجنده OLI/TIRS ارائه شده است.

جدول ۱. مقادیر ضریب‌های ضربی و جمعی برای باندهای مختلف سنجنده OLI/TIRS

ضریب	بانده ۱	بانده ۲	بانده ۳	بانده ۴	بانده ۵	بانده ۶	بانده ۷	بانده ۸	بانده ۹	بانده ۱۰	بانده ۱۱
ML	۰/۰۱۲۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲۸	۰/۰۱۰۲	۰/۰۶۳	۰/۰۱۵۶	۰/۰۵۲۶	۰/۰۱۱۶	۰/۰۲۴۵	۰/۰۳۳۴	۰/۰۳۳۴
AL	-۶۴/۵	-۶۶	-۶۰/۸	-۵۱/۳	-۳۱/۴	-۷/۸	-۲/۶۳	-۵۸/۱	-۱۲/۲	۰/۱	۰/۱

ضربی (۰/۰۰۰۰۲)،  $Q_{CAL}$  مقادیر پیکسل محصول استاندارد کوانتیزه شده و کالیبره شده (DN)،  $Ap$  ضریب تبدیل جمعی (۰/۱) می‌باشد. در این تحقیق، دمای درخشندگی با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده از رابطه ۵ به دست آمد.

$$T = \frac{K_2}{\ln \left( \frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1 \right)} \quad [5]$$

در این رابطه؛  $T$  دمای درخشندگی در سطح سنسور بر حسب کلونین (K)،  $L_{\lambda}$  تابش طیفی در بالای اتمسفر در سنجنده  $[W/(m^2 sr \mu m)]$ ،  $K_2$  ضریب کالیبراسیون بر حسب کلونین،  $K_1$  ضریب کالیبراسیون بر حسب  $[W/(m^2 sr \mu m)]$ . ضرایب  $K_1$  و  $K_2$  برای سنجنده‌های مختلف لندست بر اساس جدول ۲ است.

پیش‌پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای، به دست آوردن بازتابندگی و دمای درخشندگی در بالای اتمسفر در سطح سنجنده است. بازتابش برای سنجنده‌های (TM/ETM<sup>+</sup>) از رابطه ۳ تعیین گردید.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta} \quad [3]$$

که در این رابطه؛  $\rho_{\lambda}$  ضریب انعکاس،  $L_{\lambda}$  رادیانس طیفی در سنجنده  $[W/(m^2 sr \mu m)]$ ،  $d$  فاصله زمین تا خورشید (واحد نجومی)،  $ESUN$  میانگین تابش خورشید  $[W/(m^2 sr \mu m)]$  و  $\theta$  زاویه زینت خورشید (درجه) می‌باشد. بازتابش برای سنجنده (OLI) از رابطه ۴ تعیین گردید.

$$\rho_{\lambda}' = M \rho \times Q_{CAL} + A \rho \quad [4]$$

در این رابطه؛  $\rho_{\lambda}'$  بازتاب سیاره‌ای،  $M\rho$  فاکتور تبدیل

جدول ۲. ضرایب کالیبراسیون باندهای حرارتی سنجنده‌های لندست

لندست ۸ باند ۱۱	لندست ۸ باند ۱۰	لندست ۷ باند ۶	لندست ۵ باند ۶	ضریب/سنجنده
۱۲۰۱/۱۴	۱۳۲۱/۰۸	۶۶۶/۰۹	۶۰۷/۷۶	$K_1 [W/(m^2 Sr \mu m)]$
۴۸۰/۸۹	۷۷۷/۸۹	۱۲۸۲/۷۱	۱۲۶۰/۵۶	$K_2 [kelvin]$

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

در این رابطه؛  $NDVI_{min}$  مربوط به کمترین مقدار  $NDVI$  (خاک خشک) و  $NDVI_{max}$  مربوط به بیشترین مقدار  $NDVI$  (پوشش گیاهی متراکم) می‌باشد. با به دست آوردن  $FVC$  توان تشعشعی از رابطه ۸ محاسبه گردید.

$$\begin{aligned} \varepsilon &= a + b \rho_{red} \quad (FVC = 0) \\ \varepsilon &= 0.99 \quad (FVC = 1) \\ \varepsilon &= \varepsilon_s (1 - FVC) + \varepsilon_v FVC \quad (0 < FVC < 1) \end{aligned} \quad [8]$$

در این رابطه؛  $\rho_{red}$  بازتاب در باند قرمز سنجنده  $OLI$  (باند ۴)،  $a$  و  $b$  ضرایب همبستگی خطی بازتاب باند قرمز با توان تشعشعی،  $\varepsilon_s$  توان تشعشعی خاک،  $\varepsilon_v$  توان تشعشعی پوشش گیاهی (استخراج شده از کتابخانه طیفی ASTER). با به دست آوردن مقادیر توان تشعشعی، دمای سطح زمین برای تصاویر  $TM$  و  $ETM^+$  از رابطه ۹ محاسبه گردید (۳).

$$T_s = \frac{T}{\left[ 1 + \left( \frac{\lambda T}{\alpha} \right) \ln \varepsilon \right]} \quad [9]$$

که در آن،  $\lambda$  طول موج رادیانس ساطع شده،  $\alpha = hc/k$ ،  $h$  ثابت پلانک ( $6.62 \times 10^{-34} \text{ j. sec}$ )،  $c$  سرعت نور ( $2.998 \times 10^8 \text{ m/sec}$ )،  $k$  ثابت استفان بولتزمان ( $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )، و  $\varepsilon$  گسیلمندی است. برای بدست آوردن دمای سطح زمین از داده‌های حرارتی سنجنده  $TIRS$  از الگوریتم دو پنجره روش پیشنهادی سویرینو و همکاران (۲۳) استفاده شد (رابطه ۱۰، جدول ۳).

$$\begin{aligned} T_s &= T_i + c_1(T_i - T_j) + c_2(T_i - T_j)^2 + c_0 \\ &+ (c_3 + c_4 w)(1 - \varepsilon)(c_5 + c_6 w) \Delta \varepsilon \end{aligned} \quad [10]$$

### پردازش تصاویر

برای بررسی تغییرات کاربری/پوشش زمین، ابتدا تصاویر بازتابش به دست آمده با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال طبقه‌بندی شد. در این روش طبقه‌بندی، هر پیکسل به کلاسی انتساب داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق به آن کلاس را دارد. سپس با استفاده از روش بارزسازی تغییرات مقایسه پس از طبقه‌بندی، تغییرات مکانی-زمانی کاربری/پوشش زمین محاسبه شد.

محاسبه دمای سطح زمین نیازمند دانش پیرامون توان تشعشعی سطح زمین ( $LSE$ ; Land Surface Emissivity) است. برای محاسبه توان تشعشعی سطح زمین از روش جیمینز و سویرینو (۱۲) استفاده شد. در این روش  $LSE$  با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های لندست (برآورد بازتاب و شاخص‌های پوشش گیاهی ( $NDVI$ ) و با توجه به کسری پوشش گیاهی پوشش ( $FVC$ ))، به دست می‌آید. 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 (۱۶).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad [6]$$

در این رابطه؛  $\rho_{NIR}$  بازتاب باند مادون قرمز نزدیک و  $\rho_{RED}$  بازتاب باند قرمز می‌باشد. برای به دست آوردن کسر پوشش گیاهی، تصاویر  $NDVI$  به صورت خطی بین خط خاک خشک ( $NDVI_{in}$ ) و پوشش گیاهی متراکم ( $NDVI_{max}$ ) قرار می‌گیرد. این عملیات خطی می‌تواند خطای رخ داده در عملیات کالیبراسیون و تصحیح اتمسفری را کاهش دهد (۴).

تشعشی دو باند  $(\varepsilon_i - \varepsilon_j) = \Delta\varepsilon$ ، مقدار محتوای بخار آب اتمسفر (گرم بر سانتی متر مربع) و  $C_0$  تا  $C_6$  ضرایب SW که از داده‌های شبیه‌سازی شده تعیین می‌شود.

در این رابطه؛  $T_i$  و  $T_j$  دمای درخشندگی در سطح سنسور در باندهای مورد استفاده در الگوریتم،  $\varepsilon$  میانگین توان تشعشی از دو باند  $(\varepsilon_i + \varepsilon_j) = 0.5\Delta\varepsilon$ ، تفاضل توان

جدول ۳. مقادیر ضرایب مورد استفاده در الگوریتم دو پنجره

ضریب	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
ارزش	-۰/۲۶۸	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳	۵۴/۳	-۲/۲۳۸	-۱۲۹/۲۰	۱۶/۴

### نتایج و بحث

طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای (با کمترین صحت کلی ۹۴٪ و ضریب کاپا ۹۲٪ برای سال ۱۹۹۵ و بیشترین صحت کلی ۹۷٪ و ضریب کاپا ۹۴٪ برای سال ۲۰۱۵) و ارزیابی تغییرات کاربری زمین در دوره مورد مطالعه نشان داد که شهر رشت در دوره ۲۵ ساله گسترش کالبدی زیادی یافته است. در این دوره حدود دو هزار و سیصد هکتار به وسعت اراضی ساخته شده افزوده است که این گسترش موجب از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و باغات حومه شهر شده است. اولین مشکلات زیست‌محیطی در مناطق جنگلی با ایجاد راه‌ها به وجود می‌آید. ایجاد راه‌ها موجب می‌شود که هر روز ردپای تعداد افراد بیشتری در مناطق بکر پیدا شود. بعد از ایجاد راه‌ها و آسان شدن دسترسی‌ها، تخریب منابع گران‌بهای طبیعی با قطع درختان و ساختن مصنوعات انسانی و تخریب اکوسیستم جنگلی و سایر آسیب‌های زیست‌محیطی، آغاز می‌شود. شهر رشت نیز از این قائله مستثنی نیست. بررسی جهات مختلف توسعه فیزیکی شهر رشت نشان داد که گسترش شهر رشت در همه جهات و به صورت زائده‌های مثلثی شکل در امتداد راه‌های اصلی صورت گرفته است. بررسی جهات اصلی رشد شهر رشت نشان داد که بیشترین گسترش در جهت شمال شرق و جنوب غرب بوده است و جهات دارای کمترین گسترش مربوط به شمال غرب و جنوب شرق می‌باشد که با جهات بیشترین گسترش قرینه می‌باشد. شکل ۲ مربوط به کاربری اراضی در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۱۵ و تغییرات کاربری در این دوره می‌باشد.

### روندپایی با استفاده از آزمون من-کندال

هدف از آزمون من-کندال (MK) این است که اگر روند یکنواخت بالا و یا پایین از متغیرهای مورد نظر در طول زمان وجود دارد را از نظر آماری ارزیابی کند. آزمون من کندال جزء روش‌های تجزیه و تحلیل پارامتریک رگرسیون خطی می‌باشد. نتایج روش من کندال بین اعداد -۱ و ۱ قرار دارد. عدد ۱ به این معنی است که پدیده مورد مطالعه در آن منطقه بیشترین تغییرات افزایشی را داشته است و -۱ به این معنی است که پدیده مورد مطالعه در آن مکان بیشترین تغییرات کاهش‌ی را داشته است و صفر به معنی عدم تغییر در پدیده مورد مطالعه می‌باشد (۹، ۱۳ و ۲۰).

[۱۱]

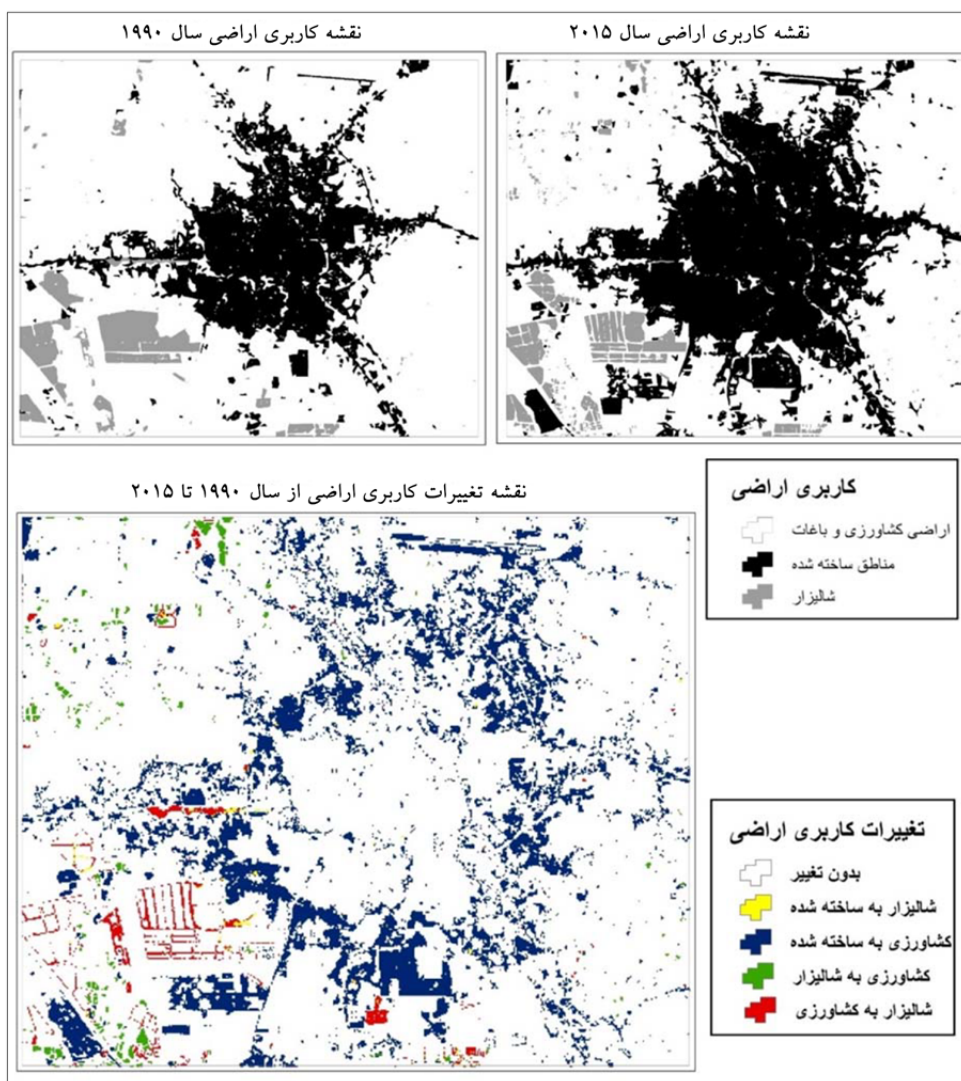
$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_i - X_j)$$

$$\text{sign}(X_j - X_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } X_i - X_j < 0 \\ 0 & \text{if } X_i - X_j = 0 \\ -1 & \text{if } X_i - X_j > 0 \end{cases}$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{for } S > 0 \\ 0 & \text{for } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{for } S < 0 \end{cases}$$

که در این رابطه؛  $X_i$  و  $X_j$  مشاهدات سری زمانی و  $n$  طول سری زمانی است. آمار  $Z$  از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس واحد پیروی می‌کند که ارزش صفر عدم وجود روند، ارزش  $Z$  مثبت روند رو به بالا و ارزش منفی روند رو به پایین را نشان می‌دهد.



شکل ۲. تغییرات کاربری اراضی در طول دوره زمانی ۲۵ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۵)

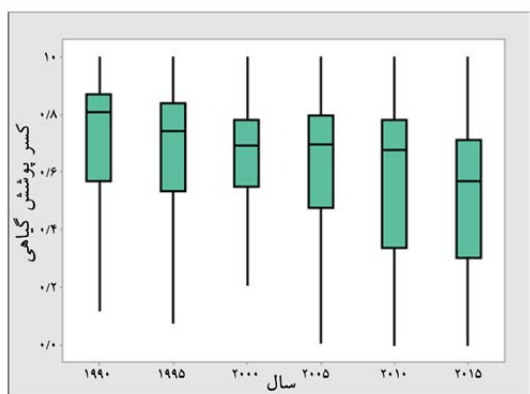
### تغییرات پوشش گیاهی و دمای سطح زمین

توسعه فیزیکی مشکلات زیست محیطی متعددی را به وجود آورده است. از جمله جایگزین شدن سطوح طبیعی با سطوح نفوذ ناپذیر مانند آسفالت و سیمان موجب از بین رفتن سیستم خنک کنندگی سطوح طبیعی و افزایش دمای سطح زمین شده است. شکل ۳ نمودار جعبه‌ای دمای نرمال شده سطح زمین برای سال‌های مورد مطالعه می‌باشد. همانطور که در نمودارها مشخص است علاوه بر اینکه حداکثر دما و چارک‌ها در دوره مورد مطالعه افزایش یافته است، چولگی داده‌ها نیز به سمت دماهای بالا تغییر کرده است. افزایش دمای سطوح نفوذناپذیر با بر هم زدن تبادل انرژی سطح، علاوه بر تداخل در

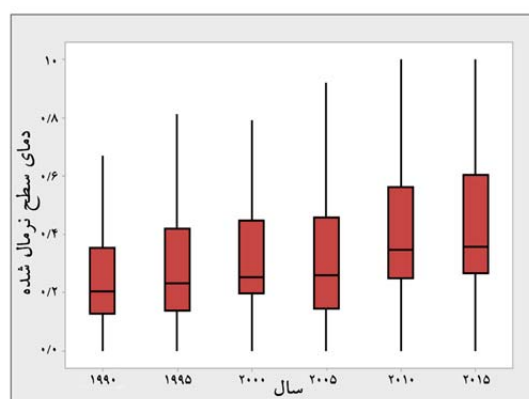
اقلیم محلی، موجب افزایش رواناب و افزایش سیل در شهر رشت در سال‌های اخیر شده است. همچنین سطح گرم جاده‌ها و سقف‌های با پوشش آسفالت، مازاد گرمای خود را به آب رواناب حاصل از بارش منتقل می‌کنند که پس از آن تخلیه رواناب به نهرها، رودخانه‌ها، حوضچه‌ها و دریاچه‌ها، موجب افزایش حرارت آن‌ها شده است که این امر موجب کاهش کیفیت آب و اختلال در اکوسیستم‌های آبی به خصوص تالاب انزلی شده است. توسعه کالبدی شهر و افزایش سطوح نفوذناپذیر علاوه بر تخریب باغات و زمین‌های کشاورزی اطراف شهر، بر پوشش‌های گیاهی دورتر از محدوده شهری نیز تأثیر داشته است. به این صورت که با توسعه شهر و افزایش

کسر پوشش گیاهی روند کاهشی را نشان می‌دهند و چولگی داده‌ها به سمت کسر پوشش گیاهی پایین تغییر یافته است. پوشش‌های گیاهی به خصوص درختان، با جذب انرژی خورشید و تعرق آب از طریق برگ‌های خود به داخل جو و همچنین با ایجاد سایه یک سیستم تهویه مطبوع طبیعی هستند بنابراین حذف گیاهان با بالا رفتن گرما همراه است.

جمعیت، تقسیم اراضی و تغییر کاربری کشاورزی به وجود آمده (از باغات به کشاورزی)، و همچنین توسعه راه‌ها و ورود هر چه بیشتر گردشگران به این شهر، از مساحت و تراکم پوشش گیاهی منطقه کاسته شده است. نتایج آماری روند کسر پوشش گیاهی گویای این امر می‌باشند. شکل ۴ نمودار جعبه‌ای کسر پوشش گیاهی برای سال‌های مورد مطالعه می‌باشد همان طور که در شکل مشخص است چارک‌های داده‌های شاخص



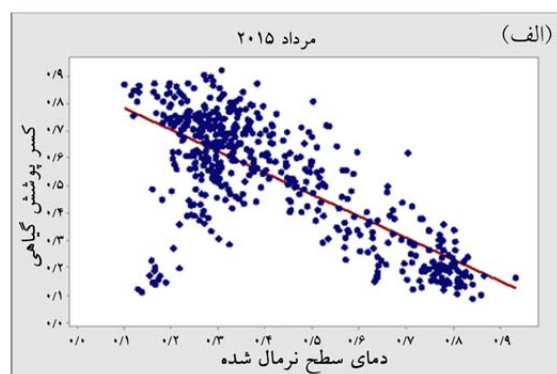
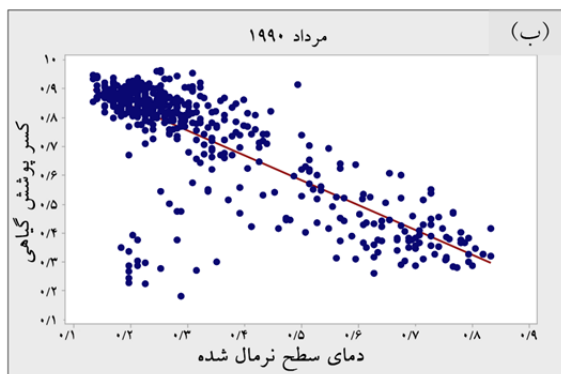
شکل ۴. کسر پوشش گیاهی در دوره (۱۹۹۰-۲۰۱۵)



شکل ۳. نمودار جعبه‌ای دمای نرمال شده سطح زمین در دوره (۱۹۹۰-۲۰۱۵)

شده است و در سال ۲۰۱۵ این نمونه‌ها پراکنده شده‌اند و به سمت کسر پوشش گیاهی پایین و دمای بالا جابه‌جا شده‌اند. و بیشتر این تغییرات در مرزهای شهر، جایی که مساحت شهر در حال افزایش است بیشتر به چشم می‌خورد.

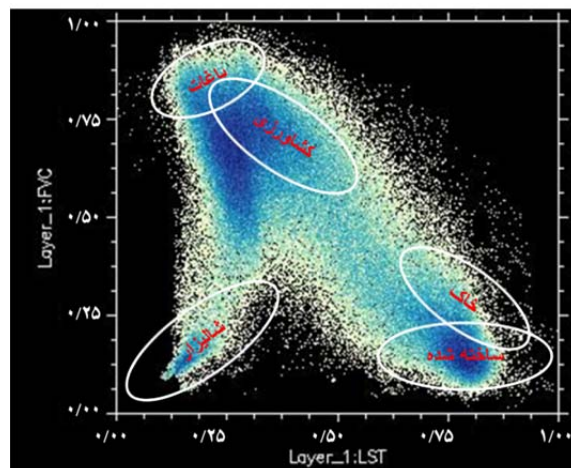
شکل ۵ (الف و ب) نمودار پراکندگی از اطلاعات دمای سطح نرمال شده با کسر پوشش گیاهی ۵۰۰ نمونه پیکسل تصادفی برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۵ می‌باشد. همان گونه که در نمودارهای پراکندگی مشخص است از تراکم نمونه‌های با کسر پوشش گیاهی بالا و دمای پایین در سال ۱۹۹۰ کاسته



شکل ۵. پراکندگی دمای سطح نرمال شده با کسر پوشش گیاهی از نمونه پیکسل‌های تصادفی: ۲۰۱۵ (الف)؛ ۱۹۹۰ (ب)

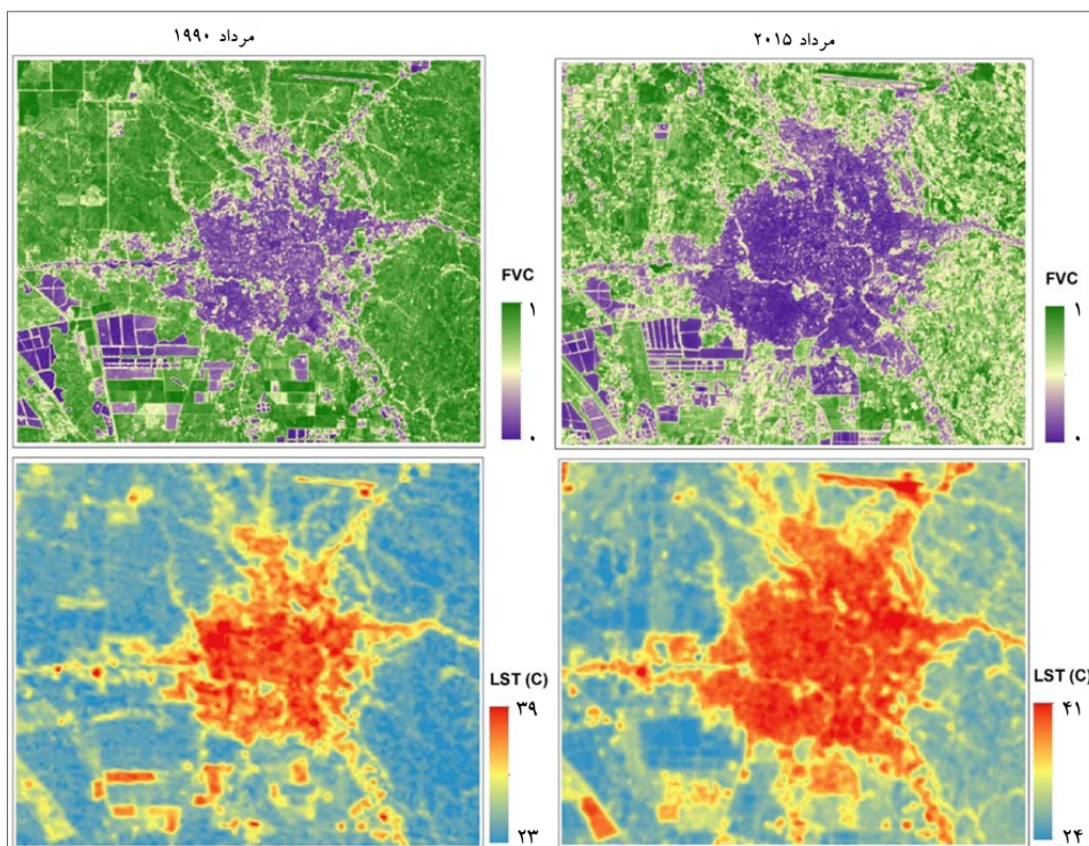


بر طبق شکل کمترین دما مربوط به کاربری باغ و شالیزار است. باغ‌ها به علت شاخص سطح برگ بالایی که دارند و همچنین ایجاد سایه کمترین دما را نشان می‌دهند. شالیزارها نیز به دلیل رطوبت بالا و ظرفیت حرارتی بالای آب دیر گرم می‌شوند. بیشترین دما مربوط به مناطق ساخته شده و خاک می‌باشد. خاک بدون پوشش نور خورشید را جذب کرده و با توجه به ظرفیت و هدایت حرارتی پایین، دمای آن به سرعت بالا می‌رود. مناطق ساخته شده بیشترین جذب نور خورشید را دارند که علت آن توان تشعشعی بالای بیشتر مصالح شهری مانند آسفالت و سیمان است. همچنین به علت فعالیت‌های انسانی گرماساز (مصرف سوخت فسیلی، استفاده از انرژی الکتریسیته، تردد خودروها و...)، مناطق ساخته شده بیشترین دما را نسبت به سایر کاربری‌های زمین نشان می‌دهد. همین امر موجب گسترش جزیره حرارتی شهر رشت در دوره مورد مطالعه شده است.



شکل ۶. نمودار پراکندگی دمای نرمال شده سطح زمین و کسر پوشش گیاهی به همراه پیاده‌سازی طبقات پوشش زمین.

شکل ۶ نمودار پراکندگی دمای نرمال شده سطح زمین و کسر پوشش گیاهی به همراه پیاده‌سازی طبقات پوشش زمین را نمایش می‌دهد.



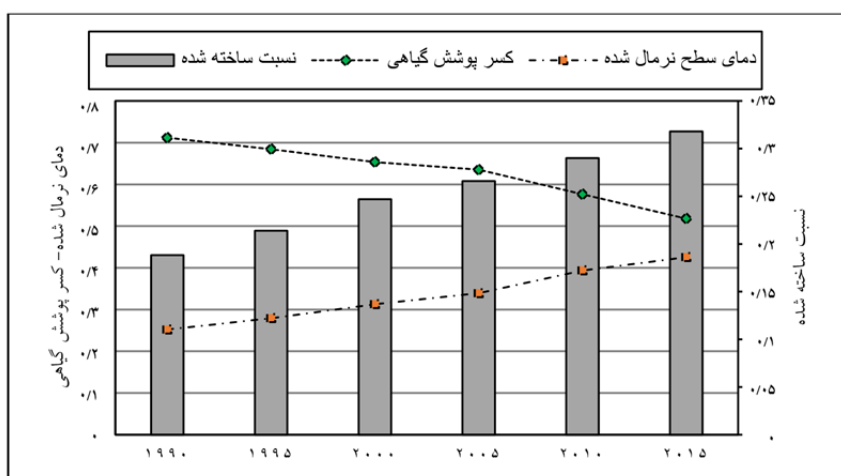
شکل ۷. تغییرات مکانی جزیره حرارت شهری و کسر پوشش گیاهی دوره ۲۵ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۵)

که در فواصل زمانی مساوی و منظمی جمع‌آوری شده باشند. روش‌های آماری که این گونه داده‌های آماری را مورد استفاده قرار می‌دهد روش‌های تحلیل سری‌های زمانی نامیده می‌شود. سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای مناسب‌ترین داده‌ها را برای تحلیل روند تغییرات پدیده‌های طبیعی و انسانی مهیا می‌کند. بررسی آماری روند تغییرات دمای سطح زمین و کسر پوشش گیاهی به همراه روند تغییرات نسبت ساخته شده در منطقه نشان داد که روند تغییرات میانگین کسر پوشش گیاهی سیر نزولی و میانگین دمای سطح نرمال شده سیر صعودی دارد و روند تغییرات نسبت ساخته شده با روند تغییرات پوشش گیاهی رابطه معکوس و با دما رابطه مستقیم دارد. که گویای این است که با گسترش شهر رشت پوشش گیاهی از بین رفته است و جزیره حرارت شهری توسعه یافته است (شکل ۸).

شکل ۷ تغییرات مکانی جزیره حرارت شهری و کسر پوشش گیاهی برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۵ را نمایش می‌دهد. با توجه به شکل توسعه شهر رشت موجب کاهش کسر پوشش گیاهی و توسعه جزیره حرارتی شهری شده است. مکان‌های اطراف شهر در نزدیکی مرزهای رشد شهر تغییرات زیادی در کسر پوشش گیاهی و دمای سطح زمین، نشان می‌دهد. مکان‌هایی خارج از شهر که دارای دمای زیادی هستند مربوط به زمین‌های کشاورزی برداشت شده یا شخم زده شده می‌باشد.

### روند تغییرات کسر پوشش گیاهی و دمای سطح زمین

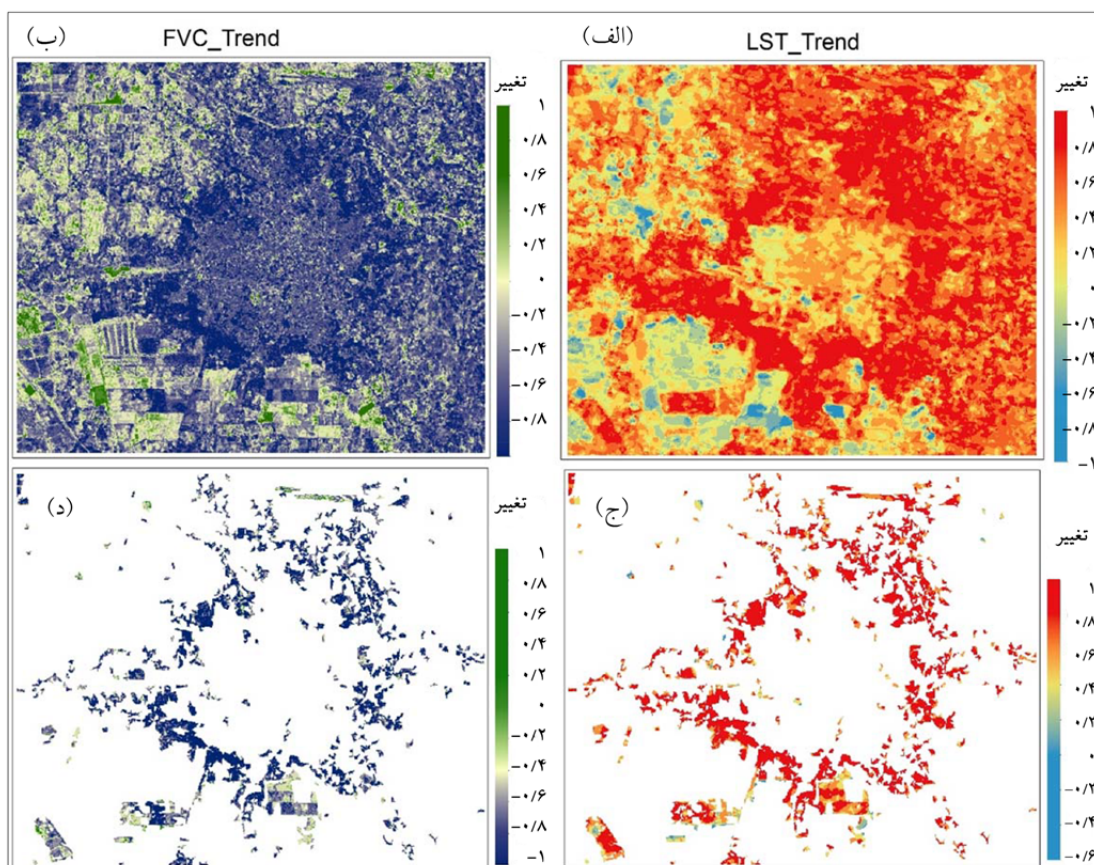
به متغیری که قرار است پیش‌بینی شود و در دوره‌های زمانی گذشته موجود است، اصطلاحاً سری زمانی می‌گویند. منظور از یک سری زمانی مجموعه‌ای از داده‌های آماری است



شکل ۸. روند تغییرات کسر پوشش گیاهی و دمای سطح نرمال شده

کاهشی است و شدت این روندها در مناطقی بیشتر دیده می‌شود که در دوره مورد مطالعه با تغییرات کاربری به ویژه از باغات به کشاورزی و از اراضی کشاورزی به کاربری ساخته شده، مواجه بوده‌اند (شکل ۹، ج و د).

بررسی روند تغییرات فضایی کسر پوشش گیاهی و جزیره حرارت شهری با روش من کندال شکل ۹ (الف و ب) نشان داد که در بیشتر مکان‌های منطقه مورد مطالعه دمای سطح زمین دارای روند افزایشی و کسر پوشش گیاهی دارای روند



شکل ۹. تغییرات فضایی کسر پوشش گیاهی و جزیره حرارت شهری با روش من کندال

## نتیجه گیری

انسانی و تهدید در نظر گرفته نشده است. وقتی ابعاد این مخاطره نمایان می‌شود که با استفاده از تصاویر سری زمانی، توسعه جزیره حرارتی و سایر مخاطرات زیست محیطی ناشی از گسترش شهر را برای سال‌های آینده پیش‌بینی گردد.

استفاده از سری تصاویر ماهواره‌ای یک راه مناسب برای یافتن روند تغییرات پدیده‌های طبیعی و انسانی و پیش‌بینی برای آینده است. تحلیل روند تغییرات جزیره حرارت شهری و کسر پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سری زمانی لندست، نشان‌دهنده توسعه جزیره حرارت شهری و کاهش پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه بود. جزیره حرارتی شهری یکی از مهم‌ترین خطرات زیست محیطی مناطق شهری محسوب می‌شود که به طور مستقیم و غیر مستقیم بر اقلیم مناطق شهری و غیر شهری، آلودگی هوای شهری، تولید گازهای گلخانه‌ای و تأثیر بر گرمایش جهانی، بر هم زدن آسایش حرارتی، افزایش مصرف آب و انرژی الکتروسیته و تشدید بیماری‌هایی مانند آسم، تأثیر می‌گذارد. متأسفانه در کشور ما به پدیده جزیره حرارتی شهری به صورت جدی و به عنوان یک مخاطره

## منابع مورد استفاده

۱. علوی‌پناه، س. ک.، س. هاشمی دره‌بادامی و ع. کاظم‌زاده. ۱۳۹۴. تحلیل زمانی - مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری/ پوشش زمین. پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، ۳(۱): ۱-۱۷.
۲. هاشمی دره‌بادامی، س.، ع. خزایی و س. ک. علوی‌پناه. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر بام‌های انعکاسی در کاهش اثر جزیره حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه). مطالعات و پژوهش‌های شهری منطقه‌ای، ۷(۲۵): ۱-۱۸.

4. Artis DA, Carnahan WH. 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4):313-329.
5. Amiri R, Weng Q, Alimohammadi A, Alavipanah SK. 2009. Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote Sensing of Environment*, 113(12):2606-2617.
6. Anderson M, Norman J, Kustas W, Houborg R, Starks P, Agam N. 2008. A thermal-based remote sensing technique for routine mapping of land-surface carbon, water and energy fluxes from field to regional scales. *Remote Sensing of Environment*, 112(12):4227-4241.
7. Buyantuyev A, Wu J. 2010. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*, 25(1):17-33.
8. Carlson TN, Dodd JK, Benjamin SG, Cooper JN. 1981. Satellite estimation of the surface energy balance, moisture availability and thermal inertia. *Journal of Applied Meteorology*, 20(1):67-87.
9. Chander G, Markham BL, Helder DL. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113(5):893-903.
10. Gilbert R. O. 1987. Statistical methods for environmental pollution monitoring. New York. 345 p.
11. Guo G, Wu Z, Xiao R, Chen Y, Liu X, Zhang X. 2015. Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*, 135:1-10.
12. Hunt J, Maslin M, Killeen T, Backlund P, Schellnhuber H. 2007. Introduction. Climate change and urban areas: research dialogue in a policy framework. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1860):2615-2629.
13. Jiménez-Muñoz J-C, Sobrino J. 2008. Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 5(4):806-809.
14. Kendall, MG. 1975. Rank Correlation Methods, 4<sup>th</sup> edition, Charles Griffin, London. 410 p.
15. Kustas WP, Norman JM, Anderson MC, French AN. 2003. Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship. *Remote sensing of Environment*, 85(4):429-440.
16. Landsberg HE. 1981. The urban climate Academic Press, New York and London, 230 p.
17. Lenney MP, Woodcock CE, Collins JB, 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.
18. Li X, Zhou W, Ouyang Z. 2013. Relationship between land surface temperature and spatial pattern of greenspace: What are the effects of spatial resolution? *Landscape and Urban Planning*, 114:1-8.
19. Mackey CW, Lee X, Smith RB. 2012. Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island. *Building and Environment*, 49:348-358.
20. Mann HB. 1945. Non-parametric tests against trend, *Econometrica*, 13:163-171.
21. Oke T. 1988. The urban energy balance. *Progress in Physical geography*, 12(4):471-508.
22. Rose L, Devadas M. 2009. Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery—a case in Chennai city, India. In: The seventh international conference on urban climate, Yokohama, Japan, 29 June- 3 July, Department of International and Development Engineering Tokyo Institute of Technology.
23. Sobrino J, Raissouni N. 2000. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco. *International Journal of Remote Sensing*, 21(2):353-366.
24. Sobrino JA, Oltra-Carrió R, Sòria G, Jiménez-Muñoz JC, Franch B, Hidalgo V, Mattar C, Julien Y, Cuenca J, Romaguera M. 2013. Evaluation of the surface urban heat island effect in the city of Madrid by thermal remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 34(9-10):3177-3192.
25. Su Y-F, Foody GM, Cheng K-S. 2012. Spatial non-stationarity in the relationships between land cover and surface temperature in an

- urban heat island and its impacts on thermally sensitive populations. *Landscape and Urban Planning*, 107(2):172-180.
26. Svirejeva-Hopkins A, Schellnhuber HJ, Pomaz VL. 2004. Urbanised territories as a specific component of the Global Carbon Cycle. *Ecological Modelling*, 173(2):295-312.
  27. Taha H. 1997. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, 25(2):99-103.
  28. Weng Q. 2003. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(5):555-566.
  29. Weng Q. 2009. 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.
  30. Weng Q, Lu D. 2008. A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 10(1):68-83.
  31. Weng Q, Lu D, Schubring J. 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89(4):467-483
  32. Wong E, Akbari H, Bell R, Cole D. 2011. *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Environmental Protection Agency, retrieved May 12:2011.
  33. Zhou W, Qian Y, Li X, Li W, Han L. 2014. Relationships between land cover and the surface urban heat island: seasonal variability and effects of spatial and thematic resolution of land cover data on predicting land surface temperatures. *Landscape Ecology*, 29(1):153-167.



## Development trend analysis of urban heat island regarding land use/cover changes using time series of landSat images

S. Hashemi Dareh Badami <sup>1\*</sup>, I. Nouraeisefat <sup>2</sup>, S. Karimi <sup>3</sup>, S. Nazari<sup>4</sup>

1. MSc. Student of Remote sensing and GIS, University of Tehran

2. MSc. Student of Environmental Sciences, University of Tehran

3. Assis. Prof. College of Environmental Sciences, University of Tehran

4. MSc. Graduated of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University, Kermanshah Branch

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 28 December 2014

Accepted 6 July 2015

Available online 16 December 2015

#### Keywords:

Urban heat island

Fraction vegetation cover

Mann-Kendall analysis

Land use/cover change

Urban expansion

### ABSTRACT

Using time series of satellite images is a cheap and efficient way to study trend changes of natural and human phenomena. The aim of the study is to analyze the development of Urban Heat Island (UHI) in Rasht using time series satellite images. For this study, time series of LandSat images during 1990 and 2015 were used. Thresholding Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Fraction Vegetation Cover (FVC) method has been applied to obtain the land surface emissivity; in addition, Planck's law for TM and ETM<sup>+</sup> images and Split Window (SW) algorithm for OLI/TIRS images were utilized in order to retrieve land surface temperature. UHI and FVC trends were analyzed by statistical and Mann-Kendall methods. Statistical analysis showed that the average of FVC has decreased during the study period and data skewness has changed to low FVC. The reduction trend has increased FVC caused an average normalized temperature during the study period and also enhanced the data skewness of land surface temperature. The Mann-Kendall spatial analysis showed that in most of the study area, the land surface temperature and vegetation fraction have increased and decreasing trends, respectively; these mentioned trends have been intensified in the places where gardens and agricultural land uses were changed into built-up ones.

\* Corresponding author e-mail address: [siroushashemi62@gmail.com](mailto:siroushashemi62@gmail.com)