



واکاوی دمای روز هنگام سطح زمین ایران مبتنی بر برون داد سنجنده MODIS

محمود احمدی^{۱*}؛ عباسعلی داداشی رودباری^۱ و حمزه احمدی^۲

^۱ گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱۵

احمدی، م.، ع. داداشی رودباری و ح. احمدی. ۱۳۹۷. واکاوی دمای روز هنگام سطح زمین ایران مبتنی بر برون داد سنجنده MODIS فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۱): ۴۷-۶۸.

سابقه و هدف: پارامتر دمای هوا یکی از مهم‌ترین سنجه‌های شناسایی وضعیت آب‌وهوایی و محیطی هر منطقه محسوب می‌شود. امروزه با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی امکان تهیه نقشه‌های دمای سطح زمین، بدون تماس فیزیکی با اشیاء یا سطح وجود دارد. آگاهی از توزیع زمانی-مکانی دمای سطح زمین برای تعیین بیلان انرژی زمین، بررسی‌های هواشناسی و تبخیر-تعرق ضروری است. دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت و جریان هواسپهر بستگی دارد. این تحقیق در نظر دارد با رویکردی نوین براساس برون داد تصاویر سنجنده MODIS ماهواره Terra، وضعیت LST روز هنگام ایران را در ماه‌های مختلف سال بررسی کند.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از فرآورده پنجم سنجنده MODIS ماهواره Terra موسوم به (MOD11C3 v005) با تفکیک فضایی ۵×۵ کیلومتر و دوره زمانی روزانه که بعد از انجام پردازش‌های لازم تبدیل به داده‌های ماهانه شدند، استفاده شد. در این پژوهش با توجه به دقت قابل توجه الگوریتم فیزیک‌مبنای روز-شب از این روش برای واکاوی دمای روز هنگام سطح زمین ایران استفاده شد. سپس رمزگشایی^۱ داده‌ها آرایه‌ای به ابعاد ۴۸۵۵×۶۲۲۵۸ به دست آمد. پهنه‌بندی دمای سطح زمین با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ به واسطه کمترین مقدار خطا و بالاترین دقت انجام شد.

نتایج و بحث: مشخصات آماری دمای سطح زمین ایران طی ماه‌های مختلف نشان داد که بیشینه میانگین دمای سطح زمین ایران با ۴۶/۰۱ درجه سلسیوس در ماه ژوئیه رخ داده است. کمینه مقدار میانگین دمای سطح زمین کشور با ۱۲/۲۶ درجه سلسیوس در ژانویه اتفاق افتاده است. در دوره گرم سال و به‌ویژه پهنه‌های گرم ایران (سواحل جنوبی) تغییرپذیری کمتری در دمای کشور حاکم است که به تبع آن دمای سطح زمین کشور نیز تغییرات کمتری را از خود نشان می‌دهد و به تبع آن خودهمبستگی فضایی کمتری را نیز باید در نیمه گرم سال شاهد باشیم که نشان از شرایط پایداری دمایی بیشتر در دوره گرم سال دارد. بررسی LST، در بازه زمانی ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ بر اساس برون داد سنجنده MODIS، برای ماه‌های مختلف سال نشان داد که توزیع دمای سطح زمین در ایران، به‌شدت متأثر از شرایط جغرافیایی، به‌ویژه عرض جغرافیایی و وضعیت توپوگرافیکی آن است.

*Corresponding Author. E-mail Address: ma_ahmadi@sbu.ac.ir

نتیجه‌گیری: از غرب به شرق و از شمال به جنوب ایران در تمام ماه‌های سال افزایش دمای سطح زمین مشاهده شد. کویر لوت به‌عنوان گرمترین منطقه در کشور، که در روزهای گرم سال دما تا ۵۹ درجه سلسیوس در آن بالا می‌رود، در نظر گرفته شد. پردازش‌های مکانی دمای سطح زمین روز هنگام ایران نشان داد که دمای سطح زمین به‌شدت متأثر از عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا است و شرایط توپوگرافیکی نقش مهمی در توزیع زمانی-مکانی LST ایفا می‌کند. این نکته با بررسی‌هایی که ابراز داشته‌اند هر قلمرو دمایی همخوانی زیادی با ویژگی‌های محیطی و جغرافیایی به‌ویژه ارتفاع، ویژگی‌های شیب زمین و عرض جغرافیایی خود دارد، همخوانی کامل دارد. اگرچه پهنه‌های دمایی ارائه‌شده برای ماه‌های مختلف سال از پیوستگی مکانی قابل توجهی برخوردارند، اما بخش‌هایی از یک خوشه دمایی به‌صورت جزایری درون پهنه‌های دیگر نمایان شده است که نشان از اثر شرایط محلی و توپوگرافی پیچیده در پیدایش این جزایر دمایی نسبت به اطراف خود دارد، که باعث اختلاف مکانی دما و افزایش میل به خوشه شدن دمای سطح زمین در ایران یا به عبارتی دیگر لانه‌گزینی آب‌وهوایی دارد.

واژه‌های کلیدی: دمای سطح زمین روز هنگام (LST)، MODIS Terra، الگوریتم روز-شب، ایران.

مقدمه

حسگرهایشان (Kaviani *et al.*, 2013) امکان ارزیابی دقیق دگرگونی زمانی-مکانی دمای سطح زمین را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهند.

دمای سطح زمین (LST) و دگرگونی فضایی آن یک سنجه بنیادین برای تعادل انرژی سطحی زمین (Hartmann *et al.*, 2013)، پویایی اکوسیستم‌های محیطی (Euskirchen *et al.*, 2006; McGuire *et al.*, 2007) و دگرگونی ضخامت لایه فعال خاک (Nemani *et al.*, 2007; Anisimov *et al.*, 2003) است. مشاهدات ثبت‌شده در سده گذشته حاکی از دگرگونی قابل توجهی در آب‌وهوا در مقیاس کلان یا همان پدیده گرمایش جهانی بوده است که باعث اثراتی چند در اکوسیستم‌های مختلف، آب‌شناسی، پوشش برف و لایه عمق فعال می‌شود (Zhang *et al.*, 2005; Bunn *et al.*, 2007). همچنین تبادل گاز بین خاک و هوای سطحی آن و نیاز فنولوژی گیاه تحت‌تأثیر شدید دمای سطح خاک است (Hashimoto, 2008; Kim *et al.*, 2012).

ادامه افزایش دمای جهانی (Stone *et al.*, 2012) ممکن است تا حدی به‌دلیل دگرگونی پوشش سطح زمین باشد (Seto *et al.*, 2010). این افزایش برای دمای سطح زمین به یک نگرانی اساسی تبدیل شده است زیرا نشان‌دهنده حساسیت سطح زمین به تابش خورشیدی

پارامتر دمای هوا یکی از مهم‌ترین سنجه‌های شناسایی وضعیت آب‌وهواشناسی و محیطی هر منطقه محسوب می‌شود. سنجه آب‌وهوایی دما به‌طور معمول در پیمونگه‌های هواشناسی در ارتفاع یک و نیم متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود، اما در خیلی از موارد سنجه دمای سطح زمین ضروری است. امروزه با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی امکان تهیه نقشه‌های دمای سطح زمین، بدون تماس فیزیکی با اشیا یا سطح وجود دارد (Alavipanah, 2011). با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی حاصل از سنجنده‌های ماهواره‌ای، محاسبه و تخمین دمای سطح زمین^۲ در گستره زیاد و زمان‌های مختلف و در دماهای بسیار بالا مقدور شده است. LST، مربوط به سطح زمین است که می‌تواند به‌عنوان دمای پوسته (رویه) نیز محسوب شود.

آگاهی از توزیع زمانی-مکانی دمای سطح زمین برای تعیین بیلان انرژی زمین، بررسی‌های هواشناسی و تبخیر-تعرق ضروری است. دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت و جریان هواسپهر بستگی دارد (Duan *et al.*, 2014). ماهواره‌های سنجه از دور با تفکیک زمانی-مکانی بالا (Lu *et al.*, 2014) با به‌کارگیری باندهای حرارتی تعبیه‌شده در

جنوبگان بر مبنای دمای سطح زمین (LST) محاسباتی حاصل از سنجنده MODIS بررسی کردند. آنها با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS وضعیت دما در ماه‌های مختلف را پهنه‌بندی کردند. (Song *et al.*, 2016) توزیع زمانی-مکانی نوسانات دمای سطح دریاچه را در فلات تبت با استفاده از خروجی دمای سطح زمین MODIS بررسی کردند. آنها با بررسی وضعیت دمای سطح دریاچه در زمان روز و شب مشخص کردند که تصاویر ماهواره‌ای نقش موثری در تعیین بیلان انرژی ایفا می‌کند. برآورد تجربی دمای سطح زمین در چین براساس داده‌های سنجنده MODIS توسط Li *et al.* (2016) انجام شده است و مناطق دمایی چین را ارزیابی کردند.

در ایران نیز Kaviani *et al.* (2013) دمای سطح زمین با استفاده از شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) در تصاویر MODIS و LANDSAT در دشت قزوین را تخمین زدند و به این نتیجه رسیدند که از میان سناریوهای پیشنهادی، تفکیک اولیه اراضی و اعمال الگوریتم پیشنهادی در اراضی با کاربری پوشش گیاهی بهترین انطباق را بین داده‌های دمای سطح زمین و شاخص گیاهی NDVI تولید می‌کند. Hashemi *et al.* (2013) توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط زیست شهری تهران را براساس سنجش از دور حرارتی بررسی کردند. آنها مشخص کردند که دمای سطح در مناطق شهری توزیع یکپارچه‌ای دارد و در پهنه‌های کوهستانی، ارتباط بین LST و NDVI پایین است. پهنه‌بندی دمای رویه‌ی زمین ایران با داده‌های MODIS واپسین پژوهشی است که برای گستره ایران توسط Moradi *et al.* (2016) به رشته تحریر در آمده است. نتایج پژوهش آنان نشان داده است که خوشه‌های دمای رویه‌ی زمین ایران هماهنگی زیادی با ناهمواری‌ها و عرض جغرافیایی نشان می‌دهد. جمع‌بندی پیشینه پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تاکنون پژوهشی به شکل مستقل دمای سطح زمین روزهنگام ایران را بررسی نکرده است. از طرفی بخش

است (Li *et al.*, 2013). در بررسی‌های مربوط به دمای سطح زمین (LST) به‌طور گسترده‌ای از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. این بررسی‌ها در سه دسته قابل تقسیم‌بندی هستند: ۱- الگوها و علل دگرگونی دمای سطح زمین (LST) (Hale *et al.*, 2008; Rajasekar and Weng, 2009)؛ ۲- رابطه بین LST و دمای هوا (Schwarz *et al.*, 2012) و ۳- تعادل رژیم انرژی سطح زمین (Anderson *et al.*, 2008; Holzman *et al.*, 2014). با توسعه روش‌ها و پیچیدگی‌های موجود در محاسبه‌های دمای سطح زمین بیشتر بررسی‌ها در دسته اول انجام شده است (Weng, 2009).

ترکیبات بیوفیزیکی سطح زمین که منجر به بروز شرایط دمایی گوناگون می‌شود، عامل مهمی در تعیین نوع اکوسیستم، اختلالات و دگرگونی آب‌وهوایی (Schimel *et al.*, 2015)، تاثیرات قوی بر چرخه بیوشیمیایی گونه‌های گیاهی (Ollinger and Smith, 2005)، نرخ فتوسنتز (Robakowski *et al.*, 2011) و راندمان مصرف آب (Scherrer *et al.*, 2011) است. بنابراین در گام نخست لازم است تا دمای سطح زمین به‌طور دقیق مورد پایش قرار گیرد تا بتوان نسبت به برنامه‌های آبی گامی مناسب برداشت.

تعدادی از بررسی‌ها با استفاده از داده‌های مشاهداتی زمینی با توجه به اهمیت و دگرگونی فضایی دمای سطح زمین برای ارزیابی جزایر حرارتی گرمایی انجام شد (Stathopoulou and Cartalis, 2009; Stathopoulou *et al.*, 2009; Senanayake *et al.*, 2009; Effat and Hassan, 2014). این تحقیقات یک دید فضایی پیوسته از دمای محیط مناطق بزرگ شهری را ارائه داده‌اند و در نتیجه بر محدودیت مکانی شبکه‌های زمینی پیمونگاه‌های هواشناسی غلبه کردند. طیف دیگری از بررسی‌ها دمای سطح زمین را با رویکرد بررسی مناطق با تعداد ناکافی پیمونگاه‌های هواشناسی سنجیدند؛ Meyer *et al.* (2016) توزیع دمای سطح زمین را برای منطقه

اطلاعات را ثبت و مخابره می‌کند. تفکیک فضایی تصویربرداری MODIS بین ۲۵۰ متر تا ۱ کیلومتر و متناسب با باند مربوطه است. یکی از فرآورده‌های (products) MODIS که از دقت قابل توجهی برخوردار است و طیف وسیعی از پژوهش‌ها بر اساس آن انجام شده است فرآورده پنجم آن است (Products 5). در این پژوهش از فرآورده پنجم سنجنده MODIS ماهواره Terra موسوم به (MOD11C3 v005) با تفکیک فضایی ۵×۵ کیلومتر و دوره‌ی زمانی روزانه که بعد از انجام پردازش‌های لازم تبدیل به داده‌های ماهانه شدند استفاده شد. این مجموعه داده به صورت رایگان در قالب HDF4 از پایگاه مربوط به MODIS از سایت NASA قابل دریافت است. شرح کامل این فرآورده برای دمای سطح زمین توسط Wan (2008) و صحت‌سنجی آن با داده‌های زمینی توسط Coll et al. (2005) و Wan et al. (2002; 2004) ارائه شده است.

ب) الگوریتم مورد استفاده برای استخراج دمای سطح زمین (LST) روز هنگام ایران

همان‌طور که در بخش پیشین گفته شد داده‌های دمای سطح زمین (LST) روز هنگام ایران از پایگاه مربوط اخذ شد؛ بنابراین در ادامه برای آشنایی بهتر با الگوریتم مورد استفاده برای استخراج دمای سطح زمین توضیحاتی ارائه خواهد شد.

تاکنون روش‌های مختلفی برای بازیابی دمای سطح زمین ارائه شده‌اند که جزئیات آن نیز توسط Wan et al. (2002) ارائه شد. از بین الگوریتم‌هایی که تاکنون برای سنجنده MODIS ارائه شده است دو روش پنجره مجزا بهنجار شده و روز-شب با توجه به نتایج قابل قبول در سطح جهانی از مقبولیت بیشتری برخوردار هستند. در این پژوهش با توجه به دقت قابل توجه الگوریتم فیزیک مبنا روز-شب Wan et al. (2002) از این روش برای واکاوی دمای روز هنگام سطح زمین ایران استفاده شده است. شروط اساسی سه گانه دمای سطح زمین در الگوریتم

اعظم بررسی‌های انجام شده با الگوریتم پنجره تک‌باندی انجام شده است؛ بنابراین این پژوهش برای اولین بار با الگوریتم روز-شب به بررسی دمای سطح زمین روز هنگام در ایران پرداخته است تا بتوان شناخت بهتری نسبت به دگرگونی زمانی-مکانی این پارامتر مهم آب‌وهواشناسی به دست آورد.

امروزه نقش و اهمیت داده‌های ماهواره‌ای در برنامه‌ریزی‌ها بسیار اهمیت دارد. نظر به اهمیت دانش سنجش از دور و کاربرد آن در بررسی‌های محیطی و به‌ویژه آب‌وهواشناسی، بررسی دمای سطح زمین (LST)، به‌عنوان یکی از موضوعات کاربردی در مطالعات جزایر حرارتی شهری (Shakiba et al., 2009)، کشاورزی و هیدورولوژیکی از نظر مدیریت محصولات و همچنین مدیریت منابع آبی ضرورت دارد. نتایج و دستاوردهای این تحقیق برای استفاده از انرژی خورشیدی، بهینه‌سازی مصرف انرژی، سلامت جسمی و همچنین گردشگری بسیار اهمیت و ضرورت دارد. بنابراین پژوهش حاضر در نظر دارد با رویکردی نوین بر اساس برون داد تصاویر سنجنده MODIS، ماهواره Terra وضعیت LST روز هنگام ایران را در ماه‌های مختلف سال بررسی کند.

مواد و روش‌ها

الف) سنجنده MODIS و فرآورده مورد استفاده

MODIS^۲ توسط سازمان ملی هوا و فضای ایالات متحده آمریکا (Lin et al., 2007; Chopping et al., 2008) تحت برنامه سامانه دیدبانی زمین در سامانه مدارگرد قطبی فعالیت می‌کند. حسگر MODIS دستگاهی با تفکیک رادیومتریکی زیاد (۱۲ بیت) است که با دو ماهواره آمریکایی Terra (از سال ۲۰۰۰ تاکنون) و Aqua (از سال ۲۰۰۲ تاکنون) حمل می‌شود (Thome et al., 2003). زمان عبور دو حسگر Terra و Aqua از خط استوا ۱۰:۳۰ و ۱۳:۳۰ به وقت محلی است (Aliabadi et al., 2015). سنجنده MODIS در ۳۶ باند طیفی مجزا

و در مقیاس زمانی بلندمدت تغییر می‌پذیرد و نوسان و تغییر در نهاد سامانه آب‌وهوایی ویژگی سرشتی آن است. برای اینکه این ویژگی ذاتی آب‌وهوا را بتوان در قالب یک فرضیه آماری بیان داشت در این پژوهش از روش Geary's C استفاده شده است. در این روش بر خلاف روش خودهمبستگی فضایی Moran's I به جای تاکید بر انحراف از میانگین (آنچه شاخص موران بدان تکیه دارد)، اختلاف هر ناحیه را نسبت به دیگری برآورد می‌کند. از این شاخص برای تحلیل مکانی یاخته‌های دمای سطح زمین روزهنگام کشور استفاده شد تا بتوان به روشی ساختارمند و علمی وجود رابطه فضایی را در LST شناخت و بهتر بتوان درباره الگوهای فضایی بحث کرد. ضریب «گری» بین ۰ تا ۲ در نوسان است که مقدار صفر دلالت بر خود همبستگی فضایی کاملاً مثبت دارد (زمانی که ارزش همه همسایگی‌ها مشابه باشند). بنابراین، حاصل ضربدری برابر صفر است و مقدار ۲ بر خود همبستگی فضایی کاملاً منفی دلالت دارد. مقدار ۱ در ضریب «گری» به مفهوم نبود رابطه فضایی است (Fischer and Getis, 2009). این شاخص همانند رابطه (۱) می‌توان نوشت.

$$c = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - y_j)^2}{2W \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad i \neq j. \quad (1)$$

در این رابطه y_i و y_j متغیرهای مورد بررسی را تشریح می‌کنند؛ w_{ij} وزن موجود به عارضه i و j است و n تعداد کل عوارض موجود در لایه مورد استفاده است. مقدار مورد انتظار ضریب «گری» به وسیله اندازه کوچک n متأثر نمی‌شود و غالباً برابر ۱ است (Ahmadi and Dadashiroudbari, 2016). فرض صفر در در آزمون گری این‌طور بیان می‌شود که واحدهای فضایی مربوطه با یکدیگر تفاوتی ندارند. بنابراین در پژوهش پیش‌رو نیز همین فرض صفر را برای دمای سطح زمین (LST) روزهنگام ایران مورد آزمون قرار می‌دهیم تا مشخص کنیم

فرآورده نامبرده (MOD11C3) بدین شرح است.

الف) در سطح اسمی IB و باندهای ۳۱ و ۳۲ قرار داشته باشند.

ب) مکان مورد نظر روی سطح زمین یا پهنه‌های آبی داخلی قرار داشته باشد.

ج) در شرایط آب‌وهوایی صاف^۵ و قابل اطمینان قرار داشته باشد (Wan (2007).

ج) پیش‌پردازش‌های لازم پهنه‌بندی دمای سطح زمین (LST) در ایران

پس از اخذ داده‌های دمای سطح زمین (LST) فرآورده (MOD11C3 v005)، سنجنده MODIS ماهواره Terra با فرمت HDF4 برای گستره ایران به شکل روزانه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ با تفکیک مکانی ۵×۵ کیلومتر از تارنمای نامبرده با استفاده از نرم‌افزار MATLAB داده‌ها رمزگشایی شدند که آرایه‌ای به ابعاد ۴۸۵۵×۶۲۲۵۸ به دست آمد. در این آرایه ۶۲۲۵۸ تعداد یاخته‌ها با تفکیک مکانی ۵ کیلومتر و ۴۸۵۵ نماینده روزها است. در گام بعدی این آرایه به ۱۲×۶۲۲۵۸ تقلیل یافت که ۱۲ نماینده ماه‌های سال است. حال پس از محاسبه میانگین دمای سطح زمین ماهیانه برای هر یک از ۶۲۲۵۸ یاخته این مقادیر به همراه مشخصه‌های طول و عرض جغرافیایی که در زمان رمزگشایی داده به دست آمده‌اند وارد نرم‌افزار ARCMAP شدند و پهنه‌بندی دمای سطح زمین با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ^۶ به واسطه کمترین مقدار خطا و بالاترین دقت در مناطق کوهستانی انجام شد.

د) ارزیابی ارتباط فضایی دمای سطح زمین روزهنگام در ایران با استفاده از روش Geary's C

نوسانات دمای سطح زمین ناشی از سرشت سامانه آب‌وهوایی است و بررسی‌های (Masoodian (2010 نشان داد که آب‌وهوا در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت نوسان می‌کند

که دمای سطح زمین در واحد فضایی مربوطه چه الگویی از خود بروز می دهند.

نتایج و بحث

جدول ۱ برخی از مشخصات آماری دمای سطح زمین ایران را طی ماه‌های مختلف نشان می دهد. مطابق این جدول، بیشینه میانگین دمای سطح زمین در ایران با ۴۶/۰۱ درجه سلسیوس در ماه ژوئیه رخ داده است. کمینه مقدار میانگین دمای سطح زمین کشور با ۱۲/۲۶ درجه سلسیوس در ژانویه اتفاق افتاده است. چولگی دمای سطح زمین در همه ماه‌ها، منفی بوده است. چرا که با توجه به خشک و نیمه خشک بودن کشور همان طور که انتظار می رفت، وقایع بیشینه سهم بیشتری از توزیع آماری رویدادهای دمایی را به خود اختصاص دهند. مقادیر

کشیدگی برای فصل تابستان و ماه مارس در زمستان بالاتر از مقدار نرمال هستند. این امر نشان دهنده افزایش بودن داده‌های دمای سطح زمین نسبت به منحنی نرمال است که بر این اساس فراوانی مقادیر دمایی بالاتر از مرکز توزیع؛ بیشتر از سایر یاخته‌ها مشاهده می شود. در هر ۱۲ ماه سال، اختلاف میانه، میانگین و انحراف از میانگین بیانگر آن است که داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمی کنند. بیشینه پراش یا به عبارتی بیشینه دگر دسی دما در فصل زمستان (ماه فوریه) اتفاق افتاده است. بیشینه دمای سطح زمین در کشور با ۵۹/۴۷ درجه سلسیوس در ماه ژوئیه و کمینه دمای سطح زمین کشور نیز با ۱۳/۹۲- درجه سلسیوس در ماه ژانویه اتفاق افتاده است. به طور کلی در زمستان بیشترین دگرگونی در الگوی‌های دمای سطح زمین کشور رخ می دهد.

جدول ۱- مشخصات آماری دمای ماهانه سطح زمین ایران
Table 1. Statistical characteristics of monthly LST in Iran

نوع آماره Statistics	ژانویه January	فوریه February	مارس March	آوریل April	مه May	ژوئن June
میانگین Mean	12.26	16.5	25.76	33.01	40.27	45.37
میانه Median	13.02	17.82	26.62	34.30	42.44	46.84
مد Mode	14.93	22.05	29.60	34.32	44.85	48.45
انحراف معیار Std. Deviation	8.18	8.45	7.86	8.33	8.20	6.31
پراش Variance	67.06	71.43	61.73	69.45	67.28	39.81
چولگی Skewness	-0.26	-0.42	-0.50	-0.32	-0.61	-1.90
کشیدگی Kurtosis	-0.48	-0.28	0.24	-0.41	-0.37	1.34
دامنه تغییرات Range	45.31	46.92	49.85	53.04	51.72	45.04
کمینه Minimum	-13.92	-12.02	-6.50	-0.90	5.55	14.43
بیشینه Maximum	31.39	34.90	43.35	52.13	57.27	59.46
چارک اول 1st Q	6.72	11.23	20.67	26.36	34.06	42.05
چارک سوم 3st Q	17.78	22.38	31.30	39.10	46.44	49.67
نوع آماره Statistics	ژوئیه July	اوت August	سپتامبر September	اکتبر October	نوامبر November	دسامبر December
میانگین Mean	46.01	45.75	42.37	35.07	23.60	14.64

ادامه جدول ۱- مشخصات آماری دمای ماهانه سطح زمین ایران

Table 1. Statistical characteristics of monthly LST in Iran

نوع آماره Statistics	ژوئیه July	اوت August	سپتامبر September	اکتبر October	نوامبر November	دسامبر December
میانه Median	46.90	46.48	43.25	35.82	24.26	14.85
مد Mode	47.47	47.40	45.70	38.08	24.28	11.62
انحراف معیار Std. Deviation	5.57	5.32	5.63	6.50	7.54	7.83
پراش Variance	31.01	27.39	31.72	42.24	56.89	61.34
چولگی Skewness	-1.18	-1.06	-0.89	-0.49	-0.20	-0.10
کشیدگی Kurtosis	2.28	1.97	1.18	-0.09	-0.42	-0.37
دامنه تغییرات Range	39.71	37.94	38.71	42.97	48.50	46.79
کمینه Minimum	19.76	20.94	17.03	7.08	-6.52	-12.35
بیشینه Maximum	59.47	58.88	55.74	50.05	41.98	34.44
چارک اول 1st Q	43.32	43.07	39.33	30.90	17.88	9.33
چارک سوم 3st Q	49.72	49.30	46.23	39.78	28.93	19.86

می‌توان H_0 مبنی بر عدم تفاوت واحدهای فضایی مربوطه با یکدیگر را رد کرد. اما این مقدار در ماه‌های مختلف سال شدت و ضعف دارد؛ همان‌طور که گفته شد از آنجایی که این شاخص اختلاف هر ناحیه را نسبت به دیگری برآورد می‌کند مشخص شد که در ماه‌های سرد سال دمای سطح زمین تمایل بیشتری به خوشه شدن پیدا می‌کنند چرا که اختلاف مکانی یاخته‌ها افزایش می‌یابد.

در دوره گرم سال و بالاخص پهنه‌های گرم ایران (سواحل جنوبی) دگرذیسی کمتری در دمای کشور حاکم است که به تبع آن دمای سطح زمین کشور نیز دگرگونی کمتری را از خود نشان می‌دهند و به تبع آن خود همبستگی فضایی کمتری را نیز باید در نیمه گرم سال شاهد باشیم که نشان از شرایط پایداری دمایی بیشتر در دوره گرم سال دارد. (Medeiros et al. (2005) نیز تایید کردند که ضرایب همبستگی دما برای مقادیر بیشینه دارای ضریب حداکثری کمتری خواهد بود. در دوره سرد

اگر چارک سوم دمای سطح زمین را مرز کانون‌های گرم ایران تلقی کنیم در شرایط بیشینه در فصل زمستان سه چهارم از مساحت کشور دمایی کمتر از $31/30$ درجه سلسیوس دارد. همین سنجه برای فصل بهار $49/67$ درجه سلسیوس، برای فصل تابستان $49/72$ درجه سلسیوس و نهایتاً برای فصل پاییز $39/87$ درجه سلسیوس خواهد بود. همچنین اگر چارک اول را مرز کانون‌های سرد ایران تلقی کنیم در تابستان و زمستان در کمترین مقدار ممکن یک چهارم کشور دمایی کمتر از $39/33$ و $6/72$ درجه سلسیوس خواهند داشت.

جدول ۲ نتایج حاصل از آماره خود همبستگی فضایی Gey's C را برای دمای سطح زمین ایران طی ماه‌های مورد بررسی ارائه داده است. با استفاده از آزمون گری H_0 را به این گونه برای دمای سطح زمین ایران ارزیابی قرار کرده‌ایم که واحدهای فضایی مربوطه با یکدیگر تفاوتی نداشته باشند. با توجه به پایین بودن مقدار $p - value$ و مثبت بودن مقدار شاخص Gey's

که به خاطر بیشینه ابرناکی و رطوبت خاک کرانه شمالی نسبت به قرینه جنوبی خود دمای سطح زمین کمتری دارند که به تبع آن باعث افزایش خود همبستگی فضایی شده است.

سال اختلاف درونی دمای سطح زمین در کشور با استفاده از مقادیر خودهمبستگی به خوبی آشکار شد و نشان دهنده اختلاف دمای سطح زمین در واحدهای همسایگی است که می توان به کرانه های شمالی و جنوبی البرز اشاره کرد

جدول ۲- خروجی ماهیانه آماره Geary's C برای دمای سطح زمین ایران

Table 2. Monthly output of Geary's C statistics for LST in Iran

p-value	خطای استاندارد شاخص C Standard error C	شاخص گری مورد انتظار Expected Geary index	شاخص گری Geary index	ماه Month
0.0001	0.000777	1	0.623740	ژانویه January
0.0001	0.000777	1	0.634055	فوریه February
0.0001	0.000777	1	0.657747	مارس March
0.0001	0.000777	1	0.651094	آوریل April
0.0001	0.000777	1	0.663730	مه May
0.0001	0.000777	1	0.748522	ژوئن June
p-value	خطای استاندارد شاخص C Standard error C	شاخص گری مورد انتظار Expected Geary index	شاخص گری Geary index	ماه Month
0.0001	0.000777	1	0.803851	ژولای July
0.0001	0.000777	1	0.825133	آگوست August
0.0001	0.000777	1	0.762271	سپتامبر September
0.0001	0.000777	1	0.658025	اکتبر October
0.0001	0.000777	1	0.610371	نوامبر November
0.0001	0.000777	1	0.592132	دسامبر December

درجه می رسد. مناطق شمال غرب، نوار شمالی و مناطق زاگرس مرتفع و شمال شرق، سردترین دماهای سطحی در کشور را پوشش می دهند. در واقع گرادیان منفی دمای سطح زمین از ارتفاع تبعیت می کند و همچنان رابطه معکوسی با ارتفاع و دمای سطح زمین وجود دارد. توزیع و پراکنش دماهای سرد سطح زمین در مناطق مرتفع و نواحی کوهستانی کشور، به خوبی از خروجی تصاویر ماهواره ای قابل مشاهده است.

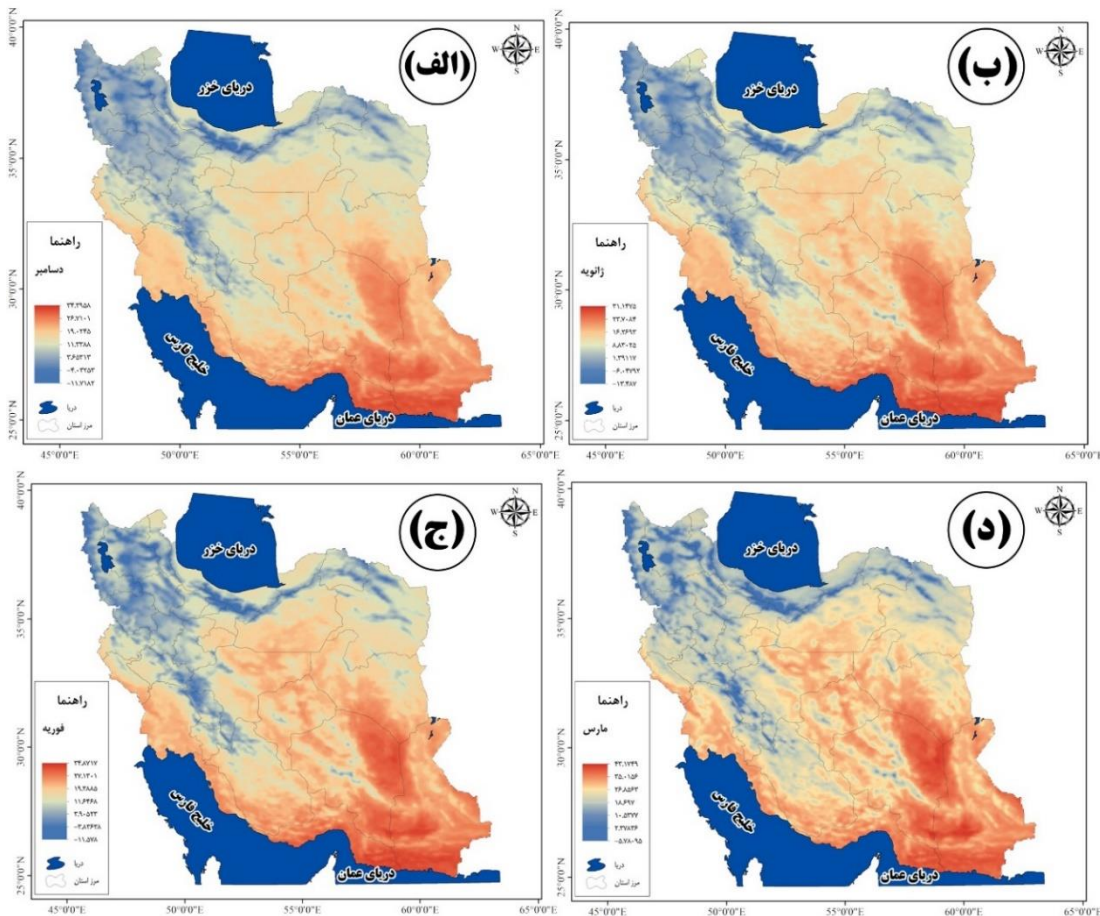
در روزهای سرد سال، دیگر مناطق و عرض های کشور، دماهایی تا ۳۱ درجه سلسیوس را تجربه می کنند.

توزیع LST، ماه های سرد سال (دسامبر تا مارس)

نتایج توزیع LST، براساس سنجنده MODIS برای کشور در ماه های مختلف سال در شکل های (۱ تا ۴) مشخص شده است. پردازش باندهای حرارتی MODIS نشان داده که سردترین دماها در سطح زمین، در ماه های ژانویه (۱-ب) و دسامبر (۱-الف) رخ می دهد، به طوری که در ماه ژانویه دمای سطح زمین به ۱۳- درجه سلسیوس و در دسامبر تا ۱۱- درجه سلسیوس مشاهده شده است. از ژانویه به سمت ماه مارس (۱-د) از شدت سرمای سطح زمین کاسته می شود و میزان سرمای سطح زمین به ۵-

و به سمت مناطق مرکزی و عرض‌های جنوبی کشور، دمای سطح زمین افزایش می‌یابد. در روزهای سرد سال سرمایش سطح زمین در ماه ژانویه از گستره مکانی بیشتری برخوردار است و مناطق زیادی را تحت پوشش قرار می‌دهد. از ماه دسامبر سرمایش سطح زمین افزایش می‌یابد و در ماه ژانویه به اوج خود می‌رسد و از ماه فوریه به تدریج شدت سرما کاسته شده و گستره مکانی آن در ماه مارس و به مناطق مرتفع محدود می‌شود. عریان بودن سطح زمین و پوشش برف در مناطق سرد کشور که منجر به آلودگی بیشتر می‌شود از عوامل موثر در این دگرگونی است همچنین عامل عرض جغرافیایی، میل زاویه تابش و نیز طول روز نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری چنین الگوی دمایی سطح زمین را برای دوره روزنهنگام در ایران دارد.

به طوری که دامنه تفاوت دمایی در سردترین ماه سال یعنی ماه ژانویه، به ۴۴ درجه سلسیوس می‌رسد. مناطقی با دماهای بالای صفر و گرمتر در مناطق مرکزی، حوزه دشت لوت و عرض‌های جنوبی و جنوب شرق کشور واقع شد. در واقع در تمام ماه‌های سرد سال، گرم‌ترین دما در دشت لوت رخ می‌دهد. در واقع حتی در روزهای سرد سال همچنان منطقه دشت لوت گرم‌ترین دمای سطح زمین را در کشور دارد. تفاوت‌های مکانی دما در کشور بسیار شدید است. گستردگی زیاد کشور در عرض‌های مختلف و چشم‌انداز ناهمواری‌ها باعث شده تا در ایران با توجه به وضعیت ارتفاعات، چشمه‌های دمایی مختلف و متنوعی شکل بگیرد. روند توزیع دما از ارتفاعات منطقه‌ای تبعیت می‌کند. به طوری که در روزهای سرد سال از شمال به جنوب و از غرب به شرق از میزان سرمای سطح زمین کاسته می‌شود



شکل ۱- دمای سطح زمین روزنهنگام ایران؛ (الف) ماه دسامبر؛ (ب) ماه ژانویه؛ (ج) ماه فوریه و (د) ماه مارس
 Fig. 1- Daytime LST in Iran; (a) December; (b) January; (c) February; and (d) March

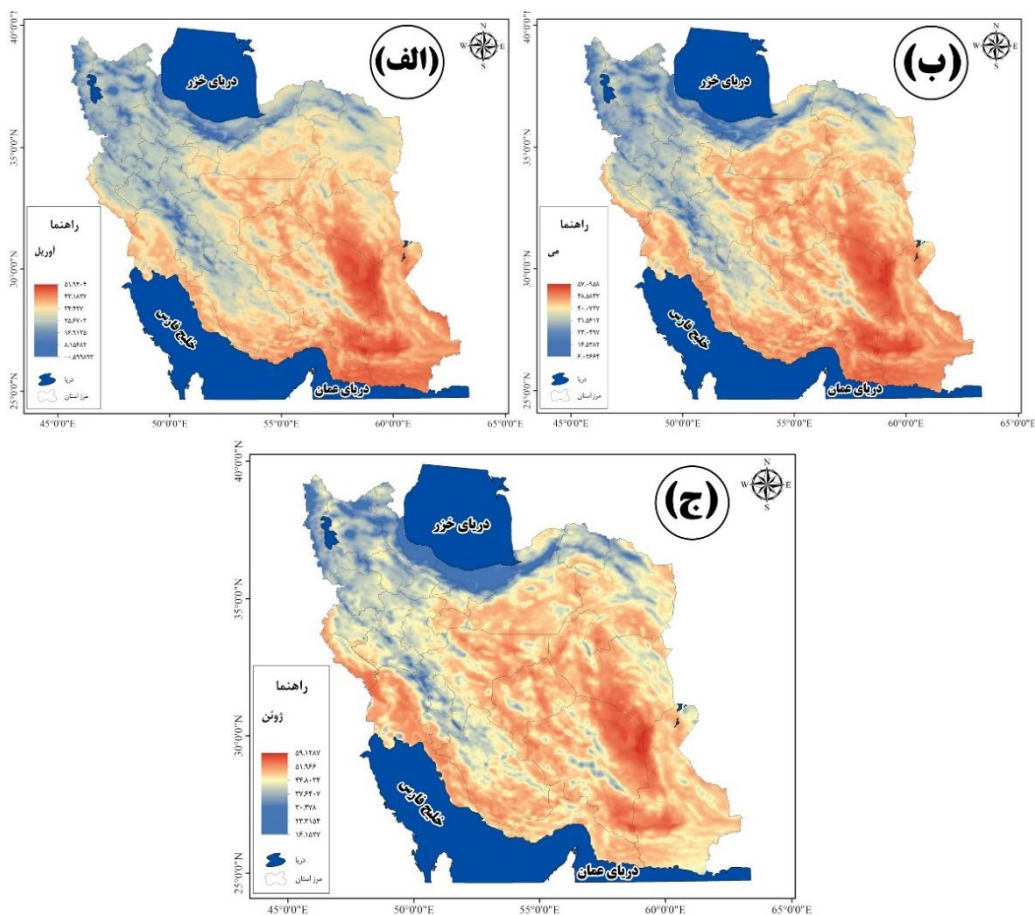
توزیع LST در ماه‌های فصل بهار (آوریل تا ژوئن)

وضعیت و توزیع دمای سطح زمین (LST)، در ماه‌های فصل بهار در شکل (۲) مشخص شد. این فصل به دلیل همزمانی آن با زمان رشد و نمو گیاهان و بسیاری از عملیات زراعی و باغی، همچنین در مدیریت منابع آب و مدیریت آبخیز از نظر ذوب برف اهمیت دارد.

در ماه آوریل (۲- الف) از گستره مکانی سرمای سطح زمین کاسته می‌شود. سردترین مناطق در عرض‌های شمالی منطقه شمال غرب و مناطق زاگرس مرتفع در کوهستان‌های دنا و زردکوه و خراسان شمالی محدود شد. در این ماه‌هایی از سال، گرادیان دما در سطح کشور به تدریج افزایش می‌یابد. اختلاف دمایی در گستره ایران از ۵۱ درجه سلسیوس بالای صفر در مناطق مرکزی و جنوبی تا ۰/۵۹- درجه سلسیوس زیر صفر در مناطق مرتفع و کوهستانی متغیر است.

در ماه می (۲- ب) بر گستره مکانی دماهای گرم افزوده می‌شود و دمای سطح زمین در بیشتر نیمه مرکزی و جنوبی کشور، افزایش می‌یابد. در مناطق دشت لوت و مناطق جنوبی، میزان دمای سطح زمین به ۵۷ درجه سلسیوس بالای صفر می‌رسد. همچنان مناطق خنک و سردسیر بر کوهپایه‌ها و ارتفاعات شمال غرب، زاگرس مرتفع و البرز محدود شده است. سردترین مناطق در کشور در این ماه در استان چهار محال و بختیاری، البرز مرکزی، آذربایجان شرقی و غربی و اردبیل مشاهده می‌شود. در ماه ژوئن (۲- ج) به تدریج سطح زمین گرم‌تر می‌شود و خنکایی به مناطق مرتفع محدود شده است. خنک‌ترین مناطق در رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس به ۱۶ درجه بالای صفر و گرم‌ترین نواحی همچنان در حوزه دشت لوت و نوار مجاور دریای عمان به ۵۹ درجه می‌رسد. در این ماه بیشتر سطح زمین در کشور گرم شده است. از جنوب به شمال کشور، گستره مکانی گرمای سطح زمین افزایش می‌یابد.

پوشش گیاهی یک پارامتر تاثیرگذار در دگرذیسی خرد آب‌وهوا منطقه‌ای محسوب می‌شود، چراکه نقش اساسی را در تعاملات بین فرایندهای سطح زمین همچون آلودگی سطحی و هوا سپهر ایفا می‌کنند. به طوری که در دوره گرم سال فعالیت‌های فتوسنتزی همچون فرایند تعرق موجب می‌شود تا دمای سطح زمین در مناطق با پوشش گیاهی (همچون شمال و شمال غرب کشور) کمتر از مناطق بدون پوشش گیاهی باشد. از طرفی مقایسه شکل‌های دوره گرم سال با دوره سرد سال در مناطق شمالی نشان می‌دهد که دوره گرم سال نوار شمالی ایران یک افت دمایی فراگیر داشته است. این شیب دگرگونی دمایی سطح زمین را می‌توان به مقدار سبزی‌نگی نسبت داد؛ همچنین سایه، رطوبت خاک و هوموس فراوان در مناطق شمالی کشور موجب کاهش شدید دمای سطح زمین و آلودگی سطحی می‌شود، چراکه در دوره گرم سال اوج فعالیت کشاورزی و در راس آن کاشت برنج است، بنابراین با توجه به زیر آب رفتن بخش اعظمی از نوار شمالی ایران از یک سو و افزایش هوموس خاک (کود دادن به زمین‌های کشاورزی)، این کاهش دمای فراگیر در این پهنه از ایران قابل توجیه است. (Raziei (2017) دمایی بیشتر منطقه ساحلی جنوب را ناشی از اثر دریا و عرض جغرافیایی پایین دانسته و دمای بالای ناحیه ساحلی خزری را نیز ناشی از اثر تعدیل‌کننده دریای خزر در دوره سرد سال دانسته است. سواحل خزر به رقم عرض جغرافیایی بالا، که باید دمای کمتری داشته باشند، به صورت یک ناحیه دمایی مجزا مشخص شده است که ناشی از اثر تعدیلی دریا است. همچنین Alijani (2010) به این نتیجه رسیده که در دوره گرم سال در جنوب زاویه تابش بالاتر و در شمال کشور طول روز طولانی‌تر است. بنابراین تفاوت انرژی تابشی روزانه که عاملی مهم در گرمایش هوا سپهر است به کمترین مقدار ممکن می‌رسد.



شکل ۲- دمای سطح زمین روز هنگام ایران: (الف) ماه آوریل؛ (ب) ماه می؛ و (د) ماه ژوئن
Fig. 2- Daytime LST in Iran; (a) April; (b) May; and (d) June

سطح زمین در این مناطق از کشور نسبت به دیگر مناطق گرم کشور، کاسته می‌شود. در اثر وزش بادهای موسمی شاهد ریزش‌های جوی در دوره گرم سال در این منطقه هستیم، بنابراین وزش بادهای موسمی را می‌توان عامل اصلی کاهش دمای سطح زمین در این منطقه عنوان کرد. نقش پررنگ گردش منطقه‌ای هوا سپر در شکل‌دهی الگوهای دمایی سطح بارز است.

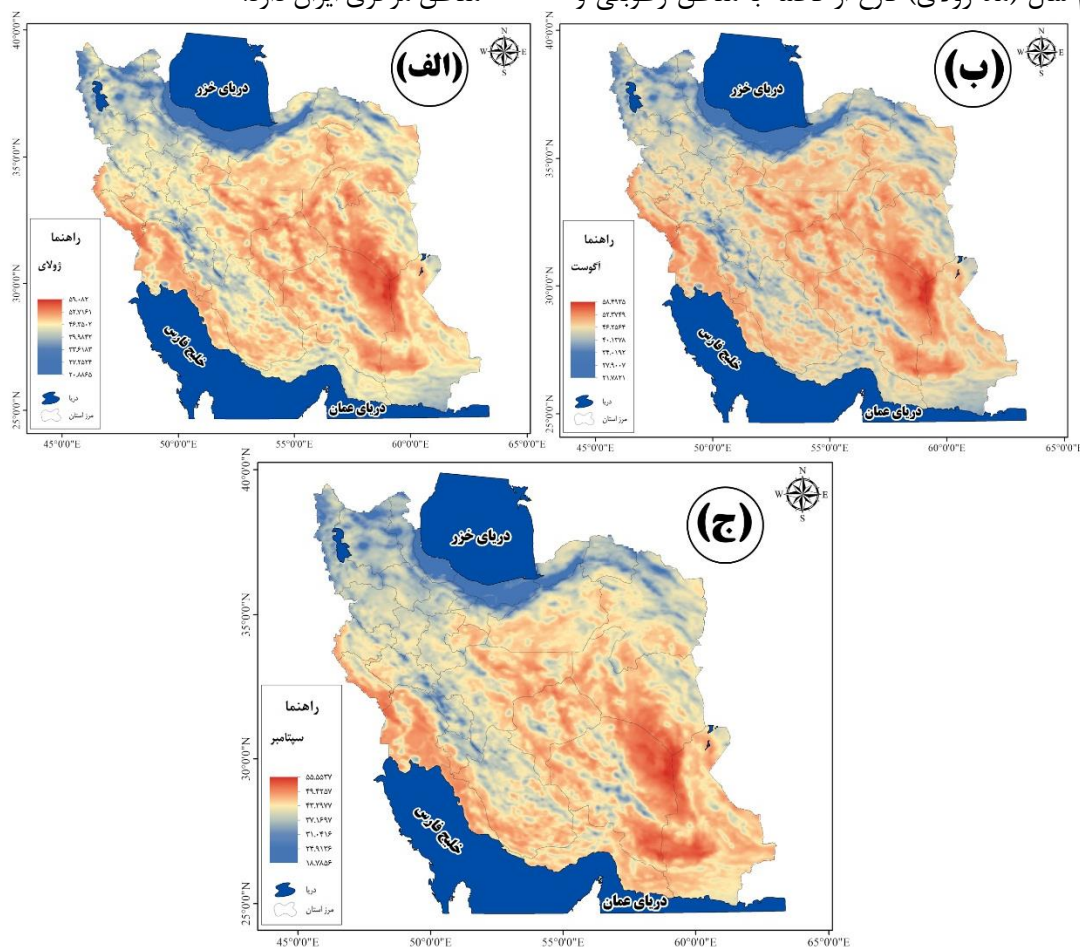
در ماه آگوست (۳-ب) همچنان سطح بیشتر مناطق کشور گرم است. دماهای گرم به ۵۸ درجه بالای صفر و دماهای خنک به ۲۱ درجه در مناطق مرتفع و ستیغ کوه‌ها می‌رسد. اوج رشد و نمو نباتات در این ماه رخ می‌دهد. مناطق هموار در بیشتر کشور، میزان LST بالاست. ارتفاعات بالا دماهای خنک دارند. در ماه سپتامبر (۳-ج)

توزیع LST در ماه‌های فصل تابستان (ژولای تا سپتامبر)

ژوئیه (۳-الف) گرم‌ترین ماه سال محسوب می‌شود. در این ماه گرادیان مکانی دما در مناطق لوت و نوار جنوبی کشور به ۵۹ درجه سلسیوس و در مناطق مرتفع و کوهستانی به ۲۰ درجه سلسیوس می‌رسد. در این ماه با توجه به وضعیت طبیعی مناطق مرکزی در عرض‌های شمالی‌تر، گستره مکانی گرمای سطح زمین به بالاترین سطح رسیده و حتی در مناطق دامنه‌های جنوبی البرز در منطقه سمنان، دماهای بالای ۵۷ درجه سلسیوس رخ می‌دهد. در این ماه با نفوذ موسمی‌ها به منطقه جنوب شرق در جنوب شرق کشور و نوار ساحلی دریای عمان به خاطر ابرناکی و میزان ساعات آفتابی کمتر، از میزان دمای

عدم پوشش گیاهی که پیش تر مورد بحث قرار گرفت عامل بیوفیزیکی دارد. در نواحی بیابانی و پلایاها به خصوص نمکزارهای ایران که در جای جای ایران مرکزی تا جنوب شرقی ایران مشاهده می شوند، به دلیل ماهیت فیزیکی و رنگ مواد شیمیایی-فیزیکی شان مقادیر آلودی سطحی در آنها نمود بیشتری می یابد. از طرفی به نظر می رسد عواملی مانند پستی ارتفاع زمین، سرعت های کم باد و ویژگی های بیوفیزیکی سطح نقش اساسی در بالا بودن دمای سطح در مناطق مرکزی ایران دارد.

به تدریج از میزان دمای سطح زمین در نواحی مرتفع کاسته می شود. در این ماه مناطق گرم به ۵۷ درجه و مناطق خنک LST به ۱۷ درجه بالای صفر می رسد. به تدریج از سمت عرض های شمالی بر گستره مناطق خنک افزوده می شود. روند کاهش دما در مناطق مرتفع شمال غرب و شمال شرق و غرب کشور زودتر از دیگر مناطق مشاهده می شود. از شمال به جنوب گستره مکانی دمای سطح زمین کاسته می شود. افزایش شدید دما در مناطق داخلی ایران در دوره گرم سال (ماه ژولای) فارغ از فاصله با مناطق رطوبتی و



شکل ۳- دمای سطح زمین روز هنگام ایران؛ (الف) ماه ژوئیه؛ (ب) ماه آگوست؛ و (د) ماه سپتامبر
Fig. 3- Daytime LST in Iran; (a) July; (b) August; and (d) September

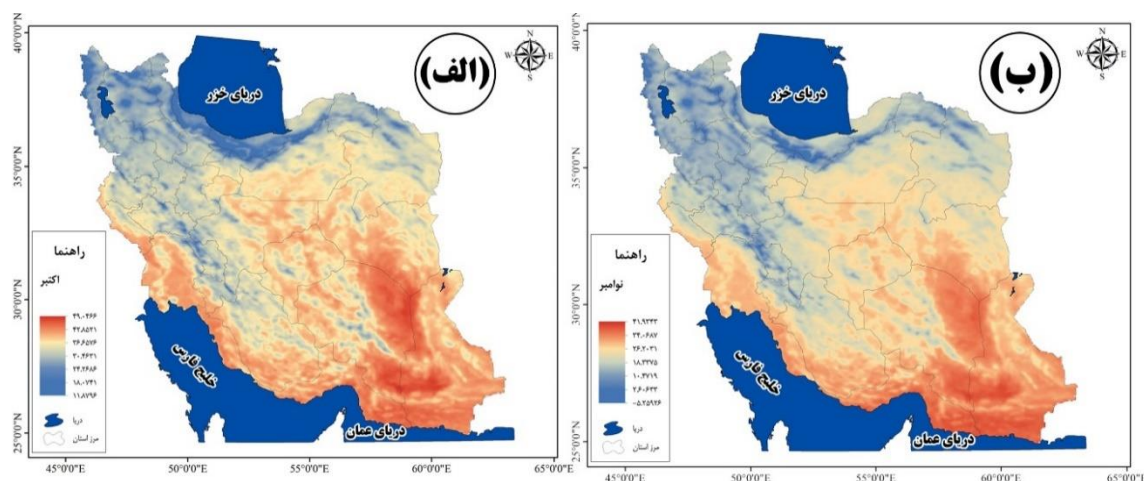
سلسیوس و سردترین مناطق با دمای ۱۱ درجه در مناطق مرتفع غرب و شمال غرب و شمالی و شمال شرق دیده می شود. به دلیل گذر فصل و همچنین نقش مولفه های مکان، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا،

ماه های فصل پاییز (اکتبر و نوامبر)

در ماه های فصل پاییز از میزان دمای سطح زمین به تدریج کاسته می شود. در اکتبر (۴- الف) گرم ترین دمای سطح زمین در لوت مرکزی به میزان ۴۹ درجه

به خاطر واقع شدن در یکی از پست‌ترین نقاط داخلی کشور یکی از بالاترین دماها را دارد. پست‌ترین منطقه ایران و گرم‌ترین نقطه زمین که فاقد حیات است چاله مرکزی لوت در ۷۵ کیلومتری شرق شهداد واقع است. Mildrexler et al. (2011) نیز که گرم‌ترین نقاط کره زمین را با داده‌های ماهواره‌ای ارزیابی کرده‌اند، به این نتیجه رسیدند که دشت لوت در ایران یکی از کانون‌های گرم کره زمین است، به طوری که در سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ به ترتیب دماهای ۶۸/۰۱، ۷۰/۷۳، ۶۸/۵۱، ۶۹/۰۱ و ۶۸/۶ سلیسوس در آن ثبت شده است. آنان علت چنین دمای بالایی را ویژگی‌های فیزیکی منحصربه‌فرد دشت لوت همچون کلوتهای بزرگ و قسمت گسترده‌ای می‌دانند که با سنگ‌های ضخیم پوشیده شده‌اند و از آنها با عنوان سنگ فرش بیابانی نام می‌برند. (Azizi et al. (2007) نیز ضمن تایید دمای بالای این منطقه به ارزیابی آن با نقشه کاربری اراضی پرداختند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

تفاوت دمایی همچنان در گستره کشور بالاست و این گستره مکانی باعث شده تا تنوع آب‌وهوایی در کشور به وجود بیاید. به طوری که در مناطق مختلف کشور محصولات زراعی و باغی براساس همین توزیع دمای در سطح کشور زمان برداشت متفاوتی را تجربه می‌کنند. در ماه نوامبر (۴-ب) از گستره دمای سطح زمین کاسته می‌شود و بر گستره مناطق خنک و سرد افزوده می‌شود. مناطق سرد دمای ۵- درجه را تجربه می‌کنند و مناطق گرم همچنان دمای ۴۱ درجه دارند. لوت مرکزی هم در تمام ماه‌های سال گرم‌ترین نقطه کشور محسوب می‌شود. برای دمای بالای دشت لوت می‌توان چندین عامل اساسی را برشمرد: رنگ تیره شن‌های دشت لوت به خاطر وجود ترکیبات آهن به همراه شکل ناهموار زمین که موجب محدود شدن حرکت هوا می‌شود، یکی از دلایل ایجاد چنین دمای بالایی است. گندم‌بریان یا ریگ‌سوخته که در دشت لوت و ۸۰ کیلومتری شمال شهر شهداد واقع شده است، از یک سو به دلیل سنگ‌ها و گدازه‌های بازالتی سیاه‌رنگ آتشفشانی و از سوی دیگر



شکل ۴-دمای سطح زمین رزوهنگام ایران؛ الف) ماه اکتبر؛ و ب) ماه نوامبر

Fig. 4- Daytime LST in Iran; (a) October; and (b) November

در ایران، به شدت متأثر از شرایط جغرافیایی، به خصوص عرض جغرافیایی و وضعیت توپوگرافیکی آن است. در تمام ماه‌های سال، منطقه دشت لوت گرم‌ترین پهنه در ایران

بررسی LST، در بازه زمانی ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ بر اساس برون‌داد سنجنده MODIS، برای ماه‌های مختلف سال نشان داد که توزیع دمای سطح زمین

براساس برون داد سنجنده MODIS مورد واکاوی قرار گرفته است. گستره مکانی داده‌های مزبور ۵ کیلومتر و در بازه زمانی روزانه آرایه‌ای به ابعاد 4855×62258 گزینش شد و بر این اساس رفتار مکانی بلندمدت دمای سطح زمین ماهیانه ایران بررسی شد.

ارزیابی‌های آماری دمای سطح زمین روز هنگام ایران نشان داد که بیشینه و کمینه میانگین دمای سطح زمین ایران به ترتیب با $46/01$ درجه سلسیوس در ماه ژوئیه و $12/26$ درجه سانتی‌گراد، در ژانویه رخ داده است. چولگی دمای سطح زمین ایران نشان داده است که وقایع بیشینه، سهم بیشتری از توزیع آماری رویدادهای دمایی را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین اگر چارک سوم دمای سطح زمین را مرز کانون‌های گرم ایران تلقی کنیم، در شرایط بیشینه در فصول زمستان و تابستان سه‌چهارم از مساحت کشور به ترتیب دمایی کمتر از $31/30$ و $49/72$ درجه سلسیوس را تجربه می‌کنند. آزمون H_0 مبنی بر عدم تفاوت واحدهای فضایی دمای سطح زمین روز هنگام ایران زمین با استفاده از آماره خودهمبستگی فضایی Geary's C نشان از رد فرض H_0 حاضر دارد.

پردازش‌های مکانی دمای سطح زمین روز هنگام ایران نشان داد که دمای سطح زمین به شدت متأثر از عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا است و شرایط توپوگرافیکی نقش مهمی در توزیع زمانی-مکانی LST ایفا می‌کند و با بررسی‌های Zhao et al. (2008) مبنی بر اینکه هر قلمرو دمایی همخوانی زیادی با ویژگی‌های محیطی و جغرافیایی به‌ویژه ارتفاع، ویژگی‌های شیب زمین و عرض جغرافیایی خود دارد، همخوانی کامل دارد.

اگرچه پهنه‌های دمایی ارائه شده برای ماه‌های مختلف سال از پیوستگی مکانی قابل توجهی برخوردارند، اما بخش‌هایی از یک خوشه دمایی به‌صورت جزایری درون پهنه‌های دیگر نمایان شده است که نشان از اثر شرایط محلی و توپوگرافی پیچیده (Simmons et al., 2004) در

زمین بوده است. بعد از منطقه دشت لوت، مناطق جنوب استان سیستان و بلوچستان و شرق هرمزگان، گرم‌ترین مناطق کشور محسوب می‌شوند.

گستره مکانی زیاد ایران موجب اختلاف دمایی بالایی در کشور شده است. همچنان در تمام ماه‌های سال مناطق ناهموار و مرتفع غرب و شمال غرب، شمال و شمال شرق کشور که متراکم‌ترین مناطق کوهستانی کشور نیز به حساب می‌آیند، سردترین تا خنک‌ترین مناطق محسوب می‌شوند. به‌طور کلی، توزیع زمانی-مکانی دمای سطح زمین در ایران زمین، متأثر از عرض جغرافیایی منطقه و ارتفاعات آن است. عامل ارتفاع از سطح دریا به حدی در توزیع دمای سطح زمین نقش دارد که در مناطق مرکزی کشور مانند استان کرمان، با وجود دشتی بودن و همچنین عرض جغرافیایی پایین‌تر، چشمه‌های دمایی سرد و خنک در مناطقی چون، شهر بابک و بافت مشاهده می‌شود. این تنوع دمایی و آب‌وهوایی در کشور، مدیون ارتفاعات منطقه است. در تمام ماه‌های سال گرم‌ترین مناطق کشور در دشت لوت و جنوب شرق کشور مشاهده شد. سردترین مناطق در نوار کوهستانی غرب و شمال غرب و شمال کشور مشاهده می‌شود. از غرب به شرق کشور و از شمال و به جنوب میزان دمای سطح LST، افزایش می‌یابد. با توجه به وضعیت توپوگرافیکی کشور ایران، وضعیت دمای سطح زمین در مناطق مرتفع و ناهموار که امکان دسترسی مستقیم مقدور نیست، از طریق داده‌های ماهواره‌ای به راحتی قابل واکاوی است.

نتیجه‌گیری

دمای سطح زمین (LST) از سنج‌های بنیادین مطالعات مربوط به زمین و شهرهاست که به دلیل کارایی روشنی که بر روند زندگی دارد، به‌طور مستمر مورد بحث بوده است. در این پژوهش دمای روز هنگام سطح زمین ایران زمین در یک بازه زمانی ۱۵ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۱)

و حوضه‌های برف‌گیر و همچنین مدیریت آبخیز، خروجی LST، اهمیت دارد. با توجه به اینکه در نیمه سرد سال در مناطقی از کشور با سردی شدید و طاقت‌فرسا مواجه می‌شویم، مصرف سوخت و بهینه‌سازی آن اهمیت دارد. نتایج نقشه‌های ژانویه تا مارس به خوبی مشخص کرد که مناطق سردسیر در شمال شرق، شمال غرب و غرب و شمال کشور در اولویت تامین سوخت و گازرسانی قرار دارند.

به طور کلی، دمای سطح زمین متاثر از شرایط مکانی و تابع مولفه‌های مکان، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا است. تفاوت‌های مکانی ایران زمین موجب تنوع دمایی و آب‌وهوایی در کشور شده است. نتایج و دستاوردهای این تحقیق در بیشتر زمینه‌های مرتبط با امور شهری، حمل‌ونقل، فعالیت و اوقات فراغت در طول سال می‌تواند مفید واقع شود. نتایج این پژوهش نشان داده است که عوامل بسیاری مانند گردش منطقه‌ای هواسپهر، مشخصه‌های جغرافیایی مکان (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، وجه شیب، جهت‌گیری دامنه‌ها و...) و عوامل بیوفیزیکی سطح زمین در شکل‌گیری الگوهای دمای سطح زمین نقش‌آفرینی می‌کنند. بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش بعدی به شکل مستقل به نقش هر یک از این عوامل موثر در دمای روز هنگام سطح زمین کشور پرداخته شود.

پی‌نوشت‌ها

¹ Decode

² Land Surface Temperature (LST)

³ Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer (MODIS)

⁴ Earth Observing System (EOS)

⁵ Clear-sky

⁶ Kriging

پیدایش این جزایر دمایی نسبت به اطراف خود دارد، که باعث اختلاف مکانی دما و افزایش میل به خوشه شدن دمای سطح زمین در ایران یا به عبارتی دیگر لانه‌گزینی آب‌وهوایی دارد.

از غرب به شرق و از شمال به جنوب منطقه در تمام ماه‌های سال افزایش دمای سطح زمین مشاهده شد. دشت لوت به عنوان گرم‌ترین منطقه در کشور که در روزهای گرم سال تا ۵۹ درجه سلسیوس دما در آن رخ می‌دهد، شناسایی شد. حتی در روزهای سرد سال در ماه ژانویه میزان دمای سطح زمین در منطقه دشت لوت به ۳۱ درجه سلسیوس می‌رسد. فقر رطوبتی دشت و همچنین عرض جغرافیایی پایین‌تر موجب شده تا این منطقه جزو گرمترین مناطق در کره زمین محسوب شود (Mildrexler et al., 2011). این منطقه را به عنوان یکی از گرم‌ترین مناطق در کره زمین معرفی کردند.

دگرگونی شدید توپوگرافی و نمود دگرذیسی مکانی دمای سطح زمین در تابستان موثرتر از فصل زمستان است، این امر ممکن است با نشست هوای سرد در زمستان مرتبط باشد که (Wang et al., 2015) نیز در مناطق خشک شمال غربی چین به این نتیجه رسیدند و با توجه به خشک و نیمه‌خشک بودن بخش اعظم ایران، این امر برای ایران نیز دور از انتظار نخواهد بود.

نتایج و دستاوردهای این تحقیق در مکان‌یابی و استقرار سامانه‌های جذب انرژی خورشیدی در طول سال، کاربردی و دارای اهمیت است. منطقه ایران مرکزی و حوزه دشت لوت و جنوب شرق کشور، بهینه‌ترین منطقه برای استفاده از انرژی خورشیدی در طول سال محسوب می‌شود. برای روزهای سرد سال از ماه دسامبر تا مارس، کاهش دما به زیر صفر تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد، برای توسعه و برنامه‌ریزی ورزش کوهستانی اسکی، به‌ویژه در مناطق کوهستانی نیمه شمالی و غربی، اهمیت دارد. از نظر مدیریت منابع آب

منابع

- Ahmadi, M. and Dadashiroudbari, A., 2016. The biophysical effect of compound the formation of urban heat islands (Case study: Mashhad). *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*. 8 (3), 39-58. (In Persian with English abstract).
- Alavipanah, S.K., 2011. *The Principles of Remote Sensing and Interpretation of Satellite Imagery and Aerial Photographs*. Tehran University Press, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).
- Aliabadi, K., Asadi Zangeneh, M. and Dadashi Roudbari, A., 2015. Evaluation and monitoring dust storm by using remote sensing (Case study: West and southwest of Iran). *Journal of Rescue and Relief*, 7(1), 1-20. (In Persian with English abstract).
- Alijani, B., 2010. *Weather Iran*. Payam Noor University Press. Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).
- Anderson, M.C., Norman, J.M., Kustas, W.P., Houborg, R., Starks, P.J. and Agam, N., 2008. A thermal-based remote sensing technique for routine mapping of land-surface carbon, water and energy fluxes from field to regional scales. *Remote Sensing of Environment*. 112(12), 4227-4241.
- Anisimov, O.A., Lobanov, V.A., Reneva, S.A., Shiklomanov, N.I., Zhang, T. and Nelson, F.E., 2007. Uncertainties in gridded air temperature fields and effects on predictive active layer modeling. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. Vol. 112(F2), 1-12.
- Azizi, G., Alavipanah, S.K., Goodarzi, N. and Kazemi, M., 2007. An estimation of the temperature of Lut desert using MODIS sensor data. *Biaban*, 12, 7-15.
- Bunn, A.G., Goetz, S.J., Kimball, J.S. and Zhang, K., 2007. Northern high-latitude ecosystems respond to climate change. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 88(34), 333-335.
- Chopping, M., Moisen, G.G., Su, L., Laliberte, A., Rango, A., Martonchik, J.V. and Peters, D.P., 2008. Large area mapping of southwestern forest crown cover, canopy height, and biomass using the NASA multiangle imaging spectro-radiometer. *Remote Sensing of Environment*. 112(5), 2051-2063.
- Coll, C., Caselles, V., Galve, J.M., Valor, E., Niclos, R., Sánchez, J.M. and Rivas, R., 2005. Ground measurements for the validation of land surface temperatures derived from AATSR and MODIS data. *Remote sensing of Environment*. 97(3), 288-300.
- Duan, S.B., Li, Z. L., Tang, B.H., Wu, H. and Tang, R., 2014. Direct estimation of land-surface diurnal temperature cycle model parameters from MSG-SEVIRI brightness temperatures under clear sky conditions. *Remote Sensing of Environment*. 150, 34-43.
- Effat, H.A. and Hassan, O.A.K., 2014. Change detection of urban heat islands and some related parameters using multi-temporal Landsat images; A case study for Cairo city, Egypt. *Urban Climate*. 10, 171-188.
- Euskirchen, E.S., McGuire, A.D., Kicklighter, D.W., Zhuang, Q., Clein, J.S., Dargaville, R.J. and Romanovsky, V.E., 2006. Importance of recent shifts in soil thermal dynamics on growing season length, productivity, and carbon sequestration in terrestrial high-latitude ecosystems. *Global Change Biology*. 12(4), 731-750.
- Fischer, M.M. and Getis, A., 2009. *Handbook of applied spatial analysis: software tools, methods*

- and applications. Springer Science and Business Media. p. 811.
- Hale, R.C., Gallo, K.P. and Loveland, T.R., 2008. Influences of specific land use/land cover conversions on climatological normals of near-surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 113(D14).
- Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y. A. R., and Soden, B. J., 2013. January. Observations. In Cambridge University Press.
- Hashemi, S., Alavipanah, S. and Dinarvandi, M., 2013. LST Assessment Using Thermal Remote Sensing in Urban Environment. *Journal of Environmental Studies*. 39(1), 81-92. (In Persian with English abstract).
- Hashimoto, H., Dungan, J.L., White, M.A., Yang, F., Michaelis, A.R., Running, S.W. and Nemani, R.R., 2008. Satellite-based estimation of surface vapor pressure deficits using MODIS land surface temperature data. *Remote Sensing of Environment*. 112(1), 142-155.
- Holzman, M.E., Rivas, R. and Piccolo, M.C., 2014. Estimating soil moisture and the relationship with crop yield using surface temperature and vegetation index. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 28, 181-192.
- Kaviani, A., Sohrabi, A.T., Daneshkar Araste, P. 2013. Estimation of land surface temperature using NDVI in MODIS and Landsat ETM+ imageries. *Journal of Agricultural Meteorology*. 1(1), 14-25. (In Persian with English abstract).
- Kim, Y., Kimball, J.S., Zhang, K. and McDonald, K.C., 2012. Satellite detection of increasing Northern Hemisphere non-frozen seasons from 1979 to 2008: Implications for regional vegetation growth. *Remote Sensing of Environment*. 121, 472-487.
- Li, Z.L., Tang, B.H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z. and Sobrino, J.A., 2013. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*. 131, 14-37.
- Lin, I.I., Chen, J.P., Wong, G.T., Huang, C.W. and Lien, C.C., 2007. Aerosol input to the South China Sea: Results from the MODerate resolution imaging spectro-radiometer, the quick scatterometer, and the measurements of pollution in the troposphere sensor. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 54(14), 1589-1601.
- Lin, X., Zhang, W., Huang, Y., Sun, W., Han, P., Yu, L. and Sun, F., 2016. Empirical Estimation of Near-Surface Air Temperature in China from MODIS LST Data by Considering Physiographic Features. *Remote Sensing*. 8(8), 629.
- Lu, J., Tang, R., Tang, H. and Li, Z.L., 2014. A new parameterization scheme for estimating surface energy fluxes with continuous surface temperature, air temperature, and surface net radiation measurements. *Water Resources Research*. 50(2), 1245-1259.
- Masoodian, B., 2010. Weather Iran. Sharia Toos Publishing of Mashhad. Mashhad. (In Persian with English abstract).
- McGuire, A.D., Chapin Iii, F.S., Wirth, C., Apps, M., Bhatti, J., Callaghan, T. and Onuchin, A., 2007. Responses of high latitude ecosystems to global change: Potential consequences for the climate system. In *Terrestrial ecosystems in a changing World* (pp. 297-310). Springer Berlin Heidelberg.
- Medeiros, S.D.S., Cecílio, R.A., de Melo Júnior,

- J.C. and da Silva Junior, J.L., 2005. Estimation and spatialization of minimum, mean and maximum air temperatures for the northeast region of Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 9(2), 247-255.
- Meyer, H., Katurji, M., Appelhans, T., Müller, M.U., Nauss, T., Roudier, P. and Zawar-Reza, P., 2016. Mapping Daily Air Temperature for Antarctica Based on MODIS LST. *Remote Sensing*. 8(9), 732.
- Mildrexler, D.J., Zhao, M. and Running, S.W., 2011. Satellite finds highest land skin temperatures on earth. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 92(7), 855-860.
- Moradi, M., Salahi, B. and Masoodian, S.A., 2016. Land surface temperature zoning of Iran with MODIS data. *Journal of natural Environment Hazards*. 5 (7). 101-116. (In Persian).
- Nemani, R.R., Keeling, C.D., Hashimoto, H., Jolly, W.M., Piper, S.C., Tucker, C.J., and Running, S. W., 2003. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*. 300(5625), 1560-1563.
- Ollinger, S.V. and Smith, M.L., 2005. Net primary production and canopy nitrogen in a temperate forest landscape: an analysis using imaging spectroscopy, modeling and field data. *Ecosystems*. 8(7), 760-778.
- Pampaloni, P. and Paloscia, S., 1985. Experimental relationships between microwave emission and vegetation features. *International Journal of Remote Sensing*. 6(2), 315-323.
- Rajasekar, U. and Weng, Q., 2009. Urban heat island monitoring and analysis using a non-parametric model: A case study of Indianapolis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 64(1), 86-96.
- Raziei, T., 2017. Identification of precipitation regimes of Iran using multivariate methods. *Journal of the Earth and Space Physics (JESP)*. 43(3), 673-695. (In Persian with English abstract).
- Scherrer, D., Bader, M.K.F. and Körner, C., 2011. Drought-sensitivity ranking of deciduous tree species based on thermal imaging of forest canopies. *Agricultural and forest meteorology*. 151(12), 1632-1640.
- Schimel, D., Pavlick, R., Fisher, J.B., Asner, G.P., Saatchi, S., Townsend, P., and Cox, P., 2015. Observing terrestrial ecosystems and the carbon cycle from space. *Global change biology*. 21(5), 1762-1776.
- Schwarz, N., Schlink, U., Franck, U. and Großmann, K., 2012. Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators—an application for the city of Leipzig (Germany). *Ecological Indicators*. 18, 693-704.
- Senanayake, I.P., Welivitiya, W.D.D.P. and Nadeeka, P.M., 2013. Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate*. 5, 19-35.
- Seto, K.C., Sánchez-Rodríguez, R. and Fragkias, M., 2010. The new geography of contemporary urbanization and the environment. *Annual review of environment and resources*. 35, 167-194.
- Shakiba, A., Ziayan Firoozabadi, P., Ashoorloo, D. and Namdari, S., 2009. Analysis of the relationship between land use and land cover and urban heat islands in Tehran in Tehran, using ETM + data. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*. 1 (1), 56-39. (In Persian with English abstract).
- Simmons, A.J., Jones, P.D., da Costa Bechtold, V., Beljaars, A.C.M., Källberg, P.W., Saarinen, S., and

- Wedi, N., 2004. Comparison of trends and low-frequency variability in CRU, ERA-40, and NCEP/NCAR analyses of surface air temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 109(D24).
- Song, K., Wang, M., Du, J., Yuan, Y., Ma, J., Wang, M. and Mu, G., 2016. Spatiotemporal Variations of Lake Surface Temperature across the Tibetan Plateau Using MODIS LST Product. *Remote Sensing*. 8(10), 854.
- Stathopoulou, M. and Cartalis, C., 2009. Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island intensity estimation. *Remote Sensing of Environment*. 113(12), 2592-2605.
- Stathopoulou, M., Synnefa, A., Cartalis, C., Santamouris, M., Karlessi, T. and Akbari, H., 2009. A surface heat island study of Athens using high-resolution satellite imagery and measurements of the optical and thermal properties of commonly used building and paving materials. *International Journal of Sustainable Energy*. 28(1-3), 59-76.
- Stone, B., Vargo, J. and Habeeb, D., 2012. Managing climate change in cities: will climate action plans work? *Landscape and Urban Planning*. 107(3), 263-271.
- Thome, K.J., Czapla-Myers, J.S. and Biggar, S.F., 2003, November. Vicarious calibration of Aqua and Terra MODIS. In *Optical Science and Technology, SPIE's 48th Annual Meeting* (pp.395-405). International Society for Optics and Photonics.
- Wan, Z., 2007. Collection-5 MODIS land surface temperature products users' guide. ICES. University of California, Santa Barbara.
- Wan, Z., 2008. New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products. *Remote sensing of Environment*. 112(1), 59-74.
- Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q. and Li, Z.L., 2002. Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote sensing of Environment*. 83(1-2), 163-180.
- Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q. and Li, Z.L., 2004. Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *International journal of remote sensing*. 25(1), 261-274.
- Wang, S., Zhang, M., Sun, M., Wang, B., Huang, X., Wang, Q. and Feng, F., 2015. Comparison of surface air temperature derived from NCEP/DOE R2, ERA-Interim, and observations in the arid northwestern China: a consideration of altitude errors. *Theoretical and Applied Climatology*. 119(1-2), 99-111.
- Weng, Q., 2009. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 64(4), 335-344.
- Zhang, Y., Chen, W., Smith, S.L., Riseborough, D.W. and Cihlar, J., 2005. Soil temperature in Canada during the twentieth century: Complex responses to atmospheric climate change. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 110(D3).
- Zhao, T., Guo, W. and Fu, C., 2008. Calibrating and evaluating reanalysis surface temperature error by topographic correction. *Journal of Climate*. 21(6), 1440-1446.





Environmental Sciences Vol.16 / No.1 / Spring 2018

47-68

Analysis of daytime land surface temperatures in Iran based on MODIS sensor output

Mahmoud Ahmadi¹, Abbasali Dadashi Roudbari¹ and Hamzeh Ahmadi²

¹Department of Climatology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Department of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Received: 2017.10.07

Accepted: 2018.04.07

Ahmadi, M., Dadashi Roudbari, A. and Ahmadi, H., 2018. Analysis of daytime land surface temperatures in Iran based on MODIS sensor output. *Environmental Sciences*. 16 (1), 47-68.

Introduction: The air temperature parameter is one of the most important measures for identifying the climatic and environmental conditions of each region. Today, LST maps can be prepared without physical contact with objects or surfaces by using thermal infrared data. Awareness of the spatial and temporal distribution of LST is essential to determine the land energy balance, and evapotranspiration and meteorology studies are essential. LST is a function of pure energy on the land's surface which depends on the amount of energy reaching it, surface emissivity, humidity, and air flow. The present study intends to investigate the state of daytime LST in Iran in different months of the year based on the output of MODIS Terra images.

Materials and methods: In this study, the fifth MODIS Terra product called (Mod11C3 v005) was used with a spatial resolution of 5×5 kilometres and a daytime time period which became monthly data after the necessary processing. In this study, considering the significant precision of the day-night-based physics algorithm of Wan *et al.* (2002), this method was used to study Daytime LST in Iran. After the data were decoded, an array was obtained with the dimensions of 4855×62258. Land surface temperature zoning was conducted by using the kriging geo-statistical method with the lowest error rate and the highest precision in mountainous areas.

Results and discussion: The statistical characteristics of LST in Iran during different months showed that the highest average of LST in Iran with 46.1 °C was in July. In the warmest period of the year, and in particular in the hot zones of Iran (the southern coasts), there is less variation in the temperature which consequently leads to less variation in LST in the country. Hence, less spatial autocorrelation should be observed in the warm half of the year, which indicates a more stable temperature during the warm period. The study of LST during the 15-year period from 2001 to 2015 and based on the output of the MODIS sensor for different months of the

*Corresponding Author. *E-mail Address:* ma_ahmadi@sbu.ac.ir

year showed that the distribution of LST in Iran was severely affected by geographical conditions, especially its latitude and topographic condition.

Conclusion: From West to East and from North to South, there was an increase in LST in all months of the year. The Lut Desert is the warmest area in the country with temperatures rising to 59° C on hot days. The spatial processing of daytime LST in Iran showed that LST was strongly affected by latitude and altitude, and topographic conditions played an important role in the spatiotemporal distribution of LST, which is completely consistent with the studies conducted by those who asserted that each temperature range has a high degree of consistency with its environmental and geographical properties, in particular with its elevation, latitude and slope characteristics. Although the temperature zones provided for the various months of the year have the considerable spatial continuity, some parts of a temperature cluster have appeared in the form of islands in other zones, indicating the effect of complex topographic and local conditions on the occurrence of these temperature islands compared to its surroundings, which causes a spatial variation in temperature and an increase in the desire to LST clustering in Iran, or in other words, to climatic implantation.

Keywords: daytime land surface Temperature (LST), MODIS Terra, Day-Night Algorithm, Iran.

