

مدل سازی ارتباط کاربری - پوشش اراضی و حرارت سطح زمین، با استفاده از داده های سنجنده ASTER

پیمان ملک پور^۱، محمد طالعی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
payman.malekpour@gmail.com

۲- استادیار، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۱۱

چکیده

از آنجاکه رشد مناطق شهری یک عامل تأثیرگذار در پدیده گرم شدن جهانی است، آگاهی از تغییرات زمانی - مکانی درجه حرارت سطح زمین برای انجام مطالعات علوم زمین از قبیل تغییرات آب و هوای شهری، ضروری است. در این تحقیق، ارتباط آثار تغییرات انواع پوشش - کاربری زمین و تراکم پوشش گیاهی، ناشی از توسعه شهری، بر روی درجه حرارت سطح در تهران بررسی و تجزیه و تحلیل شد. برای این هدف، با استفاده از داده های ماهواره ای چند زمانه سنجنده ASTER، طبقه بندی پوشش - کاربری زمین با استفاده از روش بیشترین شباهت بر روی مؤلفه های MNF صورت گرفت، مقادیر گسیل مندی و درجه حرارت سطح زمین با استفاده از روش TES بر روی داده های ماهواره ای تخمین زده شد و مقادیر تراکم پوشش گیاهی از طریق شاخص های NDVI و FVC به دست آمد. نتایج تحقیق نشان داد که طبقه بندی با مؤلفه های MNF دقت بیشتری در مقایسه با طبقه بندی از طریق باندهای اصلی دارد و نوع پوشش - کاربری زمین دارای تأثیر زیادی بر رژیم های درجه حرارت سطح زمین است. وابستگی شدید بین درجه حرارت سطح و مقادیر NDVI برای کلاس های مناطق ساختمانی کم تراکم، پوشش گیاهی تنک و زمین کشاورزی کشت شده، مشاهده شد و ارتباط درجه حرارت سطح زمین با مقادیر FVC نیز مؤید این مطلب است. تجزیه و تحلیل رگرسیون صورت گرفته بین مشخصه های NDVI و FVC و درجه حرارت سطح نشان می دهد که در صورت تعیین مقادیر NDVI و FVC، درجه حرارت سطح زمین و به تبع آن تغییرات و رشد توسعه شهری را می توان برآورد کرد.

کلید واژه

درجه حرارت سطح زمین، پوشش - کاربری زمین، TES، تجزیه و تحلیل اختلاط طیفی، FVC.

سر آغاز

پوشش گیاهی در شهرهای بزرگ است (Mather, 1986). اندازه گیری درجه حرارت سطح زمین، در ارتباط با خصوصیات فیزیکی سطح زمین که نقش بسزایی در فرایندهای محیط زیستی بازی می کنند، می تواند اطلاعات مفیدی را فراهم کند (Dousset & Gourmelon, 2003; Weng & Schubring, 2004). مطالعات متعددی در زمینه تخمین گرمای نسبی شهرها با استفاده از اندازه گیری درجه حرارت هوا، بر پایه مشاهدات ایستگاههای زمینی، صورت گرفته است (Gallo, 1996). در برخی از مطالعات، اندازه گیری های درجه حرارت به دست آمده از سنجنده های مستقر بر روی وسایل نقلیه، مورد استفاده قرار گرفته است. این روش هم پرهزینه و هم زمان بر بوده و در درون یابی مکانی^۳ تعیین درجه

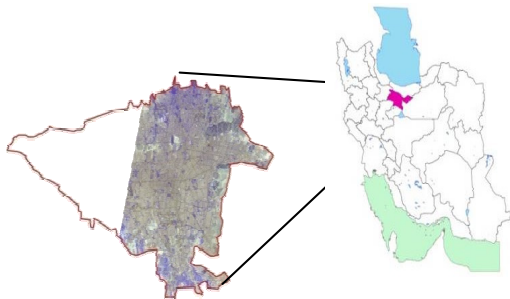
افزایش رشد جمعیت (افزایش طبیعی و مهاجرت) و رشد سریع صنعتی یکی از دلایل اصلی تغییرات آب و هوایی در جهان است. امروزه مهم ترین مشکل در مناطق شهری، افزایش درجه حرارت سطح زمین به دلیل دگرگونی های به وجود آمده در سطوح طبیعی است، که در اثر آن پوشش گیاهی طبیعی حذف شده و با سطوح غیرقابل نفوذ^۱، از جمله سنگ، آسفالت، سیمان و ... جایگزین شده است. اختلاف درجه حرارت بین مناطق شهری و غیرشهری که حاصل از عوامل فوق است پدیده^۲ UHI نامیده می شود (Mather, 1986). UHI در نتیجه ساختمان سازی و گسترش شهر، ایجاد مناطق صنعتی و افزایش ساختمان و در نتیجه کاهش میزان

مطالعات، داده‌های گسیل‌مندی که از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده‌اند استفاده می‌شوند که نشان‌دهنده مقدار گسیل‌مندی در مقیاس پیکسلی ماهواره نیستند (Salisbury & D'Aria, 1992). از این رو، مشخصه گسیل‌مندی به ازای هر پیکسل می‌باید به‌طور مستقیم از داده‌های ماهواره‌ای تعیین شود تا این‌که به تخمینی دقیق و قابل قبول برای درجه حرارت سطح زمین رسید. تحقیق حاضر، نقش توسعه پوشش گیاهی را در کاهش دمای سطح شهر بررسی و ارتباط بین میزان تراکم پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین را برای انواع پوشش - کاربری زمین برای سالهای مختلف مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این مطالعه، از روش TES^{۱۰} برای تعیین گسیل‌مندی و تخمین درجه حرارت سطح زمین استفاده شده است. این تحقیق، تغییرات مکانی درجه حرارت سطح زمین را بر اساس انواع پوشش - کاربری زمین بررسی می‌کند. علاوه بر این، ارتباط بین تراکم پوشش گیاهی (NDVI^{۱۱} و FVC^{۱۲}) با درجه حرارت سطح زمین برای انواع پوشش - کاربری زمین در نواحی مختلف تهران نیز ارزیابی و تجزیه و تحلیل و مدل رگرسیونی به منظور پیش‌بینی درجه حرارت سطح زمین با استفاده از مقادیر NDVI و FVC از قبل تعیین شده، ارائه شده است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

تهران بزرگ‌ترین شهر و پایتخت ایران با جمعیت حدود ۷ میلیون نفر و مساحت ۷۳۰ کیلومتر مربع است که به همراه توابع خود (سایر شهرستان‌های استان تهران)، جمعیتی در حدود ۱۳ میلیون نفر و مساحتی برابر ۱۸،۸۱۴ کیلومتر مربع دارد (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۶). تهران، یک شهر مدرن، در حال توسعه و رشد سریع، با ترکیبی از انواع پوشش - کاربری زمینی است که در معرض خطرهای ناشی از افزایش درجه حرارت سطح زمین و گرمایش جهانی قرار دارد. شکل شماره (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه و پوشش

داده مورد استفاده

حرارت، با مشکلاتی همراه است (Yamashita, 1996). فناوری سنجش دور می‌تواند به‌عنوان راهکاری جدید در بهبود روشهای سابق‌الذکر مطرح شود. مزایای استفاده از داده‌های سنجش از دور، قدرت تفکیک مکانی مناسب، داده‌های پایدار و دارای همپوشانی و توانایی اندازه‌گیری مشخصه‌های سطح زمین است (Owen, Carlson & Gillies 1998). امروزه سنجش از دور نقش مهمی در تخمین مشخصه‌های فیزیکی مرتبط با مطالعات حرارتی شهری دارد. تصمیم‌گیری برای انتخاب داده‌های حرارتی و نوع سنجنده در مطالعات محیط زیست مرحله مهمی محسوب می‌شود. تعداد مختلفی از سنجنده‌های حرارتی وجود دارند که می‌توانند در مطالعات محیط‌های حرارتی شهری مورد استفاده قرار گیرند. از جمله سنجنده^۴ GEOS با قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی ۴ کیلومتر، NOAA AVHRR^۵، MODIS^۶ با قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی ۱ کیلومتر که جزء سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی پایین محسوب می‌شوند (ملک پور، ۱۳۸۸). در صورتی که سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی متوسط از جمله^۷ ASTER و^۸ ETM+ به ترتیب دارای قدرت تفکیک باند حرارتی ۹۰ و ۶۰ متر، هستند. Pierangelo در سال ۲۰۰۴ تأثیر عمده اتمسفر بر جذب، پراکنش و پخش رادیانس ساطع شده از سطح را ارزیابی کرد. در سال ۱۹۹۴ France & Cracknell ارزیابی مناسبی بر روی آثار هواویزها^۹ بر رادیانس و درجه حرارت‌های سطح دریا و زمین، انجام دادند. Rajasekar و همکاران در سال ۲۰۰۹، روشی را برای تعیین میزان گسترش UHI در شهر Indianapolis با استفاده از تصاویر لندست ۵ و ۷ از طریق تحلیل‌های زمانی - مکانی، مورد ارزیابی قرار دادند.

نتایج نشان داد که میزان پخش UHI در شهر از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ از ۱۳/۹۰ کیلومتر به ۲۱/۶۳ کیلومتر در جهت غرب-شرق و از ۱۰/۹۸ کیلومتر به ۱۵/۹۰ کیلومتر در جهت شمال-جنوب افزایش پیدا کرده است (Rajasekar & Weng, 2009). درجه حرارت سطح زمین به میزان پوشش گیاهی و رطوبت خاک حساس بوده، از این رو می‌تواند در شناسایی تغییرات پوشش - کاربری زمین و گسترش شهر، مورد استفاده قرار گیرد. مطالعات گوناگونی طی سالهای اخیر برای بررسی درجه حرارت سطح زمین با استفاده از فراوانی پوشش گیاهی صورت پذیرفته است (Weng, Lu & Schubring, 2004). برای تخمین درجه حرارت سطح زمین، تعیین مقدار گسیل‌مندی سطح مهم و ضروری است. در برخی از

تهیه و آماده سازی داده‌ها

جزئیات مربوط به داده‌های مورد استفاده به شرح زیر است:

تصاویر سنجنده ASTER، اخذ شده در تاریخ‌های ۲۶ ژوئن ۲۰۰۱، ۵ ژوئن ۲۰۰۵ و ۴ سپتامبر ۲۰۰۹، با پوشش ابر صفر درصد و path/row=164/35 و پوشش ۷۰ درصدی از تهران (شکل شماره ۱). نقشه پوششی ۱:۲۵۰۰۰ تهران، داده‌های آماری سینوپتیکی و هواشناسی ایستگاه‌های هواشناسی تهران، نرم افزار 4.3 Envi برای انجام پردازش‌های تصویری، 3.3 ILWIS برای اجرا کردن الگوریتم‌ها، ArcGIS و IDRISI برای انجام تجزیه و تحلیل‌های تصویری و SPSS برای تحلیل آماری و انجام تجزیه و تحلیل رگرسیون.

تصحیح هندسی و رادیومتریک تصاویر ماهواره‌ای

تمامی تصاویر با استفاده از نقشه‌های پوششی ۱:۲۵۰۰۰ تهران در سیستم مختصات WGS84 و سیستم تصویر UTM زون ۳۹ شمالی، با خطای هندسی ۰/۴۵ پیکسل (RMSE=0/45) ژئورفرنس شدند. با توجه به اختلاف زمانی و زاویه ارتفاعی اخذ تصاویر، نیاز است که تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری بر روی تصاویر صورت پذیرد. بنابراین می‌باید خطاهای ایجاد شده در مقادیر

درجات روشنایی ($DN^{(r)}$) ثبت شده از یک پیکسل معین که در سالهای مختلف، تحت تأثیر زاویه دید، زاویه خورشید و شرایط اتمسفری بوجود می‌آید، رفع شود. برای این منظور ابتدا مقادیر درجات روشنایی با استفاده از فرمول زیر به تابش دریافت شده در سنجنده تبدیل شدند (Wubet, 2003):

$$L_{\lambda} = (DN - 1) \times UCC \quad (1)$$

که در آن، L_{λ} : رادیانس طیفی دریافت شده توسط سنجنده ($W/(m^2 \text{ sr } \mu\text{m})$) و UCC: ضریب تبدیل واحد است.

ضریب تبدیل واحد استفاده شده برای باندها و وضعیت Gainهای مختلف سنجنده ASTER در جدول شماره (۱) نشان داده شده است. در مرحله بعد، مطابق با رابطه ۲، مقدار رادیانس طیفی به بازتابندگی طیفی تبدیل می‌شود (Richards, 1993).

$$\rho = \frac{L_{\lambda} \cdot \pi}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_z \cdot d_r} \quad (2)$$

به طوری که d_r مسافت نسبی زمین تا خورشید، θ_z زاویه زینت خورشیدی (درجه) و $ESUN_{\lambda}$ میانگین تابش فرودی خورشید در بالای جو در هر باند است (جدول شماره ۱).

جدول شماره (۱): مقادیر ماکزیم تابش در هر باند و ضرایب تبدیل واحد و ESUN برای سنجنده ASTER

Band No.	High Gain		Normal Gain		Low Gain 1		Low Gain 2		ESUN ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$)
	Maximum radiance	Coefficient	Maximum radiance	Coefficient	Maximum radiance	Coefficient	Maximum radiance	Coefficient	
۱	۱۷۰/۸	۰/۶۷۶	۴۲۷	۱/۶۸۸	۵۶۹	۲/۲۵			۱۸۴۶
۲	۱۷۹	۰/۷۰۸	۳۵۸	۱/۴۱۵	۴۷۷	۱/۸۹	-	-	۱۵۵۵
۳N	۱۰۶/۸	۰/۴۲۳	۲۱۸	۰/۸۶۲	۲۹۰	۱/۱۵			۱۱۲۰
۳B	۱۰۶/۸	۰/۴۲۳	۲۱۸	۰/۸۶۲	۲۹۰	۱/۱۵			
۴	۲۷/۵	۰/۱۰۸۷	۵۵	۰/۲۱۷۴	۷۳/۳	۰/۲۹۰	۷۳/۳	۰/۲۹۰	۲۳۱
۵	۸/۸	۰/۰۳۴۸	۱۷/۶	۰/۰۶۹۶	۲۳/۴	۰/۰۹۲۵	۱۰۳/۵	۰/۴۰۹	۷۹
۶	۷/۹	۰/۰۳۱۳	۱۵/۸	۰/۰۶۲۵	۲۱	۰/۰۸۳۰	۹۸/۷	۰/۳۹۰	۷۴/۴
۷	۷/۵۵	۰/۰۲۹۹	۱۵/۱	۰/۰۵۹۷	۲۰/۱	۰/۰۷۹۵	۸۳/۸	۰/۳۳۲	۷۰/۵
۸	۵/۲۷	۰/۰۲۰۹	۱۰/۵۵	۰/۰۴۱۷	۱۴/۰۶	۰/۰۵۵۶	۶۲	۰/۲۴۵	۵۹/۶
۹	۴/۰۲	۰/۰۱۵۹	۸/۰۴	۰/۰۳۱۸	۱۰/۷۲	۰/۰۴۲۴	۶۷	۰/۲۶۵	۵۶/۳
۱۰			۲۸/۱۷	۰/۰۰۶۸۲					
۱۱			۲۷/۷۵	۰/۰۰۶۷۸۰					
۱۲	-	-	۲۶/۹۷	۰/۰۰۶۵۹۰	-	-	-	-	-
۱۳			۲۳/۳	۰/۰۰۵۶۹۳					
۱۴			۲۱/۳۸	۰/۰۰۵۲۲۵					

(منبع: Abrams, et al., 2002)

هوایی بر روی تصاویر کاهش می‌یابد و نتیجه حاصل نسبتاً استاندارد شده و می‌تواند به طور مستقیم برای مقایسه بازتابش پدیده‌ها بین

با تبدیل مقادیر رادیانس طیفی به بازتابندگی طیفی، آثار مربوط به تغییر شرایط نوردهی، فصل، عرض جغرافیایی و شرایط آب و

مناطق ساختمانی متراکم، مناطق ساختمانی کم تراکم، پوشش گیاهی متراکم (پارک جنگلی)، پوشش گیاهی کم تراکم (پارک)، پوشش گیاهی تنک (چمنزار و فضای سبز، پوشش سبز حاشیه خیابانها)، آب، زمین کشاورزی کشت شده، زمین بایر و زمین کشاورزی کشت نشده (شکل شماره ۳).

برای سنجش میزان دقت طبقه‌بندی تصاویر و انتخاب مناطق آموزشی^{۱۸}، نقشه پوشش - کاربری تهران با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد. پس از انتخاب مناطق آموزشی برای کلاسهای مختلف به طریق بصری و بر اساس لایه‌بندی صورت گرفته در نقشه‌ها، با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده بیشترین شباهت^{۱۹} و تصاویر طبقه‌بندی شده پوشش - کاربری زمین حاصل شد. به منظور افزایش دقت طبقه‌بندی از مؤلفه‌های MNF^{۲۰} استفاده شده است. تبدیل MNF برای کاهش افزونی داده و وابستگی بین باندهای طیفی تصویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. در طبقه‌بندی از سه مؤلفه اول تبدیل MNF با استفاده از الگوریتم بیشترین شباهت استفاده شد، که نشان‌دهنده افزایش چشمگیری در دقت طبقه‌بندی (در حدود ۶ درصد افزایش دقت) است. شکل شماره (۳) تصاویر طبقه‌بندی شده منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

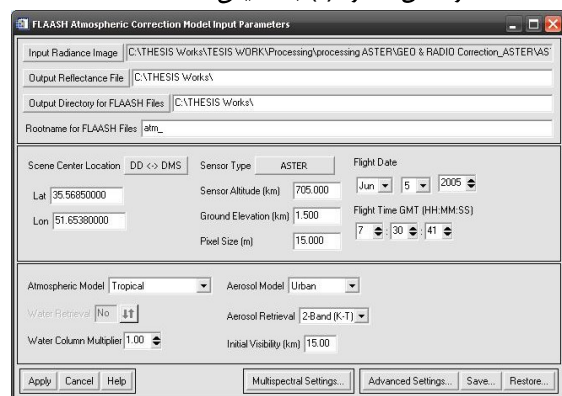
الگوریتم جداسازی دما و گسیل مندی (TES) برای تخمین درجه حرارت سطح زمین

این روش، گسیل مندی سطحی زمین ϵ_i ، و دمای T را از باندهای حرارتی و با استفاده از تابش‌های خروجی زمین^{۲۱} و تابش‌های آسمانی رو به پایین^{۲۲} برآورد می‌کند (Gillespie و همکاران، ۱۹۹۸). این روش بر اساس معادله انتقال تابشی استفاده شده برای داده‌های حرارتی است. در صورتی که تابش دریافت شده در سنسور^{۲۳} L_{isens} ، برای باند i باشد، معادله به فرم زیر خواهد بود:

$$L_i^{sens} = \epsilon_i B_i(T_s) + (1 - \epsilon_i) L_i^{atm\downarrow} \quad (3)$$

به طوری که B_i تابع پلانک است، T_s دمای سطحی زمین و $L_i^{atm\downarrow}$ تابش آسمانی رو به پایین است. الگوریتم TES سه مدل مختلف را به ترتیب استفاده می‌کند. ابتدا، مدل گسیل مندی نرمالایز شده (NEM^{۲۴}) که برای برآورد دمای سطحی و کاهش تابش آسمانی بازتابش یافته استفاده می‌شود. در این مدل با احتساب L_{isens} و $L_i^{atm\downarrow}$ ، به‌عنوان مقادیر ورودی از داده‌های ماهواره به‌عنوان یک محصول استاندارد (ASTER (AST09) و نیز با فرض مقدار اولیه‌ای برای ϵ ، امکان به‌دست آوردن یک مقدار اولیه، برای

تصاویر مختلف و یک تصویر در زمان‌های مختلف استفاده شود. در ادامه، به منظور کاهش آثار اتمسفری از مدل تصحیح اتمسفری FLAASH (یک مدل تصحیح اتمسفری مطلق است)، در نرم افزار ENVI استفاده شده است. مدل‌های تصحیح اتمسفری نسبی برای کاربردهای پیچیده‌تر و در جایی که منابع زیادی از خطاهای اتمسفری وجود دارد (از جمله مناطق شهری)، دقت لازم را نخواهند داشت. مشخصه‌های استفاده شده برای مدل تصحیح اتمسفری FLAASH در شکل شماره (۲) به نمایش گذاشته شده است.



شکل شماره (۲): مشخصه‌های ورودی مدل تصحیح اتمسفری FLAASH

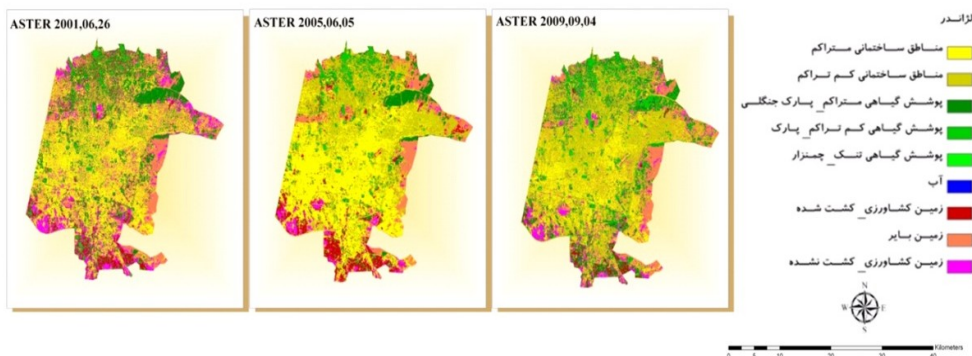
در باندهای حرارتی، تابش اندازه‌گیری شده در سنجنده، به‌علت آثار جوی دستخوش تغییراتی خواهد شد. مشخصه‌هایی که باعث این تغییر می‌شوند، شامل مؤلفه‌های رو به پایین و رو به بالای تابش اتمسفری^{۱۴} و توانایی عبور اتمسفری^{۱۵} هستند. در این تحقیق، با توجه به معلوم نبودن پروفایل‌های اتمسفری طی زمان گذر ماهواره و همچنین عدم دسترسی به نرم افزار MODTRAN، از روش تصحیح اتمسفری حرارتی بر مبنای الگوریتم تصحیح اتمسفری درون صحنه^{۱۶} ISAC، در نرم افزار ENVI استفاده شد. این الگوریتم در ناحیه حرارتی ۸ تا ۱۴ میکرون قابل استفاده بوده و بر این فرض استوار است که روی تمامی داده‌های صحنه، اثر اتمسفر بکنواخت است و حداقل سطحی شبیه جسم سیاه در داخل صحنه وجود دارد. برای این تصحیح نیاز به موقعیت سطح جسم سیاه نیست و فقط برآورد تک لایه‌ای از اتمسفر، استفاده می‌شود (Johnson & Young, 1998).

بارسازی تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی پوشش - کاربری زمین

با در نظر گرفتن اهداف تحقیق و داده‌های مورد، طبقه‌بندی^{۱۷} پوشش - کاربری زمین با ایجاد کلاس‌های زیر صورت پذیرفت:

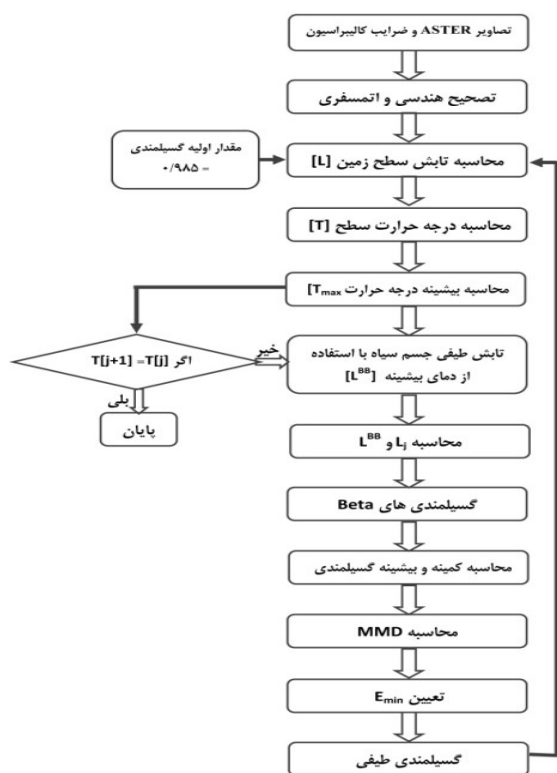
سیس T_s دوباره در معادله (۳) قرار داده شده و مقادیر گسیل‌مندی از باندهای حرارتی ASTER به‌دست می‌آیند. به‌منظور به‌دست آوردن مقادیر دیگری برای ϵ و T روند فوق تکرار می‌شود. معمولاً دو یا سه تکرار برای به تعادل رسیدن نتایج کافی خواهد بود.

دمای سطحی زمین وجود خواهد داشت. در واقع پنج مقدار مختلف برای T_s با معکوس کردن قانون پلانک برای هر باند حرارتی ASTER (باندهای ۱۰-۱۴) با استفاده از معادله (۳) بدست خواهد آمد. مقدار نهایی برای T_s ، ماکزیمم این پنج مقدار خواهد بود.



شکل شماره (۳): کلاس‌های مختلف پوشش - کاربری زمین برای منطقه مورد مطالعه

$$T = \frac{C_2}{\lambda_i^* \cdot \ln[(\epsilon_i^* \cdot C_1 / L_i^* \cdot \lambda_i^* \cdot \pi) + 1]} \quad (7)$$



شکل شماره (۴): روند کلی الگوریتم TES

به‌طوری‌که T^* ، آن باندی از ASTER است که گسیل‌مندی (ϵ_i^*) آن بیشینه باشد. در واقع در مرحله محاسبه درجه حرارت

شکل شماره (۴)، روند کلی الگوریتم TES را نمایش می‌دهد. برای بهتر شدن دقت، دو مدل MMD و $RATIO$ نیز به‌کار برده شد. در مدل $RATIO$ ، گسیل‌مندی‌های نسبی β_i ، از نسبت گسیل‌مندی‌های NEM به مقدار متوسطشان بدست آمد. مدل اختلاف ماکزیمم-مینیمم (MMD)، برای برآورد نهایی گسیل‌مندی و دمای TES استفاده شد. در این مدل یک رابطه تجربی با برآورد ϵ_{min} از MMD برای تبدیل β_i به ϵ_i مورد استفاده قرار گرفت.

اولین مرحله در مدل MMD پیدا کردن کنتراست طیفی است:

$$MMD = \max(\beta_i) - \min(\beta_i) \quad (4)$$

و از آنجا داریم:

$$\epsilon_{min} = 0.994 - 0.687 * MMD^{0.737} \quad (5)$$

در نتیجه، این گسیل‌مندی مینیمم برآورد شده برای محاسبه گسیل‌مندی TES استفاده خواهد شد:

$$\epsilon_i = \beta_i \left(\frac{\epsilon_{min}}{\min(\beta_i)} \right) \quad (6)$$

درجه حرارت سطح (T) که از مدل NEM به‌دست آمده است، به‌علت فرضی بودن مقدار ϵ_{max} ، غیر دقیق بوده و با خطایی در حدود ۳ درجه کلونین، همراه است. در این مرحله، با استفاده از گسیل‌مندی نهایی برآورد شده از رابطه فوق، تابش L_i تصحیح شده و دوباره برای محاسبه درجه حرارت سطح زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. درجه حرارت سطحی نهایی نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

است، از این رو نیاز به محاسبه و استفاده از مؤلفه‌های دیگر در سطح زیر پیکسلی^{۲۷} است.

به منظور مطالعه و بررسی در سطح زیر پیکسلی، تجزیه و تحلیل اختلاط طیفی خطی استفاده شد. در این مدل، طیف به صورت ترکیب خطی از طیف خالص در پیکسل در نظر گرفته شد که با استفاده از درصد فراوانی وزن دهی شد.

در مدل خطی طیف انعکاس یک پیکسل به صورت مجموع انعکاس پیکسل‌های خالص ضرب در درصد فراوانی آن، تعیین شد. مدل اختلاط خطی برای یک پیکسل با انعکاس r_i مشاهده و در باند i به صورت زیر تعریف شد (Lu & Weng, 2004):

$$r_i = \sum_{j=1}^n f_j a_{ij} + \varepsilon_i \quad (۸)$$

که در این رابطه: f_j درصد فراوانی عضو خالص a_{ij} و اکشن طیفی عضو خالص j در باند i و ε_i مقدار خطاست.

درصد فراوانی در هر پیکسل (در نتایج خالص سازی طیفی) با معکوس گیری از رابطه ۸ بدست می‌آید. مجموع درصد فراوانی در هر پیکسل نیز برابر ۱ است.

$$\sum_{i=1}^n f_i = 1 \quad (۹)$$

قید تکمیل کننده مورد نیاز در این رابطه، وجود درصد فراوانی‌ها بین ۰ و ۱ است. $0 \leq f_i \leq 1$

برای حل f_j باید شرایط زیر در نظر گرفته شود:

اعضای خالص انتخاب شده می‌باید مستقل از هم باشند.

تعداد اعضای خالص می‌باید کمتر یا مساوی تعداد باندهای طیفی مورد استفاده باشند.

باندهای طیفی انتخاب شده نباید بشدت به هم وابسته باشند.

به‌دست آوردن تصویر کسر عضو خالص با استفاده از روش

تجزیه و تحلیل اختلاط طیفی خطی شامل سه مرحله است:

۱- پردازش تصویر، ۲- انتخاب اعضای خالص و ۳- جداسازی

طیفی و محاسبه تصویر کسر. انتخاب اعضای خالص مناسب برای رسیدن به تصویر کسر بهینه از اهمیت بالایی برخوردار است. شناسایی و انتخاب اعضای خالص طیفی در یک تصویر یک مشخصه کلیدی در موفقیت مدل جداسازی طیفی خطی است.

برای تعیین اعضای خالص، به علت عدم دسترسی به کتابخانه طیفی آزمایشگاهی و یا داده‌های میدانی در زمان اخذ تصویر، اعضای خالص از مناطقی که در تصاویر شناسایی شده بودند، استخراج شد. بر اساس مطالعات صورت گرفته، سه عضو خالص

سطح، n درجه حرارت سطح (یکی در هر کانال) محاسبه می‌شود که می‌باید برابر باشند، اما اختلاف ناچیزی در عمل نشان داده شده است.

یک روند تکرار در این مرحله پیشنهاد شده است که اختلاف بین n درجه حرارت محاسبه شده را کاهش داده و تصحیح تابش آسمانی رو به پایین را بهبود می‌بخشد.

معمولاً دو یا سه تکرار برای به تعادل رسیدن نتایج کافی خواهد بود. روش TES توانایی بازیابی گسیل مندی را با دقتی در حدود ۰/۱۵ و درجه حرارت سطح را با دقتی حدود ۱/۵ درجه کلون داراست.

جزئیات بیشتر در مورد این الگوریتم در کار Gillespie و همکاران (۱۹۹۸)، ارایه شده است.

دقت برآورد درجه حرارت سطح و گسیل مندی سطح زمین از روش TES وابسته به تعیین دقیق MMD است. عوامل متعددی MMD را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند که می‌توان به خطا در کالیبراسیون کانال‌های حرارتی، تصحیح اتمسفری غیردقیق تابش‌های دریافتی سنجنده و نویز رادیومتریکی T اشاره کرد.

برای سطوحی با تباین طیفی کم ($MMD < 0.3$) نظیر سطوح گیاهی و آب، MMD ظاهری ممکن است بزرگتر از MMD واقعی شود.

در نتیجه رابطه بین ε_{min} و MMD (رابطه ۵) نتایج مطلوبی را ارایه نکرده و منجر به طیف گسیل مندی نادرستی در اندازه (کمتر از مقدار واقعی) و شکل طیف و در نتیجه برآورد نادرستی از درجه حرارت سطح می‌شود.

در این حالت Gillespie و همکاران پیشنهاد کردند که برای تمامی پیکسل‌ها با MMD واقعی کمتر از مقدار آستانه ۰/۰۳، در رابطه (۵)، مقدار $\varepsilon_{min} = 0.983$ که مقدار تقریباً مناسبی برای اجسام خاکستری^{۲۶} مانند آب و پوشش‌های گیاهی است، قرار داده شود. در حقیقت رابطه تجربی بین ε_{min} و MMD فقط وقتی که $MMD > 0.3$ باشد، جهت محاسبه ε_{min} استفاده می‌شود.

تجزیه و تحلیل اختلاط طیفی (SMA) برای تعیین فراوانی پوشش گیاهی (FVC)

در این تحقیق به منظور بررسی فراوانی و تراکم پوشش گیاهی، یکی از مؤلفه‌های در نظر گرفته شده شاخص NDVI است. اما به جهت این که منطقه مورد مطالعه یک منطقه غیریکنواخت

پوشش گیاهی (از جمله کلاس زمین کشاورزی کشت شده، پارک و فضای سبز) از درجه حرارت سطح پایین‌تری برخوردارند، به روشنی می‌توان به تأثیر پوشش گیاهی در کاهش دمای سطح زمین، پی برد. با توجه به تاریخ اخذ داده‌های ماهواره ای (سالهای ۲۰۰۱، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۹) و عدم وجود اندازه‌گیری‌های زمینی برای تعیین دمای انواع سطوح و کاربری‌های زمینی، در این تحقیق، از آمار سینوپتیکی ایستگاههای هواشناسی کشور، به منظور انجام مقایسه و بررسی میزان صحت مقادیر درجه حرارت سطح به‌دست آمده، استفاده شد.

بدین صورت که آمار مربوط به دمای سطح زمین (سطح خاک) در محدوده ایستگاههای سینوپتیکی سازمان هواشناسی کشور (ایستگاه دوشان، ژئوفیزیک و مهرآباد) (شکل شماره ۶) که برای زمان‌های موردنظر موجود بود، اخذ شده و با درجه حرارت سطح زمین به‌دست آمده با استفاده از مدل استفاده شده در این تحقیق، مقایسه شد.

شایان ذکر است، فقط ایستگاه ژئوفیزیک در محدوده تحت پوشش تصاویر قرار دارد، از این رو مقایسه نتایج فقط برای این ایستگاه صورت گرفته است (جدول شماره ۳).

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

میزان دقت مورد استفاده در این آزمون سطح معنی‌دار ۰/۰۵ است (سطح اطمینان ۹۵ درصد) که می‌باید 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 از مقدار شاخص به‌دست آمده از جدول توزیع T برای احتمال معین با درجه آزادی مشخص، کمتر باشد) (Johnson & Bhattacharyya, 2009).

جدول شماره (۴) نتایج حاصل از مقایسه را نشان می‌دهد که مبین عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر درجه حرارت سطح به‌دست آمده (تخمینی) و دمای سطح زمین اندازه‌گیری شده در ایستگاه ژئوفیزیک است.

خاک بایر، پوشش گیاهی سبز و سایه، تصاویر کسر مناسب را تولید می‌کنند که در این تحقیق، از الگوریتم SMACC نرم افزار ENVI به‌منظور استخراج اعضای خالص مورد نظر و در ادامه، از تصویر کسر فراوانی پوشش گیاهی برای تجزیه و تحلیل ارتباط بین درجه حرارت سطح زمین با تراکم پوشش گیاهی، استفاده شد.

نتایج و بحث

تحلیل درجه حرارت سطح زمین در ارتباط با کلاس‌های پوشش -

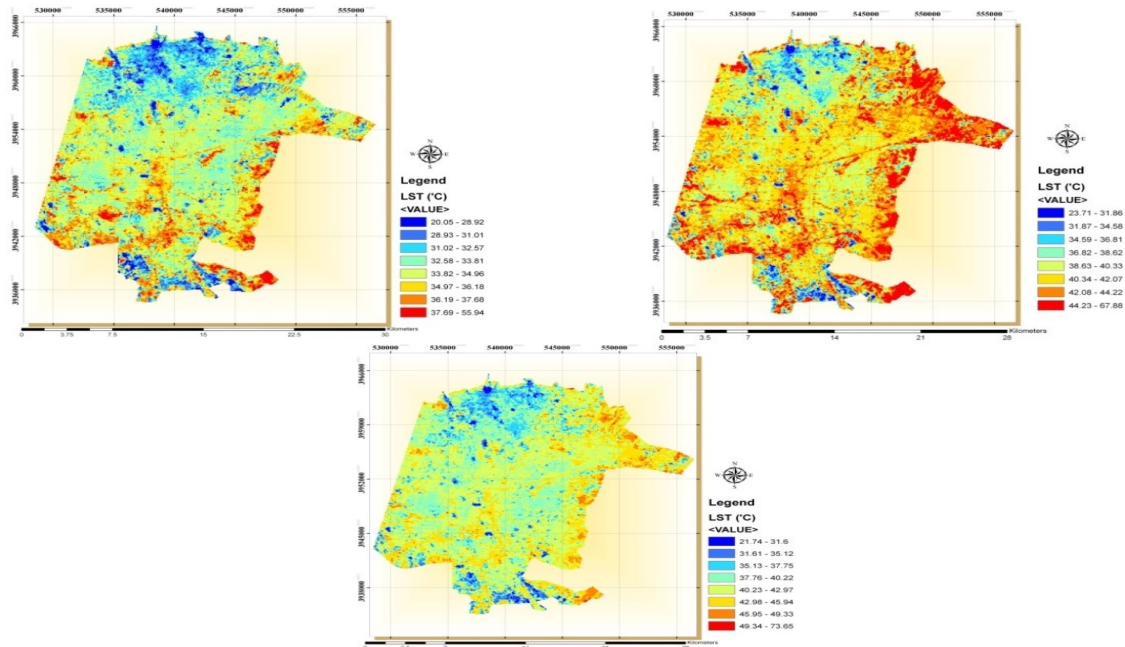
کاربری زمین شهری

شکل شماره (۵) نقشه توزیع مکانی درجه حرارت سطح زمین را برای تصاویر سالهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود محدوده درجه حرارت سطح زمین بین $20/05^{\circ}\text{C}$ تا $55/94^{\circ}\text{C}$ با میانگین $34/00^{\circ}\text{C}$ و انحراف معیار $2/11$ ، بین $23/71^{\circ}\text{C}$ تا $67/88^{\circ}\text{C}$ با میانگین $40/94^{\circ}\text{C}$ و انحراف معیار $3/05$ و بین $21/74^{\circ}\text{C}$ تا $73/65^{\circ}\text{C}$ با میانگین $40/31^{\circ}\text{C}$ و انحراف معیار $4/56$ ، به ترتیب برای تصویر ASTER سالهای ۲۰۰۱، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۹ است.

چنانچه از تمامی تصاویر مشاهده می‌گردد بخش‌های شرقی و مرکزی منطقه دارای درجه حرارت سطح بالایی هستند که اساساً به علت وجود زمین‌های بایر در قسمت‌های شرقی منطقه مورد مطالعه و مناطق ساختمانی در بخش‌های مرکزی است.

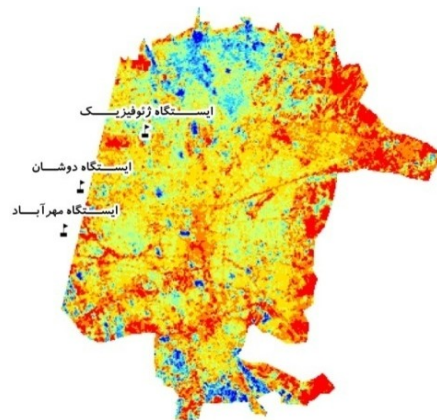
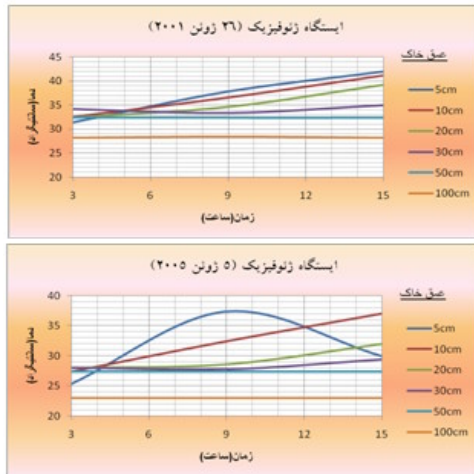
با توجه به نقشه‌های درجه حرارت سطح به‌دست آمده و بدون لحاظ کردن تأثیر تغییر ارتفاع در مناطق مختلف شهر، بخش‌های شمالی و جنوبی منطقه مورد مطالعه از درجه حرارت پایین‌تری نسبت به سایر قسمت‌ها برخوردارند که بیشتر به‌علت وجود پوشش‌های گیاهی و پارک‌ها و فضای سبز در قسمت شمالی و وجود زمین‌های کشاورزی در سمت‌های پایینی و جنوبی منطقه است. جدول شماره (۲) مقادیر درجه حرارت سطح زمین را برای کلاس‌های پوشش- کاربری زمین در سالهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر درجه حرارت سطح در تمامی تصاویر برای کلاس زمین بایر بیشینه است.

پس از آن کلاس‌های زمین کشاورزی کشت نشده، مناطق ساختمانی متراکم و کم تراکم، درجه حرارت‌های سطح بالاتری نسبت به بقیه کلاس‌ها دارا هستند. از آنجایی که مناطق دارای



شکل شماره (۵): پخش مکانی درجه حرارت سطح زمین در منطقه مورد مطالعه (بالا سمت چپ ۲۰۰۱، بالا سمت راست ۲۰۰۵ و پایین ۲۰۰۹)
 جدول شماره (۲): درجه حرارت سطح به دست آمده برای تصاویر ASTER در سالهای مختلف

درجه حرارت سطح زمین (°C)												
سال ۲۰۰۹				سال ۲۰۰۵				سال ۲۰۰۱				
انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	
۱/۴۹۳	۳۸/۴۱	۴۳/۲۶	۳۵/۱۲	۱/۱۰۱	۳۵/۱۶	۴۰/۲۱	۳۳/۳۲	۱/۴۴۸	۴۱/۵۹	۴۶/۹۴	۳۸/۸۲	کلاس پوشش - کاربری زمین
۲/۰۱۲	۳۵/۹۰	۴۱/۱۹	۳۰/۷۵	۰/۸۲۹	۳۳/۷۹	۳۵/۳۳	۳۰/۴۸	۱/۵۵۷	۳۹/۴۶	۴۶/۲۶	۳۶/۴۶	مناطق ساختمانی متراکم
۳/۲۲۵	۳۵/۵۸	۴۵/۷۹	۲۵/۴۸	۱/۷۵۳	۲۶/۶۰	۳۲/۲۰	۲۴/۰۳	۱/۷۱۴	۳۷/۶۰	۴۰/۴۸	۳۳/۹۲	پوشش گیاهی متراکم (پارک جنگلی)
۳/۵۶۰	۲۸/۵۳	۳۷/۴۳	۲۱/۷۴	۱/۵۵۶	۳۰/۸۲	۳۴/۷۸	۲۶/۶۸	۲/۷۴۷	۳۰/۹۱	۴۰/۰۷	۲۶/۲۳	پوشش گیاهی کم تراکم (پارک)
۲/۱۶۴	۳۷/۵۵	۴۰/۱۵	۳۳/۰۷	۲/۴۳۳	۳۳/۰۶	۳۷/۲۰	۳۱/۱۴	۳/۰۳۵	۳۸/۸۷	۴۲/۰۳	۳۲/۸۱	پوشش گیاهی تنک (چمنزار)
۲/۱۷۴	۲۶/۲۸	۲۹/۴۱	۲۳/۵۵	۱/۴۸۴	۲۸/۱۴	۳۳/۱۸	۲۶/۳۸	۲/۳۰۶	۳۱/۷۹	۳۴/۱۰	۲۹/۴۸	آب
۲/۹۱۱	۳۰/۴۹	۳۹/۵۵	۲۴/۸۱	۱/۰۲۳	۳۱/۶۳	۳۷/۲۱	۲۹/۹۲	۴/۶۹۴	۳۴/۲۴	۴۴/۱۸	۲۵/۲۶	زمین کشاورزی - کشت شده
۲/۸۸۸	۴۸/۱۷	۵۸/۲۳	۴۱/۰۴	۱/۱۵۷	۳۶/۲۹	۳۸/۴۹	۳۱/۵۱	۲/۰۳۵	۴۵/۳۱	۴۸/۶۵	۳۸/۸۲	زمین بایر
۲/۰۲۴	۴۴/۹۷	۴۹/۲۵	۴۱/۰۴	۲/۸۰۷	۳۰/۰۵	۳۷/۲۰	۲۵/۲۲	۱/۹۵۰	۴۳/۰۱	۴۶/۲۲	۳۸/۳۷	زمین کشاورزی - کشت نشده



شکل شماره (۶): سمت راست: موقعیت ایستگاههای هواشناسی، سمت چپ: کردار تغییرات دمای سطح زمین برای ایستگاه ژئوفیزیک

جدول شماره (۳): مشخصه‌های درجه حرارت سطح به‌دست آمده در این تحقیق و داده‌های سینوپتیک ایستگاه هواشناسی

ایستگاه هواشناسی (موقعیت)	تاریخ	مشخصه‌های درجه حرارت سطح تخمینی (°C)			درجه حرارت سطح زمین (خاک) (°C) (آمار سازمان هواشناسی)
		حد اقل	حد اکثر	میانگین	
ایستگاه ژئوفیزیک (۳۵° شمالی - ۵۱° شرقی)	۲۶ ژوئن ۲۰۰۱	۳۴/۰۹	۳۸/۱۶	۳۵/۶۵	۳۵/۷
	۵ ژوئن ۲۰۰۵	۲۸/۴۲	۳۳/۰۹	۳۱/۴۱	۳۳/۴

جدول شماره (۴): نتایج مقایسه درجه حرارت سطح به‌دست آمده (تخمینی) و دمای سطح زمین اندازه‌گیری شده

برای ایستگاه سینوپتیک هواشناسی با استفاده از آزمون آماری T جفت شده

Sig(p-value)	T	فواصل اطمینان ۹۵٪ برای اختلاف میانگین		انحراف معیار	میانگین اختلاف	نوع مقایسه
		حد بالا	حد پایین			
۰/۴۸۴	۱/۰۵۲	۱۳/۳۴۵	-۱۱/۳۰۵	۱/۳۷۱۷	۱/۰۲۰	درجه حرارت سطح به‌دست آمده (تخمینی) و دمای سطح زمین اندازه‌گیری شده برای ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک

جدول شماره (۵): ضریب وابستگی پیرسون بین مقادیر

درجه حرارت سطح با مقادیر NDVI و FVC

ضریب وابستگی پیرسون (FVC و LST)	ضریب وابستگی پیرسون (NDVI و LST)	تصویر
-۰/۳۸۴	-۰/۳۵۳	ASTER(Date: 26-06-2001)
-۰/۳۳۵	-۰/۳۷۹	ASTER(Date: 05-06-2005)

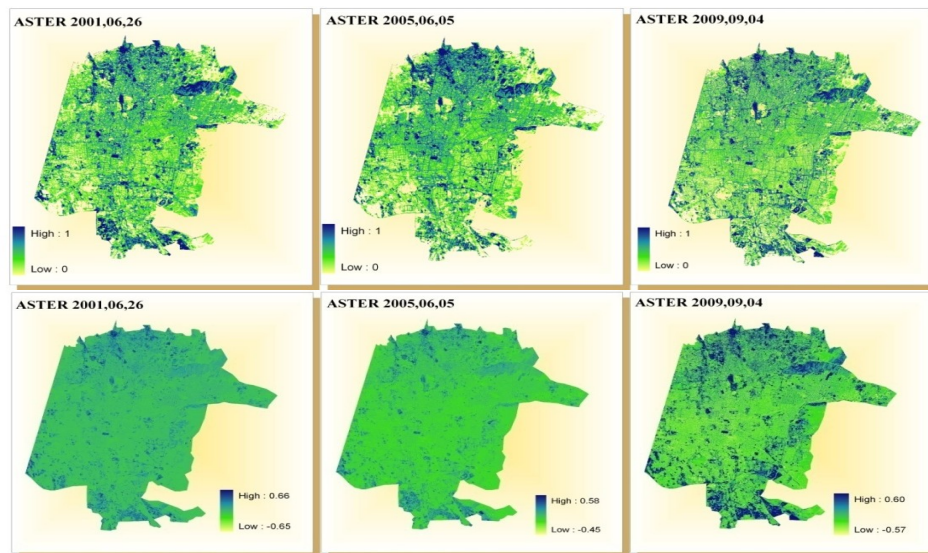
به منظور بررسی دقیق‌تر رابطه بین درجه حرارت سطح زمین و مقادیر تراکم پوشش گیاهی، جدول شماره (۶) وابستگی بین مقادیر درجه حرارت سطح زمین (LST) و مقادیر تراکم پوشش گیاهی (NDVI و FVC) را برای انواع کلاس‌های پوشش - کاربری زمین برای تصاویر ASTER سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵، نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای تمامی انواع پوشش - کاربری زمین مقادیر NDVI و FVC دارای وابستگی منفی با درجه حرارت سطح زمین (LST) است (بجز برای کلاس آب). وابستگی منفی بالایی بین درجه حرارت سطح و مقادیر NDVI برای کلاس‌های پوشش گیاهی متراکم (۰/۳۱۱- و ۰/۲۲۶-)، پوشش گیاهی کم تراکم (۰/۳۶۱- و ۰/۲۷۷-) و زمین کشاورزی کشت شده (۰/۳۶۹- و ۰/۳۵۴-) دیده می‌شود (مقادیر به ترتیب مربوط به سالهای ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ است). همان‌طور که مشهود است این مسئله برای مقادیر FVC هم در کلاس‌های مورد نظر صادق است. حداقل وابستگی منفی هم برای هر دو مقادیر NDVI و FVC مربوط به کلاس زمین بایر در هر دو سال است که به روشنی مؤید این مطلب است که در این مناطق، تراکم پوشش گیاهی نسبت به دیگر کلاس‌های

بررسی اثر تراکم پوشش گیاهی بر درجه حرارت سطح زمین و مدل‌سازی ارتباط آن دو

پوشش گیاهی به عنوان یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های مؤثر در تغییرات درجه حرارت سطح زمین می‌تواند در تحلیل‌های مربوط به رشد و گسترش شهری، ایفای نقش نماید. از این رو در این قسمت به بررسی ارتباط بین درجه حرارت سطح با میزان تراکم پوشش گیاهی پرداخته می‌شود. برای این منظور دو شاخص مهم: شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی یا NDVI و شاخص کسر فراوانی پوشش گیاهی یا FVC، در نظر گرفته شد (شکل شماره ۷). برای بررسی ارتباط بین درجه حرارت سطح زمین و تراکم پوشش گیاهی از تصاویر سنجنده ASTER سالهای ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ استفاده و از تصویر سال ۲۰۰۹ برای کنترل روابط به‌دست آمده برای پیش‌بینی درجه حرارت سطح زمین، استفاده شد. به منظور بررسی ارتباط بین درجه حرارت سطح و میزان تراکم پوشش گیاهی، میزان وابستگی بین درجه حرارت سطح و تراکم پوشش گیاهی در کلاس‌های پوشش - کاربری زمین محاسبه شده است. برای نیل به نتایج بهتر، نقشه‌های NDVI و FVC تولید شده به پیکسل‌های ۹۰ متری نمونه‌برداری مجدد^{۲۸} شدند. جدول شماره (۵) ضرایب وابستگی بین درجه حرارت سطح و تراکم پوشش گیاهی را برای تصاویر ASTER سالهای ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان‌دهنده وجود وابستگی منفی برای مقادیر درجه حرارت سطح زمین با مقادیر NDVI و FVC است.

بالتر است، وابستگی بین درجه حرارت سطح زمین و شاخص‌های پوشش گیاهی کمتر است (دارای ضریب وابستگی منفی پایین)، که بوضوح مبین تراکم پایین پوشش گیاهی در این کلاس‌هاست.

پوشش - کاربری زمین (بجز آب) کمتر است. با مقایسه بین مقادیر درجه حرارت سطح (جدول شماره ۲) و مقادیر وابستگی آورده شده در جدول شماره (۶)، می‌توان عنوان کرد که برای کلاس‌های پوشش - کاربری زمین که در آنها میانگین درجه حرارت سطح زمین



شکل شماره (۷): بالا: تصاویر NDVI و پایین: تصاویر FVC تولید شده برای سا لهای مختلف از منطقه مورد مطالعه

جدول شماره (۶): ضریب وابستگی بین مقادیر درجه حرارت سطح و مقادیر NDVI و FVC

ASTER 2005		ASTER 2001		نوع پوشش - کاربری زمین
ضریب وابستگی و LST (FVC)	ضریب وابستگی و LST (NDVI)	ضریب وابستگی و LST (FVC)	ضریب وابستگی و LST (NDVI)	
-۰/۲۸۵	-۰/۱۹۳	-۰/۳۰۲	-۰/۲۳۴	مناطق ساختمانی متراکم
-۰/۲۹۷	-۰/۲۱۲	-۰/۲۳۴	-۰/۲۳۱	مناطق ساختمانی کم تراکم
-۰/۳۷۸	-۰/۲۲۶	-۰/۴۲۱	-۰/۳۱۱	پوشش گیاهی متراکم (پارک جنگلی)
-۰/۴۰۵	-۰/۲۷۷	-۰/۴۳۸	-۰/۳۶۱	پوشش گیاهی کم تراکم (پارک)
-۰/۳۶۷	-۰/۲۷۶	-۰/۴۱۲	-۰/۲۸۹	پوشش گیاهی تنک (چمنزار)
۰/۴۶	۰/۱۵	۰/۳۶	۰/۱۲	آب
-۰/۴۳۳	-۰/۳۵۴	-۰/۴۵۶	-۰/۳۶۹	زمین کشاورزی - کشت شده
-۰/۰۲	-۰/۰۵	-۰/۱۵۷	-۰/۱۱۲	زمین بایر
-۰/۰۷۶	-۰/۱۳۴	-۰/۰۶۴	-۰/۱۲۲	زمین کشاورزی - کشت نشده

تحلیل رگرسیون خطی درجه حرارت سطح زمین در ارتباط با تراکم پوشش گیاهی

وجود وابستگی شدید بین درجه حرارت سطح زمین و مقادیر تراکم پوشش گیاهی در کلاس‌های پوشش - کاربری زمین، امکان ایجاد روابط رگرسیونی را برای بررسی دقیق تر ارتباط بین این دو مشخصه، فراهم می‌آورد.

به طوری که می‌توان با استفاده از ایجاد یک رگرسیون خطی، اقدام به پیش بینی درجه حرارت سطح زمین با استفاده از مشخصه‌های شاخص پوشش گیاهی؛ با دقت قابل قبول کرد (در صورتی که مقادیر NDVI و FVC معلوم باشند). برای این منظور، ابتدا کلاس‌های پوشش - کاربری زمین که دارای مقادیر وابستگی بالایی نسبت به بقیه کلاس‌ها هستند (از جمله کلاس مناطق ساختمانی کم تراکم، پوشش گیاهی کم تراکم (پارک) و زمین کشاورزی کشت شده) در هر دو تصویر انتخاب شده و سپس روابط رگرسیون خطی بین درجه حرارت سطح زمین و مقادیر NDVI و FVC برای نمونه‌های شاهد (به تعداد نمونه‌های یکسان در هر دو تصویر) در داخل این کلاس‌ها با سطح اطمینان ۹۹ درصد برقرار شد (جدول شماره ۷).

پوشش - کاربری زمین برای هر دو تصویر در سالهای ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ تا حد نسبتاً زیادی مشابه هم است. از این رو از این روابط می‌توان به منظور پیش‌بینی درجه حرارت سطح انواع پوشش - کاربری زمین برای سالهای مختلف نیز استفاده کرد.

همان‌طور که مشخص است، روابط ایجاد شده بین مقادیر درجه حرارت سطح و مقادیر کسر فراوانی پوشش گیاهی (FVC) روابط قویتری نسبت به مقادیر NDVI هستند (ضریب تبیین مقادیر FVC بیشتر است). همچنین روابط ایجاد شده برای هر یک از انواع

جدول شماره (۷): رگرسیون خطی برای پیش‌بینی درجه حرارت سطح انواع پوشش - کاربری زمین

سال اخذ داده	نوع پوشش - کاربری زمین	رگرسیون خطی (LST و NDVI)	رگرسیون خطی (LST و FVC)	ضریب تبیین R ² (NDVI)	ضریب تبیین R ² (FVC)
۲۰۰۱	مناطق ساختمانی کم تراکم	$Y_{LST} = -6/347X_{NDVI} + 41/662$	$Y_{LST} = -15/376X_{FVC} + 47/113$	۰/۱۹۱	۰/۴۰۰
	پوشش گیاهی کم تراکم (پارک)	$Y_{LST} = -8/589X_{NDVI} + 41/350$	$Y_{LST} = -23/363X_{FVC} + 55/772$	۰/۱۹۳	۰/۵۰۲
	زمین کشاورزی کشت شده	$Y_{LST} = -9/055X_{NDVI} + 41/685$	$Y_{LST} = -22/792X_{FVC} + 55/930$	۰/۲۴۳	۰/۵۶۶
۲۰۰۵	مناطق ساختمانی کم تراکم	$Y_{LST} = -6/660X_{NDVI} + 41/766$	$Y_{LST} = -17/314X_{FVC} + 48/513$	۰/۲۳۵	۰/۲۵۶
	پوشش گیاهی کم تراکم (پارک)	$Y_{LST} = -9/034X_{NDVI} + 41/334$	$Y_{LST} = -23/347X_{FVC} + 56/354$	۰/۲۷۸	۰/۴۰۱
	زمین کشاورزی کشت شده	$Y_{LST} = -9/349X_{NDVI} + 41/789$	$Y_{LST} = -23/001X_{FVC} + 43/079$	۰/۳۱۴	۰/۵۳۴

دیگر باید مقدار به دست آمده برای T از مقدار شاخص به دست آمده از جدول توزیع T برای احتمال معین با درجه آزادی مشخص، کمتر باشد (Johnson & Bhattacharyya, 2009). همان‌طور که از جداول مشخص است، برای کلاس‌های مناطق ساختمانی کم تراکم و پوشش گیاهی کم تراکم (پارک) مقدار صفر بین مقادیر حد بالا و حد پایین فواصل اطمینان برای اختلاف میانگین^{۲۹} قرار می‌گیرد. بنابراین فرض صفر، قبول می‌شود که مبین عدم اختلاف بین میانگین درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده و درجه حرارت سطح تخمینی است و نشان‌دهنده رضایت روابط رگرسیونی به دست آمده است. ولی همان‌طور که مشاهده می‌شود، اختلاف میانگین درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده با استفاده از مقادیر FVC معلوم برای کلاس زمین کشاورزی کشت شده معنی‌دار است (مقدار صفر بین مقادیر حد بالا و حد پایین فواصل اطمینان برای اختلاف میانگین قرار ندارد).

علت عمده این مسئله را می‌توان به تاریخ اخذ تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۹ نسبت داد که این تصویر در زمان ماه سپتامبر (اواسط شهریورماه) اخذ شده است و با توجه به این که برای این زمان از سال در منطقه مورد مطالعه زمین‌های کشاورزی و زراعی فصل برداشت خود را سپری می‌کنند و از تراکم نسبتاً پایین پوشش گیاهی و سبزیگی کمتری برخوردار هستند از این رو انتظار می‌رود که مقادیر NDVI و بویژه FVC، نسبت به میزان این مقادیر در ماه ژوئن (تیرماه) که روابط رگرسیونی مورد نظر با استفاده از تصاویر مربوط به این ماه به دست آمده‌اند، تغییر چشمگیری داشته باشند و باعث ایجاد اختلافاتی در روند پیش‌بینی درجه حرارت سطح، همچنان که مشاهده می‌شود، شود.

به منظور بررسی دقت روابط به دست آمده در جدول شماره (۷)، همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد از تصویر ASTER سال ۲۰۰۹ برای ارزیابی و کنترل روابط رگرسیونی ایجاد شده، استفاده شده است. با این هدف، ابتدا مقادیر NDVI و FVC برای تصویر ASTER سال ۲۰۰۹ محاسبه شده و سپس با روابط به دست آمده برای دو تصویر سالهای ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ که در جدول شماره (۷) آمده است، مقادیر درجه حرارت سطح برای کلاس‌های پوشش - کاربری مناطق ساختمانی کم تراکم، پوشش گیاهی کم تراکم و زمین کشاورزی کشت شده در تصویر سال ۲۰۰۹ برآورد شده است. برای این که مشخص شود آیا اختلاف معنی‌داری در میانگین درجه حرارت سطح در این کلاس‌ها در رابطه با درجه حرارت سطح برآورد شده از روابط رگرسیون و مقادیر به دست آمده درجه حرارت سطح (با استفاده از الگوریتم TES) برای تصویر ASTER سال ۲۰۰۹ وجود دارد یا خیر، از آزمون آماری T نمونه‌های جفت شده استفاده شده است. در این آزمون فرض صفر (H0) این است که بین میانگین درجه حرارت سطح اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و فرض مخالف (H1) به معنی این است که بین میانگین درجه حرارت سطح، اختلاف معنی‌دار وجود دارد. نتایج به دست آمده برای این آزمون بر اساس نمونه‌های شاهد (در داخل کلاس‌ها) و مقادیر برآورد شده توسط روابط رگرسیونی برای همان موقعیت نمونه‌های شاهد در جداول شماره (۸ تا ۱۰) ارائه شده است. میزان دقت مورد استفاده در این آزمون سطح معنی‌دار ۰/۰۵ است (سطح اطمینان ۹۵ درصد) که می‌باید 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 فواصل اطمینان ۹۵ درصد قرار می‌گیرد، به عبارت

جدول شماره (۸): مقایسه درجه حرارت سطح تخمینی با درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده با روابط رگرسیونی در کلاس**پوشش - کاربری مناطق ساختمانی کم تراکم برای تصویر ASTER سال ۲۰۰۹**

Sig (p-value)	T	فواصل اطمینان ۹۵٪ برای اختلاف میانگین		انحراف معیار	میانگین اختلاف	نوع مقایسه
		حد بالا	حد پایین			
۰/۵۰۲	۰/۶۹۶	-۰/۳۵۲	۰/۶۷۱	۰/۲۲۹۶	۰/۱۵۹	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۱ با استفاده از مقادیر NDVI معلوم
۰/۳۹۶	۰/۸۸۷	-۱/۳۱۴	۳/۰۵۱	۰/۹۷۹۶	۰/۱۶۸	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۱ با استفاده از مقادیر FVC معلوم
۰/۸۰۳	۰/۲۵۵	-۰/۴۵۷	۰/۵۷۷	۰/۲۳۴۹	۰/۰۶۰	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۵ با استفاده از مقادیر NDVI معلوم
۰/۸۷۱	۰/۱۶۶	-۲/۰۲۵	۲/۳۵۶	۰/۹۹۵۵	۰/۱۶۵	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۵ با استفاده از مقادیر FVC معلوم

جدول شماره (۹): مقایسه درجه حرارت سطح تخمینی با درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده با روابط رگرسیونی در کلاس**پوشش - کاربری پوشش گیاهی کم تراکم (پارک) برای تصویر ASTER سال ۲۰۰۹**

Sig (p-value)	T	فواصل اطمینان ۹۵٪ برای اختلاف میانگین		اشتباه معیار	میانگین اختلاف	نوع مقایسه
		حد بالا	حد پایین			
۰/۱۳۸	۱/۵۸۲	-۰/۲۵۵	۱/۶۵۵	۰/۴۴۲۳	۰/۶۹۹	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۱ با استفاده از مقادیر NDVI معلوم
۰/۴۰۷	-۰/۸۵۸	-۴/۱۱۹	۱/۷۷۸	۱/۳۶۵۰	۱/۱۷۰	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۱ با استفاده از مقادیر FVC معلوم
۰/۰۹۹	۱/۷۷۶	-۰/۱۷۴	۱/۷۸۲	۰/۴۵۲۷	۰/۸۰۴	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۵ با استفاده از مقادیر NDVI معلوم
۰/۲۱۹	۱/۲۹۲	-۴/۷۱۰	۱/۱۸۵	۱/۳۶۴۲	۱/۷۶۲	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۵ با استفاده از مقادیر FVC معلوم

جدول شماره (۱۰): مقایسه درجه حرارت سطح تخمینی با درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده با روابط رگرسیونی در کلاس**پوشش - کاربری زمین کشاورزی کشت شده برای تصویر ASTER سال ۲۰۰۹**

Sig (p-value)	T	فواصل اطمینان ۹۵٪ برای اختلاف میانگین		اشتباه معیار	میانگین اختلاف	نوع مقایسه
		حد بالا	حد پایین			
۰/۲۲۴	۱/۱۷۱	-۰/۴۶۷	۰/۱۲۰	۰/۱۴۸۱	۰/۱۷۳	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۱ با استفاده از مقادیر NDVI معلوم
۰/۰۰۰۱	۱۳/۷۳۴	۶/۷۱۵	۸/۹۸۳	۰/۵۷۱۹	۷/۸۴۹	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۱ با استفاده از مقادیر FVC معلوم
۰/۱۱۱	۱/۶۰۸	-۰/۰۵۷	۰/۵۴۴	۰/۱۵۱۶	۰/۲۴۴	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۵ با استفاده از مقادیر NDVI معلوم
۰/۰۰۰۱	۸/۷۸۶	۳/۹۲۷	۶/۲۱۵	۰/۵۷۷۲	۵/۰۷۱	درجه حرارت سطح تخمینی و درجه حرارت سطح پیش‌بینی شده توسط رابطه سال ۲۰۰۵ با استفاده از مقادیر FVC معلوم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

و دمای سطح زمین را تا حد قابل قبولی نشان دهد. بررسی رابطه بین مشخصه‌های تراکم پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین، مؤید این مطلب است که برای کلاس‌های مختلف پوشش - کاربری زمین، وجود پوشش گیاهی سبب کاهش درجه حرارت سطح زمین می‌شود. به طوری که در حین مطالعه مشخص شد، دمای سطحی در بخش‌های پرتراکم ساختمانی و بایر شهری بیشتر از بقیه مناطق

در این تحقیق، توانایی فناوری سنجش از دور برای مطالعه مرفولوژی شهری، از طریق تخمین و برآورد شدت و پخش مکانی مشخصه حرارت سطح زمین، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که استفاده از روش TES جهت تخمین مشخصه گسیل‌مندی و درجه حرارت سطح زمین می‌تواند مؤثر بوده

دقیق‌تر این موضوع فراهم خواهد شد. همچنین پاره‌ای از فعالیت‌ها از قبیل مسیرهای پُرتردد وسایل نقلیه در شهر، می‌تواند در برخی نقاط منجر به افزایش درجه حرارت شود. بنابراین در صورت در اختیار داشتن داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک زمانی مناسب، امکان بررسی دقیق‌تر این تغییرات به صورت پویا میسر خواهد شد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند بدین وسیله از زحمات و همکاری آقای یوسف رضائی دانشجوی دوره دکتری و سرکار خانم مهرا اکبرزاده، دانشجوی دوره کارشناسی ارشد سنجش از دور دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، صمیمانه تقدیر و تشکر کنند.

یادداشت‌ها

- 1-Impervious Surface
- 2-Urban Heat Island
- 3-Spatial Interpolation
- 4-Geostationary Operational Environmental Satellite
- 5-NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer
- 6-Moderate resolution Imaging Spectroradiometer
- 7-Terra Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer
- 8-Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper
- 9- Aerosols
- 10- Temperature and Emissivity Separation algorithm
- 11- Normalized Difference Vegetation Index
- 12-Fractional Vegetation Cover
- 13- Digital Numbers
- 14-Down-welling and upwelling atmospheric radiance
- 15-Atmospheric transmittance
- 16-In-Scene
- 17- Classification
- 18-Region of Interest
- 19- Maximum Likelihood Classification (MLC)
- 20- Minimum Noise Fraction
- 21-Land-leaving radiance
- 22-Down-welling atmospheric irradiances
- 23-At-sensor radiance
- 24-Normalized Emissivity Method
- 25-Maximum-Minimum Difference
- 26-Gray bodies
- 27-Sub-Pixel
- 28-Resample
- 29-95% Confidence Interval of the Difference

بود. از این رو، می‌توان عنوان کرد که نقش پوشش گیاهی در کاهش دمای سطح شهر حایز اهمیت بوده و مدیران و برنامه‌ریزان شهری می‌باید در برنامه‌ریزی‌های آتی به ایجاد فضاهای سبز شهری به لحاظ کمیت و از نظر پراکنش و گسترش آن، بخصوص در شهر تهران که سرعت درحال گسترش است، توجه ویژه‌ای کنند. همچنین با ایجاد روابط رگرسیونی خطی با مقادیر NDVI و FVC و بررسی ضرایب رگرسیونی حاصل، می‌توان نتیجه گرفت که این روابط توانایی برآورد درجه حرارت سطح زمین را در مناطق غیریکنواخت، در صورتی که مقدار این مشخصه‌ها (NDVI و FVC) معلوم باشند، امکان پذیر می‌سازد. این‌گونه روابط و معادلات رگرسیونی به جهت این که داده‌های حرارتی همیشه در دسترس نیستند در حالی که مقادیر فراوانی تراکم پوشش گیاهی براحتی با استفاده از باندهای مرئی و مادون قرمز قابل حصول هستند، مفید خواهند بود. از این رو می‌توان عنوان کرد که میزان تراکم پوشش گیاهی که بیشتر با شاخص‌های NDVI و FVC بیان می‌شوند، جزء مشخصه‌های مهمی اند که می‌توان از طریق آنها به درجه حرارت سطح انواع پوشش - کاربری زمین دست یافت. آگاهی از علایم و نشانه‌های حرارتی انواع پوشش - کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه می‌تواند در درک مناسب و بهتر نقش آنها در نحوه پخش و گسترش پدیده UHI، مفید واقع شود. به منظور بررسی و تحقیق بیشتر، پیشنهاد می‌شود مطالعات در فصول و شرایط مختلف سال انجام گیرد. همچنین به منظور نیل به نتایج بهتر بویژه تخمین دقیق‌تر درجه حرارت سطح زمین، از تصاویر سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی بالاتر استفاده شود. با دانستن این که درجه حرارت سطح زمین دارای وابستگی منفی با میزان تراکم پوشش گیاهی است، توصیه می‌شود که نواحی و بخش‌هایی از شهر که برای گسترش فضای سبز شهری مناسب هستند، بخصوص مناطق شهری با تراکم بالای ساخت و ساز و مناطق بایر، در اولویت برنامه‌ریزان شهری قرار گیرند. در نظر گرفتن این مسئله باعث کاهش درجه حرارت سطح نواحی شده و بدین طریق در جلوگیری از برهم خوردن تعادل آب و هوا و اقلیم شهر مؤثر واقع خواهد شد. شایان ذکر است که در این تحقیق، ارتباط تغییرات حرارتی مناطق شهری با تغییرات پوشش گیاهی مورد توجه قرار گرفت. ولیکن در سالهای اخیر توسعه عمودی مناطق شهری مورد توجه مدیران شهری قرار گرفته است که در صورت در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به تغییرات عمودی (طبقات) ساختمان‌ها، امکان تحلیل

منابع مورد استفاده

- ملک پور، پ، طالعی م، رضایی، ی، ۱۳۸۸. استفاده از فناوری سنجش از دور در مطالعات محیطهای حرارتی شهری، ماهنامه فضا، سال پنجم، شماره ۴۰-۳۹، ص ۳۳-۳۸، سازمان فضایی ایران.
- مرکز آمار ایران. ۱۳۸۶. نتایج کلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۸۵، پایگاه اینترنتی مرکز آمار ایران، <http://www.amar.org.ir/Upload/Modules/Contents/asset23/kollisarshomari85.pdf>
- Abrams, M., S., Hook, B., Ramachandran. 2002. ASTER Users Handbook, Version 2: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer.
- Dousset, B., F., Gourmelon. 2003. Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 58, p.43-54.
- Franca, G.B., A.P., Cracknel. 1994. Retrieval of land and sea surface temperature using NOAA-11 AVHRR data in north-eastern Brazil, International journal of remote sensing, v. 15 (8), p. 1695-1712.
- Gallo, K.P., D.R., Esterling, T.C., Peterson. 1996. The influence of land use/land cover on climatological values of the diurnal temperature range. Journal of Climate, v. 9, p. 2941-2944.
- Gillespie, A., et al. 1998. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images: IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, v. 36(4), p. 1113-1126.
- Johnson, B.R., S.J., Young. 1998. Inscene Atmospheric Compensation: Application to SEBASS Data at the ARM Site, Aerospace Report No. ATR-99 (8407), Parts I and II.
- Johnson, R.A., G.K., Bhattacharyya. 2009. Statistics: Principles and Methods. Wiley, 6th edition, 704 pages, ISBN: 978-0470409275.
- Lu, D., Q., Weng. 2004. Spectral mixture analysis of the urban landscape in Indianapolis city with LANDSAT-7 ETM+ imagery: Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, v. 70(9), p.1053-1062.
- Mather, A.S. 1986. Land Use (London: Longman).
- Owen, T.W., T.N., Carlson, R.R., Gillies. 1998. An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. International Journal of Remote Sensing, 19, 1663-1681.
- Pierangelo, C., et al. 2004. Dust altitude and infrared optical depth from AIRS, Atmos. Chem. Phys., v. 4, p.1813-1822.
- Rajasekar, U., Q., Weng. 2009. Spatio-temporal modeling and analysis of urban heat islands by using Landsat TM and ETM+ Imagery, *International Journal of Remote Sensing*, v. 30(13), p. 3531-3548.
- Richards, J.A. 1993. An Introduction to Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag New York, Inc., Second Edition, pp.225.
- Salisbury, J.W., D.M., D'Aria. 1992. Emissivity of terrestrial materials in the 8-14 μ m atmospheric windows: Remote Sensing of Environment, v. 42, p. 83-106.
- Weng, Q., D., Lu, J., Schubring. 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies: Remote Sensing of Environment, v. 89, p.467-483.
- Yamashita, S. 1996. Detail Structure of Heat Island Phenomena from Moving Observations from Electric Trans Cars in Metropolitan Tokyo, Atmospheric Environment, v. 30, p. 429-435.