

تخمین دمای هوای سطح زمین با استفاده از داده LST سنجنده MODIS

سید علی واعظ موسوی^۱، مهدی مختارزاده^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
avaez@mail.kntu.ac.ir

۲. استادیار گروه آموزشی فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
m_mokhtarzade@kntu.ac.ir

چکیده

با توجه به نیاز روزافزون به داده‌های هواشناسی و وجود محدودیت‌هایی در اخذ داده از ایستگاه‌های زمینی، سنجش از دور می‌تواند به خوبی در فراهم‌سازی داده‌های هواشناسی نقش ایفا کند. در این پژوهش مدل‌هایی برای برقراری ارتباط میان داده سنجش از دوری LST به دست آمده از سنجنده MODIS با دمای هوای سطح زمین ارائه شده است؛ که با استفاده از آن پس از تشکیل مدل، می‌توان در مناطق تحت پوشش ماهواره، مقادیر دمای هوا را محاسبه کرد. پس از بررسی سه مدل مختلف که از داده LST روزانه و شبانه استفاده می‌کنند، ارزیابی آن‌ها با استفاده از داده ایستگاه‌های زمینی انجام گرفت؛ که نتایج ارزیابی نشان می‌دهد، امکان رسیدن به دقت‌های ۵/۰۶، ۳/۰۹ و ۳/۰۳ درجه سانتی‌گراد در منطقه مورد مطالعه وجود داشته است. این مقدار نشان‌دهنده بیش از ۴۰٪ بهبود نسبت به روش نزدیک‌ترین همسایگی در تخمین دمای هوا است. هرچند، استفاده از داده آموزشی بیشتر برای برآورد پارامترهای هر مدل، و مطالعه بر روی منطقه‌ای با وسعت کمتر و همگونی بیشتر، می‌تواند این دقت را به‌طور چشمگیری افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، سنجنده MODIS، LST، دمای هوای سطح، مدل‌های آماری

۱- مقدمه

دمای هوا، که معمولاً در فاصله ۲ متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود، یک متغیر کلیدی در سطح وسیعی از کاربردهای محیطی است. عوامل مختلفی در تغییر دما تأثیر می‌گذارند که در این میان، تابش خورشیدی اصلی‌ترین جریان انرژی بوده و تأثیر شدیدی بر روی آن می‌گذارد. مقدار انرژی خورشیدی که به سطح زمین رسیده را می‌توان با فاکتورهایی از قبیل عرض جغرافیایی (که موقعیت نسبی خورشید در طول روز را مشخص می‌کند و می‌تواند بر مدت‌زمان طول روز تأثیر بگذارد و با استفاده از این مدت‌زمان، می‌توان به توزیع کل انرژی تابشی رسیده به سطح در طول سال دست‌یافت) پوشش ابر و ذرات معلق در جو مرتبط دانست [۴]. انرژی در سیستم زمین-جو به وسیله جذب طیف نور در قسمت طول‌موج کوتاه تابش فرودی خورشید و انتشار امواج مادون‌قرمز (طول‌موج بلند) و جریان‌های افت گرما به تعادل می‌رسد. این فرآیندها باعث گرمایش و سرمایش سطح زمین می‌شوند و اصلی‌ترین چرخه تعدیل‌کننده دمای روزانه سطح زمین هستند [۵].

از مهم‌ترین کاربردهای محیطی دما، می‌توان به مواردی مانند انتقال بیماری، آب‌شناسی، فرآیندهای زیست‌کره، تغییرات آب و هوایی و... اشاره کرد. این پارامتر در تحقیقات بسیاری به کار گرفته شده است؛ بطورمثال مرج (۱۳۸۷)

برای تشخیص مناطقی با احتمال وجود مالاریا، و شاد (۱۳۸۸) برای پیش‌بینی آلودگی هوا از دما به عنوان یکی از پارامترهای ورودی استفاده کرده‌اند [۶][۸].

با توجه به اهمیت این موضوع، اندازه‌گیری‌های هواشناسی، در ایستگاه‌های مختلف در سطح جهان به‌طور منظم انجام می‌گیرد. این اندازه‌گیری‌ها اطلاعات دقیق دمای هوا در زمان‌های گسسته را فراهم می‌کند؛ اما محدودیت آن ناهمگونی مکانی دمای هوا در یک محدوده وسیع از زمین و ناتوانی در تعمیم آن است. اندازه‌گیری‌های دمای هوا، معمولاً با خطای زیادی در رابطه با درون‌یابی مواجه هستند و گاهی منجر به ناتوانی در ارائه پیش‌بینی الگوهای مکانی می‌شوند [۱۴].

علاوه بر این، پیچیدگی در رابطه با تخمین درست الگوی دمای هوا، زمانی زیاد می‌شود که فواصل زمانی کوتاهی از اطلاعات دما مورد نیاز بوده و دماهای زیاد و اهداف بزرگ‌مورد نظر باشند [۱۰]. صرف‌نظر از این روش، دقت درون‌یابی به تراکم شبکه ایستگاه‌ها و مقیاس متغیرهای زمانی و مکانی پارامترها شدیداً وابسته است. خطاهای درون‌یابی به‌طور کلی، وابسته به مقیاس مکانی و زمانی و پارامترهای دما و روش‌هایی که گرفته شده تغییر می‌کند [۹]. استفاده از داده‌های سنجش از دوری می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی برآورد T_{air} و الگوهای زمانی-مکانی را بهبود بخشد. این کار، دانش فرآیندهای زیست‌محیطی و آب و هوایی را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای افزایش می‌دهد. در مناطقی از جهان که تراکم ایستگاه‌های هواشناسی کم و فاصله آن‌ها از یکدیگر زیاد است، یا داده‌ها در دسترس نیستند و یا دسترسی به داده‌های هواشناسی هزینه‌بردار است، سنجش از دور می‌تواند به‌عنوان یک منبع مهم اطلاعات با ارزش مورد استفاده قرار گیرد. در زمانی طولانی‌تر، این داده‌ها می‌توانند نیاز به اندازه‌گیری‌ها در سطح سایت را در آینده کاهش دهند [۳].

محققین روش‌های متنوعی برای استفاده از داده‌های سنجش از دور در تخمین دمای سطح زمین ارائه داده‌اند. در تحقیقات پیشین نشان داده شده است، امواجی که توسط سنسورهای ماهواره اخذ می‌شود، ترکیبی از انرژی انتشار یافته از سطح زمین، انرژی جذب شده توسط اتمسفر در بخار آب یا انتشار دوباره از اتمسفر، در سطح زمین است. این انرژی مخلوطی از دمای گیاهان، خاکی که در نور قرار گرفته و یا خاکی که در سایه قرار دارد و عارضه‌های مصنوعی دیگر است [۲]. با در نظر داشتن این موضوع، در تحقیقات بسیاری به تخمین دما با استفاده از داده‌های سنجش از دور پیرداخته شده است. به‌طور مثال Vancutsem و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از داده سنجنده MODIS^۱ و Cresswell و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از داده سنجنده Meteosat به تخمین دمای هوای زمین پرداخته‌اند [۹][۲].

دمای سطح زمین به‌طور رایج LST^2 نامیده می‌شود و کیفیت بازیابی آن متأثر از مشخصات سنجنده، شرایط جوی، تغییرات در گسیلمندی طیفی، نوع ناهمگونی سطح، رطوبت خاک و برخی عوامل دیگر است. این پارامتر به‌طور منظم توسط سنجنده MODIS به دست آمده و در دو حالت روزانه و شبانه، اطلاعاتی از دمای سطح زمین فراهم می‌کند. در تحقیقات بسیاری، از این داده برای تخمین دمای هوا استفاده شده است [۱][۵][۷]. جریان‌های گرمایی به شدت متأثر از دمای سطح هستند و تقسیم انرژی بین آن‌ها با محتوای رطوبت، نوع سطح، سرعت باد و گسیلمندی کنترل می‌گردد. تنوع در عوارض سطح زمین، به شدت روی اتمسفر اثر گذاشته و در تغییرات T_{air} مؤثر می‌شود؛ که منجر به تغییرات LST به‌ویژه در روزهای آسمان صاف خواهد شد [۳].

1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

2- Land Surface Temperature

هرچند LST_{air} به شدت به یکدیگر همبسته‌اند، تکنیک‌های اندازه‌گیری و پاسخ به شرایط جوی و فازه‌های روزانه مختلفی دارند [۱]. میزان افت LST_{air} با تعادل انرژی سطح کنترل می‌شود و این موضوع وابسته به اطلاعاتی است که همیشه با ماهواره فراهم نمی‌شوند. میزان افت دما می‌تواند در چرخه روزانه بسیار متغیر باشد؛ در طول روز دمای سطح به‌طور کلی بیشتر از دمای هوا است و در طول شب دقیقاً عکس این حالت اتفاق می‌افتد که این موضوع منجر به تخمین بیش از واقعیت و کمتر از واقعیت می‌شود [۲]. در طول روز، سهم عظیمی از انرژی به خاطر تابش امواج با طول موج بلند به وسیله تابش خورشیدی است. در طول شب تخمین T_{air} ساده‌تر به نظر می‌رسد. این موضوع به دلیل عدم تأثیر امواج خورشید روی سیگنال‌های مادون قرمز حرارتی در شب است [۹].

تخمین T_{air} به وسیله سنسور از دور معمولاً بر اساس مدل‌هایی به دست می‌آید، که برای داده‌های گسسته، توسط ایستگاه‌های هواشناسی ساخته شده‌اند. از این منظر تخمین T_{air} برای مناطق بزرگ چندان واقعی نیست. این موضوع بسیار مهم است که مدل ساخته شده علاوه بر پیش‌بینی‌هایی به دست آمده به واقعیت نزدیک باشد [۱].

روش‌های آماری برای این هدف استفاده می‌شوند که تخمین چندگانه‌ای برای داده‌های آموزشی به دست آورند؛ و امکان ارائه دقت ساختاری مدل را فراهم نمایند. همچنین پیش‌بینی بر حسب مدل را با اطمینان انجام داده و علاوه بر آن، اجازه پخش پارامترها و بالا بردن دقت و اطمینان برون‌یابی و کاهش تأثیر زیر مجموعه‌ها را فراهم آورند [۷].

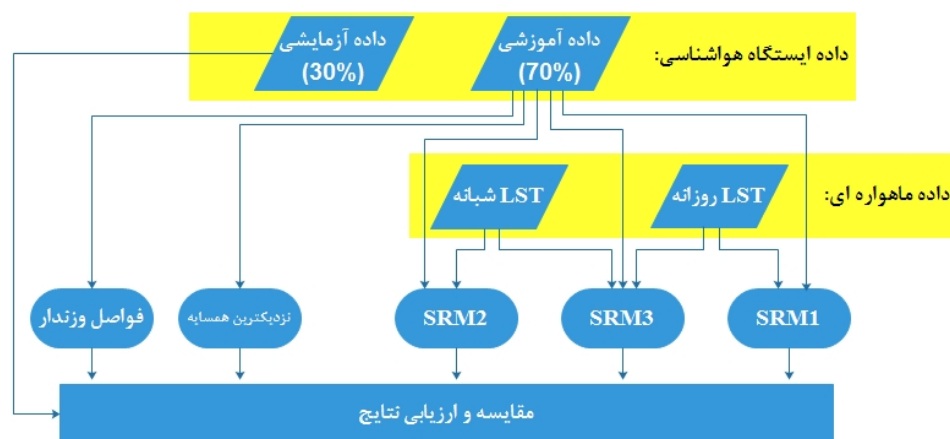
موضوع اصلی ارائه شده در این مقاله تخمین میانگین T_{air} بر اساس سنسور از دور با استفاده از روش‌های آماری است. مطالعات انجام شده پیشین برای تخمین T_{air} ، معمولاً در مناطق کوچکی انجام شده است و در برخی از آن‌ها خطاهای به وجود آمده در تخمین T_{air} زیاد بوده و از کاربردی بودن آن‌ها کاسته است. در این پژوهش T_{air} برای منطقه وسیعی از کشور پهناور ایران با استفاده از داده‌های ۴۴ ایستگاه هواشناسی که امکان دسترسی به داده‌های آن‌ها فراهم شد، تخمین زده شده است.

در فصل دوم، روش انجام کار و مدل‌های آماری مورد استفاده معرفی شده، و روش ارزیابی نتایج بیان می‌گردد. سپس در فصل سوم داده‌های مورد استفاده برای تخمین دما، در دو بخش داده‌های سنسور از دوری و داده‌های هواشناسی معرفی می‌شوند. در ادامه در فصل چهارم نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم مورد نظر ذکر شده، و میزان دقت آن‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شود. در نهایت در فصل پنجم، نتیجه‌گیری از پژوهش انجام گرفته بیان خواهد شد.

۲- روش انجام کار

مدل‌های آماری مختلفی برای ایجاد ارتباط میان LST_{air} و T_{air} ارائه شده است. در این پژوهش ۳ مدل که نیاز به داده‌های جانبی ندارند، برای ایجاد این ارتباط بکار رفته‌اند، که در آن‌ها از LST_{air} و شبانه استفاده شده است. شمای کلی روش کار، در شکل ۱ قابل مشاهده است.

همایش و نمایشگاه ملی ژئوماتیک



شکل ۱- شمای کلی روش انجام کار

همانطور که در شکل ۱ مشخص است، برای ایجاد ارتباط میان LST و T_{air} از سه روش مختلف Simple Regression Model استفاده شده است. روابط مورد استفاده برای این سه مدل به صورت زیر بوده است:

$$T_{air} = a \times LST_{day} + b \quad (1)$$

$$T_{air} = a \times LST_{night} + b \quad (2)$$

$$T_{air} = a \times LST_{day} + b \times LST_{night} + c \quad (3)$$

این مدل‌های آماری، پس از بهینه‌سازی و تخمین پارامترهای بکار رفته به روش سرشکنی کمترین مربعات، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی به عنوان مشاهدات (L) و داده‌های سنجش از دوری به عنوان معلومات (A) به کار می‌روند.

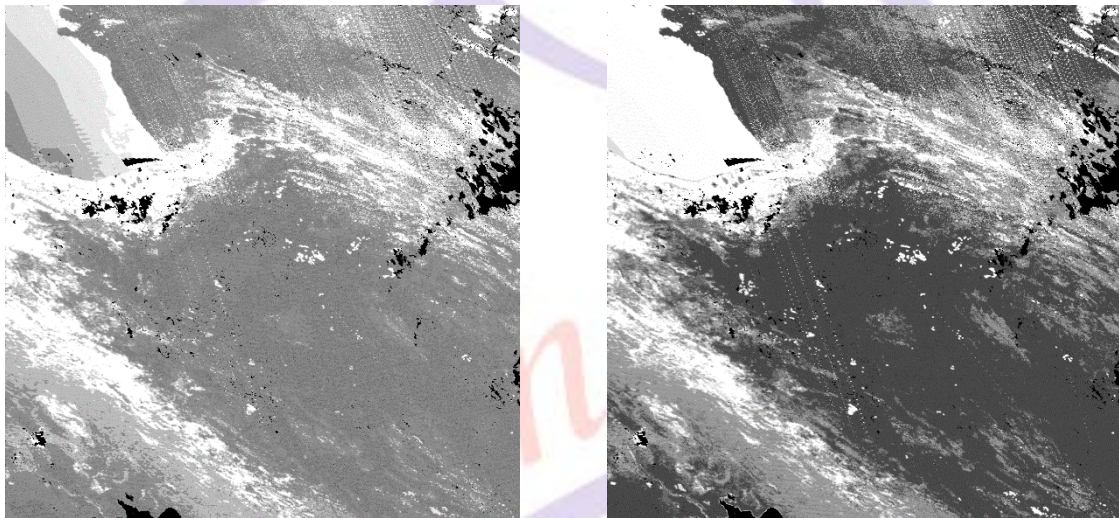
مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی به دو بخش داده آموزشی و داده آزمایشی به نسبت ۷۰ به ۳۰ تقسیم شده‌اند. ۷۰٪ از داده‌ها که به عنوان داده آموزشی انتخاب شده‌اند، علاوه بر آنکه به عنوان مشاهدات سرشکنی برای تخمین پارامترهای معادلات رگرسیون بکار می‌روند؛ می‌توانند به‌طور مستقیم نیز با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایگی و روش فواصل وزندار، برون‌یابی را انجام داده، و دمای هوا را در قسمت‌هایی که ایستگاه هواشناسی در آن‌ها وجود ندارد، به دست آورند.

در نهایت با توجه به ۳۰٪ از داده‌های هواشناسی که به عنوان داده آزمایشی انتخاب می‌شوند، می‌توان نتایج به دست آمده از سه مدل رگرسیون و دو مدل مستقیم را ارزیابی کرده و آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کرد. برای این کار، نتایج هر مدل در جایی که داده آزمایشی در آن قرار گرفته است، با مقدار واقعی آن مقایسه شده، و خطای هر روش به دست خواهد آمد.

۳- داده‌های مورد استفاده

برای پیاده‌سازی روش‌های مورد نظر، از دو دسته داده استفاده شده است که دسته اول داده‌های سنجش از دوری و دسته دوم مشاهدات هواشناسی بوده‌اند.

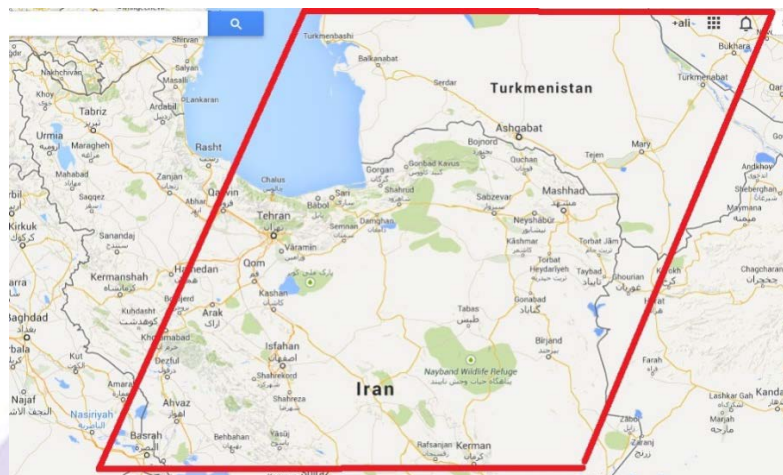
دمای سطح زمین (LST) یکی از محصولات سنجنده MODIS است که پیش از این نیز در تخمین T_{air} در تحقیقات بسیاری استفاده شده است [۱][۷][۹]. LST سنجنده MODIS از داده‌های مادون قرمز حرارتی باند ۳۱ (۱۰/۷۸-۱۱/۲۸ میکرومتر) و ۳۲ (۱۱/۷۷-۱۲/۲۷ میکرومتر) به دست می‌آید [۱۱]. تصویر این سنجنده در دو باند ۳۱ و ۳۲ برای منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ قابل مشاهده است. تأثیر اتمسفر با استفاده از الگوریتم ارائه شده توسط Wan در ۱۹۹۶ با این فرض که اختلافات ایجاد شده در دو باند حرارتی به دلیل تفاوت جذب امواج در اتمسفر ایجاد شده است تصحیح می‌شوند. این الگوریتم تأثیر تابش را نیز با فرض اینکه مقدار آن در هر پیکسل یک کیلومتری با استفاده از دانش قبلی معلوم است تصحیح می‌کند. این دانش قبلی که مربوط به نوع پوشش زمین می‌شود با توجه به MOD-12 سنجنده (طبقه‌بندی پوشش زمین) در نظر گرفته می‌شود [۱۲].



شکل ۲- داده‌های باند ۳۱ و ۳۲ سنجنده MODIS که برای محاسبه LST بکار می‌روند.

سنجنده MODIS بر روی ۲ ماهواره Terra و Aqua قرار دارد. با توجه به مدار چرخش این دو ماهواره حول زمین، محصولات ماهواره Terra در ساعت ۱۰:۳۰ صبح و ۱۲ شب به وقت محلی و محصولات ماهواره Aqua در ساعت ۱ شب و ۳ ظهر به وقت محلی ارائه می‌شود. محصول LST سنجنده MODIS در الگوریتم حال حاضر نسبت به الگوریتم پیشین، پوشش مکانی، ثبات و دقت بیشتری دارد. در این محصول، دمای سطح زمین با خطایی کمتر از یک درجه (انحراف معیار ۰/۷ سانتی‌گراد) در محدوده ۱۰ الی ۵۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه می‌شود [۱۳]. هرچند این دقت مربوط به سطوح متجانس، مانند آب، پوشش گیاهی و خاک است. عوامل مختلفی دقت داده LST را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ که از آن جمله می‌توان به غلظت ستون بخار آب موجود در جو، ذرات موجود در اتمسفر، پوشش ابری و ذرات معلق و هندسه تصویربرداری اشاره نمود. استفاده از محصولات سنجنده از دور برای محاسبه اطلاعات سطح زمین نیازمند آن است که محدودیت‌های این داده‌ها به خوبی شناخته شده و در صورت امکان تصحیح شوند. ضروری است که داده‌ها بی‌کیفیت پایین حذف شود، چراکه تخمین T_{air} به شدت از خطاهای LST تأثیر می‌پذیرد [۱۲].

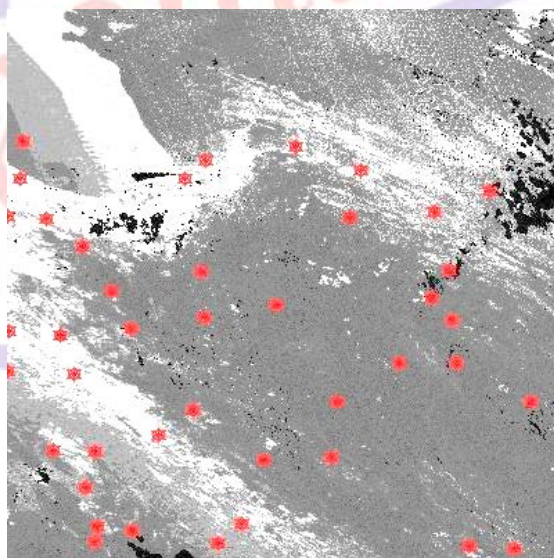
در این پژوهش از داده LST سنجنده MODIS بر روی ماهواره Terra با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر و زمانی یک‌روزه (MOD-11A1) استفاده شده است. این داده برای تاریخ ۲۰۱۳/۶/۱ اخذ شده، و سطح وسیعی از کشور ایران را پوشش می‌دهد. سطح زیر پوشش این داده‌ها، در شکل ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳- محدوده داده‌های ماهواره‌های MODIS که بر روی نقشه Google map مشخص شده است.

۳-۲- داده هواشناسی

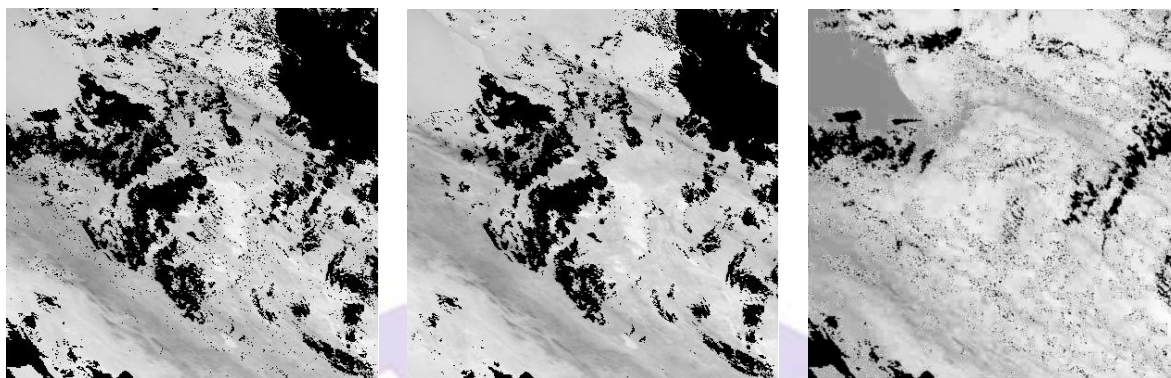
در این کار از مشاهدات ۴۴ ایستگاه هواشناسی ایران که در سطح تصویر اخذ شده قرار می‌گیرند، استفاده شده است. برای این کار اطلاعات دمای روزانه ثبت شده در این ایستگاه‌ها، برای روز مورد مطالعه (۲۰۱۳/۶/۱) اخذ شده، و مقادیر آن به دو دسته داده‌های آموزشی و داده‌های آزمایشی تقسیم شد. در دسته اول ۳۱ ایستگاه و در دسته دوم ۱۳ ایستگاه قرار گرفتند که انتخاب آن‌ها به صورت تصادفی بوده است. پراکندگی این ایستگاه‌ها در سطح تصویر مطابق شکل ۴ بوده است.



شکل ۴- نحوه توزیع ایستگاه‌های هواشناسی بر روی تصویر ماهواره‌ای

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

پس از پیاده‌سازی مدل‌های مورد نظر برای برقراری ارتباط میان T_{air} و LST دمای هوای سطح زمین با توجه به پارامترهای به دست آمده در هر یک از این مدل‌ها، برای منطقه وسیعی از کشور ایران که در یک تصویر ماهواره‌ای MODIS قرار گرفته است محاسبه شد. نتایج حاصل شده به صورت شکل ۵ بوده است.



شکل ۵- نتایج حاصل از مدل‌های تخمین T_{air} با استفاده از داده LST

(سمت راست: با استفاده از LST روزانه، وسط: با استفاده از LST شبانه، چپ: با استفاده از هر دو داده LST)

همان‌طور که از شکل ۴ مشخص است، پیکسل‌هایی که به دلیل وجود پوشش ابر، یا سایر عوامل محیطی امکان محاسبه مقدار LST در آن‌ها وجود نداشته است، به رنگ سیاه درآمده است. پس از محاسبه T_{air} با استفاده از این داده‌ها، نتایج حاصل‌شده نیز به همین صورت به رنگ سیاه قرار گرفته‌اند؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که در مدل سوم که از هر دو نوع داده روزانه و شبانه استفاده می‌کند، تعداد پیکسل‌هایی که امکان تخمین T_{air} در آن‌ها وجود نداشته است، بیشتر از هر یک از دو مدل قبل است.

با توجه به اینکه از میان ۴۴ ایستگاه هواشناسی که در این منطقه قرار گرفته‌اند، حدود ۷۰ درصد آن‌ها به‌طور تصادفی به‌عنوان داده آموزشی و ۳۰ درصد به‌عنوان داده آزمایشی استفاده شده‌اند، مشاهده می‌شود که مقدار RMSE برای این ۱۳ ایستگاه، مطابق جدول ۱ بوده است.

داده مورد استفاده در مدل	رابطه مدل	RMSE حاصل
LST روزانه	$T_{air}=a \times LST_{day}+b$	۵/۰۶
LST شبانه	$T_{air}=a \times LST_{night}+b$	۳/۰۹
هر دو داده LST	$T_{air}=a \times LST_{day}+b \times LST_{night}+c$	۳/۰۳

جدول ۱- نتایج حاصل در هر یک از مدل‌های تخمین دمای هوای سطح با استفاده از دمای سطح

همان‌طور که در جدول ۱ مشخص است، دقت حاصل‌شده از مدل اول که تنها از داده روزانه استفاده می‌کند، در حدود ۵ درجه سانتی‌گراد بوده و با استفاده از داده شبانه این دقت به ۳ درجه بهبود پیدا کرده است. علت این امر را می‌توان با توجه به ثبات بالاتر این محصول در طول شب، به دلیل عدم تابش خورشیدی و اثر آن بر روی سیگنال مادون‌قرمز حرارتی که در محاسبه LST نقش مستقیم ایفا می‌کند، توجیه کرد. در واقع با توجه به آنکه در طول روز تابش خورشیدی نیز بخشی از امواج حرارتی رسیده به سطح سنجنده را تشکیل می‌دهد، باندهای مورد نظر در مقایسه با داده اخذشده در شب، همبستگی کمتری به دمای سطح زمین دارند و این موضوع باعث کاهش ارتباط میان LST حاصل با T_{air} شده است.

مزیت مهمی که انجام این عملیات در تخمین دمای هوای سطح دارد، بهبود چشمگیر دقت آن نسبت به حالتی است، که تنها از داده ایستگاه‌های هواشناسی در تخمین دما استفاده شود. برای تخمین دما با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، برون‌یابی دما در قسمت‌هایی که از ایستگاه فاصله داشته باشند، با دقت چندانی

صورت‌نمی‌گیرد. شکل ۵ نشان‌دهنده تخمین دما در منطقه موردنظر، تنها با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی است.



شکل ۶- نتایج حاصل از مدل‌های تخمین T_{air} بدون استفاده از داده‌های جانبی (راست: نزدیک‌ترین همسایه - چپ: فواصل وزن‌دار) همان‌طور که مشاهده می‌شود، بدون استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، دمای هوای هر منطقه با توجه به دمای نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به آن منطقه محاسبه می‌شود. این کار می‌تواند با در نظر گرفتن تنها یک ایستگاه نزدیک، و یا چند ایستگاه انجام گیرد که در حالت دوم، فاصله تا هر یک از ایستگاه‌های مورد نظر در نتیجه نهایی به صورت وزن‌دار تأثیر خواهد گذاشت. در این حالت، تخمین صورت گرفته برای مناطقی که فاصله زیادی تا ایستگاه‌های هواشناسی دارند، تخمین دقیقی نخواهد بود. نتیجه تخمین صورت گرفته در منطقه مطالعاتی با استفاده از ۳۱ ایستگاه و در نظر گرفتن ۱۳ ایستگاه به‌عنوان ایستگاه‌های آزمایشی، نشان‌دهنده خطای ۵/۵۱ درجه سانتی‌گراد در روش نزدیک‌ترین همسایه، و ۴/۹۵ در روش فواصل وزن‌دار، برای تخمین موردنظر است.

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از ایستگاه‌های زمینی در محاسبه و بررسی داده‌های هواشناسی علیرغم دقت مناسب آن‌ها، محدودیت‌هایی به همراه دارد. از جمله مهم‌ترین این محدودیت‌ها می‌توان به گسسته بودن این اطلاعات اشاره کرد که باعث می‌شود در محاسبه دما، خطای درون‌یابی برای بخش‌هایی از سطح زمین که با ایستگاه هواشناسی فاصله دارند به بیش از ۵ درجه سانتی‌گراد برسد. بعلاوه در بخش‌های عظیمی از سطح زمین امکان ایجاد ایستگاه هواشناسی به راحتی فراهم نیست، یا دسترسی به داده‌های این ایستگاه به راحتی امکان‌پذیر نخواهد بود [۱].

با توجه به مشکلات فوق، به‌کارگیری داده‌های سنجش‌ازدوری می‌تواند تا حدودی مشکلات ناشی از ایستگاه‌های زمینی را کاهش دهد و در بخش‌های عظیمی از سطح زمین به تخمین پارامترهای هواشناسی بپردازد. در طولانی‌مدت، با استفاده از این داده‌ها می‌توان نیاز به داده زمینی را بسیار کاهش داد، هرچند نمی‌توان به‌طور کامل از آن‌ها صرف‌نظر نمود.

در این پژوهش از سه مدل مختلف برای ایجاد ارتباط میان داده سنجش‌ازدوری LST اخذشده از سنجنده MODIS با دمای هوای سطح زمین (T_{air}) بررسی و ارزیابی شد. برای این کار از داده MOD-11A1 این سنجنده در تاریخ ۲۰۱۳/۶/۱ با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر برای منطقه‌ای که بیشترین پوشش را از سطح کشور ایران داراست، استفاده شده است. داده‌های ۴۴ ایستگاه هواشناسی که در این تصویر قرار دارند نیز اخذشده و به‌عنوان داده آموزشی جهت تخمین پارامترهای هر مدل و در نهایت آزمودن مدل‌ها و ارائه دقت هر یک از آن‌ها استفاده شدند.

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که در مجموع به‌کارگیری مدلی که با استفاده از داده شبانه به تخمین دمای هوای سطح می‌پردازد، مناسب‌تر است؛ چراکه دقت آن نسبت به مدل اول (با استفاده از داده روزانه) حدود ۲ درجه سانتی‌گراد بهبود یافته است، و تعداد پیکسل‌هایی که به دلیل شرایط مختلف حین تصویربرداری امکان تخمین دما در آن‌ها وجود ندارد، نسبت به مدل سوم (با استفاده از هر دو داده روزانه و شبانه) کمتر است. در نهایت با استفاده از این مدل به دقت ۳/۰۹ درجه سانتی‌گراد در تخمین دمای هوای سطح رسیده‌ایم.

نتایج فوق نشان می‌دهد که با استفاده از داده سنجش‌ازدور، می‌توان دقت تخمین دمای هوا را بیش از ۴۰ درصد بهبود داد. این دقت در پژوهش جاری از ۵/۵۱ درجه تا ۳/۰۹ درجه سانتی‌گراد بهبود یافته است.

امیدواریم که در پژوهش‌های پیش رو موارد زیر را بررسی کنیم:

- استفاده از داده‌های تعداد بیشتری از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در کشور
- استفاده از داده‌های جانبی همچون ارتفاع، فاصله از دریا، پوشش سطح و...
- استفاده از داده‌هایی در سری زمانی طولانی (به‌طور مثال یک‌ساله)
- استفاده از مدل‌هایی با متغیرهایی از درجات بالاتر و مقایسه نتایج حاصل‌شده با مدل‌های موجود
- مقایسه نتایج حاصل‌شده با استفاده از داده‌های اخذشده بر روی ماهواره Aqua با Terra

مراجع

1. Benali, A., Carvalho, A. C., Nunes, J. P., Carvalhais, N., & Santos, A. (2012). *Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data*. Remote Sensing of Environment, 124, 108-121.
2. Cresswell, M. P., Morse, A. P., Thomson, M. C., & Connor, S. J. (1999). *Estimating surface air temperatures, from Meteosat land surface temperatures, using an empirical solar zenith angle model*. International Journal of Remote Sensing, 20(6), 1125-1132.
3. Czajkowski, K. P., Goward, S. N., Stadler, S. J., & Walz, A. (2000). *Thermal remote sensing of near surface environmental variables: application over the Oklahoma Mesonet*. The Professional Geographer, 52(2), 345-357.
4. Jacobson, M. Z. (2005). *Fundamentals of atmospheric modeling*. Cambridge University Press.
5. Jin, M., & Dickinson, R. E. (2010). *Land surface skin temperature climatology: benefitting from the strengths of satellite observations*. Environmental Research Letters, 5(4), 044004.
6. Marj, A., Mobasheri, M. R., Valadanzouje, M. J., Rezaei, Y., & Abaei, M. R. (2008). *Using satellite images in determination of Malaria outbreaks potential region*. Nature Precedings hdl, 10101.
7. Mostovoy, G. V., King, R. L., Reddy, K. R., Kakani, V. G., & Filippova, M. G. (2006). *Statistical estimation of daily maximum and minimum air temperatures from MODIS LST data over the state of Mississippi*. Giscience & Remote Sensing, 43(1), 78-110.
8. Shad, R., Mesgari, M. S., & Shad, A. (2009). *Predicting air pollution using fuzzy genetic linear membership kriging in GIS*. Computers, Environment and Urban Systems, 33(6), 472-481.

9. Vancutsem, C., Ceccato, P., Dinku, T., & Connor, S. J. (2010). *Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa*. Remote Sensing of Environment, 114(2), 449-465.
10. Vogt, J. V., Viau, A. A., & Paquet, F. (1997). *Mapping regional air temperature fields using satellite-derived surface skin temperatures*. International Journal of Climatology, 17(14), 1559-1579.
11. Wan, Z., & Dozier, J. (1996). *A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space*. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 34(4), 892-905.
12. Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., & Li, Z. L. (2002). *Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data*. Remote Sensing of Environment, 83(1), 163-180.
13. Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., & Li, Z. L. (2004). *Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature*. International Journal of Remote Sensing, 25(1), 261-274.
14. Willmott, C. J., & Robeson, S. M. (1995). *Climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air temperature*. International Journal of Climatology, 15(2), 221-229.

Geomatics
ژئوماتیک
بیست و دومین
همایش و نمایشگاه ملی ژئوماتیک