



## تعیین درجه حرارت سطح اراضی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: کرج)

بهروز ابراهیمی هروی<sup>۱\*</sup>، کاظم رنگزن<sup>۲</sup>، حمیدرضا ریاحی بختیاری<sup>۳</sup>، ایوب تقی زاده<sup>۴</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی
۴. مربی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

### مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۳ تیر ۱۳۹۳

پذیرش: ۱۸ بهمن ۱۳۹۳

دسترسی اینترنتی: ۲۳ شهریور ۱۳۹۴

واژه‌های کلیدی:

جزایر حرارتی شهری

درجه حرارت سطح زمین

ماهواره لندست

میانگین خطای مطلق

اراضی کرج

### چکیده

درجه حرارت سطح زمین یک شاخص اصلی تعادل انرژی در کره زمین می‌باشد و به عنوان ورودی داده در مدل‌های تغییرات آب و هوایی، جزایر حرارتی شهری، انتخاب بهترین زمان برای فعالیت‌های کشاورزی، مطالعه آتشفشان‌ها، فعالیت‌های زمین‌گرمایی و شناسایی آتش‌سوزی استفاده می‌گردد. در این تحقیق درجه حرارت سطح زمین در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۳ با استفاده از ۴ تصویر از سنجنده‌های TM و ETM<sup>+</sup> استخراج شد. روش‌های مورد استفاده برای استخراج درجه حرارت سطح زمین شامل دفتر علوم لندست، پنجره تکی، سبال، استفان-بولتزمن و تک کانالی می‌باشد. به دلیل کثرت روش‌ها و تعداد تصاویر مورد استفاده در این تحقیق و همچنین به منظور مشخص نمودن کارآمدترین روش استخراج درجه حرارت سطح زمین از نظر نزدیکی به داده‌های زمینی، استفاده از یک روش آماری برای انتخاب بهترین روش اجرا شده، مورد نیاز است. شاخص آماری مورد استفاده در این تحقیق، شاخص میانگین خطای مطلق می‌باشد. نتایج نشان داده است که در بین روش‌های مورد استفاده بهترین روش در هر دو سنجنده TM و ETM<sup>+</sup>، روش استفان-بولتزمن می‌باشد که در آن مقادیر شاخص میانگین خطای مطلق برای سنجنده‌های TM و ETM<sup>+</sup> به ترتیب برابر با ۴/۳ و ۶/۸ بوده و کمترین مقدار را در بین سایر نتایج دارا می‌باشد.

\* Behrouz.85.64@gmail.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

## مقدمه

در عصر کنونی، شهرها به عنوان اصلی ترین زیستگاه گونه انسان، تأثیرات ژرفی بر بیوسفر گذاشته‌اند. این تغییرات گسترده انسانی، پیامدهای ناخواسته و ناخوشایندی همچون افت کیفیت محیط زیستی را نیز به همراه داشته است که سرانجام به کاهش «کیفیت زندگی» منجر می‌شود. گرم‌تر شدن محیط زیست شهری یکی از این آثار ناآگاهانه توسعه شهری ناپایدار است که «جزیره حرارتی» نامیده می‌شود (۱۲). مفهوم جزیره حرارتی شهری برای اولین بار توسط لوک هاوارد در سال ۱۸۳۳ بیان شد. مطالعه جزایر حرارتی شهری به وسیله داده‌های سنجش از دور ابتدا با استفاده از داده ماهواره NOAA انجام شد (۵).

هاشمی و همکاران (۱۲) در تحقیق خود شرایط دمایی سطح محیط زیست شهری را با استفاده از تصویر ماهواره لندست ETM<sup>+</sup>۷ در کلان‌شهر تهران بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد بر خلاف انتظار، حداکثرهای دمایی سطح در پهنه‌های متراکم شهری حضور گسترده‌ای ندارند و در پهنه‌های کوهستانی، ارتباط بین درجه حرارت سطح زمین (LST) و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، پائین است. به طور کلی شیب توزیع دمایی در منطقه شهری تهران از شمال شرق به جنوب غرب کاهش می‌یابد. همچنین حداکثرهای دمای سطح، بیشتر در پهنه‌های کوهستانی شرق (بی‌بی‌شهربانو) و پهنه صنعتی غرب مشاهده می‌شوند. علیپور و اسماعیلی (۱۳) در تحقیق خود با استفاده از روش‌های پنجره تکی و تک کانالی دمای سطح زمین را با استفاده از تک تصویر لندست ETM<sup>+</sup> در شهر الشتر به دست آوردند. در نهایت بین نتایج روش‌های مورد استفاده و داده‌های دمای سطح (اخذ شده از سازمان هواشناسی) در زمین‌های کشاورزی الشتر، مقایسه‌ای صورت گرفت. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی برای روش‌های پنجره تکی و تک کانالی به ترتیب برابر با ۰/۸۵ و ۰/۷۹ بوده است.

صادقی‌نیا و همکاران (۷) ساختار فضایی-زمانی جزیره حرارتی شهر تهران بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ را در تحقیق

خود مطالعه کردند. بدین منظور به کمک ۱۳ تصویر ماهواره‌ای (TM) دمای سطح زمین با استفاده از روش پنجره تکی استخراج شد. نتایج نشان داد که در طول دوره مطالعه مقدار مساحت دماهای متوسط و بسیار خنک شهر کاسته شده است و برعکس مقدار مساحت دماهای بسیار بالا (نواحی بسیار گرم) افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته است. با توجه به پراکنش فضایی دمای سطحی، جزیره حرارتی، کانون اصلی خود (فرودگاه مهرآباد) را حفظ کرده است و در پیرامون این کانون اصلی خوشه‌های داغ جدیدی در سمت غرب و جنوب غرب فرودگاه مهرآباد ظهور یافته‌اند.

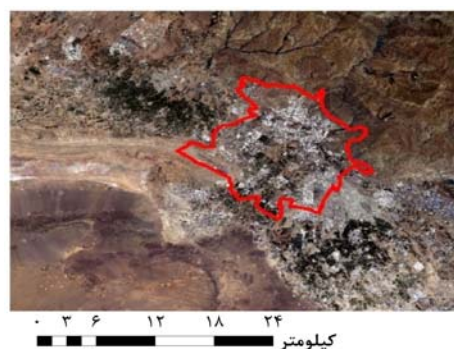
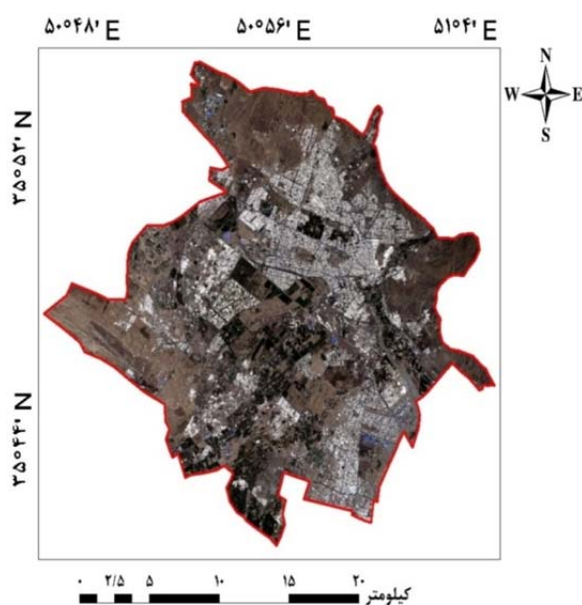
فارینا (۱۵) در مطالعه خود با عنوان «بررسی ارتباط درجه حرارت سطح زمین با فراوانی پوشش گیاهی به منظور کاهش جزیره حرارتی شهری در شهر سویل، اسپانیا» اثر متقابل درجه حرارت سطح زمین (LST) و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) را بر اساس نوع کاربری/پوشش زمین در سویل اسپانیا مورد بررسی قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد که ارتباط بین LST و NDVI معکوس بوده افزایش پوشش گیاهی باعث کاهش درجه حرارت، و بنابراین کاهش شدت جزیره حرارتی شهری، خواهد شد. هرچند که این ارتباط تفاوت‌های متمایزی بسته به نوع کاربری/پوشش زمین نشان می‌دهد. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق اراضی کلان‌شهر کرج می‌باشد که در سال‌های اخیر به دلیل همجواری با تهران و موقعیت مناسب آب و هوایی و فرصت‌های شغلی مناسب، سرعت رشد شهرنشینی بی‌سابقه‌ای را تجربه کرده و به عنوان سومین کلان‌شهر بزرگ (پس از تهران و مشهد) و دومین شهر مهاجرپذیر (پس از تهران) و بالاترین نرخ رشد جمعیت شهری مطرح می‌باشد.

به طوری که این کلان‌شهر در سال ۱۳۳۵ با جمعیت ۱۴۵۲۶ نفری خود به جمعیت ۱۶۰۵۰۰۰ نفری در سال ۱۳۸۵ رسیده است (۱۰). بنابراین به واسطه داشتن چنین جایگاهی، نیاز به بررسی نقشه حرارتی و بررسی ارتباط آن به کاربری زمین، بیش از پیش احساس می‌شود. چرا که هر چه شهر بزرگ‌تر و متراکم‌تر و با جمعیت بالاتر باشد آلودگی آن بیشتر

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعه در عرض جغرافیایی  $35^{\circ}40'$  تا  $35^{\circ}52'$  شمالی و طول جغرافیایی  $51^{\circ}03'$  تا  $51^{\circ}51'$  شرقی واقع شده است. این منطقه از نظر اقلیمی دارای تنوع زیادی می‌باشد، به گونه‌ایی که از اقلیم بیابانی در قسمت‌های جنوبی شروع و تا اقلیم‌های نیمه‌مرطوب و مرطوب در قسمت‌های شمالی ادامه پیدا می‌کند. شکل ۱ نقشه ایران و محدوده منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.



شکل ۱. نقشه ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه

### داده‌های مورد استفاده

هواشناسی ساعتی ایستگاه‌های سینوپتیک مستقر در منطقه مورد مطالعه که شامل ایستگاه‌های هواشناسی کرج، فرودگاه پیام، هشتگرد و چیتگر بود، استفاده شد. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ آورده شده است. بعد از اخذ تصاویر، به دلیل بزرگتر بودن محدوده تصاویر اخذ شده، تصاویر برش داده شدند و سپس تصحیح هندسی تصاویر با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ انجام شد و کلیه تصاویر به سیستم مختصات UTM

بوده و در پی آن باعث ایجاد جزایر حرارتی و به تبع آن مشکلات پس از آن می‌شود (۱).

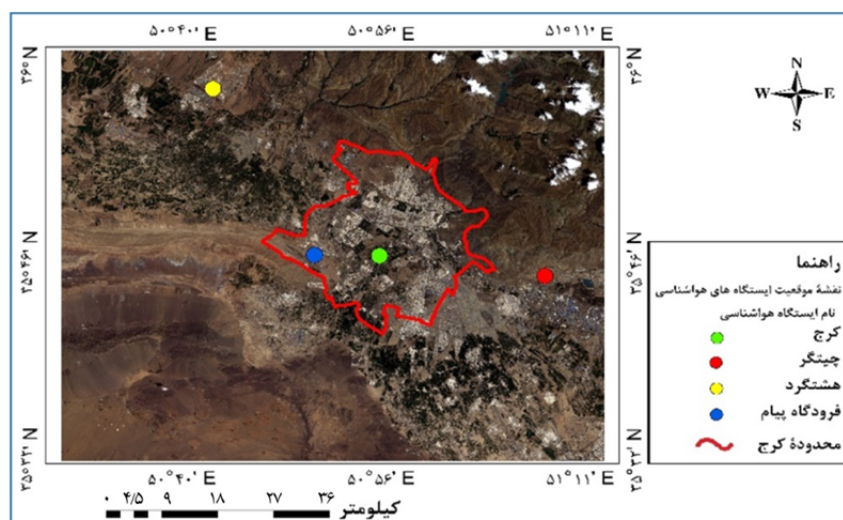
بنابراین هدف از انجام این تحقیق تهیه نقشه حرارتی کلان‌شهر کرج با استفاده از تمام روش‌های موجود و پس از آن انتخاب بهترین روش از بین روش‌های مورد استفاده از نظر نزدیکی به داده‌های زمینی (داده‌های دمای خاک ایستگاه‌های هواشناسی) به وسیله شاخص آماری میانگین خطای مطلق می‌باشد.

تصاویر سنجنده‌های TM و  $ETM^+$  ماهواره لندست (۸ تصویر)، داده‌های هواشناسی که شامل داده‌های دمای هوا و رطوبت نسبی هوا می‌باشد. شماره ردیف و مسیر تصاویر مورد استفاده به ترتیب ۳۵ و ۱۶۵ می‌باشد. همچنین سعی شد که تصاویر انتخابی با کمترین میزان ابرناکی انتخاب شوند که در نتایج استفاده از الگوریتم‌های مختلف اختلال ایجاد نکند. جهت محاسبه پارامترهای مربوط به استخراج دما از داده‌های

ناحیه ۳۹ شمالی انطباق داده شدند. در تصحیح هندسی تمام تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. تصاویر خطای RMS کمتر از ۰/۵ پیکسل بود. ویژگی‌های

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق

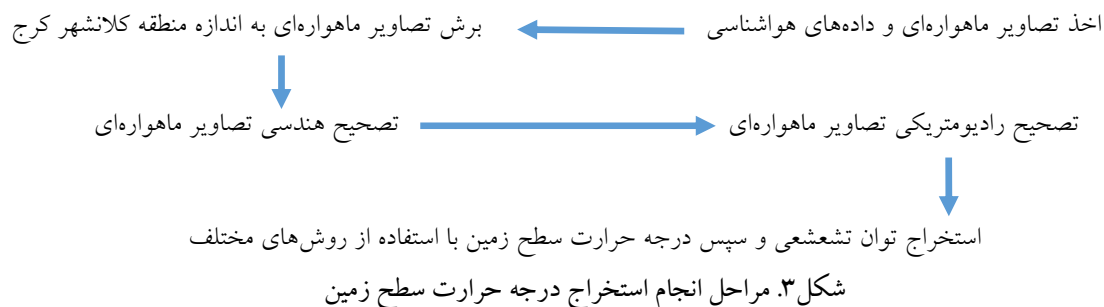
سنجنده	تاریخ اخذ تصویر		ساعت تصویر برداری (به وقت محلی)	تعداد باندها	زاویه ارتفاع خورشیدی (درجه)	زاویه آزیموت خورشیدی (درجه)	زاویه میل
	شمسی	میلادی					
TM <sub>5</sub>	۱۳۶۴/۰۲/۳۱	۱۹۸۵/۰۵/۲۱	۱۰:۱۵	۷	۶۱/۲۶	۱۱۵/۶۴	۹۸/۲
TM <sub>5</sub>	۱۳۶۹/۱۱/۱۰	۱۹۹۱/۰۱/۳۰	۱۰:۰۵	۷	۲۷/۲۴	۱۴۳/۰۹	۹۸/۲
TM <sub>5</sub>	۱۳۷۰/۰۷/۲۱	۱۹۹۱/۱۰/۱۳	۱۰:۱۰	۷	۳۹/۷	۱۴۴/۸۲	۹۸/۲
TM <sub>4</sub>	۱۳۷۲/۰۴/۱۵	۱۹۹۳/۰۷/۰۶	۱۰	۷	۵۸/۲	۱۰۵/۶۱	۹۸/۲
ETM <sub>7</sub> <sup>+</sup>	۱۳۸۱/۰۵/۰۹	۲۰۰۲/۰۷/۳۱	۱۰:۳۰	۸	۶۱/۳۲	۱۲۱/۴۵	۹۸/۲
ETM <sub>7</sub> <sup>+</sup>	۱۳۸۱/۰۷/۲۷	۲۰۰۲/۱۰/۱۹	۱۰:۳۰	۸	۴۰/۱۹	۱۵۳/۴۳	۹۸/۲
ETM <sub>7</sub> <sup>+</sup>	۱۳۸۱/۱۰/۱۷	۲۰۰۳/۰۱/۰۷	۱۰:۳۰	۸	۲۶/۸۱	۱۵۳/۶۵	۹۸/۲
ETM <sub>7</sub> <sup>+</sup>	۱۳۸۲/۰۲/۲۵	۲۰۰۳/۰۵/۱۵	۱۰:۳۰	۸	۶۳/۴۷	۱۲۴/۴۲	۹۸/۲



شکل ۲. نقشه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی موجود در محدوده انتخاب شده

زمینی (داده‌های هواشناسی مثل دمای هوا و رطوبت نسبی) است که هر چه این داده‌ها بیشتر و دقیق‌تر باشند دقت نتیجه نهایی اجرای روش استخراج LST نیز بیشتر خواهد شد (۲). شکل ۳ مراحل انجام پژوهش را به صورت مرحله به مرحله نمایش می‌دهد.

نکته حائز اهمیت اینکه برای اجرای روش‌های استخراج LST بر روی تصاویر، محدوده مورد مطالعه کمی بزرگ‌تر از محدوده کلان‌شهر کرج انتخاب شد (شکل ۲) مزیت این کار این است که هر چه تعداد ایستگاه‌های هواشناسی بیشتر باشد دقت نتایج روش‌های استخراج LST نیز بیشتر خواهد شد، زیرا برای اجرای روش‌های استخراج LST نیاز به داده‌های



### مراحل استخراج درجه حرارت سطح زمین

بعد از برش تصاویر و همچنین انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریک، لازم است تا روش‌های استخراج LST بر روی باندهای حرارتی تصاویر مورد استفاده اجرا شوند که نتیجه آن استخراج نقشه حرارتی برای تک تک تصاویر است.

روش‌های مورد استفاده شامل روش‌های پنجره تکی (mono-window)، تک کانالی (Single Channel)، سیبال (SEBAL)، دفتر علوم لندست (Landsat Project Science Office Model) و استفان-بولتزمن (Stefan-Boltzmann law) می‌باشد (۱۷ و ۱۸).

### روش پنجره تکی

استخراج درجه حرارت سطح زمین به روش پنجره تکی از روابط زیر می‌باشد (۱۴).

$$T_s = \left( \frac{a(1-C-D) + [b(1-C-D) + C + D]T_{sensor} - DT_a}{C} \right) \quad [1]$$

در این رابطه  $a = -67/355351$  و  $b = 0/458606$ ،  $C = \epsilon\tau$ ،  $D = (1 - \tau)[1 + (1 - \epsilon)\tau]$ ،  $\epsilon$  گسیل‌مندی سطح زمین،  $T_{sensor}$  درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده،  $\tau$  قابلیت عبور جو،  $T_a$  میانگین مؤثر دمای هوا و  $T_s$  درجه حرارت سطح زمین (درجه کلونین) می‌باشد. روش پنجره تکی تنها نیاز به دو پارامتر قابلیت عبور دهندگی جو (transmittance) و میانگین مؤثر دمای هوا (effective mean atmospheric temperature)

دارد. برای میانگین مؤثر دمای  $T_a$  هوا روابط متعددی بیان شده که از بین آنها دو فرمول که برای تابستان و زمستان عرض‌های میانی (که منطقه مورد مطالعه در آن عرض قرار دارد) مطرح شده که در زیر نمایش داده می‌شود.

$$\begin{aligned} T_a &= 16/011 + 0/92621T_0 && \text{تابستان} \\ T_a &= 19/2704 + 0/91118T_0 && \text{زمستان} \end{aligned} \quad [2]$$

در این رابطه  $T_0$  درجه حرارت هوای نزدیک سطح زمین است. قابلیت عبور جو نیز به وسیله محتوای بخار آب هوا ( $w$ ) محاسبه می‌شود که از طریق رابطه زیر به دست می‌آید (۱۶).

$$w = 0/0981 \times \{10 \times 0/6108 \times \exp[\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)}] \times RH\} + 0/1697 \quad [3]$$

در این رابطه؛  $RH$  رطوبت نسبی می‌باشد. پس از محاسبه محتوای بخار آب هوا، قابلیت عبور اتمسفری از روی روابط جدول ۲ محاسبه می‌شوند.

جدول ۲. روابط تخمین قابلیت عبور اتمسفری به وسیله محتوای بخار آب هوا در درجه حرارت‌ها و بخار آب مختلف اتمسفری (۲۳)

معادله تخمین قابلیت عبور اتمسفری	بخار آب (گرم بر سانتی متر مربع)	درجه حرارت هوا
$0.97429 - 0.0807w$	$0.4-1.6$	بالا
$1.031412 - 0.11536w$	$1.6-3$	بالا
$0.98207 - 0.09611w$	$0.4-1.6$	پائین
$1.05371 - 0.14142w$	$1.6-3$	پائین

قرار می‌گیرند در جدول ۳، این ثوابت برای لندست TM<sup>+</sup> و ETM<sup>+</sup> نمایش داده شده است.

جدول ۳. ثوابت کالیبراسیون باندهای حرارتی سنجنده‌های

ETM <sup>+</sup> و TM		سنجنده
K2 (Kelvin)	K1 (W/ m <sup>2</sup> .sr.µm)	
۱۲۸۴/۳	۶۷۱/۶۲	لندست ۴
۱۲۶۰/۵۶	۶۰۷/۷۶	لندست ۵
۱۲۸۲/۷۱	۶۶۶/۰۹	لندست ۷

لازم به ذکر است که انرژی حرارتی ششی از راه دمای جنبشی (که به وسیله دماسنج اندازه‌گیری می‌شود) و دمای تابشی (که به وسیله رادیومتر اندازه‌گیری می‌شود) مشخص می‌شود. دمای تابشی همیشه کمتر از دمای واقعی است. مهم‌ترین بخش در استخراج دمای سطح زمین تخمین گسیل‌مندی می‌باشد. مقدار گسیل‌مندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح مورد نیاز است، چرا که دمای روشنایی، دمایی است که جسم سیاه به منظور تولید رادیانس معلوم در طول موج معلوم (۱۱/۵ میکرومتر) دارد (۵).

عوامل مؤثر بر توان تشعشعی: رنگ، صافی و زبری سطح، میزان رطوبت، میدان دید، تراکم، طول موج الکترومغناطیسی و زاویه دید می‌باشد. بیشتر مواد توان تشعشعی بیشتر از ۰/۹ دارند. مواد مرطوب توان تشعشعی بالاتر از مواد خشک دارند. فلزات توان تشعشعی پائینی دارند (۹). برای محاسبه گسیل‌مندی در حالت کلی دو روش وجود دارد که عبارت‌اند از: (۱) استخراج گسیل‌مندی با استفاده از طبقه‌بندی تصویر؛ (۲) استخراج گسیل‌مندی با استفاده از

به دلیل اینکه در منطقه مورد مطالعه بیش از یک ایستگاه هواشناسی وجود دارد برای به دست آوردن  $w$  و  $T_0$ ، مقادیر میانگین دمای هوا و رطوبت نسبی داده‌های ایستگاه‌های زمینی را در روابط بالا وارد می‌کنیم. تمام اجسامی که دمای بالای صفر مطلق ( $^{\circ}k$ ) باشد از خود حرارت گسیل می‌کنند. بر اساس این اصل، علائم رسیده به سنجنده‌های حرارتی (TM و ETM<sup>+</sup>) می‌توانند با استفاده از رابطه زیر به تابش در سطح سنجنده (تابش طیفی) تبدیل شوند.

$$L_{\lambda} = \frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{cal_{max}} - Q_{cal_{min}}} \times (DN - Q_{cal_{min}}) + L_{min} \quad [4]$$

$$L_{\lambda} = gain \times DN + offset \quad [5]$$

که در آن  $L_{\lambda}$  تابش طیفی باند حرارتی، DN عدد رقومی پیکسل معلوم می‌باشد (۲۰). لازم به ذکر است که مرحله بالا برای تمامی روش‌های اجرا شده در این تحقیق ثابت می‌باشد. بنابراین از ذکر آنها در روش‌های بعدی خودداری می‌شود. مرحله بعد تبدیل تابش طیفی به درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده (at-sensor brightness temperature) می‌باشد.

$$T_{sensor} = \frac{K2}{Ln \left( \frac{K1}{L_{\lambda}} + 1 \right)} \quad [6]$$

که در آن  $T_{sensor}$  (دمای تابشی)،  $L_{\lambda}$  تابش طیفی باند حرارتی،  $K_1$  و  $K_2$  ثوابت کالیبراسیون برای لندست هستند که به دلیل اینکه این ثوابت برای روش‌های دیگر نیز مورد استفاده

### روش توازن انرژی برای سطح زمین (سبال)

پس از محاسبه تابش طیفی و درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده، نیاز به محاسبه تابش حرارتی تصحیح شده ( $R_c$ ) و در نهایت درجه حرارت سطح زمین ( $T_s$ ) می‌باشد که روابط آن‌ها به ترتیب در ادامه بیان می‌شوند (۱۱).

در این رابطه  $R_c$  رادیانس حرارتی تصحیح شده،  $R_p$  رادیانس مسیر در باند حرارتی،  $\tau_{NB}$  قابلیت عبور اتمسفری در باند حرارتی،  $\epsilon_{NB}$  گسیل‌مندی سطحی،  $R_{SKY}$  تابش آسمان صاف در باند حرارتی،  $T_a$  دمای هوای نزدیک سطح زمین (درجه کلونین)،  $K_1$  و  $K_2$  نیز ثوابت کالیبراسیون سنجنده می‌باشند (۸). پس از محاسبه  $NDVI$ ، مقادیر گسیل‌مندی سطح زمین ( $\epsilon_{NB}$ ) با استفاده از روابط موجود در جدول ۵ به دست می‌آیند:

$$R_c = \frac{\lambda L - R_p}{\tau_{NB}} - (1 - \epsilon_{NB}) R_{sky}$$

$$R_{sky} = 1/8 \cdot \gamma (\times 10^{-1}) T_a^4 [1 - 0.26 \exp(-0.777 \times 10^{-4} [273/15 - T_a]^2)]$$

$$T_s = \frac{K_2}{\ln(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{R_c} + 1)}$$

جدول ۵. روابط بین گسیل‌مندی سطح زمین و شاخص‌های

(۱۱)  $LAI$  و  $NDVI$

	$LAI < 3$	$\epsilon_{NB} = 0.97 + 0.037LAI$
$NDVI > 0$	$LAI \geq 3$	$\epsilon_{NB} = 0.98$
$NDVI < 0$ برای آب	$\alpha < 0.47$	$\epsilon_{NB} = 0.99$
$NDVI < 0$ برای برف	$\alpha \geq 0.47$	$\epsilon_{NB} = 0.99$

### روش دفتر علوم لندست برای سنجنده‌های $TM$ و $ETM^+$

مراحل اجرای این روش شامل محاسبه تابش طیفی و درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده، شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده، گسیل‌مندی و در نهایت دمای سطح زمین است. لازم به ذکر است که برای محاسبه گسیل‌مندی سطح زمین از مراحل گفته شده در روش پنجره تکی استفاده شد. در نهایت درجه حرارت سطح زمین با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (۲۳).

شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده ( $NDVI$ ). مقادیر بالای  $0.2$  نشان‌دهنده پوشش گیاهی است در حالی که مقادیر کم‌تر از  $0.2$  نشان‌دهنده خاک، سنگ و اشیای انسان‌ساز می‌باشد. آب اساساً دارای مقادیر  $NDVI$  منفی می‌باشد (۱۵). بعد از محاسبه  $NDVI$  گسیل‌مندی سطح زمین را با استفاده از روابط موجود در جدول ۴، به دست می‌آید.

جدول ۴. روابط گسیل‌مندی و شاخص  $NDVI$  (۱۶)

$NDVI$	گسیل‌مندی سطح زمین ( $\epsilon$ )
$NDVI < -0.185$	$0.995$
$-0.185 \leq NDVI \leq 0.157$	$0.97$
$0.157 \leq NDVI \leq 0.727$	$1/0.094 + 0.047 \ln(NDVI)$
$0.727 < NDVI$	$0.99$

### روش تک‌کانالی در لندست $TM$ و $ETM^+$

پس از محاسبه تابش طیفی و درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده، درجه حرارت سطح زمین (درجه کلونین) با استفاده از روابط زیر به دست می‌آید (۲۲):

$$LST = (\gamma [\epsilon^{-1} (\psi_1 L_\lambda + \psi_2) + \psi_3] + \sigma)$$

$$\gamma = \left\{ \frac{c_2 L_\lambda}{T_{sensor}^2} \left[ \frac{L_\lambda^4}{c_1} L_\lambda + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1}$$

$$\sigma = -\gamma L_\lambda + T_{sensor}$$

در این رابطه‌ها؛  $c_1 = 1910.4 / \lambda \times 10^8$  و  $c_2 = 14387.7$  و همچنین طول موج مؤثر می‌باشد و برای لندست  $TM$  ۴ و ۵ و همچنین  $ETM^+$  به ترتیب برابر با  $11/154$ ،  $11/457$  و  $11/27$  میکرومتر می‌باشد.  $\psi_1$  و  $\psi_2$  و  $\psi_3$  نیز با استفاده از مجموع محتوای بخار آب هوا ( $W$ ) (همانند روش پنجره تکی)، محاسبه می‌شوند.

$$1 = \Psi_0 / 14714 W^2 - 0.155833W + 1.1234$$

$$2 = -\Psi_1 / 11836 W^2 - 0.37607W - 0.52894$$

$$3 = -\Psi_2 / 4554 W^2 + 1.8719W - 0.39071$$

دارای خطای کمتری نسبت به حالت استاندارد می‌باشند (۶). نکته حائز اهمیت اینکه برای مقایسه نتایج اجرای روش‌های مورد استفاده برای استخراج LST با داده‌های زمینی باید داده‌های نقشه‌های حرارتی به دست آمده را با داده‌های دمای خاک (به دست آمده از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در محدوده انتخاب شده) مقایسه شود زیرا داده‌های نقشه‌های حرارتی به دست آمده مربوط به دمای سطح زمین است و منطقی و درست نیست که این داده با دمای هوای سطح زمین مقایسه شود، مگر اینکه رابطه دقیق و درست بین دمای هوا و دمای خاک در منطقه مورد مطالعه به دست آمده باشد که این خود نیاز به داشتن سری زمانی طولانی داده‌های دمای هوا و دمای خاک است. با مشاهده داده‌های دمای خاک ایستگاه‌های موجود در منطقه انتخاب شده مشاهده شد که داده‌های دمای خاک ایستگاه هواشناسی فرودگاه پیام ناقص و کم هستند بنابراین با استفاده از داده‌های دمای خاک و دمای هوای سایر ایستگاه‌های هواشناسی موجود در محدوده انتخاب شده اقدام به برازش رابطه بین دمای خاک (x) و دمای هوا (y) در ایستگاه هواشناسی فرودگاه پیام شد (جدول ۶).

جدول ۶. رابطه دمای خاک و دمای هوا

نام سنجنده	معادله	ضریب رگرسیون
ETM <sup>+</sup>	$y = 0.584x + 6.663$	$R^2 = 0.939$
TM	$y = 0.673x + 3.494$	$R^2 = 0.968$

## نتایج

نتایج استخراج درجه حرارت سطح زمین حاصل از روش‌های مختلف در سنجنده‌های TM و ETM<sup>+</sup> در جدول‌های ۷ و ۸ آورده شده است. نتایج حاصل از اجرای شاخص MAE بر روی نتایج حاصل از روش‌های مختلف برای سنجنده‌های ETM<sup>+</sup> (جدول ۷) و TM (جدول ۸) نشان می‌دهد که بر اساس روش‌های مختلف اجرا شده در این تحقیق اولویت‌بندی شده‌اند (جدول ۹ و ۱۰).

که در آن  $T_{sensor}$  درجه حرارت در سطح سنجنده،  $\lambda$  طول موج باند مورد نظر (۱۱/۵ میکرومتر)،  $\rho$  برابر با ۱/۴۳۸ و  $\varepsilon$  گسیل‌مندی سطح زمین می‌باشد (۲۱).

## روش استفان-بولتزمن

سنجنده‌های مادون قرمز حرارتی تابش را در قسمت بالایی اتمسفر (Top Of Atmosphere) اندازه‌گیری می‌کنند که به این مقدار درجه حرارت روشنایی (و همچنین درجه حرارت جسم سیاه) گفته می‌شود که با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (۲۰).

$$TB = \left( \frac{1}{\ln\left(\frac{2hc^2\lambda^{-5}}{B\lambda} + 1\right)} \right) \left( \frac{hc}{k\lambda} \right) \quad [11]$$

که در آن  $h$  ثابت پلانک ( $6.62 \times 10^{-34}$ ),  $c$  سرعت نور ( $2.998 \times 10^8$ ),  $\lambda$  طول موج تابش گسیل شده،  $B\lambda$  تابش جسم سیاه می‌باشد. در نهایت دمای سطح زمین با استفاده از روش استفان-بولتزمن با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$T_B^4 = \sigma T_S^4 B = \varepsilon \sigma \quad [12]$$

$$T_s = \frac{T_B}{\sqrt[4]{\varepsilon}} \quad [13]$$

به دلیل کثرت روش‌های مورد استفاده و خروجی روش‌ها نیاز است تا با یک روش آماری اقدام به انتخاب بهترین روش از بین روش‌های مورد استفاده شود. شاخص آماری میانگین خطای مطلق (Mean Absolute Error) یکی از این روش‌هاست که بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد و رابطه آن بدین صورت می‌باشد (۴). در این رابطه  $k$  تعداد داده‌ها،  $(X_k - Y_k)$  اختلاف بین نتایج حاصل از روش سنجش از دور با داده‌های زمینی می‌باشد. شاخص میانگین خطای مطلق بیانگر مقدار خطا نسبت به مقادیر استاندارد هستند. این مقادیر هرچه به صفر نزدیک‌تر باشند به این معنی است که مقادیر



جدول ۷. نتایج استخراج درجه حرارت سطح زمین حاصل از روش‌های مختلف و داده‌های درجه حرارت سطح زمین در ایستگاه‌های

هواشناسی مختلف برای تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup>

چیتگر				هشتگرد				فرودگاه پیام				کرج			
۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱
۱۲/۵	۳۶/۲	۱۷/۵	۴۰/۴	۱۰/۸	۳	۷/۸	۳۹/۱	۱۱/۳	۲۶/۳	۱۵/۳	۴۴	۱۰/۷	۲۳/۴	۱/۶۷	۳۸/۶
۱۲/۳	۳۶/۱	۱۸	۴۰/۸	۱۰/۸	۳۲/۷	۷/۸	۳۹	۱۱/۱	۲۶/۶	۱۵/۵	۴۴	۱۰/۷	۲۳	۱/۶۹	۳۸/۵
۱۳/۴	۳۸/۴	۱۷/۵	۴۲/۸	۱۱/۵	۳۴/۶	۶/۶	۴۱/۳	۱۲/۱	۲۷/۴	۱۵	۴۷	۱۱/۵	۲۳/۷	-۰/۲	۴۰/۷
۱۳/۲	۳۸/۳	۱۸/۱	۴۳/۲	۱۱/۵	۳۴/۴	۶/۸	۴۱/۲	۱۱/۸	۲۷/۶	۱۵/۳	۴۷	۱۱/۵	۲۳/۳	-۰/۰۸۸	۴۰/۶
۱۲/۶	۳۶/۲	۱۷/۶	۴۰/۵	۱۰/۸	۳۲/۸	۷/۸	۳۸/۱	۱۱/۴	۲۶/۴	۱۵/۴	۴۴/۱	۱۰/۸	۲۳/۵	۱/۶۵	۳۸/۶
۱۲/۵	۳۶/۱	۱۸	۴۱	۱۰/۸	۳۲/۶	۷/۸	۳۹/۱	۱۱/۲	۲۶/۶	۱۵/۵	۴۴/۱	۱۰/۸	۲۳/۱	۱/۶۸	۳۸/۵
۱۵/۶	۴۰/۳	۱۹/۷	۴۶	۱۳/۷	۳۶/۷	۹	۴۴/۴	۱۴/۴	۲۹/۶	۱۷/۳	۵۰	۱۳/۷	۲۶	۲/۲	۴۳/۸
۱۵/۵	۴۰/۲	۲۰/۲	۴۶/۳	۱۳/۷	۳۶/۵	۹/۱	۴۴/۳	۱۴/۱	۲۹/۸	۱۷/۶	۵۰	۱۳/۷	۲۵/۶	۲/۳	۴۳/۷
۱۳/۱	۳۶/۷	۱۸	۴۱	۱۱/۳	۳۳/۴	۸/۳	۳۹/۵	۱۱/۹	۲۷	۱۷/۸	۴۴/۵	۱۱/۳	۲۳/۴	۲/۲	۳۹
۱۳	۳۶/۶	۱۸/۵	۴۲/۲	۱۱/۳	۳۳/۲	۸/۴	۳۹/۵	۱۱/۶	۲۷/۲	۱۶/۱	۴۴/۵	۱۱/۳	۲۳/۱	۲/۳	۳۹
۱۱/۷	۲۶/۲	۲۷	۳۱/۵	۵	۲۳	۲۰/۱	۲۹/۸	۸/۹	۲۳/۳	۲۰/۷	۳۴/۴	۱۱/۷	۲۶/۵	۲/۵	۳۲/۳
۱۱/۷	۳۷/۶	۳۱/۲	۴۵	۱/۸	۲۷/۱	۲۳/۱	۴۰/۳	۳/۸	۲۸/۵	۲۴	۴۷/۶	۷/۲	۲۹/۴	۲/۵	۴۶/۳

پنجره تکی، سبال، تک کانالی و استفان-بولتزمن می‌باشد (در جداول ۹ و ۱۰). شماره‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ در ستون اسامی ایستگاه‌های هواشناسی به ترتیب نشان دهنده تاریخ‌های ۱۳۷۲/۰۴/۱۵ و ۱۳۷۰/۰۷/۲۱، ۱۳۶۴/۰۲/۱۳۶۹، ۳۱/۱۱/۱۰ می‌باشد.

نمادهای L و H در ستون شماره باند به ترتیب نشان‌دهنده Low gain و High gain می‌باشد. شماره‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ در ستون اسامی ایستگاه‌های هواشناسی به ترتیب نشان دهنده تاریخ‌های ۱۳۸۲/۰۲/۲۵، ۱۳۸۱/۰۷/۲۷، ۱۳۸۱/۰۵/۰۹ و ۱۳۸۱/۱۰/۱۷ می‌باشد. شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ در ستون روش‌ها به ترتیب نشان دهنده روش‌های دفتر علوم لندست،

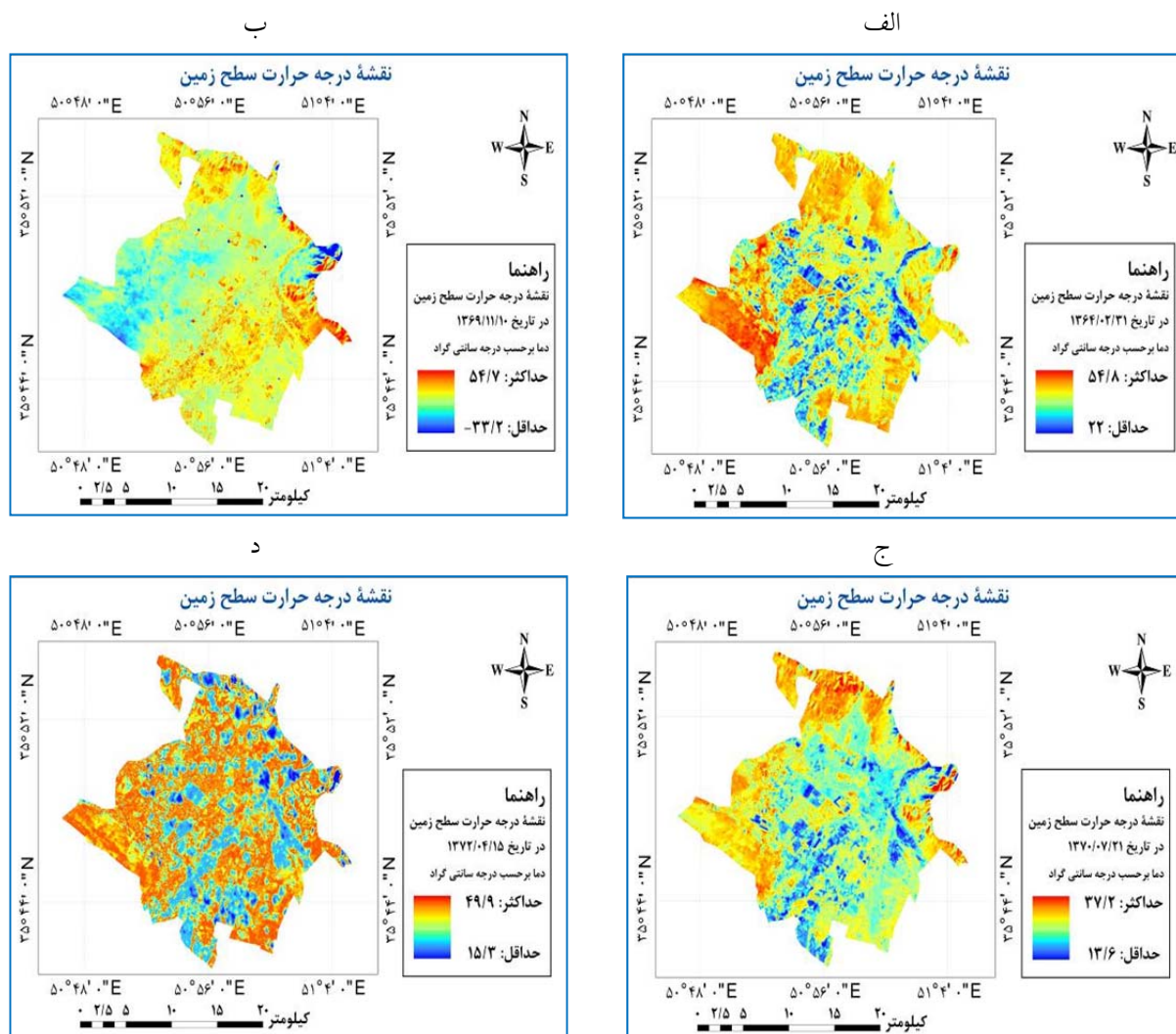
جدول ۸. نتایج استخراج درجه حرارت سطح زمین حاصل از روش‌های مختلف و داده‌های درجه حرارت سطح زمین

در ایستگاه‌های هواشناسی مختلف برای تصاویر سنجنده TM

چیتگر				هشتگرد				فرودگاه پیام				کرج				روش‌ها
۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱	
۳۹/۲	۲۷/۴	۴۲/۲	۶/۹	۳۸/۱	۲۳/۱	۴۰/۶	۳/۸	۳۶/۲	۲۳	۴۲/۶	۱/۶	۳۳/۸	۲۵/۷	۴۰/۲	۴/۵	۱
۴۳/۸	۲۸/۸	۴۵/۱	۷/۵	۴۲/۴	۲۴	۴۳/۴	۴/۲	۴۰/۱	۲۴/۹	۴۸/۹	۱/۹	۴۰/۴	۲۶/۹	۴۲/۹	۵/۳	۲
۳۸/۴	۲۷/۵	۴۲/۳	۷	۳۸/۲	۲۳/۲	۴۰/۸	۳/۹	۳۶/۲	۲۴/۱	۴۲/۷	۱/۷	۳۳/۹	۲۵/۸	۴۰/۴	۵	۳
۴۸/۵	۳۰/۶	۴۶/۸	۷/۸	۴۷/۱	۲۵/۸	۴۵/۱	۴/۴	۴۴/۷	۲۶/۸	۵۰/۵	۲/۱	۴۵	۲۸/۷	۴۴/۷	۵/۶	۴
۴۱/۶	۲۸/۱	۴۲/۸	۷/۶	۴۰/۴	۲۳/۸	۴۱/۳	۴/۵	۳۸/۴	۲۴/۷	۴۶/۶	۲/۴	۳۹/۷	۲۶/۴	۴۰/۹	۵/۶	۵
۳۳	۲۵/۹	۳۴/۸	۷/۳	۳۰/۷	۲۱/۹	۳۳/۱	۵/۵	۳۰/۵	۲۱/۵	۲۵/۵	۹/۱	۳۱/۳	۲۰/۹	۲۶/۹	۷	دمای هوا
۴۷/۲	۲۹/۵	۳۵/۳	۷/۶	۴۰/۷	۲۴/۴	۲۷/۵	۳/۴	۴۰/۱	۲۶/۸	۳۲/۷	۸/۳	۴۱/۵	۲۵/۱	۳۱/۳	۷/۶	دمای خاک

جدول ۹. اولویت‌بندی روش‌های مختلف استخراج درجه حرارت سطح زمین با استفاده از شاخص آماری MAE برای سنجنده ETM<sup>+</sup>

ترتیب	شاخص MAE	مقدار کمی شاخص MAE
۱	استفان-بولتزمن H	۶/۸
۲	پنجره‌تکی H	۶/۹
۳	استفان-بولتزمن L	۷/۰۱
۴	پنجره‌تکی L	۷/۰۶
۵	دفتر علوم لندست H	۷/۰۷
۶	تک‌کانالی H	۷/۱۳
۷	دفتر علوم لندست L	۷/۱۵
۸	تک‌کانالی L	۷/۱۸
۹	سبال L	۷/۱۹
۱۰	سبال H	۹/۳

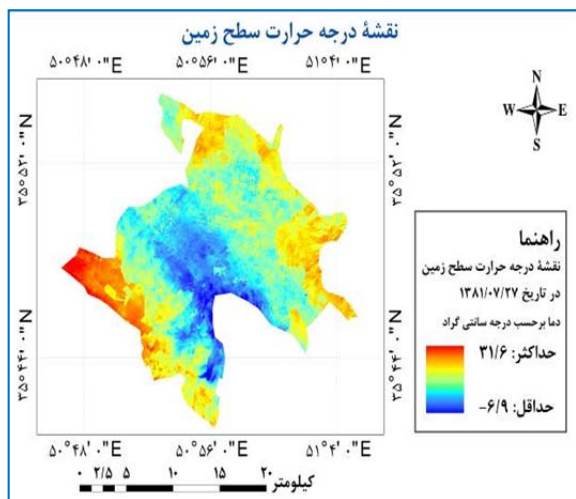


بنابراین با مشاهده نتایج بالا به خوبی مشخص است که بهترین روش اجرا شده برای استخراج LST در سنجنده‌های TM و  $ETM^+$  روش استفان-بولتزمن می‌باشد. به دلیل محدودیت در ارائه تمام نتایج اجرای الگوریتم‌ها نتایج حاصل از اجرای روش استفان-بولتزمن بر روی تصاویر سنجنده‌های TM (شکل ۴) و نتایج نقشه حرارتی تولید شده به وسیله روش استفان-بولتزمن برای سنجنده  $ETM^+$  در شکل ۵ آورده شده است.

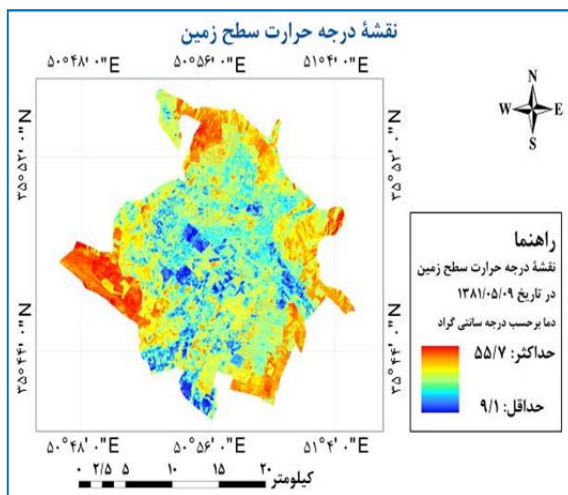
جدول ۱۰. اولویت‌بندی روش‌های مختلف استخراج درجه حرارت سطح زمین با استفاده از شاخص آماری MAE برای سنجنده TM

ترتیب	شاخص MAE	مقدار کمی شاخص MAE
۱	استفان-بولتزمن	۴/۳
۲	پنجره‌تکی	۴/۶
۳	دفتر علوم لندست	۴/۹۱
۴	سپال	۴/۹۴
۵	تک‌کانالی	۵/۷

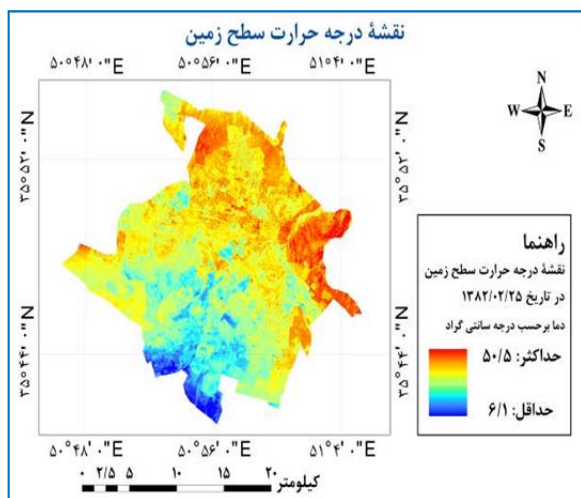
ب



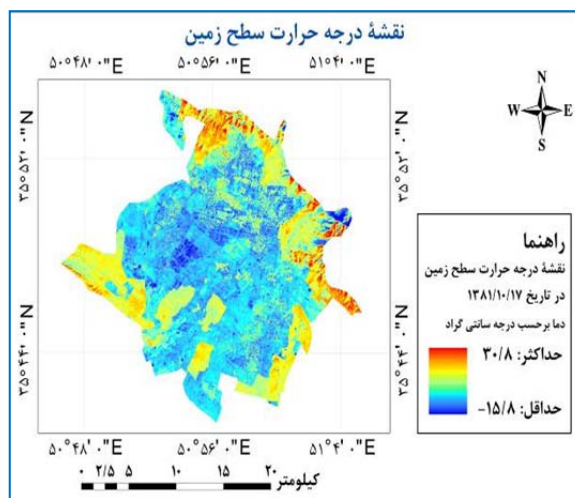
الف



د



ج



شکل ۵. نقشه‌های درجه حرارت سطح زمین در تاریخ‌های مختلف برای سنجنده  $ETM^+$  به روش استفان-بولتزمن

## بحث و نتیجه گیری

این تحقیق با هدف استخراج LST با تمام روش‌های موجود می‌باشد. روش‌های مورد استفاده شامل روش‌های دفتر علوم لندست، پنجره تکی، سبال، تک کانالی و استفان-بولتزن می‌باشد. پارامتر مهم و تأثیرگذار در تخمین مقدار صحیح‌تر درجه حرارت سطح زمین توان تشعشعی می‌باشد که در تمام روش‌های مورد استفاده ثابت می‌باشد. برآورد این پارامتر با استفاده از روش‌های گوناگونی انجام می‌شود که در این تحقیق برای برآورد آن از روش شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده استفاده شد. به عبارتی پس از محاسبه NDVI نقشه گسیل‌مندی به دست آمد. نتایج کلیه روش‌ها در تاریخ‌های مختلف با استفاده از شاخص آماری پرکاربرد میانگین خطای مطلق مقایسه شدند. نتایج نشان داد که در بین روش‌های مورد استفاده، بهترین روش در برآورد نزدیک‌تر درجه حرارت سطح زمین به داده‌های زمینی دمای هوا در هر دو سنجنده TM و  $ETM^+$ ، روش استفان-بولتزن می‌باشد. به عبارتی با اجرای شاخص میانگین خطای مطلق بر روی نقشه‌های حرارتی تولید شده، مشخص شد که روش استفان-بولتزن و پنجره تکی بهترین روش‌ها هستند و برای تحقیقات آتی در زمینه‌های سنجش از دور حرارتی این دو روش پیشنهاد می‌شوند. با مشاهده نتایج حاصل از استفاده شاخص MAE بر روی نقشه‌های حرارتی مشخص می‌شود که روش‌های سبال و تک کانالی دارای کمترین دقت در برآورد درجه حرارت سطح زمین دارند به طوری که در اولویت‌بندی روش‌ها جزء آخرین اولویت‌ها قرار می‌گیرند. کما این که روش پنجره تکی نیز از نظر دقت در برآورد درجه حرارت سطح زمین جزء روش‌ها با دقت و اعتمادپذیر محسوب می‌شود، به طوری که از نظر اولویت‌بندی پس از روش استفان-بولتزن قرار گرفته است. بنابراین نتیجه می‌گیریم که از بین روش‌های مورد استفاده روش استفان-بولتزن و پنجره تکی جزء بهترین روش‌ها بوده و روش‌های سبال و تک کانالی جزء کم‌دقت‌ترین روش‌ها محسوب می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای تحقیقات آتی به منظور استخراج LST در مناطقی که از نظر موقعیت

جغرافیایی و شرایط آب و هوایی به موقعیت کرج نزدیک هستند از روش‌های مذکور استفاده شود و روش‌های مذکور در اولویت روش‌های مورد استفاده قرار بگیرند. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با پژوهش‌های انجام شده، نتایج تحقیق حاضر را تأیید می‌کنند چرا که تحقیق انجام شده توسط دشتکیان و دهقانی (۳) که در آن با استفاده از ۳ روش دفتر علوم لندست، روش پیشنهادی و روش سئول اقدام به استخراج LST در اشکذر یزد کرده بودند و به این نتیجه رسیدند که روش‌های دفتر علوم لندست و روش پیشنهادی از دقت خوبی برخوردارند و نتایج بهتری داشته‌اند. تحقیق‌های انجام شده توسط علیپور و اسماعیلی (۱۳)، ژانگ و همکاران (۲۲)، سبرینو و همکاران (۱۹) نیز که با استفاده از دو روش پنجره تکی و تک کانالی اقدام به استخراج LST کرده بودند در نهایت به این نتیجه رسیدند که روش پنجره تکی دقت بالاتری نسبت به روش تک کانالی داشته است.

## منابع مورد استفاده

۱. ابراهیمی هروی، ب. ۱۳۹۳. تحلیل روابط بین جزایر حرارتی شهری و تغییرات کاربری/ پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در کلان‌شهر کرج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۸۸ صفحه.
۲. امیری، ر.، ع. علی‌محمدی و ک. علوی پناه. ۱۳۸۶. مطالعه تغییرپذیری فضایی-زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/ پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی TM و  $ETM^+$ . مجله محیط‌شناسی، ۹(۳۳): ۱۰۷-۱۲۰.
۳. دشتکیان، ک و م. ح. دهقانی. ۱۳۸۵. بررسی دمای سطح زمین در ارتباط با پوشش گیاهی و توسعه شهری با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مناطق بیابانی، مطالعه موردی: منطقه یزد- اشکذر. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۳(۷۷): ۱۶۹-۱۷۹.
۴. رنجبران، ه. ۱۳۸۷. آمار و احتمال و کاربرد آن در اقتصاد. چاپ پنجم. انتشارات نور علم. ۵۱۶ صفحه.
۵. شکبیا، ع.، پ. ضیائیان فیروزآبادی، د. عاشورلو و س.

- urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach. *Remote Sensing of Environment*, 131: 262-274.
15. Farina A. 2012. Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain. A Master thesis presented to Department of Physical Geography and Ecosystem Analysis Centre for Geographical Information Systems. Lund University. pp 58.
  16. 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): 1535-1552.
  17. Maimaitiyiming M, Ghulam A, Tiyp T, Pla F, Latorre-Carmona P, Halik Ü, Sawut M, Caetano M. 2014. Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 89: 59-66.
  18. Senanayake I, Welivitiya W, Nadeeka P. 2013. Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM<sup>+</sup> data. *Urban Climate*, 5: 19-35.
  19. Sobrino JA, Jiménez-Muñoz JC, Paolini L. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4): 434-440.
  20. Van TT, Bao HDX. 2008. A study on urban development through land surface temperature by using remote sensing: in case of Ho Chi Minh City. *VNU Journal of Science, Earth Sciences*, 24: 160-167.
  21. Xiao R, Weng Q, Ouyang Z, Li W, Schienke EW, Zhang Z. 2008. Land surface temperature variation and major factors in Beijing, China. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(4): 451-461.
  22. Zhang J, Wang Y, Li Y. 2006. A C<sup>++</sup> program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM<sup>+</sup> band6. *Computers & Geosciences*, 32(10): 1796-1805.
  23. Zhang H, Qi Z-f, Ye X-y, Cai Y-b, Ma W-c, Chen M-n. 2013. Analysis of land use/land cover change, population shift, and their effects on spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China. *Applied Geography*, 44: 121-133.
- نامداری. ۱۳۸۸. تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های ETM<sup>+</sup>. مجله سنجش از دور و GIS ایران، ۱۱(۱): ۳۹-۵۶.
۶. شهابی‌فر، م.، م. عصار، م. کوچکزاده و م. میرلطیفی. ۱۳۸۹. ارزیابی برخی از روش‌های تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از داده‌های لایسیتتری در شرایط گلخانه‌ای. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۶(۲۴): ۱۳-۱۹.
  ۷. صادقی‌نیا، ع.، ب. علیجانی و پ. ضیائی‌ان فیروزآبادی. ۱۳۹۲. تحلیل فضایی-زمانی جزیره حرارتی کلانشهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲(۴): ۱-۱۷.
  ۸. عظیمی، ع. ۱۳۹۳. برآورد مقدار تبخیر و تعرق با استفاده از سنجش از دور و شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه آن با روش تجربی (پنمن-مانتیث-فائو). پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۶۸ صفحه.
  ۹. علوی پناه، ک. ۱۳۸۵. سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۳۸ صفحه.
  ۱۰. گومه، ز. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی کلان شهر کرج و ارتباط آن با نمایه‌های سیمای سرزمین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۲۸ صفحه.
  ۱۱. ملک‌پور، پ.، م. طالعی، ی. رضائی و م. خوش‌گفتار. ۱۳۸۹. بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش- کاربری زمین شهری با استفاده از داده سنجنده ETM<sup>+</sup>، مطالعه موردی شهرتهران. همایش ملی ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.
  ۱۲. هاشمی، م.، ک. علوی پناه و م. دیناروندی. ۱۳۹۲. ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط‌زیست شهری با کاربرد سنجش از دور حرارتی. مجله محیط‌شناسی، ۱۷(۱): ۸۱-۹۲.
  13. Alipour T, Esmaeily A. 2003. Land Surface Temperature Estimation from Thermal Band Of Landsat Sensor, Case Study: Alashtar City. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36: 1-6.
  14. Deng C, Wu C. 2013. Examining the impacts of urban biophysical compositions on surface



## Determination of urban surface temperature using landSat images (Case study: Karaj)

B. Ebrahimi Heravi <sup>1\*</sup>, K. Rangzan <sup>2</sup>, H. R. Riahi Bakhtiari <sup>3</sup>, A. Taghizadeh <sup>4</sup>

1. MSc. Graduated of Remote Sensing and Geographic Information System, College of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

2. Assoc. Prof. College of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

3. Assis. Prof. College of Earth Sciences, Kharazmi University

4. Lecturer, College of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

### ARTICLE INFO

#### **Article history:**

Received 14 July 2014

Accepted 7 February 2015

Available online 14 September 2015

#### **Keywords:**

Urban heat islands

Land surface temperature

LandSat satellite

Mean absolute error

Karaj land

### ABSTRACT

Land surface temperature is a key indicator of energy balance. Besides, it serves as input data for models of climate change, agriculture, meteorology, urban heat islands, choosing the best time to agricultural activities, study of volcanic and geothermal activity, and fire detection. In this study land surface temperature has been extracted by available methods using 4 images of TM and ETM<sup>+</sup> sensors of Landsat in span years of 1985 to 2003. The methods of land surface temperature extraction included landsat project science office, mono window, SEBAL, Stefan-Boltzmann and single channel. Because of the multiplicity of methods and the number of images used in this study using a statistical method is required. It is required to determine the most efficient extraction method of land surface temperature, which is close to the existing field data. The statistical indicator used in this study was a mean absolute error (MAE). The results indicated that Stefan-Boltzmann method was the best method for both TM and ETM<sup>+</sup> sensors. The MAE values for TM and ETM<sup>+</sup> were 4.3 and 6.8 respectively, which showed a minimum value among other results.

\* Corresponding author e-mail address: Behrouz.85.64@gmail.com