



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS
سال دوم، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۹
Vol.2, No.3, Autumn 2010
۸۹-۱۰۲

بررسی تغییرات درجه حرارت سطح و پوشش - کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ (مطالعه موردی: شهر تهران)

پیمان ملک‌پور^۱، محمد طالعی*^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. استادیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۳/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۵/۳۱

چکیده

درجه حرارت سطح زمین (LST) فاکتور مهمی در مطالعات تغییرات دمایی، تخمین مقادیر تابشی، مطالعات تعادل گرمایی و همچنین ابزاری کنترلی برای مدل‌های آب و هوایی و اقلیم شهری است. در این تحقیق، کوشش شده است که درجه حرارت سطح شهر تهران با استفاده از تصویر سنجنده ETM+، برگرفته در تاریخ ۳ ژوئن سال ۲۰۰۱ تخمین زده شود. تغییرات درجه حرارت سطح به‌دست آمده نسبت به انواع پوشش - کاربری زمین، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین دقت طبقه‌بندی انواع پوشش - کاربری زمین، ارزیابی شد و مشخص گردید که دقت طبقه‌بندی با استفاده از مؤلفه‌های MNF افزایش می‌یابد. مقادیر گسیل‌مندی و درجه حرارت سطح با به‌کارگیری روش SEBAL بر روی داده‌های ماهواره‌ای تخمین زده شد. علاوه بر این، ارتباط درجه حرارت سطح با مقادیر NDVI و کسر پوشش گیاهی ارزیابی گردیدند. به‌علاوه، رابطه رگرسیون درجه حرارت سطح و پوشش گیاهی به تفکیک انواع مختلف پوشش گیاهی محاسبه و ارائه شد. نتایج به دست آمده از بررسی‌ها، نشان‌دهنده وابستگی شدید بین درجه حرارت سطح و مقادیر NDVI و FVC برای انواع پوشش - کاربری زمین است. نتایج حاصل از انجام تحلیل رگرسیون بین پارامترهای تعیین مقادیر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح، حاکی از آن است که روش به‌کار رفته، برای تخمین مقادیر گسیل‌مندی و درجه حرارت سطح، در مناطق شهری غیریکنواخت با دقت مناسب و پذیرفتنی عملی است و می‌تواند به منظور برآورد میزان توسعه و تغییرات دمایی شهری در دوره زمانی معین مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: درجه حرارت سطح زمین (LST)، پوشش - کاربری زمین (LULC)، SEBAL، کسر پوشش گیاهی (FVC)، تحلیل رگرسیون.

۱- مقدمه

پدیده گرم شدن شهرها، مستقیماً با سلامت بشر مرتبط است. افزایش گرمای مناطق شهری منجر به آسیب و زیان رساندن به ساکنان شهری و همچنین باعث مصرف بالای انرژی - به واسطه استفاده از دستگاه‌های تهویه - می‌شود. از این رو، افزایش حاد گرمای شهری تبدیل به معضل می‌شود و از همین رو، تلاش‌های اساسی برای ارائه راهکار مناسب به منظور شناسایی ابعاد مختلف آن و کاهش تأثیرات مخرب آن، ضروری است (World Resources Institute, 1990; Owen et al., 1998).

با توجه به پرهزینه و زمان‌بر بودن استفاده از روش‌های مبتنی بر مشاهدات ایستگاه‌های زمینی برای تخمین گرمای نسبی شهرها با استفاده از اندازه‌گیری درجه حرارت هوا از یک سو، و ارائه داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا و توانمند برای اندازه‌گیری پارامترهای سطح زمین از سوی دیگر، امروزه فناوری سنجش از دور به‌عنوان راهکاری جدید در بهبود این روش‌ها مطرح شده است. با استفاده از داده‌های سنجنده‌های حرارتی سنجش از دور، پارامترهای فیزیکی مرتبط با مطالعات حرارتی شهری از قبیل اطلاعات کمی درجه حرارت سطح در زمینه کلاس‌های پوششی و کاربری زمین، تخمین ارزیابی شدنی خواهد بود. این ابزارهای جدید و امروزی می‌توانند در پایش تغییرات، ایجاد ارتباط بین تغییرات درجه حرارت و تغییرات پوشش - کاربری زمین و بررسی روند توسعه و رشد شهری و به تبع آن در تدوین برنامه‌ها و برنامه‌ریزی شهری، تأثیری جدی نهند.

در سال‌های اخیر مطالعات گوناگونی به‌منظور بررسی درجه حرارت سطح زمین صورت پذیرفته است. مطالعات اولیه بر روی پدیده^۱ UHI با استفاده از داده‌های سنجش از دور، از طریق تصاویر سنجنده NOAA-AVHRR، صورت پذیرفت. Roth و دیگران (1989)، داده‌های درجه حرارت سطح را تخمین زدند و پخش مکانی آنها را در چندین شهر در شمال غربی

امریکا، ارزیابی کردند. Roth نتیجه گرفت که الگوهای حرارتی داخل شهری روزانه به شدت وابسته به پوشش زمین‌اند. به عبارت دیگر، به‌هنگام شب میزان UHI و وابستگی آن با پوشش زمین پایین است. Gallo و دیگران (1993) شاخص‌های گیاهی و درجه حرارت سطح به‌دست آمده از داده‌های سنجنده AVHRR را با حداقل درجه حرارت هوای مشاهده شده برای مناطق شهری و روستایی، مقایسه کردند و نشان دادند که شاخص گیاهی به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای دارای ارتباط خطی با اختلافات موجود در درجه حرارت مشاهده‌شده بین شهر و نواحی شهری است.

Nichol (1994) از داده‌های حرارتی سنجنده‌های TM برای پایش الگوهای اقلیم شهری در سنگاپور استفاده کرد و نشان داد که وابستگی زیادی بین درجه حرارت به‌دست آمده و شاخص‌های پوشش گیاهی وجود دارد. Alavipannah و دیگران (2002) در تحقیقی به منظور مطالعه برخی از ویژگی‌های حرارتی و محدودیت‌های مطالعه دمای سطحی بیابان لوت، از داده‌های TM ماهواره لندست و دیگر اطلاعات جنبی استفاده کردند. برای استخراج و بررسی و تفسیر اطلاعات از باندهای TM ماهواره لندست و باند حرارتی برای تبدیل درجات روشنایی (DN) به تابندگی و دمای درخشایی استفاده گردید. Weng و دیگران (2004) فراوانی پوشش گیاهی شهری را تعیین کرد و ارتباط آن را با تأثیر UHI برقرار ساخت.

Renee Gluch و دیگران (2006) واکنش‌های حرارتی انواع پوشش زمین را در دو سطح محله‌ای و منطقه‌ای^۲، با استفاده از داده‌های حرارتی سنجنده ATLAS^۳ (در سطح محله‌ای با رزولوشن مکانی باند حرارتی ۱۰ متر) و Land sat TM (در سطح منطقه‌ای با رزولوشن مکانی باند حرارتی ۱۲۰ متر)، برای

1. Urban Heat Islands
2. Community and Regional Level
3. Advanced Thermal and Land Application Sensor

را برای تحلیل UHI در پهنه زمان و مکان مورد استفاده قرار دادند. شکیبا و همکاران (۱۳۸۸) جزایر حرارتی شهر تهران را از طریق داده‌های سنجنده ETM+ استخراج کردند و به بررسی تأثیر نوع پوشش و کاربری زمین بر دمای سطح زمین پرداختند. نتایج حاصل از بررسی نشان داد که سطوح نفوذناپذیر از طریق جذب و ذخیره انرژی تأثیر گرمایشی دارند، در حالی که پوشش گیاهی از طریق ایجاد توازن گرمایی به وسیله تبخیر و تعرق و تولید سایه، تأثیر خنک‌کننده دارد.

تحقیق حاضر، با توجه به پژوهش‌های اشاره شده قابلیت و پتانسیل تخمین درجه حرارت سطح زمین را با استفاده از داده سنجنده ETM⁺ بر روی منطقه غیریکنواخت شهری بررسی می‌کند. برای تخمین درجه حرارت سطح زمین، به دست آوردن مقدار گسیل‌مندی سطح مهم و ضروری است. برای بیان مقدار گسیل‌مندی در مقیاس پیکسلی ماهواره، پارامتر گسیل‌مندی به ازای هر پیکسل بایستی به طور مستقیم از داده‌های ماهواره‌ای تعیین گردد تا اینکه بتوان به تخمینی دقیق و معقول برای درجه حرارت سطح زمین دست یافت. در تحقیق حاضر، از روش^۱ SEBAL برای تعیین گسیل‌مندی و تخمین درجه حرارت سطح زمین استفاده شده است (Bastiaanssen et al., 1998). در این پژوهش، ضمن بررسی تغییرات مکانی درجه حرارت سطح زمین براساس انواع پوشش - کاربری زمین، ارتباط بین تراکم پوشش گیاهی (NDVI, FVC) با تغییرات درجه حرارت سطح نیز مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل می‌گیرد.

۲- منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تهران، پایتخت جمهوری اسلامی ایران، که شهری است مدرن و در حال توسعه و رشد سریع، با ترکیبی از انواع پوشش کاربری زمینی که در معرض

شناسایی انواع پوشش زمین و ویژگی‌های حرارتی آنها، مورد بررسی قرار دادند. مدل مورد استفاده برای تعیین الگوی پوشش - کاربری زمین، مدل V-I-S بود و نشان داد که برای پوشش‌های زمینی مختلف، پاسخ حرارتی در هر دو سطح ثابت است (Xian and Crane, 2006). آنان خصوصیات حرارتی شهر را با استفاده از داده‌های حرارتی Land sat 5&7 طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۲ در سطوح نفوذناپذیر در حد زیر پیکسل، ارزیابی کردند و نشان دادند که خصوصیات و الگوهای حرارتی سطح شهری رابطه‌ای نزدیک با پوشش زمین شهری و میزان تراکم توسعه به دست آمده با تعیین حد آستانه برای مقادیر سطوح نفوذناپذیر دارد. استفاده از اطلاعات پوشش گیاهی، پخش مکانی و زمانی سطوح نفوذناپذیر شهری و ویژگی‌های حرارتی مربوط، می‌تواند به عنوان منابعی سودمند در زمینه ارزیابی پوشش زمین، میزان تراکم توسعه و الگوهای حرارتی شهری مورد استفاده قرار گیرند (Christopher Small, 2006). سپس آنان منطقه شهری و نواحی غیرشهری پیرامون را مورد مقایسه قرار دادند و میزان تغییرپذیری حرارت شهری و وابستگی آن را بر روی مؤلفه‌های بیوفیزیکی سطح زمین شهری، که با آنالیز اختلاط طیفی خطی به عنوان اختلاطی از سنگ و خاک و نیز پوشش گیاهی و سطوح تاریک انعکاس‌ناپذیر مدل شده بود، نشان داد. Abdollahi و دیگران (2008) با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ۱۲ ساله، اقدام به مطالعه نحوه تغییر کاربری اراضی در دو منطقه شهری و غیرشهری اردکان در استان یزد و تبعات منفی آن بر تغییر پوشش گیاهی و همچنین افزایش نسبی دما کرده‌اند. بدین منظور آنان پس از انجام تصحیحات مورد نیاز و تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI، برای بررسی تغییرات نسبی درجه حرارت، اطلاعات باند حرارتی ماهواره لندست را به کار گرفتند (Rajasekar and Weng, 2009) و روشی را برای تعیین مشخصات UHI با استفاده از مدل‌های غیرپارامتریک ارائه کردند. آنها تصاویر Land Sat 5&7

1. Surface Energy Balance Algorithms for Land

L_{λ} : تابش طیفی دریافت شده به وسیله سنجنده
 $(W / M^2 SR^1 \mu m)$
 L_{min} : Bias
 مقادیر L_{min}, L_{max} (ماکزیمم و مینیمم رادیانس طیفی قابل تشخیص در Header باند به وسیله سنجنده LANDSAT-7 با واحد $w / m^2 sr \mu m$ برای سنجنده ETM+ موجود است. با مراجعه به هدر و تعیین High Gain و یا Low Gain بودن هر باند، می‌توان L_{max} و L_{min} مربوط به هر باند را از طریق Handbook LANDSAT User برگزید. در مرحله بعد، مطابق با رابطه (۲)، مقدار رادیانس طیفی به بازتابندگی طیفی تبدیل می‌گردد (Richards, 1993).

$$\rho = \frac{L_{\lambda} \cdot \pi}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_z \cdot d_r} \quad \text{رابطه (۲)}$$

به طوری که d_r مسافت نسبی زمین تا خورشید، θ_z زاویهٔ زینت خورشیدی (درجه) و $ESUN$ میانگین تابش فرودی خورشیدی در بالای جو در هر باند است (چون مقادیر $ESUN$ برای سنجندهٔ ETM+ در LANDSAT User Handbook ارائه شده‌اند؛ لذا در این مقاله از تکرارشان پرهیز گردیده است). در ادامه، به منظور کاهش تأثیرات اتمسفری از مدل تصحیح اتمسفری FLAASH، در نرم‌افزار ENVI استفاده شده است. پارامترهای به کار رفته برای مدل تصحیح اتمسفری در شکل ۲ آمده است.

خطرهای ناشی از افزایش درجه حرارت سطح زمین و گرمایش جهانی قرار دارد، به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. این منطقه از طول جغرافیایی $51^{\circ} 05' 17''$ تا $51^{\circ} 37' 36''$ شرقی و عرض جغرافیایی $35^{\circ} 33' 10''$ تا $35^{\circ} 50' 12''$ شمالی امتداد می‌یابد و دارای مساحتی در حدود 706 کیلومتر مربع است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

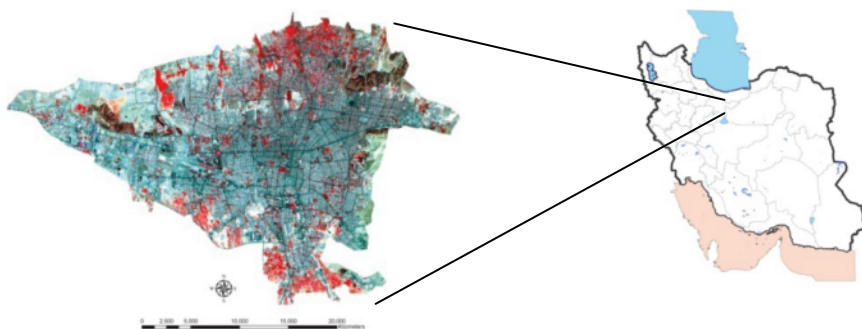
۳- مواد و روش‌ها

تعداد مختلفی از انواع سنجنده‌های حرارتی وجود دارند که سنجنده ETM^{+2} با قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی 60 متر، از آن جمله است. در این تحقیق از داده‌های ماهواره‌ای لندست ETM^{+7} ، برگرفته در تاریخ ۳ ژوئن سال 2001 از شهر تهران (level 1G, path/row: 164/35, Cloud cover: 0%) استفاده شده است. تصحیح هندسی تصویر لندست نیز با استفاده از دریافت نقشه‌های توپوگرافی $1:25,000$ شهر تهران، از سازمان نقشه‌برداری کشور صورت گرفت. به منظور اعمال تصحیحات رادیومتریکی ابتدا مقادیر درجات خاکستری با استفاده از رابطه (۱) به تابش دریافت شده در سنجنده تبدیل شدند (Wubet, 2003):

رابطه (۱)

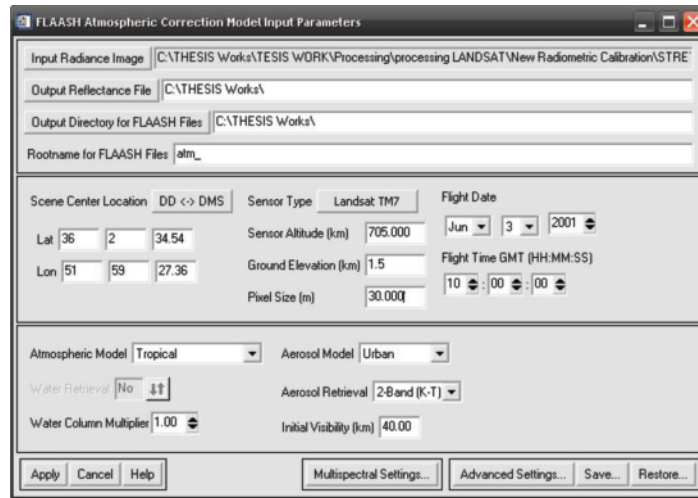
$$L_{\lambda} = \text{Gain} \times \text{DN} + \text{Bias} = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{255} \right) \times \text{DN} + \text{Bias}$$

که در آن،



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (کلان‌شهر تهران)

بررسی تغییرات درجه حرارت سطح و پوشش - کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ (مطالعه موردی: شهر تهران)



شکل ۲. پارامترهای ورودی مدل تصحیح اتمسفری FLAASH

تحقیق از مؤلفه‌های MNF^۱ استفاده شده است. تبدیل MNF برای کاهش افزونگی داده و وابستگی بین باندهای طیفی تصویر ماهواره‌ای به کار می‌رود. در طبقه‌بندی تصویر لندست از سه مؤلفه نخست تبدیل MNF با به کارگیری الگوریتم بیشترین شباهت استفاده شده است که دقت طبقه‌بندی حاصل با این روش به ۸۱/۷۶ درصد رسید، که خود نشان از افزایش دقت طبقه‌بندی دارد. شکل ۳ تصویر طبقه‌بندی شده منطقه مورد مطالعه را با استفاده از مؤلفه‌های MNF و به کارگیری الگوریتم بیشترین شباهت، نشان می‌دهد.

همان‌گونه که اشاره شد، به منظور تخمین میزان گسیل‌مندی و درجه حرارت سطح زمین در این تحقیق از روش SEBAL استفاده شده است (Bastiaanssen et al., 1998). در این روش دمای سطح با به کارگیری رادیانس حرارتی تصحیح شده به دست می‌آید. برای

در باند حرارتی، مؤلفه‌های رو به پایین و رو به بالای تابش اتمسفری^۱ و قابلیت عبور اتمسفری^۲ موجب تغییرات تابش اندازه‌گیری شده در سنجنده می‌گردند. در این تحقیق، به منظور تصحیح اتمسفری حرارتی از الگوریتم تصحیح اتمسفری درون صحنه^۳ ISAC، در نرم‌افزار ENVI استفاده شده است.

با در نظر گرفتن اهداف تحقیق و داده‌های مورد استفاده، طبقه‌بندی^۴ پوشش - کاربری زمین با ایجاد کلاس‌هایی چون مناطق ساختمانی متراکم، مناطق ساختمانی کم تراکم، پوشش گیاهی متراکم (جنگل)، پوشش گیاهی کم تراکم (پارک)، پوشش گیاهی تنک (فضای سبز)، آب، زمین کشاورزی زراعی، زمین بایر و زمین کشاورزی غیرزراعی، صورت پذیرفت (شکل ۳).

به منظور سنجش میزان دقت طبقه‌بندی تصویر و بررسی انتخاب صحیح مناطق آموزشی^۵، نقشه پوشش - کاربری شهر تهران در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. پس از انتخاب مناطق آموزشی برای کلاس‌های مختلف، با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده^۶ بیشترین شباهت^۷، تصویر طبقه‌بندی شده پوشش - کاربری زمین به دست آمد. دقت کلی تصویر طبقه‌بندی شده به دست آمده از این روش ۷۹/۲۸ درصد بود. به منظور افزایش دقت طبقه‌بندی در این

1. Downwelling and upwelling atmospheric radiance
2. Atmospheric transmittance
3. In-Scene
4. Classification
5. Region of Interest
6. Maximum Likelihood Clasification (MLC)
7. Minimum Noise Fraction

نرمال شده گیاهی^۱، SAVI شاخص تعدیل شده گیاهی برای خاک^۲، LAI شاخص سطح برگ^۳ و α آلبیدوی سطحی است (Bastiaanssen et al., 1998).

آلبیدوی سطحی^۴ (α) به صورت نسبت تابش الکترومغناطیس انعکاس یافته از سطح خاک و گیاه به تابش فرودی نور خورشید به آن سطح، تعریف می‌شود. میزان آلبیدوی سطحی را می‌توان از رابطه (۷) محاسبه کرد.

رابطه (۷)

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{toa}} - \alpha_{\text{path-radiance}}}{\tau_{\text{sw}}^2}$$

که α_{toa} آلبیدوی بالای جو، $\alpha_{\text{path-radiance}}$ آلبیدوی ناشی از رادیانس مسیر، و τ_{sw} قابلیت عبور جوی است.

$\alpha_{\text{path-radiance}}$ عبارت است از میانگین بخشی از رادیانس فرودی خورشید برای تمام باندها که قبل از رسیدن به سطح زمین به سمت سنجنده پراکنده شده است. مقادیر $\alpha_{\text{path-radiance}}$ در محدوده ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۴ است، که در مدل سبال مقدار ۰/۰۳ برای آن پیشنهاد شده است. قابلیت عبور جوی به عنوان بخشی از رادیانس فرودی که به وسیله جو انتقال داده می‌شود، تعریف می‌گردد و نشان دهنده تأثیرات جذب و پراکنش رخ داده در آن است. از آنجا که چنین تأثیری هم برای تابش فرودی وجود دارد و هم برای تابش خروجی، بنابراین در محاسبه آلبیدوی سطحی توان دو قابلیت انتقال عبور جوی وارد می‌شود.

τ_{sw} با فرض صاف بودن آسمان و به تبع آن در شرایط خشک با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$\tau_{\text{sw}} = 0/75 + 2 \times 10^{-5} \times z \quad \text{رابطه (۸)}$$

محاسبه رادیانس حرارتی تصحیح شده، به تعیین گسیل‌مندی در باند حرارتی نیاز است. در سبال دو گسیل‌مندی سطحی استفاده می‌شود، که نخستین آن معرف رفتار سطحی برای گسیل حرارتی در باند حرارتی تصویر ماهواره‌ای است که با علامت ϵ_{NB} نشان داده می‌شود (۱۰/۴ تا ۱۲/۵ میکرون). دومین گسیل‌مندی معرف رفتار سطحی برای گسیل حرارتی در محدوده وسیع حرارتی از ۶ تا ۱۴ میکرون است که با علامت ϵ_0 نشان داده می‌شود. برای محاسبه دمای سطح (T_s)، ϵ_{NB} مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش سبال گسیل‌مندی سطحی به عنوان تابعی از شاخص گیاهی محاسبه می‌شود. گسیل‌مندی‌های سطحی با به‌کارگیری روابط تجربی که در ادامه ذکر می‌گردد به دست می‌آید، که دقت مناسبی نیز دارد. برای مطالعه بیشتر در این خصوص، منبع Bastiaanssen و دیگران (1998) پیشنهاد می‌گردد.

زمانی که $\text{NDVI} > 0$ داریم:

برای $\text{LAI} < 3$:

رابطه (۳)

$$\epsilon_{\text{NB}} = 0/97 + 0/0033 \times \text{LAI}$$

$$\epsilon_0 = 0/95 + 0/01 \times \text{LAI}$$

برای $\text{LAI} \geq 3$:

رابطه (۴)

$$\epsilon_{\text{NB}} = 0/98 \quad \epsilon_0 = 0/98$$

در آب و برف برای ϵ_{NB} و ϵ_0 از فیلتر استفاده می‌شود.

برای آب:

رابطه (۵)

$$\text{NDVI} < 0, \alpha < 0/47 \rightarrow$$

$$\epsilon_{\text{NB}} = 0/99, \epsilon_0 = 0/985$$

برای برف:

رابطه (۶)

$$\text{NDVI} < 0, \alpha \geq 0/47 \rightarrow$$

$$\epsilon_{\text{NB}} = 0/99, \epsilon_0 = 0/985$$

در روابط ۳، ۴، ۵ و ۶، NDVI شاخص تفاضل

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Soil Adjusted Vegetation Index
3. Leaf Area Index
4. Surface Albedo

R_{sky} را می‌توان با فرمول تجربی (۱۲) محاسبه کرد:
رابطه (۱۲)

$$R_{sky} = (1/807 \times 10^{-10}) T_a^4 \left[1 - 0.26 \exp(-7/77 \times 10^{-4} [273/15 - T_a]^2) \right]$$

که T_a دمای هوای نزدیک سطح (k) در لحظه گذر است. برای اینکه بتوان مقادیر R_p و τ_{NB} را محاسبه کرد، به مدل انتقال تابش اتمسفری از قبیل MODTRAN و پروفیل‌های رادیوسوند در لحظه گذر ماهواره نیاز است که در صورت فقدان این اطلاعات می‌توان از آنها چشم پوشید. برای حذف این پارامترها، مقادیر R_p و τ_{NB} به ترتیب برابر ۱ و صفر قرار داده شد. مقادیر R_{sky} هم به اندازه‌های کوچک است که می‌توان آن را نادیده گرفت $R_{sky} \approx 0$. بدین ترتیب R_c معادل L_{NB} می‌شود. در نهایت نیز برای محاسبه دمای سطحی (T_s) رابطه پلانک به کار می‌رود.

رابطه (۱۳)

$$B_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda \times \exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) - 1}$$

$$T_s = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} k_1}{R_c} + 1\right)}$$

که R_c رادیانس باند حرارتی تصحیح‌شده، τ_{NB} گسیل‌مندی سطحی باند حرارتی، و k_1 و k_2 ثوابت معادله‌اند. مقادیر k_1 و k_2 به ترتیب برابر با ۶۶۶/۰۹ و ۱۲۸۲/۷۱ هستند که واحد k_2 درجه کلونین (k) و واحد k_1 $(w/m^2sr\mu m)$ است. مقدار کسر فراوانی پوشش گیاهی^۱ نیز برای هر پیکسل با استفاده از رابطه (۱۴) تعیین گردید.

1. Fraction Vegetaion Cover (FVC)

که z ارتفاع از سطح دریا برحسب متر است. این ارتفاع باید به خوبی نشان‌دهنده ارتفاع منطقه مورد نظر باشد - مانند ارتفاع ایستگاه هواشناسی منطقه. عبارت α_{toa} است از آلبیدوی بالای جو که از رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$\alpha_{toa} = \sum (w_\lambda \times \rho_\lambda) \quad \text{رابطه (۹)}$$

که ρ_λ بازتابندگی نیم کره‌ای در بازه‌های مختلف و w_λ ضرایب وزن‌دار برای باندهای غیرحرارتی‌اند که از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شوند.

$$w_\lambda = \frac{ESUN_\lambda}{\sum ESUN_\lambda} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

برای باندهای غیرحرارتی لندست 7 Land sat ETM+ مقادیر w_λ در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. مقادیر w_λ برای سنجنده ETM+

باند	۱	۲	۳	۴	۵	۶
w_λ	۰/۲۹۳	۰/۲۷۴	۰/۲۳۱	۰/۱۵۶	۰/۰۳۴	۰/۰۱۲

رادیانس حرارتی تصحیح شده (R_c)، رادیانس واقعی گسیل شده از سطح است که برای تأثیرات اتمسفری تصحیح شده باشد. رابطه (۱۱) برای تصحیح رادیانس حرارتی گسیل شده از سطح به کار رفت (Bastiaanssen et al., 1998).

$$R_c = \frac{L_{NB} - R_p}{\tau_{NB}} - (1 - \varepsilon_{NB}) R_{sky} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که L_{NB} رادیانس باند حرارتی، $(w/m^2sr\mu m)$ ، R_p رادیانس مسییر در باند حرارتی، $(w/m^2sr\mu m)$ ، R_{sky} تابش آسمان صاف در باند حرارتی $(w/m^2sr\mu m)$ ، و τ_{NB} قابلیت عبور جوی در باند حرارتی است.

رابطه (۱۴)

$$P_v = \left(\frac{1 - \frac{i}{i_g}}{(1 - \frac{i}{i_g}) - k(1 - \frac{i}{i_v})} \right)$$

تمامی اطلاعات به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و آماری، وارد محیط این نرم‌افزار گردیده است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- بررسی و آنالیز درجه حرارت سطح زمین با

توجه به کلاس‌های پوشش - کاربری زمین

شکل ۴ توزیع مکانی درجه حرارت سطح زمین را برای تصویر لندست از منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. محدوده تغییرات درجه حرارت سطح زمین از ۱۴/۳۷ تا ۵۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد (با میانگین ۴۱/۷۰ و انحراف معیار ۳/۲۰ درجه سانتی‌گراد) است. همان‌طور که در تصویر نیز مشخص است، درجه حرارت سطح زمین بیشتر در نواحی غربی و جنوبی منطقه مورد مطالعه اساساً به علت وجود مناطق بایر و همچنین مناطق صنعتی، مقادیر بالاتری دارد. همچنین، به دلیل وجود نواحی پرتراکم شهری و ساختمانی، قسمت‌های مرکزی و جنوبی منطقه دمای نسبتاً بالایی دارند. جدول ۲ مقادیر برآورد شده درجه حرارت سطح زمین را براساس کلاس‌های پوشش - کاربری زمین نشان می‌دهد. بیشینه دما مربوط به کلاس مناطق صنعتی با محدوده تغییرات ۴۰/۸۰ تا ۴۸/۸۵ درجه سانتی‌گراد (با متوسط ۴۵/۰۸ درجه سانتی‌گراد) و کمینه دما مربوط به کلاس آب با محدوده تغییرات ۲۶/۳۱ تا ۳۳/۳۹ درجه سانتی‌گراد (با متوسط ۲۹/۰۹ درجه سانتی‌گراد) است.

براساس اطلاعات جدول ۲، بالاترین میانگین درجه حرارت سطح مربوط به کلاس‌های مناطق صنعتی به دلیل وجود کارخانه‌های متعدد، زمین بایر و مناطق ساختمانی با تراکم بالاست و کلاس‌های نواحی پوشش گیاهی کم‌تراکم و تنک و همچنین زمین‌های کشاورزی زراعی میانگین درجه حرارت سطح پایین‌تری دارند. نتایج حاصل از این بررسی را از چند دیدگاه می‌توان مورد بحث و بررسی قرار داد.

الف - اراضی بایر و مناطق ساختمانی در قیاس با دیگر اراضی، درجه حرارت بیشتری دارند. در روزهای آفتابی سطح خاک، و آسفالت و سیمان زودتر از بقیه

که i_g مقدار NDVI پیکسل خاک خالص و i_v مقدار NDVI پیکسل پوشش گیاهی خالص و $k = (\rho_{2v} - \rho_{1v}) / (\rho_{2g} - \rho_{1g})$ است که ρ_{2v} و ρ_{1v} به ترتیب، مقدار بازتابش پیکسل‌های خالص پوشش گیاهی در ناحیه مادون قرمز نزدیک و قرمز، ρ_{1g} و ρ_{2g} به ترتیب، مقدار بازتابش پیکسل‌های خالص خاک بایر در ناحیه مادون قرمز نزدیک و قرمز، و i مقدار NDVI برای پیکسل‌های مختلط است. پیکسل خالص با استفاده از روش آنالیز اختلاط طیفی در نرم‌افزار Envi محاسبه شده است.

در این تحقیق، برای پیش‌بینی تأثیرات توسعه بر دمای سطح زمین با بهره‌گیری از اطلاعات به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای، از مدل و روابط رگرسیون استفاده گردید تا بتوان تأثیرات توسعه را بر درجه حرارت سطح زمین برآورد کرد. آنالیز رگرسیون داده روشی برای مدل‌سازی و تحلیل داده‌های عددی است. برای اینکه بتوان رابطه رگرسیونی تغییرات درجه حرارت سطح زمین را به‌دست آورد، ضروری است متغیرهایی را که می‌توانند بر کمیت دمای سطح تأثیر نهند، در سال‌های مورد مطالعه به‌دست آورد. یکی از این متغیرها میزان پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است. با توجه به مطالب ذکر شده، رابطه رگرسیونی مورد استفاده در این تحقیق رگرسیونی خطی با چند پارامتر است:

رابطه (۱۵)

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$$

در آنالیز رگرسیونی Y به‌نام متغیر وابسته یا پاسخ گفته می‌شود و متغیرهای X در مدل رگرسیونی متغیر مستقل یا پیش‌بینی‌کننده عنوان می‌گردند. گفتنی است که در این تحقیق به‌منظور تهیه روابط رگرسیونی از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شده، به‌صورتی که

60×60 متر و فاصله درختان از هم 40 متر است، از این رو اطلاعات مربوط به سطوح پوشش گیاهی درختان مخلوط با سطوح همجوار آن است و با توجه به اینکه سطوح بین درختان اکثراً خاک بایر و آسفالت است، بنابراین دمای سطوح خاک بایر و آسفالت با پوشش گیاهی مخلوط شده و به همین دلیل میانگین درجه حرارت سطح این کلاس بالا رفته است.

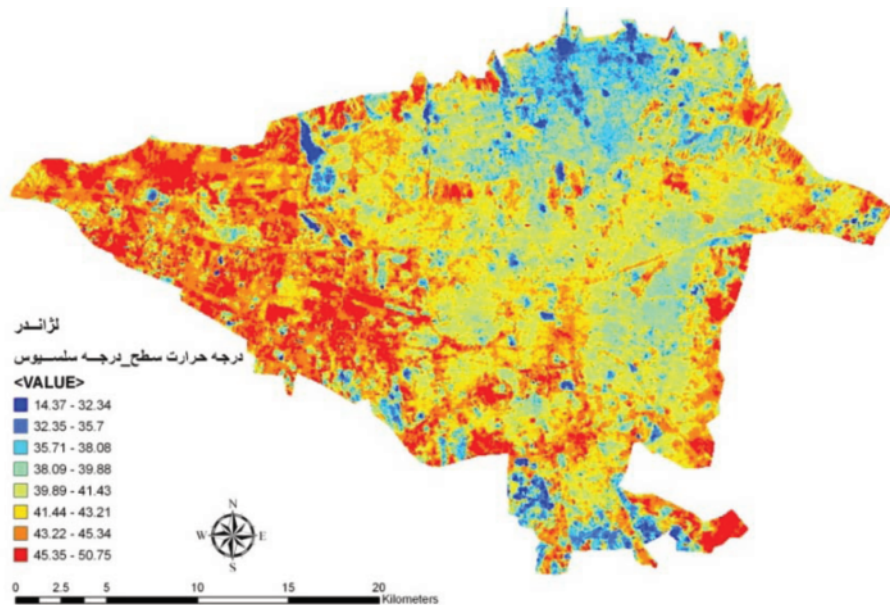
از آنجا که مناطق دارای پوشش گیاهی (از جمله کلاس زمین کشاورزی زراعی، پارک و فضای سبز) درجه حرارت سطح پایین‌تری دارند و با توجه به مطالب پیش‌گفته، به روشنی می‌توان به تأثیر پوشش گیاهی در کاهش دمای سطح این کلاس‌ها پی برد.

باتوجه به اینکه زمان دریافت داده‌ی لندست، سوم ماه ژوئن سال 2001 است، به همین دلیل اندازه‌گیری‌های زمینی برای تعیین دمای انواع سطوح و کاربری‌های زمینی برای آن تاریخ موجود نیست. بنابراین برای انجام مقایسه و بررسی میزان صحت داده‌های درجه حرارت به‌دست آمده در این تحقیق، از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی واقع در محدوده منطقه مورد مطالعه، استفاده شد.

سطوح گرم می‌شوند و در واقع حرارت و گرما را به خود جذب می‌کنند و ویژگی نفوذناپذیر و همچنین پایین بودن اینرسی دمایی این سطوح است که باعث می‌گردد سطوح مذکور درجه حرارت بیشتری بروز دهند.

ب - اراضی و زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها پایین‌ترین درجه حرارت سطح را دارند. دلیل عمده آن است که این اراضی دائماً آبیاری می‌شوند و بنابراین میزان رطوبت در این مناطق بسیار بالاتر است. افزون بر این، به دلیل فعالیت‌های بیولوژیکی پوشش گیاهی این اراضی دمای پایین‌تری دارند و همچنین رفتار طیفی پوشش گیاهی در مقایسه با خاک بایر کاملاً متفاوت است.

ج - برخلاف انتظار، میانگین درجه حرارت سطح برای کلاس پوشش گیاهی متراکم (جنگل) بالا بود. براساس بررسی‌های محلی انجام شده در منطقه مورد مطالعه، سطوح پوششی زمین در محدوده کلاس مورد نظر شامل پوشش متعدد درختان در منطقه به فواصل نسبتاً زیاد از هم (در حدود 40 متر) بود. با توجه به اینکه ابعاد پیکسل‌ها در باند 6 سنجنده ETM+،



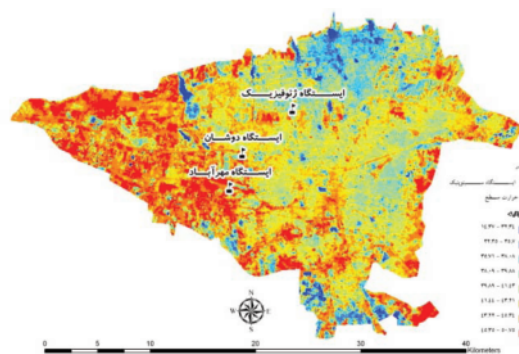
شکل 4. پراکنش مکانی درجه حرارت سطح زمین در منطقه مورد مطالعه

جدول ۲. مقادیر دمای سطح برای انواع پوشش - کاربری زمین

انحراف معیار	میانگین دمای سطح (°C)	حداکثر دمای سطح (°C)	حداقل دمای سطح (°C)	انواع پوشش - کاربری زمین
۳/۰۲	۲۹/۰۹	۳۳/۳۹	۲۶/۳۱	آب
۱/۴۰	۳۹/۸۳	۴۱/۶۱	۳۶/۳۰	پوشش گیاهی تنک - فضای سبز
۲/۶۰	۳۰/۷۷	۴۰/۹۹	۲۷/۲۹	پوشش گیاهی کم تراکم - پارک
۲/۳۴	۴۰/۷۶	۴۶/۶۲	۳۴/۸۰	پوشش گیاهی متراکم - جنگل
۲/۴۰	۴۴/۳۵	۴۹/۵۱	۳۵/۱۴	زمین بایر
۳/۱۰	۳۵/۹۵	۴۶/۱۸	۲۸/۰۰	زمین کشاورزی زراعی
۳/۰۰	۳۹/۱۲	۴۷/۰۷	۳۳/۲۶	زمین کشاورزی غیرزراعی
۱/۵۴	۳۹/۵۲	۴۵/۹۲	۳۴/۸۶	مناطق ساختمانی کم تراکم
۱/۱۹	۴۰/۹۸	۴۵/۱۹	۳۴/۶۰	مناطق ساختمانی متراکم
۱/۵۴	۴۵/۰۸	۴۸/۸۵	۴۰/۸۰	مناطق صنعتی

مورد مقایسه قرار گرفت. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه داده‌های دمای سطح زمین (خاک) برگرفته از سازمان هواشناسی کشور، میانگین دمای سطح زمین در محدوده‌ای به شعاع تقریبی ۵۰۰ متر است. از این رو، در این تحقیق برای درجه حرارت سطح محاسباتی نیز از میانگین پیکسل‌های محدود به شعاع ۵۰۰ متر در محل ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده است. میزان دقت به کار رفته در این آزمون سطح معنی‌دار ۰/۰۵ است (سطح اطمینان ۹۵ درصد) که بایستی به منظور قبول فرض صفر، مقدار sig (p-value) از مقدار سطح معنی‌دار ۰/۰۵ بیشتر باشد (مقدار صفر بین مقادیر حد بالا و حد پایین برای فواصل اطمینان ۹۵ درصد قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، مقدار به‌دست آمده برای T باید از مقدار شاخص به‌دست آمده از جدول توزیع T برای احتمال معین با درجه آزادی مشخص، کمتر باشد. جداول ۳ و ۴ نتایج حاصل از مقایسه را نشان می‌دهد که بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر درجه حرارت سطح به‌دست آمده (تخمینی) و دمای سطح زمین اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مورد نظر است.

آمار مربوط به دمای سطح زمین در محدوده ایستگاه‌های سینوپتیکی سازمان هواشناسی کشور (ایستگاه دوشان، ژئوفیزیک و مهرآباد (شکل ۵)) که برای تاریخ مورد نظر موجود بود دریافت گردید و با داده‌های درجه حرارت سطح زمین به‌دست آمده با استفاده از مدل به کار رفته در این تحقیق در محدوده ایستگاه‌های مذکور، مقایسه شد.



شکل ۵. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

برای این منظور دمای سطح زمین اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مورد نظر با درجه حرارت سطح زمین به‌دست آمده با استفاده از آزمون آماری T جفت شده

بررسی تغییرات درجه حرارت سطح و پوشش - کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ (مطالعه موردی: شهر تهران)

جدول ۳. مقایسه پارامترهای درجه حرارت سطح به دست آمده در این تحقیق و داده‌های سینوپتیک ایستگاه‌های هواشناسی (۳ ژوئن ۲۰۰۱)

ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی	پارامترهای درجه حرارت سطح به دست آمده (°C)				درجه حرارت سطح (°C)
	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	
ایستگاه دوشان	۳۷/۶۴	۴۸/۹۵	۴۳/۷۲	۱/۷۴۱	۴۴/۸
ایستگاه ژئوفیزیک	۳۳/۹۲	۴۳/۹۴	۳۹/۴۰	۲/۱۶۳	۳۸/۷
ایستگاه مهرآباد	۳۵/۱۶	۴۹/۰۸	۴۴/۲۶	۲/۷۸۲	۴۴

جدول ۴. نتایج مقایسه درجه حرارت سطح به دست آمده (تخمینی) و دمای سطح زمین اندازه‌گیری شده برای ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی با استفاده از آزمون آماری T جفت شده

Sig (p-value)	T	فواصل اطمینان ۹۵ درصد برای		انحراف معیار	میانگین اختلاف	نوع مقایسه
		اختلاف میانگین	حد بالا / حد پایین			
۰/۶۸۲	۰/۴۴۰	۲/۳۳۷۵	-۱/۶۹۷۵	۱/۶۲۴۸	۰/۳۲۰	درجه حرارت سطح به دست آمده (تخمینی) و دمای سطح زمین اندازه‌گیری شده برای ایستگاه‌های هواشناسی

جدول ۵. ضریب وابستگی بین درجه حرارت سطح با NDVI و FVC برای انواع کلاس‌ها پوشش - کاربری زمین

انواع پوشش - کاربری زمین	تعداد پیکسل‌های نمونه برداری شده	ضریب وابستگی (NDVI و LST)	ضریب وابستگی (FVC و LST)
آب	۵۷	۰/۵۱۱	۰/۰۷۳
پوشش گیاهی تنک - فضای سبز	۲۵۸۲	-۰/۳۵۶	-۰/۳۰۰
پوشش گیاهی کم تراکم - پارک	۶۰۶۴	-۰/۴۸۸	-۰/۴۳۰
پوشش گیاهی متراکم - پارک جنگلی	۱۸۷۸۸	-۰/۳۰۳	-۰/۳۵۴
زمین بایر	۳۲۴۶۱	-۰/۰۶۹	-۰/۱۸۷
زمین کشاورزی زراعی	۱۹۱۶۷	-۰/۴۶۱	-۰/۴۹۵
زمین کشاورزی غیرزراعی	۲۴۶	-۰/۲۰۷	-۰/۳۰۶
مناطق ساختمانی کم تراکم	۳۷۶۴۳	-۰/۳۴۹	-۰/۴۵۳
مناطق ساختمانی متراکم	۷۱۵۸۶	-۰/۲۹۱	-۰/۳۴۴
مناطق صنعتی	۶۶۵۱	-۰/۱۵۳	-۰/۲۳۲

وابستگی منفی با درجه حرارت سطح (LST) است (به جز برای کلاس آب). وابستگی منفی شدیدی بین درجه حرارت سطح و مقادیر NDVI در کلاس‌های پوشش گیاهی کم تراکم (-۰/۴۸۸) و زمین کشاورزی زراعی (-۰/۴۶۱) دیده می‌شود. این مسئله برای مقادیر FVC نیز در کلاس‌های مورد نظر صادق است. حداقل وابستگی منفی هم برای هر دو مقادیر NDVI و FVC

۴-۲- بررسی و تجزیه و تحلیل ارتباط بین تراکم

پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین

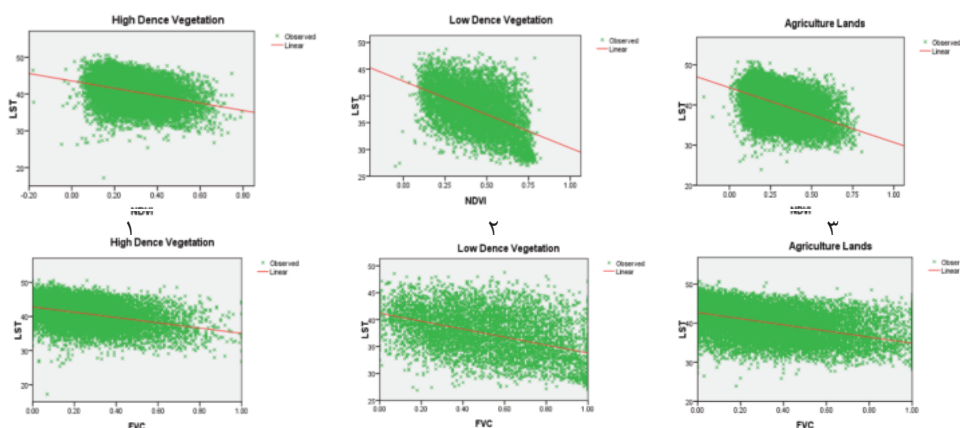
جدول ۵ میزان وابستگی بین درجه حرارت سطح و پارامترهای پوشش گیاهی (NDVI و FVC) را برای انواع کلاس‌های پوشش - کاربری زمین نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، برای تمامی انواع پوشش - کاربری زمین مقادیر NDVI و FVC دارای

اقدام به برآورد درجه حرارت سطح با استفاده از پارامترهای شاخص پوشش گیاهی با وقتی مناسب و منطقی کرد (در صورتی که مقادیر NDVI و FVC معلوم باشند). برای این منظور، ابتدا کلاس‌های پوشش - کاربری زمین که مقادیر وابستگی بالاتری از بقیه کلاس‌ها دارند (از جمله کلاس پوشش گیاهی متراکم، پوشش گیاهی کم‌تراکم یا پارک، و زمین کشاورزی زراعی)، انتخاب شد و سپس روابط رگرسیون خطی بین درجه حرارت سطح زمین و مقادیر NDVI و FVC برای نمونه‌های شاهد (به تعداد نمونه‌های یکسان) در داخل این کلاس‌ها با سطح اطمینان ۹۹ درصد، برقرار گردید (شکل ۶). جدول ۶ روابط رگرسیون خطی بین درجه حرارت سطح زمین و مقادیر NDVI و FVC را برای کلاس‌های زمین کشاورزی زراعی و پوشش گیاهی با سطح اطمینان ۹۹ درصد نشان می‌دهد.

مربوط به کلاس زمین بایر است که به روشنی این مطلب را تأیید می‌کند که در این مناطق تراکم پوشش گیاهی کمتر از دیگر کلاس‌های پوشش - کاربری زمین (به جز آب) است. با مقایسه بین مقادیر درجه حرارت سطح زمین (جدول ۲) و مقادیر وابستگی آورده شده در جدول ۵، می‌توان عنوان کرد که برای کلاس‌های پوشش - کاربری زمین، که در آنها میانگین درجه حرارت بالاتر است، وابستگی بین درجه حرارت سطح و شاخص‌های پوشش گیاهی کمتر است (دارای ضریب وابستگی منفی پایین)، که این مشخصاً تراکم پایین پوشش گیاهی را در این کلاس‌ها نشان می‌دهد. وجود وابستگی شدید بین درجه حرارت سطح زمین و NDVI و FVC در کلاس‌های زمین کشاورزی زراعی و پوشش گیاهی امکان ایجاد روابط رگرسیونی را فراهم می‌آورد، به طوری که می‌توان با استفاده از ایجاد رگرسیونی خطی

جدول ۶. رگرسیون خطی برای برآورد درجه حرارت سطح برای انواع کلاس‌های پوشش - کاربری زمین

انواع پوشش - کاربری زمین	رگرسیون خطی (NDVI)	رگرسیون خطی (FVC)	رگرسیون خطی (NDVI)	رگرسیون خطی (FVC)
پوشش گیاهی متراکم	$Y_{LST} = -10/059 X_{NDVI} + 43/582$	$Y_{LST} = -7/761 X_{FVC} + 42/807$	۰/۱۰۹	۰/۱۳۵
پوشش گیاهی کم‌تراکم	$Y_{LST} = -12/505 X_{NDVI} + 42/769$	$Y_{LST} = -7/730 X_{FVC} + 41/169$	۰/۲۶۳	۰/۲۰۶
زمین کشاورزی زراعی	$Y_{LST} = -13/620 X_{NDVI} + 44/285$	$Y_{LST} = -7/780 X_{FVC} + 42/724$	۰/۲۲۵	۰/۲۳۰



شکل ۶. رگرسیون خطی به منظور برآورد درجه حرارت سطح برای کلاس‌های پوشش گیاهی: ۱- متراکم، ۲- کم‌تراکم؛ و ۳- زمین کشاورزی

درجه حرارت سطح زمین با شاخص‌های پوشش گیاهی از جمله NDVI و FVC برای انواع پوشش - کاربری زمین، می‌توان میزان درجه حرارت سطح زمین را برآورد کرد. به منظور بررسی بیشتر، پیشنهاد می‌گردد مطالعات گسترده‌تری در این زمینه در فصول و شرایط مختلف سال انجام گیرد. همچنین برای دستیابی به نتایج بهتر به‌ویژه تخمین دقیق‌تر درجه حرارت سطح زمین، از تصاویر سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی بالاتری استفاده گردید. آن گونه که در حین مطالعه مشخص شد، دمای سطحی در بخش‌های پرتراکم و بایر شهری بیشتر از بقیه مناطق بود و لذا مدیران و برنامه‌ریزان شهری بایستی در برنامه‌ریزی‌های آتی به نقش و اهمیت ایجاد فضاهای سبز شهری و گسترش آن، به‌ویژه در شهر تهران - که به سرعت در حال رشد و توسعه است - توجه شود.

۶- منابع

- Abdollahi, J., Cheraghi, A.M. and Rahimiyan, M.H., 2008, **Comparison of Environment Effects of Land Use Change on Land Cover and Land Surface Temperature at Urban and Rural Areas**, Using of Remote Sensing Technology, Journal of Environmental Studies, Vol. 34 (45), pp. 85-96.
- Alavipanah, S.K., Sarajian, M.R. and Komaki, Ch.B., 2002, **Limitations of Land Surface Temperature Map of Lut Desert using of Thermal band of Landsat Satellite**, Biaban, Vol. 7 (1), pp. 85-99.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menentia, M., Feddes, R.A., and Holtslag, A.A.M., 1998, **A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)**, Journal of Hydrology, Vol. 212-213 (1998), pp. 198-212.

از منظر اعتبارسنجی نتایج، در مراحل مختلف اجرای تحقیق، براساس داده‌ها و مشاهدات میدانی، نتایج تحقیق اعتبارسنجی شده و مورد بحث قرار گرفته است. به منظور مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات گذشته، با توجه به منطقه مطالعه موردی و داده ETM مورد استفاده، می‌توان به مقاله شکبیا و همکاران (۱۳۸۸) به منظور مطالعه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران اشاره کرد. در این مقاله برای محاسبه پارامتر گسیل‌مندی و درجه حرارت سطح از مدل ترکیبی تعیین درصد پوشش زمین استفاده شده، در حالی که در تحقیق حاضر روش SEBAL به کار رفته است. نتایج تحلیل‌های صورت گرفته حاکی از قابلیت مدل سیال در تخمین مناسب درجه حرارت سطح است. شکبیا و همکاران به تفکیک انواع پوشش گیاهی (مطابق آنچه که در این مقاله انجام شده است) به بررسی رابطه درجه حرارت سطح و نوع پوشش گیاهی نپرداخته است و بدین ترتیب امکان مقایسه دقیق نتایج دو تحقیق وجود ندارد. لیکن به طور کلی نتایج دو تحقیق حاکی از افزایش فراوان حرارت در مناطق ساخته‌شده شهری در مقایسه با سایر مناطق است.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تغییرات درجه حرارت سطح به‌دست آمده نسبت به انواع پوشش - کاربری زمین در شهر تهران با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ تخمین زده شد. همچنین دقت طبقه‌بندی انواع پوشش - کاربری زمین با استفاده از مؤلفه‌های MNF بهبود داده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که استفاده از روش سیال برای تخمین پارامتر گسیل‌مندی و درجه حرارت سطح می‌تواند مؤثر باشد و دمای سطح زمین را تا حد مناسبی نشان دهد. بررسی رابطه بین پارامترهای تراکم پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح مؤید این مطلب است که برای کلاس‌های مختلف پوشش - کاربری زمین، وجود پوشش گیاهی سبب کاهش درجه حرارت سطح زمین می‌گردد. همچنین نتایج به‌دست آمده از بررسی‌ها نشان داد که با ایجاد روابط رگرسیونی بین

- Christopher Small, 2006, **Comparative Analysis of Urban Reflectance and Surface Temperature**, Remote Sensing of Environment 104 (2), pp. 168–189.
- Gallo, K.P., McNab, A.L., Karl, T.R., Brown, J.F., Hood, J.J. and Tarpley, J.D., 1993, **The Use of a Vegetation Index for Assessment of the Urban Heat Island Effect**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 14, pp. 2223-2230.
- Nichol, J.E., 1994, **A GIS Based Approach to Microclimate Monitoring in Singapore's High Rise Housing Estates**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, U.S.A, Vol. 60(10), pp.1225-1232.
- Owen, T. W., Carlson, T. N., and Gillies, R. R., 1998, **An Assessment of Satellite Remotely-sensed Land Cover Parameters in Quantitatively Describing the Climatic Effect of Urbanization**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, pp.1663 -1681.
- Rajasekar, U. and Weng, Q., 2009, **Spatio-temporal Modelling and Analysis of Urban Heat Islands by Using Landsat TM and ETM+ Imagery**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 30(13), pp. 3531–3548
- Renee Gluch, Dale A. Quattrochi, Jeffrey C. Luvall., 2006, **A Multi-scale Approach to Urban Thermal Analysis**, Remote Sensing of Environment Vol. 104, pp.123–132.
- Richards, J.A., 1993, **An Introduction to Remote Sensing Digital Image Analysis**, Springer-Verlag New York, Inc., Second Edition, pp. 225.
- Roth, M., Oke, T. R., and Emery, W. J., 1989, **Satellite-derived Urban Heat Islands from Three Coastal Cities and the Utilization of Such Data in Urban Climatology**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 10, pp. 1699-1720.
- Shakiba, A., Ziaeian, P., Ashourloo, D., and Namdari, S., 2009, **Analysis of Relationship between Land Use/cover and Urban Heat Island**, using ETM⁺. Iranian journal of remote sensing and GIS, Vol.1(1). pp. 39-56.
- 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, Vol. 89, pp.467- 483.
- World Resources Institute, 1990, **World Resources 1990-1991**, New York: Oxford University Press.
- Wubet, M.T., 2003, **Estimation of Absolute Surface Temperature by Satellite Remote Sensing**, M.Sc. Thesis. ITC, Netherlands.
- Xian, G. and Crane, M., 2006, **An Analysis of Thermal Characteristics and Associated Land Cover in Tamba Bay and Las Vegas Using Landsat Satellite Data**, Remote sensing of environment , Vol. 104, pp. 147-156.