



سجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.15, No. 2, Summer 2023

۳۷-۵۴

مقاله پژوهشی

تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای سطح زمین

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه موردی: شهر بیرجند)

فاطمه کافی^۱، الهام یوسفی روبیات^{۲*}، فاطمه جهانی شکیب^۳

۱. کارشناسی ارشد ارزیابی و آمایش، گروه محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند
۲. استادیار دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند
۳. استادیار دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۶

چکیده

جهان در حال گرم‌شدن است و جمعیت جهان به سکونت در شهرها روی می‌آورند. این دو حقیقت در ظاهر با هم ارتباطی ندارند اما پدیده‌ای به نام «جزیره حرارتی شهری» این دو را به هم پیوند می‌دهد. UHI یکی از معمول‌ترین پدیده‌های اقلیم شهری است که در آن برخی مناطق شهری، به‌ویژه مراکز شهرها، چند درجه از مناطق اطراف خود گرم‌تر می‌شوند. مطالعه این پدیده و بررسی مکانیسم آن برای برنامه‌ریزی‌های شهری اهمیت بسیار زیادی دارد. در پژوهش حاضر، به‌منظور برآورد LST، از چهار الگوریتم تک‌کاناله لندست، تک‌پنجره، معادله پلانک و معادله انتقال تابش در محیط نرم‌افزار QGIS، در بازه زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ طی فصل‌های تابستان و زمستان در شهر بیرجند استفاده شده و نیز اثر تغییر کاربری در جزیره حرارتی بررسی شده است. ابتدا دمای سطح زمین در شهر بیرجند، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، ۷ سنجنده ETM+ و لندست ۸، سنجنده OLI/TIRS طی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ از طریق چهار روش استخراج شد. به‌منظور بررسی توانایی کلی الگوریتم‌ها در محاسبه دمای سطح زمین، شاخص‌های آماری میانگین خطای مربعات، ضریب ناش-ساتکلیف، میانگین خطای مطلق و ضریب تعیین به کار رفت. نتایج نشان داد که الگوریتم تک‌کاناله لندست، در محاسبه دمای سطح زمین در شهر بیرجند، دقت بیشتری در قیاس با الگوریتم‌های دیگر دارد.

کلیدواژه‌ها: جزیره حرارتی شهری، ماهواره لندست، شهر بیرجند، میانگین خطای مطلق.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، تلفن: ۰۹۱۵۱۶۰۰۶۲۵

Email: e_yusefi_31@birjand.ac.ir
https://orcid.org/0000-0002-5396-6402
https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102440



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱- مقدمه

با استفاده از الگوریتم تک کاناله و بررسی تأثیر کاربری‌ها در تغییرات دمایی، در شهرستان ملایر، LST را برآورد کرد. نتایج نشان داد که LST بین $20/55^{\circ}\text{C}$ تا 20°C $50/55$ در نوسان است. همچنین با بررسی تأثیر کاربری‌ها در دمای منطقه مشخص شد منابع آبی و پوشش طبیعی، از جمله تالاب آقگل، بیشترین نقش را در کاهش دمای منطقه داشته و طبقات پایین دمایی را به خود اختصاص داده‌اند. اصغری و امامی^۶ (۲۰۱۸) رابطه کاربری اراضی با دمای سطح زمین را بررسی کردند. آنها، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ و ۸، ابتدا LST را با الگوریتم تک کاناله استخراج و سپس نقشه کاربری اراضی شهر اردبیل را برای دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷، با استفاده از الگوریتم شیء-گرا، استخراج و نقشه تغییرات کاربری اراضی را در یک بازه زمانی هجده ساله تهیه کردند. طبق نتایج، رابطه‌ای قدرتمند بین کاربری اراضی و دما وجود دارد. فیضی زاده^۷ و همکاران (۲۰۱۶) دمای سطح زمین (LST)^۸ را در حوزه آبریز شهر مهاباد بررسی کردند و برای این کار، از روش پنجره مجزا^۹ بهره بردند. نتایج نشان داد دقت نقشه دمای سطحی استخراج شده $1/4^{\circ}\text{C}$ بوده است. بالچیک^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ روش MW^{۱۱}، به ارزیابی LST پرداختند. نتایج پژوهش آنها بیان کرد صحت‌سنجی LST با داده‌های دمایی ایستگاه‌های هواشناسی، $74/49\%$ است. یو^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۴)، به منظور برآورد LST، از روش‌های معادله انتقال تابش^{۱۳}، پنجره مجزا و تک کاناله استفاده کردند. براساس این نتایج، دقت در روش معادله انتقال تابش بیشتر از روش‌های

یکی از تهدیدهای توسعه شهری، افزایش دما و گرم شدن محیط زیست شهری است که، با درجه حرارت بالاتر در مقایسه با حومه، تعریف می‌شود؛ این پدیده جزیره حرارتی شهری (UHI)^۱ نام دارد (Izadfar & Malian, 2015). امروزه با توجه به دگرگونی هوا سپهر و همراه با گسترش شهرنشینی، این پدیده شهری شدت یافته است (Song & Wu, 2016). یکی از مشکلات مهم مناطق شهری تأثیرات UHI است که عوامل بسیاری، از جمله شهرنشینی و مسائل آب‌وهوایی ناشی از تولید و انباشت گرما در توده شهری، مسبب آن است (Jahangiri Manesh, 2016). UHI، افزون بر تغییرات دمایی مانند تغییر در شار تابشی و انتشار گرما، باعث تغییراتی در فرایندهای زمینی می‌شود؛ مانند رشد زودتر گیاهان شهری و طولانی تر شدن فصل رشد کاهش رطوبت سطحی (Meteorology of South Khorasan province, 1398). حرارت زیاد شهری تأثیراتی، از جمله افزایش میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها، افزایش غلظت آلودگی‌ها، کاهش پایداری محیط و نیز کاهش سلامت انسانی را در پی دارد؛ بنابراین پدیده یادشده از پیامدهای مهم شهرنشینی و شهرسازی است (Santamouris & Kolokotsa, 2016). با توجه به اهمیت UHI، تا کنون مطالعات داخلی و خارجی بسیاری در این باره انجام شده است. می‌توان به پژوهش محمدی^۲ و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد که تغییرات دمایی کاربری اراضی شهر زنجان را در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹، با مقایسه الگوریتم‌های برآورد LST، ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد الگوریتم تک کاناله (SC)^۳ در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ دارای کمترین RMSE و MAE و بیشترین دقت است. سکر تکین و بونافونی^۴ (۲۰۲۰) LST را با استفاده از سه الگوریتم انتقال تابش، الگوریتم تک پنجره و تک کاناله بررسی کردند. طبق نتایج این پژوهش، در مقیاس فصلی، شاخص انتقال تابش و روش تک کاناله نتایج مشابه و رضایت بخشی در پی داشتند. ناصری^۵ (۲۰۲۰)

- | | |
|---------------------------------------|--------------|
| 1. Urban Heat Islands | 2. Mohammadi |
| 3. Single Channel | |
| 4. Sekertekin & Bonafoni | 5. Naseri |
| 6. Asghari & Emami | 7. Faizzadeh |
| 8. Land Surface Temperature | |
| 9. Split Window | 10. Balcik |
| 11. Mono Window | 12. Yu |
| 13. Radiative Transfer Equation (RTE) | |

است. با این هدف، با استفاده از شاخص‌های ارزیابی ضریب ناش-ساتکلیف (NSE)^۳، میانگین خطای مربعات (RMSE)^۴، میانگین خطای مطلق (MAE)^۵ و ضریب تعیین (R^2)^۶، بهترین روش از نظر نزدیکی نتایج به‌دست‌آمده به داده‌های دمای خاک ایستگاه هواشناسی انتخاب شده است.

۲- مواد و روش‌ها

شکل ۱ موقعیت شهر بیرجند، مرکز استان خراسان جنوبی، را نشان می‌دهد. این استان در شرق ایران و در حاشیه شمال شرق دشت لوت واقع شده است. شهرستان بیرجند، از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین ۲۰' ۳۱° تا ۳۳° ۳۱' عرض شمالی و ۵۷° ۵۷' تا ۵۹° ۴۰' طول شرقی قرار دارد. شهر بیرجند در قسمت مرکزی و شمال شرق شهرستان بیرجند، در فاصله کوه‌های باقران به ارتفاع ۲۷۲۰ متر و کوه‌های مؤمن‌آباد به ارتفاع ۲۷۸۰ متر، قرار دارد که به‌صورت دو رشته‌کوه موازی از شمال غرب به جنوب شرق شهرستان امتداد یافته‌اند. گرم‌ترین ماه در بیرجند تیر و سردترین ماه دی است. با توجه به آمار دریافتی، کمترین دمای ثبت شده در ۲۶ دی ۱۳۷۱ و برابر $21/5^{\circ}\text{C}$ - و بیشترین آن در ۲۵ و ۲۶ تیر ۱۳۸۹ و ۱۶ تیر ۱۳۷۷، برابر با $42/6^{\circ}\text{C}$ بوده است (Meteorology of South Khorasan province, 2018).

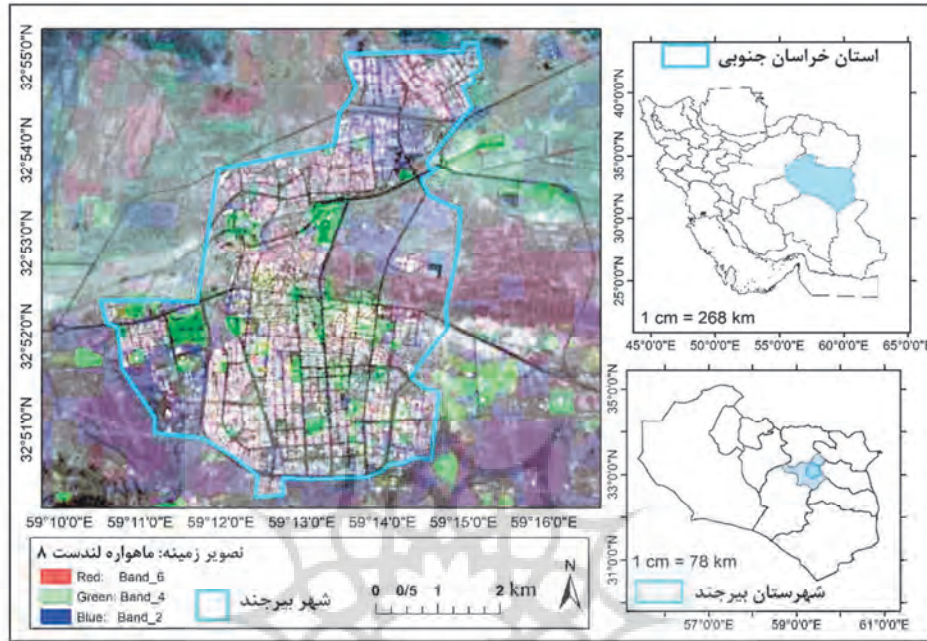
در این پژوهش، به‌منظور بررسی پدیده UHI در شهر بیرجند، از چهار تصویر ماهواره‌ای متفاوت سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، متعلق به دو فصل زمستان و تابستان، استفاده شد. تصاویر سنجنده‌های لندست ۷ و ۸ از وبسایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) و داده‌های دمایی ایستگاه هواشناسی بیرجند نیز از وبسایت ^۷OGIMET دریافت شد (جدول ۱).

دیگر است. لیو و ژانگ^۱ (۲۰۱۱) نیز، برای استخراج LST بین دو روش تک‌پنجره و تک‌کاناله استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که روش تک‌پنجره دارای دقت بیشتری است.

امروزه سنجش از دور ابزاری مؤثر برای درک محیط شهری به‌شمار می‌آید زیرا، با توانایی منحصربه‌فرد خود در تکرار تصاویر دریافت‌شده از یک منطقه، نقشه‌هایی با طیف‌های فضایی متعدد در اختیار عموم قرار داده و بسیاری از مشکلات را در سطح مطالعات شهری، از میان برداشته است (Yuan & Bauer, 2007). LST از شاخص‌های اصلی تعادل انرژی کره زمین و مؤثر در حیات انسان‌هاست زیرا تمامی فعالیت‌های انسان، مستقیم و غیرمستقیم، به دمای هوا (که متأثر از LST است) بازمی‌گردد (Zhang et al., 2006). شهرها از جمله مناطق با تراکم انسانی بالا شمرده می‌شود. تا سال ۲۰۱۰، ۵۰٪ جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کردند که نشان‌دهنده حضور بیشتر جمعیت جهان در شهرهاست (Senanayak et al., 2013). همچنین پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰، نزدیک به ۷۰٪ جمعیت جهان در شهرها سکونت داشته باشند (Farina & Pieretti, 2012). مهم‌ترین ویژگی حرارتی شهرها UHI است (Thi et al., 2008). به‌طورکلی در محیط‌های شهری، پوشش گیاهی به‌صورت پراکنده وجود دارد و در نتیجه، ساختمان‌ها و سطوح نفوذناپذیر انرژی خورشیدی را جذب و در طول‌موج بالاتری گسیل می‌کنند. با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین تهدیدهای توسعه شهرنشینی پدیده جزیره حرارتی است و در اقلیم‌شناسی شهری کاربرد دارد، بررسی حرارتی آن بیش از پیش احساس می‌شود (Oke, 1997)؛ بنابراین هدف پژوهش حاضر برآورد LST است که با استفاده از روش‌های الگوریتم تک‌کاناله لندست، معادله انتقال تابش، الگوریتم تک‌پنجره و معادله پلانک^۲ در محیط نرم‌افزار QGIS، طی بازه زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ در فصل‌های تابستان و زمستان، در شهر بیرجند و با توجه به توزیع کاربری‌های متفاوت در سطح شهر، انجام شده

1. Liu & Zhang
2. Planck equation
3. Nash-Sutcliffe Efficiency
4. Root Mean Squared Error
5. Mean Absolute Error
6. Coefficient of determination
7. <https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en>

شهر بیرجند با شماره ردیف ۳۷ و گذر ۱۵۹ در سیستم تصویر UTM، در زون ۴۰ قرار گرفته است. به منظور تحلیل بلندمدت زمانی، از تصویرهای ماهواره‌ای لندست با مشخصات جدول ۲ استفاده شده است.



شکل ۱. موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در استان خراسان جنوبی و ایران (شهر بیرجند)

جدول ۱. مشخصات دمایی ایستگاه هواشناسی بیرجند

| ساعت آفتابی (h) | فشار (Hp) | سرعت باد (Km/h) | میانگین رطوبت نسبی (%) | دما (°C) | | | تاریخ |
|--------------------|------------|--------------------|---------------------------|-----------------|---------------|----------------|-----------|
| | | | | دمای میانگین | دمای کمینه | دمای بیشینه | |
| ۸/۴ | ۸۴۲/۸۵۴۲/۶ | ۱۵/۳ | ۴۷/۶ | ۴/۵ | -۱/۹ | ۱۳/۳ | ۲۰۱۹/۱/۱ |
| ۱۲/۴ | ۸۴۶/۲ | ۱۹/۸ | ۱۵ | ۳۰/۸ | ۲۱/۵ | ۳۸/۳ | ۲۰۱۹/۷/۱۲ |
| ۸/۴ | ۸۴۵/۱ | ۶/۲ | ۶۷/۷ | ۸/۵ | ۵/۶ | ۱۳/۴ | ۲۰۰۰/۱/۲۱ |
| * | | ۶/۴ | ۲۶/۷ | ۲۶/۳ | ۱۵/۶ | ۳۳ | ۲۰۰۰/۷/۱۵ |

جدول ۲. تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش

| ساعت برداشت | ساعت برداشت به وقت گرینویچ | تاریخ برداشت خورشیدی | تاریخ برداشت میلادی | نوع باند استفاده شده | نوع سنجنده | نوع ماهواره | ردیف |
|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------|-------------|------|
| ۱۱:۷:۵۲ | ۰۶:۳۷:۵۲ | ۱۳۹۷/۱۰/۱۱ | ۲۰۱۹/۱/۱ | ۱۰ | OLI/TIRS | Landsat8 | ۱ |
| ۱۱:۷:۵۶ | ۰۶:۳۷:۵۶ | ۱۳۹۸/۰۴/۲۱ | ۲۰۱۹/۷/۱۲ | ۱۰ | OLI/TIRS | Landsat8 | ۲ |
| ۱۱:۰۰ | ۰۶:۳۰:۴۷ | ۱۳۷۸/۱۱/۱ | ۲۰۰۰/۱/۲۱ | ۶ | ETM+ | Landsat7 | ۳ |
| ۱۰:۵۹:۲۸ | ۰۶:۲۹:۲۸ | ۱۳۷۹/۰۴/۲۵ | ۲۰۰۰/۷/۱۵ | ۶ | ETM+ | Landsat7 | ۴ |

رادیانس طیفی و دمای روشنایی باندهای حرارتی تصاویر محاسبه شود. در مرحله بعد، نقشه LST تهیه شد. شایان ذکر است، به منظور صحت‌سنجی، دمای استخراج‌شده از طریق تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های دمای پنج‌سانتی‌متری سطح خاک مقایسه شد. روش‌های بسیاری برای محاسبه LST وجود دارد؛ شامل الگوریتم تک‌کاناله لندست، معادله انتقال تابش، الگوریتم تک‌پنجره، معادله پلانک، الگوریتم تک‌کاناله استر^۶ و الگوریتم پنجره مجزای استر. در پژوهش حاضر از الگوریتم تک‌کاناله لندست، معادله انتقال تابش، الگوریتم تک‌پنجره و معادله پلانک استفاده شد. از مهم‌ترین موارد آنالیز در پژوهش حاضر، تبدیل ارزش‌های رقومی تصویر به مقادیر تابشی با تابع تبدیل در رابطه (۱) است (Chander & Groeneveld, 2009).

$$L_{\lambda} = \frac{(L_{Max\lambda} - L_{Min\lambda})}{(Q_{Cal Max} - Q_{Cal Min})} * (Q_{Cal} - Q_{Cal Min}) + L_{Min\lambda}$$

رابطه (۱)

در رابطه (۱)، L_{λ} میزان رادیانس طیفی را نشان می‌دهد. Q_{Cal} نشان‌دهنده میزان رقومی‌سازی شده DN کالیبره شده است. $Q_{Cal Max}$ و $Q_{Cal Min}$ ، به ترتیب، مینیمم و ماکزیمم مقدار Q_{Cal} متناظر با $L_{Min\lambda}$ را نشان می‌دهد. $L_{Max\lambda}$ و $L_{Min\lambda}$ کمترین و بیشترین رادیانس تابشی‌اند که مقادیر آنها، به ترتیب، ۰ و ۲۵۵ برحسب $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ است. در تصحیحات جوئی محیط اتمسفری روی تصویر اصلی اغلب به صورت مشابه فرض می‌شود (Aliabadi & Soltanifard, 2017). دمای روشنایی دمای متناظر با انرژی تابشی منعکس‌شده از سطح پدیده از طریق سنجنده است که طبق رابطه (۲) به دست می‌آید (Chander & Groeneveld, 2009).

$$T_R = \frac{K_2}{\log\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

رابطه (۲)

T_R دمای روشنایی برحسب کلون، K_1 و K_2 ضرایب کالیبراسیون برحسب $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ و L_{λ} رادیانس

معیارهای مؤثر در به دست آوردن LST شامل شاخص پوشش گیاهی (NDVI)^۱، قابلیت انتشار سطح زمین و دمای روشنایی ماهواره است که با استفاده از روابط ریاضی به دست می‌آیند. فیلترهای طیفی دو باند حرارتی لندست ۸ باریک‌تر از باند حرارتی سنجنده TM^+ و ETM^+ است (Maleki et al., 2018). برای محاسبه LST و UHI در شهر بیرجند، از باند ۱۰ حسگر TIRS^۴ لندست ۸ و برای سال‌های مورد مطالعه، از باند ۶ حسگر ETM^+ لندست ۷ استفاده شد. سپس تصاویر ماهواره‌ای به اندازه منطقه مورد مطالعه برش داده و تصحیحات هندسی و رادیومتریکی انجام شد. با اجرای الگوریتم FLAASH^۵، خطای مربوط به اتمسفر کاهش یافت. در فرایند تبدیل ارزش‌های رقومی پیکسل‌ها به رادیانس باندهای حرارت (باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ و باند ۶ ماهواره لندست ۷) و نیز تبدیل رادیانس به دمای روشنایی، تصحیح رادیومتریکی روی باند حرارتی انجام شد و در نهایت، با استفاده از رادیانس طیفی و دمای روشنایی باندهای حرارتی تصاویر به دست آمد. این تصاویر برای دو فصل گرم و سرد سال‌های مورد مطالعه استخراج شد. برای تحلیل تصاویر استخراج‌شده، ابتدا ارزش‌های رقومی تصویر به رادیانس طیفی (از مهم‌ترین موارد آنالیز در این مطالعه) تبدیل شد. سپس، با فرض کردن زمین به منزله جسم سیاه، از راه قانون پلانک تبدیل رادیانس طیفی به دمای روشنایی محاسبه شد (Chander & Groeneveld, 2009). سرانجام دمای روشنایی به دمای جنبشی تبدیل شد. در این باره، میزان گسیل‌مندی برای تبدیل دمای روشنایی به جنبشی ضروری است و از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در محاسبه حرارت سطح زمین به شمار می‌رود. در تمامی روش‌های استخراج LST باید

1. Normalized Difference Vegetation index
2. Thematic Mapper
3. Enhanced Thematic Mapper Plus
4. Thermal InfraRed Sensor
5. Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes

6. ASTER

مقدار متوسط، با فرض توزیع‌های متفاوت هندسی، برابر با ۰/۵۵ است (Tang et al., 2015).
 رابطه (۶) $d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - P_v)F\varepsilon_v$

۲-۱- الگوریتم معادله پلانک

برای برآورد LST با استفاده از معادله پلانک، نیاز به یک تصویر دمای درخشندگی و یک تصویر گسیل‌مندی است. معادله پلانک به‌علت فقدان تصحیح اتمسفری، در مقایسه با روش‌های دیگر، دارای محدودیت است. این الگوریتم طی مراحل ذیل صورت می‌گیرد:

(۱) محاسبه رادیانس حرارتی

(۲) محاسبه دمای درخشندگی

(۳) محاسبه NDVI:

(الف) محاسبه تصحیحات رادیومتریک اتمسفری

برای باندهای آبی تا فرورسرخ نزدیک

(ب) خروجی از باندهای NIR و Red

(۴) محاسبه گسیل‌مندی.

به‌منظور تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی، گسیل‌مندی ضروری است. دمای روشنایی دمایی است که جسم سیاه در طول موج معلوم حدود ۱۱/۵ میکرومتر دارد (Shakiba et al., 2009) و در نهایت، LST براساس روش پلانک محاسبه می‌شود. LST این روش، بر مبنای میزان تابش الکترومغناطیسی جسم سیاه، بنا استفاده از رابطه (۷) حاصل می‌شود (Jiménez-Munoz & Sobrino, 2003).

$$T_s = \frac{BT}{1 + \left[\frac{\lambda \cdot BT}{\rho}\right] \cdot \ln \varepsilon} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه (۷)، BT دمای درخشندگی باندهای حرارتی ۶ و ۱۰، λ طول موج، ε گسیل‌مندی و ρ مقدار ثابت $1/438 \times 10^{-2}$ است.

۲-۲- الگوریتم تک‌پنجره

چین^۱ و همکاران (۲۰۰۱) الگوریتم تک‌پنجره را برای

1. Qin

طیفی برحسب $\text{wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ است. شاخص NDVI یکی از رایج‌ترین شاخص‌هاست که به‌منظور بررسی وضعیت پوشش گیاهی مطرح شده و طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Atzberger, 2013).

$$\text{NDVI} = \frac{B_{\text{NIR}} - B_{\text{RED}}}{B_{\text{NIR}} + B_{\text{RED}}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این معادله B_{RED} و B_{NIR} ، به ترتیب، میزان بازتاب در باند فرورسرخ و میزان بازتاب در باند قرمز را نشان می‌دهد. گسیل‌مندی سطحی یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر برای برآورد LST است که شامل نسبت انرژی گرمایی گسیل‌شده از سوی سطح به انرژی گرمایی گسیل‌شده از جسم سیاه در همان دما می‌شود. با توجه به مطالعات، مقدار گسیل‌مندی درمورد پوشش گیاهی $(\text{NDVI} \geq 0.5)$ برابر با ۰/۹۹ و درمورد مناطق فاقد پوشش گیاهی $(\text{NDVI} \leq 0.2)$ برابر با ۰/۹۷ است. مقدار گسیل‌مندی درمورد $0.5 < \text{NDVI} < 0.2$ که پیکسل‌های مخلوطی از خاک و گیاه است، طبق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d\varepsilon \quad \text{رابطه (۴)}$$

ε_v نشان‌دهنده میزان گسیل‌مندی پوشش گیاهی، ε_s بیانگر میزان گسیل‌مندی خاک و P_v نشان‌دهنده نسبت پوشش گیاهی است که با استفاده از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$P_v = \left[\frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{min}}}{\text{NDVI}_{\text{max}} + \text{NDVI}_{\text{min}}} \right]^2 \quad \text{رابطه (۵)}$$

NDVI_{min} بیانگر کمترین مقدار NDVI خاک خشک و NDVI_{max} بیانگر بیشترین مقدار NDVI پوشش گیاهی متراکم است.

$d\varepsilon$ اثر توزیع هندسی سطوح طبیعی و همچنین بازتاب داخلی است که به صورت تقریبی، با استفاده از رابطه (۶) به دست می‌آید. درمورد سطوح ساده، می‌توان از این مقدار چشم‌پوشی کرد اما درمورد سطوح ناهمگن و خشن، مثلاً در جنگل، این مقدار ممکن است به ۰/۲ برسد؛ برای این مقدار، F یک ضریب شکل است که

شبیه‌سازی، با استفاده از مدل 7 LOWTRAN برای دو پروفیل دمای هوا برآورد می‌شود: معادلات (۱۲) و (۱۳) برای دمای بیشتر از ۳۵ °C و معادلات (۱۴) و (۱۵) برای دمای کمتر از ۱۸ °C (Qin et al., 2001).

$$\tau = 0.974290 - 0.08007w \quad (0.4 \text{ g} \cdot \text{cm} - 2 < w < 1.6 \text{ g} \cdot \text{cm} - 2)$$

رابطه (۱۲)

$$\tau = 1.031412 - 0.11536w \quad (1.6 \text{ g} \cdot \text{cm} - 2 < w < 3.0 \text{ g} \cdot \text{cm} - 2)$$

رابطه (۱۳)

$$\tau = 0.982007 - 0.09611w \quad (0.4 \text{ g} \cdot \text{cm} - 2 < w < 1.6 \text{ g} \cdot \text{cm} - 2)$$

رابطه (۱۴)

$$\tau = 1.053710 - 0.14142w \quad (1.6 \text{ g} \cdot \text{cm} - 2 < w < 3.0 \text{ g} \cdot \text{cm} - 2)$$

رابطه (۱۵)

۳-۲- الگوریتم معادله انتقال تابش

معادله انتقال تابش از جمله الگوریتم‌های ساده و پرکاربرد به‌شمار می‌رود که با استفاده از رابطه (۱۶) به‌دست می‌آید (Sinha et al., 2014). این الگوریتم در مورد داده‌های لندست، سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI/TIRS استفاده می‌شود. برای محاسبه LST پارامترهایی مانند تابش‌های روبه‌بالا و روبه‌پایین اتمسفر، قابلیت عبور جو و گسیل‌مندی به‌کار می‌رود و تصحیح اتمسفری مناسبی ایجاد می‌کند. تابش‌های روبه‌بالا و روبه‌پایین و قابلیت عبور جو با استفاده از سایت (<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>) تعیین شد.

$$T_s = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_{\lambda}(T_s)} + 1\right)} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

K_1 و K_2 ضرایب باند ۱۰ لندست ۸ و باند ۶ لندست ۷ است که از متادیتای تصاویر استخراج شده است. $L_{\lambda}(T_s)$ رادیانس سطح در دو باند حرارتی ۱۰ و ۶ را نشان می‌دهد که از طریق آن، رادیانس رسیده به سطح طبق رابطه (۱۷) به‌دست می‌آید (Barsi et al., 2003).

$$L_{\lambda}(T_s) = \frac{L_{\lambda} - L_{\lambda up}}{\tau_{\epsilon\lambda}} - \frac{1 - \epsilon_{\lambda}}{\epsilon_{\lambda}} L_{\lambda down} \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

بازیابی الگوریتم LST Mono-windows مطرح کردند. این الگوریتم سه پارامتر اصلی، از جمله انتشار، انتقال و میانگین دمای جو را ضروری می‌کند. باند ۶ از لندست ETM+ و باند ۱۰ از لندست ۸ تابش را با دامنه طیفی از ۱۰/۴۰ تا ۱۲/۵۰ μm برای لندست ETM+ و ۱۰/۶۰ تا ۱۱/۱۹ μm برای لندست ۸ ثبت می‌کنند (Chen et al., 2014). این الگوریتم یکی از روش‌های دقیق در محاسبه LST است. در این روش، برای محاسبه از پارامترهایی همچون دمای درخشندگی، میانگین دمای اتمسفر، قابلیت عبور جو و گسیل‌مندی استفاده می‌شود. با به‌کار بردن این الگوریتم، امکان محاسبه LST به‌صورت تصحیح‌شده فراهم می‌آید. الگوریتم تک‌پنجره را برای داده‌های لندست و استر می‌توان به‌کار برد (Zhang et al., 2006). قابلیت عبور جو با استفاده از سایت (<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>) تعیین شد. در این روش، LST با توجه به رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$T_s = \frac{\{a(1-C-D) + [b(1-C-D) + C + D]T_i - D * T_a\}}{C} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$C = \epsilon * T \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$D = (1 - T)[1 + (1 - \epsilon) * T] \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

T_s دمای سطح زمین (کلوین)، T_i دمای درخشندگی در سطح سنجنده، T_a میانگین مؤثر دمای هوا، ϵ گسیلندگی سطح زمین و T قابلیت عبور جو است. ضرایب a و b نیز، به‌ترتیب، برابر با ۶۷/۳۵۵۳۵۱ و ۰/۴۵۵۵۸۶۰۶ است. ضرایب C و D طبق روابط (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شوند.

$$+ 16.0110 = \text{میانگین دمای اتمسفری} \\ (0.92621 * (t + 273.15))$$

رابطه (۱۱)

در رابطه (۱۱)، t دمای هوای نزدیک سطح زمین برحسب کلوین است.

مهم‌ترین پارامتر، در الگوریتم تک‌پنجره، قابلیت عبور جو (T) است که طبق عبارات به‌دست‌آمده از

الگوریتم تک کاناله از پارامترهای بخار آب جو استفاده می کند و از آن جاکه بخار آب امواج فروسرخ حرارتی را جذب می کند، می توان اثر این مولکول را از روی امواج الکترومغناطیس برآورد کرد (Jiménez- Munoz & Sobrino, 2003). بخار آب اتمسفر طبق رابطه (۲۴) محاسبه می شود. قابلیت عبور جو از طریق محتوای بخار آب اتمسفر (w) به دست می آید. همچنین برای محاسبه LST به نرم افزار QGIS ۲/۸ نیاز است. در رابطه (۲۴)، دمای ایستگاه در سطح زمین و رطوبت نسبی با استفاده از سایت (<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>) تعیین شد. قابلیت عبور جو (τ) از طریق محتوای بخار آب اتمسفر (w) محاسبه شده است.

$$W_i = 0.0981 * \left\{ 10 * 0.6108 * \exp \left[\frac{17.27 * (T_0 - 273.15)}{273.3 + (T_0 - 273.15)} \right] * RH \right\} + 0.1679 \quad \text{رابطه (۲۴)}$$

در رابطه (۲۴)، W_i بخار آب اتمسفر، T_0 دمای ایستگاه در سطح زمین بر حسب °C و RH رطوبت نسبی بر حسب درصد است.

۲-۵- صحت سنجی و تحلیل توانمندی الگوریتمها
به منظور بررسی توانایی کلی الگوریتمها در محاسبه LST در دوره مورد بررسی، از مجموعه ای پارامترهای آماری همانند RMSE (رابطه (۲۵))، NSE (رابطه (۲۶))، MAE (رابطه (۲۷)) و R^2 (رابطه (۲۸)) استفاده شده است که در ادامه به آنها اشاره می شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - x_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲۵)}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad \text{رابطه (۲۶)}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)}{n} \quad \text{رابطه (۲۷)}$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)(Y_i - \bar{Y}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2}} \right)^2 \quad \text{رابطه (۲۸)}$$

در رابطه های (۲۵) تا (۲۸)، n بیانگر تعداد داده ها، \bar{X}_i میانگین دمای خاک ایستگاه در عمق

در رابطه (۱۷)، $up\lambda L$ تابش روبه بالای اتمسفر، $down\lambda L$ تابش روبه پایین اتمسفر، T قابلیت عبور جو و ε توان تشعشی باندهای ۱۰ و ۶ است.

۲-۴- الگوریتم تک کاناله

این الگوریتم برای سنجنده هایی مناسب است که دارای یک باند حرارتی اند (García-Santos et al., 2018) و در آن، LST به صورت تصحیح اتمسفری شده محاسبه می شود؛ همین کار دقت آن را افزایش می دهد. در این الگوریتم از تصاویر رادیانس، دمای درخشندگی و گسیل مندی به همراه پارامترهای تصحیح اتمسفری باندهای حرارتی استفاده شده است. معادله کلی این الگوریتم به صورت رابطه (۱۸) است (Rozenstein et al., 2014).

$$T_s = \gamma \left[\frac{1}{\epsilon} (\varphi_1 l_{sen} + \varphi_2) + \varphi_3 \right] + \delta \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$\gamma \approx \frac{T_{sen}^2}{b\gamma l_{sen}} \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$\delta \approx T_{sen} - \frac{T_{sen}^2}{b\gamma} \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$\varphi_1 = 0/14714W^2 - 0/15583W + 1/1234 \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

$$\varphi_2 = -1/1836W^2 - 0/37607W - 0/52894 \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

$$\varphi_3 = -0/4554W^2 + 1/8719W - 0/39071 \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

در روابط (۱۸) تا (۲۳)، T_s برابر با LST، ε توان تشعشی زمین، l_{sen} رادیانس رسیده به سنجنده، دمای درخشندگی دریافت شده از طریق سنجنده، $b\gamma = \frac{C_2}{\lambda}$ در باند ۱۰ لندست ۸ و باند ۶ لندست ۷، به ترتیب، برابر با ۱۳۲۴ و ۱۲۵۶ کلوین، C_2 ضریب ثابت تابشی پلانک و برابر با ۱۴۳۸۷/۷ و λ طول موج مؤثر محسوب می شود که برای باند ۱۰ لندست ۸ و باند ۶ لندست ۷، به ترتیب، ۱۰/۹۰۴ و ۱۱/۴۵ میکرومتر است. φ_1 ، φ_2 و φ_3 توابع اتمسفری به شمار می روند که با استفاده از مجموع بخار آب هوا (w_i)، همانند روش تک پنجره، محاسبه می شوند.

سنجندهٔ ETM+ ماهوارهٔ لندست ۷، متعلق به تابستان و زمستان ۲۰۰۰ و سنجندهٔ OLI/TIRS ماهوارهٔ لندست ۸، متعلق به تابستان و زمستان ۲۰۱۹ به کار رفت. ابتدا ارزش‌های رقومی تصویر (DN) به رادیانس تبدیل شد (شکل ۲-الف). در تصویر به‌دست‌آمده، نقاط روشن به بخش‌هایی از شهر بیرجند اشاره دارد که انرژی گرمایی منعکس‌شده از آنها زیاد است و نقاط سیاه بخش‌هایی را نشان می‌دهد که انرژی گرمایی منعکس‌شده از آنها کمتر از مناطق دیگر است.

سپس، با استفاده از رادیانس طیفی، دمای روشنایی تصاویر استخراج شد (شکل ۲-ب). به‌طور کلی در تصویر استخراج‌شدهٔ دمای روشنایی، دمای پایین متعلق به کاربری شهری و بافت‌های قدیمی و دمای بالا متعلق به اراضی بایر است. با توجه به اینکه مولکول‌های اکسیژن، نیتروژن، بخار آب، ازن و ذرات معلق باعث پراکنش انرژی‌های بازتاب‌یافته از زمین می‌شوند، دمای روشنایی استخراج‌شده کمتر از دمای واقعی سطح زمین است. در مرحلهٔ بعد، NDVI محاسبه شد (شکل ۲-ج). عدد بزرگ‌تر از ۰/۵ نشان‌دهندهٔ پوشش گیاهی متراکم و عدد کوچک‌تر از ۰/۲ بیانگر خاک است اما عدد ۰/۲ تا ۰/۵ ترکیبی از پوشش گیاهی و خاک را نشان می‌دهد. برای برآورد شاخص NDVI از باند قرمز و فرورسرخ نزدیک استفاده شد و شاخص اختلاف گیاهی نرمال‌شده به‌دست آمد. به این علت که نتیجهٔ مورد نظر از ۱- تا ۱+ متغیر است، مقادیر بیان‌شده در جدول ۳ برای تصاویر موجود آمده است.

پس از اینها، مقدار گسیل‌مندی محاسبه شد (شکل ۲-د). در تصویر گسیل‌مندی، نقاط روشن متعلق به نسبت انرژی تابش‌شده به انرژی گسیل‌شده از اشیاء است که مقدار گسیل‌مندی بیشتری دارند و نقاط سیاه متعلق به اراضی بایر و کاربری شهری است که گسیل‌مندی کمتری دارند. به‌دلیل زیادبودن تصاویر حرارتی، فقط تصاویر متعلق به تابستان ۱۳۹۸، برای نمونه، در شکل ۲ آورده شده است.

پنج‌سانتی‌متری، \bar{Y}_i میانگین LST محاسبه‌شده از تصویر، X_i میزان دمای خاک ایستگاه در عمق پنج‌سانتی‌متری و Y_i مقدار LST محاسبه‌شده از تصویر است. آمارهٔ R^2 نسبت پراکندگی بین میزان دمای خاک ایستگاه در عمق پنج‌سانتی‌متری و مقدار LST محاسبه‌شده طبق تصویر را نشان می‌دهد. RMSE و MAE با نشان‌دادن مقدار خطا، دقت الگوریتم را بررسی می‌کنند و NSE بیانگر میزان کارایی الگوریتم است. هرچه NSE و R^2 نزدیک به مقدار ۱ باشند، یعنی برازش بهتر بوده و درمورد RMSE و MAE برحسب درصد، هرچه این اعداد کوچک‌تر باشند، یعنی به صفر نزدیک‌تر باشند، خطا کمتر بوده است (شهابی فر و همکاران، ۱۳۸۹).

۲-۶- تهیهٔ نقشهٔ خروجی

نقشهٔ خروجی نهایی در نرم‌افزار GIS با روش طبقه‌بندی کوانتیل^۱ به‌دست آمده و از پنج طبقه در آن استفاده شده است. طبقه‌بندی‌های کوانتیل مبتنی بر فاصله‌اند که بدون توجه به بعد پارامتری واحد عمل می‌کنند و مشاهدات را با توجه به مجموع فاصله‌های وزنی داخل کلاس طبقه‌بندی می‌کنند (Hennig & Viroli, 2015). در طبقه‌بندی‌های کمی کوانتیل، هر کلاس شامل تعداد مشخصی از ویژگی‌هاست. طبقه‌بندی کمی، درمورد داده‌های توزیع‌شده به‌صورت خطی، بسیار مناسب است. یکی از جنبه‌های مثبت در طبقه‌بندی کمی این است که تقریباً، به همان تعداد مشاهدات در هر کلاس، روی نقشه نشان داده شده است و این باعث می‌شود رنگ‌های نقشه در مساحت مساوی باشد و خواننده بتواند توزیع را به‌خوبی درک کند (Mease et al., 2007).

۳- نتایج

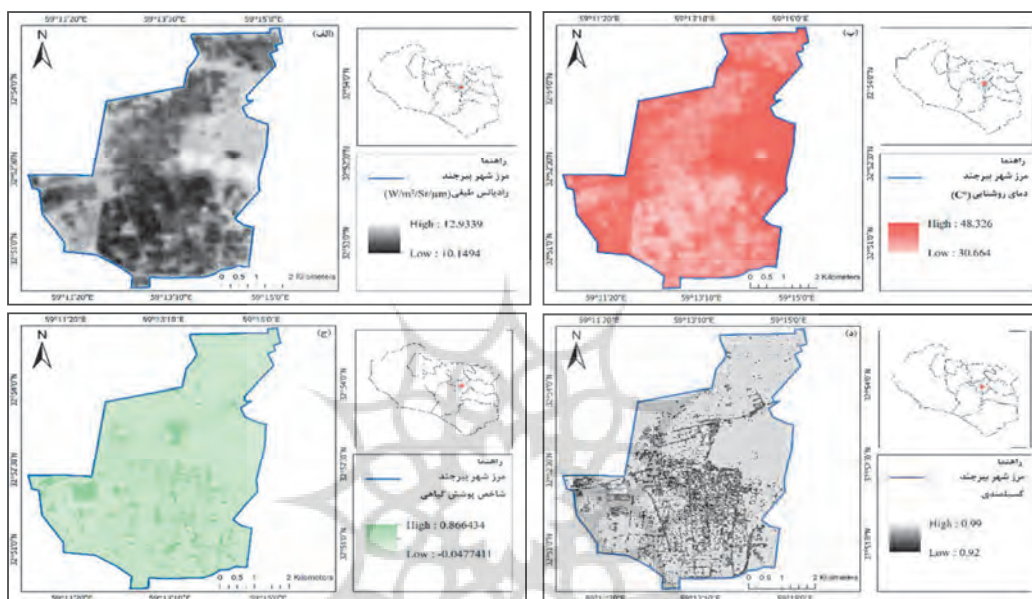
۳-۱- محاسبهٔ LST

برای تعیین مناسب‌ترین روش محاسبهٔ LST از الگوریتم‌های تک‌پنجره، معادلهٔ پلانک، معادلهٔ انتقال تابش و تک‌کاناله استفاده شد. بدین‌منظور تصاویر

1. Quantile
2. Digital Number

جدول ۳. تغییرات مقادیر شاخص NDVI شهر بیرجند

| زمان تصویربرداری | حداقل | حداکثر |
|------------------------------|-------|--------|
| ۲۱ ژانویه ۲۰۰۰ (۱ بهمن ۱۳۷۸) | -۰/۵۳ | ۰/۸۰ |
| ۱۵ جولای ۲۰۰۰ (۲۵ تیر ۱۳۷۹) | -۰/۰۴ | ۰/۹۶ |
| ۱ ژانویه ۲۰۱۹ (۱۱ دی ۱۳۹۷) | -۰/۵۱ | ۰/۸۱ |
| ۱۲ جولای ۲۰۱۹ (۲۱ تیر ۱۳۹۸) | -۰/۰۴ | ۰/۸۶ |



شکل ۲. تصاویر رادیناس طیفی، دمای روشنایی، شاخص پوشش گیاهی و گسیل‌مندی در تابستان ۱۳۹۸

اشاره کنیم که بین دمای پنج‌سانتی‌متری عمق خاک و دمای سطح خاک رابطه مستقیمی وجود دارد؛ به این صورت که افزایش دمای سطح خاک باعث تغییر دمای عمق‌های متفاوت خاک می‌شود و این مسئله فقط با اختلاف زمانی رخ می‌دهد و به عبارت دیگر، ابتدا دمای سطح خاک افزایش یا کاهش می‌یابد و پس از آن افزایش یا کاهش دما در عمق‌های گوناگون خاک رخ می‌دهد. اختلاف زمانی مورد اشاره با عمق خاک رابطه مستقیم دارد (AlaviPanah, 2008). برای صحت‌سنجی داده‌های دمایی استخراج‌شده از سنجنده‌های ETM+ و OLI/TIRS، از داده‌های دمایی سازمان هواشناسی استفاده شده است. با توجه به اینکه ماهواره، به‌وقت گرینویچ، در ساعت ۶ و ۳۰ دقیقه صبح و به‌وقت

سرنجام با استفاده از الگوریتم‌های تک‌پنجره، معادله پلانک، معادله انتقال تابش و تک‌کاناله، LST محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.

۲-۳- صحت‌سنجی الگوریتم‌های محاسبه LST به منظور بررسی توانایی کلی الگوریتم‌ها در محاسبه LST، از شاخص‌های آماری گوناگونی همچون RMSE، NSE، MAE و R^2 استفاده شد و نتایج شاخص‌های آماری حاصل از آن در جدول ۵ آورده شده است. مناسب‌ترین الگوریتم استخراج LST، براساس مقایسه نقشه‌های حرارتی حاصل از روش‌های گوناگون محاسبه LST با دمای پنج‌سانتی‌متری خاک ایستگاه هواشناسی شهر بیرجند، تعیین شد. همچنین باید

شاخص RMSE بیان می‌کند، در بین چهار الگوریتم محاسبه LST برای تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ و OLI/TIRS ماهواره لندست ۸، به ترتیب، الگوریتم تک‌کاناله با مقدار RMSE برابر با ۴/۴۴ بیشترین دقت را دارد، الگوریتم معادله پلانک با مقدار RMSE برابر ۵/۸۹ در جایگاه دوم قرار می‌گیرد و مراتب بعدی به الگوریتم معادله انتقال تابش، با مقدار RMSE برابر ۷/۵۳ و الگوریتم تک‌پنجره، با مقدار RMSE برابر با ۸/۹۰ اختصاص می‌یابد.

محل، در ساعت ۱۱ صبح عبور می‌کند و اختلاف زمانی چهارساعته تهران با گرینویچ در فصل زمستان و تابستان و نیز از آن‌جا که ایستگاه‌های سینوپتیک هر سه ساعت یک‌بار داده‌ها را ثبت می‌کنند، برای مقایسه LST با دمای خاک در عمق پنج‌سانتی‌متری ایستگاه سینوپتیک بیرجند از داده‌های دریافتی در ساعت ۶ صبح به وقت گرینویچ، یک ساعت پیش از تصویربرداری، استفاده شد. جدول ۴ اختلاف LST محاسبه‌شده از تصویر و دمای خاک اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه هواشناسی در عمق پنج‌سانتی‌متری را نشان می‌دهد.

جدول ۴. اختلاف LST محاسبه‌شده از تصویر با دمای خاک اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه هواشناسی در عمق پنج‌سانتی‌متری

| تاریخ تصویربرداری | نام ایستگاه | نوع الگوریتم | LST محاسبه‌شده از تصویر | | شاخص RMSE |
|-------------------|-------------|--------------------|-------------------------------|---|-----------|
| | | | ایستگاه در عمق پنج‌سانتی‌متری | دمای خاک در اختلاف LST و دمای خاک ایستگاه | |
| ۱۳۷۸/۱۱/۰۱ | بیرجند | تک‌پنجره | ۱۹/۰۴ | ۱۲/۴ | ۸/۹۰ |
| ۱۳۷۹/۰۴/۲۵ | بیرجند | | ۵۳/۰۶ | ۳۹/۶ | |
| ۱۳۹۷/۱۰/۱۱ | بیرجند | | ۱۹/۰۸ | ۱۰/۴ | |
| ۱۳۹۸/۰۴/۲۱ | بیرجند | | ۴۹/۴۴ | ۴۵/۴ | |
| ۱۳۷۸/۱۱/۰۱ | بیرجند | معادله پلانک | ۱۷/۸۷ | ۱۲/۴ | ۵/۸۹ |
| ۱۳۷۹/۰۴/۲۵ | بیرجند | | ۴۶/۷۷ | ۳۹/۶ | |
| ۱۳۹۷/۱۰/۱۱ | بیرجند | | ۱۷/۹۶ | ۱۰/۴ | |
| ۱۳۹۸/۰۴/۲۱ | بیرجند | | ۴۵/۹۲ | ۴۵/۴ | |
| ۱۳۷۸/۱۱/۰۱ | بیرجند | معادله انتقال تابش | ۱۸/۵۱ | ۱۲/۴ | ۷/۵۳ |
| ۱۳۷۹/۰۴/۲۵ | بیرجند | | ۵۲/۲۴ | ۳۹/۶ | |
| ۱۳۹۷/۱۰/۱۱ | بیرجند | | ۱۴/۳۷ | ۱۰/۴ | |
| ۱۳۹۸/۰۴/۲۱ | بیرجند | | ۴۹/۱۵ | ۴۵/۴ | |
| ۱۳۷۸/۱۱/۰۱ | بیرجند | تک‌کاناله | ۱۲/۷۴ | ۱۲/۴ | ۴/۴۴ |
| ۱۳۷۹/۰۴/۲۵ | بیرجند | | ۴۵/۵۶ | ۳۹/۶ | |
| ۱۳۹۷/۱۰/۱۱ | بیرجند | | ۱۶/۹۵ | ۱۰/۴ | |
| ۱۳۹۸/۰۴/۲۱ | بیرجند | | ۴۴/۷۲ | ۴۵/۴ | |

جدول ۵. نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه LST محاسبه شده از تصویر و دمای خاک اندازه گیری شده در ایستگاه هواشناسی در عمق پنج سانتی متری زمین

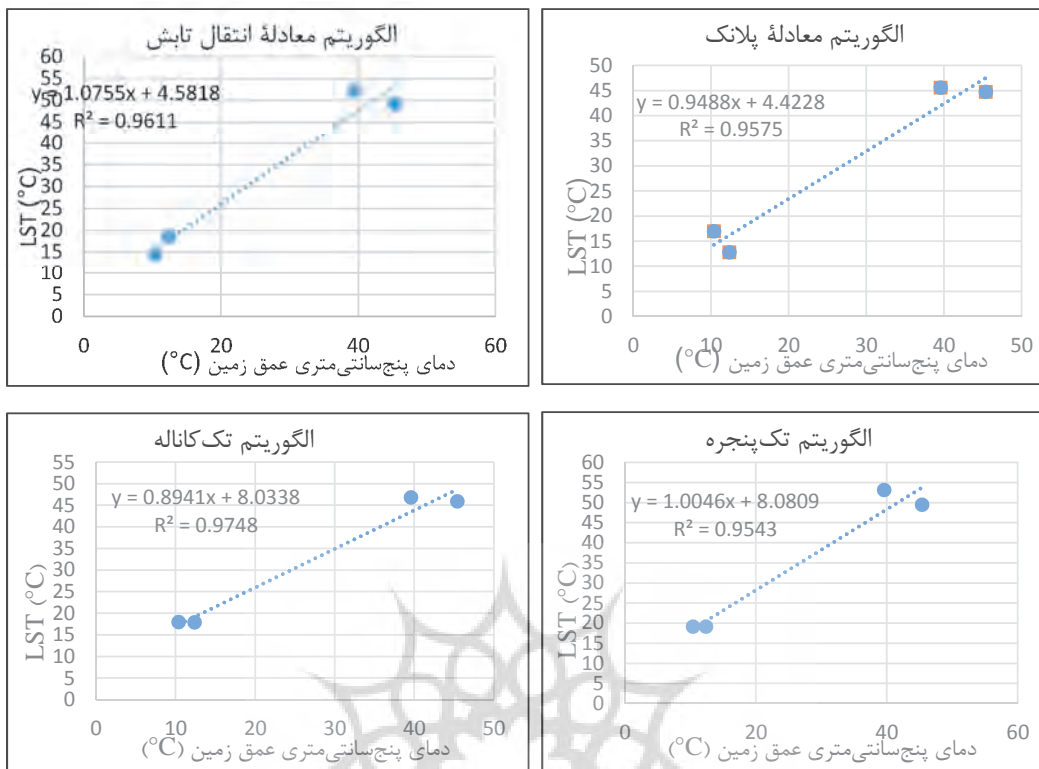
| شاخص های ارزیابی | الگوریتم تک پنجره | الگوریتم معادله پلانک | الگوریتم معادله انتقال تابش | الگوریتم تک کاناله |
|------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|
| NSE | ۰/۶۸ | ۰/۸۶ | ۰/۷۷ | ۰/۹۵ |
| MAE | ۸/۲۱ | ۵/۱۸ | ۶/۶۲ | ۳/۰۴ |
| R ² | ۰/۹۵ | ۰/۹۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۷ |

۳-۳- تحلیل LST با الگوریتم تک کاناله

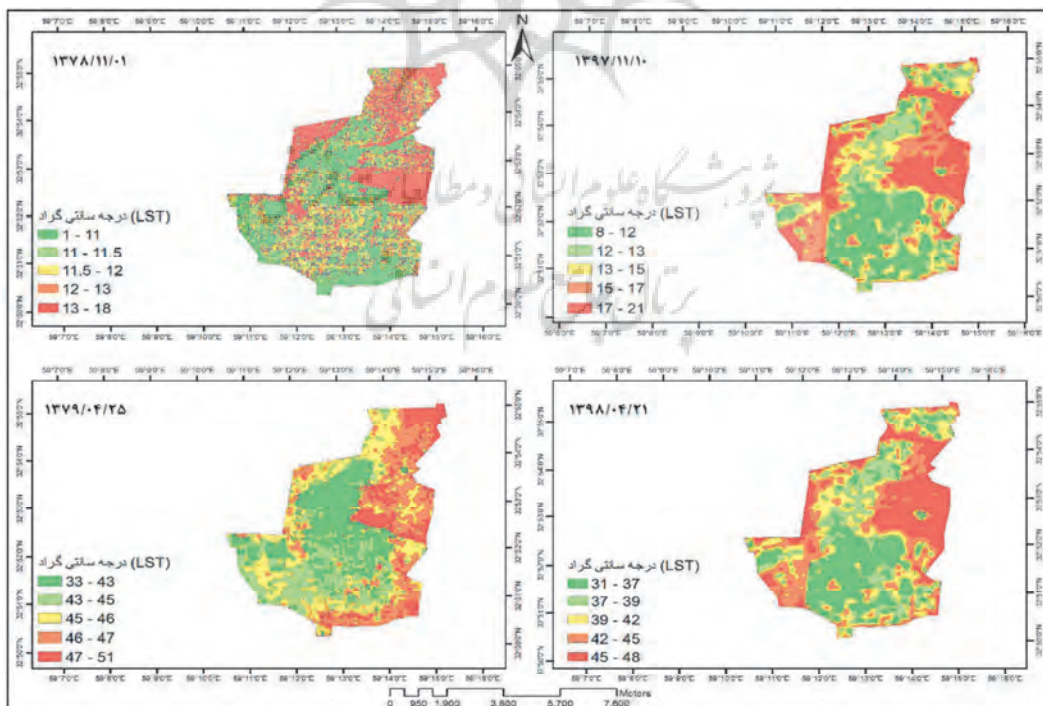
نقشه های خروجی LST با استفاده از تصاویر سنجنده OLI/TIRS ماهواره لندست ۸ و سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷، متعلق به تاریخ های ۱۳۷۸/۱۱/۰۱، ۱۳۷۹/۰۴/۲۵، ۱۳۹۷/۱۰/۱۱ و ۱۳۹۸/۰۴/۲۱، با استفاده از روش تک کاناله در شکل ۴ نشان داده شده است. LST در این تصاویر در بازه ۱ تا ۵۱°C قرار دارد. در این میان، کاربری شهری و بافت های فرسوده و پوشش گیاهی پایین ترین دما و کاربری زمین های بایر بالاترین دمای سطح را دارد. روند تغییرات UHI در زمستان و تابستان نیز بررسی شد و نتایج نشان داد UHI از تابستان ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸ در مرکز، غرب، جنوب غرب و شرق شهر افزایش داشته و در شمال و جنوب شرق کاهش یافته است. همچنین از زمستان ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۷ نیز، UHI در مرکز، غرب، جنوب غرب و شرق شهر روند افزایشی و در شمال و جنوب، روند کاهشی داشته است. به طور کلی می توان دریافت که بیشترین شدت UHI، طی تابستان و زمستان، در شرق شهر بیرجند است که شامل کاربری اراضی بایر می شود. با توجه به شکل ۵ و نیز تمامی نقشه های حرارتی استخراج شده براساس روش های محاسبه دمای سطح در این پژوهش، در تابستان ۱۳۹۸ دو کاربری فضای سبز و مسکونی به پایین ترین طبقه دمایی تعلق داشتند که در زمره جزیره سرد شهر بیرجند قرار گرفتند و مناطق دارای کاربری صنعتی، زمین های بایر و مرکز شهر، با قرار گرفتن در بالاترین طبقه دمایی، جزء جزیره حرارتی این شهر محسوب شدند.

نتایج جدول ۵ بیانگر آن است که در بین چهار الگوریتم محاسبه LST برای تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ و OLI/TIRS ماهواره لندست ۸، به ترتیب، الگوریتم تک کاناله با مقدار NSE برابر ۰/۹۵، بیشترین دقت را دارد و الگوریتم معادله پلانک با مقدار NSE برابر با ۰/۸۶، الگوریتم معادله انتقال تابش با مقدار NSE برابر با ۰/۷۷ و الگوریتم تک پنجره با مقدار NSE برابر ۰/۶۸ در جایگاه های دوم تا چهارم برای محاسبه LST قرار می گیرند. از لحاظ میزان دقت، الگوریتم تک کاناله با مقدار MAE برابر با ۳/۰۴، الگوریتم معادله پلانک با MAE برابر با ۵/۱۸، الگوریتم معادله انتقال تابش با مقدار MAE برابر ۶/۶۲ و الگوریتم تک پنجره با مقدار MAE برابر با ۸/۲۱ جایگاه نخست تا چهارم را در محاسبه LST به خود اختصاص می دهند. شاخص آماری ضریب تعیین نیز، مانند شاخص های دیگر، بدین قرار است: الگوریتم تک کاناله با مقدار R² برابر با ۰/۹۷ دارای بیشترین دقت است و پس از آن الگوریتم های معادله انتقال تابش با مقدار R² برابر ۰/۹۶، معادله پلانک و تک پنجره با R² برابر ۰/۹۵ قرار می گیرند. نتایج نشان داد با توجه به نزدیک بودن مقدار NSE و R² به عدد ۱ و پایین بودن مقادیر شاخص های خطا سنجی RSEM و MAE، برای محاسبه LST در شهر بیرجند طی دوره ۱۳۷۸-۱۳۹۸، دقت الگوریتم تک کاناله بیشتر از الگوریتم های دیگر است. نمودار ضریب تعیین LST و دمای خاک در عمق پنج سانتی متری، در مورد الگوریتم های به کار رفته پژوهش، در شکل ۳ نشان داده شده است.

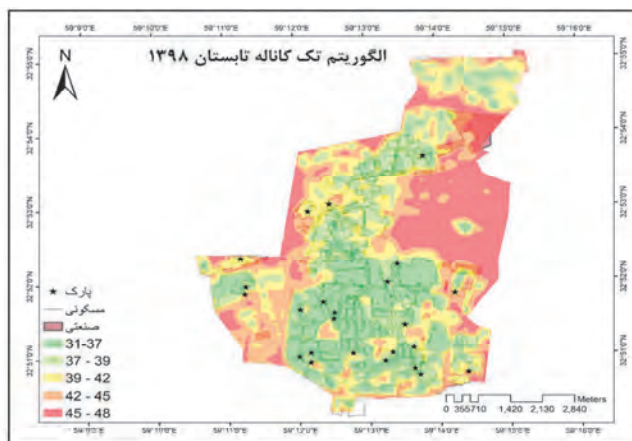
تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای سطح زمین ...



شکل ۳. نمودار ضریب تعیین LST و دمای خاک ایستگاه در عمق پنج‌سانتی‌متری، برای هر یک از الگوریتم‌های به‌کاررفته



شکل ۴. تصاویر نقشه LST حاصل از الگوریتم تک کاناله



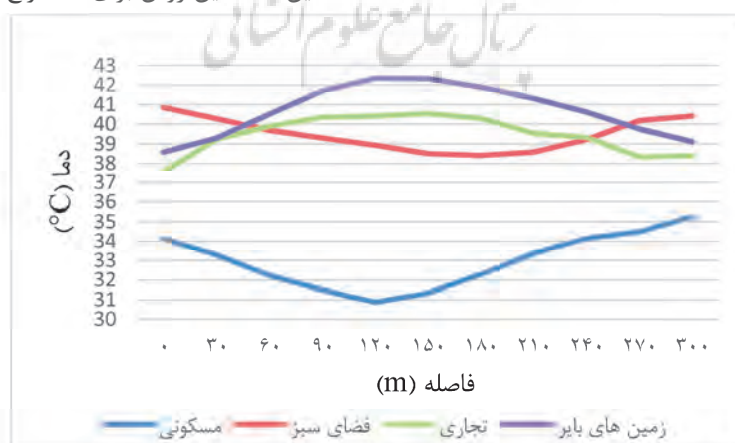
شکل ۵. موقعیت جزیره حرارتی و جزیره سرد شهر بیرجند در الگوریتم تک کاناله تابستان ۱۳۹۸

زمستان ۱۳۹۷ و تابستان ۱۳۹۸ محاسبه شد. برای این کار، چهار الگوریتم تک پنجره، معادله پلانک، معادله انتقال تابش و تک کاناله به کار رفت. سپس با استفاده از شاخص‌های آماری R^2 ، MAE، RSEM، NSE و بهترین روش انتخاب شد. این کار برپایه مقایسه LST با داده‌های دمای پنج‌سانتی‌متری خاک ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. نتایج پژوهش نشان داد، با توجه به نزدیک بودن مقدار NSE و R^2 به عدد ۱ و پایین بودن مقدار شاخص‌های خطاسنجی RSEM و MAE، به منظور محاسبه LST در شهر بیرجند طی دوره ۱۳۷۸-۱۳۹۸، الگوریتم تک کاناله دقتی بیشتر از دیگر الگوریتم‌ها دارد؛ به همین علت، این روش برای استخراج LST انتخاب شد.

شکل ۶ هیستوگرام دمایی را با استفاده از الگوریتم تک کاناله در تابستان ۱۳۹۸، درمورد چهار کاربری مسکونی، تجاری، فضای سبز و اراضی بایر نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، از سال ۱۳۷۸ تا سال ۱۳۹۸، تغییرات LST در مناطق مسکونی و فضای سبز، کاهش و در مناطق تجاری و اراضی بایر، افزایشی بوده است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش پیش رو، LST با استفاده از باند حرارتی سنجنده ETM+، برای زمستان ۱۳۷۸ و تابستان ۱۳۷۹ و با استفاده از باند حرارتی سنجنده TIRS، برای



شکل ۶. هیستوگرام دمایی الگوریتم تک کاناله در تابستان ۱۳۹۸

خطای مطلق را دارد و از این رو بهترین روش استخراج LST است. حسین‌زاده^۵ و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سه الگوریتم تک‌پنجره، تک‌کاناله و پلانک، تغییرات LST را در شهر بجنورد برآورد کردند. نتایج این پژوهش بیان کرد براساس ضرایب RMSE، MAD و NSE در میان الگوریتم‌های مورد مطالعه، دمای به‌دست‌آمده از الگوریتم تک‌کاناله اختلاف کمتری با دمای ایستگاه‌های موجود نشان می‌دهد. اندوسی و آودان^۶ (۲۰۱۶) با استفاده از چهار الگوریتم تابع پلانک، الگوریتم تک‌پنجره، الگوریتم تک‌کاناله و الگوریتم انتقال تابش، LST را بررسی کردند. نتایج مطالعات حاکی از آن بود که تابع پلانک و الگوریتم تک‌کاناله بهترین نتایج را در برآورد LST دربر داشتند. دوانا^۸ و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله‌ای، با استفاده از الگوریتم تک‌کاناله و ترکیب داده‌های پایگاه جهانی مرکز پیش‌بینی محیط‌زیستی، LST را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که الگوریتم تک‌کاناله صحت و اطمینان بیشتری در برآورد LST دارد.

در پژوهش حاضر، از لحاظ توزیع، بالاترین دما به زمین‌های بایر و مناطق صنعتی و تجاری تعلق دارد. پایین‌ترین دما نیز به مناطق فضای سبز و مناطق مسکونی، به‌دلیل سایه‌ایجادکردن ساختمان‌ها، بازمی‌گردد. روند جزیره‌ حرارتی در شهر بیرجند، از سال ۲۰۰۰ در قیاس با سال ۲۰۱۹، در شمال و جنوب و جنوب‌شرق، کاهش و در شرق و غرب و مرکز شهر، افزایشی بوده است. با بررسی مطالعات در زمینه این پدیده به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای، مشخص می‌شود که نواحی کلان‌شهری دارای آب‌وهوای معتدل‌تر و نواحی پیرامون شهر همواره دمایی کمتر از نواحی شهری دارند

در بین الگوریتم‌های محاسبه LST، فقط الگوریتم تک‌کاناله است که با فرض مشخص بودن انتشارپذیری، از محتوای بخار آب جوئی و طول موج مؤثر کانال استفاده می‌کند و می‌تواند درمورد حسگرهای حرارتی مشخص‌شده با عرض نیمه‌تمام استفاده شود (Jiménez-Munoz & Sobrino, 2003). مزیت اصلی این الگوریتم بر سایر روش‌های تک‌کاناله این است که نیازی به دستگاه‌های رادیویی درجا یا مقادیر مؤثر دمای جو نیست؛ از سویی، مزیت اصلی آن بر روش‌های پنجره مجزا و دوزاویه این است که می‌توان آن را در سنسورهای حرارتی گوناگون، با استفاده از معادله و ضرایب یکسان، اعمال کرد (Ibid.). لامارو^۱ و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از روش‌های تک‌کاناله و معادله انتقال تابش، دمای سطح آب را از باندهای حرارتی ETM+ لندست ۷ در مخزن رودخانه محاسبه کردند. نتایج نشان داد روش تک‌کاناله مناسب‌ترین روش برای نظارت بر ستون گرمایی است. فکرت^۲ و همکاران (۱۳۹۹) LST را با استفاده از چهار الگوریتم تک‌کاناله، تک‌پنجره بهبودیافته، رابطه معکوس تابع پلانک و معادله انتقال تابش استخراج کردند. نتایج این پژوهش نشان داد دقت روش تک‌کاناله بیشتر از روش‌های دیگر است. ولاسوا^۳ و همکاران (۲۰۱۴)، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵، LST را با سه الگوریتم معادله انتقال تابش، تک‌پنجره و تک‌کاناله درمورد دو سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ برآورد کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که دقت الگوریتم تک‌کاناله، با مقدار RMSE برابر ۰/۵، بیشتر از الگوریتم‌های معادله انتقال تابش با RMSE برابر ۰/۸۵ و تک‌پنجره با RMSE برابر ۲/۳۴ است. ابراهیمی هروی^۴ و همکاران (2016) با استفاده از روش‌های پنجره تک‌کی، سبال، استفان-بولتزمن، تک‌کاناله (توسعه‌یافته از سوی Jiménez-Munoz & Sobrino, 2003)، تک‌کاناله (توسعه یافته از سوی Jiménez-Munoz هست)، پنجره مجزا و دفتر علوم لندست، نقشه LST را در شهر کرج استخراج کردند. طبق نتایج این تحقیق، روش سبال کمترین میانگین

1. Lamaro
2. Fekrat
3. Vlassova
4. Ebrahimi Heravi
5. Hoseinzadeh
6. Ndossi & Avdan
7. Ndossi & Avdan
8. Duana

- Chander, G., & Groeneveld, D.P., 2009, **Intra-Annual NDVI Validation of the Landsat 5 TM Radiometric Calibration**, International Journal of Remote Sensing, 30(6), PP. 1621-1628.
- Chen, A., Yao, L., Sun, R., & Chen, L., 2014, **How Many Metrics Are Required to Identify the Effects of the Landscape Pattern on Land Surface Temperature?** Ecological Indicators, 45, PP. 424-433.
- Duana, S.-B., Li, Zh.L., Wang, Ch., Zhang, Sh., Tang, B.-H., Leng, P., & Gao, M., 2018, **Land-Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 Single-Channel Thermal Infrared Data in Combination with NCEP Reanalysis Data and ASTER GED Product**, International Journal of Remote Sensing, 40(4), PP. 1-16.
- Ebrahimi Heravi, B., Rangzan, K., Riahi Bakhtiari, H.R., & TaghiZadeh, A., 2016, **Introducing the Most Appropriate Method to Extract Land Surface Temperature Using Landsat 8 Satellite Images in Karaj Metropolitan**, Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 8(3), PP. 59-76.
<https://www.magiran.com/paper/1735756>.
- Faizizadeh, B., Didehban, Kh., & Gholamnia, Kh., 2016, **Estimation of Earth Surface Temperature Using Landsat 8 Satellite Images and Separate Window Algorithm (Case Study: Mahabad Watershed)**, Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 25(98), PP. 171-181.
- Farina, A., & Pieretti, N., 2012, **The Soundscape Ecology: A New Frontier of Landscape Research and Its Application to Islands and Coastal Systems**, Journal of Marine and Island Cultures, 1(1), PP. 21-26.
- Fekrat, H., Asgharisaraskanrood, S. & Alavipanah, S.K., 2020, **Estimation of Ardabil Land Surface Temperature Using Landsat Images and Accuracy Assessment of Land Surface Temperature Estimation Methods with Ground Truth Data**, Journal of RS and GIS for Natural Resources, 11(4), PP. 114-136. <https://doi.org/10.30495/girs.2020.676476>.
- اما، در مقابل، دمای سطحی نواحی شهری، در مناطق دارای آب‌وهوای گرم‌وخشک‌تر، کمتر از محیط اطرافشان است؛ از این پدیده با نام «جزیره سطحی سرد شهری» یا «حفره‌های گرمایی شهری» یاد می‌شود (Lazzarini et al., 2013). در این پژوهش، این نکته تأیید شد و با توجه به قراردادن شهر بیرجند در منطقه گرم‌وخشک، ساختمان‌ها به‌منزله جزیره حرارتی سرد عمل می‌کنند.

۵- منابع

- Alavipanah, S.K., 2008, **Thermal Remote Sensing and Its Application in Earth Sciences**, University of Tehran. <https://db.ketab.ir/bookview.aspx?bookid=1432045>.
- Aliabadi, K. & Soltanifard, H., 2017, **Extracting Vegetation and the Urban Structure of Mashhad Using Newton Interpolation Polynomial and its Relationship with Land Surface Temperature (LST)**, Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 8(1), PP. 95-108.
- Asghari, S.S., Emami H. 2018. **Monitoring the Land Surface Temperature and Examining the Relationship between Land Use and Land Surface Temperature Using from OLI and ETM+ Sensor Images, (Case Study: Ardabil city)**, Journal of Geographical Sciences, 19(53), PP. 195-215. (In Persian). doi:<https://doi.org/10.29252/jgs.19.53.195>.
- Atzberger, C., 2013, **Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs**, Remote Sensing, 5(2), PP. 949-981.
- Balcik, F.B. & Ergene, E.M., 2016, **Determining the Impacts of Land Cover/Use Categories on Land Surface Temperature Using Landsat8-Oli**, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 41.
- Barsi, J.A., Barker, J.L., Schott, J.R., 2003, **An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument, IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**, Proceedings (IEEE Cat. No. 03CH37477), In., PP.25-21 July 2003, Vol. 2005: PP. 3014-3016.

- García-Santos, V., Cuxart, J., Martínez-Villagrasa, D., Jiménez, M.A., Simó, G., 2018, **Comparison of Three Methods for Estimating Land Surface Temperature from Landsat 8-TIRS Sensor Data**, Remote Sensing, 10(9), PP. 1450.
- Hennig, C., & Viroli, C., 2015, **Quantile-Based Classifiers**, 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.002>.
<https://doi.org/10.1029/2003jd003480>.
- Hoseinzadeh, A., Kashki, A., Karami, M. & Javidi Sabaghian, R., 2021, **Estimating Land Surface Temperature Changes Using Landsat Satellite Imagery and Three Algorithms, Mono Window, Single Channel and Planck**, Case Study of Bojnourd Plain, Environmental Researches, 12(23), PP. 13-26.
- Izadfar, H. & Malian, A., 2015, **Evaluation of Spatial-Temporal Changes of Thermal Islands of Qazvin City Using Landsat Satellite Series Images**, The First International Climate Change Conference, <https://civilica.com/doc/640516>.
- Jahangiri Manesh, P. 2016, **Evaluation of Thermal Islands in the Metropolis of Tehran and the Solution to Reduce the Speed of Expansion of these Islands in the City**, International Monthly Road and Construction, 10, PP. 61-77.
- Jiménez-Munoz, J.C. & Sobrino, J.A. 2003, **A generalized Single-Channel Method for Retrieving Land Surface Temperature from Remote Sensing Data**, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 108(22).
- Kaviani, M.R., 1998, **Microclimatology** (1st ed.), Publications of Tehran Hemat Organization.
- Lamaro, A.A., Mariñelarena, A., Torrusio, S.E. & Sala, S.E., 2013, **Water Surface Temperature Estimation from Landsat 7 ETM+ thermal Infrared Data Using the Generalized Single-Channel Method: Case Study of Embalse del Río Tercero (Córdoba, Argentina)**, Advances in Space Research, 51(3), PP. 492-500. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.09.032>.
- Lazzarini, M., Marpu, P.R. and Ghedira, H. (2013). **Temperature-land cover interactions: The inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas**. Remote Sensing of Environment. 130: 136-152.
- Liu, L. & Zhang, Y., 2011, **Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong**, Remote Sensing, 3(7), PP. 1535-1552.
- Mai, N.T.H., Hoa, N.T., Nga, T.V.T., Linh, L.D., Chau, T.T.C., Sinh, D.X., ... & Schultsz, C., 2008, **Streptococcus Suis Meningitis in Adults in Vietnam**, Clinical Infectious Diseases, 46(5), 659-667.
- Maleki, S., Shojaeean, A. & Farahmand, Gh., 2018, **Assessment of Temporal-Spatial Variability of Heat Islands in Relation to Urban Uses - Case Study: Urmia City**, Sepehr Scientific-Research Quarterly Magazine of Geographical Information, 27(105), PP. 183-197. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.31488>.
- Mease, D., Wyner, A.J. & Buja, A., 2007, **Boosted Classification Trees and Class Probability/Quantile Estimation**, Journal of Machine Learning Research, 8, PP. 409-439.
- Meteorology of South Khorasan province, 2018, **Climate Certificate of Birjand Meteorological Station**, <http://skhmet.ir>.
- Mohammadi, A.R., Khodabandehlou, B. & Babaie, P., 2021, **Evaluation of Landuses Temperature Changes in Zanjan in the Period 2013 to 2019 Using Comparison of Land Surface Temperature Estimation Algorithms**, Geographical Planning of Space, 11(41), PP. 127-144.
- Naseri, N., 2020, **Estimating the Land surface temperature using the Single Channel algorithm and examining the impact of land use on temperature changes (Case study: Malayer county)**. Environmental science studies, 5(2), 2477-2482. http://www.jess.ir/article_106509.html.
- Ndossi, M. & Avdan, U., 2016, **Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin**, Remote Sensing, 2016, 8, P. 413.

- Oke, T.R., 1997, **Urban Climates and Global Environmental Change**, In: R.D. Thompson & A. Perry (eds.) *Applied Climatology: Principles & Practices*, New York, NY: Routledge, PP. 273-287.
- Qin, Z., Karnieli, A. & Berliner, P., 2001, **A Mono-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM Data and Its Application to the Israel-Egypt Border Region**, *International Journal of Remote Sensing*, 22(18), PP. 3719-3746.
- Rozenstein, O., Qin, Zh., Derimian, Y. & Karnieli, A., 2014, **Derivation of Land Surface Temperature for Landsat-8 TIRS Using a Split Window Algorithm**, *Sensors*, 14(4), PP. 5768-5780.
- Santamouris, M. & Kolokotsa, D., 2016, **Urban Climate Mitigation**, First published 2016 by Routledge, New York.
- Sekertekin, A. & Bonafoni, S., 2020, **Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation**, *Remote Sens.*, 12, P. 294.
- Senanayake, I.P., Welivitiya, W.D.D.P. & Nadeeka, P.M., 2013, **Remote Sensing Based Analysis of Urban Heat Islands with Vegetation Cover in Colombo City, Sri Lanka Using Landsat-7 ETM+ Data**, *Urban Climate*, 5, PP. 19-35.
- Shabifar, M., Asari, M., Kouchakzadeh, M., & Mirlotfi, M. (2010). **Lysimetric Evaluation of Common Methods of Calculating Standard Grass Reference Crop Evapotranspiration in Greenhouse**. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture (Formerly Soil and Water Sciences)*, 24(1), 13-19. SID. <https://sid.ir/paper/196662/en>.
- Shakiba, A., Ziaianfirozabadi, P., Ashorloo, D. & Namdari, S., 2009, **Analysis Of Relationship between Land Use/Cover and Urban Heat Island, Using ETM+, Remote Sensing & GIS**, 1(1), PP. 39-56. <https://sid.ir/paper/184183/en>.
- Sinha, S., Pandey, P.C., Sharma, L.K., Nathawat, M.S., Kumar, P. & Kanga, S., 2014, **Remote Estimation of Land Surface Temperature for Different LULC Features of a Moist Deciduous Tropical Forest Region**, In: P.K. Srivastava, S. Mukherjee, M. Gupta, T. Islam (ed.s), *Remote Sensing Applications in Environmental Research*. Springer International Publishing, Cham, PP. 57-68. https://doi.org/10.1007/1978-1003-1319-05906-05908_05904.
- Song, Y. & Wu, C., 2016, **Examining the Impact of Urban Biophysical Composition and Neighboring Environment on Surface Urban Heat Island Effect**, *Advances in Space Research*, 57(1), PP. 96-109.
- Tang, B.H., Shao, K., Li, Z.-L., Wu, H. & Tang, R., 2015, **An Improved NDVI-Based Threshold Method for Estimating Land Surface Emissivity Using MODIS Satellite Data**, *International Journal of Remote Sensing*, 36, PP. 4864-4878.
- Vlassova, L., Perez-Cabello, F., Nieto, H., Martín, P., Riaño, D. & De La Riva, J., 2014, **Assessment of Methods for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat-5 TM Images Applicable to Multiscale Tree-Grass Ecosystem Modeling**, *Remote Sensing*, 6(5), PP. 4345-4368. doi:<https://doi.org/10.3390/rs6054345>.
- Yu, X., Guo, X. & Wu, Z., 2014, **Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method**, *Remote Sensing*, 6(10), PP. 9829-9852.
- Yuan, F. & Bauer, M.E., 2007, **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), PP. 375-386.
- Zhang, J., Wang, Y. & Li, Y., 2006, **A C++ Program for Retrieving Land Surface Temperature from the Data of Landsat TM/ETM+ Band6**, *Computers & Geosciences*, 32(10), PP.1796-1805.



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.15, No. 2, Summer 2023

37-54

Determining the Most Suitable Method of Extracting the Surface Temperature Using

Kafi F.¹, Yousefi E.^{2*}, Jahanishakib F.³

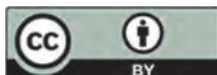
1. M.Sc. in Land Use Planning, faculty of Environment, University of Birjand
2. Assistant Prof., Faculty of Environment, University of Birjand
3. Assistant Prof., Faculty of Environment, University of Birjand

Abstract

The world is warming and the world's population is moving to cities. These two truths do not seem to be related; But a phenomenon called urban heat island connects the two. UHI is one of the most common urban climate phenomena in which some urban areas, especially urban centers, become several degrees warmer than the surrounding areas. Studying this phenomenon and examining its mechanism is very important for urban planning. In the present study, in order to estimate LST, four single-channel Landsat algorithms, single window, Planck equation and radiation transfer equation in QGIS software environment between 2000 and 2019 in summer and winter seasons in Birjand city have been used. The effect of land use change on the thermal island has also been investigated. In the present study, ground surface temperature in Birjand city was first extracted using Landsat 7 ETM + satellite imagery and Landsat 8 TIRS / OLI sensors in 2000 and 2019 by four methods. In order to investigate the general ability of algorithms to calculate the surface temperature, the statistical indices of mean square error, Nash-Sutcliffe coefficient, mean absolute error and coefficient of determination were used. The results showed that the Landsat single-channel algorithm for calculating the surface temperature in Birjand is more accurate than other algorithms.

Keywords: Urban thermal islands, Landsat satellite, Birjand, Mean absolute error.

* Correspondence Address: faculty of Environment, University of Birjand. Tel: 09151600625
Email: e_yusefi_31@birjand.ac.ir
<https://orcid.org/0000-0002-5396-6402>
<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102440>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).