

ارزیابی کمی و صحت‌سنجی دمای سطح زمین سنجنده TM به کمک ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک

- ❖ ناهید مشتاق؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ❖ رضا جعفری*؛ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ❖ سعید سلطانی؛ استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ❖ نفیسه رضانی؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کارایی دو الگوریتم آرتیس و سوپرینا در استخراج دمای سطح زمین از باند مادون قرمز حرارتی تصویر TM سال ۲۰۰۹ در منطقه دامنه استان اصفهان صورت گرفت و صحت نقشه‌های دمایی حاصل از تصویر زمین‌مرجع شده با داده‌های دمای سطح زمین که در ۱۰ ایستگاه هواشناسی جمع‌آوری شده بود با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که هر دو الگوریتم قابلیت پهنه‌بندی توزیع مکانی دمای سطح زمین در منطقه مطالعاتی را دارند و همبستگی بالای میان این دو روش مؤید این امر بود ($R > 0.97$)، ولی الگوریتم آرتیس نسبت به سوپرینا کارایی بهتری را نشان داد. این الگوریتم بیش از ۷۲٪ از تغییرات دمای سطح زمین که توسط ایستگاه‌های زمین ثبت شده بود را به خوبی نشان داد. مطابق این روش، اراضی بدون پوشش گیاهی و مناطق با پوشش گیاهی بالا در زمین‌های کشاورزی و مراتع به ترتیب بالاترین (۳۲۸ کلوین) و کمترین (۲۹۱ کلوین) دمای سطح زمین در منطقه را داشتند. نتایج مطالعه بیانگر آن بود که با کاهش پوشش گیاهی مقادیر دمایی افزایش می‌یابد، بنابراین، اطلاعات دمایی به دست آمده از داده‌های سنجش از دور با پوشش وسیع مکانی خود می‌تواند نقش کلیدی در مدیریت اکوسیستم‌ها بازی کند.

واژگان کلیدی: سطح زمین، داده‌های ماهواره‌ای، داده‌های هواشناسی، آنالیز رگرسیون خطی

۱. مقدمه

دمای سطح زمین^۱، مقدار خالص انرژی است که تحت شرایط اقلیمی، در سطح زمین به توازن رسیده است، این مقدار بستگی به انرژی رسیده، گسیلندگی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر دارد. بزرگ ترین منبع انرژی موجود در طبیعت، یعنی تابش خورشیدی تعیین کننده مقدار انرژی حرارتی جذب شده توسط عوارض سطح زمین به شکل دما و یا درجه حرارت می باشد. انرژی حاصل از شار گرمای محسوس و انرژی جذب شده از تابش طول موج کوتاه خورشید، اصلی ترین عامل ایجاد دما است [۲۵].

برای محاسبه و اندازه گیری دمای سطح زمین روش های متنوع وجود دارد. استفاده از داده های سنجنش از دور در برآورد دمای سطح زمین روش نسبتاً جدیدی به شمار می آید که به دلیل پوشش وسیع، بهنگام بودن و کسب اطلاعات در محدوده حرارتی طیف الکترومغناطیس هزینه های تخمین دما به روش کلاسیک را به طور چشمگیری کاهش می دهد. همچنین داده های سنجنش از دور پارامترهای محاسباتی را به صورت توزیعی با توجه به قدرت تفکیک مکانی سنجنده مورد استفاده در اختیار کاربر قرار می دهد. تعیین دمای سطحی با داده های سنجنش از دور، ابتدا با تصاویر ماهواره های پرتاب شده در دهه ۱۹۷۰ که دارای سنجنده های مادون قرمز حرارتی از جمله NOAA^۲ و HCMM^۳ بودند آغاز شد. به طور کلی دو روش برای اندازه گیری دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر سنجنده های حرارتی ارائه شده است [۵]. روش اول بر مبنای تک باند محدوده مادون قرمز حرارتی است

و اگر داده های اتمسفر و زمین وجود داشته باشد تنها مجهول دما است و با استفاده از مدل های انتقال تابشی و اندازه گیری در محدوده مادون قرمز حرارتی دمای سطح زمین تعیین می شود [۲۷]. در روش دوم از تعداد بیشتری باند مادون قرمز حرارتی استفاده می شود و اندازه گیری در دو زمان روز و شب صورت می گیرد. این روش به لحاظ نظری روش کامل تری نسبت به روش تک باند است اما به دلیل کمبود داده های اتمسفری و یا وجود پیکسل های ابری در عمل از دقت بالایی برخوردار نیست [۲۷]. کارنان و لارسون [۶]، با استفاده از تصاویر سنجنده TM^۴ به مشاهده مقیاس متوسط تفاوت دما بین محیط شهری و روستایی اطراف آن پرداختند. نتایج نشان داد که بین پوشش و دما همبستگی معکوس وجود دارد. مناطق روستایی به علت اراضی زراعی و باغی دمای کمتری را نسبت به شهر نشان داد، مراکز صنعتی شهر بالاترین دما را در نقشه به دست آمده به خود اختصاص داده بودند. گالو و تارپلی [۱۰]، شاخص های گیاهی و دمای سطح زمین را با استفاده از تصاویر AVHRR^۵ در مناطق شهری و غیرشهری مقایسه کردند و با توجه به قدرت تفکیک مکانی داده های این سنجنده به این نتیجه رسیدند که تصاویر این سنجنده در مقیاس ماکرو جهت تهیه نقشه دمایی مناسب می باشد، زیرا با اندازه گیری زمینی قابل مقایسه نبود. سربوآستا و همکاران [۲۱]، با استفاده از باند حرارتی مادون قرمز تصاویر ماهواره ای سه سنجنده MODIS^۶، ASTER^۷ و ETM+^۸ در منطقه شرق هند به بررسی دمای سطح زمین با استفاده از پنجره مجزا برای تصاویر MODIS و ASTER و روش تک باند حرارتی برای تصویر ETM+^۸ لندست پرداختند. نتایج

¹ Land Surface Temperature, LST

² National Oceanic and Atmospheric

³ Heat Capacity Mapping Mission Administration

⁴ Thematic Mapper

⁵ Advance Very High Resolution Radiometer

⁶ Moderate Resolution Imaging Spectrometer

⁷ Advanced Space borne (Thermal Emission Reflectance Radiometer)

⁸ Enhanced Thematic Mapper plus

مراعات غنی صورت گرفته است. برای این منظور از دو الگوریتم آرتیس و همکاران و سویرینا و همکاران بر پایه باند حرارتی تک‌باندی سنجنده TM ماهواره لندست استفاده و صحت نقشه‌های حاصله با استفاده از داده‌های دمای خاک ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی به عنوان داده‌های مشاهداتی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

۲. روش‌شناسی

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهر دامنه یکی از شهرهای شهرستان فریدن در استان اصفهان می‌باشد (شکل ۱، الف). این شهر در دامنه دالانکوه و از نظر جغرافیائی در ۵۰ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است و دارای ارتفاع ۲۴۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. در تقسیم‌بندی اقلیمی بر اساس روش پیشنهادی دکتر کریمی این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک معتدل با زمستان‌های سرد است. میانگین بارندگی آن ۴۰۰ میلی‌متر در سال، درجه حرارت در تیر ماه ۲۳ و در دی ماه ۲/۸- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. از ویژگی‌های مهم این شهر می‌توان به قرارگیری آن بین زمین‌های کشاورزی اشاره کرد به طوری که در شرق دامنه، دشت قهیز و در غرب نیز زمین‌های کشاورزی دامنه تا مرز محله آشجرد از شهر داران کشیده شده‌اند. عمده محصولات کشاورزی آن گندم، جو، سیب زمینی و کلزا می‌باشد.

۲.۲. محاسبه دمای سطح زمین

جهت تهیه نقشه دمای سطحی منطقه دامنه از دو روش تک‌باند به شرح جدول ۲ استفاده شد. دو روش مذکور بر روی باند حرارتی تصویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ در تاریخ ۱ ژوئن ۲۰۰۹ (۱۱ خرداد ۱۳۸۸) که با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه، عوارض ثابت

نشان داد که LST محاسبه شده با استفاده از تصاویر MODIS و ASTER با داده‌های زمینی در اراضی کشاورزی همبستگی بالایی دارد و تصویر TM در اراضی با پوشش جنگلی نتایج رضایت بخش تری را ارائه نمود. امیری و همکاران [۱]، به مطالعه و پایش رابطه توزیع دما و کاربری / پوشش زمین در شهر تبریز با استفاده از تصاویر چندزمانه سنجنده‌های TM و ETM+ پرداختند؛ از طریق طبقه‌بندی تصاویر و استخراج اطلاعات آماری هر کلاس نشان داده شد که ارتباط قوی بین کاربری سطح و دمای آن وجود دارد و با بررسی بین شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده NDVI^۱ و دمای سطح با استفاده از رگرسیون چندمتغیره، نقش پوشش گیاهی در تعدیل دمای سطح به وضوح مشخص گردید؛ نتایج نشان‌دهنده کارایی روش مورد استفاده در بررسی و تعیین تغییرات زمانی و مکانی دما بود. از آنجا که اطلاع از بودجه انرژی سطحی و دمای سطح زمین و الگوی رفتاری آن در سیستم‌های بیولوژیک (رشد و نمو گیاهان و جانوران)، فیزیکی (تخریب و فرسایش) و شیمیایی همراه با رطوبت (تبخیر و تعرق)، به‌ویژه در شرایط جوی گرم و خشک بسیار مهم است، لذا لازم است در هر پروژه مرتبط با علوم زمین، دمای سطحی نیز مطالعه شود. پارامتر دما در تلفات آب بخش وسیعی از ایران به دلیل غالبیت اقلیم خشک و نیمه‌خشک عامل مهمی است. این پارامتر کمبود منابع آب در سال‌های اخیر در کشور را به چالش عمده‌ای تبدیل کرده است که تولیدات کشاورزی، باغات و مراعات را با خطر مواجه کرده است با این وجود تاکنون در ایران مطالعه‌ای که روش‌های محاسبه دمای سطحی با استفاده از تک‌باند حرارتی TM را با یکدیگر مقایسه نماید و همچنین نتایج آن را با داده‌های زمینی مورد ارزیابی قرار دهد انجام نگرفته است. این مطالعه با به کار بردن داده‌های سنجنش از با هدف به دست آوردن نقشه دمای سطح زمین منطقه دامنه شهرستان فریدن استان اصفهان به دلیل داشتن اراضی زراعی وسیع و یکپارچه و همچنین

^۱ Normalized Differences Vegetation Index

داده‌های زمینی هم‌زمان با تاریخ تصویر است اما از آنجا امکان برداشت نقاط به‌صورت عملی در منطقه به علت هم‌زمان نبودن مطالعه با تاریخ تصویر از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی استان اصفهان استفاده شد. در اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متر به‌طور روزانه ثبت می‌گردد، با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه با اضافه کردن ۱۰ درجه کلوین به این دما می‌توان از آن به‌عنوان دمای سطح زمین استفاده کرد در نتیجه با استفاده از این اطلاعات به‌صورت نقطه‌ای صحت و دقت برآورد دمای سطح در اندازه پیکسل با هم مقایسه گردید [۱۳]. بدین منظور از ایستگاه‌هایی که مختصات آنها روی یک تصویر TM لندست قرار می‌گرفت، استفاده شد. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. در مرحله بعد به‌منظور بررسی همبستگی و تطابق دو روش محاسبه دمای سطحی با یکدیگر ۵۰ نقطه از پیکسل‌های مختلف با پراکنش مناسب در کل منطقه انتخاب گردید و نمودار رگرسیون خطی برای آن ترسیم شد. همچنین همبستگی بین دما با شاخص NDVI نیز با استفاده از ۱۲۰ نقطه انتخابی با پراکنش مناسب در سطح منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

و جاده با مدل چندجمله‌ای درجه اول با میزان خطای ۰/۳۶ زمین مرجع گردیده بود به صورت پیکسل به پیکسل اعمال گردید و نقشه دمای منطقه تهیه شد. در روش سوبرینا و همکاران جهت تهیه نقشه دما نیاز به محاسبه مقدار بخار آب اتمسفر می‌باشد. به‌منظور به دست آوردن میزان جذب بخار آب در هر باند جذبی می‌توان با استفاده از نسبت رادیانس طیفی بین باند جذبی بخار آب و غیرجذبی مقدار کل محتوای بخار آب اتمسفر را محاسبه نمود که در این مطالعه از باندهای تصویر MODIS در تاریخ ۱ ژوئن ۲۰۰۹ استفاده شد. باند ۲ در سنجنده MODIS غیرجذبی و باندهای ۱۷، ۱۸ و ۱۹ باندهای جذب کننده بخار آب می‌باشند [۱۵]. میزان بخار آب برای این باندها مطابق فرمول‌های ارائه شده در ردیف ۲ جدول ۱ محاسبه گردید و نقشه بخار آب اتمسفر برای منطقه دامنه به دست آمد. باندهای تصویر MODIS ابتدا به سنجنده TM زمین مرجع گردید سپس عمل نمونه‌برداری مجدد با روش نزدیک‌ترین همسایه انجام و اندازه تمامی پیکسل‌ها به ۳۰ متر تغییر داده شد. پس از محاسبه دمای سطحی با دو روش فوق نیاز است تا داده‌های به دست آمده در این دو روش با واقعیت زمینی مقایسه گردند. برای این کار نیاز به جمع‌آوری

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و دمای مورد استفاده

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دمای سطح زمین اصلاح (درجه کلوین)
کبوترآباد	۵۱° ۵۱'	۳۲° ۳۱'	۱۵۴۵	۲۹۳/۲
ازن سنجی	۵۱° ۴۰'	۳۲° ۳۷'	۱۵۵۰	۲۹۳/۴
میمه	۵۱° ۱۰'	۳۳° ۲۶'	۱۹۸۰	۲۸۷/۶
نجف آباد	۵۱° ۲۳'	۳۲° ۳۶'	۱۶۴۱	۲۹۵/۴
مورچه خورت	۵۱° ۲۹'	۳۳° ۵'	۱۶۶۹	۲۹۶/۴
نطنز	۵۱° ۵۴'	۳۳° ۳۲'	۱۶۸۴	۲۹۴
داران	۵۰° ۲۲'	۳۲° ۵۸'	۲۲۹۰	۲۸۵/۶
فریدونشهر	۵۰° ۶'	۳۲° ۵۶'	۲۴۹۰	۲۸۸
گلیپایگان	۵۰° ۱۷'	۳۳° ۲۸'	۱۸۷۰	۲۹۲
خوانسار	۵۰° ۱۹'	۳۳° ۱۴'	۲۳۰۰	۲۹۰/۸

جدول ۲. مشخصات روش‌های مورد استفاده

عنوان روش (منبع)	توضیح پارامترها	فرمول کلی
سوبرینا و همکاران [۲۰]	L_{sensor} : شدت تابش سنجنده بر حسب $Sr^{-1} \mu m^{-1}(m^{-2})$	$TS = \gamma \left[\varepsilon^{-1} (\Psi_1 L_{sensor} + \Psi_2) + \Psi_3 \right] + \delta$
	T_{sensor} : انعکاس حرارتی سنجنده	$\delta = -\mathcal{M}_{sensor} + T_{sensor}$
	λ : طول موج موثر بر حسب میکرومتر که برای باند TM6: $11.457 \mu m$	$\gamma = \left\{ \frac{c_2 L_{sensor}}{T_{sensor}^2} \left[\frac{\lambda^4}{c_1} L_{sensor} + \lambda^{-1} \right] \right\} - 1$
	توابع اتمسفری Ψ_1 و Ψ_2 و Ψ_3 برای داده‌های TM6 بر اساس بخار آب اتمسفر (W) بر حسب گرم بر متر مربع از روابط مقابل بدست می‌آید.	$C_1 = 1/1904 \times 10^8 (Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}), C_2 = 14387/7 (k^\circ)$ $\Psi_1 = 0/014714w^2 - 0/15583w + 1/1234$ $\Psi_2 = -1/1836w^2 - 0/38607w - 0/52894$ $\Psi_3 = -0/04554w^2 + 1/8719w - 0/39071$
محاسبه بخار آب اتمسفر [۱۲]	W: بخار آب اتمسفر به گرم بر متر مربع	$W = f_{17} W_{17} + f_{18} W_{18} + f_{19} W_{19}$
	$f_{17} = 0/14, f_{18} = 0/41, f_{19} = 0/44$	$W_{17} = a_1 + b_1 G_{17} + c_1 G_{17}^2$
	$a_1 = 17/85, a_2 = 56/46, a_3 = 52/72$	$W_{18} = a_2 + b_2 G_{18} + c_2 G_{18}^2$
	$b_1 = -1077/91, b_2 = -49/91, b_3 = 169/32$	$W_{19} = a_3 + b_3 G_{19} + c_3 G_{19}^2$
	$C_1 = 695/32, c_2 = 115/57, c_3 = -225/08$	$G_{17} = L_{17}/L_T$
	L: رادیانس طیفی	$G_{18} = L_{18}/L_T$
	SI: درجه روشنایی تصویر	$G_{19} = L_{19}/L_T$
		$L_\lambda = \text{Radiance Scale (SI - Radiance Offset)}$
		Radiance Offset: $316/972$
		Radiance Scale of Band2: 10105273
	Radiance Scale of Band17: 0105273	
	Radiance Scale of Band18: 000612274	
	Radiance Scale of Band19: 00060637140	
آرتیس و همکاران [۲]	λ = طول موج رادیانس ساطع شده برای باند ۶	$T_s = T_b / [1 + (\lambda T_b / \alpha) L_n \varepsilon]$
	ε = گسیل‌مندی، T_b = دمای جسم سیاه (K°)	$\varepsilon = 1/0094 + 0/047 L_n (NDVI)$
	NDVI: شاخص گیاهی (R_4 و R_3 بازتابندگی باندهای شماره ۴ و ۳ لندست)،	$NDVI = \frac{R_4 - R_3}{R_4 + R_3}$
	h = ثابت پلانک، c = سرعت نور، k = ثابت استفان بولتزمن	$\alpha = h c / k$
K_1 = ثابت تصحیح اول معادل $607/76$	$T_b = K_2 / L_n [(K_1 / L_\lambda) + 1]$	
K_2 = ثابت تصحیح دوم معادل $1260/56 (K^\circ)$	$L_\lambda = [(L_{max} - L_{min}) / (Q_{calmax} - Q_{calmin}) \times Q_{cal}] + L_{min}$	
L_λ = رادیانس طیفی بر حسب $(Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$	$Q_{calmin} = 1, Q_{calmax} = 255, Q_{cal} = DN$	
	$L_{max} = 15/303, L_{min} = 1/237$	

۳. نتایج و بحث

شهر دامنه، اراضی بدون پوشش گیاهی و زمین‌های آیش کشاورزی اطراف آن است. کمترین میزان دما (رنگ آبی نقشه‌ها) در اراضی زراعی با پوشش کامل و آبیاری شده مشاهده می‌شود. همچنین همبستگی و تطابق این دو روش با یکدیگر بر اساس نتایج نمودار رگرسیون خطی (شکل ۲، الف) با مقدار ضریب تعیین $0/97$ حاکی از

نتایج بدست آمده از محاسبه دمای سطحی در این مطالعه با دو روش آرتیس و سوبرینا در (شکل ۱ ب، و پ) نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌گردد، بر اساس دو روش مورد استفاده بیشترین مقدار دما که در این نقشه‌ها با رنگ قرمز نشان داده شده است مربوط به

داشتند. بطور مثال مراتعی که در نقاط مرتفع جنوب منطقه مطالعاتی قرار دارند، به رنگ آبی دیده می‌شوند. در این روش برای تولید نقشه دما نیاز به نقشه توان تشعشی سطح (گسیل‌مندی سطحی) است. این نقشه بر اساس رابطه واند گریند بر اساس شاخص گیاهی NDVI برای مناطق دارای پوشش محاسبه گردید [۲۴]. طبق نظر سان و همکاران [۲۳] مقدار ۰/۹ می‌باشد. نقشه شاخص گیاهی و گسیل‌مندی در این مطالعه در شکل ۱ (ج و د) نشان داده شده است. شاخص گیاهی NDVI دارای رابطه خطی با میزان زیتوده گیاه و مقدار سبزینگی آن است که مقدار آن از -۱ تا +۱ متغیر است. هرچه پوشش گیاهی متراکم باشد بالاترین مقادیر مثبت این شاخص مشاهده می‌شود و در اراضی بایر، مناطق زراعی آیش و خاک‌های لخت منطقه کمترین مقدار مثبت مشاهده می‌شود. در صورت وجود منابع آبی و سطوح مرطوب این شاخص مقدار منفی دارد. در نقشه تولید شده NDVI منطقه دامنه فریدن (شکل ۱، ج) مقدار ۰/۸۲ مثبت برای اراضی زراعی کشت یونجه که کاملاً متراکم و پوشیده از گیاه است به دست آمد و برای اراضی بایر خاک‌های لخت خشک و اراضی آیش مقادیر ۰/۰۸ تا ۰/۲ نشان داده شد.

مقدار گسیل‌مندی از سطوح مختلف بین ۰ تا ۱ متغیر است [۱۶]. دقت در تعیین توان تشعشی سطح در تهیه نقشه دقیق دما بسیار تأثیرگذار است [۳]. تا زمانی که اطلاعات زمینی از نوع پوشش گیاهی، انواع خاک‌های سطحی و سایر اجزای تشکیل دهنده سطح در یک منطقه کم باشد، برآوردها درباره گسیل‌مندی سطح چندان دقیق نیست ولی مقادیر توان تشعشی که الگویی از پوشش گیاهی و خاک است می‌تواند با ضریب اطمینان قابل قبولی استفاده شود [۴، ۷، ۱۴]. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که گسیل‌مندی سطحی به‌عنوان مهم‌ترین منبع خطا در برآورد دمای سطحی قلمداد می‌شود، زیرا رابطه بین افزایش توان تشعشی با دمای سطحی به‌صورت توانی است و خطای کوچک در اندازه‌گیری توان تشعشی

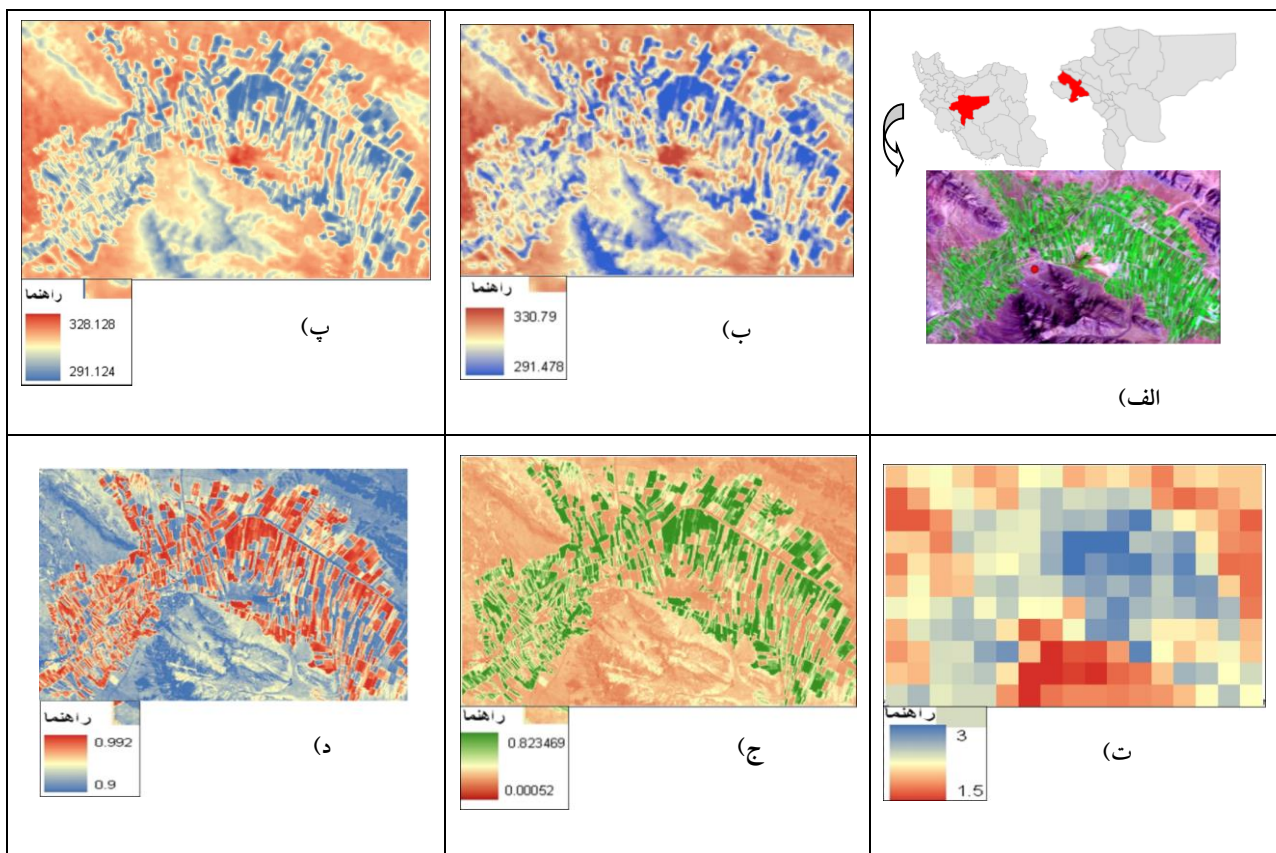
تطابق بسیار خوب این دو روش در برآورد دمای سطحی است.

در پهنه‌بندی دمایی به روش سوپرینا و همکاران سردترین پیکسل‌ها مربوط به اراضی زراعی با پوشش کامل است و بالاترین دما در پیکسل‌های گرم اراضی خشک لخت و بایر منطقه مشاهده می‌گردد، میانگین دمای سطحی برای منطقه مورد مطالعه ۳۱۲ درجه کلوین به دست آمد. در این روش برای محاسبه دما، اطلاع از مقدار بخار آب اتمسفر ضروری است، مطابق با مطالعات انجام شده در این زمینه و پایگاه اطلاعات ناسا، نقشه مقادیر بخار آب اتمسفر بایستی در مقیاس جهانی (قاره‌ای و کشوری) محاسبه گردد، اکثر این مطالعات محدوده تغییرات بخار آب را ۰/۳ تا ۶ گرم بر سانتی‌متر مربع به دست آوردند. سوپرینا و همکاران [۱۹] در مطالعه خود مقدار بخار آب اتمسفر را با استفاده از تصاویر مودیس ۰/۴ گرم بر سانتی‌متر مربع به دست آوردند. در این مطالعه مقدار بخار آب به طور کامل برای تصویر MODIS که در زمان گذر از کل کشور ایران تصویربرداری شده بود، محاسبه گردید؛ سپس منطقه مورد مطالعه برش داده شد (شکل ۱، ت). مقدار به دست آمده برای منطقه مطالعاتی بین ۱/۵ تا ۳ گرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد که با توجه به سایر مطالعات محدوده عددی به دست آمده قابل قبول است.

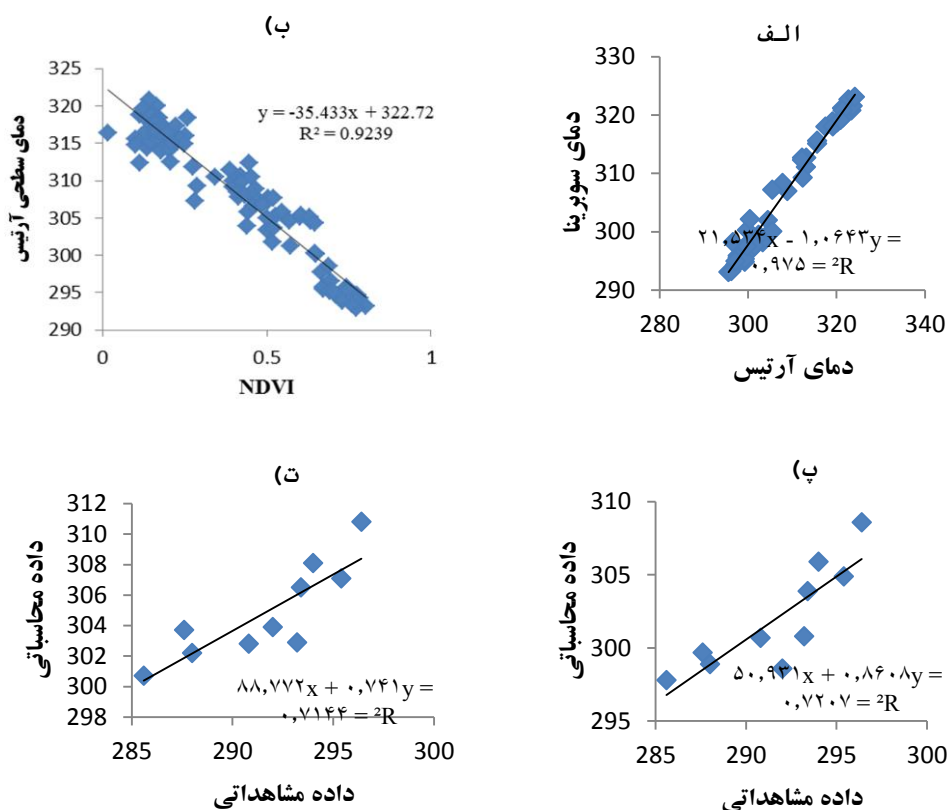
پهنه‌بندی دمای سطحی انجام شده به روش آرتیس و همکاران نشان می‌دهد که حداقل دمای به دست آمده ۲۹۱ درجه کلوین می‌باشد که مربوط به زمین‌های کشاورزی با پوشش کامل گیاهی است و هر چه پیکسل، میزان پوشش گیاهی کمتری داشته باشد، دما افزایش می‌یابد. در مطالعه حاضر حداکثر دما (۳۲۸ درجه کلوین) مربوط به خاک‌های لخت و زمین‌های بایر است، میانگین دمای به دست آمده ۳۱۰ درجه کلوین در لحظه گذر ماهواره به دست آمد. تغییرات دما با ارتفاع در این مطالعه رابطه معکوس را نشان داد به‌طوری که پیکسل‌های مرتفع دمای پایین‌تر و پیکسل‌های کم ارتفاع دمای بالاتر

مربوط به اراضی بایر با خاک خشک و بدون پوشش می‌باشد (شکل ۲، ب). در بین شاخص‌های گیاهی اغلب همبستگی دما با شاخص NDVI مورد بررسی قرار می‌گیرد [۲۷، ۸]. در مطالعات بسیاری که در زمینه برآورد دما با داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد رابطه همبستگی بالا و منفی بین پوشش گیاهی و دما ارائه شده است. زانگیان و همکاران [۲۸] برای به دست آوردن جزایر حرارتی شهری در چین با استفاده از تصاویر TM لندست مقدار همبستگی ۰/۸۲٪ منفی را بین دمای سطح و شاخص NDVI محاسبه نمودند. دشتکیان و همکاران [۹] با بررسی دمای سطح زمین در ارتباط با پوشش گیاهی در منطقه یزد- اشکذر با ماهواره لندست همبستگی ۰/۹۹٪ منفی در مطالعه خود بین دما و شاخص گیاهی NDVI را به دست آورده‌اند.

می‌تواند در نقشه دمای به دست آمده موجب اختلاف زیادی شود [۴، ۲۰، ۱۱]. همچنین بکر و لی [۴] در مطالعه خود نشان دادند که تغییر در تعیین گسیل‌مندی برای یک سطح مشخص به اندازه ۰/۰۱ خطایی به اندازه ۳ درجه سانتیگراد در تعیین دما ایجاد می‌کند. گسیل‌مندی سطحی در این مطالعه بین ۰/۹۹-۰/۹ به دست آمد که اراضی کشاورزی بالاترین مقدار و اراضی بایر و بدون پوشش کمترین گسیل‌مندی را نشان دادند. مقایسه نقشه دمای سطحی با نقشه شاخص NDVI با ضریب همبستگی منفی ۰/۹۲ نشان می‌دهد که رابطه معکوس بین دما و شاخص گیاهی NDVI وجود دارد. یعنی دمای بالا در پیکسل‌های با مقدار NDVI کم و دمای پایین در پیکسل‌های با مقدار NDVI زیاد مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر سردترین پیکسل‌ها مربوط به اراضی زراعی با پوشش متراکم و گرم‌ترین پیکسل‌ها



شکل ۱. الف. منطقه مورد مطالعه، ب. نقشه دمای سطحی به روش آرتیس به درجه کلونین، پ. دمای سطح زمین به روش سوپرینا، ت. نقشه محتوای بخار آب، ج. نقشه شاخص گیاهی، د. نقشه گسیل‌مندی سطحی



شکل ۲. الف. همبستگی بین روش‌های سوپرینا و آرتیس، ب. همبستگی بین شاخص گیاهی NDVI و دمای سطحی به روش آرتیس، پ. همبستگی بین داده‌های دمایی مشاهداتی و محاسباتی با روش آرتیس بر حسب درجه کلوین، ت. روش سوپرینا

۱ درجه سانتی‌گراد به ازای دمای ۱۰- تا ۵۰ درجه در مقایسه با داده‌های زمینی به دست آورند، این مطالعه کارایی داده‌های مودیس را در برآورد دما سطحی نشان داد. سریواستا و همکاران [۲۲] تفاوت بین دمای محاسبه شده از باند حرارتی سنجنده TM و داده‌های صحرایی را ۲ درجه سانتی‌گراد در محاسبه دمای سطحی در هندوستان نشان دادند. سریواستا و همکاران [۲۱] برای محاسبه دمای سطحی داده‌های سنجنده ASTER و دو روش تک‌بند و روش تک‌بند آرتیس و همکاران دمای سطحی را به کار بردند، نتایج آنان نشان داد که در اراضی کشاورزی دمای به دست آمده از روش آرتیس بیشترین همبستگی را با برداشت‌های زمینی دارد اما در محیط‌های آبی روش تک‌بند که نیاز به محاسبه بخار آب و

برای مقایسه و اندازه‌گیری صحت برآورد داده‌های به دست آمده از دو روش ارائه شده، از داده‌های زمینی همزمان با تاریخ تصویر استفاده گردید و به صورت نقطه‌ای صحت و دقت برآورد دمای سطح در اندازه پیکسل با هم مقایسه گردید. رابطه رگرسیونی به دست آمده برای روش‌های آرتیس و سوپرینا همبستگی یا ضریب تعیین به ترتیب ۷۲٪ و ۷۱٪ را نشان می‌دهد (شکل ۳) که بیانگر همبستگی قابل قبولی است. مقدار RMSE محاسبه شده به ترتیب برای روش آرتیس و سوپرینا ۳/۲ و ۳/۶ درجه کلوین به دست آمد که با توجه به مطالعات انجام شده مشابه نتایج مورد قبول می‌باشد. وانگ و همکاران [۲۶] با استفاده از تصویر سنجنده مودیس دمای سطح زمین را محاسبه کردند میزان خطا را

علاوه بر آن به دلیل مقدار RMSE پایین‌تر، این مطالعه روش سوپرینا را به عنوان روش بهتر معرفی نمود.

۴. نتیجه‌گیری

از آنجا که اطلاع از دمای سطح زمین و الگوی رفتاری آن در سیستم‌های بیولوژیک (رشد و نمو گیاهان و جانوران)، فیزیکی (تخریب و فرسایش) و شیمیایی همراه با رطوبت (تبخیر و تعرق)، به‌ویژه در شرایط جوی گرم و خشک بسیار مهم است، لذا به نظر می‌رسد که در هر پروژه مرتبط با علوم زمین دمای سطحی نیز باید مد نظر قرار گیرد. در این مطالعه دمای سطح زمین در شهر دامنه استان اصفهان با استفاده از دو روش آرتیس و همکاران و سوپرینا و همکاران محاسبه گردید و سپس صحت دو روش با استفاده از داده‌های برداشت شده زمینی ایستگاه‌های سینوپتیک با محاسبه همبستگی مورد آزمون قرار گرفت. رابطه رگرسیونی به دست آمده برای هر دو روش ضریب تعیین بیش از ۷۰٪ را نشان داد که بیانگر همبستگی قابل قبولی است اما با توجه به مقدار RMSE محاسبه شده به ترتیب برای روش آرتیس و سوپرینا ۳/۲ و ۳/۶ درجه کلون می‌توان گفت روش آرتیس و همکاران در برآورد دما صحت بیشتری دارد. مطابق این روش که با محاسبه رادیانس طیفی باند ۶ سنجنده TM ماهواره لندست و محاسبه گسیل‌مندی سطح که تابعی از شاخص گیاهی NDVI است، به دست می‌آید در منطقه مورد مطالعه زمین‌های کشاورزی اطراف شهر دامنه با پوشش کامل گیاهی حداقل دما (۲۹۱ درجه کلون) را دارند، شهر دامنه، خاک‌های لخت و اراضی بایر اطراف آن حداکثر دما (۳۲۸ درجه کلون) را نشان دادند. میانگین دما نیز در لحظه گذر ماهواره ۳۱۰ درجه کلون به دست آمد. این روش در برآورد دما به داده‌های کمتری نیاز دارد و تنها عامل محدود کننده، دقت و صحت برآورد گسیل‌مندی سطح است که به دلیل ارتباط توانی با دما می‌تواند خطای زیادی را در نقشه دمای سطح ایجاد کند.

گسیل‌مندی ندارد و فقط بر اساس تفاوت جذب دما در باندهای حرارتی محاسبه می‌شود صحت بالاتری دارد. مالیک و همکاران [۱۷] اختلاف دمای واقعی و دمای محاسبه شده از باند حرارتی تصویر ماهواره لندست را در سطح یک درصد با ضریب همبستگی ۹۴٪ حدود ۲-۳ درجه سانتی‌گراد به دست آوردند.

با توجه به نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر، روش آرتیس و همکاران در برآورد دما صحت بیشتری نسبت به روش سوپرینا و همکاران نشان داد. اختلاف موجود و خطای به دست آمده می‌تواند ناشی از عدم دقت کافی در برآورد گسیل‌مندی سطح به دلیل شناخت ناکافی از تک‌تک اجزای تشکیل‌دهنده سطح منطقه اعم از انواع پوشش‌های گیاهی و انواع خاک‌های منطقه باشد. همچنین عدم واسنجی داده‌های مورد نیاز در روش سوپرینا و همکاران برای برآورد بخار آب اتمسفر در منطقه مورد مطالعه می‌تواند یکی دیگر از منابع خطا محسوب شود.

روش سوپرینا و همکاران به دلیل لحاظ کردن فاکتور بخار آب روشی کارا در برآورد دما می‌باشد ولی همین عامل به دلیل اینکه به داده‌های بیشتری برای محاسبه دما و به واسنجی پارامترهای محاسبه بخار آب نیاز دارد می‌تواند عامل محدود کننده در استفاده از این روش باشد. همچنین عدم برآورد صحیح بخار آب می‌تواند موجب خطا در برآورد دما گردد، در مقابل روش آرتیس و همکاران به داده‌های کمتری نیاز دارد و تنها عامل محدود کننده، دقت و صحت برآورد گسیل‌مندی سطح است که به دلیل ارتباط توانی با دما می‌تواند خطای زیادی را در نقشه دمای سطح ایجاد کند. البته روش سوپرینا و همکاران [۲۰] با دو روش دیگر در برآورد دمای سطح اسپانیا با به کار بردن داده‌های حرارتی سنجنده TM مورد بررسی قرار گرفت نشان داد که این روش نیاز به داده زمینی کمتر برای محاسبه دمای سطح نسبت به برآورد دما با استفاده از دو روش معادله انتقال تابش با کمک امواج رادیویی و روش کین و همکاران [۱۸] دارد،

هستند مانند مناطق خشک و نیمه‌خشک از شاخص‌های دمایی استفاده گردد. به‌طور کلی نتیجه مطالعه حاضر مؤید این مطلب است که استفاده از باند حرارتی سنجنده TM ماهواره لندست در برآورد دمای سطح زمین روش قابل قبولی است و می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کارا در مطالعات مختلف دما در حوزه‌های کشاورزی، منابع طبیعی، شهری و غیره مورد استفاده قرار گیرد.

برای غلبه بر این مشکل پیشنهاد می‌شود گسیل‌مندی انواع پوشش سطح (گیاه، خاک، عوارض مختلف زمین) در قالب یک پایگاه داده برای تصاویر مختلف ماهواره‌ای جمع‌آوری گردد و به صورت زمینی با عوارض تطبیق داده شود. از نتایج دیگر این مطالعه و مطالعات مشابه دیگر وجود رابطه قوی و منفی بین داده‌های دمایی و پوشش گیاهی است که پیشنهاد می‌گردد در مناطقی که شاخص‌های گیاهی دارای محدودیت در مطالعات پوشش گیاهی

References

- [1] Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A. and Alavipanah, S. K., (2009). Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote Sensing of Environment*, 113 (12), 2606-2617.
- [2] Artis, D. A. and Carnahan, W. H., (1982). Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12 (4), 313-329.
- [3] Becker, F., (1987). The impact of spectral emissivity on the measurement of land surface temperature from a satellite. *International Journal of Remote Sensing*, 8 (10), 1509-1522.
- [4] Becker, F. and Li, Z. L., (1995). Surface temperature and emissivity at various scales: Definition, measurement and related problems. *Remote Sensing Reviews*, 12 (3-4), 225-253.
- [5] Benmecheta, A., Abdellaoui, A. and Hamou, A., (2013). A comparative study of land surface temperature retrieval methods from remote sensing data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 39 (01), 59-73.
- [6] Carnahan, W. H. and Larson, R. C., (1990). An analysis of an urban heat sink. *Remote Sensing of Environment*, 33 (1), 65-71.
- [7] Caselles, V., Coll, C., Valor, E. and Rubio, E., (1995). Mapping land surface emissivity using AVHRR data application to La Mancha, Spain. *Remote Sensing Reviews*, 12 (3-4), 311-333.
- [8] Dai, X., Guo, Z., Zhang, L. and Li, D., (2010). Spatio-temporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24 (2), 247-257.
- [9] Dashtekian, K. and M. A. Dehghani, (2008). Land surface temperature analysis of desert area in relation with vegetation and urban development using RS and GIS, case study: Yazd-Ashkezar area. *Pajouhesh & Sazandegi*, 77, 169-179.
- [10] Gallo, K. P. and Tarpley, J. D., (1996). The comparison of vegetation index and surface temperature composites for urban heat-island analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 17 (15), 3071-3076.
- [11] Gangopadhyay, P. K., Van der Meer, F., Van Dijk, P. M. and Saha, K., (2012). Use of satellite-derived emissivity to detect coalfire-related surface temperature anomalies in Jharia coalfield, India. *International Journal of Remote Sensing*, 33 (21), 6942-6955.
- [12] Hong, S.h., Hendrickx, J. M. H. and Borchers, B., (2009). Up-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from Landsat (30m) to MODIS (250m) scale. *Journal of Hydrology*, 370 (1-4), 122-138.
- [13] Jensen, J. R., (1996). *Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective*, 2nd Edition, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall Press.

- [14] Kant, Y. and Badarinath, K. V. S., (2002). Ground-based method for measuring thermal infrared effective emissivities: Implications and perspectives on the measurement of land surface temperature from satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (11), 2179-2191.
- [15] Kite, G. and Droogers, P., (2000). Comparing Estimates of Actual Evapotranspiration From Satellites, Hydrological Models, and Field Data: A Case Study from Western Turkey.
- [16] Lillesand, T., Kiefer, R. W. and Chipman, J., (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*, 6 Edition, Wiley; 6 Press.
- [17] Mallick, J., Singh, C. K., Shashtri, S., Rahman, A. and Mukherjee, S., (2012). Land surface emissivity retrieval based on moisture index from LANDSAT TM satellite data over heterogeneous surfaces of Delhi city. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19, 348-358.
- [18] Qin, Z., Karnieli, A. and 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.
- [19] Sobrino, J. A., El Kharraz, J. and Li, Z. L., (2003). Surface temperature and water vapour retrieval from MODIS data. *International Journal of Remote Sensing*, 24 (24), 5161-5182.
- [20] Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C. and Paolini, L., (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90 (4), 434-440.
- [21] Srivastava, P. K., Majumdar, T. J. and Bhattacharya, A., (2010). Study of land surface temperature and spectral emissivity using multi-sensor satellite data. *Journal of Earth System Science*, 119 (1), 67-74.
- [22] Srivastava, P. K., Majumdar, T. J. and Bhattacharya, A. K., (2009). Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data. *Advances in Space Research*, 43 (10), 1563-1574.
- [23] Sun, Q., Tan, J. and Xu, Y., (2010). An ERDAS image processing method for retrieving LST and describing urban heat evolution: a case study in the Pearl River Delta Region in South China. *Environmental Earth Sciences*, 59 (5), 1047-1055.
- [24] Van de Griend, A. A., and Owe, M., (1993). On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surface. *International Journal of Remote Sensing*, 14 (6), 119-131.
- [25] Wan, Z., Wang, P. and Li, X., (2004). Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (1), 61-72.
- [26] Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q. and Li, Z. L., (2004). Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (1), 261-274.
- [27] Weng, Q., Lu, D. and Schubring, J., (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89 (4), 467-483.
- [28] Zhangyan, J., Yunhao, C. and Jing, L., (2006). On urban heat island of Beijing based on landsat TM data. *Geo-spatial Information Science*, 9 (4), 293-297.

