



*مصطفی کریمی^۱
سوسن حیدری^۲
حدیث صادقی^۳

روند فضایی-زمانی تغییرات دمای سطح زمین (LST) شب و روز هنگام در ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸

چکیده

دمای سطح زمین (LST) یکی از مهم‌ترین فراسنج‌های شرایط محیطی و آب‌وهوایی است. به‌همین منظور هدف این پژوهش، بررسی روند تغییرات دمای سطح زمین روز و شب هنگام در گستره مکانی ایران در مقیاس ماهانه و سالانه است. برای نیل به این هدف، محصولات ماهانه سنجنده مادیس، ماهواره آکوا برای روز و شب با قدرت تفکیکی مکانی ۵ کیلومتر در دور آماری ۲۰۲۰-۲۰۰۳ از USGS اخذ گردید. سپس ماتریس سه‌بعدی به ابعاد $388 \times 297 \times 216$ که در آن 388×297 تعداد سلول‌ها و ۲۱۶ ماه می‌باشد، تشکیل شد. در نهایت روند تغییرات ماهانه و سالانه این دو فراسنج با استفاده از آزمون من-کندال انجام پذیرفت. اگرچه روند میانگین سالانه دمای سطح زمین روز و شب هنگام افزایشی است اما در مقیاس ماهانه، الگوهای متفاوتی مشاهده می‌شود. دمای شب هنگام سطح زمین در ماه‌های می و سپتامبر و روز هنگام در ماه دسامبر افزایش معنی‌دار داشته، ولی در ماه‌های ژوئن، جولای، ژانویه هر دو دمای روز و شب هنگام روند افزایشی داشته‌اند. در مقابل در ماه‌های مارس و اکتبر هر دو از روند کاهشی برخوردار بوده‌اند. همچنین روند کاهشی در دمای شب هنگام سطح زمین در ماه فوریه و نیز روز هنگام در ماه‌های آوریل و نوامبر مشاهده گردید. نتایج نشان داد که دمای سطح زمین شب هنگام نسبت به دمای روز هنگام افزایش بیشتری داشته، که این شرایط منجر به کاهش دامنه دمای شبانه‌روزی گردیده است. در بعد فضایی بیشترین روند افزایشی در مناطق غربی و جنوب غرب و بیشترین روند کاهشی در فلات مرکزی و جنوب شرق مشاهده گردید. نکته دیگر این که پهنه‌های آبی دست‌خوش تغییر، همانند دریاچه ارومیه و دریاچه‌های سه‌گانه استان فارس، در روز (شب) افزایش (کاهش) محسوس دمای سطح را تجربه کرده‌اند. علاوه بر کاهش دامنه دمای شبانه‌روز، باتوجه به این

* ۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول) Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران Heidari.s@ut.ac.ir

۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران Hadis.sadeghi@ut.ac.ir

که در نیمه شمالی و غربی کشور بیشتر روند افزایشی و در مرکز، شرق و جنوب شرق روند کاهشی دما غالب بوده است، دامنه اختلاف فضایی دمای سطح‌زمین نیز تغییرات کاهشی داشته است.

کلید واژه‌ها: دمای سطحی، تغییر اقلیم، روند تغییرات، من-کندال، مادیس

مقدمه

تغییرات آب‌وهوایی پیامدهای شدیدی بر فرآیندهای اکوسیستم و همچنین کیفیت زندگی مردم دارد. این تغییرات بسیار مهم بوده (Sofi and Alijani, 2012) و بیشتر به عنوان عامل اصلی در تغییرات اجتماعی و اقتصادی، مهاجرت و حتی فروپاشی جوامع قلمداد شده (DeMenocal, 2001) و گاهی باعث اختلاف و نزاع‌هایی بین کشورها بر سرمنابع آب گردیده است (Agrawala et al., 2001; Lautze et al., 2002). طیف گسترده‌ای از مطالعات، بر نقش فرآیندهای تغییرات جهانی اخیر بر محیط‌های انسانی و طبیعی تأکید کرده‌اند. ویژگی اصلی این تغییرات جهانی، افزایش دمای هوا در پنج دهه گذشته در مقایسه با ۵۰۰ سال گذشته بوده است. هر چند یکی از مهمترین معیارهای شناسایی وضعیت آب و هواشناسی و محیطی هر منطقه فراسنج دمای هوا می‌باشد (Khorchani et al., 2018). دمای سطح‌زمین (LST^4) یک عامل کلیدی در تحلیل فرآیندهای فیزیکی و اندرکنش‌های سطح‌زمین-جو از مقیاس کلان تا خرد بوده و فراسنجی مهم برای مطالعه بودجه تابش سطح‌زمین، آب‌وهوای محلی تا سیاره‌ای و تغییرات محیطی است (Wang and Liang, 2009; Zhang et al., 2009).

دمای سطح یک اصطلاح مبهم است و ممکن است به دمای پوست، دمای هوای سطح و دمای آیرودینامیکی اشاره داشته باشد (Jin and Dickinson, 2010)؛ اما اصطلاح دمای سطح‌زمین به عنوان درجه حرارت رویه سطح‌زمین تعریف می‌شود (Wang et al., 2021)؛ و می‌تواند به صورت گرما در یک موقعیت خاص سطح‌زمین احساس و سنجش شود (Mathew et al., 2018; Eleftheriou et al., 2018). این فراسنج از نظر فیزیکی و اندازه‌گیری با دمای هوا متفاوت است، اما با دمای هوا ارتباط زیادی دارد و براساس پوشش زمین یا شرایط جوی می‌تواند متفاوت باشد (Eleftheriou et al., 2018). در طول شب سطح‌زمین به شکل یک سطح هم‌دما و هم‌گن عمل می‌کند و در طول روز دمای سطح‌زمین تحت شرایط سایه و نور مستقیم خورشید می‌تواند منجر به ظهور یک اختلاف دما ۲۰ درجه‌ای شود (Wan, Dozier, 1996). این اختلاف در طول شب نمود چندانی نخواهد داشت (Ahmadi et al., 2018). همچنین دمای سطح‌زمین در اکثر مواقع ۲-۶ درجه بالاتر (پایین‌تر) از دمای بالای سطح‌زمین در روز (شب) است (Jin and Dickinson, 2010). نوسانات این فراسنج پاسخ به روابط متقابل سطح-جو است که شامل جریان انرژی بین جو و سطح‌زمین است (Wang et al., 2010). آگاهی از تغییرات فضایی-زمانی دمای سطح‌زمین، چگونگی

⁴ Land Surface Temperature

ترازمندی انرژی سطح زمین را آشکار می‌سازد (Moradi et al., 2016)، که در بسیاری از موضوعات از جمله، مطالعات محیطی و مدیریت منابع آب نقش اساسی دارد (Li et al., 2013; Aguilar-Lome et al., 2019). مطابق آخرین گزارش IPCC (۲۰۱۳)، سطح زمین از سال ۱۸۵۰ به بعد در هر سه دهه متوالی گرم‌تر از سه دهه متوالی قبلی خود بوده است و پیش‌بینی شده است که روند گرمایش در سراسر قرن بیست‌ویکم نیز ادامه یابد (Trenbeth et al., 2007). این افزایش برای دمای سطح زمین به یک نگرانی اساسی تبدیل شده است، زیرا نشان‌دهنده حساسیت سطح زمین به تابش خورشیدی است (Li et al., 2013).

این نکته را نیز باید مد نظر قرار داد که ایستگاه‌های هواشناسی که اندازه‌گیری دمای سطح زمین در آنها انجام می‌شود فقط قادر به اندازه‌گیری این فراسنج در یک نقطه که همان محل ایستگاه است، می‌باشند (Asghari Saraskanroud and Emami, 2019). همچنین اندازه‌گیری زمینی این فراسنج برای طیف وسیعی از مقیاس‌های فضایی و زمانی، به علت زمان‌بر و هزینه‌بر بودن آن، بسیار دشوار است (Hong et al., 2005; Lin et al., 2012). با توجه به محدودیت ایستگاه‌های زمینی جهت اندازه‌گیری این فراسنج در سطح وسیع، مطالعه آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (Jin and Dickinson, 2010) با افزایش قدرت تفکیک فضایی-زمانی گسترش یافته است (Zhao & Jin, 2020; Ke et al., 2015). یکی از فراورده‌های سنجنده مادیس داده‌هایی با کیفیت بالا از دمای سطح زمین است که از دو ماهواره تررا و آکوا تولید می‌شود (Wan et al., 2004; Duan et al., 2014). در این فراورده‌ها LST در هر سلول دما و توان تشعشی سطح زمین^۵ ارائه می‌دهد.

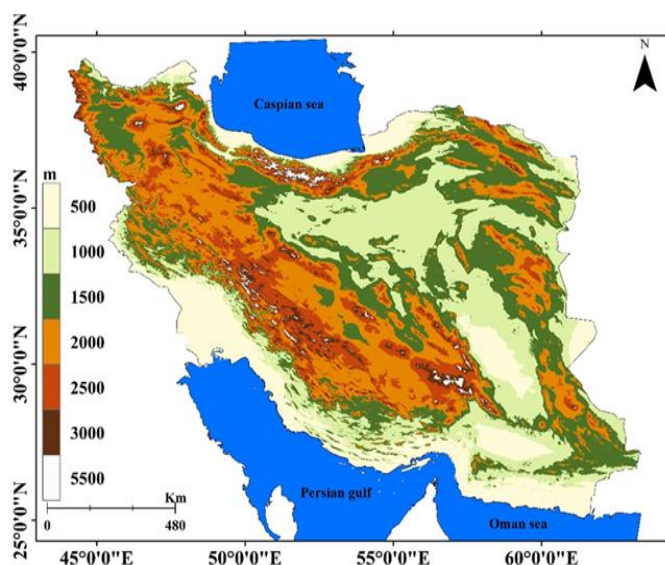
تاکنون مطالعات بسیاری در مقیاس جهانی و منطقه‌ای در مورد دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای انجام شده است. در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های انجام شده توسط Mao et al (2017) در یونان، Wei et al (2019) در منطقه مرکزی هیمالیا و Prakash & Norouzi (2020) در هند اشاره کرد. در ایران نیز در زمینه‌های مختلفی در مورد این فراسنج مطالعاتی انجام گردیده است. به عنوان مثال پژوهش‌های مختلفی در زمینه‌های پهنه‌بندی (Azimi, 2008; Moradi et al., 2016)؛ توزیع (Hashemi et al., 2013; Ahmadi et al., 2018; Masoodian, 2020)؛ روش‌های برآورد (Moghaddam et al., 2015; Feizizadeh et al., 2016; Ghorbannia et al., 2017; Akbari et al., 2017)؛ بررسی (Pahlevanzadeh et al., 2019; Arvin, 2019; Hossingholizade et al., 2021; Sadeghian et al., 2021) شیب و تغییرات فضایی-زمانی (Moradi et al., 2016; Khosravi et al., 2017) و ارتباط دمای سطح زمین با متغیرهای محیطی (Dashtakian and Dehghani, 2008; Babae Fini, 2015; Keikhosravi and Masoudian, 2017) انجام شده است. علاوه بر آن بخشی از مطالعات در مقیاس خرد (شهر) و استفاده از برآورد دمای سطح زمین برای مطالعه جزیره گرمایی سطحی شهری (Shabani et al., 2019; Ahmadi and Dadashi, 2017; Ahmadi et al., 2019)؛

⁵ - Emissivity

آشکارسازی تغییرات محیطی، توزیع و برآورد دمای سطح‌زمین بوده است. نظر به نتایج مطالعاتی که افزایش دمای هوا را در ایران نشان داده‌اند، در این پژوهش سعی شده است روند تغییرات دمای روز و شب‌هنگام سطح‌زمین و در ارتباط با یکدیگر در مقیاس‌های زمانی مختلف در گستره مکانی ایران با استفاده از محصولات ماهواره‌ای در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ بررسی شود.

مواد و روش‌ها

ایران به علت قرارگیری در منطقه جنب‌حاره و تنوع ارتفاعی، از شرایط آب و هوای متنوعی برخوردار است (شکل ۱). اما بیشتر مناطق کشور را آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک پوشش می‌دهد. علاوه بر این، رخداد بارش در این سرزمین دارای توزیع نامناسب فضایی-زمانی بوده و گاه نوسانات سالانه بالایی نیز دارد (Alijani, et al., 2019). همانند دمای هوا، دمای سطح‌زمین در ایران هماهنگی زیادی با ناهمواری‌ها و عرض جغرافیایی (Moradi et al., 2016) و پوشش سطح زمین به‌ویژه پوشش گیاهی دارد (Montazeri and Kefayat Motlagh, 2018).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Geographical location of the study area

سنجنده مادیس بر روی ماهواره‌های ترا و آکوا نصب شده است که پهنه یکسانی از سطح‌زمین را با اختلاف زمانی ۳ ساعت هر ۱ تا ۲ روز کل سطح‌زمین را تصویربرداری می‌نماید. با توجه به چرخش این دو ماهواره به دور زمین، محصولات ماهواره Terra در ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح و شب به وقت محلی و محصولات ماهواره Aqua در ساعت ۱ و ۳۰ دقیقه بامداد و بعدازظهر به وقت محلی ارائه می‌شود. محصولات ماهواره آکوا به دلیل آن که زمان سنجش به زمان‌های رخداد دمای حداقل و حداکثر سطح‌زمین نزدیکتر است، نتایج بهتری نسبت به ماهواره ترا برای

پایش دمای حداقل (شب هنگام) و حداکثر (روز هنگام) را نشان می‌دهد. بنابراین در این پژوهش به منظور بررسی روند روز و شب هنگام دمای سطح زمین ایران از محصولات MYD11C3 v006 ماهواره آکوا در قالب محصولات ماهانه از مقادیر روز و شب با تفکیک مکانی ۵×۵ KM استفاده شد. داده‌های مذکور از سایت^۶ USGS از ماه جولای سال ۲۰۰۲ در دسترس قرار دارد. به منظور تشکیل بازه زمانی مشترک برای داده‌ها، زمان شروع دوره مطالعاتی، ژانویه سال ۲۰۰۳ و انتهای بازه زمانی پایان سال ۲۰۲۰ در نظر گرفته شد. سپس داده‌های دمای سطح زمین با استفاده از نرم افزار MATLAB آرایه‌ای به ابعاد ۳۸۸×۲۹۷×۲۱۶ به دست آمد. در این آرایه ۳۸۸×۲۹۷ تعداد سلول‌ها با تفکیک مکانی ۵ کیلومتر و ۲۱۶ نماینده ماه است. همچنین به منظور تحلیل و نمایش تغییرات فضایی دمای روز و شب هنگام سطح زمین، داده‌های ماه به ماه مجموع دمای سطح زمین بلندمدت برای آرایه‌ای به ابعاد ۳۸۸×۲۹۷ که کل منطقه را شامل می‌شود، محاسبه شد. پس از آن جهت بررسی روند دمای سطح زمین روز و شب هنگام ایران در مقیاس سالانه و ماهانه از آزمون روند من-کندال (MK^v) توسط من^۷ (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال^۹ (۱۹۷۵) توسعه یافته است. هدف از آزمون این است که اگر روند یکنواخت بالا و یا پایین از فراسنج‌های مورد نظر در طول زمان وجود دارد را از نظر آماری ارزیابی کند. در آزمون من-کندال، فرض صفر H₀ مستقل بودن و یکنواختی توزیع داده‌های نمونه [X_i=i=1,2,...,n] و فرض مقابل H₁ وجود یک روند یک نواخت در داده‌ها است (Mann, 1945; Kendall, 1975).

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} (\text{sign}(x_i - x_j)) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$E(S) = 0 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که، x_i و x_j مشاهدات سری زمانی و n طول سری زمانی است (رابطه ۲). میانگین صفر $E(S)$ و واریانس Var آماره S در رابطه ۳ بدست می‌آید. مقادیر آلفا و Z معادل آن برای تعیین معنی‌داری شدت روند در جدول (۱) آمده است.

^۶ United States Geological Survey

^۷ - Mann-Kendall

^۸ - Mann

^۹ - Kendall

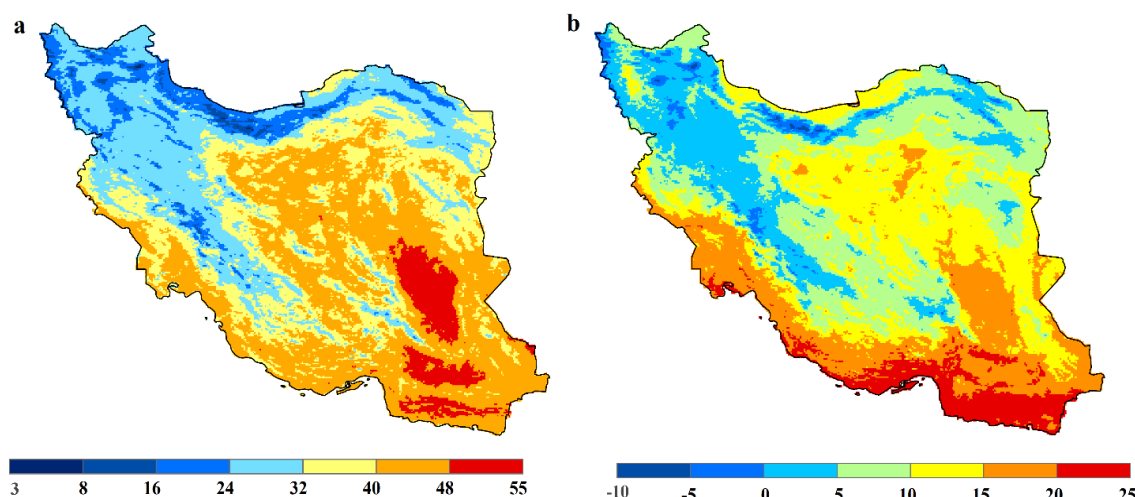
جدول ۱- طبقه‌بندی آزمون من-کندال

Table 1- Classification of Mann-Kendall test

Z- Value		Z- Value	
$\alpha=0/01$ & $Z \geq +2/58$	روندافزایشی (۰/۹۹)	$\alpha=0/01$ & $Z \leq -1/64$	روند کاهشی (۰/۹۰)
$\alpha=0/05$ & $Z \geq +1/96$	روندافزایشی (۰/۹۵)	$\alpha=0/05$ & $Z \leq -1/96$	روند کاهشی (۰/۹۵)
$\alpha=0/01$ & $Z \geq +1/64$	روندافزایشی (۰/۹۰)	$\alpha=0/01$ & $Z \leq -2/58$	روند کاهشی (۰/۹۹)
$+1/64 < Z < -1/64$	بدون روند		

نتایج

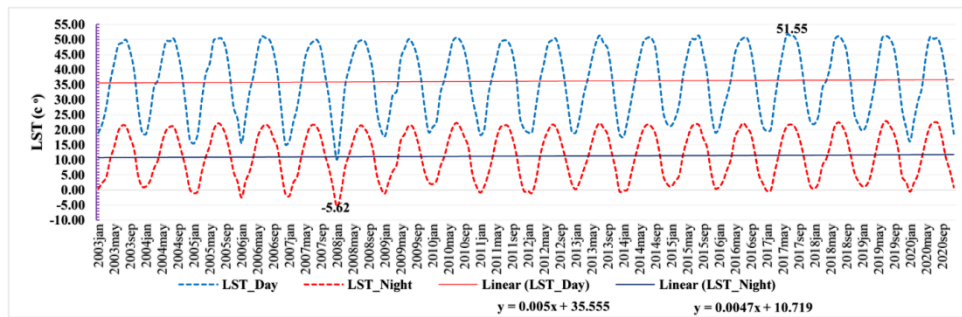
در شکل (۲) توزیع فضایی متوسط دمای سطح‌زمین ایران در روز و شب نشان داده شده است. دمای سطح‌زمین به تناسب موقعیت جغرافیایی و توزیع ناهمواری بسیار متغیر می‌باشد. پایین‌ترین دماهای روز و شب‌هنگام سطح‌زمین ایران منطبق بر ارتفاعات، کرانه‌های جنوبی دریای خزر و بخش‌های شمال غربی و شمال شرقی می‌باشد. سواحل جنوبی و بخش‌های فلات مرکزی بالاترین میزان دماهای روزه‌نگام (بیش از 40°C) و شب‌هنگام (بیش از 15°C) سطح‌زمین را دارا می‌باشند. به طور کلی، الگوی فضایی دمای سطح‌زمین روز و شب‌هنگام تطابق بالایی با الگوی ناهمواری‌ها (ارتفاعات و دشت‌ها) داشته که در بعضی از مناطق پوشش سطحی (سواحل خزری) آن را برهم زده است (شکل ۲).



شکل ۲: توزیع فضایی میانگین دمای سطح‌زمین (به سلسیوس) در روز (a) و شب (b) در دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۲۰

Figure 2: Spatial distribution of the average surface temperature (Celsius C°) at day (a) and night (b) and day in the statistical period 2003-2020

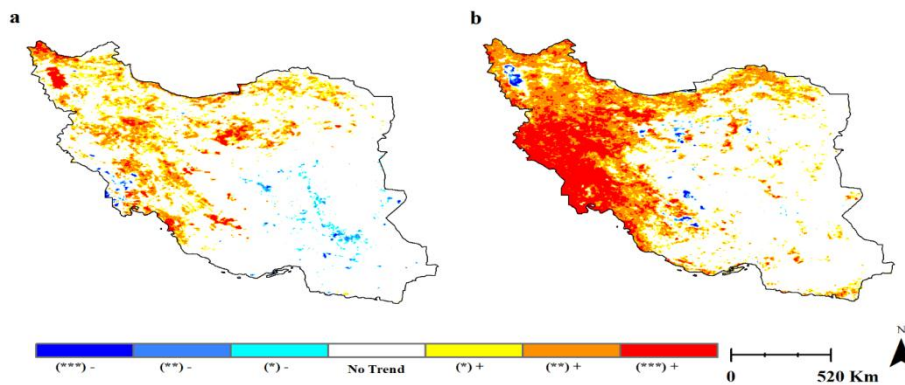
بالاترین دمای روز و شب هنگام سطح زمین به ترتیب با ۵۱/۵ و ۲۱ درجه سلسیوس در ماه جولای سال ۲۰۱۹ و پایین ترین دمای روز هنگام و شب هنگام سطح زمین به ترتیب با ۱۰ و -۵/۶ درجه سلسیوس در ماه ژانویه سال ۲۰۰۸ رخ داده است (شکل ۳). همچنین بررسی روند تغییرات نشان دهنده روند افزایشی اما اندک و غیر معنی دار هر دو دمای روز و شب هنگام سطح زمین می باشد.



شکل ۳: تغییرپذیری و روند تغییرات میانگین ماهانه دمای روز هنگام (قرمز) و شب هنگام (آبی) به سلسیوس سطح زمین بر روی ایران (۲۰۲۰-۲۰۰۳)

Figure 3: Variability and trend of changes in the monthly average of LST (Celsius C^0) daytime (red) and nighttime (blue) over Iran (2003-2020)

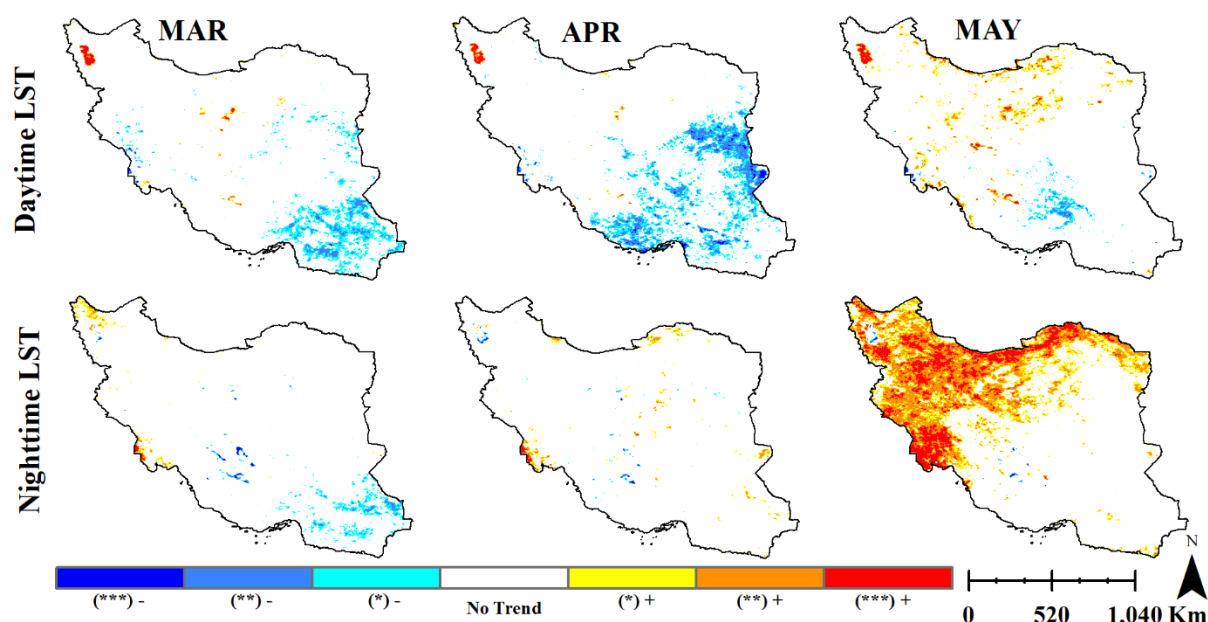
توزیع فضایی روند تغییرات میانگین سالانه دمای روز و شب هنگام سطح زمین ایران دارای الگوی تقریباً مشابهی اما با نرخ متفاوت می باشد (شکل ۴). بیشترین پهنه های روند افزایشی معنی دار دمای شب هنگام سطح زمین به صورت یکنواخت در مناطق غربی و جنوب غربی مشاهده می شود. همچنین در شمال غرب و نوار شمالی (ارتفاعات البرز) نیز روند افزایشی دیده می شود. نواحی کاهشی که به صورت پراکنده وجود دارند منطبق بر پهنه های آبی هستند که اکثراً در چند سال اخیر خشک یا دچار کاهش سطح شده اند. اما همین نواحی از روند افزایشی بالایی در روز هنگام برخوردار بوده اند. علاوه بر این نواحی، مناطقی به صورت پراکنده در غرب، جنوب غرب، شمال غرب و دامنه های ارتفاعات البرز نیز دارای روند افزایشی دمای سطح زمین روز هنگام بوده و فقط پهنه های پراکنده ای در جنوب شرق، مرکز و دشت خوزستان روند کاهشی داشته اند.



شکل ۴: روند تغییرات میانگین سالانه دمای سطح زمین روز (a) و شب هنگام (b) بر روی ایران (۲۰۲۰-۲۰۰۳)

Figure 4: The trend of day(a) and nighttime (b) annual average of LST changes over Iran (2003-2020)

روند تغییرات دمای روز و شب‌هنگام سطح‌زمین ایران در ماه‌های فصل بهار در شکل (۵) مشخص شده است. با توجه به این شکل، روند دمای سطح‌زمین روزهنگام در ماه مارس و به‌ویژه در ماه آوریل در بیشتر مناطق جنوب‌شرق، جنوب و شرق کاهشی و فقط پهنه‌های آبی تغییر یافته از روندی افزایشی برخوردار بوده‌اند. پهنه‌های کاهشی دمای شب‌هنگام سطح‌زمین تنها در ماه مارس مشاهده شد. برخلاف دو ماه مذکور، در ماه می، دمای شب‌هنگام افزایش مشخصی در نیمه غربی و شمالی داشته و در دمای روزهنگام نواحی افزایش و کاهش پراکنده، بخصوص در جنوب دیده می‌شود. به طور کلی الگوی تغییرات این فصل را می‌توان روند کاهشی دمای سطح‌زمین در جنوب‌شرق بیشتر در روزهنگام و افزایش آن به طور خاص در شب‌هنگام در انتهای فصل بیان کرد.

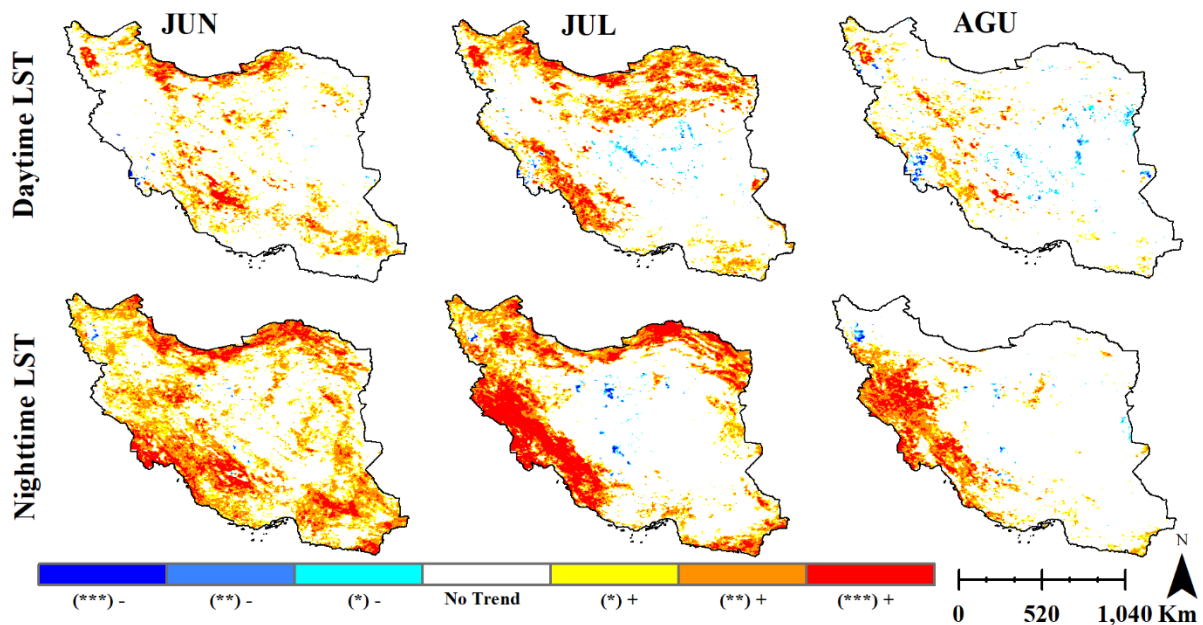


شکل ۵: توزیع فضایی روند تغییرات دمای سطح‌زمین روز و شب در ماه‌های (مارس، آوریل و می) بر روی ایران (۲۰۰۳-۲۰۲۰)

Figure 5: Trend changes of day and nighttime LST in (March, April and May) over Iran (2003-2020)

از آنجایی که ماه‌های فصل تابستان گرم‌ترین زمان سال است روند تغییرات دما از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشد. با توجه به شکل (۶)، در ماه ژوئن روند افزایشی معنی‌داری در دمای روزهنگام سطح‌زمین در بخش‌هایی از شمال‌غرب، نیمه شمالی، مرکز و جنوب‌شرق ایران حاکم بوده و همین‌الگو با گستره بیشتر در ماه جولای نیز مشاهده می‌شود. تفاوت بارز این دو ماه در مشاهده پهنه‌های کاهشی در نواحی مرکزی در ماه جولای می‌باشد. دمای شب‌هنگام سطح‌زمین در این دو ماه نیز اگرچه الگوی فضایی مشابهی با روز دارند، ولی شدت و گستره بیشتری بخصوص در ماه جولای در جنوب‌غرب، غرب و شمال‌شرق دارند. شرایط روند دمای سطح‌زمین در ماه آگوست هم در روز و هم در شب با دو ماه قبلی متفاوت بوده و شکل (۶) در روز پهنه‌های پراکنده و کوچک افزایشی به‌جز

مرکز را نشان می‌دهد. در شب دمای سطح زمین در غرب و جنوب غرب همانند دو ماه دیگر افزایش بارزی داشته است. در مجموع می‌توان گفت که در این فصل، گرمایش سطحی در اکثر مناطق کشور به ویژه در غرب و جنوب غرب غلبه داشته و با توجه به این که این شرایط در روز و شب مشاهده گردیده، می‌توان نتیجه گرفت در این فصل اختلاف دمای سطحی شبانه‌روزی در پهنه‌های وسیعی از کشور در حال کاهش است.



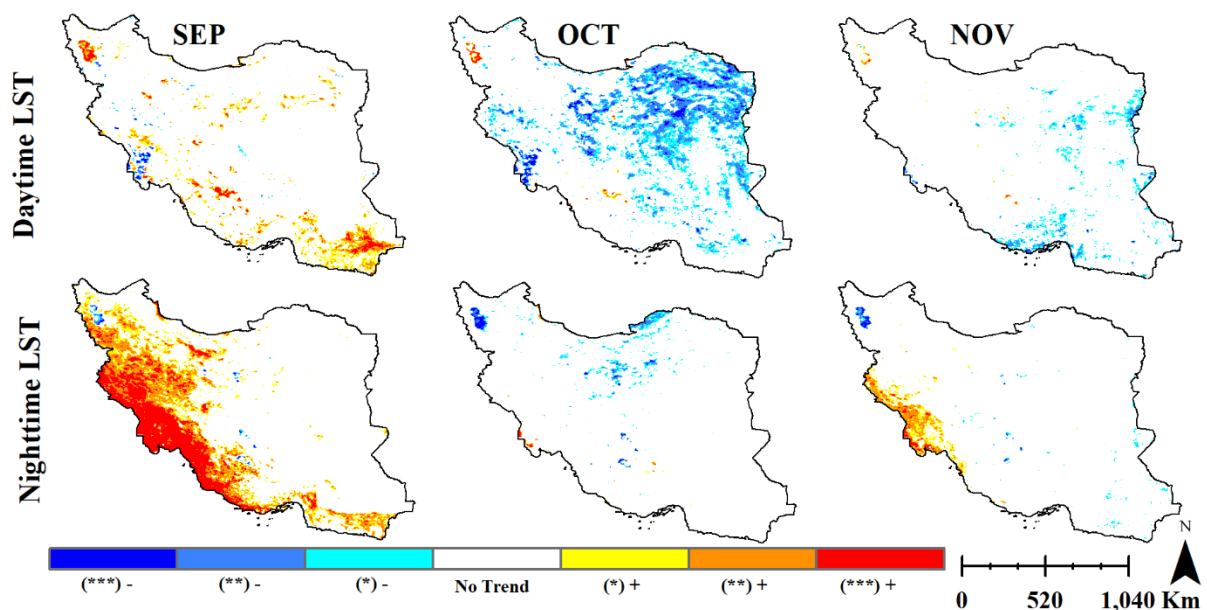
شکل ۶: توزیع فضایی روند تغییرات دمای سطح زمین در روز و شب در ماه‌های (ژوئن، ژوئیه و آگوست) بر روی ایران (۲۰۰۳-۲۰۲۰)

Figure 6: Spatial distribution of trend changes of day and nighttime LST in (June, July and August) over Iran (2003-2020)

در شکل (۷) توزیع فضایی روند دمای روز و شب هنگام سطح زمین ایران در طول ماه‌های فصل پاییز نشان داده شده است. روند تغییرات روز هنگام دمای سطح زمین ایران نشان داد که با توجه به جابه‌جایی فصول، دما روند کاهشی پیدا کرده است و بر محدوده مناطق با روند کاهشی به ویژه در ماه اکتبر افزوده شده است. روند دمای روز هنگام سطح زمین در ماه سپتامبر حاکی از روند افزایشی در بخش‌هایی از نواحی شمال غرب، نواحی مرکزی، جنوب غربی، جنوب شرق، سواحل دریاچه ارومیه و دیگر نواحی به صورت پراکنده و روند کاهشی در جنوب غرب ایران و دیگر نواحی به صورت پراکنده بود. در دیگر نواحی روند معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد. نتایج نشان داد که در ماه اکتبر به استثنای مناطق بسیار پراکنده‌ای از سواحل دریاچه ارومیه و نواحی جنوبی که روند افزایشی معنی‌داری را داشتند؛ روند کاهشی کلی برای اکثر مناطق کشور، الگوی اصلی مشاهده شده برای دمای روز هنگام سطح زمین ایران در ماه اکتبر بود. در ماه نوامبر، الگوی اصلی مشاهده شده برای دمای روز هنگام سطح زمین کاهشی بود. در این ماه روند دمای روز هنگام

سطح‌زمین در بخش‌های بسیار پراکنده‌ای از نواحی مرکزی و شمال غربی افزایشی بود. در دیگر مناطق روند معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد.

همچنین در شکل (۷) روند تغییرات دمای شب‌هنگام سطح‌زمین در طول ماه‌های فصل پاییز نشان داده شده است. برخلاف فصل‌های بهار و تابستان در ماه‌های فصل پاییز دمای سطح‌زمین روزهنگام بیشتر روند کاهشی داشته است. اگرچه دمای سطحی روز در ماه سپتامبر پهنه‌های پراکنده با برتری محسوس روند افزایشی را نشان می‌دهد، اما در ماه اکتبر به‌وضوح روند کاهشی دمای سطحی در اکثر مناطق کشور به‌جز بخش‌هایی از شمال‌غرب و جنوب‌غرب دیده می‌شود. نواحی افزایشی در این ماه و نوامبر محدود به همان پهنه‌های آبی خشک یا کاهش یافته گردیده است. در ماه نوامبر نواحی مرکز، جنوب‌شرق و جنوب نیز کاهش دمای سطحی اما نه به شدت ماه اکتبر را تجربه کرده‌اند. گرچه کاهش دمای سطحی شب‌هنگام در ماه نوامبر دیده می‌شود، اما وسعت و شدت آن به طرز چشمگیری کاهش یافته و به دشت کویر، سواحل شرقی خزر و محدوده دریاچه ارومیه محدود شده است. در ماه‌های سپتامبر و نوامبر برخلاف روز، روند افزایشی دمای سطحی در جنوب‌غرب، غرب و جنوب در ماه سپتامبر و نواحی مرکزی البته با شدت کمتر مشاهده می‌شود.

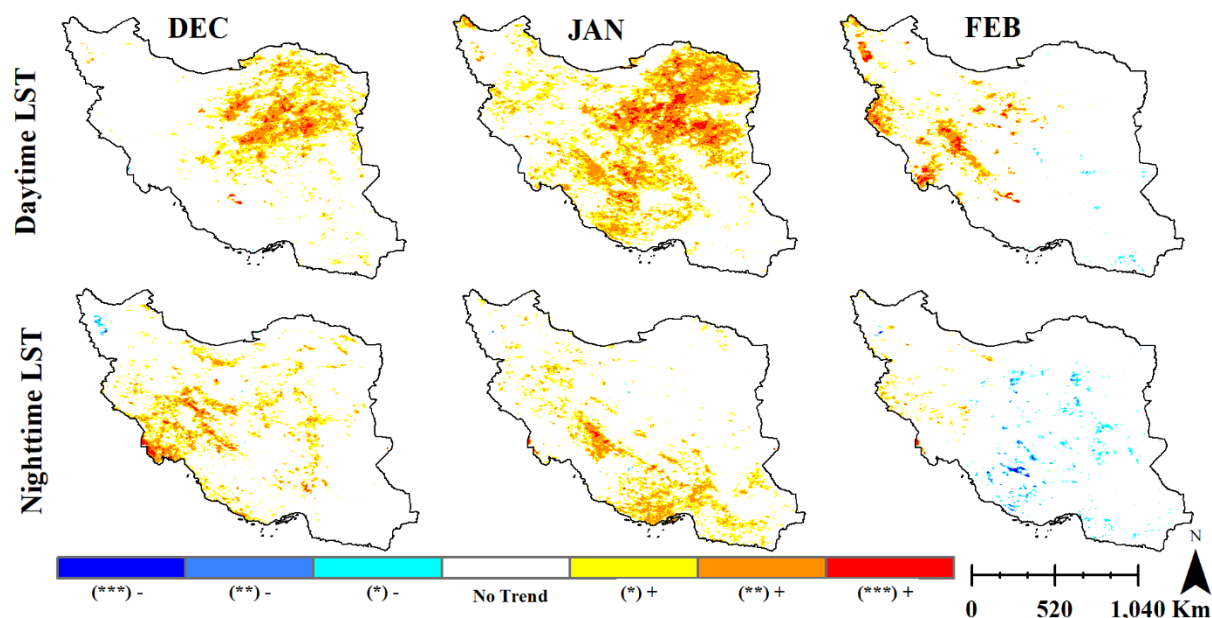


شکل ۷: توزیع فضایی روند تغییرات دمای سطح‌زمین روز و شب در ماه‌های (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) بر روی ایران (۲۰۲۰-۲۰۰۳)

Figure 7: Trend changes of day and nighttime LST in (September, October and November over Iran (2003-2020)

روند تغییرات روز و شب‌هنگام سطح‌زمین ایران در طول ماه‌های فصل زمستان برخلاف فصل پاییز افزایشی است، اما توزیع فضایی و شدت آن در ماه‌های این فصل متفاوت بوده است (شکل ۸). در ماه دسامبر، روند دمای

روز هنگام سطح زمین در اکثر مناطق ایران مرکزی و شمال شرق افزایشی بود. پهنه‌های افزایش دمای سطحی در ماه ژانویه گسترده‌تر و شدیدتر شده و بخش‌هایی از شمال غرب و جنوب غرب را نیز دربر گرفته است. اما در ماه فوریه نواحی دارای روند افزایش دمای سطحی به غرب و جنوب غرب و به‌ویژه زاگرس میانی محدود شده و پهنه‌هایی در جنوب شرق از روند کاهشی نیز برخوردار بوده‌اند. در شب هنگام از وسعت و شدت روند افزایش دمای سطحی کاسته شده و بیشتر بر زاگرس میانی، جنوب و جنوب غرب متمرکز شده‌اند. برخلاف ماه‌های دسامبر و ژانویه، دمای سطحی شب در ماه فوریه به‌ویژه در نواحی جنوب، جنوب شرق و مرکز به صورت پراکنده، بیشتر روند کاهشی داشته است. به طور کلی دمای سطح زمین در این فصل در روز افزایش محسوس داشته ولی در شب در انتهای فصل روند کاهشی محسوس تر بوده است.



شکل ۸: روند تغییرات دمای سطح زمین در روز و شب در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه در دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۲۰

Figure 8: Trends of day and night surface temperature changes in December, January and February in the statistical period 2003-2020

بحث

در مقیاس سالانه، هم در روز و هم در شب بیشتر پهنه‌های افزایشی دمای سطح زمین در نیمه غربی و شمالی دیده می‌شود که در شب از شدت بیشتری برخوردار است، اما این روند در نیمه شرقی به‌ویژه منطقه جنوب شرق در روز هنگام کاهشی بوده است. دو الگوی مکانی و زمانی در فصل بهار (۱) روند کاهشی در جنوب شرق و محسوس‌تر در روز هنگام ماه آوریل، و (۲) روند افزایشی در ماه می در نیمه شمالی و غربی (خط فرضی از سرخس در شمال شرق تا شمال خلیج فارس) به‌طور واضح در دمای شب هنگام قابل مشاهده است. زاویه بالای تابش خورشید و پایداری هوا به همراه ابرناکی اندک و همچنین تغییر پوشش سطح زمین به علت خشک شدن اکثر گیاهان مرتعی و

برداشت محصول در فصل تابستان موجب شده است تا شاهد الگوی همگن‌تر در توزیع دمای سطح‌زمین و همچنین در روند آن نسبت به دیگر فصل‌ها باشیم. نتایج حاکی از روند افزایشی دمای روز و شب‌هنگام سطح‌زمین در این فصل و غلبه گرمایش سطحی در اکثر مناطق کشور به‌ویژه در بخش‌های غربی، جنوب‌غربی و حتی شمال‌شرق است. در همین زمینه Akinyemi et al (2019) نیز به روند افزایشی بیشتر دمای سطح زمین در دوره گرم سال تأکید داشتند. توزیع فضایی روند دمای روز و شب‌هنگام سطح‌زمین در طول ماه‌های فصل پاییز برخلاف فصل تابستان، ناهمگن و بیشتر کاهش‌ی بود. این کاهش در دماهای روزهنگام ماه‌های اکتبر و نوامبر بسیار مشهودتر بوده و شاید دلیل آن روند افزایشی بارش در این زمان از سال در کشور باشد که (Halabian (2017) نیز به آن اشاره نموده‌اند. روند افزایشی دمای شب‌هنگام مشاهده شده در جنوب‌غرب در ماه نوامبر و به‌خصوص سپتامبر نیز قابل ذکر است. روند تغییرات روز و شب‌هنگام دمای سطح‌زمین در طول ماه‌های فصل زمستان برخلاف فصل پاییز افزایشی است، اما توزیع فضایی و شدت آن در ماه‌های این فصل متفاوت بوده است. در این فصل پهنه‌های افزایش در مناطق مرکزی و به‌ویژه در حاشیه شمال‌شرق فلات مرکزی بیشتر خودنمایی می‌کند. اثر تغییر اقلیم به صورت تغییر الگوی بارش از برف به باران و همچنین جابه‌جایی بارش‌ها به سمت پاییز و اوایل فصل بهار می‌تواند نقش قابل توجهی در افزایش دمای سطح‌زمین در طول ماه‌های ژانویه و دسامبر داشته است. در همین زمینه براساس یافته‌های (Fattahi (2019) در نتیجه افزایش دما در سطح مناطق شمال‌غربی ایران، کاهش تغییرات سطح پوشش برف در ماه ژانویه و عدم تغییرات معنی‌دار برای پوشش برفی ماه فوریه رخ داده است. در پژوهش‌هایی که در دیگر مناطق انجام پذیرفته نیز به روند افزایشی دمای سطح‌زمین در زمستان تأکید داشته‌اند (Vicente-Serrano 2018؛ Aguilar-Lome et al., 2019). واکاوی روند تغییرات دمای روزهنگام و شب‌هنگام سطح‌زمین ایران حاکی از این بود که در اکثر مناطق، روند افزایشی دماهای شب‌هنگام به‌مراتب بیشتر از دماهای روزهنگام است که این می‌تواند نمایان‌گر کاهش دامنه دمای شبانه‌روزی سطح‌زمین در ایران باشد. این شرایط در یافته‌های (Eleftheriou et al (2018) در یونان نیز در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۷ دیده شده است. علاوه‌برآن، تغییرات مشابهی در دمای هوای بیشینه (روز) و کمینه (شب) و تغییرات بیشتر دمای کمینه نسبت به بیشینه بر روی ایران به دست آمده است (Darand, 2015). بیشترین روند افزایشی دمای شب‌هنگام سطح‌زمین به‌طور مکرر در مناطق غربی و جنوب‌غربی و همچنین در شمال‌غرب و نوار شمالی (ارتفاعات البرز) مشاهده گردید. یافته‌های پژوهش‌های (Salajegheh et al (2011)، Dehdari et al (2018)، (Darvishi et al (2019)، (Rajabzadeh (2017)، (Shanani and Zarei(2016)، (Sabzghabaei et al (2018)، (Rezaee et al(2021)، (Hashmnia et al (2019)، (Abdollahi et al (2020)، (Shabani et al (2019)، (Heidari et al (2023)، (Alimohammadi et al (2018)، (Karimi Firozjaei et al (2017)، (Amanpour et al (2017)، (Moradi et (2008)، (Pajoohesh et and Reyahi and Bakhtiyari(2020)، (Mohammadyari et al (2019) های

al, (2018), Hasheminasab and Jafari (2018), Abadi et al (2020), Ebrahimi and Kamali (2017) مساحت زمین‌های کشاورزی در بخش‌های مرکزی و شرقی روند افزایشی داشته است. این تغییرات سطح پوشش زمین به همراه تغییر در زمان رخداد و نوع بارش، می‌تواند بخشی از تغییرات دمای سطح زمین و الگوهای متفاوت زمانی-مکانی آن را در ایران توجیه نماید.

نتیجه گیری

تغییرپذیری عناصر اقلیمی از مباحث تحقیقاتی چالش برانگیز در چند دهه گذشته بوده است، چرا که عناصر اقلیمی در مقیاس فضایی-زمانی در حال تغییر می‌باشند. گرچه تغییرپذیری عناصر اقلیمی یکی از ویژگی‌های طبیعی سامانه اقلیم می‌باشد، ولی در صورت وجود روندی خاص (کاهش یا افزایش) در این تغییرپذیری‌ها، می‌تواند منجر به ایجاد شرایط اقلیمی جدیدی شود. از آنجا که دما از عناصر اساسی شکل‌دهی اقلیم است و تغییرات آن می‌تواند ساختار آب‌وهوایی هر منطقه‌ای را دگرگونی سازد، لذا بررسی روند دما در مقیاس‌های مختلف فضایی-زمانی بخش بزرگی از تحقیقات اقلیم‌شناسی را به خود اختصاص داده است.

نظر به گرمایش جهانی و تأثیر قابل توجه آن بر بخش‌های مختلف جامعه، تاکنون مطالعات متعددی به بررسی توزیع فراوانی و روند دمای سطح زمین به عنوان یک متغیر اصلی در مطالعات محیطی و اقلیمی پرداخته شده است. از این رو در این پژوهش روند تغییرات دمای روز هنگام و شب هنگام سطح زمین ایران براساس داده‌های سنجنده مادیس ماهواره آکوا در مقیاس‌های زمانی سالانه و ماهانه در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ بررسی شد. نتایج حاکی از آن بود که پایین‌ترین دماهای روز و شب هنگام سطح زمین ایران منطبق بر الگوی ارتفاعی (غرب، شمال غرب و شمال شرق) به علت ارتفاع از سطح دریا و کرانه‌های جنوبی دریای خزر با توجه به پوشش گیاهی و رطوبت بالا و بالاترین میزان آن منطبق بر نواحی پست دشت‌ها و بیابان‌ها و همچنین سواحل جنوبی می‌باشد. اما بررسی روند تغییرات دمای روز هنگام و شب هنگام سطح زمین در مقیاس پهنه کشور نشان داد که در فصل بهار روند دمای شب هنگام سطح زمین ایران به ویژه در ماه می افزایشی می‌باشد. در این فصل، روند دمای روز هنگام سطح زمین در ماه‌های مارس و آوریل کاهشی و در ماه می افزایشی است. برای فصل تابستان، نتایج حاکی از روند افزایشی روز هنگام و شب هنگام دمای سطح زمین به ویژه در بخش‌های غربی و جنوب غربی کشور بود. بررسی روند روز و شب هنگام دمای سطح زمین در فصل زمستان نشان داد که به جز ماه فوریه، در دیگر ماه‌های سال روند غالب در گستره ایران افزایشی می‌باشد. توزیع فضایی دمای شب هنگام سطح زمین ایران در ماه فوریه یک روند کاهشی معنی‌دار را برای اکثر مناطق مرکزی و جنوب شرق کشور نشان داد. توزیع فضایی روند دمای روز و شب سطح زمین در طول ماه‌های فصل پاییز برخلاف دیگر زمان‌های سال ناهمگنتر بوده و بخصوص در روز هنگام کاهشی بوده است. به طور کلی نتایج نشان داد که در اکثر مناطق و در بیشتر فصول، روند افزایشی دماهای شب هنگام به مراتب بیشتر از دماهای

روزهنگام سطح‌زمین بوده که این شرایط موجب کاهش دامنه دمای شبانه‌روزی سطح‌زمین به‌ویژه در بخش‌های مرکزی و جنوب‌غربی می‌شود. همچنین نواحی جنوب‌غرب، غرب و در درجه بعد ارتفاعات البرز بیشترین روند افزایشی را در اکثر ماه به‌خود دیده‌اند و در مقابل جنوب‌شرق و مرکز بیشترین سهم را در رخداد پهنه‌های کاهشی به‌خود اختصاص داده‌اند. همچنین پهنه‌های آبی همانند دریاچه‌ها و تالاب‌هایی که در این چند سال دچار تغییراتی منفی تراز و سطح آب شده یا خشک گردیده‌اند، همانند دریاچه ارومیه و دریاچه‌های سه‌گانه استان فارس، افزایش دمای روز و کاهش دمای شب را تجربه کرده‌اند. در مجموع نتایج به دست آمده در این پژوهش، نتیجه منطقی از اثرات وقوع گرمایش جهانی به علت افزایش فعالیت‌هایی مانند تغییر کاربری و پوشش زمین، گسترش شهرنشینی برای توجیه وجود روند در پهنه‌های پراکنده و تغییرات شرایط جوی همانند روند افزایش بارش به طورمثال در فصل پاییز که اکثر تحقیقات تغییراقلیم به آن اشاره داشته‌اند، در نواحی گسترده‌تر باشد.

References

- Abdollahi, A. A., Khabazi, M., & Dorani, Z. (2020), "Modeling and predicting land use changes in Lahijan city with a sustainable development approach". *Sustainable city*. 4, 17-30. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/JSC.2020.205453.1148>
- Agrawala, S., Barlow, M., Cullen, H., & Lyon, B. (2001), "The drought and humanitarian crisis in central and southwest Asia: A climate perspective". *IRI Rep.* 24, 1-11. <https://doi.org/10.7916/D8NZ8FHQ>
- Aguilar-Lome, J., Espinoza-Villar, R., Espinoza, J.C., Rojas-Acuña, J., Willems, B.L., & Leyva-Molina, W.M. (2019), "Elevation-dependent warming of land surface temperatures in the Andes assessed using MODIS LST time series (2000-2017)". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 77, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.12.013>
- Ahmadi, M., & Ahmadi, H. (2018), "Monitoring of the night time land surface temperature in Iran based on output of the MODIS". *Geographical Researches Quarterly Journal*, 33(1), 174-190. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/geores.33.1.174>
- Ahmadi, M., & Dadashiroudbari, A.S. (2017), "The identification of urban thermal islands based on an environmental approach, case study: Isfahan province". *Geography and Environmental Planning*, 28. (3), 1-20. [In Persian]. <https://doi.org/10.22108/gep.2017.98318.0>
- Ahmadi, M., Dadashiroudbari, A.S., & Esfandiari, N. (2019), "Monitoring the urban heat islands with a fractal net evolution (FNEA) approach (Case Study: Tehran metropolis)". *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 11(1), 93-112. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/gisj.11.1.93>
- Ahmadi, M., Dadashiroudbari, A.S., & Ahmadi, H. (2018), "Analysis of daytime land surface temperature in Iran based on MODIS sensor output". *Environment Sciences*, 47-67. [In Persian].
- Akbari, E., Bahrami, S., Doran, A., & Ebrahimi, M. (2017), "The Effect of some Geographical Parameters on the land surface temperature by using SEBAL and decision tree methods in Taftan volcanic cone". *Geographic Space*, 17(57), 105-126. [In Persian]. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1821-fa.html>
- Akinyemi, F.O., Ikanyeng, M., & Muro, J. (2019), "Land cover change effects on land surface temperature trends in an African urbanizing dryland region". *City and Environment Interactions*, 4, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2020.100029>
- Alijani, B., O'Brien, J., & Yarnal, B. (2008), "Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran". *Theoretical and Applied Climatology*, 94(1), 107-124. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0344-y>
- Alimohammadi, A., Mousivand, A., & Shayan, S. (2010), "Prediction of land use and land cover changes by using multi-temporal satellite imagery and Markov chain model.". *Spatial Planning (Modares Human Sciences)*, 67(3), 117-130. [In Persian]. <http://hsmmsp.modares.ac.ir/article-۴۹۸۹-۲۱-fa.html>
- Amanpour, S., Kamelifar, M.J., & Bahmani, H. (2017), "An analysis of land use changes in metropolises using satellite imagery analysis in the ENVI environment, Case study: Ahvaz metropolis.". *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (Sepehr)*, 26(102), 139-150. [In Persian]. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.27463>
- Arvin, A.A. (2019), "Land surface temperature detection using of satellite images". *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(19), 91-102. [In Persian]. <https://doi.org/10.22111/jneh.2017.20855.1284>
- Asghari, S.S., & Emami, H. (2019), "Monitoring the earth surface temperature and relationship land use with surface temperature using of OLI and TIRS Image". *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 19(53) 195-215. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jgs.19.53.195>
- Azimi, F. (2008), "Thermal classification of Ahvaz city using ETM thermal images". *Territory*, 5(17), 97-110. [In Persian].
- Babaei Fini., S, O. (2015), "A study of the relationship between the land surface temperature and normalized indicator of vegetation in urban environment (case study: Esfahan mega city)". *Physical Geography Quarterly*, 8 (29), 75-90. [In Persian].
- Babaei, O., & Alijani, B. (2013), "Spatial analysis of long duration droughts in Iran". *Physical Geography Research Quarterly*, 45(3), 1-12. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2013.35831>
- Dashtakian, K., & Dehghani M. (2008), "Land surface temperature analysis of desert area in relation with vegetation and urban development using RS and GIS, case study: Yazd-Ashkezar area". *Pajouhesh-va-Sazandegi*, 20(4), 169-179. [In Persian].
- Darand, M. (2015), "Assessment and detection of climate change in Iran during recent decades.". *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 9(30), 1-14. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.20089554.1394.9.30.1.7>

- Darvishi, S., Rashidpour, M. & Soleimani, K. (2019), "Analysis of land use role in the formation of thermal islets of Marivan county using landsat satellite images". *Geography and Development Iranian Journal*, 17(54), 143-162. [In Persian].
- Dehdari, S., Armand, N., Faraji, M., Arman, N., & Hadian, F. (2018), "Land use change detection of 3 and 4 Karun dams using satellite images". *Journal of Range and Watershed Management*, 71(1), 85-96. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.240266.1161>
- DeMenocal, P.B. (2001), "Cultural responses to climate change during the late Holocene". *Science*, 292(5517), 667-673. <https://doi.org/10.1126/science.1059287>
- Duan, S.B., Li, Z.L., Tang, B.H., Wu, H., & Tang, R. (2014), "Generation of a time-consistent land surface temperature product from MODIS data". *Remote sensing of environment*, 140, 339-349. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.003>
- Ebrahimi, F.S. & Kamali, A. (2017), "Predict possible change in land use by using satellite imagery and CA-Markov model". *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4), 259-271. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/JWSC.2017.11927.2643>
- Eleftheriou, D., Kiachidis, K., Kalmintzis, G., Kalea, A., Bantasis, C., Koumadoraki, P., Spathara, M.E., Tsolaki, A., Tzampazidou, M.I. & Gemitzi, A. (2018), "Determination of annual and seasonal daytime and nighttime trends of MODIS LST over Greece-climate change implications". *Science of the Total Environment*, 616, 937-947. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.226>
- Fattahi, E. (2019), "Investigation of snow cover changes affected by climate change in north west of Iran", *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 19(54), 47-63. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jgs.19.54.47>
- Feizizadeh, B., Didehban, K., & Gholamnia, K. (2016), "Extraction of land surface temperature (LST) based on landsat satellite images and split window algorithm study area: Mahabad catchment". *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(98), 171-181. [In Persian]. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2016.22145>
- Firoozi, F., Mahmoudi, P., Jahanshahi, S.M.A., Tavousi, T., Liu, Y., & Liang, Z. (2020), "Modeling changes trend of time series of land surface temperature (LST) using satellite remote sensing productions (case study: Sistan plain in east of Iran)". *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-14. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2016.22145>
- Ghorbannia, V., Mirsanjari, M., Liaghathi, H., & Armin, M. (2017), "Estimating land surface temperature of land use and land cover in Dena county using single window algorithm and landsat 8 satellite data". *Environmental Sciences*, 15(2), 55-74. [In Persian].
- Hadipour, M., Darabi, H.a., & Davudirad, A. (2020), "Investigating urban heat islands (UHI) and the irritation with air pollution, NDVI and NDBI in Arak using RS techniques". *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (Sepehr)*, 28(112), 249-264. [In Persian]. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.38619>
- Halabian, A. H. (2017), "Assessment of Spatial- Temporal Changes of Precipitation in Iran". *DEEJ*, 5(13), 101-116. [In Persian].
- Halabian, A., & Soltani, Z. (2020), "Analysis of spatial-temporal variation of urban thermal islands and landuse based on an environmental approach in Shiraz". *Urban Structure and Function Studies*, 7(24), 73-97. [In Persian]. <https://doi.org/10.22080/USFS.2020.15874.1736>
- Hashemi Darebadami, S., Darvishi Bolorani, A., AlaviPanah, S.K., & Bayat, R. (2019), "Investigation of changes in surface urban heat-island (SUHI) in day and night using multi-temporal MODIS sensor data products (Case Study: Tehran metropolitan)". *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 19(52), 113-128. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jgs.19.52.113>
- Hashemi, S.M., Alavipanah, S.K., & Dinarvandi, M. (2013), "LST assessment using thermal remote sensing in urban environment", *Journal of Environmental Studies*, 39, 81-92. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/JES.2013.30392>
- Hasheminasab, S., & Jafari, R. (2018), "Evaluation of land use changes order to desertification monitoring using remote sensing techniques", *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5(3): 67-82. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jsaeh.5.3.67>
- Hashmnia, G., Amar, T., Molaie, N., & Gharashi, M.B. (2019), "Explaining the physical consequences of agricultural land use changes in villages in Khammam district in the last two decades". *Geography (Regional Planning)*, 9(1), 333-346. [In Persian]. <https://doi.org/10.22286462.1397.9.1.20.0>

- Heidari, S., Shamsipour, A., Kakroodi, A.A. & Bazgeer, S. (2023), "Monitoring land cover changes and droughts using statistical analysis and multi-sensor remote sensing data". *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(5), 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11195-9>
- Hong, S.H., Hendrickx, J.M., & Borchers, B. (2005), "Effect of scaling transfer between evapotranspiration maps derived from Landsat 7 and MODIS images". *In Targets and Backgrounds XI: Characterization and Representation*, 5811, 147-158. <https://doi.org/10.1117/12.603385>
- Hossein Abadi, S., Akbari, E., & Naghdishi, A. (2020), "Evaluation and simulation of land use change using object-oriented classification and Markov chain model, case study: Birjand city". *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(1), 188-169. [In Persian]. <https://doi.org/0.22067/GEO.V0I0.81819>
- Hossingholizade, A., Zeaiean, P., & Beyranvand, P. (2021), "Comparison of different retrieval temperature algorithms with different emissivity by using remote sensing images". *Geographic Space*, 20(72), 39-56. [In Persian]. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3433-fa.html>
- Jia, W. & Zhao, S. (2020), "Trends and drivers of land surface temperature along the urban-rural gradients in the largest urban agglomeration of China", *Science of the Total Environment*, 711, 134579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134579>
- Jin, M., & Dickinson, R.E. (2010), "Land surface skin temperature climatology: Benefiting from the strengths of satellite observations". *Environmental Research Letters* 5(4), 1-13. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/4/044004>
- Karimi Firozjaei, M., Kiavarz, M., & Kalantari, M. (2018), "Monitoring and prediction of land use changes and physical expansion of Babol city during 1985-2040 using multi-temporal Landsat imagery", *Physical Social Planning*, 5(3), 32-52. [In Persian]. <https://doi.org/10.30473/psp.2018.5257>
- Ke, Y., Im, J., Lee, J., Gong, H., & Ryu, Y. (2015), "Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations". *Remote Sensing of Environment*, 164, 298-313. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.004>
- Keikhosravi Kinay, M. S., & Masoudian, S. A. (2017), "Exploring the Role of land surface temperature on distribution of snow coverage in Iran by remote sensing data", *Geography and Development Iranian Journal*, 15(49), 189-204. [In Persian]. <https://doi.org/10.22111/GDIJ.2017.3459>
- Kendall, M.G. (1975), "Rank correlation methods (4th edn.)". **Charles Griffin**. San Francisco, 202.
- Khorchani, M., Vicente-Serrano, S.M., Azorin-Molina, C., Garcia, M., Martin-Hernandez, N., Peña-Gallardo, M., El Kenawy, A., & Domínguez-Castro, F. (2018), "Trends in LST over the peninsular Spain as derived from the AVHRR imagery data". *Global and Planetary Change*, 166, 75-93. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.04.006>
- Khosravi, Y., Heidari, M. A., Tavakoli, A., & Zamani, A. A. (2017), "Analyzing of the relationship between land surface temperature temporal changes and spatial pattern of land use changes", *The Journal of Spatial Planning*, 21(3), 119-144. <http://hmsmp.modares.ac.ir/article-21-4560-en.html>
- Li, Z.L., Tang, B.H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I.F., & Sobrino, J.A. (2013), "Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives", *Remote Sensing of Environment*, 131, 14-37. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>
- Lin, L., Chen, J. & Cai, C. (2012), "High rate of nitrogen fertilization increases the crop water stress index of corn under soil drought", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43(22), 2865-2877. <https://doi.org/10.1080/00103624.2012.728265>
- Mann, H.B. (1945), "Nonparametric tests against trend", *Econometrica*, 13(3) 245-259.
- Mao, K.B., Ma, Y., Tan, X.A., Shen, X.Y., Liu, G., Li, Z.L., Chen, J.M., & Xia, L. (2017), "Global surface temperature change analysis based on MODIS data in recent twelve years", *Advances in Space Research*, 59(2), 503-512. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.11.007>
- Masoodian, S.A. (2020), "An analysis of frequency distribution of LST in Iran". *Geography and Development*, 18(60), 21-30. [In Persian]. <https://doi.org/10.22111/GDIJ.2020.5639>
- Mathew, A., Khandelwal, S., Kaul, N. & Chauhan, S. (2018), "Analyzing the diurnal variations of land surface temperatures for surface urban heat island studies: Is time of observation of remote sensing data important?", *Sustainable Cities and Society*, 40, 194-213. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.032>
- Moghaddam, Y.J., Akhoondzadeh, M., & Saradjian, M.R. (2015), "A split-window algorithm for estimating l_{st} from landsat-8 satellite images", *Journal of Geomatics Science and Technology*, 5(1), 215-226. [In Persian].

- Mohammadyari, F., Pourkhabbaz, H., Aghdar, H., & Tavakoly, M. (2019), "Evaluation of land use change trends using satellite Landsat satellite images ETM+ and OLI sensors (Case Study: Behbahan County)". *Environmental Researches*, 10(19), 41-54. [In Persian]. <https://20.1001.1.20089597.1398.10.19.19.7>
- Montazeri, M., & Kefayat Motlagh, O.R. (2018), "Long term mean of vegetation analysis in Iran using NDVI index". *Geography and Environmental Planning*, 29(3), 1-14. [In Persian]. <https://doi.org/10.22108/GEP.2018.98301.0>
- Moradi, H.R., Fazelpour, M.R., Sadeghi, S.H.R., & Hosseini, S.Z.A.A. (2008), "The study of land use change on desertification using remote sensing in Ardakan area". *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 15(1), 1-12. [In Persian].
- Moradi, M., Salahi, B., & Masoodian, S.A. (2016), "Analysis of land surface temperature gradient of Iran using MODIS Terra and Aqua data". *Physical Geography Research Quarterly*, 48(4), 517-532. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2016.60823>
- Moradi, M., Salahi, B., & Masoodian, S.A. (2016), "Land surface temperature zoning of Iran with MODIS data", *Journal of Natural Environmental Hazards*, 5(7), 101-116. [In Persian]. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2016.2657>
- Pahlevanzadeh, N., Janalipour, M., Abbaszadeh Teharni, N., & Farhanj, F. (2019), "Accuracy improvement of land surface temperature extracted from thermal bands of Landsat satellite using linear regression and ground observations". *Geography and Environmental Planning*, 30(3), 59-78. [In Persian]. <https://doi.org/10.22108/GEP.2019.118336.1179>
- Pajooresh, M., Reyahi & Bakhtyari, H.R. (2020), "Assessment of trends of spatial land use changes using geographic information systems and Landsat images during the 1991-2016 Period". *JWSS-Isfahan University of Technology*, 24(1), 197-211. [In Persian]. <https://doi.org/10.47176/jwss.24.1.40052>
- Prakash, S., & Norouzi, H. (2020), "Land surface temperature variability across India: a remote sensing satellite perspective", *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1), 773-784. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03010-8>
- Rajabzadeh, F. (2017), "Land use changes by using RS & Markov chain technique in the south-west of Tehran". *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 6(2), 59-72. [In Persian].
- Rezaee, R., Qodusi, J., Hasani, A., Arjmandi, R., & Vafaeinejad, A. (2021), "Classification and assessment of the land use changes using Landsat satellite imagery (case study: Qazvin plan's aquifer)". *Geographic Space*, 20(72), 185-204. [In Persian]. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3728-en.html>
- Sabzghabaei, G., Salehipour, F., Dashti, S., & Safavian, A. (2018), "Land use/land cover change modeling using Markov chain and cellular automata (case study: Dezful, Iran)". *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 7(2), 180-169. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/GEO.V7I2.64775>
- Sadeghian, S., Rajabi, A., & Shadmanfar, S. (2021), "Investigation of methods for calculating ground temperature from satellite images (Case study of Qom province)". *Geographical Space*, 21(74), 131-154. [In Persian]. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3530-fa.html>
- Salajegheh, A., Razavizadeh, S., Khorasani, N., Hamidifar, M., & Salajegheh, S. (2011), "Land use changes and its effects on water quality (Case study: Karkheh watershed)". *Environmental Studies*, 58, 81-86. [In Persian]. <https://20.1001.1.10258620.1390.37.58.9.9>
- Shabani, M., Darvishan, S., & Solaimani, K. (2019), "Investigating the effects of land use change on spatiotemporal patterns of land surface temperature and thermal islands (case study: Saqqez county)", *Geography and Environmental Planning*, 30(1), 37-54. [In Persian]. <https://doi.org/10.22108/GEP.2019.115781.1127>
- Shanani, H.S.M., & Zarei, H. (2016), "Investigation of land use changes during the past two last decades (Case study: Abolabas basin)", *Watershed Management Research*, 7(14), 237-244. [In Persian].
- Sofi, M., & Bohloul, A. (2012), "Climate change in the Zagros region". *Territory* 9(2), 47-66. [In Persian]. https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_5523.html
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., & Soden, B. (2007), " IPCC fourth assessment report: Climate Change 2007: Working group I: Chapter 3: Observations: Surface and atmospheric climate change. *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*, 102.
- Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., Correa, K., Avalos, G., Bazo, J., Azorin-Molina, C., Domínguez-Castro, F., Kenawy, A.E., Gimeno, L., & Nieto, R. (2018), "Recent changes in monthly surface air temperature over Peru, 1964–2014". *International Journal of Climatology*, 38(1), 283-306. <https://doi.org/10.1002/joc.5176>

- 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. <https://doi.org/10.1080/0143116031000116417>
- Wang, K., & Liang, S. (2009), "Evaluation of ASTER and MODIS land surface temperature and emissivity products using long-term surface longwave radiation observations at SURFRAD sites", *Remote Sensing of Environment*, 113(7), 1556-1565. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.03.009>
- Wang, K., Liu, Q., Liu, Q. (2010), "Localized land surface temperature retrieval from the MODIS Level-1b data using water vapor and in situ data". In *2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2252-2254. Ieee. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2010.5651342>
- Wang, W., Samat, A., Abuduwaili, J., & Ge, Y. (2021), "Quantifying the influences of land surface parameters on LST variations based on GeoDetector model in Syr Darya basin, central Asia", *Journal of Arid Environments*, 186, 104415. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104415>
- Zhang, J.H., Li, X., Yao, F.M., & Li, X.H. (2009), "The progress in retrieving land surface temperature based on thermal infrared and microwave remote sensing technologies". *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 29(8), 2103-2107. [https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593\(2009\)08-2103-05](https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2009)08-2103-05)
- Zhao, W., He, J., Wu, Y., Xiong, D., Wen, F., & Li, A. (2019), "An analysis of land surface temperature trends in the central Himalayan region based on MODIS products". *Remote Sensing*, 11(8), 900. <https://doi.org/10.3390/rs11080900>

Spatio-temporal trend of Land surface temperature (LST) changes of day and nighttime in Iran

Mostafa Karimi ^{*1}, Sousan Heidari², Hadis Sadeghi³

^{*1}Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

(Corresponding Author) Email: Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

²Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Email:

Heidari.s@ut.ac.ir

²Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. Email:

Hadis.sadeghi@ut.ac.ir

Introduction

Climate change significantly impact ecosystems and human life, often recognized as the primary driver behind social, economic changes, migration, and even societal collapse. Recent years have witnessed a notable increase in air temperature, which serves as a critical indicator of regional climatic conditions. Land surface temperature, as a key factor in analyzing physical processes and Earth-atmosphere interactions, which provides important information for the study of the surface radiation budget and environmental change.

Due to the limitation of ground stations to measure this parameter over vast areas, its study has been expanded by using satellite data with increasing spatio-temporal resolution. One of the products of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor is high-quality data of Emissivity and land surface temperature (LST), which is provided by the products of Terra and Aqua satellites.

Numerous global and regional studies have utilized satellite data to investigate land surface temperature patterns, including research conducted in planetary environments, Greece, the Central Himalayas, and India. In Iran, various studies have explored diverse aspects of land surface temperature, encompassing classification, distribution, estimation methods, spatial-temporal changes, and its correlation with environmental variables. Additionally, localized studies have employed land surface temperature datasets to examine urban heat islands.

In addition to numerous studies on the distribution and trend of the land surface temperature at the global, studies have been conducted in Iran in various fields of this parameter. For example, various researches in the fields of zoning; distribution; Estimation methods, examination of spatio-temporal change and the relationship of surface temperature with environmental variables have been carried out. According to the results of the studies that have shown, the increase in air temperature in Iran, which is the goal of this research for investigating the change in the day and nighttime LST in different time scales in the spatial extent of Iran using satellite products of the period from 2003 to 2020.

Materials

To achieve the goal of research, the monthly average of daytime and nighttime land surface temperature products (YD11C3 v006) of Aqua satellite with 5x5 KM spatial resolution were used. The data is available on the USGS website since July 2002.

Mann-Kendall trend test was used to investigate the trend of daytime and nighttime land surface temperature in Iran on an annual and monthly scales. Mann-Kendall (MK) test was proposed by Mann (1945) and then developed by Kendall (1975). The test statistically evaluates the increasing or decreasing trend of the parameters over time.

Discussion of Results

Land surface temperature exhibits significant variability, depending on geographical location and topography. In Iran, land surface temperatures vary across different regions, including the southern shores of Caspian Sea, the northern and northwestern areas. The highest LST occurs along the southern coasts and the central plains of Iran. During the study period, negligible change in the LST of

day and night have occurred. The distribution of annual mean LST changes in Iran is similar, but the rate of change varies across different regions. The greatest LST increases are observed in the western and southwestern, while some areas have experienced LST decreases.

In March and April, land surface temperatures have decreased in most southeastern, southern, and eastern areas, with varying changes in daytime and nighttime LST. Conversely, in May, nighttime LST have increased in the western and northern, with differing LST changes during the day. This pattern indicates that in this season, LST decreases during the days in the southeast while increasing at night.

Although LST has increased in some parts of Iran in June and July, the decreasing zones in July are somewhat different. Increasing areas of daytime have been seen in these two months, especially in the southwest, west, and northeast. In August, land surface temperature conditions during the day and night differ from previous months, with surface warming prevalent in most parts of the country especially in the west and southwest. These results indicate that the diurnal temperature difference is decreasing in extensive areas of the country during this season.

The trend of changes in daytime LST in September has been increasing in some areas of the North-West, Central, South-West, South-East, and the shores of Lake Urmia, as well as some other areas especially in the South-West where a decrease has been observed. However, in October, a decreasing trend was observed in most areas of the country except for scattered areas while in November, a decreasing pattern was observed for LST in most areas with an increase in some central and northwestern regions but there was no significant change in the rest of the areas.

Land Surface temperatures in autumn months exhibit a decreasing trend compared to other seasons. In September, some areas experience an increasing trend in daytime LST however in October, a decrease in land surface temperature is observed in most areas except for the parts of northwest and southwest. In autumn months, land surface temperatures increase during the days in some southern regions but in November, LST increases are limited to some specific areas. During these months, land surface temperatures decrease at night especially in southern, southeastern and central regions. In contrast, in winter months, land surface temperatures increase during the days especially in December and January while in February the increase is limited to certain parts of the country whereas decreasing in some areas. However, at night, temperatures decrease scattered in most areas.

Conclusion

On an annual scale, land surface temperature has increased more in the western and northern regions during both daytime and nighttime but in the eastern half especially the southeastern region, LST decreased in April. In the spring season, two spatial and temporal patterns are observed: in the southeast, LST decreased in April while in the northern and western halves especially in May, LST increased. In the autumn season, land surface temperature decreases compared to summer especially in October and November, possibly due to increase of precipitation. In winter, LST increase in central areas and the northeastern of the central plateau, possibly due to a shift in precipitation patterns from snow to rain and shifting of precipitation towards autumn and early spring.

A case study of land surface temperature changes in Iran from 2003 to 2020 indicates that in some regions, LST increases have occurred during both daytime and nighttime especially in western and southwestern areas while in other regions, LST decreases have occurred in springtime and increases in summertime. These changes could be attributed to factors such as global warming, changes in land use, and shifts in precipitation regimes.

Keywords: Surface Temperature, Climate Change, Trend of Change, Man-Kendall, Modis.