

مطالعه تغییر پذیری فضایی-زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده های حرارتی و انعکاسی TM و ETM+ لندست

رضا امیری^{۱*}، عباس علیمحمدی^۲، سید کاظم علوی پناه^۳

۱-دانشجوی فوق لیسانس رشته سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس

۲-دانشیار دانشکده مهندسی ژئوماتیک و ژئودزی، دانشگاه خواجه نصیر طوسی

۳-دانشیار گروه کارتوگرافی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۵/۰۳/۱۶ تاریخ تصویب: ۸۶/۰۲/۴

چکیده

برای مطالعه و پایش رابطه بین الگوی توزیع و تغییرات دما با کاربری / پوشش زمین در منطقه شهری در حال رشد تبریز تصاویر چند زمانه لندست ۴،۵ و ۷ سنجنده های TM و ETM+ اخذ شده در تاریخ های ۳۰ ژوئن ۱۹۸۹، ۱۸ اوت ۱۹۹۸ و ۲ اوت ۲۰۰۱ مورد استفاده قرار گرفتند. بررسی های انجام شده از طریق طبقه بندی تصاویر و استخراج اطلاعات آماری هر کلاس نشان دهنده ارتباط قوی میان نوع کاربری و دمای سطح است. بررسی رابطه میان NDVI و حرارت سطح با استفاده از تحلیل همبستگی و رگرسیون چند متغیره نقش مؤثر پوشش گیاهی در تعدیل دمای سطح را نشان داد. تغییر پذیری زمانی داده های دما و پوشش گیاهی در فضای نرمال Ft/T^* مطالعه شد. ردیابی موقعیت پیکسل ها در این فضا نشان داد که تغییرات کاربری ناشی از شهرنشینی در فضای فوق به صورت حرکت از شرایط مطلوب (دمای پایین، پوشش گیاهی بالا) به شرایط نامطلوب (دمای بالا، پوشش گیاهی پایین) مشاهده می شوند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که روش استفاده شده کارایی زیادی دارد و برای مطالعه و پایش تغییرات زمانی و مکانی جزایر حرارتی در شهرها می تواند استفاده شود.

واژه های کلیدی: سنجش از دور- جزایر حرارتی شهری- تغییرپذیری زمانی و مکانی- لندست-مدلسازی-مدت مثلث-ردیابی زمانی- مطالعه و پایش

سرآغاز

(Streutker^۴ 2003) و عموماً به همراه تغییر سطح زمین از پوشش های طبیعی به پوشش های غیر قابل رخنه به دست بشر ظاهر می شود. مطالعات سنتی جزیره حرارتی شهری بیشتر با داده های دمای هوای ایستگاه های هواشناسی، یا پیمایش های انجام شده به کمک وسایط نقلیه صورت می گیرد. اندازه گیری UHI به کمک دمای سطح ثبت شده به وسیله سنجنده های فضائی و هوائی روش جدیدی است که در چند سال اخیر برای کاهش ضعف های روش های سنتی استفاده شده است.

گرمایش شهری یکی از شناخته شده ترین اشکال دستکاری محلی اقلیم به دست بشر است، بدین نحو که تغییرات کاربری/پوشش زمین در مناطق شهری می تواند منجر به افزایش دما در مناطق شهری نسبت به دمای هوای مناطق روستایی پیرامون شود. این پدیده به شکل جزیره حرارتی شهری^۱ کمی شده و بیش از ۱۵۰ سال است که در شهرهای مختلف جهان مطالعه و ثبت شده است

داد. با ظهور سنجنده‌های حرارتی با قدرت تفکیک فضایی بسیار بالا مانند سنجنده‌های ATLAS، محققان در مطالعات خود از این داده‌ها برای بررسی الگوهای کوچک مقیاس حرارت در شهر استفاده کردند. Quattrochi و همکاران (1994) و (1998) و Lo و همکاران (1997) با استفاده از داده‌های ATLAS چنین نتیجه گرفتند که پاسخ حرارتی گیاهان می‌تواند بنا به خصوصیات بیوفیزیکی و سایر عوامل بسیار متنوع باشد. در مطالعات اخیر توجه محققان علاوه بر دمای سطح به خصوصیات دیگری مانند عوامل بیوفیزیکی مؤثر بر UHI جلب شده است (Liang, 2004). در این راستا Carlson (1994) نشان داد که پیکسل‌ها در فضای دو بعدی شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح تصاویر چند طیفی، شکل مثلی به خود می‌گیرند. Gallo (۱۹۹۶) نشان داد که اشکال مختلف این مثلث‌ها با خصوصیات سطوح در ارتباط هستند. Carlson (2000) استفاده از متد مثلث برای استخراج مشخصه‌های بیوفیزیکی از تصاویر ماهواره ای را توسعه داد. وی برای نشان دادن اثر تغییرات کاربری / پوشش زمین، حرکت زمانی پیکسل‌ها در فضای مزبور را مورد توجه قرار داد.

در ایران نیز کاربرد تصاویر حرارتی در زمینه‌های مختلفی مورد توجه بوده است. زبیری و مجد (۱۳۷۱) به تهیه نقشه حرارتی دریاچه مهارلو با استفاده از باند حرارتی سنجنده TM پرداختند. اکبری (۱۳۷۹) با استفاده از داده‌های سنجنده TM بررسی جزایر حرارتی شهری و تهیه نقشه توزیع حرارت و آلودگی در شهر تهران را مورد توجه قرار داد. کریمی (۱۳۸۰) با استفاده از روش Spilt-Window به تعیین تعدادی از مشخصه‌های اقلیمی با داده‌های حرارتی AVHRR پرداخت. توکلی صبور (۱۳۸۰) تعیین آنومالی‌های ناشی از فعالیت‌های زمین گرمایی در منطقه سبلان را مورد توجه قرار داد. علوی پناه و همکاران (۱۳۸۱) با استفاده از باند حرارتی سنجنده TM به تهیه نقشه دمای سطح در بیابان لوت پرداختند. نتایج این تحقیق حداکثر دمای اندازه‌گیری شده را ۵۳/۵۴ درجه نشان داد.

در مطالعه حاضر داده‌های حرارتی چند زمانه TM و ETM+ برای بررسی تغییر پذیری مکانی و زمانی دما در ارتباط با خصوصیات فیزیکی (ارتفاع و جهت شیب) و بیوفیزیکی (پوشش گیاهی) چشم انداز در منطقه پویای شهری تبریز مورد استفاده قرار گرفته اند. برای مقایسه تصاویر چند زمانه و ردیابی خط سیر پیکسل‌ها در فضای مثلث، بهنجارسازی

داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی دارای مزیت قدرت تفکیک زمانی بالا، ثبت طولانی داده‌ها و درعین حال دارای قدرت تفکیک مکانی نامطلوبی هستند. اصولاً داده‌های سنجنش از دور، قدرت تفکیک مکانی بالاتری را ارائه می‌کنند، در حالی که دوره کوتاه ثبت داده و قدرت تفکیک زمانی محدودی دارند.

مطالعه UHI با سنجنش از دور، ابتدا با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌های پرتاب شده در دهه ۱۹۷۰ (HCMM, NOAA, TIROS) که حامل اولین سنجنده‌های مادون قرمز حرارتی غیر نظامی بودند، آغاز شد. Rao (1972) اولین محقق بود که نشان داد مناطق شهری از طریق تجزیه و تحلیل تصاویر مادون قرمز حرارتی قابل شناسایی‌اند. Carlson (1977) با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، صحت نتایج بدست آمده از AVHRR را مورد بررسی قرار داد. Matson و همکاران (1978) با استفاده از تصاویر شبانه AVHRR تفاوت‌های دمای سطحی شهر و روستا را بررسی کردند. Price (1979) داده‌های HCMM را برای برآورد شدت گرم شدگی سطوح شهری مورد استفاده قرار داد. Roth و همکاران (1989) با همراه کردن الگوهای دمای سطحی با انواع کاربری زمین، داده‌های حرارتی AVHRR را برای ارزیابی شدت UHI به کار بردند. در نهایت، Streutker (2002) نقشه‌های حرارت سطح مربوط به دو دوره زمانی از داده‌های AVHRR را استخراج کرد و به مدلسازی UHI به صورت سطح قوسی دو بعدی قرار گرفته بر یک پس-زمینه مسطح روستایی پرداخت. این مطالعه نشان داد که شدت UHI به صورت معکوس با دمای مناطق روستایی همبستگی نشان می‌دهد، در حالیکه گسترش فضایی UHI از هر دو عامل شدت UHI و دمای مناطق روستایی مستقل می‌باشد. قدرت تفکیک ۱/۱ کیلومتری داده‌های NOAA فقط برای تهیه نقشه‌های حرارتی کوچک مقیاس مناسب بود و با ظهور سنجنده‌های جدیدتر، نظیر TM با قدرت تفکیک ۱۲۰ متری در باند حرارتی، بهره‌گیری از مزایای آن در مطالعات UHI آغاز شد. Carnahan و همکاران (1990) با استفاده از تصاویر مادون قرمز حرارتی^۲ سنجنده TM به مشاهده متوسط مقیاس تفاوت‌های دمایی میان مناطق شهری و روستایی پیرامون پرداختند. Kim (1992) با بهره‌گیری از داده‌های حرارتی TM سعی در نشان دادن اهمیت آلوده در رطوبت خاک در حرارت سطوح داشت. Nichol (1994) با استفاده از TM مطالعه جامعی برای پایش حرارتی مناطق مسکونی سنگاپور انجام

رقومی ارتفاعی^۴ منطقه به روش وزن دهی معکوس فاصله^۵ و همچنین استخراج محدوده شهر به کار گرفته شدند.

تصحیح هندسی تصاویر براساس نقشه های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به انجام رسید و کلیه تصاویر به سیستم مختصات UTM انطباق داده شد. در تصحیح تمام تصاویر، خطای RMS کمتر از ۰/۵ حاصل شد. به دلیل اهمیت عوارض خطی در این مطالعه، متد بازنویسی خطی برای دست نخورده ماندن عوارضی نظیر جاده استفاده شد.

به دلیل نزدیک بودن زمان اخذ تصاویر و اختلافات ناچیز زاویه و آزیموت خورشید، این تصاویر جهت انجام یک مطالعه چند زمانه مطلوب می‌باشند. تصحیحات رادیومتریک، در نبود هر نوع داده جنبی حاکی از وضعیت اتمسفر در لحظه عبور ماهواره، با استفاده از روش تصحیح نسبی براساس رگرسیون تصویر انجام شد. به دلیل آثار یکنواخت عوامل اتمسفری در این مقیاس، این روش می‌تواند آثار اتمسفری در تصاویر چند زمانه را به حداقل رسانده، و یا از بین ببرد (Jensen, 1986). بررسی تصاویر نشان می‌دهد که از مجموع داده‌ها، تصویر سال ۹۸ آلوده به ابر است که این مناطق و سایه آنها باعث ایجاد اختلال در عملیات طبقه بندی و تخمین دمای سطح می‌شود. برای رفع این اشکال، مناطق یاد شده شناسایی و حذف شدند.

بعلاوه NDVI به عنوان شاخصی از وضعیت پوشش گیاهی سطوح، استفاده شد. این شاخص در ارتباط با تغییرات توده گیاهی سبز، محتویات کلروفیل و تنش آبی گیاه است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

محاسبه LST

باند حرارتی تصاویر لندست ۴، ۵ و ۷ براساس اطلاعات مرجع و کالیبراسیون موجود به همراه تصویر و راهنمای سنجنده، یا مدل‌های تجربی ارائه شده (در نبود داده های مرجع سنجنده) برای استخراج حرارت نسبی سطح به قرار زیر استفاده شدند:

ماهواره لندست ۷

تصویر حرارتی با بهره بالای این سنجنده، با روش پیکسل به پیکسل به ترتیب زیر به دمای سطحی تبدیل شد:

۱- تبدیل اعداد رقومی (DN) به رادیانس طیفی براساس مقادیر مرجع تابش طیفی ارائه شده در کتابچه راهنمای سنجنده براساس رابطه زیر:

تصاویر با کمک روش مثلث انجام شد. همچنین روش مثلث در مطالعه ارتباط میان تغییر در الگوهای زمانی توزیع حرارت با تغییرات زمانی رخ داده در NDVI و کلاس‌های کاربری به کار رفته است. علاوه بر ارزیابی توانایی داده‌های حرارتی و امکانات سنجنده‌های جدیدی چون ETM+ در مطالعات جزیره حرارتی شهری، استفاده از این داده‌ها در بررسی تغییرات الگوهای کاربری / پوشش زمین بر اثر شهرنشینی سریع در شهر تبریز و آثار گسترش شهر بر الگوهای حرارتی و در پی آن زندگی شهروندان از اهداف تحقیق حاضر بوده است.

داده‌ها و روش شناسی

منطقه مورد مطالعه

شهر تبریز در عرض ۲۵° ۵' ۳۸" شمالی و طول ۴۶° ۱۷' ۵" شرقی در جلگه شرقی دریاچه ارومیه، در مسیر رودخانه آجی‌چای و محصور میان کوه‌های محلی از شمال و پیش‌کوه‌های سه‌پند از جنوب است که کم ارتفاع ترین نقطه آن ۱۳۶۱ متر در محل فرودگاه تبریز است این شهر به عنوان بزرگترین مرکز زیستی غرب کشور براساس آخرین سرشماری سال ۱۳۷۵ دارای جمعیتی بالغ بر ۱۱۹۱۰۴۳ نفر بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۷۶).

در دوران اخیر نیز نرخ رشد سالانه جمعیت این شهر برای دوره ۴۰ ساله (۱۳۳۵ تا ۱۳۷۵) با ۳/۵۹ درصد جزء بالاترین ارقام نرخ رشد در کشور بوده است (وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۷۲). این افزایش سریع جمعیت به صورت اشغال و تخریب چشم‌اندازهای طبیعی پیرامون شهر با ایجاد سکونتگاه‌های شهری بروز کرده است.

داده‌های مورد استفاده و پیش پردازش تصاویر

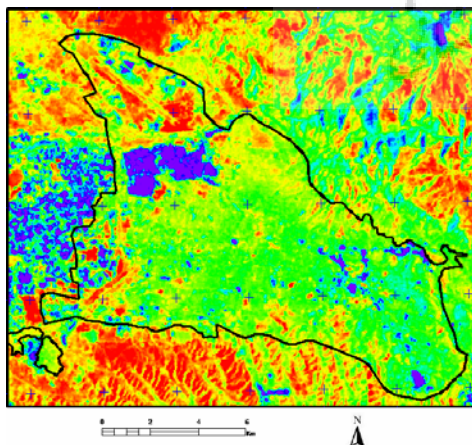
داده‌های مادون قرمز حرارتی اخذ شده به وسیله سنجنده TM ماهواره‌های لندست ۴، ۵ و سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ در حالت بهره بالا^۳ به ترتیب مربوط به تاریخ های ۳۰ ژوئن ۱۹۸۹، ۱۸ اوت ۱۹۹۸ و ۲ اوت ۲۰۰۱ برای استخراج دمای سطح استفاده شدند.

به دلیل عبور صبح هنگام سنجنده‌ها احتمال تشخیص جزیره حرارتی در حال تشکیل توسط داده‌های حرارتی فوق به حداکثر می‌رسد (Nichol, 1996). داده‌های چند طیفی همین سنجنده‌ها نیز برای استخراج خصوصیات کاربری / پوشش زمین به کار گرفته شدند. علاوه بر این، نقشه‌های توپوگرافی رقومی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در تولید مدل

که در آن، $\lambda =$ طول موج رادیانس ساطع شده، $hc/k = \alpha$ ، $h =$ ثابت پلانک (6.62×10^{-34} j.sec)، $c =$ سرعت نور (2.998×10^8 m/sec)، $k =$ ثابت استفان بولتزمان ($1/38 \times 10^{-23}$ J/K) و $\varepsilon =$ گسیلمندی است. از آنجا که پوشش گیاهی دارای اثر عمده در حرارت سطح شناخته شده است، تصحیح گسیلمندی با این روش قدرت تفکیک فضائی و صحت داده ها را افزایش می دهد (Nichol, 1996). این عملیات علاوه بر افزایش متوسط مقادیر درجه حرارت، تأثیر یکنواخت بر روی تصویر نداشته و باعث تمایز حرارتی کلاس های کاربری مختلف براساس مقدار توده گیاهی موجود می شود (شکل شماره ۱). در مرحله پایانی تبدیل داده ها، تغییر واحد از درجه کلون به درجه سانتیگراد با رابطه زیر صورت گرفت:

$$Celsius = Kelvin - 273.15 \quad (\text{رابطه ۶})$$

ترکیب باندهی ۴-۴-۶ (Baumann, 2001) برای بررسی مقدماتی توزیع حرارت استفاده شد. در این ترکیب رنگی کاذب، اطلاعات حرارتی باند ۶ با تن های قرمز توام با اطلاعات الگوی کاربری / پوشش به صورت تن های سبز و آبی از باند ۴ همراه است که در آن برای بهبود نمایش تباین و بهره گیری مؤثر از محدوده ۸ بیت، کانال قرمز بسط داده می شود (شکل شماره ۲). بارزترین پدیده قابل مشاهده تعلق کمترین مقادیر دما به پوشش سبز مناطق شرقی تبریز و وجود هسته های پر حرارت منطبق بر مناطق تجاری مرکزی شهر است، علاوه بر این آثار پارک ها و فضای سبز، بخصوص در مجاورت مناطق گرم مرکزی شهر در ایجاد جزایر خنک شهری بارز است.



شکل شماره (۱) نقشه حرارت سطح تصحیح شده از نظر گسیلمندی بر

حسب درجه سلسیوس، ۲۰۰۱

(رابطه ۲) $L_{\lambda} = [(L_{\max} - L_{\min}) / (QCal_{\max} - QCal_{\min}) \times QCal] + L_{\min}$ که در این رابطه $(QCal_{\min} = 1)$ ، $(QCal_{\max} = 255)$ ، $(QCal = DN)$ و L_{\min} و L_{\max} تابش طیفی مرجع باند ۶ در DN به ترتیب معادل ۱ و ۲۵۵ برحسب $(W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$ است.

۲- تبدیل واریانس طیفی به دمای جسم سیاه: از رابطه پلانک برای تبدیل مقادیر تابش طیفی به دمای جسم سیاه (T_b) استفاده شد:

$$T_b = K_2 / \ln(K_1 / L_{\lambda} + 1) \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در این رابطه $(T_b =$ دمای مؤثر در ماهواره بر حسب $^{\circ}K$)، $(K_1 =$ ثابت کالیبراسیون اول معادل $(666/0.9)$ بر حسب $(W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$)، $(K_2 =$ ثابت کالیبراسیون دوم معادل $(1282,71)$ بر حسب $^{\circ}K$) و $(L_{\lambda} =$ رادیانس طیفی برحسب $(W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$) است.

ماهواره لندست ۵

رابطه تجربی درجه دوم (Malaret, 1985) برای تبدیل مقادیر DN به دمای تشعشی مورد استفاده قرار گرفت:

$$T_K = 209.831 + 0.334DN + 0.00133DN^2 \quad (\text{رابطه ۴})$$

مقادیر محاسبه شده از طریق رابطه فوق به یک جسم سیاه با گسیلمندی مساوی یک ارجاع داده شده اند.

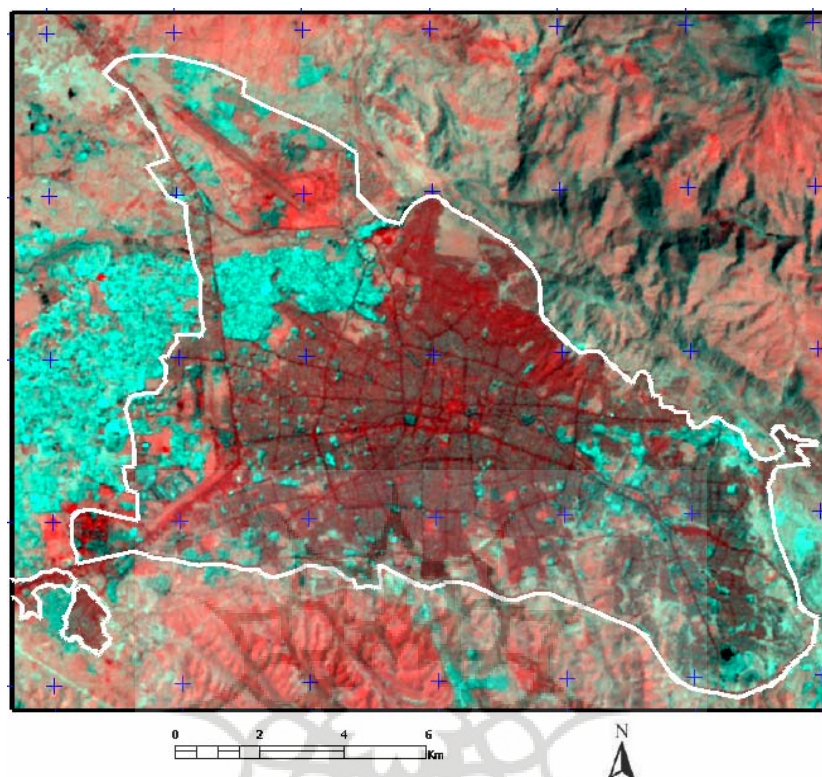
ماهواره لندست ۴

برای تبدیل داده های Landsat 4، روش Look-up Table استفاده شد (Eastman, 1999).

تصحیح گسیلمندی

عدم انجام تصحیحات گسیلمندی منبع عمده خطا در تخمین درجه حرارت سطوح است. به دلیل اهمیت این مسئله کلیه تصاویر حرارتی به وسیله فرایند ذیل از نظر گسیلمندی تصحیح شدند. در مرحله اول تصویر NDVI تولید شده با آستانه گذاری به دو کلاس عمومی پوشش گیاهی و مناطق فاقد پوشش گیاهی تفکیک شده و سپس تصویر گسیلمندی با جایگزینی مقادیر ۰/۹۵ و ۰/۹۸، به ترتیب به جای دو کلاس فوق تهیه شد. این تصویر در رابطه زیر برای تعیین دمای سطح مورد استفاده قرار گرفت:

$$T_s = T_b / [1 + (\lambda T_b / \alpha) \ln \varepsilon] \quad (\text{رابطه ۵})$$



شکل شماره (۲): تصویر ترکیب رنگی کاذب ۶-۴-۴، (۲۰۰۱)

طبقه بندی تصاویر

انجام طبقه بندی مقدماتی با استفاده از نواحی آموزشی^۶ و الگوریتم طبقه بندی حداکثر احتمال^۷ به نتایج غیرقابل قبولی مانند پیکسل‌های منفرد، یا خوشه ای، منجر شد که نشان دهنده شهر در نقاط کوهستانی غیر شهری و عدم دقت طبقه بندی در بافت فشرده درون شهری است برای رفع این اشکالات، تغییراتی به نحو زیر در فرآیند طبقه بندی داده شد. برای به حداقل رساندن بار پردازش سیستم از تصاویر مولفه‌های اصلی^۸ به جای باندهای اصلی استفاده شد. علاوه بر این داده‌های غیرطیفی بافت پیرامون پیکسل (شاخص واریانس) و ارتفاع به عنوان باند در طبقه بندی به کار گرفته شدند. بافت در محیط پیچیده شهری با بارز کردن تباین موجود بین عناصر نزدیک بهم، به بهبود عملکرد طبقه بندی منجر می شود (Haralick et al., 1973). استفاده از ارتفاع بصورت یک لایه مجزا در بهبود عملکرد طبقه بندی، خصوصاً حذف آنومالی‌های رخ داده در برخی از کلاسها موثر است (Strahler et al., 1978). با اعمال این روش دقت طبقه بندی تصاویر به حد مطلوب بالای ۷۰ درصد در هر

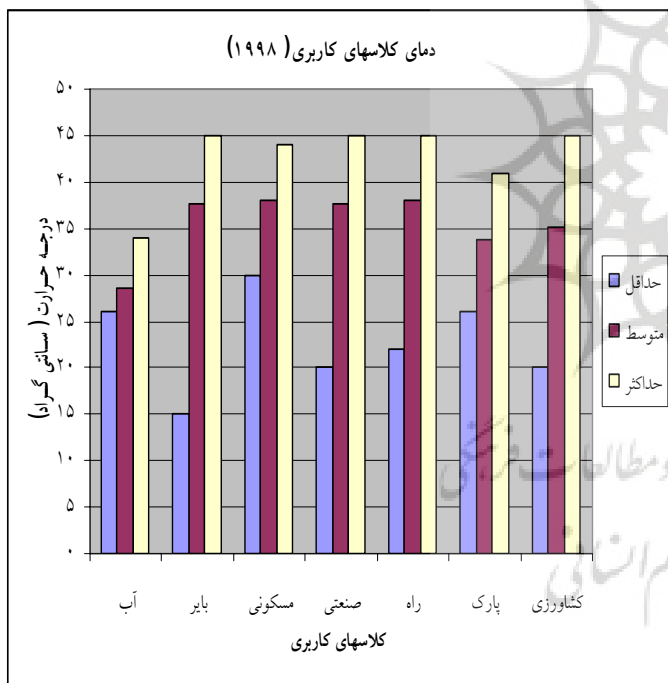
سه تصویر افزایش یافت. برای تهیه نقاط آموزشی از ترکیب باندی ۳-۴-۵ که بیشترین اطلاعات را در مورد کاربری / پوشش زمین دارد، (Asmat, 2003) استفاده شد.

ارزیابی دقت نتایج طبقه بندی جهت تأیید نتایج به دست آمده با کمک نمونه‌های زمینی انجام شد. برای این منظور ماتریس خطا تهیه و دقت کاربر برای هر سه تاریخ ارزیابی شد، نتیجه این که در بیشتر کلاسها دقت مناسب حاصل شده است.

نرمال سازی تصاویر

برای ایجاد امکان مقایسه تغییرات در مشخصه های بیوفیزیکی تصاویر چند زمانه موجود و پی بردن به روابط موجود میان آنها، فرایند نرمال سازی انجام شد. بدون انجام این مرحله، تغییر پذیری بین صحنه ای در وضعیت سطوح، نوع شناسی گیاهان و وضعیت جو (مه، غبار و رطوبت) به عنوان تغییرات مشخصه‌ها تعبیر شده و در انجام صحیح چنین مقایسه‌ای تداخل ایجاد خواهد کرد. ابتدا پیکسل‌های آلوده به ابر به دلیل اثر تداخلی در NDVI و حرارت به شکل مقادیر منفی و ناهنجار

درجه خنک ترین کلاس است. این اختلاف به دلیل قابلیت هدایت گرمایی بالای آب و همچنین مصرف انرژی جهت تبخیر و تعرق آب است. گروه دوم حرارتی (گروه حرارت متوسط) شامل کاربری های فضای سبز و کشاورزی است که با کلاس های گرم تر از خود تفاوت مشخص (با توجه به زمان تصویر برداری) در حدود ۴ تا ۵ درجه دارد. اثر خنک کنندگی پوشش گیاهی با استفاده از سازوکار تبخیر و تعرق در تصاویر حرارتی به صورت جزایر خنک در مناطق پرحرارت شهری به خوبی مشهود است. کلاس های کاربری ساخته شده (مسکونی، صنعتی و راه) گروه سوم پر حرارت با مقادیر حرارتی نزدیک به هم را تشکیل می دهند که با جذب انرژی بسرعت گرم شده و مقادیر بالایی را نشان می دهد.



شکل شماره (۳): دمای سطح کلاس های کاربری بر حسب درجه سانتیگراد (۱۹۹۸)

برای بررسی رابطه میان دمای سطح و عوامل فیزیکی و بیوفیزیکی (ارتفاع و پوشش گیاهی) و تأثیر این عوامل بر نحوه توزیع حرارت سطح، از تحلیل همبستگی و رگرسیون چند مرحله ای استفاده شد. مقادیر همبستگی حرارت با دو متغیر NDVI و ارتفاع در جدول شماره (۲)

به وسیله ماسک از پردازش های بعدی حذف شدند. مقادیر NDVI به صورت خطی از طریق رابطه (۶) بین حدود خاک خشک ($NDVI_0$) و مناطق دارای پوشش گیاهی صد در صد ($NDVI_s$) کشیده شد. این عملیات خطی همچنین می تواند خطای رخ داده در کالیبراسیون و تصحیحات اتمسفری را کاهش دهد (Owen et al., 1998).

$$N^* = (NDVI - NDVI_0) / (NDVI_s - NDVI_0) \quad (\text{رابطه } 6)$$

نسبت پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر به دست آمده به شکل زیر محاسبه شد:

$$Fr = N^{*2} \quad (\text{رابطه } 7)$$

رابطه غیر خطی موجود با فرض شرایط پوشش گیاهی در شرایط عدم تنش است (Owen et al., 1998). روال نرمال سازی مشابهی بر روی سه تصویر حرارت اعمال شد. مناطق دارای بیشترین حرارت (T_{max}) و خنک ترین حرارت (T_0) به ترتیب برای پوشش های خاک خشک و خاک مرطوب در هر سه تصویر تعیین شدند و جهت تولید حرارت نرمال شده در رابطه زیر قرار گرفتند:

$$T^* = (T_s - T_0) / (T_{max} - T_0) \quad (\text{رابطه } 8)$$

که T_s حرارت سطح در محل پیکسل است. مقادیر Fr و T^* محاسبه شده بدون ابعادند. تصاویر به دست آمده در نمودار پراکنش دو بعدی (Fr/T^*) پیاده شدند که به شکل مثلثی کلاسیک منجر شد (شکل شماره ۷).

نتایج

تجزیه و تحلیل رابطه میان LST با مشخصه های فیزیکی و

بیوفیزیکی

با استفاده از تصویر طبقه بندی کاربری / پوشش و داده های حرارت سطح، اطلاعات آماری هر یک از کلاس های کاربری شامل متوسط، حداکثر واریانس استخراج شد (شکل شماره ۳). با توجه به شکل شماره (۳) گرمترین کلاس پوشش در سال ۱۹۹۸ کلاس کاربری مسکونی است. با وجود این در سال ۲۰۰۱ و ۱۹۸۹ زمین های بایر گرم ترین کلاس بودند. زمین های بایر به دلیل نقصان در بهره مندی از سازوکارهای خنک کننده تبخیر و تعرق، دارا بودن ظرفیت بالای جذب گرما و ظرفیت هدایتی پایین به مقدار زیادی انرژی جذب کرده و بسرعت گرم می شوند. با بررسی ارقام متوسط، سه گروه کلی حرارتی قابل تفکیک است: کلاس آب در هر سه تاریخ با اختلافی در حدود ۵ الی ۹

غیرمترکم مناطق خارج شهر نمی‌توانند مؤثر عمل کنند. برخلاف نتایج فوق، در بررسی مقادیر مربوط به همبستگی عامل فیزیکی ارتفاع و حرارت هیچ رابطه معنی داری در درون شهر، و یا در خارج شهر رؤیت نشد. برای بررسی نقش احتمالی اختلاف در جهت شیب به دلیل تأثیر آن در مقدار انرژی دریافتی و گرم شدگی متفاوت سطوح، تصویر جهت شیب در چهار جهت اصلی تهیه شد و نتایج بررسی همبستگی ارتفاع - حرارت با حذف اثر جهت شیب نیز به رابطه معنی داری منجر نشد.

مشاهده می‌شود. با توجه به تأثیر پذیری شهرها از دستکاری های بشر و برای بررسی دقیق تر، رابطه همبستگی در داخل شهر و چشم انداز طبیعی پیرامون شهر به تفکیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که مقادیر به دست آمده برای شهر همبستگی بالاتری نسبت به کل تصویر محیط و خارج از محدوده شهری نشان می‌دهد که می‌تواند به وجود کلاس های مترکم دارای پوشش گیاهی انسان ساخت نسبت داده شود که نقش مؤثری در کنترل حرارت در مناطق شهری دارد. این درحالی است که پوشش گیاهی خودرو و

جدول شماره (۲): همبستگی میان NDVI و ارتفاع با دما

همبستگی ...	۲۰۰۱	۱۹۹۸	۱۹۸۹	
NDVI دما -	-۰/۷۵۲۵	-۰/۶۴۲۲	-۰/۷۳۸۷	کل تصویر
دما - ارتفاع	۰/۱۷۴۰	-۰/۱۳۱۰	۰/۱۳۰۴	
NDVI دما -	-۰/۸۱۱۱	-۰/۶۹۶۱	-۰/۷۷۸۰	داخل محدوده شهری
دما - ارتفاع	-۰/۰۷۲۸	-۰/۱۷۹۲	۰/۰۰۹۶	
NDVI دما -	-۰/۷۲۳۱	-۰/۳۹۲۵	-۰/۷۲۸۵	خارج محدوده شهری
دما - ارتفاع	۰/۱۳۶۸	-۰/۰۷۰۱	۰/۰۹۸۹	

در بیان بیش از ۵۰٪ توزیع فضایی حرارت فقط با استفاده از متغیر NDVI است. پس از بررسی عدم وجود رابطه هم‌خطی میان دو متغیر NDVI و ارتفاع، در مرحله دوم با افزودن متغیر ارتفاع به مدل پیشین و استفاده از رگرسیون چندگانه، تأثیر متغیر جدید در بهبود نتایج مدل به

تحلیل رگرسیون دومرحله‌ای برای بررسی دقیق‌تر رابطه و استفاده از این متغیرها در مدلسازی و پیش بینی حرارت استفاده شد. برای این منظور در مرحله اول با استفاده از رگرسیون خطی ساده رابطه NDVI و دمای مدل شده و ضرایب مربوط محاسبه شد (جدول شماره ۳). ضریب تشخیص مدل ($R^2 = ۰/۵۶۳۳$) نشان‌دهنده عملکرد مطلوب این مدل

جدول شماره (۳): تحلیل رگرسیون بین دمای سطح و NDVI

سال	معادله رگرسیون	R	R^2
۱۹۸۹	$Y = -28.7637X + 44.4015$	۰/۷۳۸۵۰۲	۰/۵۴۵۳۸۵
۱۹۹۸	$Y = -20.6025X + 37.5794$	۰/۶۴۲۲۵۰	۰/۴۱۲۴۸۵
۲۰۰۱	$Y = -29.8792X + 45.4477$	۰/۷۵۰۵۴۴	۰/۵۶۳۳۱۷

حرارت است، بهبود قابل توجهی در قدرت پیش بینی توزیع فضایی متغیر وابسته به وسیله مدل و متغیر را نشان می‌دهد بنابراین با توجه به نتایج مذکور نیاز به جایگزینی این متغیر با متغیر مؤثر دیگری احساس می‌شود.

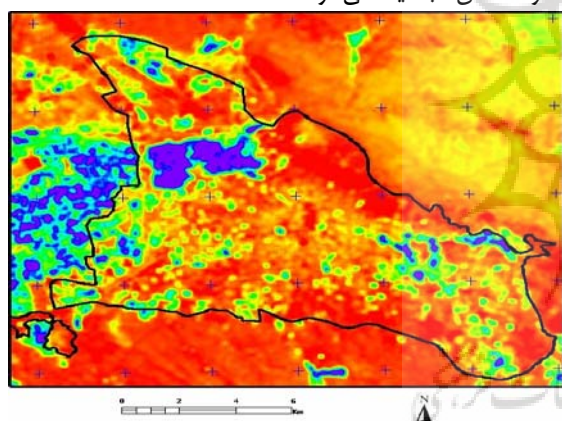
صورت نقش متغیر جدید مورد بررسی قرار گرفت (جدول شماره ۴). ضریب تشخیص به دست آمده از مدل جدید ($R^2 = ۰/۵۶۷$) که تحت تأثیر عدم وجود رابطه میان متغیر جدید افزوده شده به مدل (ارتفاع) و

جدول شماره (۴): تحلیل رگرسیون چندگانه بین حرارت سطح، NDVI و ارتفاع

سال	معادله رگرسیون	R	R^2
۱۹۸۹	$Y = 47.4598 - 29.6413 X1^* - 0.0019 X2^{**}$	۰/۷۴۲۹۶۷	۰/۵۵۱۹۹۸
۱۹۹۸	$Y = 45.4018 - 23.2993 X1 - 0.0050 X2$	۰/۷۱۲۸۹۵	۰/۵۰۸۲۱۹
۲۰۰۱	$Y = 47.2194 - 30.6214 X1 - 0.0012 X2$	۰/۷۵۲۹۹۳	۰/۵۶۶۹۹۹

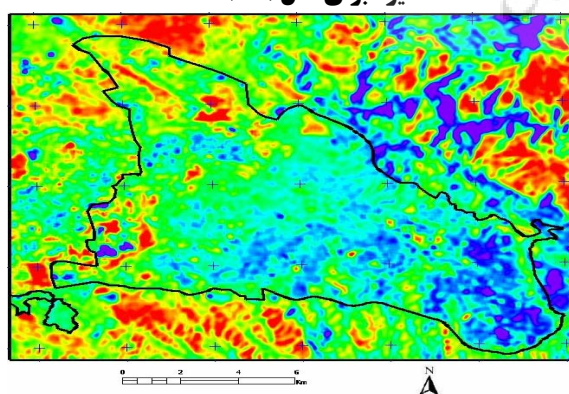
ارتفاع ** NDVI

پوشش آب به دلیل نبود متغیری که رفتار آب را مدل کند، خطای مشهودی در مناطق محدود کلاس آب دیده می شود.



شکل شماره (۴): نقشه پیش بینی حرارت سطحی با استفاده از مدل دو

متغیره برای سال ۲۰۰۱



شکل شماره (۵): خطای مدل دو متغیره در پیش بینی توزیع حرارت

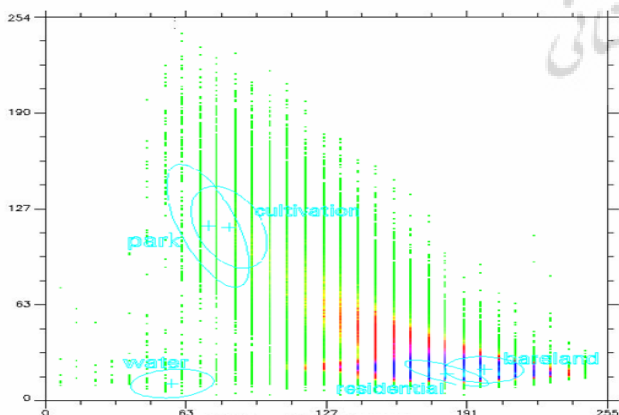
سطح (۲۰۰۱)

دلیل وجود این رابطه ضعیف به معرف نبودن زیر مجموعه اخذ شده از تصاویر نسبت داده می شود. به طوری که چنین روابطی در نمونه های بزرگتر مانند صحنه ای کامل می باید مورد بررسی قرار گیرند. از طرف دیگر به دلیل قوی بودن همبستگی حرارت با پوشش گیاهی، در این زیر مجموعه کوچک رابطه میان حرارت و ارتفاع تحت تأثیر این رابطه قرار گرفته و به صورت بی معنی نمایان می شود. عدم وجود همبستگی میان ارتفاع و پوشش گیاهی نشان دهنده آن است که این دو متغیر در جهت خلاف هم عمل می کنند. با وجود همبستگی شدید بین حرارت و پوشش گیاهی، غالب بودن اثر پوشش گیاهی مشخص می شود و همبستگی بین ارتفاع و پوشش گیاهی کاهش می یابد. شکل شماره (۴) پیش بینی توزیع حرارت با استفاده از مدل دو متغیره را که موفق به پیش بینی ۵۶٪ تغییر پذیری فضائی متغیر وابسته دما شده را در سال ۲۰۰۱ نشان می دهد. برای بررسی کارایی مدل دو متغیره در پیش بینی توزیع حرارت اقدام به تهیه تصویر باقیمانده شد (شکل شماره ۵). بررسی تصویر حاصل نشان می دهد که توزیع خطای پیش بینی یکنواخت نبوده و همبستگی فضایی بارزی در مناطق مختلف قابل مشاهده است. از طرف دیگر مقایسه میانگین خطاها نشان می دهد که در داخل محدوده شهری، خطاهای کمتری نسبت به مناطق پیرامونی رخ داده است که بیشتر به شکل تخمین کمتر از واقعیت حرارت بوده است. چنین محدوده هایی در مناطق شرقی شهر به وفور دیده می شوند. با توجه به اینکه این مناطق جزء بافت تازه توسعه یافته شهر هستند، ساختار متفاوت آن با بافت سنتی فشرده و یکنواخت هسته قدیمی شهر می تواند در این امر تأثیر داشته است. همچنین در مناطق محدود با

تصویر را به خود اختصاص داده اند. این توزیع نشانی از موفقیت نسبی مدل است. بدین صورت که بیشترین فراوانی ها در تصویر خطاهای مدل مربوط به کمترین خطاهاست، به نحوی که قله منحنی توزیع در نزدیکی صفر قرار دارد و نقاط بدون خطا بیشترین فراوانی را در بین تصاویر خطا دارند بررسی نمودار پراکنش فوق نشان می دهد که با وجود اینکه کلاس

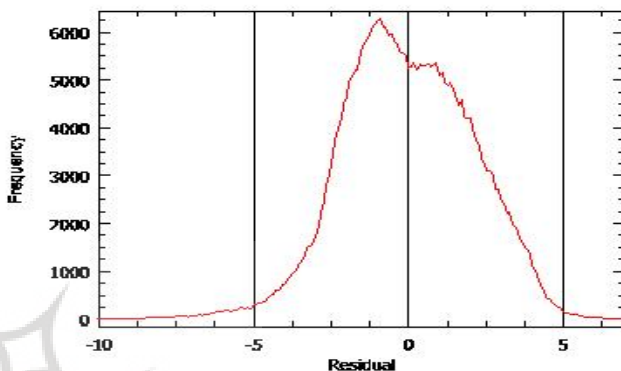
آب دارای ($Fr < 10$) است، به دلیل ظرفیت گرمایی بالا دمای پایینی دارد ($T^* < 60$). در نتیجه سبب ایجاد ضلع سوم مثلث در مقابل لبه گرم می شود. کلاس های فضای سبز و کشاورزی گروه دوم را تشکیل می دهند. این گروه دارای همپوشانی بوده و خصوصیات مشابه دارند و با وجود داشتن ($Fr \sim 100$) به دلیل تبخیر و تعرق بالا دماهای پایینی در حد آب تجربه می کنند و در نزدیکی رأس دیگر مثلث قرار دارند (شرایط مطلوب). رأس سوم مثلث (شرایط نامطلوب) بیشتر توسط گروه سوم (شهر و زمین های بایر) اشغال شده است.

غالب بودن سطوح عاری از پوشش گیاهی باعث ظهور دمای بالا در این مناطق است. بدین ترتیب مشاهده می شود که سه گروهی که در مراحل مختلف تحقیق خود را نشان داده اند، در واقع در سه رأس مثلث تشکیل شده در فضای Fr/T^* قرار دارند و هر سه حاکم بودن شرایط و سازوکارهای متفاوتی را نشان می دهند. نزدیکی قله فراوانی توزیع به ضلع نامطلوب مثلث و انطباق آن با کاربری های شهری و بایر نشان دهنده حاکم بودن کلی شرایط نامطلوب بر منطقه و تأثیر پذیری از پدیده شهرنشینی است. هر چند در مواردی، دستکاری های بشر به صورت توسعه فضای سبز توانسته است وضعیت را بهبود بخشد.



شکل شماره (۷): نمودار پراکنش Fr/T^* همراه با پیاده سازی کلاس های نمونه

شکل شماره (۶) نمودار پراکنش خطای مدل را نشان می دهد. توزیع خطاها به صورت کلی از شکل نرمال تبعیت می کند. اکثریت خطاها در محدوده بین ۵ تا -۵ قرار گرفته اند و خطاهای فاحش در تخمین توزیع حرارت در دنباله های هیستوگرام قرار گرفته و سهم کمی از فراوانی



شکل شماره (۶): هیستوگرام خطای مدل دو متغیره (۲۰۰۱)

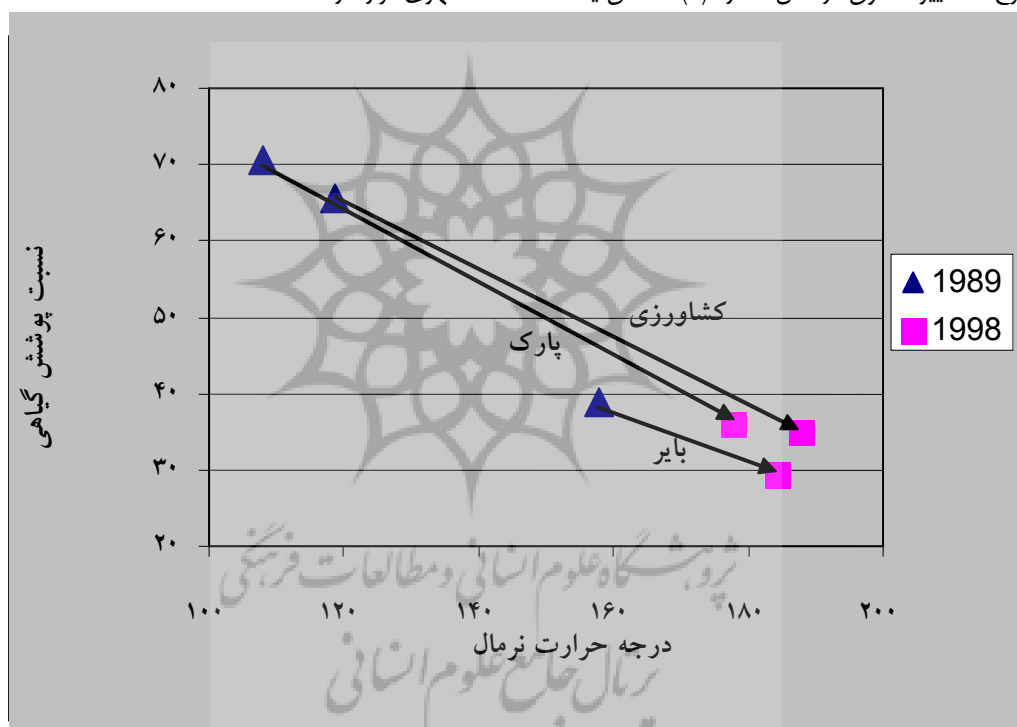
تجزیه و تحلیل فضای نرمال

فراوان ترین مقادیر در فضای Fr/T^* (شکل شماره ۷) در ناحیه $(160 < T^* < 170)$ و $(10 < Fr < 20)$ قرار دارند که تا حد زیادی با محدوده کلاس های بایر منطبق است. اقلیم نیمه خشک منطقه و فراوانی اراضی بایر که عموماً در این محدوده قرار می گیرند، این مورد را تصدیق می کنند. در این فضا نقطه از نظر شرایط طبیعی اهمیت دارد. نقطه بالا سمت چپ معرف شرایط مطلوب (پوشش گیاهی بالا و حرارت پایین) و پایین ترین نقطه سمت راست معرف بدترین وضعیت (پوشش گیاهی کم و حرارت بالا) است. خطی که این دو را به هم متصل می کند، لبه گرم نامیده می شود. این تعریف رابطه میان مقادیر کمی به دست آمده و پیاده شده در نمودار پراکنش و مفاهیم کلامی را که به صورت کیفی اند را برقرار می کند.

برای بررسی الگوی توزیع دو متغیره در فضای (Fr/T^*) و ارتباط آن با کلاس های کاربری بر روی زمین با اخذ نمونه هایی از کاربری های مورد نظر (کشاورزی، فضای سبز، آب و زمین های بایر)، مشخصات طیفی برای تصویر دوباندی Fr/T^* استخراج شد و محدوده مقادیر با انحراف معیار کمتر از یک به وسیله بیضی معرف بر روی نمودار پراکنش با انحراف معیار یک بر روی تصویر و مقدار متوسط با علامت (+) پیاده سازی شد.

نتایج ردیابی پیکسل‌هایی که در معرض تغییرات عمده در منطقه در حال گسترش تبریز بوده‌اند نشانگر حرکت پیکسل‌ها در فضای Fr/T^* از شرایط مطلوب به شرایط نامطلوب است که به صورت حرکت قطری خود را نشان می‌دهد. بیشترین تغییر مربوط به کلاس فضای سبز است. مناطق تحت پوشش این کلاس، با کاهش در مقدار Fr افزایش چشمگیری را در حرارت سطح نشان می‌دهند ($\Delta T^* = 68.97$). کلاس زمین‌های بایر کمترین میزان تغییرات را تجربه کرده اند زیرا اساساً دارای مشخصات نزدیک به هم بوده و در گروه حرارتی یکسان با مناطق شهری قرار دارند.

برای مشاهده تغییرات رخ داده در مشخصه های بیوفیزیکی بر اثر توسعه شهرنشینی، تک تک پیکسل‌های تصویر قابل مکان‌یابی در فضای (Fr/T) در مطالعات چندزمانه‌اند (Carlson, 2000). ردیابی مذکور در مقیاس کلاس‌های کاربری انجام‌گرفت. برای این منظور تصویر تغییرات کاربری تولید شده و کلاس‌های با مقصد تغییر به مسکونی، از تصویر تغییر استخراج شد. تغییرات مورد نظر شامل تغییر از کلاس‌های بایر، فضای سبز و کشاورزی به کلاس کاربری مسکونی بر اثر پدیده شهرنشینی است. دو مورد اخیر به عنوان عوامل عمده در ایجاد جزایر حرارتی مطرح‌اند. تغییرات فوق در شکل شماره (۸) انعکاس یافته‌اند.



شکل شماره (۸): ردیابی تغییرات در فضای Fr/T^* با تغییر کاربری به مسکونی

در شهر تبریز برای مدل‌سازی و کمی کردن روابط میان پوشش گیاهی، کاربری و عوامل محیطی با حرارت، هدف اصلی این تحقیق بوده است. این مطالعه نشان داد که این استفاده ترکیبی نه فقط در پایش توسعه شهر، بلکه در استخراج و استفاده از مشخصه های بیوفیزیکی، نظیر NDVI و حرارت و بررسی روابط آنها در محیط شهری کارآمد است. مقایسه سه تصویر مربوط به سالهای ۱۹۸۹ و ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ تغییرات

بحث و نتیجه گیری

این مطالعه از طریق ترکیب داده‌های حرارتی با داده‌های انعکاسی در صدد پاسخگویی به سؤالات متعددی در زمینه جزایر حرارتی شهری بوده است. استفاده ترکیبی از سنجش از دور حرارتی، انعکاسی و GIS این امکان را می‌دهد که آثار شهرنشینی بر روی حرارت سطح بررسی شود. نتایج نشان می‌دهند که ارتباط مستقیمی بین کاهش مقدار توده گیاهی و افزایش حرارت سطح وجود دارد. پایش چند زمانه جزیره حرارتی

در حال توسعه، نظیر ایران که به دلیل محدودیت‌های موجود کمتر مورد توجه بوده‌اند، مطرح باشد.

مدل توسعه داده شد در این تحقیق با دستیابی به دقت قابل قبول، نقش عوامل مورد بررسی در توزیع فضایی و نقش تک تک عناصر در این توزیع را بیان می‌کند. نتایج بدست آمده از مدل، نشانگر موفقیت نسبی این مدل در پیش بینی توزیع فضایی حرارت با استفاده از متغیر NDVI و نقش ناچیز متغیر ارتفاع است که مورد اخیر غالب بودن تأثیر عامل پوشش گیاهی در حرارت سطح را مورد تأیید قرار می‌دهد.

روش مثلث می‌تواند به شکل ابزار بسیار کارآمدی استفاده شود که علاوه بر ایجاد امکان مقایسه تصاویر چند زمانه در فضای نرمال شده، به برقراری ارتباط میان مفاهیم کلامی (مطلوب و نامطلوب) با مقادیر کمی و توزیع در فضای مزبور منتهی شود. همچنین روش مثلث ارتباط سه جانبه توأمی بین حرارت و NDVI و کلاس‌های کاربری برقرار می‌کند. این رابطه به شکل بارزی در شکل شماره (۷) آشکار است.

تغییرات رخ داده در این فضا برای بررسی تغییرات این سه عامل و روابط آنها قابل مطالعه‌اند. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات در هر یک از مشخصه‌ها به صورت تغییر در موقعیت پیکسل‌ها جلوه پیدا می‌کند. این حرکت و جهت آن مبین رابطه تعاملی میان این عوامل است به نحوی که کمتر تغییر صرف در یک مشخصه دیده می‌شود (حرکت طولی یا عرضی). غالب حرکات به شکل قطری هستند که نشان‌دهنده ارتباط داخلی عوامل است.

با استفاده از روش مثلث تغییرات بسیار چشمگیری در خصوصیات چشم‌انداز طبیعی مشاهده می‌شود. از کلاس‌های مورد مطالعه، کلاس پارک و فضای سبز دارای بیشترین تغییرات بوده‌اند که به نظر می‌رسد مربوط به گسترش شهر و نابودی باغ‌های اطراف شهر باشد. تغییرات کاربری کلاس کشاورزی نشان می‌دهد که این کلاس با قرار گرفتن در پیرامون شهر از گسترش سریع شهر بی تأثیر نبوده است.

پیشنهاد می‌شود به دلیل دخالت عواملی چون مقیاس چشم انداز، گسیلمندی، عوامل اتمسفری و صدای موجود در مسیر سنجنده، این عوامل نیز در رسیدن به دقت بیشتر لحاظ شوند. علاوه بر این مطالعه همبستگی‌های مشاهده شده در خروجی مدل می‌تواند عوامل مؤثر دخیل دیگری را آشکار سازد. همچنین پیشنهاد می‌شود که مشخصه‌های گیاهی دیگری در بررسی این روابط مورد استفاده قرار گیرند.

وسیع کاربری در منطقه شهری تبریز را آشکار می‌کند که بیشتر به شکل توسعه پیرامونی، به ویژه در مناطق شرقی این شهر را نشان می‌دهد.

از طرف دیگر این تحقیق بررسی امکانات سنجنده‌های جدیدی چون ETM+ و بهره‌گیری از آن در کنار سنجنده‌های قدیمی‌تر در یک مطالعه چند زمانه را مد نظر داشته است.

اندازه پیکسل بهبود یافته این سنجنده، امکان بهره‌گیری مؤثر از آن در مطالعات متوسط مقیاس را می‌دهد. در مجموع به دلیل توجه این مطالعه به تغییرات رخ داده در کلاس‌های عمومی کاربری، هر سه سنجنده مفید بوده‌اند.

همچنین بهره‌گیری از اطلاعات فضایی و طیفی باندهای مرئی به روش ذکر شده علاوه بر انجام تصحیح گسیلمندی با بهبود قدرت تفکیک فضایی و ایجاد هماهنگی بین تصاویر مختلف و باندهای حرارتی و انعکاسی، مقایسه تصاویر از نظر فضایی را مقدور می‌سازد. از طرف دیگر انجام روش‌های نرمال‌سازی تصاویر در فضای مثلث جهانی امکان مقایسه طیفی چند زمانه تصاویر را مهیا می‌کند.

تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات مستقل به دست آمده شامل اطلاعات حرارتی، طیفی و پوشش گیاهی نشان می‌دهد که هر کدام از این اقلام منابع اطلاعاتی مستقلی اند که در تجزیه و تحلیل محیط شهری و ارتباط میان این عناصر می‌باید مورد توجه قرار گیرند. بهره‌گیری از روش چند طیفی - چند زمانه در این تحقیق، مسائل مختلفی در محیط شهری، مانند افزایش وسعت منطقه شهری، تغییرات در پوشش گیاهی شهری و آثار حرارتی و محیطی آن و لزوم پایش این تغییرات و همچنین آشکارسازی جزیره حرارتی را مورد توجه قرار می‌دهد.

برقراری همبستگی بین حرارت با مشخصه‌های فیزیکی و بیوفیزیکی نقش غالب مشخصه‌های بیوفیزیکی بر روی حرارت را در منطقه تأیید می‌کند. بدین ترتیب می‌توان با برنامه‌ریزی برای افزایش پوشش گیاهی در مناطق مؤثر تشخیص داده شده، در بلند مدت الگوی توزیع حرارت را دستکاری و کنترل کرد.

آثار زیست محیطی تغییرات کاربری / پوشش گیاهی می‌تواند در مقیاس محلی در درون شهر مدلسازی شده و در روابط بین عناصر مختلف بررسی شود. روش استفاده شده در این تحقیق می‌تواند به عنوان جایگزینی بر روش سنتی مطالعه جزیره حرارتی، بخصوص در کشورهای

یادداشت‌ها

مرکز آمار ایران. ۱۳۷۶. جمعیت شهرهای ایران ۱۳۳۵ تا ۱۳۷۵، سازمان مدیریت و برنامه ریزی.

وزارت مسکن و شهرسازی. ۱۳۷۲. راهبردهای مطالعاتی شهر جدید سهند، وزارت مسکن و شهرسازی.

Asmat, A., S. Mansor and W.T. Hong. 2003. Rule based classification for urban heat island mapping. In 2nd FIG regional conference, Marrakech, Morocco, December 2-5.

Baumann, P.R. 2001. An urban heat island, Washington D.C. [Available online from: http://www.onenta.edu/faculty/baumann/geosat2/urban_heat_island.htm]

Carlson, T. J., Augustine, & Boland, F. 1977. Potential application of satellite temperature measurements in the analysis of landuse over urban areas. Bulletin of American Meteorological Society, 58:1301-1303

Carlson, T. N., & Arthur, S. T. 2000. The impact of land use – land cover changes due to urbanization on surface micro climate and hydrology: a satellite perspective. Global and Planetary Change, 28:49-65

Carlson, T. N., Gillies, R. R. & Perry, E. M. 1994. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface water content and fractional vegetation cover. Remote Sensing Reviews, 9:161-173

Carnahan, W. H. & Larson, R. C. 1990. An analysis of an urban heat sink. Remote sensing of Environment, 33:65-71

- 1-Urban Heat Island
- 2-Thermal Infrared
- 3-High gain
- 4-Digital Elevation Model
- 5-Inverse Distance Weighting
- 6-Training Sites
- 7-Maximum Likelihood Classification
- 8-Principal Component
- 9-Warm Edge

منابع مورد استفاده

- اکبری، ه. ۱۳۷۹. بررسی الگوی توزیع درجه حرارت شهر تهران با استفاده از اطلاعات حرارتی TM لندست"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- توکلی صبور، م. ۱۳۸۰. ارزیابی کاربرد باندهای حرارتی سنجنده AVHRR برای مطالعه دمای سطح زمین در مناطق ژئوترمال، مطالعه موردی منطقه سبلان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- زبیری، م.، مجد، ع. ۱۳۷۱. تهیه نقشه حرارتی دریاچه مهارلو با استفاده از باند حرارتی سنجنده TM، اداره کل آمار و اطلاعات وزارت کشاورزی، نشریه شماره ۷.
- علوی پناه، س. ک.، سراجیان م. ر. کمکی چ. ب. ۱۳۸۱. بررسی محدودیت های تهیه نقشه دمای سطحی بیابان لوت با استفاده از داده های باند حرارتی ماهواره لندست، مجله بیابان، شماره ۲، جلد ۸، ص ۱۹-۳۹.
- کریمی ا. آباد، م. ۱۳۸۰. کاربرد تصاویر سنجنده AVHRR در تهیه نقشه دمای سطح دریا SST در منطقه خلیج فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

- Nichol, J. E. 1996. High-resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: a satellite-based study, *Journal of Applied Meteorology*, 35:135-146
- Owen, T.W., T.N. Carlson and R.,R. Gillies .1998. "Assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization". *Int. J. Remote Sensing*, 19(9):1663-1681.
- Price, J. C. 1979. Assessment of the urban heat island effect through the use of satellite data. *Monthly Weather Review*, 107:1554-1557
- Quattrochi, D. A. & Ridd, M. K. 1994. Measurement and analysis of thermal energy responses from discrete urban surface using remote sensing data. *Int. J. Remote Sensing*, 15:1999-2022
- Quattrochi, D. A., & Ridd, M. K. 1998. Analysis of vegetation within a semi-arid urban environment using high spatial resolution airborne thermal infrared remote sensing data. *Atmospheric Environment*, 32:19-33
- Rao, P. K. 1972. Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 53:647-648
- Roth, M., Oke, T. R. & Emery, W. J. 1989. Satellite-derived urban heat island from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *Int. J. Remote sensing*, 10:1699-1720
- Eastman, R. J. 1999. *Idrisi Guide to GIS and Image Processing*, Clark University.
- Gallo, K. P., & Tarpley, J. D. 1996. The comparison of vegetation index and surface temperature composites for urban heat island analysis, *Int. J. Remote Sensing*, 17:3071-3076
- Haralick, R., Shanmugan, K. & Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics*, 3:610-621
- Jensen, J. R. 1986. *Introductory Digital Image Processing*, Prentice-Hall, 379PP
- Kim, H. H. 1992. Urban heat island. *Int. J. Remote Sensing* 13:2319-2336
- Liang, S. 2004. *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*. John Wiley
- Lo, C. P., Quattrochi, D. A., & Luvall, J. C. 1997. Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. *Int. J. Remote Sensing*, 18:287-304
- Malaret, E., et al. 1985. Landsat 4 and Landsat 5 thematic mapper data quality analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51:1407-1416
- Matson, M., et al. 1978. Satellite detection of urban heat islands. *Monthly Weather Review*, 106:1725:1734
- Nichol, J. E. 1994. A GIS-based approach to microclimate monitoring in Singapore's high-rise housing estates. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60:1225-1232

Streutker, D.R.2002. A remote sensing study of urban heat island of Houston, TX. Int. J. Remote Sensing, 23:2595-2608.

Streutker, D.R.2003. Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, TX. Remote Sensing of Environment, 85:282-289.

Strahler, A. H., Logan, T. L., & Bryant, N. A.1978. Improving forest cover classification from landsat by incorporating topographic information. Intl. Symposium on Sensing of Environment, 12th , Manila Philippines 927-942

