

تخمین دمای سطح زمین بخش مرکزی استان اصفهان از داده‌های حرارتی لندست ۸ با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا

ملیحه السادات مدنیان^{۱*}، علیرضا سفیانیان^۱، سعید سلطانی کوپائی^۲، سعید پورمنافی^۱ و مهدی مومنی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲)

چکیده

دمای سطح زمین (LST) یکی از مهم‌ترین منابع اطلاعاتی در مطالعه فرایندهایی نظیر تبخیر و تعرق، توسعه شاخص‌های متعدد، مدل‌سازی دمای هوا و نیز تغییر اقلیم محسوب می‌شود. داده‌های ماهواره‌ای امکان اندازه‌گیری LST را در کل جهان با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا میسر کرده‌اند. لندست ۸ با برخورداری از دو باند حرارتی امکان محاسبه LST با استفاده از روش پنجره مجزا را فراهم می‌کند. هدف اصلی این مطالعه، بررسی الگوی دمایی بخش مرکزی استان اصفهان و ارتباط آن با طبقات مختلف پوشش و کاربری اراضی بود که بدین منظور از الگوریتم پنجره مجزا استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین دمای سطح یعنی ۵۰/۹ درجه سانتی‌گراد به کلاس "سایر اراضی" که عمدتاً خاک بایر و فاقد پوشش گیاهی متراکم بوده، اختصاص داشته است. سطوح نفوذناپذیر موجود در منطقه که دربرگیرنده مناطق مسکونی، جاده‌ها و صنایع است با دمای سطح ۴۵ درجه سانتی‌گراد جزء نقاط داغ محسوب می‌شوند. کمترین LST به محیط‌های آبی و پس از آن به پوشش گیاهی با دمای ۴۲/۳ درجه سانتی‌گراد مربوط بوده است. همبستگی بین LST حاصل از لندست و دمای هوا ۰/۶۳ محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: دمای سطح زمین، الگوریتم پنجره مجزا، لندست ۸، بخش مرکزی استان اصفهان

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان

*: مسئول مکاتبات: madanian.ma@yahoo.com

مقدمه

سنجش از دور حرارتی منبع اصلی اطلاعات کمی و کیفی درباره فرایندهای سطح زمین، توصیف ویژگی‌ها، آنالیز و مدل سازی آنهاست (۲۶). تخمین دمای سطح زمین (Land Surface Temperature) از داده‌های مادون قرمز حرارتی (TIR) توجه زیادی را به خود جلب کرده است و تاریخچه آن به دهه ۱۹۷۰ برمی‌گردد (۲۱).

دمای سطح زمین (LST) یکی از مهم‌ترین منابع داده‌های ورودی در فرایندهای سطح زمین نظیر تبخیر و تعرق واقعی و بالقوه یا تابش خالص، توسعه شاخص‌های متعدد برای ارزیابی استرس در مناطق کشاورزی و نیز مدل‌سازی دمای هوا محسوب می‌شود (۴). علاوه بر این، LST یک منبع اطلاعاتی برای تولید متغیر اقلیمی ضروری توسط سیستم مشاهده اقلیم جهانی (GCOS) به منظور پشتیبانی از کنوانسیون سازمان ملل متحد درباره تغییر اقلیم (UNFCCC)، برنامه پژوهش اقلیم جهان (WCRP) و پل بین دولتی درباره تغییر اقلیم (IPCC) است (۷ و ۳۲).

با وجود اینکه اندازه‌گیری‌های هواشناسی اطلاعات دقیقی درباره دمای هوا از نظر زمانی فراهم می‌کنند اما در مناطقی از جهان که تراکم ایستگاه‌های هواشناسی محدود بوده و داده‌ها غیرقابل دسترسی یا گران است، سنجش از دور منبع اطلاعاتی مهم و ارزشمندی به‌شمار رفته (۵) و در مقیاس زمانی وسیع‌تر می‌تواند لزوم اندازه‌گیری‌های ایستگاهی را کاهش دهد (۲). ضمن اینکه با توجه به پیچیدگی دمای سطح بالای زمین، اندازه‌گیری‌های زمینی نمی‌توانند به‌صورت کاربردی اعدادی را در مناطق وسیع در اختیار قرار دهند. با توسعه سنجش از دور فضایی، داده‌های ماهواره‌ای امکان اندازه‌گیری LST را در کل جهان با قدرت تفکیک زمانی و مکانی به‌اندازه کافی بالا و با اعداد میانگین به‌جای اعداد مربوط به نقاط، فراهم می‌کنند (۱۸). در سنجش از دور ماهواره‌های مختلفی مانند Landsat، Terra، Aqua، NOAA، با سنجنده‌های متنوع در طیف مادون قرمز حرارتی وجود دارند که مجموعه داده‌های سودمندی را برای

اندازه‌گیری LST در اختیار قرار می‌دهند. این داده‌ها برای دوره‌های زمانی مختلف با قدرت تفکیک و صحت متفاوت در دسترس هستند. سری‌های ماهواره لندست احتمالاً معروف‌ترین آنها هستند زیرا طولانی‌ترین ثبت مشاهدات زمینی از فضا را به خود اختصاص داده‌اند. سنجنده TM واقع روی لندست ۴ و ۵ دارای قدرت تفکیک ۳۰ متر در باندهای مرئی و ۱۲۰ متر در باند حرارتی است. لندست ۷ که سنجنده ETM+ را به‌همراه دارد داده‌های حرارتی را با قدرت تفکیک ۶۰ متر جمع‌آوری می‌کند که البته از ۲۰۰۳ به بعد دچار خطاهایی شد (۳۱). لندست ۸ که در فوریه ۲۰۱۳ پرتاب شد، دو سنجنده OLI (Operational Land Imager) و TIRS (Thermal Infrared Sensor) را حمل می‌کند. تابش حرارتی را با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر اندازه‌گیری کرده و دارای دو باند مادون قرمز است (۳۳).

در طول چند دهه گذشته، تخمین LST از داده‌های حرارتی ماهواره‌ها به‌طور چشمگیری بهبود یافته و روش‌های بسیاری پیشنهاد شده است. که از آن جمله می‌توان به روش‌های تک‌باندی (Single-Channel)، روش‌های چندباندی (multi-channel) مانند الگوریتم پنجره مجزا و روش‌های چندزاویه‌ای (multi-angle) اشاره کرد (۱۸). از آنجایی که سنجنده‌های TM و ETM+ یک باند مادون قرمز دارند، روش تک‌باندی تنها روش تخمین LST محسوب می‌شود. با مشخص بودن ضریب گسیل سطح و میزان بخار آب چندین روش تک‌باندی در دهه‌های گذشته ارائه شده است که برای لندست ۸ مناسب هستند (۹، ۱۰ و ۲۵). با این حال ضریب گسیل سطح به‌ندرت معلوم است و عدم اطمینان یک درصد در این پارامتر بسته به شرایط اتمسفری به خطایی در LST به اندازه ۰/۳ تا ۰/۷ کلوین منجر می‌شود. علاوه بر این روش تک‌باندی نتایج ضعیفی برای مقادیر بخار آب بالا در اتمسفر (۱۲ و ۲۷) از جمله داده‌های TIRS لندست ۸ (۱۳) به‌دست می‌دهد. از آنجایی که TIRS دارای دو باند مادون قرمز است روش پنجره مجزا (Split-window) می‌تواند برای تخمین LST استفاده شود (۳۷). تاکنون مطالعات مختلفی (۱۱، ۳۷ و ۴۰) از



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

است. میانگین بارندگی استان اصفهان حدود ۱۵۰ میلی‌متر (در یک دوره ۳۶ ساله) است (۱۵).

داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ (Level 1) برداشت شده در تاریخ ۱۳ تیر ۱۳۹۴ ساعت ۷:۸:۲۰ گرینویچ استفاده شد. با توجه به اینکه تصویر قبلاً توسط USGS با جذر میانگین مربعات خطای قابل قبولی از نظر هندسی تصحیح شده بود در این مرحله مورد تصحیح رادیومتریک قرار گرفت. سپس ابر و سایه ابر با استفاده از روش آستانه‌یابی از تصویر جدا شد. از محصول بخار آب مودیس/آکوا (MYD۰۵_L۲) برای تخمین بخار آب موجود در منطقه استفاده شد.

روش کار

تخمین LST با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا

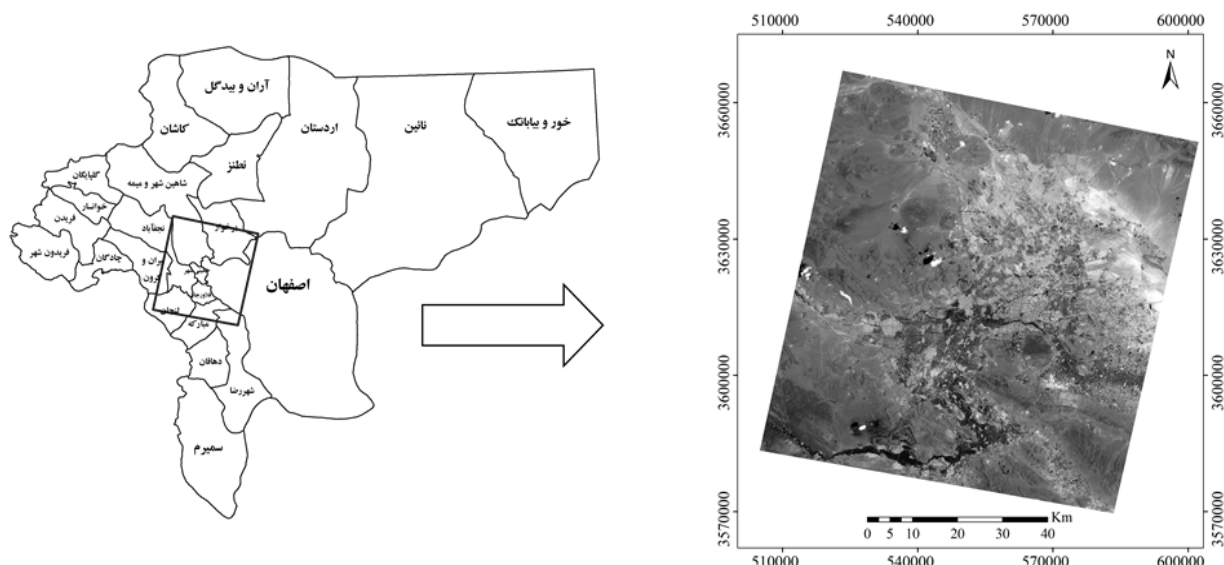
الگوریتم پنجره مجزا که کامل‌ترین روش تخمین LST تاکنون است، ابتدا توسط مک‌میلین در سال ۱۹۷۵ (۲۱) برای تخمین

روش پنجره مجزا به منظور تهیه نقشه دمای سطح زمین استفاده کرده‌اند.

هدف از این مطالعه بررسی و شناخت الگوی دمایی بخش مرکزی استان اصفهان و ارتباط آن با طبقات مختلف پوشش و کاربری اراضی است که بدین منظور نقشه LST از باندهای حرارتی لندست ۸ به تاریخ ۱۳ تیر ۱۳۹۴ با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا ارائه شده توسط سوپرینو و همکاران (۱۹۹۶) (۲۸) تهیه شد و ارتباط بین دمای سطح زمین و طبقات پوشش و کاربری اراضی بررسی شد. مراحل انجام پژوهش در شکل (۱) نشان داده شده است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخش مرکزی استان اصفهان واقع شده است (شکل ۲) و در آن شهرهای مختلفی از جمله اصفهان، خمینی شهر، نجف‌آباد، فلاورجان، مبارکه و شاهین شهر قرار دارد. میانگین دمای هوا در استان اصفهان در ارتفاعات حدود ۴ درجه سانتی‌گراد و در نواحی شرقی حدود ۲۲ درجه سانتی‌گراد



شکل ۲. منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. ضرایب مورد استفاده برای روش پنجره مجزا (۱۳)

C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
-۰/۲۶۸	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳	۵۴/۳۰	-۲/۲۳۸	-۱۲۹/۲۰	۱۶/۴۰

T_i و T_j = دمای روشنایی (Brightness temperature) مربوط

به سنجنده در باندهای پنجره مجزای i و j (بر حسب کلونین)

ε = میانگین ضریب گسیل: $\varepsilon = 0.5(\varepsilon_i + \varepsilon_j)$

$\Delta\varepsilon$ = اختلاف ضریب گسیل: $\Delta\varepsilon = (\varepsilon_i - \varepsilon_j)$

W = مقدار کل بخار آب اتمسفری برحسب (گرم بر سانتی مترمربع)

c_0 تا c_6 = ضرایب پنجره مجزا که توسط داده‌های شبیه‌سازی

شده تعیین شده است (جدول ۱) (۱۳).

قبل از اجرای رابطه (۱) مراحل زیر انجام شد:

۱- تبدیل اعداد رقومی به رادیانس

به منظور تبدیل ارزش‌های رقومی باندهای حرارتی (۱۰ و ۱۱)

تصویر لندست ۸ به رادیانس طیفی از رابطه (۲) استفاده شد

(۳۳):

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

L_λ = رادیانس طیفی دریافت شده توسط سنجنده برحسب

$$(W/(m^2 sr \mu m))$$

دمای سطح دریا بر اساس داده‌های مادون قرمز حرارتی AVHRR ارائه شد. این روش بر این اساس است که اختلاف بین دمای روشنایی در دو کانال، اطلاعاتی را درباره خطای اتمسفری به دست می‌دهد زیرا دو پنجره طیفی مادون قرمز حرارتی از ویژگی‌های جذب متفاوتی برخوردارند. در طول سه دهه گذشته پژوهشگران فرمول‌بندی‌های مختلفی از الگوریتم پنجره مجزا ارائه کرده‌اند. فایده اصلی الگوریتم پنجره مجزا این است که برای شرایط جهان و بنابراین برای محدوده وسیعی از اعداد بخار آب قابل اجرا بوده و فقط به بخار آب به عنوان ورودی نیاز دارد (به غیر از ضریب گسیل سطح و دو باند مادون قرمز حرارتی) (۷).

الگوریتم پنجره مجزا ارائه شده در این مقاله بر اساس ساختار ریاضی پیشنهادی توسط سورینو و همکاران (۲۸) است:

$$T_s = T_i + c_1(T_i - T_j) + c_2(T_i - T_j)^2 + \quad (1)$$

$$c_0 + (c_3 + c_4 W)(1 - \varepsilon) + (c_5 + c_6 W)\Delta\varepsilon$$

جدول ۲. توان‌های تشعشعی خاک و پوشش گیاهی برای باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ لندست ۸ (۴۰)

پوشش گیاهی	خاک	
۰/۹۸۶۳	۰/۹۶۶۸	باند ۱۰
۰/۹۸۹۶	۰/۹۷۴۷	باند ۱۱

استفاده شده است (رابطه ۴). این گروه روش‌ها براساس یک رابطه آماری بین NDVI حاصله از باندهای VNIR و LSE در محدوده‌های مادون قرمز حرارتی است. این روش فرض می‌کند که: ۱- سطح فقط پوشیده از خاک و پوشش گیاهی است؛ ۲- ضریب گسیل خاک می‌تواند به صورت خطی به وسیله بازتاب سطح در باند قرمز نشان داده شود؛ ۳- LSE به صورت خطی با توجه به نسبت پوشش گیاهی در یک پیکسل تغییر می‌کند. به دلیل سادگی آن، این روش برای سنجنده‌های مختلف به کار گرفته شده است (۱۸).

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_g (1 - P_v) + \varepsilon < d\varepsilon > P_v (1 - P_v) \quad (4)$$

ε = ضریب گسیل

ε_v = ضریب گسیل اراضی با پوشش گیاهی خالص

ε_g = ضریب گسیل اراضی با خاک بایر خالص

$< d\varepsilon >$ = پارامتر اصلاح شده (= ۰/۰۱) (۴۱)

جدول ۲ ضرایب گسیل مورد استفاده برای خاک و پوشش گیاهی برای باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ لندست ۸ را نشان می‌دهد.

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2 \quad (5)$$

$NDVI_s$ و $NDVI_v$ به ترتیب مربوط به NDVI خاک و پوشش گیاهی است (۳).

برای محاسبه آستانه‌های NDVI از اعداد ارائه شده در مقاله مومنی و سرادجیان (۲۲) که مربوط به سنجنده مودیس بود و در همین منطقه مورد مطالعه اعمال شده بود، استفاده شد. بدین صورت که ابتدا از رابطه و ضرایب ارائه شده توسط استیون و همکاران (۳۰) (رابطه ۶) استفاده شد تا NDVI مودیس به NDVI سنجنده ETM+ تبدیل شود. سپس از آستانه‌های

Q_{cal} = ارزش رقومی پیکسل

مقدار M_L و A_L به ترتیب -0.4×10^{-3} و 0.1 است که از متادیتای تصویر استخراج شد.

۲- محاسبه دمای روشنایی (T_B)

پس از محاسبه L_λ از رابطه (۳) برای استخراج اعداد دما (برحسب کلوین) استفاده شد (۳۳):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right)} \quad (3)$$

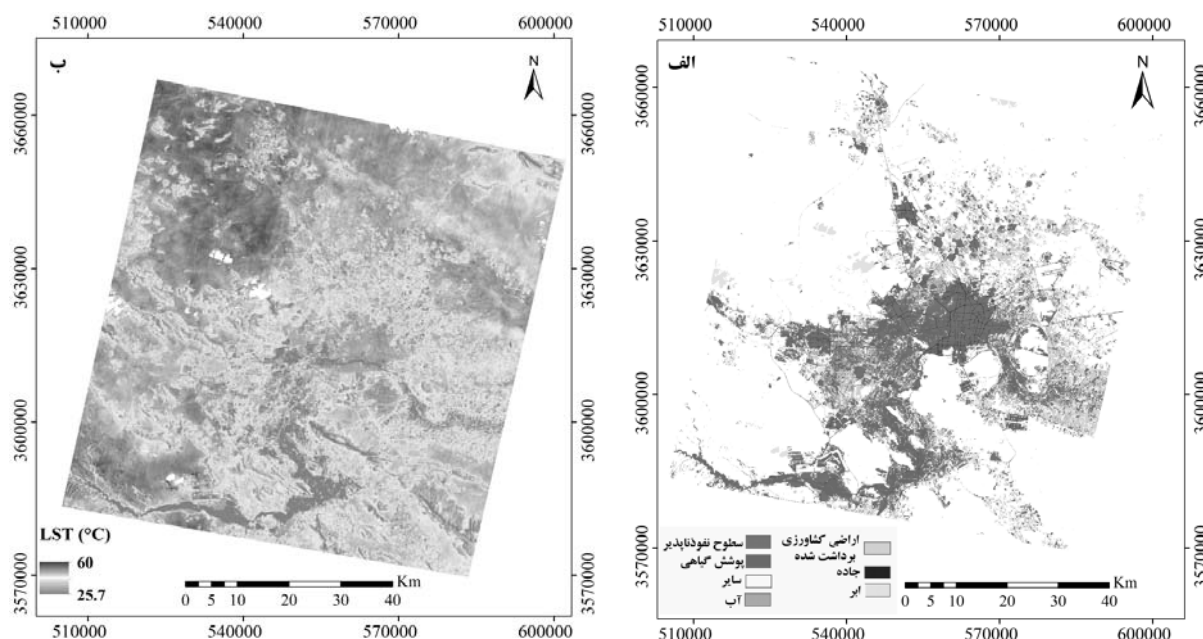
که بر طبق متادیتای تصویر K_1 ثابت کالیبراسیون برای باند ۱۰ و ۱۱ به ترتیب برابر با $774/8853$ و $480/8883$ برحسب $(W/(m^2 sr \mu m))$ ، K_2 ثابت کالیبراسیون برای باند ۱۰ و ۱۱ به ترتیب $1321/0789$ و $1201/1442$ برحسب کلوین است.

۳- محاسبه ضریب گسیل سطح زمین (Land Surface Emissivity) ضریب گسیل سطح (LSE) شاخص کارایی ذاتی سطح در تبدیل انرژی گرمایی به انرژی تابشی بالای سطح است که به ترکیب، زبری و مقدار رطوبت سطح و شرایط مشاهده (مانند طول موج، بزرگ‌نمایی پیکسل و زاویه مشاهده) بستگی دارد (۲۹). بنابراین LSE نه تنها برای مطالعات توسعه و فرسایش خاک و تخمین مقادیر پوشش گیاهی پراکنده و تغییرات آن، بلکه برای نقشه‌سازی سنگ بستر و کشف منابع و نیز برای تخمین دقیق محتوای انرژی سطح حائز اهمیت است (۱۹).

روش‌های مختلفی برای به دست آوردن LSE وجود دارد. یکی از این روش‌ها به دست آوردن LSE از NDVI است. ابتدا در ۱۹۹۳، ون‌دی‌گریند و او (۱۸) همبستگی خیلی زیادی بین LSE در باندهای مادون قرمز حرارتی در محدوده ۸-۱۴ میکرومتر و NDVI لگاریتمی یافتند. به دنبال آن ولر و کاسلس (۳۴) این روش را توسعه دادند که در این مطالعه از این روش

جدول ۳. آستانه‌های استفاده شده برای NDVI در این پژوهش

آستانه		تصویر ماهواره‌ای
خاک نسبتاً پوشیده شده با گیاه	خاک بایر	
$0.156 \leq NDVI \leq 0.461$	$NDVI < 0.156$	MODIS (۲۲)
$0.146 \leq NDVI \leq 0.458$	$NDVI < 0.146$	Landsat-v ETM+
$0.142 \leq NDVI \leq 0.463$	$NDVI < 0.142$	Landsat-۸ OLI



شکل ۳. الف) نقشه پوشش و کاربری اراضی و ب) توزیع مکانی LST بخش مرکزی استان اصفهان

بحث و نتایج

به منظور تهیه نقشه پوشش و کاربری اراضی از طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine) استفاده شد. نقشه پوشش و کاربری اراضی در شش طبقه سطوح نفوذناپذیر، جاده، پوشش گیاهی (شامل اراضی کشاورزی، گلخانه‌ها، فضای سبز و پوشش گیاهی طبیعی)، اراضی کشاورزی برداشت شده، سایر اراضی (شامل خاک، شوره‌زار، مرتع، معدن، مناطق کوهستانی، اراضی بایر و اراضی کشت نشده در زمان مورد بررسی) و آب با صحت کلی ۰.۸۴ درصد تولید شد (شکل ۳-الف). جدول (۴) مساحت طبقات نقشه پوشش و کاربری را نشان می‌دهد.

به دست آمده برای ETM+ و رابطه ارائه شده توسط کی و همکاران (۱۴) به منظور تخمین آستانه‌های NDVI مربوط به لندست ۸ استفاده شد. آستانه استفاده شده برای مودیس و آستانه‌های به دست آمده برای سنجنده ETM+ و OLI در جدول (۳) آورده شده است.

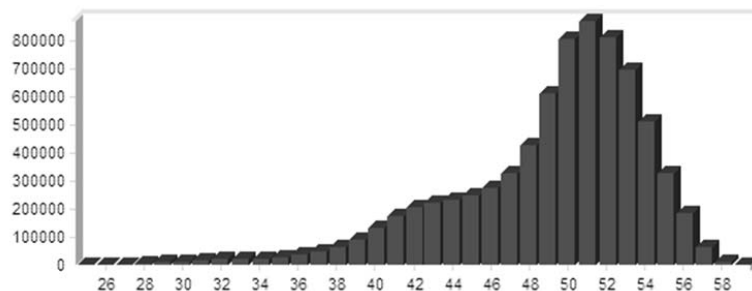
$$NDVI_{reference} = a + b \cdot NDVI_{measured} \quad (۶)$$

۴- تخمین مقدار بخار آب

به منظور به دست آوردن بخار آب، از محصول بخار آب مودیس/آکوا (MYD۰۵_L۲) که با استفاده از الگوریتم مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر در همان روز ساعت UTC ۹:۵۰ برداشت شده بود، استفاده شد.

جدول ۴. مساحت طبقات مختلف نقشه پوشش و کاربری اراضی برحسب کیلومتر مربع

کلاس‌های پوشش و کاربری اراضی	سطوح نفوذناپذیر و جاده	پوشش گیاهی	اراضی کشاورزی برداشت‌شده	سایر اراضی	آب	ابر
مساحت	۴۶۵/۵۶	۷۱۱/۹۳	۳۷۱/۸۱	۵۱۹۸/۴۸	۶/۱۶	۳۵/۷۳

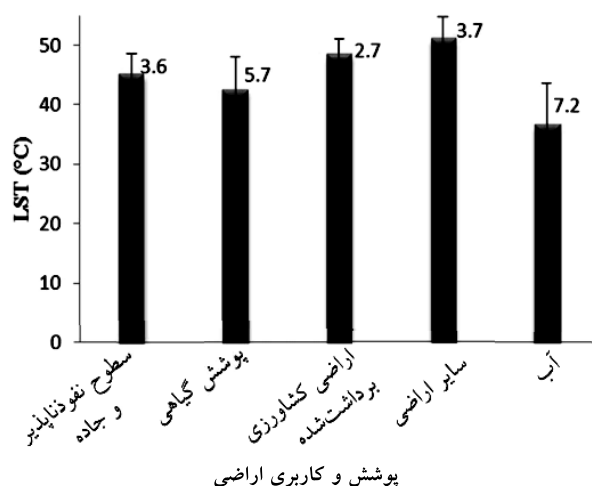


شکل ۴. هیستوگرام توزیع LST در منطقه مورد مطالعه

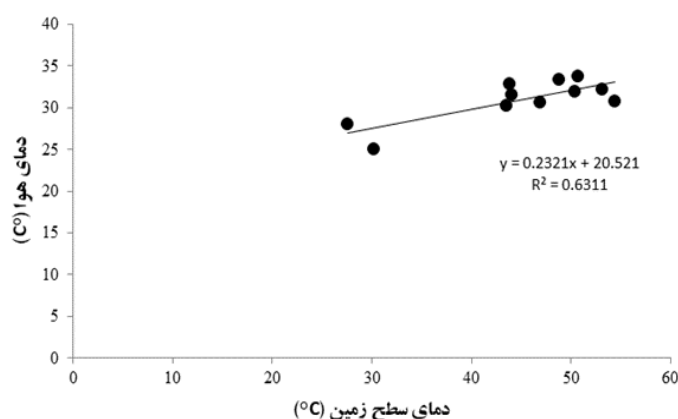
مطالعه که دربرگیرنده مناطق مسکونی، جاده‌ها و صنایع است، جزء نقاط داغ محسوب می‌شوند. مطالعات نشان می‌دهند که گسترش شهری و فعالیت‌های انسانی منجر به تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی سطح (آلبیدو، ظرفیت گرمایی، هدایت گرمایی، رطوبت) و تغییرات در جریان تابشی و جریان نزدیک سطح می‌شوند. این دو عامل مسبب جایگزینی خاک و پوشش گیاهی با جاده‌ها، ساختمان‌ها و سطوح تیره شهری (بتن، آسفالت و فلز) بوده است و به افزایش تابش گرمایی می‌انجامد که خود تغییر توازن انرژی سطح و در پی آن افزایش LST را به همراه خواهد داشت (۱، ۲۰ و ۳۵). این موضوع به افزایش جریان محسوس گرمایی و در نهایت افزایش دمای هوا منجر می‌شود (۳۶).

کمترین دمای سطح در این منطقه مربوط به محیط‌های آبی از جمله رودخانه زاینده‌رود، استخرها و حوضچه‌های آبی است. پس از آن پوشش گیاهی با دمای ۴۲/۳ درجه سانتی‌گراد دمای سطح کمتری را نشان داده است. مطالعات نشان داده‌اند که مناطق سبز دارای نسبت بوون متفاوتی نسبت به سطح بایر و معدنی هستند زیرا تابش خورشیدی وارده به انرژی برای تعرق و فتوسنتز توسط گیاهان تبدیل شده و جریان گرمای محسوس متعاقباً کمتر است (۳۹). در مطالعات مختلف از روش‌ها و

نقشه LST محاسبه شده از باندهای حرارتی لندست ۸ با استفاده از روش پنجره مجزا در شکل (۳-ب) نشان داده شده است. شکل (۴) هیستوگرام توزیع LST در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که عمدتاً دمای پیکسل‌ها ۴۰ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد بوده است و تعداد پیکسل‌های کمتری در خارج از این محدوده هستند. با استفاده از روی هم‌گذاری نقشه LST و نقشه پوشش و کاربری اراضی توسط آنالیز Zonal، LST کلاس‌های مختلف پوشش و کاربری اراضی بررسی شد (۸ و ۱۷) (شکل ۵). بیشترین وسعت پوشش اراضی در منطقه مورد مطالعه مربوط به کلاس "سایر اراضی" است که عمدتاً خاک بایر و صخره‌ای و فاقد پوشش گیاهی متراکم بوده و بیشترین دمای سطح یعنی ۵۰/۹ درجه سانتی‌گراد را به خود اختصاص داده است که عدم تبخیر و تعرق و وجود سایه می‌تواند از دلایل بیشتر بودن دمای این کلاس نسبت به بقیه کلاس‌ها باشد. پس از آن کلاس اراضی کشاورزی برداشت شده با دمای سطح ۴۸/۳ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. این اراضی پوشیده از بقایای محصول پس از برداشت است که همانطور که انتظار می‌رود دمای آن نزدیک به دمای خاک است. سپس سطوح نفوذناپذیر با دمای سطح ۴۵ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. سطوح نفوذناپذیر موجود در منطقه مورد



شکل ۵. میانگین LST انواع پوشش و کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه (انحراف معیار LST طبقات در کنار ستون‌ها ذکر شده است)



شکل ۶. ارتباط بین دمای هوا و دمای سطح زمین (LST)

بررسی کرد. بدین ترتیب از دمای هوای ایستگاه‌های شرق اصفهان، اصفهان، کبوترآباد، نجف‌آباد، مبارکه، زرین‌شهر، میمه، مورچه‌خورت، داران، خوانسار و نطنز استفاده شد. بدیهی است هر چه تعداد ایستگاه‌ها بیشتر باشد، نتیجه به‌دست آمده معتبرتر خواهد بود. دمای هوا در ایستگاه‌های سینوپتیک از ساعت صفر تا ۲۱ گرینویچ به فاصله هر سه ساعت اندازه‌گیری می‌شود. در این مطالعه از دمای هوای ثبت شده در ساعت شش گرینویچ که تطابق بیشتری با ساعت برداشت تصویر لندست داشت استفاده شد و ارتباط بین دمای هوا در این ساعت در هر ایستگاه با دمای سطح پیکسلی که ایستگاه در آن واقع شده محاسبه شد (شکل ۶) و $R^2 = 0.63$ به‌دست آمد. ویدیاسامراتری و همکاران

سنجنده‌های متفاوتی برای محاسبه LST بهره گرفته‌اند از جمله قبادی و همکاران (۸)، فلاحتکار و همکاران (۶)، نینگ (۲۳) و لی-ژیانگ و همکاران (۱۶) که نتایج آنها نشان می‌دهد بیشترین LST مربوط به طبقه خاک بایر و سطوح نفوذناپذیر و کمترین LST مربوط به آب و پوشش گیاهی است. تفاوت‌های بین LST حاصله از ماهواره و دمای هوای اندازه‌گیری شده یکی از موضوعاتی است که هنوز به‌طور کامل مشخص نشده و در حال بررسی توسط پژوهشگران است (۳۱). در این مطالعه به‌منظور بررسی ارتباط بین دمای هوا و دمای سطح زمین، از کل تصویر LST حاصله از سین لندست که بزرگ‌تر از منطقه مورد مطالعه بود، استفاده شد تا بتوان ایستگاه‌های بیشتری را

($12/5 - 11/5 \mu m$) امکان استفاده از روش پنجره مجزا را فراهم می‌کند. فایده اصلی الگوریتم پنجره مجزا این است که برای شرایط جهان و بنابراین برای محدوده وسیعی از اعداد بخار آب قابل اجرا بوده و فقط به بخار آب به‌عنوان ورودی نیاز دارد (به‌غیر از ضریب گسیل سطح و دو باند مادون قرمز حرارتی). نتایج نشان داد که در این منطقه اراضی بایر بیشترین دمای سطح را به خود اختصاص داده‌اند و پس از آن اراضی کشاورزی که پوشیده از بقایای محصول هستند و سطوح نفوذناپذیر قرار گرفته‌اند. کمترین LST به محیط‌های آبی و پوشش گیاهی تعلق داشت.

سپاسگزاری

این مطالعه با حمایت دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شده است. همچنین از اداره هواشناسی شهر اصفهان به‌خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های هواشناسی قدردانی می‌شود.

(۳۸) در جاکارتا اندونزی ارتباط بین LST حاصله از لندست و دمای هوای به‌دست آمده از ۳۵ ایستگاه را تخمین زدند؛ $R^2 = 0/79$ محاسبه شد. پال و زیاتل (۲۴) همبستگی بین دمای هوا (۱۳۷ ایستگاه) و LST حاصل از لندست را در ژانویه ۰/۴۴ و در آوریل ۰/۶۵ گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

دمای سطح زمین (LST) دارای کاربردهای زیادی در زمینه‌های مختلف از جمله تغییر اقلیم، اقلیم شهر، چرخه هیدرولوژیکی، پایش پوشش گیاهی و مطالعات محیط زیستی است. در این مطالعه به‌منظور بررسی الگوی دمایی بخش مرکزی استان اصفهان و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش و کاربری اراضی از باندهای حرارتی لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزای ارائه شده توسط سوپرینو و همکاران استفاده شد. لندست ۸ با برخورداری از دو باند حرارتی $10 - 11/2 \mu m$ و $10/6 - 11$ باند

منابع مورد استفاده

- Basar, U. G., S. Kaya and M. Karaca. 2008. Evaluation of urban heat island in Istanbul using remote sensing techniques. *The International Archive of Photogrammetry, Remote Sensing and Special Information Science* 36: 971-976.
- Benali, A., A. C. Carvalho, J. P. Nunes, N. Carvalhais and A. Santos. 2012. Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data. *Remote Sensing of Environment* 124: 108-121.
- Carlson, T. N. and D. A. Ripley. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment* 62: 241-252.
- Cristóbal, J., J. C. Jiménez-Muñoz, J. A. Sobrino, M. Ninyerola and X. Pons. 2009. Improvements in land surface temperature retrieval from the Landsat series thermal band using water vapor and air temperature. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 114.
- Czajkowski, K. P., S. N. Goward, S. Stadler and A. Walz. 2000. Thermal remote sensing of near surface environmental variables: application over the Oklahoma Mesonet. *The Professional Geographer* 52: 345-357.
- Falahatkar, S., S. M. Hosseini and A. R. Soffianian. 2011. The relationship between land cover changes and spatial-temporal dynamics of land surface temperature. *Indian Journal of Science and Technology* 4: 76-81.
- GCOS. 2011. Supplemental details to the satellite-based component of the "implementation plan for the global observing system for climate in support of the UNFCCC".
- Ghobadi, Y., B. Pradhan, H. Z. M. Shafri and K. Kabiri. 2015. Assessment of spatial relationship between land surface temperature and landuse/cover retrieval from multi-temporal remote sensing data in South Karkheh Sub-basin, Iran. *Arabian Journal of Geoscience* 8: 525-537.
- Jiménez-Muñoz, J. C., J. Cristóbal, J. A. Sobrino, G. Sòria, M. Ninyerola and X. Pons. 2009. Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47: 339-349.
- Jiménez-Muñoz, J. C. and J. A. Sobrino. 2003. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 108.
- Jiménez-Muñoz, J. C. and J. A. Sobrino. 2008. Split-Window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 5: 806-809.

12. Jiménez-Muñoz, J. C. and J. A. Sobrino. 2010. A single-channel algorithm for land-surface temperature retrieval from ASTER data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 7: 176-179.
13. Jiménez-Muñoz, J. C., J. A. Sobrino, D. Skokovic, C. Mattar and J. Cristóbal. 2014. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 Thermal Infrared Sensor data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 52: 1840-1843.
14. Ke, Y., J. IM, J. Lee, H. Gong and Y. Ryu. 2015. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. *Remote Sensing of Environment* 164: 298-313.
15. Khodagholi, M., R. Saboohi and Z. Eskandari. 2014. Analysing drought past trend and forecasting its future in Isfahan province. *Journal of Water and Soil Science* 18: 367-379.
16. Le-Xiang, Q., C. Hai-Shan and C. Jie. 2006. Impacts of land use and cover change on land surface temperature in the Zhujiang Delta. *Pedosphere* 16: 681-689.
17. Li, J., C. Song, L. Cao, F. Zhu, X. Meng and J. Wu. 2011. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment* 115: 3249-3263.
18. Li, Z. L., B. Tang, H. Wu, H. Ren, G. Yan, Z. Wan, I. F. Trigo and J. A. Sobrino. 2013. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment* 131: 14-37.
19. Li, Z.-L., H. Wu, N. Wang, S. Qiu, J. A. Sobrino, Z. Wan, B. Tang and G. Yan. 2013. Land surface emissivity retrieval from satellite data: review article. *International Journal of Remote Sensing* 1-44.
20. Lo, C. P. and D. A. Quattrochi. 2003. Land-use and land-cover change, urban heat island phenomenon, and health implications: a remote sensing approach. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69: 1053-1063.
21. McMillin, L. M. 1975. Estimation of sea surface temperature from two infrared window measurements with different absorptions. *Journal of Geophysical Research* 80: 5113-5117.
22. Momeni, M. and M. R. Saradjian. 2007. Evaluating NDVI-based emissivities of MODIS bands 31 and 32 using emissivities derived by Day/Night LST algorithm. *Remote Sensing of Environment* 106: 190-198.
23. Ning, J. 2011. Influence of coastal land use change to land surface temperature. *Energy Procedia* 11: 3999-4004.
24. Pal, S. and S. Ziaul. 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 20: 125-145.
25. Qin, Z., A. Karnieli and P. Berliner. 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: 3719-3746.
26. Quattrochi, D. A. and J. C. Luvall. 2004. *Thermal Remote Sensing in Land Surface Processes*. FL: CRC Press, Boca Raton.
27. Sobrino, J. A. and J. C. Jiménez-Muñoz. 2005. Land surface temperature retrieval from thermal infrared data: an assessment in the context of the Surface Processes and Ecosystem Changes through Response Analysis (SPECTRA) mission. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110: 1-10.
28. Sobrino, J. A., Z. L. Li, M. P. Stoll and F. Becker. 1996. Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. *International Journal of Remote Sensing* 17: 2089-2114.
29. Sobrino, J. A., N. Raissouni and Z. L. Li. 2001. A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. *Remote Sensing of Environment* 75: 256-266.
30. Steven, M. D., T. J. Malthus, F. Baret, H. Xu and M. J. Chopping. 2003. Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems. *Remote Sensing of Environment* 88: 412-422.
31. Tomlinson, C. J., L. Chapman, J. E. Thornesb and C. Baker. 2011. Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: a review. *Meteorological Application* 18: 296-306.
32. Urban, M., J. Eberle, C. Hüttich, C. Schmullius and M. Herold. 2013. Comparison of satellite-derived land surface temperature and air temperature from meteorological stations on the Pan-Arctic scale. *Remote Sensing of Environment* 133: 2348-2367.
33. USGS. <https://landsat.usgs.gov/landsat-8>.
34. Valor, E. and V. Caselles. 1996. Mapping land surface emissivity from NDVI: application to European, African and South American areas. *Remote Sensing of Environment* 57: 167-184.
35. Voogt, J. 2002. *Urban Heat Island*. Wiley, New York.
36. Wang, K., J. Wang, P. Wang, M. Sparrow, J. Yang and H. Chen. 2007. Influences of urbanization on surface characteristics as derived from the moderate-resolution imaging spectroradiometer: a case study for the Beijing metropolitan area. *Journal of Geographical Research: Atmospheres* 112: 1-12.
37. Wang, S., L. He and W. Hu. 2015. A temperature and emissivity separation algorithm for Landsat-8 thermal infrared sensor data. *Remote Sensing of Environment* 155: 9904-9927.
38. Widyasamratri, H., K. Souma, T. Suetsugi, H. Ishidaira, Y. Ichikawa, H. Kobayashi and I. Inagaki. 2013. Air Temperature Estimation from Satellite Remote Sensing to Detect the Effect of Urbanization in Jakarta, Indonesia. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)* 4: 800-805.

39. Wong, N. H. and C. Yu. 2005. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International* 29: 547-558.
40. Yu, X., X. Guo and Z. Wu. 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 of Environment*. 6: 9829-9852.
41. Zhang, J., Y. Wang and Y. Li. 2006. A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band 6. *Computer and Geosciences* 32: 1796-1805.

Estimating Land Surface Temperature in the Central Part of Isfahan Province Based on Landsat-8 Data Using Split- Window Algorithm

M. Madanian^{1*}, A. R. Soffianian¹, S. Soltani Koupai², S. Pourmanafi¹ and M. Momeni³

(Received: April 10-2017 ; Accepted: September 24-2017)

Abstract

Land surface temperature (LST) is used as one of the key sources to study land surface processes such as evapotranspiration, development of indexes, air temperature modeling and climate change. Remote sensing data offer the possibility of estimating LST all over the world with high temporal and spatial resolution. Landsat-8, which has two thermal infrared channels, provides an opportunity for the retrieval of LST using the split- window method. The main objective of this research was to analyze the LST of land use/land cover types of the central part of Isfahan Province using the split- window algorithm. The obtained results demonstrated that the "other" class which had been mainly covered with bare lands exhibited the highest LST (50.9°C). Impervious surfaces including residential areas, roads and industries had the LST of 45°C. The lowest temperature was observed in the "water" class, which was followed by vegetation. Vegetation recorded a mean LST of 42.3°C. R^2 was 0.63 when regression was carried out on LST and air temperature.

Keywords: Land surface temperature, Split-window algorithm, Landsat-8, Central part of Isfahan Province

1. Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran..

2. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

3. Remote Sensing Division, Department of Geomatics Engineering, University of Isfahan, Iran.

*: Corresponding author: madanian.ma@yahoo.com