

استخراج دمای سطح زمین در مناطق شهری با استفاده از ترکیب گسیلمندی‌ها

علی شمس‌الدینی^{۱*}، فاطمه مددی و رزقانی^۲

^۱ استادیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی - دانشکده علوم انسانی - دانشگاه تربیت مدرس
ali.shamsoddini@modares.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی‌ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی - دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست -
دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران
fmadadi99@yahoo.com

(تاریخ دریافت تیر ۱۳۹۷، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۸)

چکیده

آب و هوا، عامل اصلی تغییرات دمای سطح زمین است و دمای سطح زمین یک متغیر مهم در مطالعات اقلیمی و زیست محیطی محسوب می‌شود و محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور نیازمند محاسبه دقیق ضریب گسیلمندی می‌باشد. در بحث مطالعات حرارتی نیاز به تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا می‌باشد چون در مناطق شهری به دلیل تراکم انواع کاربری‌ها استخراج اطلاعات در پیکسل‌های مختلط کار دشواری خواهد بود. در این تحقیق از تصاویر ماهواره ترا، محصولات سنجنده مادیس (MOD021KM, MOD11A1, MOD05) مربوط به سال ۲۰۱۲ - ۲۰۱۳ و تصاویر لندست TM5- مربوط به سال ۲۰۱۰ و داده‌های ساعتی هواشناسی استفاده گردید. در این پژوهش به منظور محاسبه دمای سطح زمین از روش پنجره مجزا و قانون پلانک استفاده گردید و همچنین روش‌های مختلف استخراج گسیلمندی شامل روش طبقه‌بندی، روش شاخص تفاضل گیاهی نرمال‌شده، روش ضریب گسیلمندی نرمال به منظور استخراج گسیلمندی بکارگرفته شد تا در کنار محصولات گسیلمندی مادیس (MOD11A1) به منظور تهیه نقشه دمای سطح زمین مورد مقایسه قرار گیرند. در این راستا امکان ادغام داده‌های گسیلمندی مستخرج از روش‌های مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست‌آمده نشان می‌دهد روش شاخص تفاضل گیاهی نرمال‌شده و روش ترکیب با استفاده از میانه‌گیری داده‌های گسیلمندی مناسبی را برای محاسبه دمای سطح زمین فراهم می‌آورند. همچنین در محاسبه دمای سطح زمین، روش پلانک در باند ۳۱ و ۳۲ دقت بالاتری را نسبت به روش پنجره مجزا ایجاد می‌نماید.

واژگان کلیدی: دمای سطح زمین، پنجره مجزا، تلفیق گسیلمندی‌ها، مادیس

۱- مقدمه

روش تک کاناله با فرض معلوم بودن ضریب گسیلمندی و پروفیل‌های اتمسفری، دما تخمین زده می‌شود. شکل‌های متفاوتی از این روش ارائه شدند که دو روش گین^۹ و همکاران در سال ۲۰۰۱ و روش JM&S که توسط جیمز مونز^{۱۰} و سوپرینو در سال ۲۰۰۳ ارائه شد، دارای اهمیت و کاربرد بیشتری در تخمین دمای سطح با استفاده از تصاویر ماهواره لندست دارند [۵]. روش پنجره-مجزا بر پایه دو باند حرارتی استوار است. محدودیت روش پنجره-مجزا وابستگی به دو عامل ضریب گسیلمندی و ضرایب متغیرهایی برای هر منطقه می‌باشد. این روش اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط کوته^{۱۱} و اندینگ^{۱۲} ارائه شده است [۶]. نسخه‌های متفاوتی از روش پنجره-مجزا در سال‌های اخیر توسط محققین سنجش‌ازدور ارائه شده - است. ارزیابی دمای سطح زمین با استفاده از روش تقسیم پنجره-مجزا به دلیل عدم نیاز آن به پارامتر دما و بخار آب اتمسفر نسبت به روش‌های دیگر پارامترهای ورودی کمتری نیاز دارد [۷]. بیشترین باندهای حرارتی سنجنده‌ها در محدوده طول موج ۱۰/۵ تا ۱۲/۵ میکرومتر قرار دارند که ویژگی‌های گسیلمندی طیفی سطوح مختلف پوشش زمین نیز در این محدوده واقع شده‌اند و نسبتاً پایدار هستند. باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ سنجنده مادیس نیز در این محدوده طیفی قرار گرفته‌اند [۸]. دقت الگوریتم تقسیم پنجره-مجزا بستگی به دانش ما از گسیلمندی باند ۳۱ و ۳۲ برای سطوح واقعی زمین دارد [۸]. ضریب-گسیلمندی یا توان تابش طیفی یک جسم، به صورت نسبت تابش حرارتی یک جسم در دمای معلوم به تابش جسم سیاه هم‌دما در یک طول موج معین تعریف می‌شود [۹]. ضریب گسیلمندی طیفی، گسیلمندی یک جسم را در طول موج‌های مختلف بیان می‌کند. گسیلمندی به پارامترهایی از جمله رطوبت، زبری و هندسه سطح، هندسه دید و ابعاد ذرات بستگی دارد و با تغییر موارد بیان شده گسیلمندی نیز تغییر می‌نماید [۱۰]. همچنین عواملی همچون دمای جسم، زاویه دید سنجنده و طول موج نیز بر گسیلمندی تاثیر می‌گذارند [۹]. روش‌هایی که معمولاً در سنجش‌ازدور به منظور استخراج گسیلمندی مورد استفاده

دمای سطح زمین (LST)^۱ پارامتر مهمی است که می‌تواند از داده‌های حرارتی باند مادون قرمز استخراج شوند. دمای سطح زمین می‌تواند بعنوان داده‌های ورودی در مطالعات تعادل انرژی و آب استفاده شود که از مسائل مهم در مطالعات زیست‌محیطی محسوب می‌شود. علاوه بر این، بسیاری از برنامه‌های کاربردی و علوم مختلف دیگر بر دانش دمای سطح زمین (زمین‌شناسی، هیدرولوژی، نظارت بر پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق و غیره) تکیه می‌کنند. در این میان محاسبه دمای سطح زمین منوط به محاسبه گسیلمندی سطح زمین (LSE)^۲ می‌باشد [۱]. در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی جهت تعیین دمای سطح زمین و گسیلمندی توسعه یافته است. در برخی از روش‌ها دمای سطح با مشخص بودن ضریب گسیلمندی بدست می‌آید و در برخی از روش‌ها ضریب گسیلمندی و دمای سطح همزمان استخراج می‌گردد [۲]. عوامل تأثیرگذار بر دمای سطح زمین شامل اثرات اتمسفری در انتقال تابش مادون قرمز، رابطه پیچیده‌ای را بین دمای سطح زمین و گسیلمندی سطوح مختلف و نوع سنجنده ایجاد می‌کند [۳]. روش‌های برآورد دمای سطح زمین و ضریب-گسیلمندی را می‌توان به سه گروه اصلی شامل روش تک کاناله^۳، روش روزنه مجزا یا دو کاناله^۴ و روش جداسازی دما و گسیلمندی چند کاناله^۵ تقسیم نمود. در روش تک کاناله و روش پنجره-مجزا، هدف بدست آوردن دمای سطح زمین است در صورتی که در روش جداسازی دما و گسیلمندی چند کاناله با استفاده از سه یا چند کانال مادون قرمز حرارتی و تصحیح اثرات جوی، گسیلمندی سطحی و دمای سطح زمین را برآورد می‌نمایند. جهت محاسبه دمای سطح زمین دو روش تک کاناله و پنجره-مجزا نسبت به سایر روش‌ها متداول‌تر می‌باشند [۴]. روش تک کاناله دمای سطح زمین اولین بار در سال ۱۹۸۳ توسط پرایس^۶ مورد استفاده قرار گرفت. این روش بر مبنای معادله انتقال تشعشعی^۷ و معادله پلانک^۸ استوار است. در

^۱ land surface temperature

^۲ land surface emissivity

^۳ single channel

^۴ Split window

^۵ Multi angle Method

^۶ Price

^۷ Radiative transfer equation

^۸ Planck law

^۹ Qin

^{۱۰} Jimenez-Munoz

^{۱۱} Kauth

^{۱۲} Anding

مورد مطالعه از ۱/۲۵ تا ۲/۰۳ درجه کلویین متغیر بوده است [۱۳]. امیری و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تصاویر لندست‌های ۴ و ۵ و ۷ مربوط به سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ در شهر تبریز به بررسی تغییرپذیری فضایی- زمانی حرارت در ارتباط با کاربری زمین پرداختند و بدین منظور جهت استخراج داده‌های گسیلمندی از روش‌های طبقه‌بندی و شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال‌شده استفاده نمودند [۱۴]. لیو^{۱۹} و همکاران (۲۰۰۹) جهت بررسی و برآورد دمای سطح زمین و ضریب گسیلمندی از تصاویر مادیس در باندهای ۳۱ و ۳۲ استفاده نمودند. ایشان دو الگوریتم WVD^{۲۰} و EWVD^{۲۱} را به منظور جداسازی گسیلمندی از دما در داده‌های حرارتی پیشنهاد نمودند که کاربرد آنها برای کاهش خطای الگوریتم پنجره مجزا در شرایط مرطوب بود. نتایج ارزیابی دمای سطح زمین و ضریب گسیلمندی بدست‌آمده در مقایسه با محصولات مادیس (MOD35) میزان RMSE به ترتیب مقادیر ۰/۶۲ کلویین و ۰/۰۰۸ بود. در نهایت مقدار خطای RMSE از بازیابی دمای سطح زمین با استفاده از این الگوریتم کمتر از ۱/۰ کلویین گزارش گردید [۱۵]. روش‌های محاسبه دمای سطح زمین هر یک دارای مزایا و معایبی هستند. از مزایای روش تک کاناله می‌توان به ساده بودن و مناسب بودن برای سنسورهای با یک کانال حرارتی اشاره کرد و همچنین معایب این روش، نیاز به دانش قبلی از گسیلمندی‌ها در بازه کانال‌های حرارتی و نیاز به تصحیح دقیق اتمسفری می‌باشد. عدم اطمینان از پروفیل‌های جوی بر دقت بازیابی دمای سطح زمین تاثیرگذار است [۲۹، ۱۶]. روش‌های تک کاناله نیاز به اطلاعات دقیق مربوط به، توزیع دمای جو و بخار آب در حالت عمودی و افقی دارند [۳]. مزایای روش دو گانه یا پنجره مجزا، ساده بودن این روش و نیز عدم نیاز به تصحیح اتمسفری دقیق نمی‌باشد. این روش برای سنسورهای مختلف با حداقل دو باند حرارتی در محدوده‌ی پنجره اتمسفری مناسب می‌باشد. معایب روش دو کاناله عبارت از نیاز به دانش قبلی از گسیلمندی‌ها در کانال‌های حرارتی، و نیاز به دسترسی به ضرایب پارامترهایی می‌باشد که در این الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرند. ستون بخار آب و زاویه دید بر میزان دقت در این روش تاثیرگذار

قرار می‌گیرند عبارت‌اند از روش طبقه‌بندی^۱، روش شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال‌شده^۲، روش تقریب رادیانس باندها^۳، روش جسم خاکستری^۴، روش شاخص طیفی مستقل از دما^۵ (TISI) (بکر^۶ و لی، ۱۹۹۰)، روش نرمال‌سازی عادی ضریب گسیلمندی^۷، روش نسبت طیفی^۸ (واتسون^۹، ۱۹۹۲)، و روش گسیلمندی آلفا^{۱۰} (گبل^{۱۱} و کیلی^{۱۲}، ۱۹۹۰) می‌باشند [۱۲، ۱۱]. یکی از مشکلات عمده در توسعه الگوریتم‌های دمای سطح زمین، تغییر طیفی قابل توجه در گسیلمندی مواد مختلف سطح زمین است. به همین خاطر در بسیاری از این الگوریتم‌ها، گسیلمندی فقط در محدوده طیفی ۸-۱۴ میکرومتر اندازه‌گیری شده است [۸].

سوبرینو و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی دو روش شاخص گیاهی تفاضل نرمال‌شده و الگوریتم TES (روش جداسازی دما و گسیل مندی)^{۱۳} به منظور استخراج گسیلمندی سطح زمین از داده‌های AVHRR^{۱۴}، TM5^{۱۵}، AATSR^{۱۶}، مزایا و معایب این دو روش استخراج گسیلمندی را بررسی نمودند. سنجنده‌های AVHRR، TM5، AATSR با یک یا دو باند حرارتی قابلیت دارا بودن چند باند طیفی مورد نیاز برای اجرای الگوریتم TES را نداشته و به همین خاطر روش شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال‌شده به‌عنوان روش مناسب تعیین گردید [۱۱]. ونگ^{۱۷} و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تصاویر لندست ۵ TM و مادیس مربوط به سال ۲۰۰۵ در شهر لس‌آنجلس و کالیفرنیا و با تلفیق داده‌های این دو سنجنده، اقدام به محاسبه دمای سطح زمین نمودند. ایشان از روش ترکیب انعکاسی فضایی و زمانی تطبیقی (STARFM)^{۱۸} جهت تلفیق داده‌ها استفاده نمودند. نتایج نشان داد که دقت پیش بینی برای کل منطقه

- ۱ Classification based
- ۲ Normalized difference vegetation index
- ۳ Approximation radiance bands
- ۴ Gray body method
- ۵ Temperature-Independent Spectral Indices
- ۶ becker
- ۷ normalization emissivity method
- ۸ Spectral ratio method
- ۹ Watson
- ۱۰ Emission coefficient alpha
- ۱۱ Gabell
- ۱۲ kealy
- ۱۳ temperature and emissivity separation
- ۱۴ Advanced Very High Resolution Radiometer
- ۱۵ Thematic Mapper
- ۱۶ Advanced Along-Track Scanning Radiometer
- ۱۷ wang
- ۱۸ Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model

^{۱۹} Liu

^{۲۰} Water vapor dependent

^{۲۱} Extended Water vapor dependent

می‌باشد [۱۶]. در روش چند زاویه یا چند کاناله، ساده بودن و عدم نیاز به تصحیح دقیق اتمسفری و نیز دقت بازیابی دمای سطح زمین به عدم قطعیت در خواص اپتیکی جاذب-های جو غیر حساس است از مزایای این روش محسوب می‌گردد. این روش مانند دو روش قبلی نیاز به دانش قبلی از گسیلمندی‌ها در کانال حرارتی دارد. همچنین نیاز به توجیه دقیق هندسی باندهای مختلف نسبت به هم و مناسب بودن این روش تنها برای سطوح همگن از معایب دیگر این دسته از روش‌ها محسوب می‌شوند [۲۹،۱۶]. در روش‌های محاسبه گسیلمندی، روش طبقه‌بندی از ساده-ترین روش‌ها می‌باشد و عدم تصحیح دقیق اتمسفری از مزایای این روش است. از معایب این روش می‌توان به مواردی از جمله نیاز به دانش قبلی از گسیلمندی هر کلاس و همچنین نیاز به نقشه طبقه‌بندی، و نیز کاهش دقت در قدرت تفکیک‌های مکانی پایین اشاره کرد. در این روش گسیلمندی مربوط به هر کلاس ممکن است به دلیل کنتراست پایین قابل اعتماد نباشد. همچنین تأثیرات فصلی و پویایی سطوح ممکن است دقت را کاهش دهد. روش شاخص گیاهی تفاضل نرمال‌شده نیز جزء روش‌های ساده می‌باشد و همچنین تصحیح دقیق اتمسفری برای اجرای آن نیاز نیست. این روش مناسب برای سنسورهای مختلف که دارای باندهای مرئی و حرارتی می‌باشند، است. از معایب این روش نیز می‌توان به عدم اطمینان از مقدار گسیلمندی خاک و پوشش گیاهی و استفاده از حد آستانه‌گذاری اشاره کرد. دقت بالای این روش در مواقعی حاصل می‌گردد که پیکسل‌ها از خاک لخت و یا پوشش گیاهی متراکم تشکیل شده باشند. در ضمن، این روش برای سطوح آبی، یخ، برف و سنگ‌ها و پوشش گیاهی سالخورده غیرقابل استفاده می‌باشد. روش گسیلمندی نرمال یکی از روش‌های جداسازی دما و گسیلمندی می‌باشد. از مزایای این روش می‌توان به مواردی شامل تصحیح مقادیر حداکثر گسیلمندی در این روش، عدم نیاز به پیش فرض درباره‌ی سطوح گسیلمندی ندارد، بازیابی همزمان دما و گسیلمندی برای هر نوع سطحی اشاره نمود. از معایب این روش آن است که تصحیح دقیق اتمسفری از ضروریات روش می‌باشد، و اجرای آن نیاز به حداقل سه باند حرارتی در محدوده‌ی پنجره اتمسفری دارد. دقت این روش به رابطه‌ی تجربی بین حداقل گسیلمندی و کنتراست طیفی بستگی دارد [۲۹،۱۶]. اگرچه دمای سطح زمین از طریق اندازه‌گیری‌های حرارتی

ماهواره‌ای حاصل می‌شود اما هیچ ابزار خاصی با رزولوشن بالا و پوشش پیوسته‌ی سنسورهای حرارتی برای پیش‌بینی وجود ندارد و این مسائل موجب محدود کردن استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در محیط‌های شهری می‌گردد. در مطالعات حرارتی، قدرت تفکیک‌های مکانی پایین‌تر موجب از دست رفتن جزئیات برای ساختارهای شهری می‌شود. با وجود آنکه سنجنده‌های لندست ۸ و استر با قدرت تفکیک مکانی به ترتیب ۱۰۰ و ۹۰ متر فعال می‌باشند اما این سنجنده‌ها دارای قدرت تفکیک زمانی کمتری (لندست ۸ دو بار در ماه و استر بسیار کمتر و محدودتر) هستند و گاهی وجود پوشش ابری قدرت تفکیک زمانی را محدودتر می‌نماید [۱۷]. به همین خاطر برای حل برخی از مسائل که قدرت تفکیک زمانی بالایی نیاز است، محققین ناگزیر به استفاده از داده‌هایی نظیر مادیس برای مناطق شهری می‌شوند. هرچند به دلیل پایین بودن قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها، استفاده از روش‌های تعیین دمای سطح و گسیلمندی با دقت بالا از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. ضعف و محدودیت‌های روش‌های موجود در تولید داده‌های دمای سطح زمین در مطالعات محیط زیست شهری، نیازمند تولید روش‌های جدید در تلفیق داده‌های حرارتی می‌باشد [۱۳]. به عبارت دیگر نیاز به ترکیب داده‌های جمع-آوری شده از منابع مختلف به منظور استخراج اطلاعات مفیدتر، امری ضروری می‌باشد [۱۸]. ترکیب داده‌های بدست‌آمده از منابع مختلف موجب می‌گردد تا در اثر ترکیب نقاط ضعف داده‌ها تا حد امکان کاهش یافته و هم-افزایی حاصل از نقاط قوت داده‌های موجود، موجب ایجاد داده‌هایی بهبود یافته و کارا شود [۱۸]. با توجه به مطالب عنوان شده، اهمیت تعیین دمای سطح در مناطق شهری و نیز اهمیت استفاده از روشی مناسب به منظور تعیین دمای سطح با استفاده از داده‌های مادیس در این مناطق بسیار مشهود است. با توجه به نقاط ضعف و قوت هر یک از روش‌های محاسبه گسیلمندی و تعیین دمای سطح زمین، امکان تعیین روش برتر پیش از مقایسه کارایی این روش‌ها، برای یک منطقه شهری با پیچیدگی بالا نظیر تهران وجود ندارد. همچنین، تلفیق داده‌های گسیلمندی حاصل از روش‌های مختلف می‌تواند تا حدود زیادی منجر به بهبود نتایج حاصل از روش‌های تعیین دمای سطح زمین گردد، چرا که انتظار می‌رود تلفیق داده‌های گسیلمندی، منجر به کاهش خطاهای ناشی از محاسبه گسیلمندی با استفاده از یک

محصول MOD05 برای استخراج بخار آب موجود در اتمسفر استفاده شد. تصاویر با در نظر گرفتن روزهای صاف و بدون ابر انتخاب گردید.

بدیهی است قبل از محاسبه و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح زمین نظیر گسیلمندی و دما، تصحیح رادیومتریکی تصاویر ماهواره‌ای الزامی است. بعد از انجام تصحیحات هندسی، تصاویر لندست ۵ (باند ۱ تا ۵ و ۷) به روش تفریق تیره^۳ و باندهای حرارتی سنجنده مادیس (باند ۳۱ و ۳۲) با روش رگرسیون نرمال^۴ در نرم‌افزار ۵.۱ ENVI تصحیح اتمسفری گردید. مقادیر ضرایب بازتابندگی برای ۶ باند مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی لندست-5 TM محاسبه گردید. همچنین به منظور محاسبه دمای سطح زمین، ابتدا باید دمای روشنایی برای پیکسل‌های تصاویر حرارتی محاسبه گردد. بدین منظور، تصاویر رادیانس طیفی محصول مادیس (mod021km) در باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ با استفاده از معادله معکوس پلانک (۱) به دمای روشنایی^۵ تبدیل گردیدند [۱۹].

$$T_B = \frac{c_2/\lambda}{\ln(1 + \frac{c_1}{L \times \lambda^5})} \quad (1)$$

در معادله فوق، $c_1 = 1/19107 \times 10^8$ برحسب C_1 و $c_2 = 1/43883 \times 10^4$ برحسب C_2 و $(W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ و L_λ ضرایب ثابت کالیبراسیون می‌باشند. همچنین، L_λ طول موج مرکزی باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ سنجنده مادیس است.

۳- روش‌های محاسبه گسیلمندی

ضریب گسیلمندی، به صورت نسبت رادیانس ساطع شده از یک جسم به رادیانس ساطع شده از جسم سیاه در دمای یکسان و یک طول موج مشخص تعریف می‌شود [۱۶]. ضریب گسیلمندی یک سطح به عوامل متعددی از جمله به نفوذپذیری ثابت الکتریکی، ناهموازی سطح، ساختار شیمیایی و فیزیکی ماده و پارامترهای مربوط به سنجنده شامل طول موج، پلاریزاسیون، زاویه دید و قدرت تفکیک مکانی بستگی دارد [۲۰، ۱۰]. روش-

روش خاص گردد. با توجه به متداول بودن دو روش پلانک و روش پنجره‌مجزا به منظور تعیین دمای سطح زمین، از این روش‌ها به منظور مقایسه کارایی مقادیر گسیلمندی در محاسبه دمای سطح زمین استفاده گردید. لذا اهداف تحقیق حاضر را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

- مقایسه روش‌های متداول محاسبه گسیلمندی به منظور تهیه نقشه دمای سطح شهر تهران
- قابلیت سنجی تلفیق داده‌های گسیلمندی به منظور تعیین دمای سطح زمین
- مقایسه روش‌های پلانک و پنجره‌مجزا به منظور تعیین دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های مادیس

۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه شهر تهران می‌باشد که در کوهپایه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه امتداد یافته است. شهر تهران به دلیل موقعیت سیاسی و اجتماعی و جغرافیایی، شهری جمعیت‌پذیر و در حال رشد و توسعه سریع، با ترکیبی از انواع پوشش و کاربری زمینی می‌باشد. داده‌های سنجنش‌ازدور مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر لندست TM5 مربوط به سال ۲۰۱۰ با قدرت تفکیک ۳۰ متر که از سایت زمین‌شناسی آمریکا (USGS)^۱ دانلود شدند و همچنین تصاویر محصولات سنجنده مادیس (MOD021KM, MOD05, MOD11A1) ماهواره ترا^۲ با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر مربوط به سال ۲۰۱۲ - ۲۰۱۳ از سایت مادیس مربوط به سازمان ملی فضانوردی آمریکا (<https://Ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>)^۳ دانلود شد. داده‌های دما مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی شمال تهران، ژئوفیزیک و دوشان‌تپه به منظور اعتبارسنجی دمای سطح بدست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. جهت محاسبه دمای سطح زمین از محصولات سنجنده مادیس MOD021KM باند ۳۱ و ۳۲ که از تصاویر Level-1B است که دربرگیرنده تصاویر رادیانس می‌باشد و محصول MOD11A1 از تصاویر ۱۰۰۰ متر روزانه که دمای سطح زمین و ضریب گسیلمندی در باندهای ۳۱ و ۳۲ و همچنین

^۳ Dark Subtract

^۴ Normalized Regression

^۵ Brightnes temperatures

^۱ The United States Geological Survey

^۲ Terra

های مختلفی تاکنون برای محاسبه ضریب گسیلمندی با استفاده از تصاویر حرارتی ارائه شده است که به بررسی

متداول ترین روش های موجود در اینجا پرداخته می شود.



شکل ۱- ترکیب رنگی کاذب حاصل از باند ۴، ۳، ۲ از تصاویر لندست TM5 و موقعیت ایستگاه های هواشناسی

۳-۱- روش شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده

یکی از روش های مؤثر برای تخمین گسیلمندی، مدل ترکیبی استفاده از درصد پوشش گیاهی زمین است که از شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده، بدست می آید. این شاخص از پرکاربردترین شاخص های پوشش گیاهی می باشد [۲۱]. سوبرینو و رای سونی^۱ در سال ۲۰۰۰ روش آستانه گذاری مبتنی بر مقادیر شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده را برای استخراج موثر گسیلمندی سطح مطرح کردند [۲۲، ۲۳]. شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده از رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{red}}{P_{NIR} + P_{red}} \quad (2)$$

در این رابطه، P_{red} ، P_{NIR} به ترتیب مقادیر ضریب بازتابندگی پیکسل در باندهای قرمز و باند مادون قرمز نزدیک می باشد.

الف) $NDVI > 0.2$ ؛ پیکسل مربوط به خاک لخت و مقدار متوسط گسیلمندی بر اساس آنالیز کتابخانه ای طیفی برای باند حرارتی لندست. ۰/۹۷۸ است و مقادیر گسیلمندی

آن از بازتاب باند قرمز بدست می آید. ب) $NDVI < 0.5$ ؛ پیکسل های بزرگ تر از ۰/۵ مربوط به مناطق با پوشش گیاهی کامل و مقدار معمولی ارزش ثابت برای گسیلمندی ۰/۹۸۵ تخمین زده شده است. ج) $0.5 \leq NDVI \leq 0.2$ ؛ پیکسل های مخلوطی از گیاه و خاک که مقدار گسیلمندی این پیکسل ها از رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$\varepsilon = \varepsilon_V P_V + \varepsilon_S (1 - P_V) + d\varepsilon \quad (3)$$

گسیلمندی پوشش گیاهی $\varepsilon_V = 0.99$ ، گسیل مندی خاک $\varepsilon_S = 0.97$ و درصد پوشش گیاهی که با علامت p_V می باشد و از رابطه (۴) محاسبه می شود.

$$p_V = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (4)$$

$$NDVI_{MAX} = 0.5 \quad NDVI_{MIN} = 0.2$$

$d\varepsilon$ اثر توزیع هندسی سطوح طبیعی و همچنین بازتاب داخلی است که بصورت تقریبی با استفاده از رابطه (۵) بدست می آید. برای سطوح ساده، این مقدار قابل اغماض است، اما برای سطوح ناهمگن و خشن به عنوان جنگل، می تواند به یک مقدار ۲ درصد برسد که در

^۱ Reisoni

$$R_i = \sum_{k=1}^n F_k R_{ik} + ER_i \quad (6)$$

$$\sum_{K=1}^n f_k = 1 \text{ و } 0 \leq f_k \leq 1 \quad (7)$$

در این رابطه، R_i بازتاب طیفی باند i ، i تعداد باندهای طیفی، k تعداد عضو پایانی برای هر پیکسل، F_k سهم هریک از اعضاء پایانی در پیکسل، R_{ik} بازتاب طیفی اعضاء پایانی در هر پیکسل برای باند i و ER_i خطا در هر باند می‌باشند.

دقت روش محاسبه گسیلمندی با استفاده از طبقه بندی وابسته به دقت طبقه بندی می‌باشد و این روش برای تصاویر با قدرت تفکیک پایین نتیجه مطلوبی نخواهد داشت. به همین خاطر در این تحقیق به منظور افزایش دقت طبقه بندی از تصاویر لندست-5 TM5 استفاده گردید تا با استفاده از این تصاویر نقشه طبقه بندی مربوط به منطقه مورد مطالعه با دقت بالاتری بدست آید. با توجه به آنکه در هر پیکسل مادیس چندین پیکسل لندست قرار گرفته است، بدیهی است، مخلوط کردن سطوح مختلف در یک پیکسل ممکن است بر دقت بازبایی گسیلمندی تأثیر بگذارد. لذا با فرض اینکه رابطه خطی بین فراوانی و گسیلمندی برقرار است، متوسط گسیلمندی با استفاده از معادله (۸) که یک مدل اختلاط خطی می‌باشد و به صورت زیر محاسبه می‌گردد [۲۹].

$$\varepsilon_r(\theta, \varphi) = \sum_{K=1}^N a_k \varepsilon_k(\theta, \varphi) \quad (8)$$

در معادله فوق ε_r مقدار متوسط گسیلمندی، a_k مساحت منطقه مربوط به هر کاربری، و ε_k ضریب گسیلمندی برای هر کاربری است.

۳-۳- روش گسیلمندی نرمال (NEM)

روش گسیلمندی نرمال (NEM) از روش‌های نسبی محاسبه دما و گسیلمندی می‌باشد. برای محاسبه دما در هر پیکسل توسط گسیلمندی ثابت، حداکثر درجه حرارت هر پیکسل در فرمول پلانک جهت محاسبه گسیلمندی و دما مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش حداکثر گسیلمندی وابسته به پیکسل بعنوان یک ورودی استفاده

آن F یک ضریب شکل است که مقدار متوسط، با فرض توزیع‌های مختلف هندسی، ۰/۵۵ است [۲۵،۲۴].

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - p_v)F\varepsilon_v \quad (5)$$

۳-۲- روش طبقه بندی

در روش طبقه بندی یک پیکسل بعنوان یکی از چهارده "کلاس گسیلمندی" بر اساس طبقه بندی معمولی پوشش زمین و فصلی، مانند پوشش برف و شاخص پوشش گیاهی است. در هر کلاس بازه‌ای از مقادیر ضریب گسیل را براساس اندازه گیری‌های طیفی و ویژگی‌های ساختاری ارائه می‌دهد [۱۰]. کلاس‌هایی که ضریب گسیلمندی برای آن‌ها محاسبه می‌شود در واقع زیرمجموعه‌ای از کلاس استاندارد (IGBP) ^۱ هستند [۲۶]. برآورد گسیلمندی با استفاده از روش مدل خطی تابع توزیع بازتاب دوطرفه (BRDF) ^۲ که ضرایب طیفی حاصل از اندازه گیری‌های آزمایشگاهی نمونه مواد و پارامترهای ساختاری و نوع پوشش سطوح انجام می‌شود [۱۰].

۳-۲-۱- تجزیه و تحلیل طیفی خطی

روش تجزیه و تحلیل طیفی خطی، روشی ساده جهت بررسی و مشخص نمودن ترکیب مناطق شهری می‌باشد. روش آنالیز طیفی خطی، ترکیب سطحی هر پیکسل را با استفاده از پوشش خالص اعضاء که عضوهای پایانی ^۳ نامیده می‌شوند، بیان می‌کند و ترکیب خطی بین اعضاء برقرار می‌کند [۲۷]. در این تحقیق از روش V-I-S ^۴ جهت آنالیز طیفی استفاده شده است که در سال ۱۹۹۵ مدل V-I-S برای تجزیه و تحلیل محیط شهری توسط ریدد ^۵ بکار برده شد. این روش با استفاده از سه تصویر پوشش گیاهی، سطوح نفوذناپذیر و خاک در منطقه شهری مورداستفاده قرار می‌گیرد. این روش پدیده‌های آبی را شامل نمی‌شود و مناطق آبی باید از تصویر حذف شوند. با شناسایی منطقه مورد مطالعه، عضوهای پایانی از کتابخانه طیفی انتخاب و بر روی تصویر اعمال خواهد شد [۲۸].

^۱ International Geosphere Biosphere program

^۲ Linear bidirectional reflectance distribution function

^۳ Endmember

^۴ Vegetation, Impervious surface, Soil

^۵ Ridd

می‌شود [۳۰]. استفاده از قانون پلانک رابطه (۹) بدون در نظر گرفتن درخشندگی محیط می‌باشد [۳۱].

$$T_{\lambda} = B^{-1} \left(\frac{L(\lambda)}{\varepsilon_{\max}} \right) = \left[\frac{c_2}{\lambda \lg \left(\frac{c_1 \varepsilon_{\max}}{\lambda^5 \pi L(\lambda)} \right) + 1} \right] \quad (9)$$

T_{λ} دمای جسم سیاه در طول موج‌های مختلف، در صورتی که ε_{\max} ثابت باشد. $L(\lambda)$ درخشندگی بدست آمده توسط باندهای مختلف سنسور، 3.7418×10^{-16} بر حسب c_1 و $c_2 = 14388$ بر حسب μmk . در مرحله دوم، بالاترین درجه حرارت جسم سیاه از همه باندهای تعیین شده است.

$$T_{\lambda} = \max(T_{\lambda}) \quad (10)$$

در آخرین مرحله گسیلمندی از همه باندها محاسبه شده در صورتی که درجه حرارت بالا، دمای واقعی اشیاء است.

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{L(\lambda)}{B(\lambda, T)} \quad (11)$$

۳-۴- تلفیق داده‌های^۱ ضرایب گسیلمندی با روش‌های میانگین‌گیری ساده^۲ و روش میانه

ترکیب داده‌ها در داده‌های سنجش‌ازدور به سه سطح پیکسل یا داده، سطح ویژگی و سطح دانش یا تصمیم‌گیری تقسیم می‌گردد [۳۲]. با استفاده از این روش‌ها، معمولا داده‌های حاصل از منابع مختلف شامل تصاویر حاصل از سنجنده‌های مختلف و یا لایه‌های اطلاعاتی حاصل از روش‌های مختلف با هم تلفیق می‌گردند. روش‌های تلفیق داده‌ها در سطح پیکسل را می‌توان به سه دسته مجزا تقسیم‌بندی نمود که شامل روش‌های مربوط به رنگ و تصویر، روش‌های آماری، و روش‌های عددی یا ریاضی می‌شوند [۳۳]. از جمله روش‌های عددی می‌توان به روش میانگین‌گیری و میانه اشاره نمود که جزء ساده‌ترین روش‌های تلفیق داده می‌باشند که در سطح پیکسل انجام می‌شوند [۳۴]. در این پژوهش به منظور تلفیق مقادیر گسیلمندی حاصل از روش‌های مختلف، روش‌های

میانگین‌گیری و میانه با استفاده از روابط (۱۲) و (۱۳) به ترتیب بکار گرفته شدند [۳۵].

$$\mu_{i,j}(x) = \frac{1}{L} \sum_{x=1}^L d_{i,j}(x) \quad (12)$$

$$M_{i,j} = \text{median} [d_{i,j}(x)]_{x=1}^L \quad (13)$$

در روابط فوق، $d_{i,j}(x)$ مقدار گسیلمندی در پیکسل i و j برای روش x می‌باشد و مقدار L برابر تعداد کل روش‌های مورد استفاده برای محاسبه گسیلمندی است.

۴- دمای سطح زمین

۴-۱- روش پلانک

محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از قانون معکوس پلانک و معادله (۱۴) بدست می‌آید [۳۶].

$$T_s = \frac{BT}{\left[1 + \left(\frac{\lambda \cdot BT}{\rho} \right) \cdot \ln \varepsilon \right]} \quad (14)$$

در معادله فوق، T_s دمای سطح زمین، و BT دمای روشنایی برای هر یک از باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده مادیس می‌باشد. همچنین ε ضریب گسیلمندی، λ طول موج باند حرارتی، و ρ مقدار ثابت معادل 1.438×10^2 می‌باشد.

۴-۲- روش پنجره مجزا

در روش پنجره مجزا تنها دمای سطح زمین بعنوان خروجی این مدل شناخته می‌شود [۶]. ضرایب این الگوریتم از رابطه رگرسیونی که بر روی مجموعه داده‌های شبیه‌سازی شده با شرایط پوشش جوی جهانی و انواع مختلف سطوح اجرا شده است، بدست آمده‌اند [۶]. ضرایب این الگوریتم وابسته به گسیلمندی سطح و شرایط متفاوت (محدوده‌های متفاوت بخار آب، دمای هوا و زاویه دید سنجنده وغیره) می‌باشند. این روش برای سطوح با گسیلمندی معلوم و ثابت و یا اجسام خاکستری مانند گیاه و آب مناسب است [۷]. الگوریتم پنجره مجزا با توجه به سنجنده و باندهای حرارتی و نوع خطی و غیرخطی بودن روش‌های متعددی دارد. در این تحقیق از روش پنجره مجزا غیر خطی سوپرینو و همکاران (۲۰۰۰ و ۲۰۰۴، که

^۱ data fusion

^۲ Simple averaging

طبقه‌بندی، از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان به منظور طبقه‌بندی تصویر لندست-TM5 استفاده گردید و برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی از نرم افزار گوگل ارث^۱ استفاده شد. کلاس‌های تفکیک‌شده در این طبقه بندی شامل کلاس‌های پوشش گیاهی، خاک لخت و سطوح غیرقابل نفوذ می‌باشد. نقاط تعلیمی از گوگل‌ارث انتخاب شد و پس از اعمال طبقه بندی، برای هر کاربری ۵۰۰ نقطه تصادفی به عنوان نقاط آزمایشی استخراج گردید و ماتریس خطا^۲ برای آن‌ها محاسبه گردیده و متعاقباً صحت کلی^۳ و ضریب کاپا^۴ محاسبه شد. نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی با روش ماشین بردار پشتیبان

فصول	تاریخ	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا
بهار	۲۰۱۰/۰۵/۰۳	۹۵/۴۱	۰/۹۲
تابستان	۲۰۱۰/۱۱/۱۱	۹۴/۵۵	۰/۹۱
پاییز	۲۰۱۰/۰۸/۰۷	۹۷/۰۱	۰/۹۵
زمستان	۲۰۱۰/۱۲/۲۹	۹۴/۹۹	۰/۹۲

در این تحقیق پس از بدست‌آمدن گسیلمندی با استفاده از روش‌های ذکرشده، از روش تلفیق داده‌ها که شامل روش‌های میانگین‌گیری ساده و میانه‌گیری می‌باشد استفاده گردید. در این راستا به منظور ایجاد امکان مقایسه بین روش میانگین‌گیری و روش میانه‌گیری، مقدار میانگین و میانه چهار روش گسیلمندی محاسبه گردید و بعنوان مقادیر گسیلمندی در کنار مقادیر گسیلمندی حاصل از روش‌های دیگر برای محاسبه دمای سطح زمین با دو روش پلانک و پنجره مجزا استفاده گردید. پس از تبدیل دمای سطح زمین به دمای هوا در ارتفاع ۲ متری، مقادیر جذر میانگین مربعات خطا برای سه ایستگاه هواشناسی موجود در سطح شهر تهران محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که مقادیر دما در زمانی که از روش محاسبه گسیلمندی تفاضل گیاهی نرمال‌شده در کنار روش محاسبه دمای سطح پلانک استفاده می‌شود، دارای دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌های محاسبه گسیلمندی و دمای سطح می‌باشد.

وابسته به زاویه دید سنجنده می‌باشد، و از رابطه (۱۵) بدست می‌آید، استفاده گردید:

$$T_s = T_i + C_1(T_i - T_j) + C_2(T_i - T_j)^2 + C_0 + (C_3 + C_4W)(1 - \varepsilon) + (C_5 + C_6W)\Delta\varepsilon \quad (15)$$

در این رابطه، T_s مقدار دمای سطح زمین می‌باشد، T_i و T_j مقدار دمای درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲، ε یا ضریب گسیلمندی برابر با متوسط گسیلمندی باندهای ۳۱ و ۳۲ و $\Delta\varepsilon$ برابر با اختلاف گسیلمندی باندهای ۳۱ و ۳۲ مقدار بخارآب اتمسفر (گرم بر سانتی‌متر مربع) می‌باشد. C_0 تا C_6 ضرایب عددی الگوریتم پنجره مجزا بوده که در جدول (۱) نشان داده شده اند و این ضرایب بسته به شرایط سنجنده متفاوت است [۳۷].

جدول ۱- ضرایب عددی الگوریتم پنجره مجزا در سنجنده مادیس ماهواره ترا

C0	۰/۰۰۴
C1	۲/۶۲۵
C2	۰/۴۲۴
C3	۴۱/۴
C4	۰/۰۴
C5	-۲۰۱
C6	۲۶/۶

پس از محاسبه نقشه‌های دمای سطح زمین با استفاده از روش‌های مختلف، به منظور مقایسه و اعتبارسنجی نقشه‌های ایجاد شده، دمای سطح بدست آمده برای نواحی دارای ایستگاه هواشناسی به دمای هوا در ارتفاع دو متری تبدیل گردید تا امکان مقایسه این دما با دمای ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی وجود داشته باشد. معادله‌ی تبدیل دمای سطح زمین به دمای هوا در ارتفاع دومتری برای مناطق شهری با استفاده از رابطه (۱۶) بدست‌آمد که در آن T_s - مقدار دمای سطح زمین و a برابر با ۰/۴۴ و مقدار b برابر با ۱۴/۶ می‌باشد [۳۸ و ۳۹].

$$T_{air} = a T_s + b \quad (16)$$

۵- نتایج

با توجه به اهداف این تحقیق، چهار روش مختلف به منظور تعیین گسیلمندی سطح مورد استفاده و مقایسه قرار گرفتند. به منظور تعیین گسیلمندی با استفاده از روش

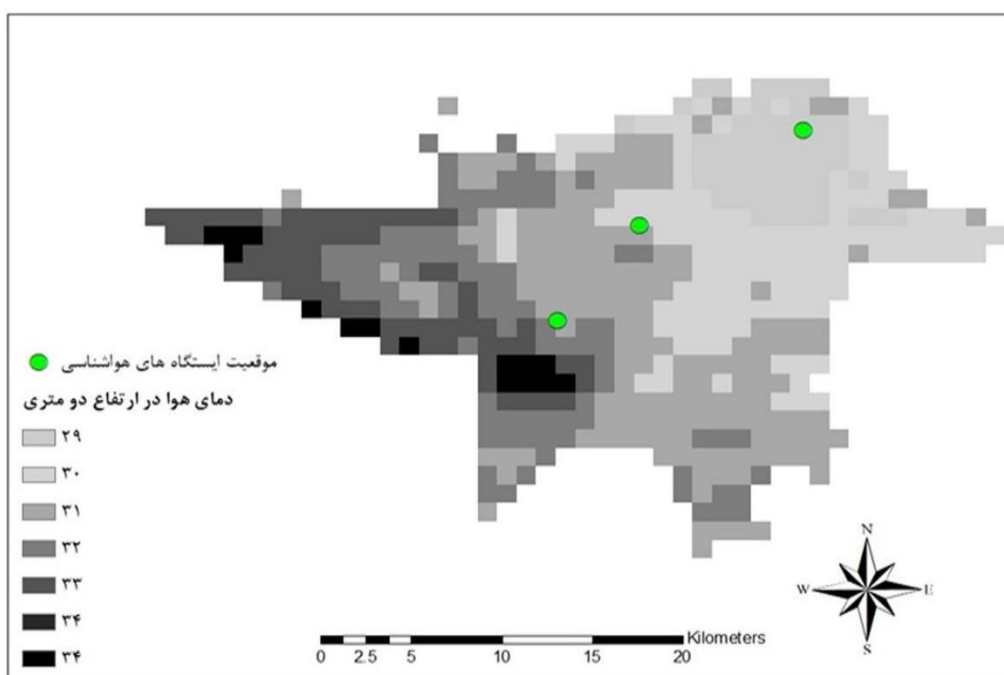
۱ google earth
 ۲ confusion matrix
 ۳ overall accuracy
 ۴ kappa coefficient

جدول ۳- مقادیر جذر میانگین مربعات خطای دمای سطح محاسبه شده با استفاده از روش های پلانک و پنجره مجزا

روش ها	پلانک		پنجره مجزا
	باند ۳۱	باند ۳۲	
تفاضل گیاهی نرمال شده	۱/۶۵	۱/۶۷	۱/۹۶
طبقه بندی MOD11A1	۱/۷۴	۱/۸۳	۱/۹۸
گسیلمندی نرمال	۱/۷۲	۱/۷۶	۲/۲۷
میانگین گیری ساده	۱/۶۷	۱/۶۸	۲/۱۰
میانگین گیری (میان)	۱/۶۰	۱/۶۳	۱/۷۶
میانگین گیری (میان)	۱/۶۳	۱/۶۲	۱/۹۰

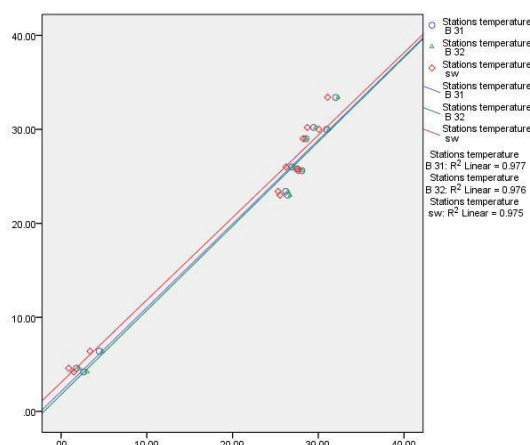
میانگین مربعات خطا را برای هر دو روش محاسبه دمای سطح کاهش می دهد. این در حالیست که، نقشه دمای سطح حاصل از گسیلمندی تلفیقی که حاصل از روش میانگین گیری ساده می باشد خطای کمتری نسبت به آنچه که از روش محاسبه گسیلمندی تلفیقی میانه بدست می آید، دارد. سرانجام با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۳)، تلفیق روش های گسیلمندی پیشنهادی در این تحقیق می تواند در کاهش خطای محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از روش های مختلف محاسبه دمای سطح موثر باشند. شکل (۲) نشان دهنده نقشه دمای سطح زمین برای شهر تهران می باشد که با استفاده از روش میانگین گیری گسیلمندی ها به منظور تلفیق مقادیر گسیلمندی و روش محاسبه دمای سطح پلانک برای باند ۳۱ بدست آمده است. همچنین شکل (۳) نشان دهنده میزان همبستگی بین دمای واقعی اندازه گیری شده و دمای بدست آمده در باندهای ۳۱ و ۳۲ از روش پلانک و همبستگی بین دمای واقعی اندازه گیری شده و دمای حاصل از پنجره مجزا با استفاده از گسیلمندی حاصل از روش میانگین گیری می باشد. همانگونه که در شکل (۳) نیز نشان داده شده است، میزان ضریب تعیین بین دماهای محاسبه شده و اندازه گیری شده بیش از ۰/۹۷ می باشد.

همچنین در روش پنجره مجزا نیز مقدار خطای دمای سطح محاسبه شده با استفاده از گسیلمندی حاصل از روش تفاضل گیاهی نرمال شده کمتر از سایر مقادیر بدست آمده با استفاده از روش های گسیلمندی دیگر می باشد. همچنین نتایج این جدول نشان دهنده خطای بالای دمای سطح حاصل از محصولات گسیلمندی سنجنده مادیس (MOD11A1) نسبت به سایر روش های محاسبه گسیلمندی می باشد تا آنجا که مقدار عنوان گردید، علاوه بر مقایسه روش های مختلف محاسبه گسیلمندی و دما، تلفیق مقادیر گسیلمندی با استفاده از روش های میانه و میانگین گیری نیز از اهداف این تحقیق بود. نتایج جدول (۳) نشان می دهد که تلفیق مقادیر گسیلمندی مقدار جذر



شکل ۲- نقشه دمای سطح زمین با استفاده از روش میانگین گیری ساده و روش محاسبه دمای سطح پلانک باند ۳۱

سطح، عدم شناسایی پوشش گیاهی سالخورده و غیره کمتر قابل اعتماد است و به همین خاطر احتمال خطای بالا و تغییرات زیادی در برخی از کلاس‌های ناهمگن و پیکسل‌های مربوط به آنها وجود دارد [۱۶]. میزان تابش سطح زمین به طور کلی ناهمگن است و وابسته به عوامل متعددی از جمله رطوبت خاک، تغییرات پوشش گیاهی و ترکیبات سطح زمین می‌باشد که توسط نقشه‌های طبقه‌بندی مشخص نیست [۴۲]. برخلاف گسیلمندی آب مانند اقیانوس‌ها، گسیلمندی سطح زمین ممکن است بطور قابل توجهی از یک مکان به مکان دیگر متفاوت باشد [۱۶]. به همین خاطر است که در زمان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی پایین، مقادیر گسیلمندی بدست‌آمده خصوصا برای سطح زمین دارای خطا می‌باشند. به همین خاطر در این تحقیق از روش آنالیز طیفی خطی استفاده گردید تا نتیجه مطلوب‌تری حاصل گردد چرا که گسیلمندی تابعی از طول موج می‌باشد و معمولا به تابش اشعه‌ی طیفی اشاره دارد [۴۰]. هرچند به دلایل عنوان شده نتیجه مطلوبی از روش طبقه‌بندی حاصل نگردید. در روش گسیلمندی نرمال نیز از یک گسیلمندی ثابت براساس پوشش کلی منطقه و استفاده از کتابخانه‌های طیفی موجود استفاده می‌گردد. با توجه به پوشش منطقه شهری، فرض براین است که سطح زمین از خاک، پوشش گیاهی، آب و سنگ تشکیل شده‌است [۴۳]. در این روش پیکسل مختلط نادیده گرفته می‌شود و تنها مقدار گسیلمندی غالب سطوح تعیین‌کننده می‌باشد و این مسئله می‌تواند دلیل عمده ضعف این روش در این تحقیق می‌باشد. همچنین در استفاده از محصولات سنجنده مادیس، محصول گسیلمندی روزانه MOD11A1 نیز از روش طبقه‌بندی استفاده گردیده است و در نتایج نیز مشخص شد که نسبت به روش‌های دیگر گسیلمندی از دقت پایین‌تری برخوردار بوده است. تصاویر سنجنش‌ازدور، داده‌های مربوط به پدیده‌های زمین را در حالت‌های مختلف طیفی، فضایی و زمانی ناهمگنی ارائه می‌دهند. متعاقبا، تلفیق داده‌های حاصل از منابع مختلف می‌تواند یکی از راه‌حل‌های مناسب در استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور باشد [۴۴]. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق در مقایسه‌ی روش‌های گسیلمندی و مزایا و معایب هریک از این روش‌ها که در بخش (۱) ذکر گردیده است، می‌توان از روش‌های ترکیبی برای محاسبه گسیلمندی سطوح و دمای سطح زمین



شکل ۳- نمودار رابطه بین دمای محاسبه شده و دمای اندازه گیری شده با استفاده از روش‌های پلانک و پنجره مجزا و گسیلمندی حاصل از روش میانگین گیری

۶- بحث

در مقایسه‌ی روش‌های مختلف گسیلمندی همانطور که در بخش نتایج بیان شد روش پوشش گیاهی تفاسل نرمال- شده نتایج بهتری را نسبت به روش‌های دیگر ارائه داده است. این روش برای سطوحی با پوشش گیاهی، گسیلمندی متفاوتی را می‌تواند در انواع گونه‌های گیاهی، متراکم و در حال رشد ارائه دهد [۴۰]. چرا که در این روش با تغییر مقدار شاخص آستانه‌گذاری، پوشش‌های گیاهی را می‌توان از نظر تراکم و پراکندگی از هم تفکیک نمود [۲۲]. از طرف دیگر این مسئله ثابت شده‌است که کسر پوشش گیاهی رابطه نزدیکی با دمای سطح زمین داشته و به همین خاطر یک پارامتر مهم در سنجنش‌ازدور حرارتی برای بازیابی دقیق دمای سطح زمین محسوب می‌گردد [۴۱]. در محاسبه گسیلمندی به روش طبقه‌بندی نتایج چندان رضایت بخشی حاصل نگردید. دلایل متعددی را برای این عملکرد ضعیف می‌توان بیان نمود. در روش طبقه‌بندی با توجه به اینکه مقادیر گسیلمندی برای کلاس‌ها با استفاده از مقادیر تعیین شده در آزمایشگاه‌های طیفی اعمال می‌شود، لذا احتمال وجود تفاوت بین مقادیر استفاده شده و مقادیر اصلی گسیلمندی پیکسل‌ها به دلیل عدم خلوص پیکسل‌ها وجود دارد. به عبارت دیگر اگرچه در این تحقیق از تصاویر لندست به منظور تهیه نقشه طبقه‌بندی استفاده گردید، ولی این روش می‌تواند برای تصاویری با قدرت تفکیک مکانی بالا که دارای پیکسل‌های خالص است بهتر نتیجه دهد. همچنین روش طبقه‌بندی به دلایلی از قبیل عدم تعیین رطوبت

استفاده کرد تا نتیجه بهتری حاصل گردد. سطح زمین از انواع پوشش‌های مختلف تشکیل شده است و محاسبه گسیلمندی دقیق این سطوح بسیار دشوار می‌باشد. سطوح طبیعی مشاهده شده از فضا، بخصوص در وضعیت قدرت تفکیک مکانی پایین معمولاً منجر به شکل‌گیری پیکسل‌هایی ناهمگن می‌گردد. با توجه به این مطلب، یافتن پیکسل خالص و هم‌دما خصوصاً در مواردی که قدرت تفکیک مکانی بیش از ۱۰۰ متر تا چند کیلومتر می‌باشد، بسیار مشکل است [۲۹]. به دلیل کمبود اطلاعات و برآورد قابل اعتماد، تعیین میانگین تقریبی و تغییرات نسبی در میزان گسیلمندی در بین سطوح مختلف مفید است [۱۰]. این مسئله در نتایج این تحقیق نیز نشان داده شد و استفاده از میانگین‌گیری از گسیلمندی‌های حاصل از روش‌های مختلف به نتایج بهتری نسبت به استفاده از یک روش خاص منجر گردید. به عبارت دیگر، استفاده از این روش منجر به ترکیب ویژگی‌ها از منابع مختلف (روش‌های متفاوت) با هدف افزایش دقت و بهبود کیفیت شده است [۴۵]. با توجه به مزایا و معایب روش‌های دمای سطح زمین، روش پنجره مجزا نسبت به روش پلانک کاربردی‌تر می‌باشد ولی به دلیل عدم اطمینان حاصل از آلودگی ابر، اثر زاویه دید و تعیین مقدار دقیق گسیلمندی نسبت به روش پلانک دقت پایین‌تری دارد [۲۹، ۱۶]. به همین خاطر است که در این تحقیق نیز روش پلانک در هر دو باند ۳۱ و ۳۲ تصویر سنجنده مادیس نسبت به روش پنجره مجزا دقت مطلوب‌تری را برای محاسبه دمای سطح زمین ارائه داده است. این مسئله در مطالعات دیگران نیز تایید شده است. به عنوان مثال ندیسی^۱ و همکاران (۲۰۱۶)، از سه الگوریتم تک کاناله و پنجره مجزا و تابع پلانک را برای محاسبه دمای سطح زمین بکار گرفتند و به ترتیب جذر میانگین مربعات خطا برای این روش‌ها برابر با ۳/۷۷ و ۲/۸۸ و ۲/۲۹ درجه کلونین شد. نتایج سه الگوریتم نشان داد که تابع پلانک بالاترین سطح از صحت و دقت را در بین این روش‌ها ارائه داد [۳۶].

در این تحقیق دمای سطح زمین با خطای ۱/۶ درجه کلونین محاسبه گردید. دمای سطح زمین بعنوان یک متغیر آب و هوایی که مربوط به تعادل انرژی سطح و اتمسفر است، نسبت به نوع کاربری و پوشش زمین حساس و متفاوت می‌باشد [۴۶]. تعیین دمای سطح زمین

نیازمند شناخت صحیح از گسیلمندی سطوح می‌باشد [۲۳]. لذا خطای ایجاد شده در محاسبه دمای سطح می‌تواند تا حدود زیادی به خطای حاصل از گسیلمندی مربوط باشد. علاوه بر این، اعتبارسنجی دمای سطح زمین بسیار دشوار است. زیرا دمای بدست‌آمده در تصویر، دمای مربوط به کل پیکسل است، درحالی‌که مقدار دمای اندازه‌گیری شده در ایستگاه، دمای نقطه اندازه‌گیری شده و با وسعت و محدوده اندکی می‌باشد [۴۶]. لذا بخشی از خطای مربوط به دمای محاسبه شده می‌تواند مربوط به این بخش باشد هرچند با توجه به خطاهای محاسبه دمای سطح که در تحقیقات دیگر گزارش شده است بین ۱/۳۹ درجه کلونین تا ۲/۳۹ درجه کلونین [۴۷] و [۱۷]، خطای بدست‌آمده در این تحقیق مطلوب ارزیابی می‌شود.

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ضمن مقایسه چهار روش مختلف محاسبه گسیلمندی، تلفیق داده‌های گسیلمندی به منظور محاسبه دمای سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت. همچنین دو روش پلانک و پنجره مجزا به منظور محاسبه دمای سطح زمین از تصاویر مادیس مورد مقایسه قرار گرفتند. پس از اعتبارسنجی نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان نتایج زیر را برای تحقیق حاضر بیان نمود:

- در میان روش‌های محاسبه گسیلمندی مورد استفاده در این تحقیق، گسیلمندی بدست آمده از روش تفاضل گیاهی نرمال شده در هر دو روش استخراج دما، از خطای کمتری در محاسبه دمای سطح زمین برخوردار بود.
- ترکیب روش‌های گسیلمندی می‌تواند منجر به بهبود نتایج حاصل از محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های مادیس گردد.
- از میان روش‌های ترکیب گسیلمندی، روش میانگین‌گیری ساده در هر دو روش محاسبه دمای سطح زمین از دقت مطلوبی برخوردار بود.
- روش پلانک در باند ۳۱ و ۳۲ تصویر مادیس دقت بهتری را برای محاسبه دمای سطح زمین نسبت به روش پنجره مجزا ارائه داد.

^۱ Ndossi

- [1] Sobrino ,J. A., J. C. Jiménez-Muñoz, M. Gómez, A. Barea-Ortiz, G. Sòria, Y. Julià, M. M. Zaragoza-Ivorra, J. A. Gómez, E. de Miguel, M. Jiménez, B. Su, W. Timmermans, J. Moreno, L. Guanter and R. Bianchi. "Application of high-resolution thermal infrared remote sensing to assess land surface temperature and emissivity in different natural environments". <https://studylib.net/doc/11869106>. pp,1-5.2007.
- [2] Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothern, J. S., Hook, S., & Kahle, A. B. A "temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images". "IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing", 36, pp.1113–1126.1998.
- [3] Sattari ,F. and M. Hashim." A Breife Review of Land Surface Temperature Retrieval Methods from Thermal Satellite Sensors ". Middle-East Journal of Scientific Research 22 (5):pp.757-768.2014.
- [4] Price, J. C. "Estimating Surface Temperatures from Satellite Thermal Infrared Data-A Simple Formulation for the Atmospheric Effect", Remote Sens. Environ, 13, pp. 353-361.1983
- [5] Qin, Z., Karnieli, A., Berliner, P. "A mono-algorithm for retrieving land surface temperature from LandsatTM data and its application to the Israel–Egypt border region". International Journal of Remote Sensing 22 (18), pp.583–594.2001.
- [6] Anding D., Kauth R. "Estimation of Sea Surface Temperature from Space". Remote Sens. Environ. 1, pp. 217-220.1970.
- [7] Wan , Zhengming and Jeff Dozier," A Generalized Split- Window Algorithm for Retrieving Land-Surface Temperature from Space ". IEEE transactions on geoscience and remote sensing, VOL. 34, NO. 4, pp.892-905.1996.
- [8] Wan, Z." MODIS Land Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Documentation", Version 3.3., URL: [http:// www.icess.ucsb.edu/modis/atbd-mod-11.pdf](http://www.icess.ucsb.edu/modis/atbd-mod-11.pdf).1999.
- [9] Jensen ,john.R,"Remote Sensing of the Environment".second edition.2000.
- [10] Snyder,William C. Zhengming Wan, Yulin Zhang, and Yue-Zhong Feng, "Classification-based Emissivity for Land Surface Temperature Measurement from Space ".Institute for Computational Earth System Science University of California.2005 .4.
- [11] Sobrino ,José A. , Juan C. Jiménez-Muñoz, Guillem Sòria, Mireia Romaguera, Luis Guanter, José Moreno, Antonio Plaza, and Pablo Martínez." Land Surface Emissivity Retrieval From Different VNIR and TIR Sensors". IEEE transactions on geoscience and remote sensing, VOL. 46, NO. 2,pp.316-327.2008.
- [12] Wan ,Zhengming, Yulin Zhanga, Qincheng Zhanga, Zhao-liang Li." Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data". Remote Sensing of Environment 83. pp.163–180.2002.
- [13] Weng, Qihao; Peng Fu, Feng Gao,." Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data". Remote Sensing of Environment 145 .55–67,2014.
- [14] Amiri ,Reza.Qihao Weng, Abbas Alimohammadi,Seyed Kazem Alavipanah." Spatial–temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran". Remote Sensing of Environment 113 (2009) 2606–2617.
- [15] Liu ,H., L. Xu, J. Ding1, Bianba Ciren, Z. Liu, Basang Zhuoga, X. Deng, and S. Zhang." Land Surface Temperature and Emissivity Estimation from Modis Observations ". The 1st International Conference on Information Science and Engineering (ICISE2009).pp.4923-4926.2009.
- [16] Liang, Li Zhao, Bo-Hui Tang a, Hua Wu a, Huazhong Ren c, Guangjian Yan c, Zhengming Wan d, Isabel F. Trigo e, f, José A. Sobrino. "Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives". Remote Sensing of Environment 131.pp.14–37.2013.
- [17] Mitraka Z., Chrysoulakis N." Advanced satellite image fusion techniques for estimating high resolution Land Surface Temperature time series ". Comecap e-book of proceedings-vol.2.pp,267-271.2014.
- [18] Zheng , Yufeng ;" Image Fusion and Its Applications", (Chapter 1 Survey of Multispectral Image FusionTechniques in Remote Sensing Applications),ISBN 978-953-307-182-4. 2011.

- [19] Pinheiro, A.C.T, J. Descloitres, J.L. Privette, J. Susskind, L. Iredell, J. Schmaltz ." Near-real time retrievals of land surface temperature within the MODIS Rapid Response System"Remote Sensing of Environment 106 ,pp.326–336.2007
- [20] Snyder, W. C., Wan, Z., Zhang, Y., & Feng, Y. Z. "Classification based emissivity for land surface temperature measurement from space". International Journal of Remote Sensing, 19, pp.2753–2774.1998.
- [21] Sobrino,J.A, J.C.Jimenez-mun oz,J.EL-Kharraz,M.go mez,M.Romaguera and G.SO Ria."Single-channel and two-channel methods for land surface temperature retrieval from DAIS data and its application to the Barrax site".remote sensing,.,vol.25,NO.1,pp.215-230.2004.
- [22] Bhandari ,A. K, A. Kumar, and G. K. Singh," Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): a Case Study of Jabalpur City " 2nd International Conference on Communication, Computing & Security [ICCCS-2012]. Procedia Technology 6.pp.612 – 621.2012.
- [23] Giannini, M. B. ,O. R. Belfiore, C. Parente and R. Santamaria." Land Surface Temperature from Landsat 5 TM images: comparison of different methods using airborne thermal data". Journal of Engineering Science and Technology Review 8 (3) pp.83-90.2015.
- [24] Tang,B.-H, K. Shao, Z.-L. Li, H. Wu & R. Tang." An improved NDVI-based threshold method for estimating land surface emissivity using MODIS satellite data ". International Journal of Remote Sensing.3.2015.
- [25] Sobrinoa ,Jose´ A, Juan C. Jime´nez-Mun´oz, Leonardo Paolini." Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5 ". Remote Sensing of Environment 90 .pp.434–440.2004.
- [26] Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Hook, S. J., Matsunaga, T., & Kahle, A. B. "Temperature/emissivity separation algorithm theoretical basis document", Version 2.4. pp. 1–64.1996.
- [27] Weng Q., Lu D., and Schubring J., "Estimation of Land Surface Temperature–Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies", Remote Sens Environ 89(4):pp.467– 483.2004.
- [28] Weng, Q., Liu, H. and Lu, D., "Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using,land scape metrics in city of Indianapolis United States, Urban Ecosyst", 10:pp.203-219.2007.
- [29] Liang Li ,Zhao, Hua Wu, Ning Wang , Shi Qiu, José A. Sobrino, Zhengming Wan , Bo-Hui Tang , and Guangjian Yan,." Land surface emissivity retrieval from satellite data". International Journal of Remote Sensing, Vol. 34, 3084–3127.2013.
- [30] Wang, Junhu." Study on the Separation Technology of Temperature and Emissivity Data Based on the Airborne Thermal Infrared Image". Beijing Research Institute of Uranium Geology, National Key Laboratory of Remote Sensing Information and Image Analysis Technology ,Beijing China.pp.1317-1324.2013.
- [31] Gillespie, A. R.S. Rokugawa, S. J. Hook, T. Matsunaga, and A. B. Kahle." Temperature/Emissivity Separation Algorithm Theoretical Basis Document, Version 2.4 ". Prepared under NASA Contract NAS5-31372.1999.
- [32] Zhang ,Jixian,." Multi-source remote sensing data fusion: status and trends" . International Journal of Image and Data Fusion.Vol. 1, No. 1,5–24. 2010.
- [33] Ehlers ,Manfred,." Spectral characteristics preserving image fusion based on Fourier domain filtering" . Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IV, Vol. 5574.PP,1-13.2004.
- [34] Sahu, Deepak Kumar, M.P.Parsai "Different Image Fusion Techniques". International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). Vol. 2, Issue. 5,.,pp-4298-4301. 2012.
- [35] Yager ,Ronald R. "Fusion of ordinal information using weighted median aggregation". International Journal of Approximate Reasoning 18.PP, 35-52.1998.
- [36] Ndossi Milton Isaya , Ugur Avdan,." Inversion of Land Surface Temperature (LST) Using Terra ASTER Data: A Comparison of Three Algorithms ". Remote Sensing.pp,1-19.2016.
- [37] Jiménez-Muñoz,J.C , José A. Sobrino,." Split-Window Coefficients for Land Surface Temperature Retrieval From Low-Resolution Thermal Infrared Sensors". IEEE geoscience and remote sensing letters, PP, 806-809.2008.

- [38] Xu .Yongming, Zhihao Qin and Yan Shen., " Study on the estimation of near-surface air temperature from Modis data by statistical methods ". International Journal of Remote Sensing. Vol. 33, No. 24, pp,7629–7643.2012.
- [39] Garcia-Cueto,O. R., E. Jauregui-Ostos, D. Toudert, A. Tejada-Martinez." Detection of the urban heat island in Mexicali, B. C., México and its relationship with land use ". *Atmósfera* 20(2), PP:111-131, 2007.
- [40] Dinh, Ho Tong Minh; Le Van Trung; Tran Thi Van." Surface emissivity in determining land surface temperature". International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences..PP,1-6. 2006.
- [41] Jiménez-Muñoz ,J. C., J. A. Sobrino, L. Guanter, J. Moreno, A. Plaza and P. Matínez., " fractional vegetation cover estimation from PROBA/CHRIS data: methods, analysis of angular effects and application to the land surface emissivity retrieval ". CHRIS/Proba, Proceedings of the third workshp .PP,1-10.2005.
- [42] Hulley ,G. S. Hook." HypsIRI Level-2 Thermal Infrared (TIR) Land Surface Temperature and Emissivity Algorithm Theoretical Basis Document". Hypsiri level-2 surface temperature and emissivity ATBD..PP.1-64. 2011.
- [43] Peng ,D. Q., Y. H. Chen, J. Li, J. Zhou, W. Ma."research on urban surface emissivity based on unmixing pixel". The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.PP,113-117. 2008.
- [44] Ranchin ,Thierry," Data fusion in remote sensing: examples". MINES ParisTech, PSL Research University. https://www.researchgate.net/publication/47805585_pp_1-8_2014.
- [45] Fu ,C. Y, J. R. Tsay."statistic tests aided multi-source dem fusion". Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B6, PP,277-233.2016.
- [46] Kapoi Kipterer John, Omowumi Alabi., "Agricultural Drought Severity Assessment Using Land Surface Temperature and NDVI In Nakuru region, Kenya". Proceedings of Global Geospatial Conference .pp, 1-26.2013.
- [47] Yu,Xiaolei , Xulin Guo and Zhaocong Wu., " Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS— Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method". Remote Sens., pp, 9829-9852. 2014.