

اندازه‌گیری شدت جزایر حرارتی سطحی شهری با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی و شهری مطالعه‌ی موردی: شهرهای رشت و لنگرود

آرش کریمی زارچی^۱

رضا شاه‌حسینی^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۵/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۲/۱۸

چکیده

در این مقاله روش جدیدی برای اندازه‌گیری شدت جزیره‌های گرمایی سطحی شهری پیشنهاد می‌شود که از رابطه بین دمای سطح زمین (LST) و شاخص تفاضلی یکنواخت شده‌ی شهری (NDBI) و شاخص تفاضلی یکنواخت شده‌ی گیاهی (NDVI) که در تصویری به نام نقشه درصد شهری با هم ترکیب می‌شوند، استفاده می‌کند. با توجه به رفتار LST و رابطه آن با نوع پوشش زمین می‌توان گفت که رابطه بین LST و نقشه درصد شهری از یک تابع خطی پیروی می‌کند و می‌توان این تابع خطی را به نمودار دمای سطح زمین بر حسب کاربری زمین برازش داد. انتظار می‌رود از شیب به دست آمده از این خط برازش داده شده شدت جزیره گرمایی شهری (UHI) محاسبه شود. به دلیل ضعف شاخص NDBI این روش برای مناطق بیابانی دقت پایینی دارد ولی در مناطق با پوشش معتدل از دقت بالایی برخوردار است. در این مقاله از داده‌های ماهواره LANDSAT-7 پابینی سنجنده ETM⁺ روی منطقه رشت مرکز استان گیلان و از داده‌های ماهواره LANDSAT-8 سنجنده OLI/TIR مربوط به منطقه لنگرود در استان گیلان استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد برازش خوب یک خط به نمودار LST بر حسب NDBI و نقشه درصد شهری یک روش مناسب برای محاسبه شدت جزیره گرمایی شهری است و در مقایسه با روش‌های قدیمی دقت و کارایی بالاتری دارد.

واژه‌های کلیدی: جزیره گرمایی شهری (UHI)، دمای سطح زمین (LST)، شاخص NDBI، شاخص NDVI.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
karimizarchi@ut.ac.ir

۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) rshahosseini@ut.ac.ir

۱- مقدمه

داشتن اطلاعات دقیق و قابل اعتماد می‌تواند از بسیاری از خطرات گرمایشی جلوگیری کند و یک راهنما و منبع اطلاعاتی خوب برای بحث مدیریت و برنامه‌ریزی شهری باشد.

تغییر نوع پوشش زمین از منطقه غیرشهری به شهری مهمترین دلیل به وجود آمدن جزایر گرمایی شهری است (Cheval & Dumitrescu, 2015; H. Li, Wolter, Wang, & Sodoudi, 2017).

در گذشته محاسبه شدت جزیره‌های گرمایی با استفاده از دو سنجنده ثابت که یکی در منطقه شهری و دیگری در خارج شهر قرار داشت، صورت می‌گرفت (Yang, Ren, & Liu, 2013).

در بحث استفاده از داده‌های سنجنش ازدور نیز از دو پیکسل انتخابی که یکی در منطقه شهری و دیگری در خارج از شهر قرار داشت صورت می‌گرفت (Earl, Simmonds, & Tapper, 2016; Stewart, 2011).

جزیره‌های گرمایی در شناسایی پیکسل شهری و غیرشهری است. به این معنا که معرفی یک پیکسل به عنوان پیکسل شهری و پیکسل دیگر به عنوان پیکسل غیرشهری یک چالش مهم است (Azevedo, Chapman, & Muller, 2016; Du et al., 2016).

Stewart (2011) فردی به نام Stewart در مطالعات خود نشان داد که استفاده از دو ایستگاه و یا دو پیکسل ضعف‌های زیادی را برای محاسبه شدت جزیره‌های گرمایی دارد. همچنین استفاده از دو ایستگاه مقیاس کار را تغییر می‌دهد (Oke, 1976).

برای برطرف کردن مشکلات گفته شده لازم است به طریقی مرز بین منطقه شهری و غیر شهری مشخص شود. یکی از روش‌های معمول استفاده از طبقه بندی است. با استفاده از طبقه بندی و میانگین‌گیری دمای هر کلاس می‌توان تفاوت

دما بین مناطق شهری و غیرشهری را محاسبه کرد (Y.-y. Li, Zhang, & Kainz, 2012; Stathopoulou & Cartalis, 2007).

هایی در این روش وجود دارد: این احتمال وجود دارد که پیکسل‌هایی که در منطقه شهری نیستند در کلاس شهری قرار گیرند و یا پیکسل‌هایی که در منطقه شهری هستند در کلاس‌های دیگری قرار بگیرند، همچنین بالا بردن دقت نیاز به افزایش تعداد کلاس‌ها دارد و معرفی تعداد کلاس بالا

پدیده جزیره گرمایی زمانی رخ می‌دهد که دمای سطح زمین و دمای هوا در مناطق شهری نسبت به مناطق پیرامونشان بیشتر شود. این اختلاف دما در نقشه‌های دمایی خود را به صورت جزیره‌هایی نمایش می‌دهند که به جزیره‌های گرمایی شهری معروف هستند (Mills, 2008; Rizwan, Dennis, & Chunho, 2008).

اگر این اختلاف دما از سطحی بالاتر رود مشکلات و خطراتی از قبیل تغییر دادن تنوع زیستی (Knapp, Kühn, Stolle, & Klotz, 2010)، تغییرات در آب و هوا و اقلیم منطقه (Du(Dixon & Mote, 2003; Dou, Wang, Bornstein, & Miao, 2015) برهم زدن تعادل گرمایی، اثرات گلخانه‌ای و دیگر مشکلات زیست محیطی را در پی دارد (Quanliang, Changjian, Zhan, & Jingxuan, 2009).

جزیره‌های گرمایی شهری در کل به سه دسته تقسیم بندی می‌شوند:

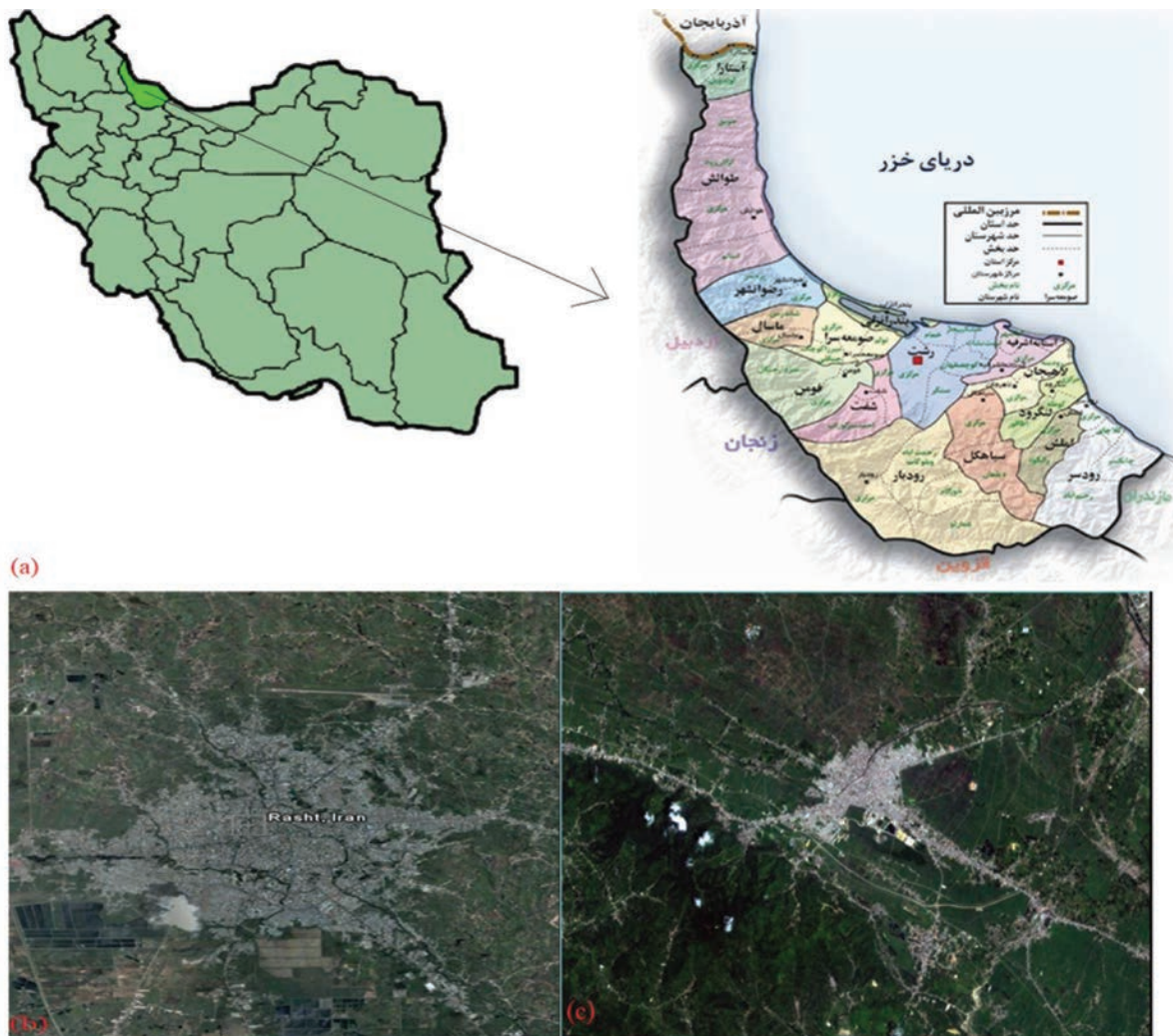
لایه جزیره گرمایی سایبان (Canopy)

لایه جزیره گرمایی مرزی (Boundary)

لایه جزیره گرمایی سطحی (Surface)

دو لایه اول مربوط به جزیره گرمایی اتمسفری هستند و از طریق شهرسازی به وجود می‌آیند. لایه سایبان نزدیک ترین لایه به سطح زمین است که بین سطح سخت زمین (ساختمان‌ها) و لایه مرزی وجود دارد. لایه مرزی یک لایه از اتمسفر است که دقیقاً بالای لایه سایبان قرار دارد. این دو لایه در مقیاس‌های متفاوتی مورد مطالعه قرار می‌گیرند و در آخر جزیره‌های گرمایی سطحی که مربوط به گرمتر بودن دمای سطح زمین در مناطق شهری نسبت به مناطق اطرافشان است. (Stathopoulou & Cartalis, 2007). (Oke, 1976).

مطالعه روی پدیده جزیره‌های گرمایی شهری تا به امروز روی بسیاری از شهرها با ابعاد مختلف صورت گرفته است. (Zhou, Rybski, & Kropp, 2017) به دلیل خطرات گرمایشی که پدیده جزیره‌های گرمایی به دنبال دارد مطالعات روی عوارضی که این پدیده به دنبال دارد، افزایش چشم‌گیری در بین دانشمندان داشته است و باعث شده که محققین به این پدیده و مشکلاتی که به دنبال دارد توجه بیشتری نمایند.



نگاره ۱: (a) منطقه استان گیلان در ایران (b) شهرستان رشت در گیلان (c) شهرستان لنگرود گیلان

سنجنده‌های ETM⁺ و ILO/TIR را پیشنهاد می‌کند. از شیب خط برازش داده شده به نمودار دمای سطح زمین بر حسب پوشش زمین که براساس درصد شهری محاسبه شده است می‌توان برای تخمین شدت جزیره گرمایی شهری استفاده کرد. هدف از انجام این تحقیق ارائه یک روش با دقت خوب برای محاسبه شدت جزیره‌های گرمایی شهری است.

۲- مناطق مورد مطالعه، داده مورد استفاده

۲-۱- مناطق مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق برای ماهواره لندست ۷ شهرستان رشت واقع شده در ۲۷° ۳۷' شمالی

نیاز به داده آموزشی بیشتر و همچنین استفاده از یک سنجنده با قدرت تفکیک مکانی بالا دارد. در روش پیشنهادی مقاله مشکلات و ضعف‌های طبقه‌بندی وجود ندارد و به دلیل استفاده از یک خط برازش داده شده وجود خطاهای موجود در تصویر دقت را در سطح کمتری تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. این مقاله استفاده از رابطه خطی بین دمای سطح زمین و شاخص تفاضلی یکنواخت شده‌ی شهری^۱ و شاخص تفاضلی یکنواخت شده‌ی گیاهی^۲ برای محاسبه شدت جزیره‌های گرمایی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست

1- NDBI (normalized difference build-up index)

2- NDVI (normalized difference vegetation index)

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این مقاله از داده‌های ماهواره لندست ۷ سنجنده ETM⁺ برای منطقه رشت در تاریخ ۱۲/۰۵/۲۰۰۲ در ساعت ۷:۳۸ استفاده شده است. این سنجنده دارای ۶ باند مرئی و مادون قرمز نزدیک و دو باند گرمایی^۱ و یک باند پنکوروماتیک^۲ است. این سنجنده دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری در باندهای غیر گرمایی و ۶۰ متری در باند گرمایی است. همچنین این سنجنده هر ۱۶ روز یکبار از یک منطقه مشخص روی زمین عبور می‌کند. به دلیل مشکل به وجود آمده در سنجنده بعد از سال ۲۰۰۳ از داده‌های قبل از این تاریخ استفاده شده است. از تصاویر ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI/TIR برای منطقه لنگرود در تاریخ ۱۱/۰۸/۲۰۱۷ در ساعت ۱۹:۲۴ استفاده شده است. این سنجنده دارای ۷ باند مرئی و مادون قرمز نزدیک و دو باند گرمایی و دو باند پنکوروماتیک است.

۳- روش پیشنهادی

برای انجام این تحقیق لازم است مراحل را به صورت گام به گام پیش برد. در نگاره (۲) مراحل کار به صورت مرحله‌ای نشان داده شده است که به طور مفصل به بررسی هر یک از این مراحل پرداخته می‌شود.

۳-۱- پیش پردازش‌ها

۳-۱-۱- تبدیل دیجیتال نامبر به رادیانس

برای تبدیل درجه خاکستری (DN) به انرژی تابشی^۳ در سنجنده از رابطه (۱) استفاده می‌شود این روش توسط شخص ارائه شده است (Markham & Barker, 1985).

$$L_i = Gain \times DN + offset \quad (1)$$

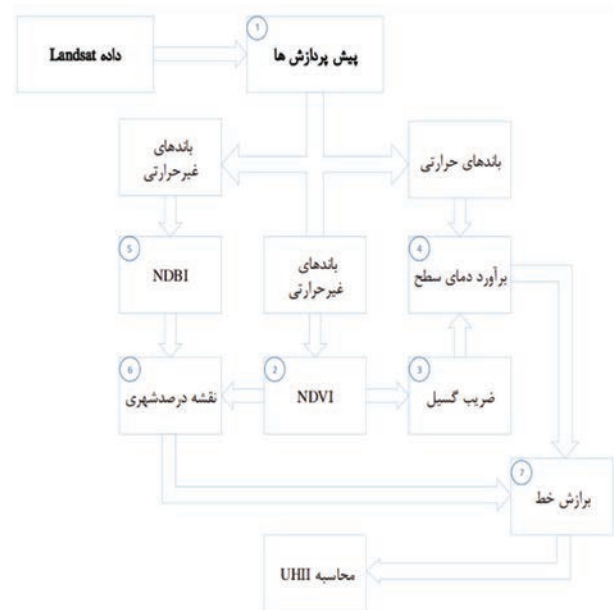
که در این رابطه L_i انرژی تابشی پیکسل مورد نظر

۴۹° ۵۸' ۵۸" شرقی است. رشت یکی از کلانشهرهای ایران و مرکز استان گیلان در شمال ایران است.

این کلانشهر همچنین بزرگترین و پرجمعیت‌ترین شهر شمال ایران در سه استان حاشیه دریای خزر و بزرگترین سکونت گاه سواحل جنوبی دریای کاسپین محسوب می‌شود.

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. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق برای ماهواره لندست ۸ شهرستان لنگرود در طول ۳۰° و ۱۰' و عرض ۵۰° و ۱۱' و جغرافیایی، در ارتفاع ۲۱ متر از سطح دریای خزر است. این شهرستان بر روی جلگه‌ای سرسبز می‌باشد که در ۱۰ کیلومتری دریای خزر قرار دارد و در قسمت‌های کوهپایه‌های جنوبی آن جنگلی دیده می‌شود.

لنگرود در فاصله ۶۰ کیلومتری رشت (مرکز استان) قرار دارد. هم اکنون شهرستان لنگرود بالغ بر ۱۳۷،۲۷۲ نفر جمعیت دارد.



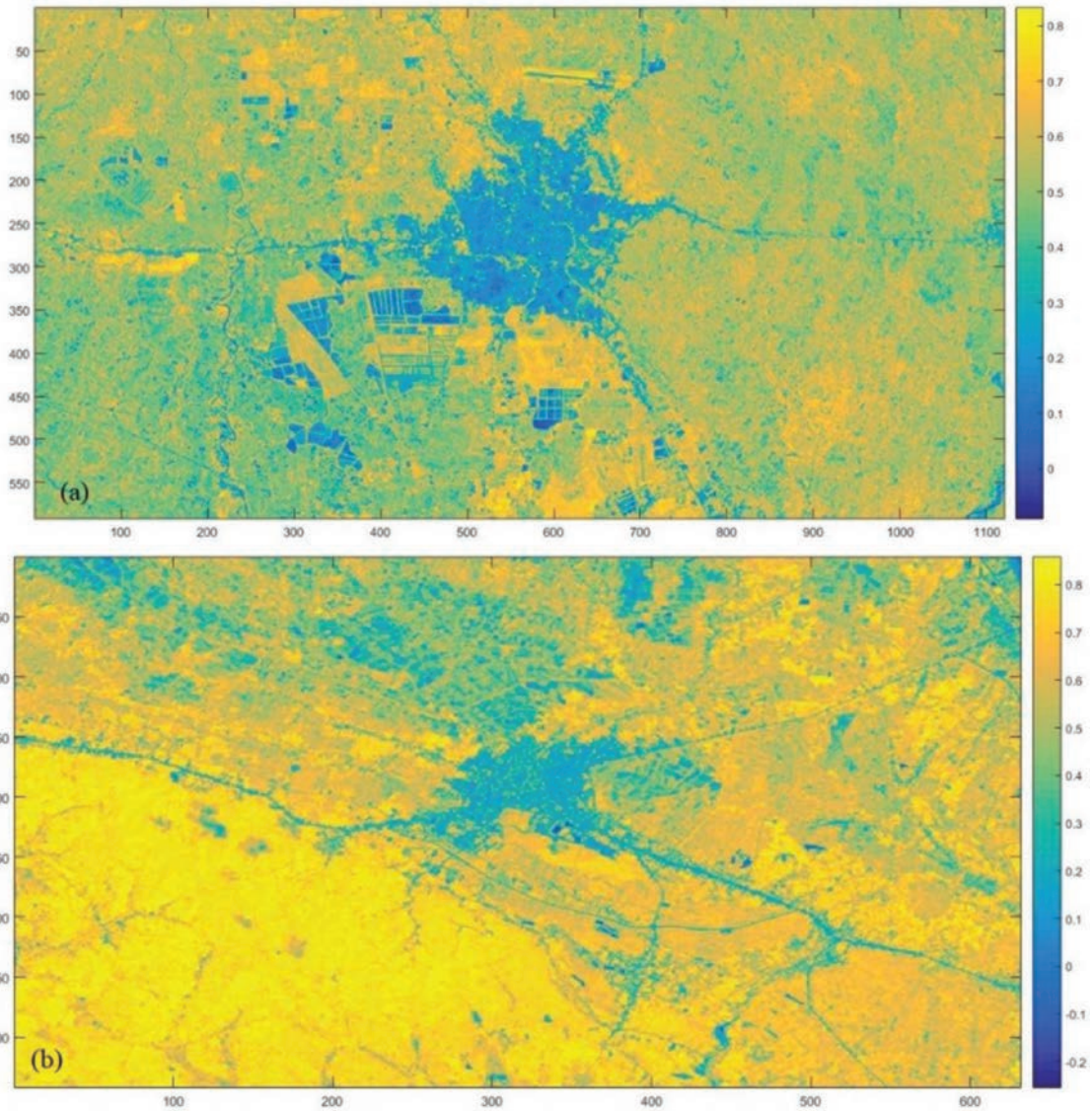
نگاره ۲: فلوجارت کلی برای محاسبه تغییرات دما

جزیره‌های گرمایی

1- Thermal

2- Panchromatic

3- Radiance



نگاره ۳: (a) نقشه شاخص پوشش گیاهی منطقه رشت (b) نقشه شاخص پوشش گیاهی منطقه لنگرود

هندسی و محیطی لحظه تصویربرداری مدل‌سازی می‌شود با استفاده از آن تأثیرات اتمسفر روی پرتوهای دریافتی سنجنده حذف می‌شود. این روش با گرفتن اطلاعات مکانی و زمانی از کاربر می‌تواند این مدل را بازسازی کند و با محاسبه تأثیرات اتمسفر روی سیگنال ورودی به سنجنده و حذف آنها تصحیحات اتمسفری لازم را روی انرژی تابش پیسکل‌ها اعمال کند.

برحسب $W/m^2 sr \mu.m$ است. $Gain$ گین یا شیب تابع انرژی تابشی، DN درجه خاکستری پیسکل مورد نظر و $Offset$ شیفت تابع انرژی تابشی است.

۳-۱-۲- اعمال تصحیحات اتمسفری

برای اعمال تصحیحات اتمسفری از مدل فلش (FLAASH) استفاده شده است. در این روش شرایط

ترکیب خطی از دو نوع عنصر طبیعی شامل خاک لخت و پوشش گیاهی سبز است. برای محاسبه پوشش گیاهی سبز جز به جز از رابطه (۳) استفاده می‌شود (Johnson, Tateishi, & Kobayashi, 2012)

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI(soil)}{NDVI(vegetation) - NDVI(soil)} \quad (3)$$

NDVI شاخص پوشش گیاهی است (Soil) NDVI در واقع مناطقی که در کلاس خاک قرار می‌گیرند و NDVI (Vegetation) مناطقی که در کلاس پوشش گیاهی قرار می‌گیرند، می‌باشد.

۳-۲-۲-۳-۲- برآورد ضریب گسیل نهایی

معیار دیگری که برای دمای سطح زمین لازم است ضریب گسیل می‌باشد. این معیار باید به صورت جداگانه برای هر دو باند حرارتی سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ محاسبه شود. این معیار را می‌توان از پارامتر FVC حساب کرد (Rozenstein, Qin, Derimian, & Karnieli, 2014).

$$LSE = E_s * (1 - FVC) + E_v * FVC \quad (4)$$

مقدار E_s , E_v برای باند ۱۰ برابر است با ۰/۹۸۷ و ۰/۹۷۱ و برای باند ۱۱ برابر است با ۰/۹۸۹ و ۰/۹۷۷.

۳-۴-۳-۴- محاسبه دمای سطح زمین

۳-۴-۳-۱- محاسبه دمای سطح زمین برای تصاویر ماهواره لندست ۷

برای محاسبه دمای سطح زمین (LST) ابتدا لازم است دمای ظاهری (T_B) محاسبه شود. برای محاسبه T_B از رابطه (۵) استفاده می‌شود (Schott & Volchok, 1985).

$$T_B = \frac{K_2}{\ln \frac{K_1 + 1}{L_{TIR}}} \quad (5)$$

که در این رابطه T_B دمای ظاهری پیکسل مورد نظر برحسب کلونین (K)، L_{TIR} انرژی تابشی باند گرمایی

3- Land Surface Temperature

۳-۲- محاسبه شاخص پوشش گیاهی

شاخص پوشش گیاهی (NDVI) یک شاخص برای مشخص کردن مناطق با پوشش گیاهی است (Gallo & Tarpley, 1996) این شاخص با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (2)$$

که در آن $NDVI$ شاخص پوشش گیاهی پیکسل مورد نظر، ρ_{NIR} ضریب بازتابش پیکسل مورد نظر در باند مادون قرمز نزدیک و ρ_R ضریب بازتابش پیکسل مورد نظر در باند قرمز است. در نگاره (۳) تصویر شاخص پوشش گیاهی منطقه مورد نظر نمایش داده شده است.

۳-۳- محاسبه ضریب گسیل

۳-۳-۱- محاسبه ضریب گسیل برای لندست ۷

برای محاسبه ضریب گسیل مندی یا همان ضریب گسیل (Emissivity) از روشی براساس شاخص پوشش گیاهی استفاده می‌شود. این روش توسط (Van de Griend & Owe, 1993) ارائه شده است و با استفاده از جدول (۱) می‌توان میزان ضریب گسیل را محاسبه کرد.

جدول ۱: مقادیر ضریب گسیل براساس NDVI

NDVI	Emissivity
NDVI < -0.185	0.995
-0.185 < NDVI < 0.157	0.970
0.157 < NDVI < 0.727	1.0094 + 0.47 ln(NDVI)
NDVI > 0.727	0.990

۳-۳-۲- محاسبه ضریب گسیل برای لندست ۸

۳-۳-۳- برآورد کسری پوشش گیاهی

پوشش گیاهی سبز جز به جز^۲ پارامتری است که در بسیاری از کاربردهای محیط زیست و تغییرات آب و هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع این پارامتر یک

1- Reflectance

2- Fractional Vegetation Cover (FVC)

۳-۲-۲-۲- برآورد ستون بخار آب (CWV)
یکی از پارامترهایی که در الگوریتم پنجره مجزا استفاده می‌شود پارامتر ستون بخار آب می‌باشد که در بهبود دقت دمای سطح زمین نقش بسزایی دارد. این پارامتر با استفاده از اطلاعات اتمسفری به دست می‌آید ولی به علت در دسترس نبودن این پارامتر، می‌تواند از رابطه زیر تخمین زده شود (Z.-L. Li et al., 2013)

$$CWV = C0 + C1 * (Tj / Ti) + C2 * (Tj / Ti)^2 \quad (9)$$

Tj/Ti: میانگین دمای روشنایی در باندهای گرمایی و ضرایب c0, c1, c2 به ترتیب برابر -۹,۶۷۴ و ۰,۶۵۳ و ۰,۰۸۷ است.

۳-۲-۲-۳- روش پنجره مجزا

این الگوریتم یکی از روش‌های مهم در برآورد دمای سطح زمین می‌باشد و این روش نسبت به سایر روش‌ها دارای دقت بالاتری است. یکی از ویژگی‌های مهم که می‌توان در مورد این روش نام برد کاهش اثرات اتمسفری می‌باشد. در نهایت رابطه‌ای که در این روش استفاده می‌شود به صورت رابطه (۱۰) است.

$$LST = TB10 + C1 (TB10 - TB11) + C2 (TB10 - TB11)^2 + C0 + (C3 + C4W) * (1 - \epsilon) + (C5 + C6W) * \Delta \epsilon \quad (10)$$

که در آن TB10: دمای درخشندگی در باند TB11, 10؛ دمای درخشندگی در باند TB11, 11؛ $\Delta \epsilon$: اختلاف ضریب گسیل در دو باند ۱۰ و ۱۱؛ W: مقدار ستون بخار آب است.

جدول ۲: ضرایب روش پنجره مجزا

مقدار	ضرایب
-۰/۶۲۸	c0
۱/۳۷۸	c1
۰/۱۸۳	c2
۵۴/۳۰۰	c3
-۲/۲۳۸	c4
-۱۲۹/۲۰	c5
۱۶/۴۰۰	C6

پیکسل مورد نظر برحسب $K_1, K_2, W/m^2sr\mu.m$ و K_1, K_2 نیز دو ثابت هستند که برای سنجنده مورد نظر مقدار K_2 برابر با ۱۲۸۲,۷۱ (K) و K_1 برابر با ۶۶۶,۰۹ ($W/m^2sr\mu.m$) است (Schneider & Mauser, 1996).

بعد از محاسبه T_B می‌توان دمای سطح زمین (LST) را محاسبه کرد. برای محاسبه دمای سطح زمین از رابطه (۶) استفاده می‌شود (Artis & Carnahan, 1982).

$$LST = \frac{T_B}{1 + (\lambda \times T_B / \alpha) \ln \epsilon} \quad (6)$$

که در این رابطه LST دمای سطح زمین پیکسل مورد نظر برحسب کلونین (K), T_B دمای ظاهری پیکسل مورد نظر برحسب کلونین (K), λ طول موج باند گرمایی بر حسب متر (m), ϵ ضریب گسیل پیکسل مورد نظر و α ثابتی برابر با ۰/۰۱۴۳۸ (mk) است. در نگاره (۴) تصویر دمای سطح زمین (LST) منطقه مورد نظر مشاهده می‌شود.

۳-۲-۴- محاسبه دمای سطح زمین برای تصاویر ماهواره لندست ۸

۳-۲-۴-۱- برآورد دمای درخشندگی باندهای حرارتی داده‌های موجود در باند گرمایی در تصاویر لندست ۸ را می‌توان با استفاده از فرمول (۷)، تبدیل به دمای درخشندگی کرد (Rozenstein et al., 2014).

$$T = K2 / \ln (K1 / L \lambda + 1) \quad (7)$$

در رابطه (۷) دو ضریب K_1 و K_2 در فایل فراداده ماهواره قابل اخذ می‌باشند.

برای به دست آوردن دمای درخشندگی باندهای گرمایی لندست ۸ می‌توان از معکوس قانون پلانک استفاده کرد.

$$T = \frac{\left(\frac{hc}{k}\right)}{\lambda * \ln\left(\frac{2hc^2}{L\lambda^5} + 1\right)} \quad (8)$$

در رابطه (۸) h برابر با ثابت پلانک، c برابر با سرعت نور، k ثابت استیفسان بولتزمن می‌باشد (Mao, Qin, Shi, & Gong, 2005).

۳-۵- محاسبه شاخص پوشش شهری

شاخص پوشش شهری (NDBI) یک شاخص برای مشخص کردن مناطق شهری است (Zha, Gao, & Ni, 2003). این شاخص با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$NDBI = \frac{\rho_{MIR} - \rho_{NIR}}{\rho_{MIR} + \rho_{NIR}} \quad (11)$$

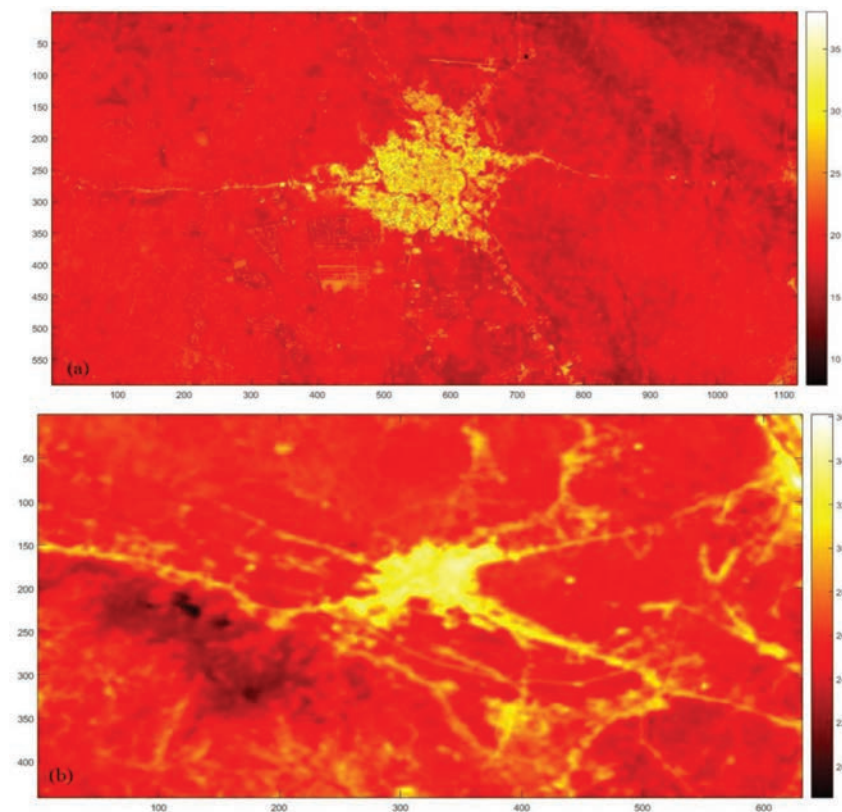
که در آن $NDBI$ شاخص پوشش شهری پیکسل مورد نظر، ρ_{NIR} ضریب بازتابش پیکسل مورد نظر در باند مادون قرمز نزدیک و ρ_{MIR} ضریب بازتابش پیکسل مورد نظر در باند مادون قرمز میانی است. با توجه به رابطه شاخص پوشش شهری زمانی که انرژی تابشی یک پیکسل در باند مادون قرمز میانی از انرژی تابشی آن پیکسل در باند مادون قرمز نزدیک بیشتر باشد، شاخص، مقدار منفی به خود می‌گیرد. معمولاً در مناطقی که پوشش گیاهی هستند به دلیل بالا بودن انرژی تابشی باند مادون قرمز نزدیک این مقدار منفی است. ولی در مناطق شهری که انرژی تابشی

باند مادون قرمز میانی بیشتر است این مقدار مثبت است. در نگاره (۵) تصویر شاخص پوشش شهری منطقه مورد نظر مشاهده می‌شود.

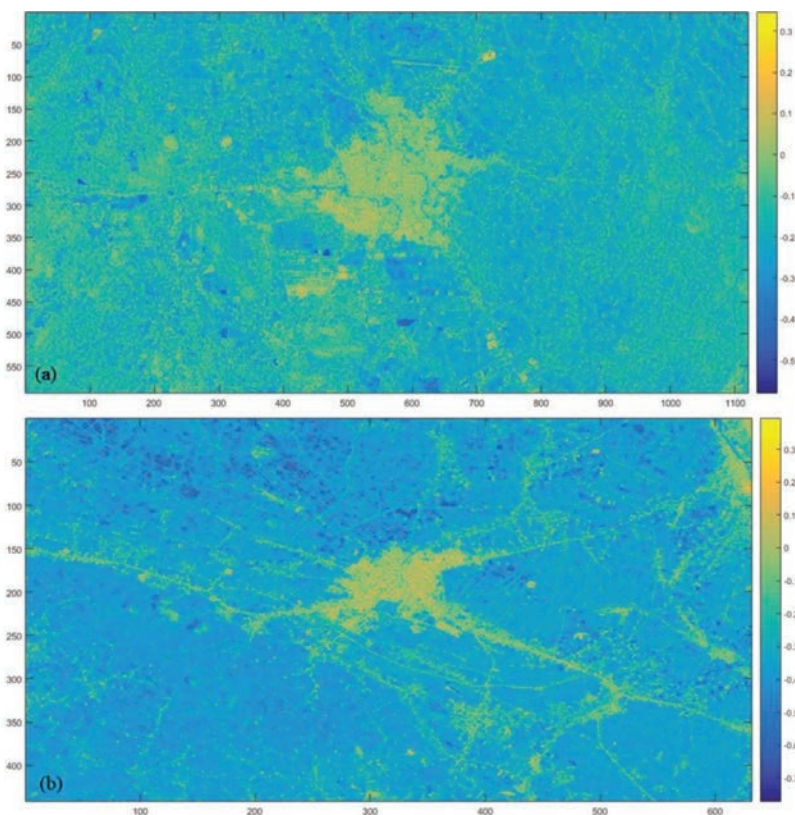
۳-۶- طبقه‌بندی تصویر

به منظور طبقه‌بندی تصویر و جداسازی پیکسل‌ها با کاربری‌های متفاوت از دو روش SVM و بیشترین احتمال استفاده شده است. در روش بیشترین احتمال با استفاده از یک تابع احتمال، احتمال تعلق هر پیکسل به هر کلاس مشخص و طبقه‌بندی صورت می‌گیرد.

در روش SVM با استفاده از بردارهایی به نام بردارهای پشتیبان (Support Vector) تابع تصمیمی (Decision Function) محاسبه می‌شود و عمل طبقه‌بندی با استفاده از آنها صورت می‌گیرد (Ramanathan & Sharma, 2017). این طبقه‌بندی‌ها از نوع با نظارت هستند به همین دلیل نیاز به داده‌های آموزشی دارند. داده‌های آموزشی با استفاده از تصاویر Google Earth



نگاره ۴: (a) نقشه دمای سطح زمین
منطقه رشت (b) نقشه دمای سطح
زمین منطقه لنگرود



نگاره ۵: (a) نقشه شاخص پوشش شهری منطقه رشت (b) نقشه شاخص پوشش شهری منطقه لنگرود

حذف داده‌های مشکوک از فرایند است. منظور از پیکسل‌های مشکوک پیکسل‌هایی هستند که شاخص پوشش شهری بیش از حد یا کمتر از حد را دارند. این فرایند با انجام آزمون‌های آماری روی داده‌های موجود صورت می‌گیرد. میزان تغییرات دو شاخص در جدول (۴) مشاهده می‌شود.

با توجه به این که نمودار دما بر حسب شاخص پوشش گیاهی از یک منحنی تقریباً لگاریتمی پیروی می‌کند و نمودار دما بر حسب شاخص پوشش شهری از یک تابع تقریباً توانی پیروی می‌کند می‌توان با ترکیب این دو شاخص یک نمودار نسبتاً خطی استخراج کرد. برای ترکیب این دو شاخص از یک رابطه چند جمله‌ای خطی استفاده شده و ضرایب آن از روش کمترین مربعات محاسبه شده است. برای محاسبه تصویر درصد شهری از معادله (۱۲ و ۱۳) استفاده شده است.

$$ISA_R = 0.98NDBI - 0.784NDVI \quad (12)$$

$$ISA_L = 0.967NDBI - 0.76NDVI \quad (13)$$

تصویر نهایی درصد شهری در نگاره (۷) مشاهده می‌شود.

تهیه شده‌اند. طبقه‌بندی در پنج کلاس: شهری، ویلایی، جنگل، کشاورزی، شالیزار با استفاده از باندهای غیر گرمایی که شامل باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی و Short wave است، صورت گرفته است. در نگاره (۶ و ۷) تصاویر طبقه‌بندی شده مشاهده می‌شود.

۳-۷- تهیه تصویر درصد شهری

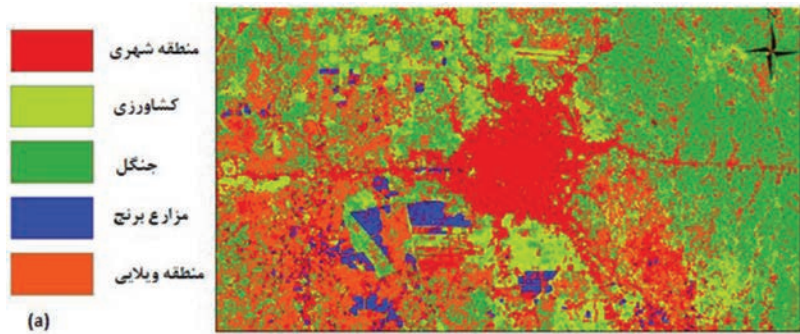
در تصویر درصد شهری، هر چه پیکسل به منطقه شهری نزدیکتر باشد مقدار آن به عدد ۱ نزدیک می‌شود و هرچه پیکسل به مناطق غیرشهری و فضای سبز نزدیکتر باشد مقدار آن به صفر میل می‌کند (Langanke et al., 2013).

شاخص پوشش شهری و شاخص پوشش گیاهی دو شاخصی هستند که می‌توان به کمک آنها این مقداردهی را انجام داد. البته به علت ضعف شاخص پوشش شهری در مناطق بیابانی این تصویر در این گونه مناطق باید با شاخص-ها یا روش‌های دیگری تهیه شود. نکته مهم در این مرحله

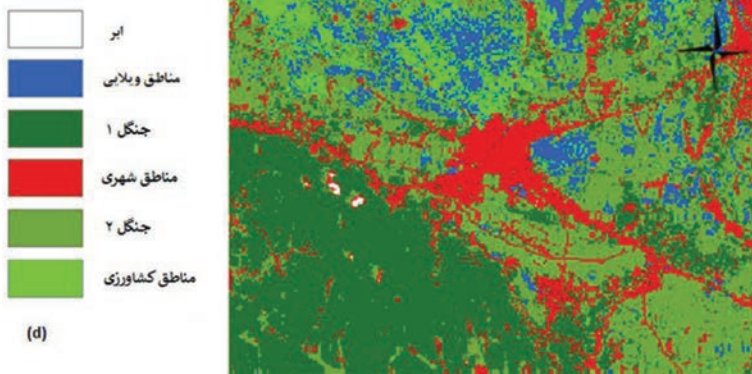
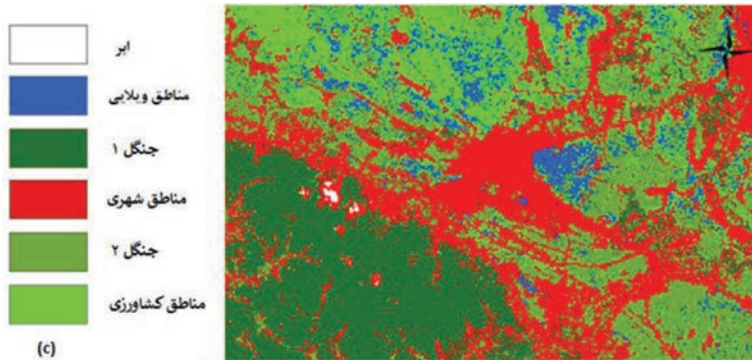
۳-۸- برآزش خط و محاسبه شیب

و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و در نهایت از شیب نمودار LST برحسب تصویر درصد شهری و یا شاخص پوشش شهری برای مقاردهی به شدت جزیره‌های گرمایی

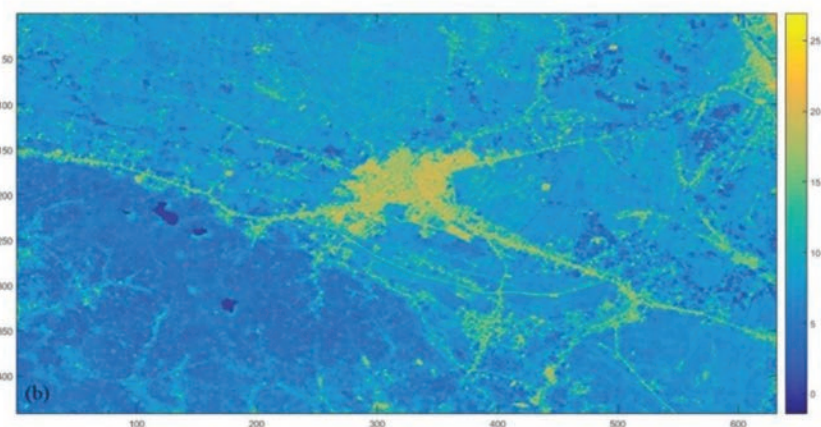
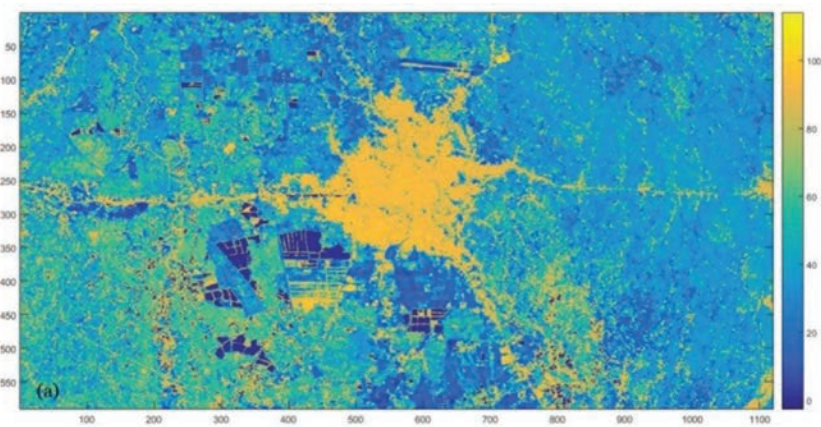
همان گونه که گفته شد روش پیشنهادی مقاله از رابطه بین دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش شهری (NDBI)



نگاره ۶: (a) تصویر طبقه بندی شده به روش بیشترین احتمال (b) تصویر طبقه بندی شده به روش SVM برای شهرستان رشت



نگاره ۷: (c) تصویر طبقه بندی شده به روش بیشترین احتمال (d) تصویر طبقه بندی شده به روش SVM برای شهرستان لنگرود



نگاره ۸: (a) نقشه درصد شهری منطقه رشت (b) نقشه درصد شهری منطقه لنگرود

۴- نتایج

تغییرات دو شاخص پوشش شهری و شاخص پوشش گیاهی در جدول (۳) مشاهده می‌شود که برای محاسبه تصویر درصد شهری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین در جداول (۴ و ۵) دامنه تغییرات و میانگین دمای سطح هر کلاس محاسبه شده است.

جدول ۳: دامنه تغییرات شاخص‌ها

شاخص	Min	Max	Range
NDVI _{Rasht}	۰/۱	۰/۷۵	۰/۶۵
NDBI _{Rasht}	۰/۵	۰/۱۷	۰/۶۷
NDVI _{Langarud}	۰/۰۵	۰/۸۷	۰/۸۲
NDBI _{Langarud}	-۰/۶	۰/۰۹	۰/۶۹

همان گونه که در نگاره (۹) مشاهده می‌شود نمودار دمای سطح زمین برحسب تصویر درصد شهری از یک تابع نسبتاً خطی پیروی می‌کند و با خط برازش داده شده به آن اختلاف

استفاده می‌کند (H. Li et al., 2018). تفاوت دمای سطح مناطق شهری که شاخص پوشش شهری بالا و شاخص پوشش گیاهی پایینی دارند و دمای سطح مناطق غیر شهری که شاخص پوشش شهری پایین و شاخص پوشش گیاهی بالایی دارند، همان اختلاف دمایی است که شدت جزیره گرمایی را مشخص می‌کند.

بنابراین با محاسبه شیب خط برازش داده شده به نمودار LST برحسب نقشه درصد شهری می‌توان اختلاف دمای دو منطقه شهری و غیرشهری را محاسبه نمود.

البته لازم به ذکر است که به دلایل مختلف ممکن است پیکسل‌های شهری با دمای پایین و غیرشهری با دمای بالا وجود داشته باشند. دلایلی مانند وجود نویز در تصویر، ضعف شاخص پوشش شهری و... که این پیکسل‌ها باید از معادلات حذف شوند.

جداول (۴) و (۵) قابل مشاهده است. در انتها مقادیر شدت جزیره‌های گرمایی محاسبه شده از روش طبقه‌بندی در جدول (۶) نمایش داده شده است و در بخش بررسی نتایج به تفصیل به نقاط قوت و ضعف آنها اشاره شده است.

جدول ۴: دامنه و میانگین دمای سطح برای کلاس‌ها در شهرستان رشت

نوع کلاس	شهرستان رشت		Mean
	LST_{Min}	LST_{Max}	
منطقه شهری (قرمز)	۱۸/۴	۳۴/۳	۲۶/۳۳
منطقه ویلایی (نارنجی)	۲۰/۱	۲۶/۶	۲۳/۰۱
منطقه جنگلی (سبز تیره)	۱۹/۳	۲۵/۵	۲۲/۹۴
منطقه کشاورزی (سبز روشن)	۱۸/۶	۲۴/۷	۲۲/۵۸
منطقه شالیزار (آبی)	۱۷/۵	۲۲/۹	۲۰/۹۵

جدول ۵: دامنه و میانگین دمای سطح برای کلاس‌ها در شهرستان لنگرود

نوع کلاس	شهرستان لنگرود		Mean
	LST_{Min}	LST_{Max}	
منطقه شهری (قرمز)	۱۹/۰۵	۳۶/۸	۲۶/۷۱
منطقه ویلایی (آبی)	۲۰/۸	۲۷/۱	۳۲/۵۸
منطقه کشاورزی (سبز روشن)	۱۹/۲	۲۵/۹	۲۳/۰۳
منطقه جنگلی پراکنده (سبز)	۱۷/۱	۲۳/۲	۲۱/۱۴
منطقه جنگلی انبوه (سبز تیره)	۱۶/۹	۲۲/۷	۲۰/۶۹

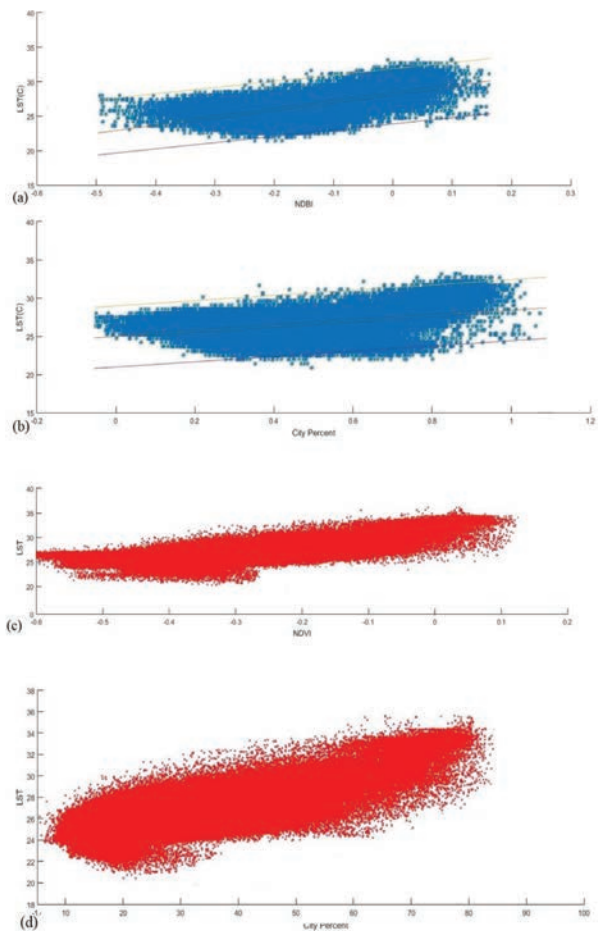
۵- بررسی نتایج

۵-۱- نقشه‌های کاربری اراضی

همان گونه که انتظار می‌رفت دقت طبقه‌بندی SVM با دقت ۹۳٪ بهتر از روش بیشترین احتمال با دقت ۸۸٪ عمل طبقه‌بندی را انجام داده است در نگاره‌های (۷ و ۸) تصاویر طبقه‌بندی مشاهده می‌شوند.

در این طبقه‌بندی پیکسل‌های شالیزار که به رنگ آبی مشخص شده‌اند مناطقی هستند که به علت کشت شالیزاری برنج کل منطقه با آب پوشیده شده است. برای

دما یا همان شدت جزیره گرمایی مشخص شده است. همچنین نمودار دمای سطح زمین بر حسب شاخص پوشش شهری از یک تابع تقریباً خطی پیروی می‌کند و با شیب خط برازش داده شده به آن و اختلاف شاخص پوشش شهری منطقه اختلاف دما یا همان شدت جزیره گرمایی مشخص شده است.



نگاره ۹: (a) خط برازش داده شده بر نمودار LST بر حسب شاخص پوشش شهری (b) خط برازش داده شده بر نمودار LST بر حسب درصد شهری برای رشت (c) خط برازش داده شده بر نمودار LST بر حسب شاخص پوشش شهری (d) خط برازش داده شده بر نمودار LST بر حسب درصد شهری برای لنگرود

در جدول (۷) شدت جزیره گرمایی و دقت شیب برازش داده شده مشاهده می‌شود. همچنین اطلاعات دمایی کلاس‌های مختلف در تصویر طبقه‌بندی محاسبه شده و در

۳-۵- تصویر درصد شهری

همان گونه که در نگاره (۸) مشاهده می‌شود تصویر درصد شهری با استفاده از دوشاخص پوشش شهری و پوشش گیاهی محاسبه شده است.

ضرایب رابطه (۱۲ و ۱۳) بر اساس دامنه تغییرات و بیشترین و کمترین مقادیر آنها که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، محاسبه شده‌اند.

در تصویر با دقت خوبی پیکسل مناطق شهری به مقدار بالا و هر چه پیکسل از حالت شهری بودن خود خارج شده و به منطقه جنگلی نزدیکتر می‌شود مقدار آن کاهش می‌یابد. همچنین می‌توان از روش‌های شبکه عصبی و یا جملات توانی یا لگاریتمی برای محاسبه تصویر درصد شهری استفاده کرد. البته به دلیل ضعف شاخص پوشش شهری در مناطق بیابانی برای محاسبه این تصویر در این گونه مناطق باید روش دیگری بر اساس طبقه بندی یا شاخص‌های دیگر استفاده شود.

۴-۵- شیب نمودار برازش داده شده و UHI

همان گونه که در جدول (۷) مشاهده می‌شود دقت خط برازش داده شده برای شهرستان رشت در حالتی که تنها از شاخص پوشش شهری استفاده شود پایین‌تر از زمانی است که از تصویر درصد شهری استفاده شود ولی برای شهرستان لنگرود در حالتی که تنها از شاخص پوشش شهری استفاده شود بالاتر از زمانی است که از تصویر درصد شهری استفاده شود.

با توجه به این که تفاوت در دقت دو نمودار مقدار زیادی نیست می‌توان گفت هر دو نمودار می‌توانند برای محاسبه شدت جزیره‌های گرمایی مورد استفاده قرار گیرند به دلیل این که جزیره گرمایی یک ماهیت فیزیکی ندارد نمی‌توان از روش‌های معمول برآورد دقت استفاده کرد. برای ارزیابی دقت روش از خط برازش داده شده به نمودار استفاده شده است (H. Li et al., 2018).

محاسبه دمای سطح آنها از روش‌های محاسبه دمای سطح آب (SST) استفاده شده است. به دلیل تأثیر دمایی که این مناطق در معادلات می‌گذارند این مناطق از معادلات حذف شده‌اند.

میانگین دمایی هر یک از کلاس‌ها را در جداول (۴ و ۵) به خوبی می‌توان مشاهده کرد که دمای سطح هر کلاس به خصوص کلاس شهری بازه بزرگی از دماها را شامل می‌شود. این نشان می‌دهد که طبقه‌بندی و استفاده از میانگین دمایی هر کلاس نمی‌تواند با دقت خوبی شدت جزیره گرمایی را نشان دهد. برای بالا بردن دقت روش طبقه‌بندی نیز نیاز به تعداد کلاس زیاد و به تبع آن نیاز به داده آموزشی زیاد است. همچنین انتخاب روش طبقه‌بندی در دقت کار تأثیرگذار است. به دلیل ضعف‌های موجود در داده‌های آموزشی زیاد و تعداد کلاس زیاد این روش زیاد قابل استفاده برای دقت‌های بالا نیست.

۲-۵- UHI محاسبه شده به روش طبقه‌بندی

همانگونه که در جدول (۶) مشاهده می‌شود اختلاف میانگین دمای کلاس شهری از کلاس‌های کشاورزی و جنگلی نمایش داده شده است. برای محاسبه شدت جزیره گرمایی از اختلاف دمای کلاس شهری و میانگین دمای دو کلاس کشاورزی و جنگلی استفاده شده است. همان گونه که گفته شد بازه دمایی کلاس شهری بسیار بزرگ است و این باعث پایین آمدن دقت نتایج می‌شود.

دلیل اصلی به وجود آمدن این بازه بزرگ دمایی، وجود ویلاها و خانه‌های موجود در این مناطق است. با وجود تعریف کلاس دیگری به نام کلاس مناطق ویلایی این مناطق ساختاری بسیار شبیه به کلاس شهری را دارند و ممکن است در بعضی از پیکسل‌ها به عنوان مناطق شهری طبقه‌بندی شوند. و به علت دمای پایین‌تر این مناطق نسبت به مناطق شهری بازه دمایی کلاس شهری محدوده بزرگی را شامل می‌شود.

۵-۵- مقایسه نتایج خروجی برای دو سنجنده

نتایج نشان می‌دهد که هر دو نمودار دما بر حسب تصویر درصد شهری و دما بر حسب شاخص پوشش شهری دقت‌های مناسبی را برای محاسبه شدت جزایر گرمایی در اختیار ما قرار می‌دهند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که این روش هم برای ماهواره لندست ۷ و هم برای ماهواره لندست ۸ دقت بالایی دارد و می‌تواند برای سنجنده‌های ETM+,OLI/TIR روش مناسبی برای مقارنه‌ی به شدت جزیره‌های گرمایی باشد.

با توجه به این که سنجنده TIR دو باند در محدوده مادون قرمز حرارتی دارد دقت دمای محاسبه شده از آن در مقایسه با سنجنده ETM+ بیشتر است ولی به دلیل آنکه در بحث جزیره‌های گرمایی اختلاف دما مورد استفاده قرار می‌گیرد تک باند حرارتی سنجنده ETM+ می‌تواند کافی باشد و دقت خوبی را نتیجه دهند.

جدول ۶: UHII محاسبه شده به روش طبقه‌بندی

منطقه	اختلاف دما منطقه شهری و کشاورزی	اختلاف دما منطقه شهری و جنگلی	شدت جزیره گرمایی (UHII)
رشت	۳/۷۵	۳/۳۹	۳/۵۱
لنگرود	۳/۶۹	۵/۷۹	۴/۸۳

جدول ۷: UHII محاسبه شده با روش برازش خط به همراه دقت خط برازش داده شده

حالت	R^2	UHII(K)
با استفاده از NDBI در رشت	۰/۸۱	۵/۰۳
با استفاده از نقشه درصد شهری در رشت	۰/۸۵	۴/۳۶
با استفاده از NDBI در لنگرود	۰/۸۶	۵/۹۸
با استفاده از نقشه درصد شهری در لنگرود	۰/۷۹	۶/۳۴

۶- نتیجه‌گیری

این مقاله یک روش جدید برای مقدار دهی به شدت جزیره گرمایی شهری پیشنهاد می‌کند که از رابطه بین دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش شهری (NDBI) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) که منجر به تولید تصویر درصد شهری می‌شود، استفاده می‌کند.

نمودار LST بر حسب شاخص پوشش شهری و نقشه درصد شهری از یک تابع تقریباً خطی با یک حائل پیروی می‌کند.

شیب نمودار برازش داده شده به این نمودارها به عنوان شدت جزیره گرمایی شهری (UHII) معرفی شده است.

این روش روی دو نمودار LST بر حسب شاخص پوشش شهری و LST بر حسب نقشه درصد شهری صورت گرفته و نشان داده شد که هر دو روش دقت خوبی را دارند. استفاده از روش طبقه‌بندی به دلایل نام برده شده برای کارهای با دقت بالا مناسب نیست و برای بالاتر بردن دقت آن نیاز به داده‌های آموزشی و تعداد کلاس زیاد است.

برازش خوب یک خط به نمودار LST بر حسب شاخص پوشش شهری و نقشه درصد شهری یک روش مناسب برای محاسبه شدت جزیره گرمایی شهری است و در مقایسه با روش‌های قدیمی دقت و کارایی بالاتری داشته و بسیاری از مشکلات و ضعف‌های آن‌ها را ندارد.

همچنین در این روش، محدودیتی در نوع سنجنده وجود ندارد و می‌توان روی بسیاری از داده‌های ماهواره‌ای این روش را پیاده‌سازی کرد. ولی به علت ضعف شاخص پوشش شهری در مناطق بیابانی این روش مناسب این گونه مناطق نیست.

با استفاده از یک شاخص دیگر و یا یک روش دیگر برای محاسبه تصویر درصد شهری و پوشش زمین در این گونه مناطق می‌توان این روش را پیاده‌سازی کرد و این موضوع، می‌تواند در تحقیقات بعدی مورد بررسی قرار بگیرد.

Earth Observation and Geoinformation, 64, 104-116.

10. Dixon, P. G., & Mote, T. L. (2003). Patterns and causes of Atlanta's urban heat island-initiated precipitation. *Journal of Applied Meteorology*, 42(9), 1273-1284.

11. Dou, J., Wang, Y., Bornstein, R., & Miao, S. (2015). Observed spatial characteristics of Beijing urban climate impacts on summer thunderstorms. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54(1), 94-105.

12. Du, H., Wang, D., Wang, Y., Zhao, X., Qin, F., Jiang, H., & Cai, Y. (2016). Influences of land cover types, meteorological conditions, anthropogenic heat and urban area on surface urban heat island in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration. *Science of the Total Environment*, 571, 461-470.

13. Earl, N., Simmonds, I., & Tapper, N. (2016). Weekly cycles in peak time temperatures and urban heat island intensity. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074003.

14. El-Hattab, M., Amany, S. M., & Lamia, G. E. (2017). Monitoring and assessment of urban heat islands over the Southern region of Cairo Governorate, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*.

15. Gallo, K., & Tarpley, J. (1996). The comparison of vegetation index and surface temperature composites for urban heat-island analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 17(15), 3071-3076.

16. Jato-Espino, D. (2019). Spatiotemporal statistical analysis of the Urban Heat Island effect in a Mediterranean region. *Sustainable Cities and Society*, 101427.

17. Johnson, B., Tateishi, R., & Kobayashi, T. (2012). Remote sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers. *Remote Sensing*, 4(9), 2619-2634.

18. Knapp, S., Kühn, I., Stolle, J., & Klotz, S. (2010). Changes in the functional composition of a Central European urban flora over three centuries. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 12(3), 235-244.

19. Langanke, T., Büttner, G., Dufourmont, H., Iasillo, D., Probeck, M., Rosengren, M., . . . Weichselbaum, J. (2013). GIO land (GMES/Copernicus initial operations land) High Resolution Layers (HRLs)—summary of product specifications. European Environment Agency.

20. Li, H., Wolter, M., Wang, X., & Sodoudi, S. (2017).

منابع و مأخذ

1. Ahmed, S. (2018). Assessment of urban heat islands and impact of climate change on socioeconomic over Suez Governorate using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), 15-25.

2. Amorim, M. C. D. C. T. (2018). Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 9, 10-16.

3. Artis, D. A., & Carnahan, W. H. (1982). Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4), 313-329.

4. Azevedo, J. A., Chapman, L., & Muller, C. L. (2016). Quantifying the daytime and night-time urban heat island in Birmingham, UK: A comparison of satellite derived land surface temperature and high resolution air temperature observations. *Remote Sensing*, 8(2), 153.

5. Bonafoni, S., Baldinelli, G., & Verducci, P. (2017). Sustainable strategies for smart cities: Analysis of the town development effect on surface urban heat island through remote sensing methodologies. *Sustainable Cities and Society*, 29, 211-218.

6. Chakraborty, T., & Lee, X. (2019). A simplified urban-extent algorithm to characterize surface urban heat islands on a global scale and examine vegetation control on their spatiotemporal variability. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 74, 269-280.

7. Chen, W., Zhang, Y., Gao, W., & Zhou, D. (2016). The investigation of urbanization and urban heat island in Beijing based on remote sensing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, 141-150.

8. Cheval, S., & Dumitrescu, A. (2015). The summer surface urban heat island of Bucharest (Romania) retrieved from MODIS images. *Theoretical and Applied Climatology*, 121(3-4), 631-640.

9. de Faria Peres, L., de Lucena, A. J., Rotunno Filho, O. C., & de Almeida França, J. R. (2018). The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. *International Journal of Applied*

A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120-128.

32. Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., & Karnieli, A. (2014). Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, 14(4), 5768-5780.

33. Schneider, K., & Mauser, W. (1996). Processing and accuracy of Landsat Thematic Mapper data for lake surface temperature measurement. *International Journal of Remote Sensing*, 17(11), 2027-2041.

34. Schott, J. R., & Volchok, W. J. (1985). Thematic Mapper thermal infrared calibration. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51, 1351-1357.

35. Stathopoulou, M., & Cartalis, C. (2007). Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. *Solar Energy*, 81(3), 358-368.

36. Stewart, I. D. (2011). A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, 31(2), 200-217.

37. VandeGriend, A., & Owe, M. (1993). On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 14(6), 1119-1131.

38. Wang, W., Liu, K., Tang, R., & Wang, S. (2019). Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*.

39. Yang, P., Ren, G., & Liu, W. (2013). Spatial and temporal characteristics of Beijing urban heat island intensity. *Journal of applied meteorology and climatology*, 52(8), 1803-1816.

40. Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594.

41. Zhou, B., Rybski, D., & Kropp, J. P. (2017). The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific Reports*, 7(1), 4791.

Impact of land cover data on the simulation of urban heat island for Berlin using WRF coupled with bulk approach of Noah-LSM. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-15.

21. Li, H., Zhou, Y., Li, X., Meng, L., Wang, X., Wu, S., & Sodoudi, S. (2018). A new method to quantify surface urban heat island intensity. *Science of The Total Environment*, 624, 262-272.

22. Li, Y.-y., Zhang, H., & Kainz, W. (2012). Monitoring patterns of urban heat islands of the fast-growing Shanghai metropolis, China: Using time-series of Landsat TM/ETM+ data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19, 127-138.

23. Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., . . . Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14-37.

24. Mao, K., Qin, Z., Shi, J., & Gong, P. (2005). A practical split window algorithm for retrieving landsurface temperature from MODIS data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(15), 3181-3204.

25. Markham, B. L., & Barker, J. L. (1985). Spectral characterization of the Landsat Thematic Mapper sensors. *International Journal of Remote Sensing*, 6(5), 697-716.

26. Mathew, A., Khandelwal, S., Kaul, N., & Chauhan, S. (2018). Analyzing the diurnal variations of land surface temperatures for surface urban heat island studies: Is time of observation of remote sensing data important?. *Sustainable cities and society*, 40, 194-213.

27. Mills, G. (2008). Luke Howard and the climate of London. *Weather*, 63(6), 153-157.

28. Oke, T. R. (1976). The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268-277.

29. Quanliang, C., Changjian, N., Zhan, L., & Jingxuan, R. (2009). Urban heat island effect research in Chengdu city based on MODIS data. Paper presented at the Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2009. ICBBE 2009. 3rd International Conference on.

30. Ramanathan, T. T., & Sharma, D. (2017). Multiple Classification Using SVM Based Multi Knowledge Based System. *Procedia Computer Science*, 115, 307-311.

31. Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. (2008).