



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)


جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و هشتم، تابستان ۱۴۰۰

صص ۹۳-۱۰۹

doi : <https://dx.doi.org/10.22067/geoh.2021.69462.1035>

مقاله پژوهشی

## واکاوی روند تغییرات میانگین دمای رویه ایران با بهره‌گیری از داده‌های سنجش‌ازدور

علیرضا کربلائی درئی<sup>۱</sup> - دانش‌آموخته آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.   
زهرا حجازی زاده - استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.  
سید ابوالفضل مسعودیان - استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.  
محمدصادق کیخسروی کیانی - پژوهشگر پسا دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیایی طبیعی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۲/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۲/۲۹

### چکیده

دمای رویه زمین، فراسنجی کلیدی در فیزیک فرآیندهای رویه زمین در مقیاس منطقه‌ای و به‌ویژه جهانی است. نزدیک به دو دهه است که از اندازه‌گیری دمای رویه توسط سنجنده مودیس می‌گذرد. واکاوی بردش‌های مکانی دمای رویه می‌تواند ما را در شناخت رفتار این فرا سنج کلیدی یاری کند. هدف از این پژوهش واکاوی روند تغییرات دمای رویه در گستره ایران است. بدین منظور از داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس ترا (MOD11A1) در دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۸ به‌صورت روزانه و با تفکیک مکانی ۱ × ۱ کیلومتری بهره گرفته شد. پس از استخراج داده‌ها در گستره ایران، روند دمای رویه گستره ایران بر روی ۱۸۸۴۰۷۷ یاخته به کمک آزمون من‌کندال موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین گستره روند افزایشی دمای رویه در فصل زمستان در ماه دی، بهمن و اسفند قابل مشاهده است و بیشتر روندهای افزایشی معنی‌دار نیز در ارتفاعات دیده می‌شود که این موضوع می‌تواند در ارتباط با کاهش پوشش برفی و کاهش سپیدایی در این نواحی باشد. بررسی روند دمای رویه در فواصل ارتفاع ۱۰۰ متر نیز نشان داد که در دی‌ماه تمامی سطوح ارتفاعی دارای روند افزایشی در دمای رویه است که این روند افزایشی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

**کلیدواژه‌ها:** آزمون من‌کندال، ایران، دمای رویه زمین، روند.

## ۱- مقدمه

دمای رویه زمین یک نمود مناسب از ترازمندی انرژی در رویه زمین و اثر گلخانه‌ای است؛ زیرا فراسنجی کلیدی در فیزیک فرایندهای رویه زمین در مقیاس منطقه‌ای و به‌ویژه جهانی است (کل و کازل،<sup>۱</sup> ۱۹۹۷؛ وان،<sup>۲</sup> ۱۹۹۹؛ لیو،<sup>۳</sup> ۲۰۰۶؛ یو و همکاران،<sup>۴</sup> ۲۰۰۷؛ کال و همکاران،<sup>۵</sup> ۲۰۰۹). واکاوی روند دمای رویه نقش مهمی در ارزیابی تعاملات بین سطح زمین، هوا سپهر و نیز تغییرات آب و هوایی دارد (ابرا و همکاران،<sup>۶</sup> ۲۰۲۰). این فراسنج با توجه به نقشی که در ترازمندی آب در ایران بازی می‌کند اهمیت بسزایی دارد (مسعودیان، ۱۳۹۸). تغییرات دمای رویه زمین می‌تواند بر همه دستگاه‌های طبیعی اثرات ژرفی داشته باشد (مسعودیان، ۱۳۹۹) به عبارتی طیف گسترده‌ای از متغیرهای محیطی از تغییرات دمای رویه نیز تأثیر می‌پذیرند؛ به‌عبارت‌دیگر ترازمندی انرژی وابسته به ویژگی‌های محیطی است (سان و پیکر،<sup>۷</sup> ۲۰۰۴؛ پنیولس و همکاران،<sup>۸</sup> ۲۰۰۹). تغییر در این ویژگی‌های محیطی می‌تواند بر دمای رویه اثرگذار باشد. برخی از ویژگی‌های محیطی از جمله مقدار تابش دریافتی (دونوهی،<sup>۹</sup> ۲۰۱۴)، سپیدایی، رطوبت خاک، گرمای ویژه و میزان پوشش گیاهی هستند؛ که تغییر هر یک از این ویژگی‌ها در دمای رویه زمین بازتاب می‌یابد (مرادی، ۱۳۹۵). تغییرات تابش خورشیدی ورودی و تابش موج بلند مستقیماً با تأثیر بر انرژی بر روند دمای رویه اثر می‌گذارد (دونوهی، ۲۰۱۴). پژوهش‌های گوناگونی بر روی دمای رویه انجام شده است؛ برخی از مطالعات به اعتبار سنجی و راستی آزمایی این فرآورده پرداخته‌اند (جین و دیکینسون،<sup>۱۰</sup> ۱۹۹۹؛ جین، ۲۰۰۰؛ جین، ۲۰۰۴). کول و همکاران (۲۰۰۵) دقت فرآورده دمای رویه را مورد بررسی قرار دادند نتایج نشان داد که سنجنده مودیس دمای رویه زمین را با خطای ۱ درجه سلسیوس برآورد می‌کند. در پژوهش‌هایی برای بررسی جزیره گرمایی شهر از دمای رویه استفاده شده است (او کو و همکاران،<sup>۱۱</sup> ۲۰۰۶؛ تاملینسون و همکاران،<sup>۱۲</sup> ۲۰۱۲؛ کوی و دی فوی،<sup>۱۳</sup> ۲۰۱۲؛ انی بال و همکاران،<sup>۱۴</sup> ۲۰۱۴؛ مسعودیان و ترکی، ۲۰۱۹).

1 Coll and Caselles

2 Wan

3 Liu

4 Yu et al.,

5 Coll et al.,

6 Abera

7 Sun and Pinker

8 Peñuelas and et al.,

9 Donohoe

10 Jin and Dickinson

11 Oku et al.,

12 Tomlinson et al.,

13 Cui and De Foy

14 Anniballe et al.,

مطالعات نشان می‌دهد پوشش گیاهی می‌تواند بر روند دمای رویه اثر بگذارد (زو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۶؛ فورزیری و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷) همچنین نقش آئروسل‌ها و پوشش ابری در تغییرات دمای رویه چشمگیر است (فایفورت<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸). او کو و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی روند دمای رویه زمین در فلات تبت نشان دادند که کمینه روزانه دمای رویه زمین سریع‌تر از بیشینه آن افزایش یافته است که نتیجه آن کاهش دامنه روزانه دماست. این نتایج با دمای هوای نزدیک رویه زمین در سطح جهانی و منطقه همخوانی دارد سالاما و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های دورسنجی دمای رویه خاک به بررسی روند دمای رویه زمین در فلات تبت پرداختند نتایج نشان داد ناهنجاری‌های دمای رویه خاک در بازه سالانه و ماهانه به میزان ۰/۵ درجه سلسیوس در هر دهه دیده می‌شود. مورو و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۸) نشان دادند روندهای افزایشی در دمای رویه در حوضه آبریز کیلومبرو، تانزانیا مربوط به جنگل‌زدایی و افزایش زمین‌های کشاورزی است درحالی‌که جنگل‌زدایی سبب روند کاهشی در دمای رویه می‌شود. زائو و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۹) به بررسی روند دمای رویه در منطقه هیمالیای مرکزی بر اساس محصولات MODIS و آزمون من‌کندال پرداختند. نتایج نشان داد روند تغییرات در بیشتر منطقه افزایشی است و دمای شب نسبت به دمای روز به تغییرات آب و هوایی حساس‌تر است. لونتیل و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۹) به بررسی روند دمای رویه روز و شب‌هنگام با استفاده از روش رگرسیون در نیپال پرداختند. نتایج نشان داد دمای روز هنگام در سراسر نیپال تغییری نداشته درحالی‌که در دمای شب‌هنگام افزایشی در فصول قبل از مونسون و در آن وجود دارد. البرا و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی روند دمای رویه در شرق آفریقا پرداختند. نتایج نشان داد ۱۱ درصد از شرق آفریقا دارای روند معنی‌دار در دمای رویه است همچنین روندهای کاهشی در سودان و جنوب آن و نیز روندهای افزایشی در سومالی و کنیا مشاهده شد. فیروزی و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۲۰) روند تغییرات دمای رویه دشت سیستان را با استفاده از شیب سن و رگرسیون موردبررسی قراردادند؛ نتایج نشان داد بیشترین روند افزایشی در دمای رویه در شمال دشت سیستان مشاهده شده است که می‌تواند ناشی از خشک شدن تالاب‌های سه‌گانه هامون باشد. نورالدین و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۲۰) به واکاوی مکانی - زمانی دمای رویه با استفاده از فرآورده سنجنده مودیس (MOD11A1) در آفریقا پرداخته‌اند. نتایج نشان داد روند افزایشی دمای رویه در آفریقا به‌طور چشمگیری نامتوازن است. روند افزایشی دمای رویه در حوالی منطقه استوایی در آفریقای جنوبی و مناطق مرکزی آن وجود دارد. همچنین مناطق شمال چاد، شمال نیجر و جنوب

1 Zhu et al.,

2 Forzieri et al.,

3 Pfeifroth

4 Salama et al.,

5 Muro et al.,

6 Zaho et al.,

7 LUIINTEL et al.,

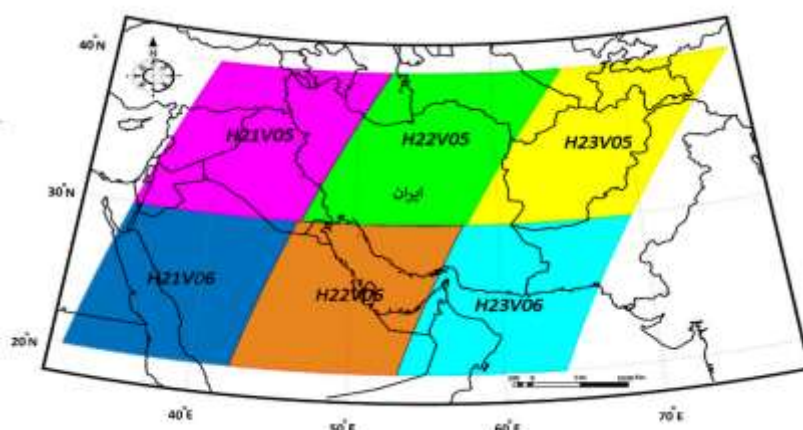
8 Firoozi et al.,

9 NourEldeen et al.,

الجزایر با روند ناچیزی سردتر شده‌اند. واکاوی تغییرات دمای رویه نقش برجسته‌ای در سیستم اقلیم دارد زیرا مستقیماً بر ترازمندی انرژی و اثر گلخانه‌ای اثر گذار است. لذا با توجه به اهمیت موضوع در این مطالعه با استفاده از داده‌های عددی ماهواره‌ای، با توان تفکیک بالا؛ تغییرات ماهانه دمای رویه روز هنگام در گستره ایران مورد بررسی قرار گرفت

## ۲- مواد و روش‌ها

در این مطالعه برای واکاوی روند دمای رویه در گستره ایران از داده‌های سنجنده ی مودیس ترا در بازه زمانی روزانه و در تفکیک مکان  $1 \times 1$  کیلومتر استفاده شده است. تفکیک واقعی این فرآورده  $926/8829$  متر است. این داده‌ها کاشی‌هایی به ابعاد  $10$  درجه قوسی ( $1200 \times 1200$ ) با فرمت HDF هستند (مسعودیان،  $1398$ ). فرآورده‌های مودیس دمای رویه به دلیل توانایی پوشش سراسری روزانه آن در مطالعات منطقه‌ای و جهانی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (نیکلوس و همکاران<sup>۱</sup>،  $2014$ ؛ بای و همکاران<sup>۲</sup>،  $2019$ ). فرآورده دور سنجی مورد استفاده در این پژوهش MOD11A1 است. داده‌های مورد استفاده در فرمت HDF بوده که این داده‌ها در سیستم تصویر سینوسی قابل دسترس می‌باشد. در گام نخست داده‌های این فرآورده از روز  $2000/7/7$  معادل  $1381/4/16$  تا  $2019/11/31$  معادل  $1398/10/10$  از تارنمای ناسا دریافت شد<sup>۳</sup>. در گام بعدی کاشی‌های مورد استفاده مشتمل بر شماره‌های ( $H21v05$ ;  $H22v05$ ;  $H23v05$ ;  $H21v06$ ;  $H22v06$ ;  $H23v06$ ) با استفاده از نرم‌افزار متلب در کنار یکدیگر به‌طور مکانی چیدمان شد که به این کار در اصطلاح موزاییک کردن (شکل ۱). در ادامه ماتریس‌های سالانه برای هرماه به دست آمد و در نهایت آزمون من کندال بر روی هر یاخته انجام پذیرفت.



شکل ۱- موقعیت نسبی کاشی‌های سنجنده مودیس

1 Niclos et al.,

2 Bai et al.,

3 <https://search.earthdata.nasa.gov>

## ۲-۱- آزمون من کندال

این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی (۱۹۶۶) توصیه شده است (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۳). از نقاط قوت این روش می توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری های زمانی مشاهده می گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از آن است. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می گیرد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۰). مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

۱- محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر  $s$  به صورت رابطه (۱) است.

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که  $n$  تعداد مشاهدات سری، و  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده های  $j$ ام و  $k$ ام سری می باشند. تابع نیز به صورت رابطه (۲) قابل محاسبه است.

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

درواقع در این آزمون هر داده با تمامی داده های پس از خود مقایسه می شود. در این مرحله می توان بجای استفاده از مقادیر اصلی داده ها، از مرتبه داده ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه ها را به همین روش مقایسه نمود. به این دلیل، این آزمون یک آزمون بر پایه مرتبه داده ها (Rank base) می باشد.

۲- محاسبه واریانس توسط یکی از روابط (۳ و ۴) می باشد.

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{رابطه (۳)}$$

اگر:  $n > 10$

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{اگر } n \leq 10$$

رابطه (۴)

که  $n$  تعداد داده های مشاهده ای و  $m$  معرف تعداد سری هایی است که در آن ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد.  $t$  نیز بیانگر فراوانی داده های با ارزش یکسان می باشد. منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره  $m$  ام برابر  $t$  می باشد.

۳- استخراج آماره  $Z$  به کمک رابطه:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روند یابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

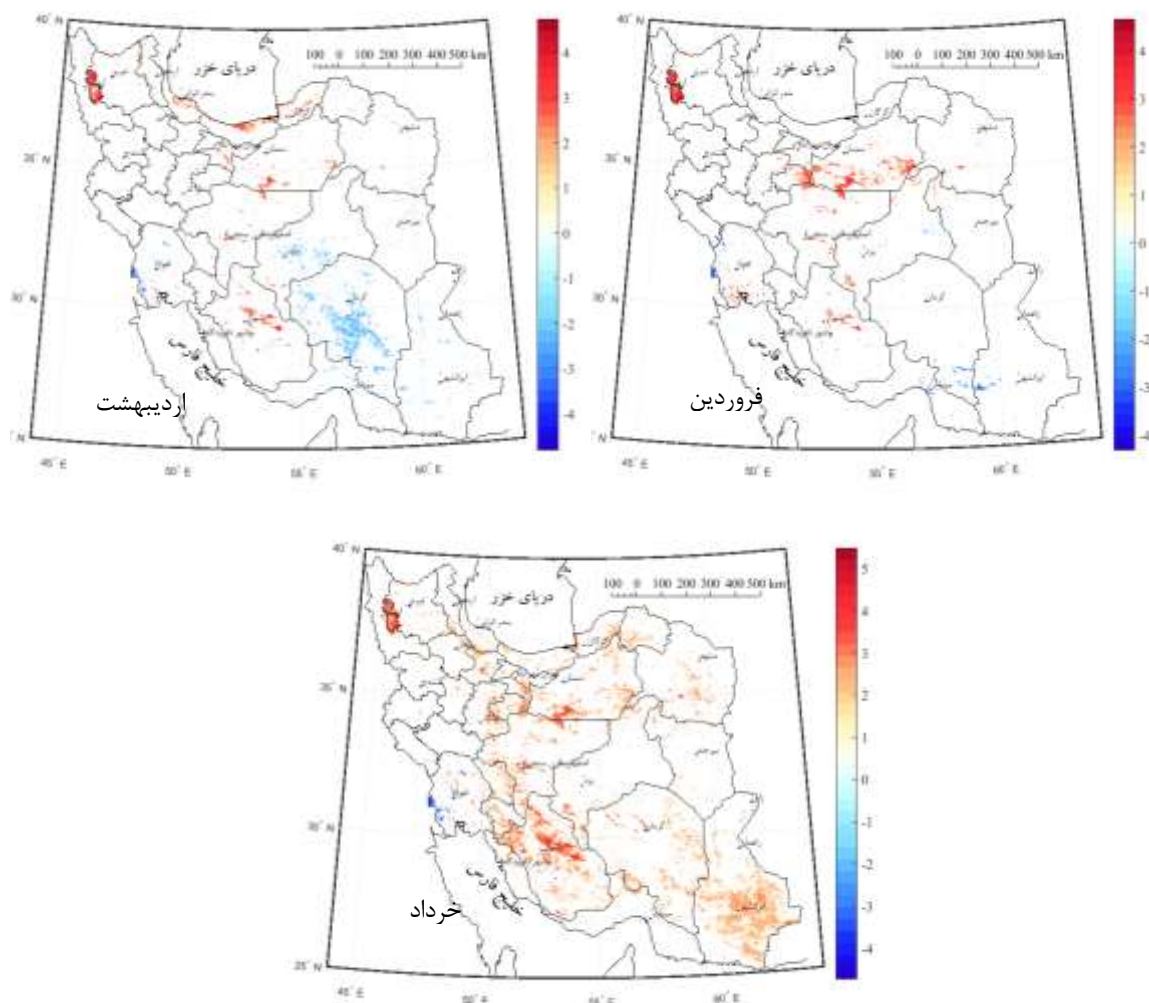
این آزمون، یک آزمون دوطرفه است. بنابراین در صورتی که  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$  باشد، در سطح اطمینان  $\alpha$  فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر (وجود روند)، در صورتی که  $S > 0$  باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که  $S < 0$  باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود. اگر  $|Z| > 1.64$  در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد، اگر  $|Z| > 1.96$  در سطح معنی‌داری ۵ درصد و اگر  $|Z| > 2.56$  در سطح معنی‌داری ۱ درصد فرض صفر (عدم وجود روند) رد می‌شود (کندال، ۱۹۷۵: ۲۷۲).

### ۳- نتایج و بحث

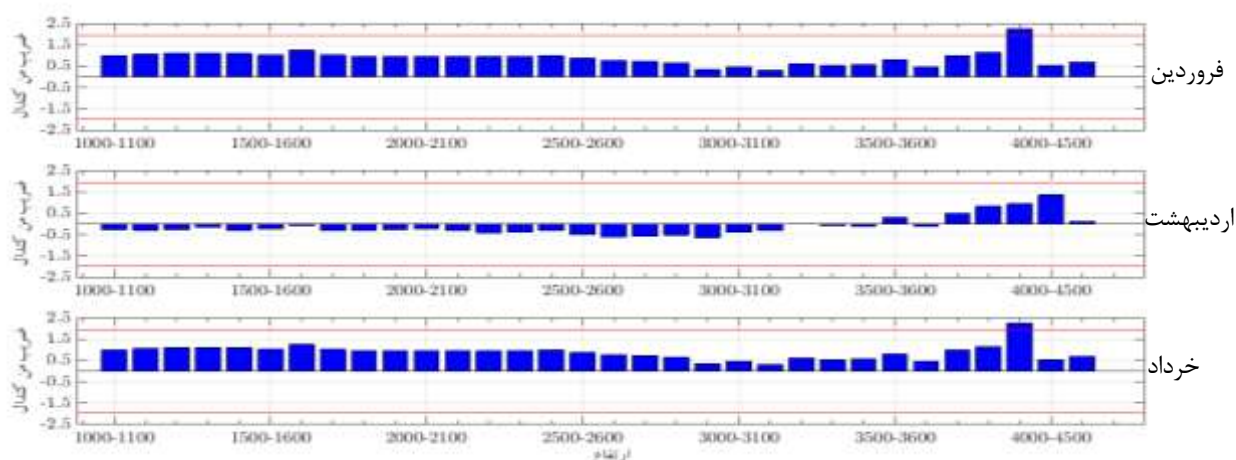
#### ۳-۱- واکاوی روند دمای رویه فصل بهار

بررسی روند تغییرات دمای رویه بر اساس آزمون من کندال در فصل بهار نشان داد که روند تغییرات دمای رویه در هر یک از ماه‌ها متفاوت است (شکل ۲). در ماه فروردین حدود ۲ درصد از گستره ایران دارای روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۵ می‌باشد. روند افزایشی بیشتر در نواحی مرکزی ایران قابل مشاهده است. کمتر از یک درصد از گستره ایران دارای روند کاهشی معنی‌دار است. بر اساس ضرایب من کندال در ماه فروردین حدود ۹۷ درصد از گستره ایران فاقد هرگونه روند معنی‌داری می‌باشند. در ماه اردیبهشت حدود ۱ درصد از گستره ایران دارای روند افزایشی معنی‌دار است. این روند افزایشی بیشتر در کرانه‌های دریای خزر، نواحی مرکزی ایران و دریاچه ارومیه مشاهده می‌شود. روند کاهشی دمای رویه در ماه اردیبهشت در گستره ایران حدود ۲ درصد است که این روند کاهشی بیشتر در استان کرمان دیده می‌شود. در ماه خرداد حدود ۱۱ درصد از گستره ایران دارای روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد. این روند افزایشی بیشتر در استان فارس و جنوب سمنان مشاهده می‌شود. در ماه خرداد حدود ۸۷ درصد از گستره ایران بدون روند است؛ تنها یک درصد از گستره ایران در ماه خرداد دارای روند کاهشی معنی‌دار است. با بررسی یاخته‌های افزایشی معنی‌دار در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد مشخص شد یاخته‌های روند افزایشی معنی‌دار منطبق بر نواحی پلایا، دریاچه نمک‌های فصلی کویر مرکزی ایران، دریاچه نمک مسئله قم، دریاچه ارومیه، دریاچه بختگان، دریاچه تشک (در شمال دریاچه بختگان) است که نشان از افزایش دمای رویه در این نواحی دارد. می‌توان از دلایل افزایش دمای رویه در این مناطق را خشک شدن بیشتر، کاهش رطوبت این نواحی دانست

(کربلایی و همکاران، ۲۰۱۹). روند من کندال برای فواصل ارتفاعی در هر ۱۰۰ متر در هر ماه محاسبه شد. شکل (۳) ضرایب من کندال را در فصل بهار (فروردین، اردیبهشت، خرداد) در سطوح ارتفاعی نشان می‌دهد. در ماه فروردین و اردیبهشت روند معنی داری در سطوح ارتفاعی مشاهده نمی‌شود؛ به‌طورکلی روند در این سطوح افزایشی است اما معنی دار نیست. در ماه خرداد روندهای افزایشی در ارتفاعات چشمگیرتر است؛ به طوری که برخی از سطوح ارتفاعی در سطح اطمینان ۹۵ درصد قرار دارد.



شکل ۲- روند تغییرات دمای رویه ماه‌های فصل بهار (فروردین، اردیبهشت و خرداد).

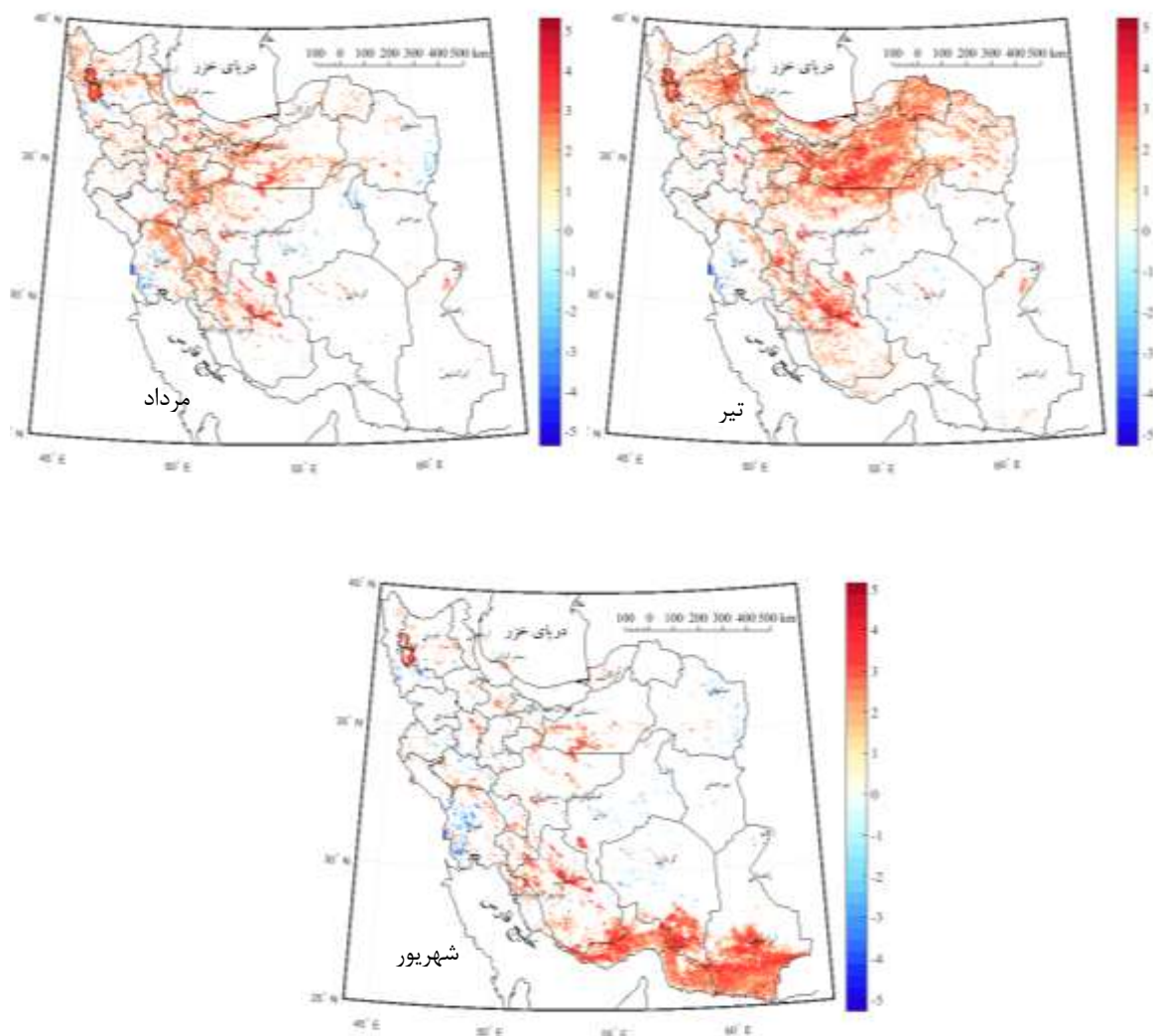


شکل ۳- روند دمای رویه در سطوح ارتفاعی همراه فصل بهار

#### ۲-۳- واکاوی روند دمای رویه تابستان

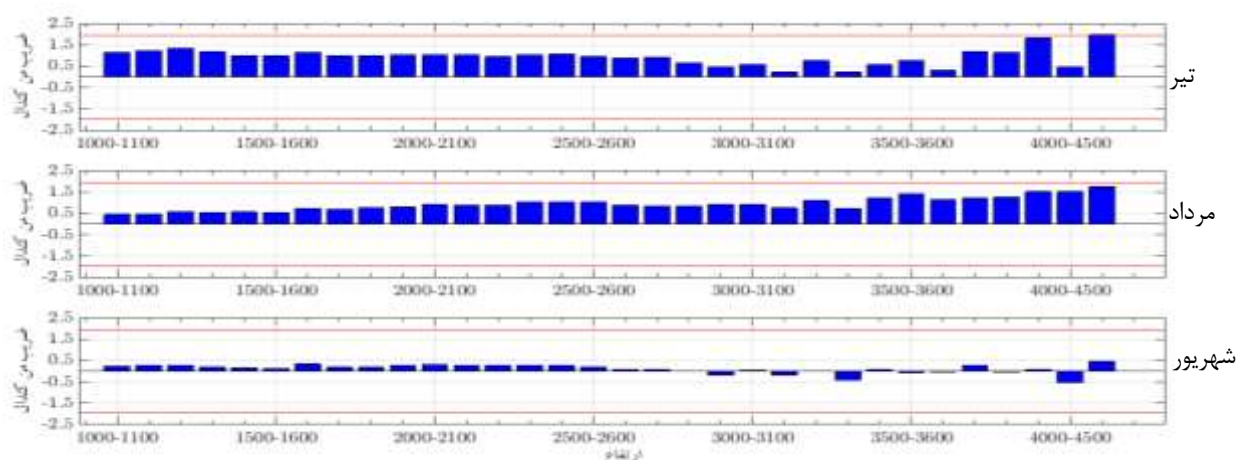
در شکل (۴) نقشه روند من کنال فصل تابستان دمای رویه در گستره ایران مشاهده می‌شود. در فصل تابستان روند دمای رویه چشمگیرتر است. در این ماه چیرگی و غلبه با روند افزایشی در دمای رویه است. در تیرماه حدود ۲۳ درصد از مساحت کشور دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشند؛ کمتر از ۱ درصد از گستره این ماه روند کاهشی معنی‌دار دارد. ۷۶ درصد از گستره ایران بدون روند معنی‌دار است. با توجه به شکل بیشترین روند افزایشی در ماه تیر در نیمه شمالی کشور و نیز نواحی مرتفع همچون رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس مشاهده می‌شود. در ماه مرداد روند افزایشی دمای رویه بیشتر منطبق بر نواحی مرتفع است. در ماه مرداد ۱۲ درصد از مساحت کشور دارای روند افزایشی معنی‌دار (سطح ۰/۰۵) در دمای رویه است تنها ۱ درصد از ایران دارای روند کاهشی معنی‌دار است. در ماه شهریور حدود ۱۳ درصد از مساحت کشور دارای روند افزایشی معنی‌دار در دمای رویه می‌باشد. این روند افزایشی بیشتر در نواحی جنوبی کشور در کرانه‌های دریای عمان و خلیج فارس مشاهده می‌شود.





شکل ۴- روند تغییرات دمای رویه ماه‌های فصل تابستان (تیر، مرداد و شهریور).

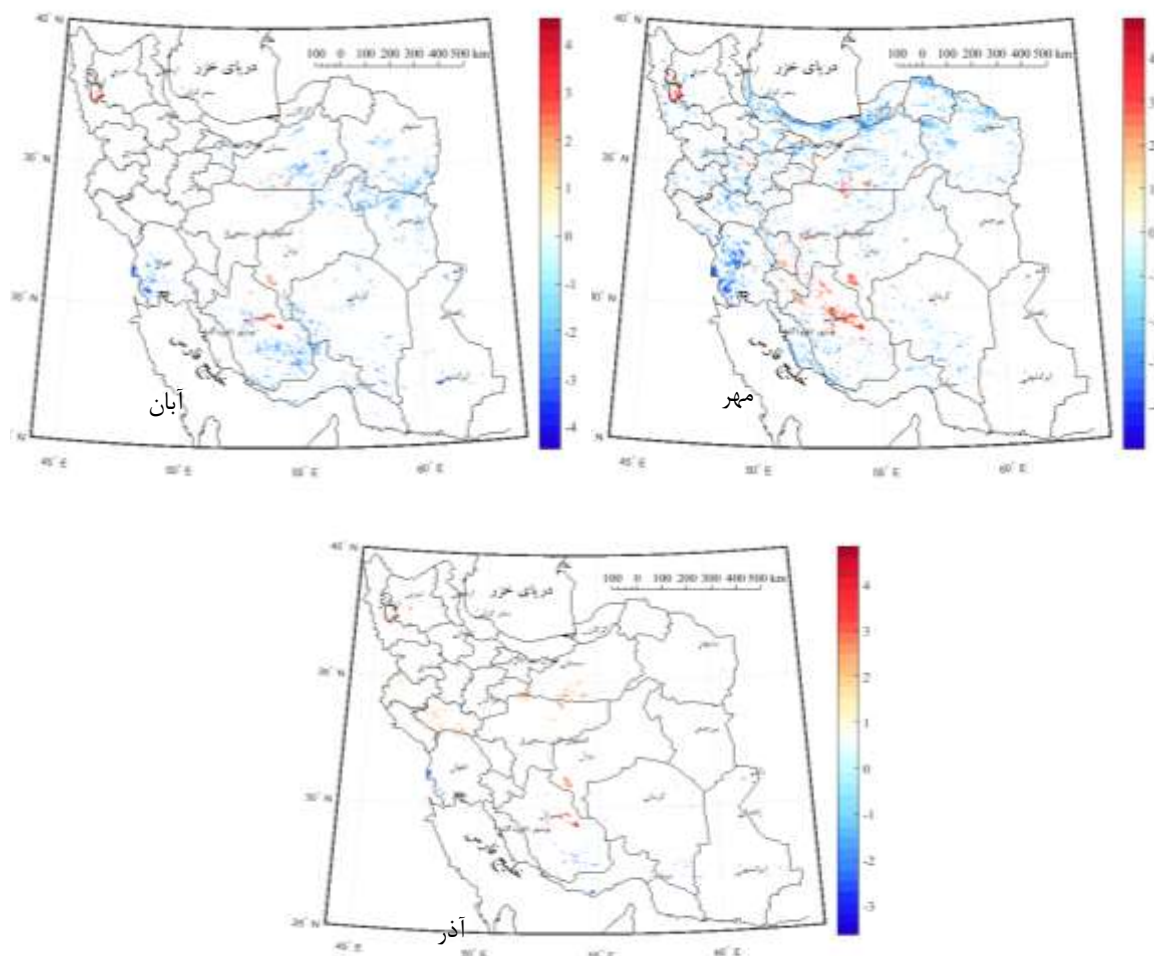
شکل (۵) ضرایب من کندال را در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور نشان می‌دهد. در ماه تیر و مرداد با افزایش ارتفاع ضرایب من کندال افزایش می‌یابد. متوسط ضریب من کندال در ماه تیر در سطوح ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر ۱/۵ می‌باشد. در ارتفاعات بالای ۳۸۰۰ متر روند افزایش دما معنی دار است. در ماه مرداد سطوح ارتفاعی بالاتر از ۱۰۰۰ متر در سطح معنی‌داری قرار نمی‌گیرد. در ماه شهریور روند قابل توجهی مشاهده نمی‌شود.



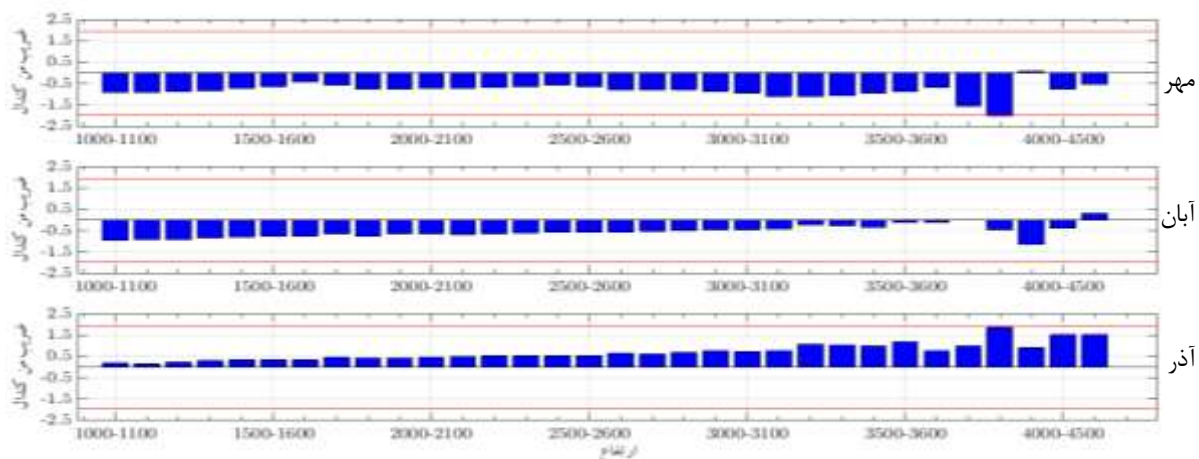
شکل ۵- روند دمای رویه در سطوح ارتفاعی هر ماه فصل تابستان

### ۳-۳- واکاوی روند دمای رویه پاییز

در شکل (۶) نقشه روند من کندال دمای رویه ماه‌های مهر، آبان و آذر در گستره ایران مشاهده می‌شود. بررسی‌ها نشان داد در ماه مهر حدود ۶ درصد از مساحت کشور دارای روند کاهشی معنی‌دار است، روند افزایشی معنی‌دار تنها در ۱ درصد از مساحت کشور قابل مشاهده است. در ماه آبان ۳ درصد از نواحی کشور دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ می‌باشد. همچنین ۱ درصد از گستره ایران دارای روند افزایشی معنی‌دار در دمای رویه است. در ماه آذر روند افزایشی حدود یک درصد و نیز روند کاهشی کمتر از یک درصد از گستره ایران را دربرمی‌گیرد. در فصل پاییز روند نزولی در برخی نواحی ایران قابل مشاهده است که این روند در سطوح اطمینان معنی‌دار نیست. در ماه آذر بیشتر نواحی شمال شرقی و جنوب غربی روندهای نزولی را تجربه کرده‌اند. در فصل پاییز بیشتر یاخته‌های روند افزایشی معنی‌دار بر دریاچه‌های نمکی و پلایا شامل دریاچه نمک قم، دریاچه سیرجان، دریاچه بختگان منطبق هستند. بیشترین روند کاهشی در این سه ماه در استان خوزستان مشاهده می‌شود که منطبق بر تغییرات پوشش گیاهی این استان است. شکل (۷) ضرایب من کندال را در فصل پاییز (مهر، آبان، آذر) در سطوح ارتفاعی نشان می‌دهد. رفتار دمای رویه در دو ماه مهر و آبان روندی کاهشی را نشان می‌دهد. در ماه مهر در ارتفاعات بالاتر از ۳۶۰۰ به بالا روند کاهشی معنی‌داری مشاهده می‌شود. بررسی‌ها حاکی از آن است در ماه آذر، ضریب من کندال در ارتفاعات بالاتر از ۳۸۰۰ متر روندی افزایشی معنی‌دار داشته است.



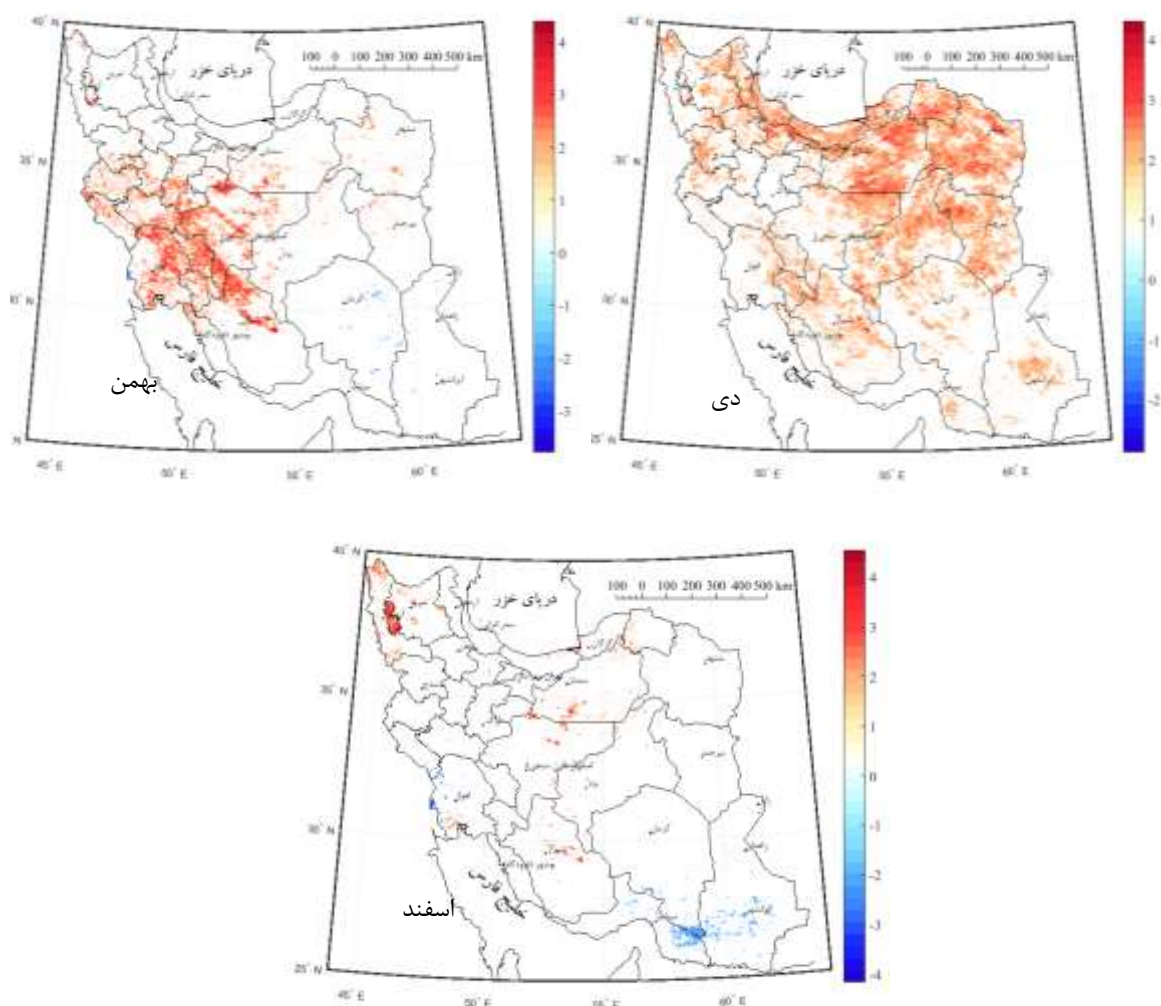
شکل ۶- روند تغییرات دمای رویه ماه‌های فصل پاییز (مهر، آبان و آذر).



شکل ۷- روند دمای رویه در سطوح ارتفاعی هم‌ماه فصل پاییز

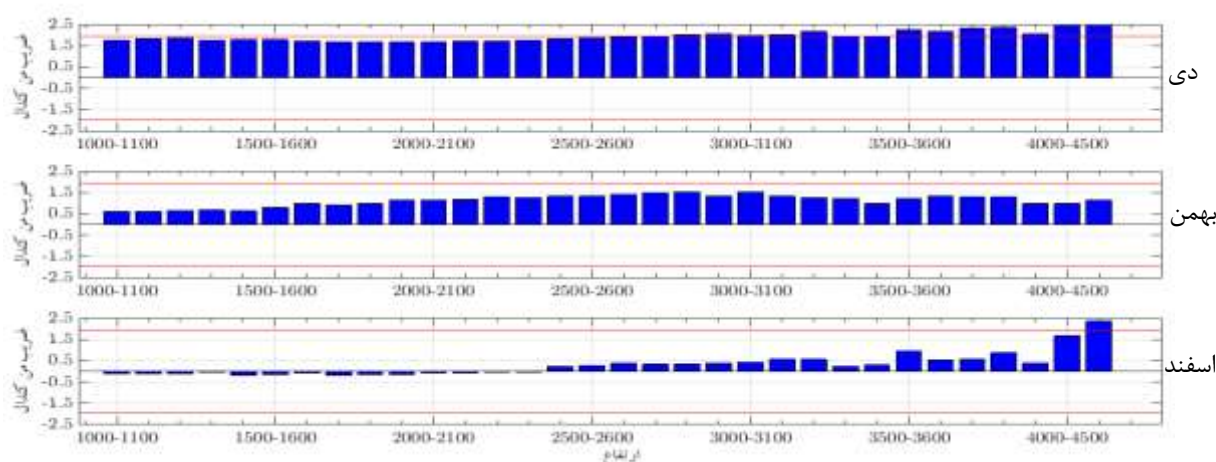
## ۳-۴- واکاوی روند دمای رویه زمستان

در شکل (۸) روند من کندهای فصل زمستان مشاهده می‌شود. در ماه دی اکثر نواحی ایران دارای روند افزایشی در دمای رویه می‌باشد؛ در رشته کوه‌های البرز این روند چشمگیرتر است. بررسی‌ها نشان داد در ماه دی حدود ۳۲ درصد از گستره ایران دارای روند افزایشی معنی‌دار هستند. روند کاهشی معنی‌دار در این ماه کمتر از ۱ درصد است. در ماه بهمن بررسی‌ها نشان داد حدود ۱۱ درصد از مساحت کشور دارای روند افزایشی و نیز حدود ۱ درصد از گستره ایران دارای روند کاهشی معنی‌دار در دمای رویه می‌باشد. این روند افزایشی معنی‌دار منطبق بر ارتفاعات می‌باشد. در ماه اسفند حدود ۲ درصد از گستره ایران دارای روند کاهشی معنی‌دار است و نیز روند افزایشی در دمای رویه کمتر از ۱ درصد وجود دارد.



شکل ۸- روند تغییرات دمای رویه ماه‌های فصل زمستان (دی، بهمن و اسفند).

در ماه دی در تمامی سطوح ارتفاعی از ۱۰۰۰ متر تا ۴۵۰۰ متر روندهای افزایشی معنی دار مشاهده می‌شود. با توجه به شکل همه ارتفاعات از آستانه  $1/96 +$  فراتر بوده که نشان از روندهای افزایشی در این سطوح ارتفاعی است. این ماه بیش از سایر ماه‌ها دارای روند افزایشی است. در ماه بهمن روندهای افزایشی در نواحی ارتفاعات مشاهده می‌شود. در ماه اسفند روند افزایشی در دمای رویه در سطوح ارتفاعی وجود دارد. در ارتفاعات بالاتر از ۴۰۰۰ متر در ماه اسفند روند افزایشی معنی دار مشاهده می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹- روند دمای رویه در سطوح ارتفاعی هرماه فصل زمستان

#### ۴- نتیجه گیری

تغییرات دمای رویه زمین می‌تواند بر همه دستگاه‌های طبیعی اثرگذار باشد. واکاوی روند دمای رویه نقش مهمی در ارزیابی تعاملات بین سطح زمین و هوا سپهر و تغییرات آب و هوایی دارد. هدف از این پژوهش واکاوی روند دمای رویه در گستره ایران است. بدین منظور داده‌های دمای رویه سنجنده مودیس ترا برای بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۸ به کار گرفته شد. فرآورده دور سنجی مورد استفاده در این پژوهش MOD11A1 می‌باشد. با توجه به هدف این مطالعه یاخته‌هایی که در داخل مرز ایران قرار داشتند مورد بررسی قرار گرفت. هر یاخته از سنجنده مودیس دارای طول و عرض جغرافیایی است و نیز دارای یک سری زمانی است. لذا می‌توان از آن برای بررسی روند استفاده نمود. سری زمانی داده‌های دمای رویه ایران با استفاده از آزمون من کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد به‌طور متوسط در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۱۵، ۴۸، ۲، ۴۵ درصد از گستره ایران دارای روند افزایشی معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد. بیشترین روند افزایشی معنی دار در ماه دی با مقدار ۳۳ درصد مشاهده می‌شود. در رتبه بعدی تیر ماه قرار داد. در این ماه حدود ۲۳ درصد از گستره ایران دارای روند افزایشی است. نتایج این مطالعه نشان داد در همه فصول روندهای افزایشی و کاهشی در دمای رویه مشاهده می‌شود؛ اما بیشترین گستره

روند افزایشی دمای رویه در فصل زمستان در ماه‌های دی، بهمن و اسفند قابل مشاهده است و بیشتر روندهای افزایشی معنی دار در ارتفاعات مشاهده شده است که ناشی از کاهش پوشش برفی (کیانی و همکاران، ۱۳۹۵) و کاهش سپیدایی (کربلایی و همکاران، ۱۳۹۹) در این نواحی است. بیشترین مقدار سپیدایی در پهنه ایران در فصل زمستان وجود دارد (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۶). تغییرات سپیدایی می‌تواند سبب افزایش دمای رویه شود. با توجه به کاهش سپیدایی در سال‌های اخیر (کربلایی و همکاران، ۲۰۲۱) دمای رویه در نواحی ارتفاعی افزایش داشته است. همانطور که نقشه‌های روند فصل زمستان نشان می‌دهد. روند دمای رویه در سطوح ارتفاعی هرماه از سال نشان داد در دی ماه همه سطوح ارتفاعی روند افزایشی معنی دار در دمای رویه داشته‌اند. با توجه به روند دمای رویه می‌توان بیان داشت دو فصل تابستان و زمستان نسبت به دو فصل دیگر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی بیشتر قرار گرفته‌اند. به عبارت دیگر گرمایش جهانی در این دو فصل اثرات بیشتری داشته است. واکاوی روند دمای رویه در سطوح ارتفاعی نشان داد در دی ماه تمامی سطوح ارتفاعی دارای روند افزایشی در دمای رویه می‌باشد و نیز در سطوح اطمینان بالاتر از ۹۵ درصد قرار دارد. بسیاری از مطالعات برای آشکار سازی روند دمای رویه انجام شده است. به عنوان مثال زائو و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند بر اساس سنجنده مودیس روند دمای رویه در هیمالیای مرکزی افزایشی بوده است. مروو و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی روند دمای رویه به عنوان نشانگر تغییرات کاربری در تالاب‌ها پرداخته‌اند، نتایج این مطالعه نشان داد روندهای افزایشی دمای رویه مربوط به جنگل زدایی و گسترش زمین‌های زراعی بوده است، در حالی که روند جنگل زایی منجر به روند منفی در دمای رویه می‌شود. پن وار و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی روند دمای رویه در دهلی نشان دادند روند دمای رویه در ماه فوریه (شب) و سپتامبر (روز) در سطوح معنی داری قرار دارد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد در تمام دوره مطالعه به ویژه در شب هنگام در دهلی روند دمای افزایشی وجود دارد. نورالدین و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند روند دمای رویه در آفریقا در برخی نواحی افزایشی و نیز کاهش‌ی بوده است. نتایج بدست آمده هم راستا با این مطالعه است؛ همانطور که نتایج نشان داد روند دمای رویه در فصل پاییز و ماه اسفند کاهش‌ی بوده است؛ اما در سایر فصول روند دمای رویه افزایشی معنی دار می‌باشد.

### سپاسگزاری

نویسندگان از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به سبب حمایت از این رساله دکتری و مقاله مستخرج از آن (به شماره طرح ۹۸۰۲۴۹۹۶) تشکر و قدردانی می‌نمایند.

### کتابنامه

- حجازی زاده، زهرا؛ بزومی، نسرين؛ رحیمی، علیرضا؛ طولایی نژاد، میثم؛ بساک، عاطفه؛ ۱۳۹۶. مدل‌سازی فضایی - زمانی آلودگی در گستره ایران زمین. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۱۷، ۱-۱۷

خلیلی، علی؛ بذرافشان، جواد؛ ۱۳۸۳. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته، *مجله بیابان*. شماره ۹. ۲۵-۳۳.

کربلایی، علیرضا؛ ۱۳۹۹. *رفتارسنجی زمانی مکانی سپیدایی در ایران*. رساله دکتری دانشگاه خوارزمی. استاد راهنما دکتر زهرا حجازی زاده. استاد مشاور سید ابوالفضل مسعودیان.

کیخسروی کیانی، محمد صادق؛ ۱۳۹۵. *آب و هواشناسی پوشش برف در ایران با بهره‌گیری از داده‌های دور سنجی*. رساله دکتری جغرافیای طبیعی گرایش آب و هواشناسی دانشگاه اصفهان. استاد راهنما: سید ابوالفضل مسعودیان

مرادی، مسعود؛ صلاحی، برومند؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۵. پهنه بندی دمای رویه زمین ایران با داده‌های مودیس. *مخاطرات محیط طبیعی*. شماره ۵. ۱۰۱-۱۱۶.

مردادی، مسعود؛ ۱۳۹۵. *بررسی آب و هواشناختی دمای سطح زمین در گستره ایران با بهره‌گیری از داده‌های مودیس*. رساله دکتری. دانشکده ادبیات و علوم انسانی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی. استاد راهنما: سید ابوالفضل مسعودیان

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۸. پیامدهای تغییر توزیع فراوانی دمای کمینه ایران. کنفرانس بین المللی تغییر اقلیم، پیامدها، سازگاری و تعدیل ۱۳۹۸ خرداد ۲۱. [www.icciam.khu.ac.ir](http://www.icciam.khu.ac.ir)

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ترکی، مسلم؛ ۱۳۹۸. واکاوی تغییرات زمانی و مکانی جزیره گرمایی کلان‌شهر اهواز به کمک داده‌های مودیس. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. شماره ۳۰. ۷۵-۹۲.

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ منتظری، مجید؛ ۱۳۹۹. رفتار زمانی - مکانی جزیره گرمایی کلانشهر اصفهان. *مخاطرات محیط طبیعی*. شماره ۹، ۳۵-۴۶.

- Abera, TA, Heiskanen J, Maeda EE, Pellikka PK., 2000. Land surface temperature trend and its drivers in East Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 125:e2020JD033446.
- Anniballe R, Bonafoni S, Pichierri M., 2014. Spatial and temporal trends of the surface and air heat island over Milan using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 150:163-171.
- Bai L, Long D, Yan L., 2019. Estimation of surface soil moisture with downscaled land surface temperatures using a data fusion approach for heterogeneous agricultural land. *Water Resources Research*, 55: 1105-1128.
- Coll C, Caselles V, Galve JM, Valor E, Niclos R, Sánchez JM, Rivas R., 2005. Ground measurements for the validation of land surface temperatures derived from AATSR and MODIS data. *Remote sensing of Environment*, 97:288-300.
- Coll C, Caselles V., 1997. A split-window algorithm for land surface temperature from advanced very high resolution radiometer data: validation and algorithm comparison. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14): 16697-16713.
- Coll C, Wan Z, Galve JM., 2009. Temperature-based and radiance-based validations of the V5 MODIS land surface temperature product. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D20).
- Cui YY, De Foy B., 2012. Seasonal variations of the urban heat island at the surface and the near-surface and reductions due to urban vegetation in Mexico City. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51: 855-868.

- Donohoe A, Armour KC, Pendergrass AG, Battisti DS., 2014. Shortwave and longwave radiative contributions to global warming under increasing CO<sub>2</sub>. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111:16700-16705.
- Firoozi F, Mahmoudi P, Jahanshahi SM, 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.
- Forzieri G, Alkama R, Miralles DG, Cescatti A., 2017. Satellites reveal contrasting responses of regional climate to the widespread greening of Earth. *Science*, 356: 1180-1184.
- Jin Jin M, Dickinson RE., 1999. Interpolation of surface radiative temperature measured from polar orbiting satellites to a diurnal cycle: 1. without clouds. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104: 2105-2116.
- Jin M., 2000. Interpolation of surface radiative temperature measured from polar orbiting satellites to a diurnal cycle: 2. Cloudy-pixel treatment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105: 4061-4076.
- Jin M., 2004. Analysis of land skin temperature using AVHRR observations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85: 587-600.
- Karbalae A R, Hedjazizadeh Z, Masoodian S A., 2021. Spatiotemporal variations of albedo using MODIS and PCA analysis in Iran. *Theor Appl Climatol* 145: 245–260. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03596-y>
- Kendall M G, 1975. Rank Correlation Measures, Charles Griffin, London: 272.
- Liu Y, Hiyama T, & Yamaguchi Y., 2006. Scaling of land surface temperature using satellite data: A case examination on ASTER and MODIS products over a heterogeneous terrain area. *Remote Sensing of Environment*, 105(2), 115-128.
- LUINTEL N, MA W, MA Y, WANG B, SUBBA S., 2019. Spatial and temporal variation of daytime and nighttime MODIS land surface temperature across Nepal. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 12: 305-312.
- Muro J, Strauch A, Heinemann S, Steinbach S, Thonfeld F, Waske B, Diekkrüger B., 2018. Land surface temperature trends as indicator of land use changes in wetlands. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 70: 62-71.
- Niclos R, Valiente J A, Barberà M J, Caselles V., 2013. Land surface air temperature retrieval from EOS-MODIS images. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 11: 1380-1384.
- NourEldeen N, Mao K, Yuan Z, Shen X, Xu T, Qin Z., 2020. Analysis of the spatiotemporal change in land surface temperature for a long-term sequence in Africa (2003–2017). *Remote Sensing*, 12: 488.
- Oku Y, Ishikawa H, Haginoya, S, Ma Y., 2006. Recent trends in land surface temperature on the Tibetan Plateau. *Journal of Climate*, 19: 2995-3003.
- Panwar M, Agarwal A, Devadas V., 2018. Analyzing land surface temperature trends using non-parametric approach: A case of Delhi, India. *Urban climate*, 24: 19-25.
- Peñuelas J, Filella I., 2009. Phenology feedbacks on climate change. *Science*, 324: 887-888.
- Pfeifroth U, Sanchez-Lorenzo A, Manara V, Trentmann J, Hollmann R., 2018. Trends and variability of surface solar radiation in Europe based on surface-and satellite-based data records. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123: 1735-1754.
- Salama M S, Van der Velde R, Zhong L, Ma Y, Ofwono M, Su Z., 2012. Decadal variations of land surface temperature anomalies observed over the Tibetan Plateau by the Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) from 1987 to 2008. *Climatic Change*, 114: 769-781.
- Sun D, Pinker R T., 2004. Case study of soil moisture effect on land surface temperature retrieval. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 1: 127-130.



- Tomlinson C J, Chapman L, Thornes JE, Baker C J., 2012. Derivation of Birmingham's summer surface urban heat island from MODIS satellite images. *International Journal of Climatology*, 32: 214-224.
- Wan Z., 1999. MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document (LST ATBD). Institute for Computational Earth System Science, Santa Barbara: 75.
- Yu Y, Privette J L, Pinheiro A C., 2007. Evaluation of split-window land surface temperature algorithms for generating climate data records. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46: 179-192.
- Zhang X, Vincent L A, Hogg W D, Niitsoo A., 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmosphere-ocean*, 38: 395-429.
- 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: 900.
- Zhu Z, Piao S, Myneni R B, Huang M, Zeng, Z., Canadell, J. G Zeng N., 2016. Greening of the Earth and its drivers. *Nature climate change*, 6: 791-795.