



مقایسه الگوریتم‌های مختلف برآورد دمای سطح زمین (LST) با استفاده از تصاویر سنجش از دور

علی حسینقلی زاده^{۱*}، پرویز ضیائیان فیروزآبادی^۲، محمد توکلی صبور^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه خوارزمی تهران
- ۲- دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه خوارزمی تهران
- ۳- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه خوارزمی تهران

چکیده:

درجه حرارت سطح زمین یک شاخص اصلی تعادل انرژی در کره زمین می‌باشد. در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای به دست آوردن دما با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است. در این پژوهش هدف مقایسه روش‌های مختلف برآورد دما می‌باشد. درجه حرارت سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست (TM, ETM+, TIRS) استخراج شد. الگوریتم‌های مورد استفاده برای استخراج درجه حرارت سطح زمین شامل دفتر علوم لندست (Artis)، تک پنجره (Mono_window) و استفان_بولتزمن (Stefan_Boltzman) می‌باشد. که گسیلمندی‌های آن‌ها با استفاده از شاخص پوشش گیاهی (NDVI) بدست آمد. سپس با نمونه‌برداری زمینی از منطقه مورد مطالعه (تهران) رابطه تبدیل دمای سطح زمین به هوا بدست آمد. به دلیل کثرت الگوریتم‌ها 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 از شاخص آماری میانگین خطای مطلق استفاده گردید. نتایج نشان میدهد که در بین روش‌های مورد استفاده بهترین روش در هر سه سنجنده لندست و روشن Stefan_Boltzman می‌باشد که در آن مقادیر شاخص میانگین خطای مطلق برای سه روش تک پنجره، Artis و Stefan_Boltzman به ترتیب ۱.۸۷۷، ۱.۷۴۴ و ۱.۵۴۰ درجه سانتیگراد بوده است.

واژه‌های کلیدی: گسیلمندی، روشن Stefan_Boltzman، روشن Artis، تک پنجره، دمای سطح

۱- مقدمه

تا به امروز الگوریتم های مختلفی برای بدست آوردن دمای سطح زمین ارائه شده است. از روش های مبتنی بر NDVI تا طبقه‌بندی و سایر روش های به نسبت قدیمی تر مانند درون یابی ایستگاهها و استفاده از ایستگاه های سیار که گسیلنندگی را مد نظر قرار نمی دهند و بجای آن با استفاده از داماسنج های مخصوص اقدام به محاسبه دمای هوا می کنند. در این بین روایط مختلفی از سال های دور تاکنون بمنظور محاسبه دما ارائه شده است که هر کدام به طور جداگانه مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش دمای زمین با روش های مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت تا با مقایسه این روابط با یکدیگر و همچنین دمای سازمان هواشناسی روش مناسب تعیین گردد.

انتخاب روش مناسب برای بدست آوردن دما، که خود یک فاکتور مهم در مطالعه تغییرات جهانی به عنوان یک متعادل کننده گرما و کنترل کننده مدل های آب و هوایی بشمار می رود حائز اهمیت است. دانش دمای سطح زمین برای طیف وسیعی از مسائل در علوم زمین از جمله دمای مناطق مختلف، تغییرات وسیع و فعل و انفعالات بین فعالیت های انسانی با محیط اطراف بسیار مهم است. گرچه اختلاف دما در مناطق مختلف ممکن است خیلی زیاد نباشد اما همین مقدار می تواند بوجود آورنده مشکلات متعددی باشد [۱].

مطالعات برآورد دما در گذشته با استفاده از اندازه گیری های دما در ایستگاه های هواسنجی و اتومبیل های مخصوص سیار ثبت دما انجام می شد [۲]. اما توزیع غیریکنواخت و تعداد اندک ایستگاه های هواسنجی سبب می شد تا این داده ها نماینده ی کاملی برای نمایش پراکندگی دما در سراسر یک منطقه نباشند [۳].

در سال ۹۴ ابراهیمی هروی و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره لندست به تعیین درجه حرارت سطح اراضی شهری برای منطقه کرج با روش توازن انرژی برای سطح زمین (سیال) و تک کانالی پرداختند [۴]. همچنین در تحقیق دیگری در سال ۹۴ حمزه لویی با تعیین برآورد حرارت با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بالا (Geoeye) پرداختند که در نتیجه آن منطقه فرودگاه مهرآباد نسبت به سایر مناطق تهران از گرمای بیشتری برخوردار بود. در رساله ی دکترا که توسط آقای صادقی نیا در سال ۱۳۸۹ انجام شد توزیع تغییرات حرارتی تهران به صورت فضایی - زمانی در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ با استفاده از روش تک پنجره مورد بررسی قرار گرفت [۵]

اکبری و کنوباکی^۱ در سال ۲۰۰۲ با استفاده از سنجنده TM، الگوی توزیع درجه حرارت شهر تهران را مورد مطالعه قرار داد. او با استفاده از الگوریتم طبقه بندی حداکثر احتمال^۲ (MLC) کلاس های کاربری پارک تفریحی، پارک جنگلی، مسکونی – صنعتی، معابر، اراضی کم درخت و اراضی باир را از سه مولفه اول حاصل از تحلیل مولفه های اصلی^۳ (PCA) استخراج کرد و میانگین حرارت برای هر یک از کلاس های کاربری را بدست آورد. وی با بررسی ها و ارزیابی های انجام شده نتیجه گرفت که کلاس های کاربری دارای میانگین حرارتی متفاوت با یکدیگر هستند و کلاس های حرارتی یکسان در نقشه کاربری، تقریباً بر کلاس های دمایی ویژه ای انتباق داشتند [۶].

۲- مواد و روش ها

۱- منطقه مورد مطالعه

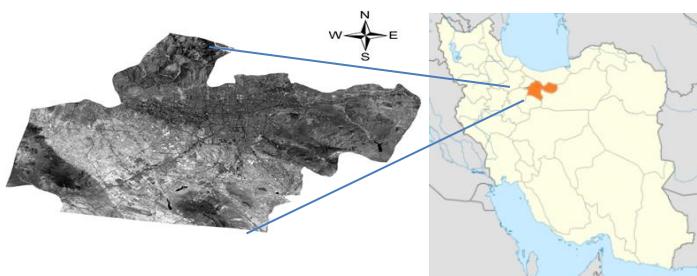
محدوده مورد مطالعه بخش هایی از استان تهران در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی است. این منطقه از نظر اقلیمی دارای تنوع زیادی

¹Konopacki

² Maximum Likelihood

³ Principle Component Analysis

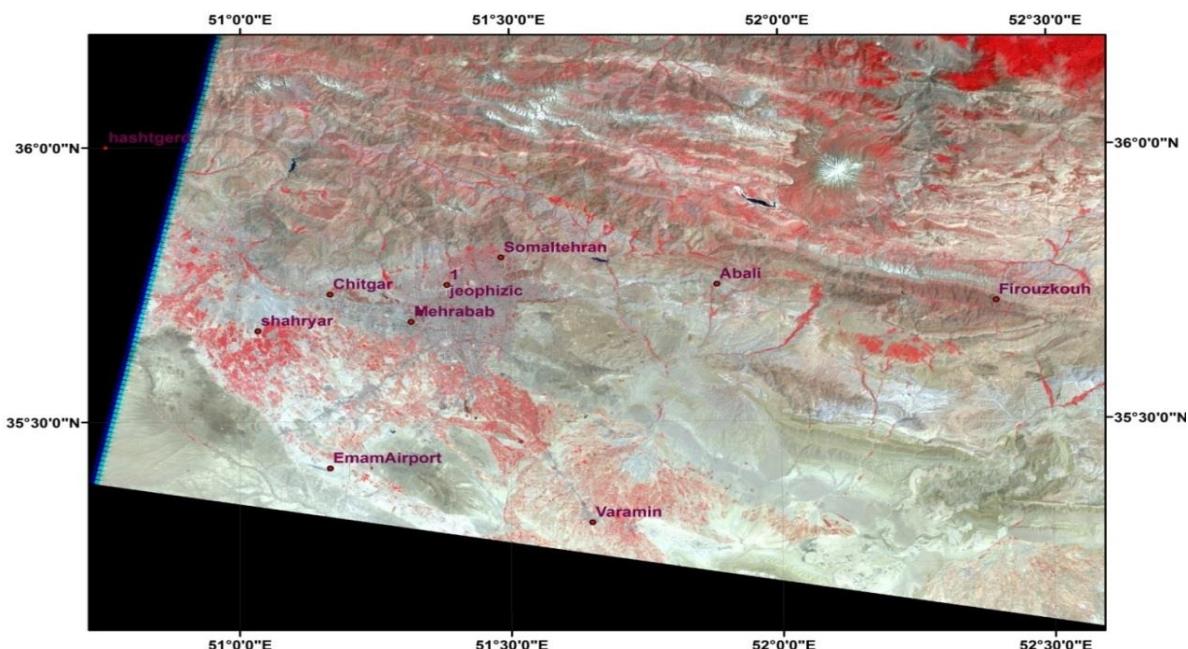
می‌باشد. به گونه‌ای که از اقلیم بیابانی در قسمت‌های جنوبی شروع شده و تا اقلیم مرطوب در شمال و کوهستانی در قسمت‌های شرقی ادامه پیدا می‌کند. از نظر سیستم طبقه‌بندی^۱ UTM نیز در قاج^۲ ۳۹ شمالی و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد بین ۱۸۰۰ متر در شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است.



شکل ۱: ایران و منطقه مورد مطالعه

۲-۲-داده‌های مورد استفاده:

تصاویر سنجنده‌های TM و ETM+ و TIRS ماهواره لندست، داده‌های هواشناسی که شامل داده‌های دمای هوا و رطوبت نسبی می‌باشد در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. شماره ردیف و مسیر تصاویر مورد استفاده به ترتیب ۳۵ و ۱۶۴ می‌باشد. همچنین سعی شد که تصاویر انتخابی با کمترین میزان ابرناکی انتخاب شوند که در نتایج استفاده از الگوریتم‌های مختلف خلی ایجاد نکند. جهت محاسبه‌ی پارامترهای مربوط به استخراج دما از داده‌های ساعتی سازمان هواشناسی، ایستگاه‌های سینوپتیک مستقر در منطقه مورد مطالعه که شامل ایستگاه‌های آعلی، چیتگر، هشتگرد، دوشان تپه، فیروزکوه، فرودگاه امام، ژئوفیزیک، شمال تهران، شهریار، فرودگاه مهرآباد، ورامین بود، استفاده شد. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه مورد مطالعه در شکل (۲) آورده شده است.



شکل ۲: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

¹ universal transverse mercator

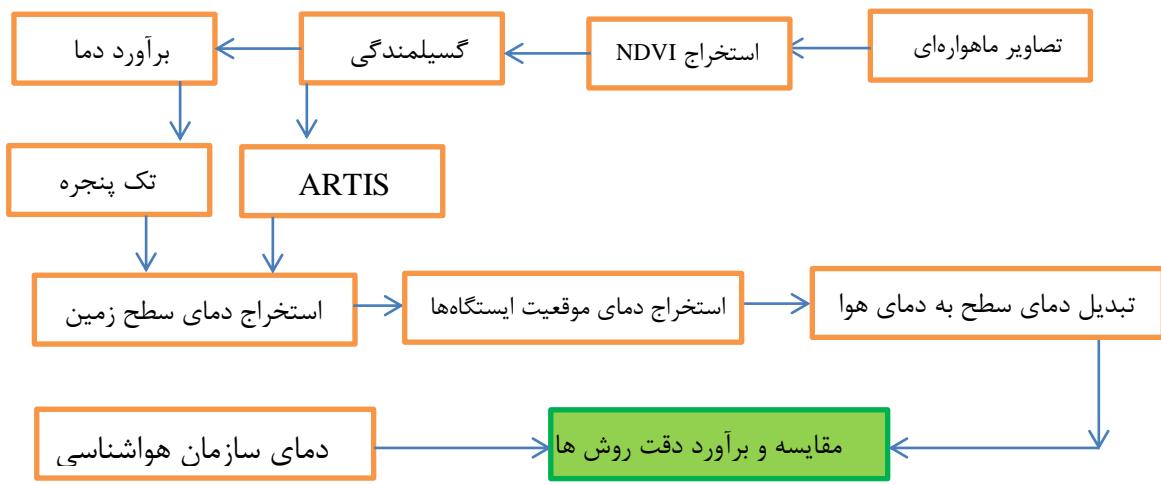
² Zone

بعد از دریافت تصاویر از سایت سازمان نقشه برداری و زمین شناسی آمریکا^۱ (USGS) بدلیل بزرگ تر بودن قاب^۲ محدوده، تصاویر دریافتی برش داده شدند، تصحیح اتمسفری بروش^۳ FLAASH انجام شد و سپس تصحیح هندسی تصاویر لندست و انطباق آن با سیستم مختصات UTM و ناحیه^۴ شماره ۳۹ شمالی مورد کنترل قرار گرفت.

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده

آریمومت خورشیدی	زاوریه ارتفاع خورشید	تعداد باندها	ساعت تصویر برداری	تاریخ اخذ تصویر	سنجدنده
درجه	درجه		وقت محلی	شمسی	میلادی
۱۱۸.۲۸۱	۶۵.۹۷۲	۷	۱۰:۱۵	۸۹/۰۳/۱۴	۲۰۱۰/۰۶/۰۴
۱۵۱.۶۲۶	۴۲.۴۳۱	۸	۱۰:۲۵	۸۱/۰۷/۲۰	۲۰۰۲/۱۰/۱۲
۱۴۲.۵۴۲	۵۴.۹۸۹	۱۱	۱۰:۳۷	۹۴/۰۶/۱۵	۲۰۱۵/۰۹/۰۶
۱۱۳.۸۷۷	۶۴.۷۷۱	۷	۱۰:۱۵	۸۷/۰۴/۱۰	۲۰۰۸/۰۶/۳۰
۱۲۵.۱۷۴	۵۹.۷۴۶	۸	۱۰:۲۰	۸۱/۰۵/۱۸	۲۰۰۲/۰۸/۰۹
۱۱۷.۷۸۹	۶۳.۱۹۰	۷	۱۰:۱۲	۸۸/۰۴/۲۸	۲۰۰۹/۰۷/۱۹
۱۱۸.۰۷۲	۶۵.۷۲۵	۸	۱۰:۲۰	۸۰/۰۳/۱۳	۲۰۰۱/۰۶/۰۳

در اجرای روش های استخراج دمای سطح زمین، از ایستگاه های خارج از محدوده نیز بمنظور بالاتر رفتن دقت نتایج خروجی استفاده شد (۷ ایستگاه درون و ۴ ایستگاه بیرون محدوده). نمودار (۱) روند انجام کار نشان داده شده است.



نمودار ۱ : مراحل استخراج دمای سطح زمین

۳- مراحل استخراج درجه حرارت سطح زمین

بعد از برش و طی مراحل پیش پردازش داده ها مراحل استخراج LST بر روی باندهای حرارتی تصاویر اجرا شدند که روش های مورد استفاده شامل تک پنجره(Mono_Window) و روش دفتر علوم لندست (Artis) می باشد.

¹ United States Geological Survey

² Frame

³ Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes

⁴ Zone

۱-۳- روش تک پنجره

برای محاسبه دما بروش تک پنجره ابتدا با استفاده از رابطه ۱ اعداد رقومی (Digital Number) به رادیانس طیفی تبدیل شد [۷].

$$L_{\lambda} = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{Qcal_{\max} - Qcal_{\min}} \times (DN - Qcal_{\min}) + L_{\min} \quad (1)$$

برای تصاویر TIRS، ETM+، TM Header files تصویر استخراج شد. DN مقدار درجه خاکستری پیکسل مورد نظر، L_{\max} و L_{\min} حداقل و حداکثر مقدار رادیانس طیفی برای باند حرارتی سنجنده است.

که در این رابطه پارامترهای رابطه ۱-۳ باید از Header file تصویر استخراج شوند. سپس با استفاده از رابطه ۲ دمای درخشندگی^۱ محاسبه گردید [۸].

$$T_{sensor} = \frac{K_2}{Ln(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1)} \quad (2)$$

که در آن BT دمای موثر در سنجنده بر حسب درجه کلوین، L رادیانس طیفی سنجنده بر حسب ($Wm^{-2}sr^{-1}um^{-1}$) و مقادیر K_1 و K_2 بترتیب ثابت کالیبراسیون اول و دوم (Wm^{-3}) است که البته برای سری های مختلف ماهواره لنdest مقدار ضرایب کالیبراسیون متفاوت است که این مقادیر از Header file تصاویر استخراج شد.

جدول ۲: ضرایب کالیبراسیون برای سری های مختلف لنdest [۸]

K_2	K_1	ضریب کالیبراسیون
۱۲۶۰.۵۶	۶۰۷.۷۶	TM
۱۲۸۲.۷۱	۶۶۶.۰۹	ETM+
۱۳۲۱.۰۸	۷۷۴.۸۹	OLI BAND10
۱۲۰۱.۱۴	۴۸۰.۸۹	OLI BAND11

بعد از بدست آوردن رادیانس و دمای درخشندگی به ترتیب میزان بخار آب و قابلیت عبوردهندگی جو محاسبه گردید که برای محاسبه میزان بخار آب از رطوبت نسبی^۲ (RH) استفاده شد که رابطه (۳) برای محاسبه بخار آب و جدول (۳) برای محاسبه قابلیت عبور دهنگی جو می باشد [۸].

$$W_i = 0.0981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left[\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)} \right] \times (RH / 100) \right\} + 0.1697 \quad (3)$$

W_i مقدار بخار آب (g/cm²)، T_0 دمای هوای نزدیک سطح زمین (کلوین)، RH مقدار رطوبت نسبی برای محاسبه قابلیت عبوردهندگی جو بر حسب میزان بخار آب^۳، روابط موجود در جدول (۳) به کار گرفته شد.

¹ Brightness Temperature

² Relative Humidity

³ Water Vapor

جدول ۳: تخمین قابلیت عبوردهندگی جو براساس میزان بخار آب [9]

معادله تخمین قابلیت عبور اتمسفری	بخار آب (گرم بر سانتی متر مکعب)	درجه حرارت هوا
W_i بالا	۰/۴-۱/۶	۰/۹۷۴۲۹-۰/۰۸۰۰۷
W_i	۱/۰۳۱۴۱۲-۰/۱۱۵۳۶	۱/۶-۳
W_i پایین	۰/۴-۱/۶	۰/۹۸۲۰۰۷-۰/۰۹۶۱۱
W_i	۱/۶-۳	پایین ۱/۰۵۳۷۱-۰/۱۴۱۴۲

در آخر با محاسبه میانگین دمای موثر جو از جدول (۴) از رابطه (۵) برای محاسبه دمای سطح زمین استفاده شد.

جدول ۴: روابط برآورد میانگین دمای موثر جو [10]

ناحیه مورد مطالعه	رابطه برآورد میانگین دمای موثر جو	ردیف
۱	حراره	$T_0 = 17/9796 + 0/91715 \times$
ایالات متحده آمریکا	۲	$T_0 = 25/9396 + 0/88045 \times$
برون حاره (تابستان)	۳	$T_0 = 16/110 + 0/92621 \times$
برون حاره (زمستان)	۴	$T_0 = 19/2704 + 0/91118 \times$

برای محاسبه شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده^۱ و محاسبه گسیلمندی رابطه ۴ و جدول ۵ بکار گرفته شد [۱۱].

$$NDVI = \frac{band4 - band3}{band4 + band3} \quad \text{رابطه (۴)}$$

جدول ۵: تقسیم بندی محدوده NDVI

گسیلمندی NDVI	
۰.۹۸۵ < NDVI < ۰.۱۸۵	
۰.۹۵۵ < NDVI < ۰.۱۸۵	
Ln(NDVI) > ۰.۷۲۷	۰.۴۷ + ۱.۰۰۹۴ < NDVI < ۰.۱۵۷

¹ Normalized Difference Vegetation Index

$$0.8 < NDVI < 0.727$$

پس از بدست آمدن پارامترهای مورد نیاز، در نهایت با استفاده از رابطه زیر دمای سطح زمین بدست آمد [13].

$$T_s = \frac{\{a(1-C-D) + [b(1-C-D) + C + D] \times T_{sensor} - (D \times T_a)\}}{C} \quad (5)$$

$$a = -67/355351, \quad D = (1 - \tau_i) \times [1 + (\varepsilon_i \times \tau_i)], \quad b = +458606, \quad C = \varepsilon_i \times \tau_i$$

درجه حرارت سطح زمین، T_{sensor} درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده، ε_i میزان گسیلمندگی، T_a میانگین دمای موثر جو، τ_i قابلیت عبور دهنگی جو

۲-۳- روش دفتر علوم لندست (Artis)

برای بدست آوردن دما توسط این روش بترتیب نیاز به محاسبه رادیانس طیفی، درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده، شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) و گسیلمندگی می باشد. که با توجه به اینکه این مراحل بطور مشابه در روش تک پنجره اجرا شد از بیان دوباره فرمول ها خودداری می شود. که در نهایت پس از محاسبه پارامترهای لازم با استفاده از فرمول زیر دمای سطح زمین محاسبه می شود [14]. این روش تحت عنوان روش Artist هم شناخته می شود [15,16,17].

$$S_t = \frac{T_{sensor}}{1 + (\lambda \times (T_{sensor} / \rho)) \ln \varepsilon} \quad (6)$$

$$\rho = 14380, \quad \lambda = \text{طول موج رادیانس ساطع شده (} 11/5 \text{ میکرومتر)} , \quad \varepsilon = \text{توان تشعشعی}$$

سپس برای تبدیل دمای سطح زمین به دمای هوا از رابطه (7) که حاصل از نمونه برداری های خود نگارنده برای منطقه مورد مطالعه است استفاده شد. که در آن AT دمای هوا، LST دمای سطح عوارض است.

$$AT = (LST \times 0.489) + 8/8 \quad (7)$$

در انتها برای تبدیل درجه کلوین به درجه سانتیگراد می توان رابطه زیر را بکار برد [18].

$$S = \text{Kelvin} - 273.15 \quad (8)$$

۴- ارزیابی نتایج

به دلیل کثرت روش های مورد استفاده و خروجی روش ها، نیاز است تا یک روش آماری اقدام به انتخاب بهترین روش از بین روش های مورد استفاده شود. شاخص آماری میانگین خطای مطلق^۱ یکی از این روش هاست که بدین منظور مورد استفاده قرار می گیرد که رابطه آن به شکل زیر است [18]:

$$RMAE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K |X_k - Y_k|}{K}} \quad (9)$$

¹ Root Mean Absolute Error

$X_K - Y_K$ اختلاف بین نتایج حاصل از روش سنجش از دور با داده‌های زمینی و K تعداد داده‌ها می‌باشد. شاخص میانگین خطای مطلق بیانگر مقدار خطای نسبت به مقادیر استاندارد هستند. این مقادیر هر چه به صفر نزدیک تر باشند به این معنی است که مقادیر دارای خطای کم تری نسبت به حالت استاندارد می‌باشد [۱۹]

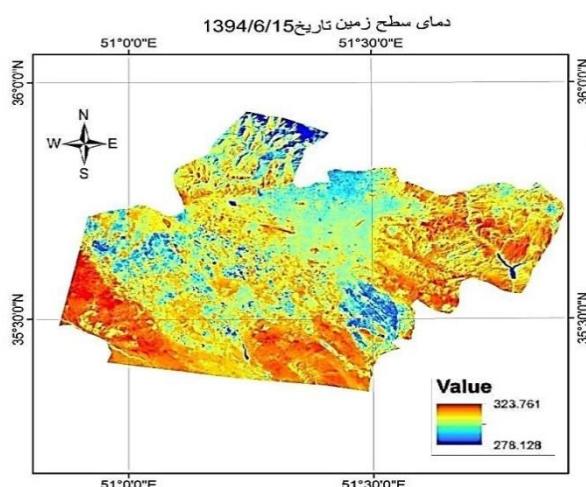
۴-۱- نتایج

در جدول (۶) میزان خطای (RMAE) حاصل از استفاده‌ی الگوریتم‌های مختلف در سنجنده‌های TM, TIRS, ETM+ را پس از تبدیل دمای سطح زمین به دمای هوای نشان می‌دهد. همچنین تعدادی از نقشه‌های حاصل در ادامه آمده است.

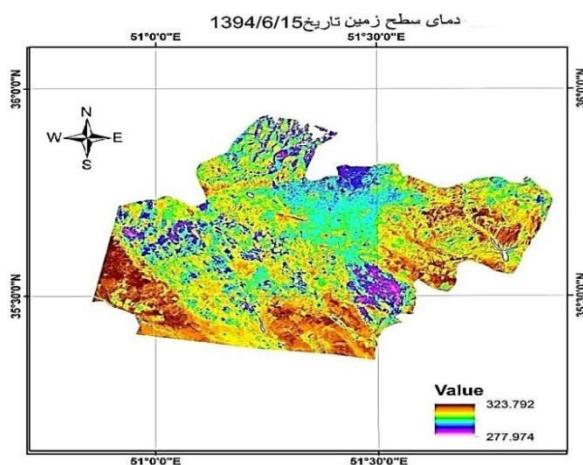
جدول ۶: میزان خطای حسب درجه سانتیگراد پس از تبدیل دمای سطح عوارض به دمای هوای

روش نوع تصویر و تاریخ	Mono_Window (تک پنجره)	Artis (دفتر علوم لندست)	Stefan_Boltzman استفان بولتزمن
۲۰۱۰/۰۶/۰۴TM	۱.۵۶۹	۱.۷۰۴	۱.۴۲۴
۲۰۰۲/۰۸/۰۹ETM+	۲.۱۷	۱.۸۱	۱.۵۲
۲۰۱۵/۰۹/۰۶TIRS	۲.۱۹	۲.۱۶	۱.۷۴
۲۰۰۸/۰۶/۳۰ TM	۱.۴۳	۱.۳۵	۱.۲۸
۲۰۰۹/۰۷/۱۹TM	۲.۳۰	۲.۱۲	۱.۹۸
۲۰۰۲/۱۰/۱۲ETM +	۱.۵۰	۱.۱۴	۱.۰۹
۲۰۰۱/۰۶/۰۳ETM+	۱.۹۸	۱.۹۳	۱.۷۵

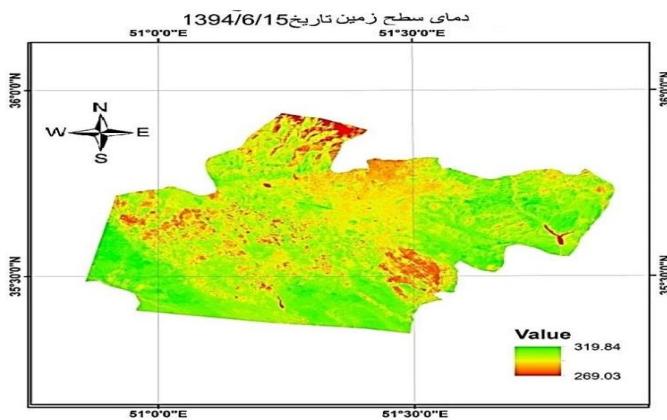
جدول (۶) کمترین و بیشترین مقادیر با خاکستری پرنگ و کمرنگ نشان می‌دهد.



شکل ۱: دمای سطح زمین برآورد شده بروش استفان_بولتزمن



شکل ۲: دمای سطح زمین برآورد شده بروش Artis



شکل ۳: دمای سطح زمین برآورد شده بروش تک پنجره

۳-۴- نتیجه گیری

این پژوهش با هدف مقایسه الگوریتم‌های مختلف استخراج دمای سطح زمین با بهره گیری از گسیلمندی بر مبنای NDVI می‌باشد. در تمام مراحل کار شرایط برای هر تصویر بطور جداگانه ثابت در نظر گرفته شده که پس از استخراج شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده و تقسیم بندی این شاخص با استفاده از جدول ۵ با استفاده از الگوریتم‌های تک پنجره، دفتر علوم لندست (Artis) و استفان_بولتزمن به محاسبه دمای سطح زمین پرداختیم که نتایج در جدول (۶) آمده است. کلیه نتایج سنجنده‌های مختلف با استفاده از شاخص میانگین خطای مطلق مقایسه شدند. براساس نتایج حاصل روش استفان_بولتزمن دارای کمترین خطای مطلق با میانگین ۱.۵۴۰ و پس از آن روش دفتر علوم لندست و تک پنجره بترتیب با میانگین های ۱.۷۴۴ و ۱.۸۷۷ در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد برای استخراج دمای سطح زمین و یا پژوهش مرتبط با آن برای مناطقی که از نظر توپوگرافی و آب و هوایی به تهران نزدیکترند از روش استفان_بولتزمن استفاده شود.

مراجع

- [1] Mallick, J., Kant, Y., & Bharath, B. (2008). Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-7 ETM+. J Indian Geophys Union, 12(3), 131-140.
- [2] Yamashita, S. (1996). Detailed structure of heat island phenomena from moving observations from electric tram-cars in metropolitan Tokyo. Atmospheric Environment, 30(3), 429-435.
- [3] Owen, T., Carlson, T., & Gillies, R. (1998). An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. International journal of remote sensing, 19(9), 1663-1681.

[۴] ابراهیمی هروی، بهروز، رنگرن، کاظم، تقی زاده، ایوب. (۱۳۹۴). تعیین درجه حرارت سطح اراضی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره لندست. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۳۲-۱۹.

[۵] حمزه لویی، سپیده. (۱۳۹۴). تعیین جزایر حرارتی در سطح شهر با استفاده از تصاویر با توان تفکیک بالا. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

- [6] Konopacki, S., & Akbari, H. (2002). Energy savings for heat-island reduction strategies in Chicago and Houston (including updates for Baton Rouge, Sacramento, and Salt Lake City). Lawrence Berkeley National Laboratory.
- [7] 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), 3719-3746.
- [8] Gong , P., & Pu, R. (2012). Retrieval of Land Surface Temperature from Remote Sensing Thermal Images . Berkeley, USA: University of California.
- [10] Latif, M. S. (2014). Land Surface Temperature Retrieval of Landsat-8 Data Using Split Window Algorithm-A Case Study of Ranchi District. Int J Eng Dev Res (IJEDR), 2, 3840-3849.
- [11] Jiménez-Muñoz, 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(D22).
- [12] 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), 1796-1805.
- [13] Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote sensing of environment, 90(4), 434.440-
- [14] Tan, K., Lim, H., MatJafri, M., & Abdullah, K. (2010). Land surface temperature retrieval by using ATCOR3_T and normalized difference vegetation index methods in Penang Island. American Journal of Applied Sciences, 7(5), 717.
- [15] Farina, A. (2012). Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain. LUMA-GIS Thesis.
- [16] Feng, H., Zhao, X., Chen, F., & Wu, L. (2014). Using land use change trajectories to quantify the effects of urbanization on urban heat island. Advances in Space Research, 53(3). 463-473.
- [17] Alipour, T., Sarajian, M., & Esmaeily, A. (2003). Land Surface Temperature Estimation from Thermal Band of Landsat Sensor, Case Study: Alashtar City. The International Achieves of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38, 4.
- [18] Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (1994). Thermodynamics: an engineering approach. Sea, 1000, 8862
- 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.
- [۱۹] آذر، عادل، مومنی، منصور. (۱۳۹۵). آمار و کاربرد آن در مدیریت (جلد اول). تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه ها (سمت).