

مقاله پژوهشی

واکاوی روند تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح کویر درانجیر

احمد مزیدی^{۱*}، فاطمه کاربخش راوری^۲، محسن ابراهیمی خوسفی^۳، کمال امیدوار^۴^۱ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.^۲ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.^۳ استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.^۴ استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

doi 10.22034/grd.2025.21582.1617

چکیده

دمای سطح زمین یکی از پارامترهای مهم برای درک تغییرات فضایی و فرآیندهای سطح زمین است که به ارزیابی مناسب‌تری از وضعیت محیطی در مقیاس‌های محلی تا جهانی کمک می‌کند. سنجنده مودیس ماهواره آکوا دمای سطح زمین را به صورت میانگین روزانه در مقیاسی جهانی و با قدرت تفکیک مکانی مناسب تولید و در اختیار محققان قرار می‌دهد. در این پژوهش برای بررسی روند دمای سطح کویر درانجیر، ابتدا داده‌های روزانه دمای سطح زمین در محدوده حوضه آبریز کویر درانجیر در بازه زمانی ۲۰۰۳/۱/۱ تا ۲۰۲۲/۱۲/۳۰ با تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متری از وبگاه ناسا اخذ شد. پس از اعمال تصحیحات اتمسفری و هندسی بر روی داده‌ها، روند بلندمدت فصلی و سالانه دمای سطح کویر درانجیر به کمک آزمون ناپارامتریک من-کنندال محاسبه شد. نتایج روند دمای سطح زمین در مقیاس فصلی نشان داد که در فصل زمستان‌های کویر درانجیر نسبت به گذشته گرم‌تر و برعکس تابستان‌های آن خنک‌تر شده است؛ بنابراین کویر درانجیر در طول سال نوسانات دمایی قابل‌توجهی را تجربه می‌کند به صورتی که در زمستان دمای سطح زمین در بیشتر قسمت‌های کویر (حدود ۹۵ درصد) افزایش و در فصل تابستان شرایط پیچیده‌تر می‌شود. به صورتی که طی این فصل حدود ۷۰ درصد کویر کاهش دما داشته است و حدود ۳۰ درصد افزایش دما را نشان می‌دهد. به‌طورکلی کویر درانجیر در فصل‌های مختلف و در بلندمدت تغییرات دمایی متفاوتی را تجربه می‌کند که دلایل این تغییرات می‌تواند عوامل مختلفی مانند تغییرات آب و هوایی، فعالیت‌های انسانی و ویژگی‌های خاص کویر باشد. این موضوع در بخش وسیعی از این کویر دیده می‌شود. همچنین نتایج در مقیاس سالانه نشان داد که در بستر رودخانه‌های سیریز و رفسنجان و ارتفاعات لاله‌زار روند دمای سطح زمین افزایشی و در سدهای احداث‌شده در جنوب کرمان و رفسنجان و چاله بافق روند دمای سطح زمین کاهش یافته است. از آنجایی که روند افزایشی دمای سطح در رودخانه‌ها و ارتفاعات نشان‌دهنده کاهش پوشش آبی و برفی این نواحی است، این موضوع می‌تواند حیات و منابع آب این نواحی را که متکی به شریان آبی و انباشت برف بوده با چالش روبرو کند.

تاریخ دریافت:

۱۷ فروردین ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:

۱۷ دی ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها:

دمای سطح زمین،
تغییر اقلیم،
گرمايش جهانی،
کویر درانجیر،

۱ مقدمه

دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی در بررسی تغییرات اقلیمی است که به ارزیابی واقعی از وضعیت محیطی در مقیاس‌های محلی تا جهانی کمک می‌کند.

Email: mazidi@yazd.ac.ir

* نویسنده مسئول: احمد مزیدی

آدرس: گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه یزد.

بررسی روند دمای سطح زمین و تغییرات بلندمدت آن برای ارزیابی فرآیندهای آب و هوایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است. همچنین بر اساس نتایج پژوهشگران، مشاهدات دمای سطح زمین در هنگام نیمروز که مقادیر آن به بیشینه می‌رسد اطلاعات بیش‌تری در مورد تقسیم‌بندی انرژی در بین اشعه‌های گرمایی متلاطم دارد که این رویداد به دلیل نقش کلیدی بیشینه دمای سطح در توصیف چرخه روزانه آن رخ می‌دهد. توزیع واقعی دمای سطح زمین به بزرگی، دامنه روزانه و رابطه آن با تابش خورشید و اشعه گرمایی خاک نسبت داده می‌شود (بومرلکار^۱، ۱۹۷۵). شوکلا و همکاران^۲ (۱۹۹۰) در پژوهشی نشان دادند که با جایگزینی علفزارها به جای جنگل‌های حاره‌ای افزایش معناداری در دمای سطح و کاهش در بارندگی و تبخیر و تعرق مشاهده می‌شود. همچنین طول دوره خشک هم روندی افزایشی را نشان می‌دهد؛ ون و همکاران^۳ (۲۰۰۳) در پژوهشی نشان دادند که در نواحی مرکزی تبت، رخداد دمای سطح زمین در نواحی کوهستانی و توده‌های آبی کمینه و رخداد دمای سطح در حوضه رودخانه‌ای در مقایسه با نواحی کوهستانی بیشینه است. کین و همکاران^۴ (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین و ارتفاع از سطح دریا سنجنده مودیس نشان دادند که روند گرمایش زمین در فلات تبت از ارتفاع ۳۰۰۰ تا ۴۸۰۰ متری افزایشی و سپس پایدار تا کاهش جزئی است. این وابستگی ارتفاعی نرخ گرمایش یک مفهوم قابل‌توجهی برای منابع آبی و تغییرات محیطی فلات تبت است؛ از آن جهت که بیش‌تر سطوح برفی و یخچال‌ها در این فلات در ارتفاعات بالای ۵۰۰۰ متری از سطح دریا واقع شده‌اند. نتایج پژوهش ژونگ و همکاران^۵ (۲۰۱۱) در فلات تبت بیان‌گر افزایش دمای هوا و دمای سطح زمین در بازه زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۰ است. همچنین یافته‌های آنان چرخه‌های فصلی از افزایش دمای سطح زمین، دمای هوا و شاخص تفاوت بهنجار شده پوشش گیاهی در پیش از مونسون و هم‌زمان با آن و سپس کاهش آن‌ها پس از مونسون را نشان می‌دهد. پال و زیائول^۶ (۲۰۱۷) به ارزیابی دمای سطح زمین در بازه‌های زمانی ۱۹۹۱، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ در شهر مالدا^۷ در غرب بنگال پرداختند. نتایج حاکی از افزایش مقادیر دمای سطح به مقدار ۰/۷۰٪ و ۰/۱۱۴ درجه سلسیوس به ترتیب در طول سال و در دوره‌های تابستان و زمستان است و ناحیه ساختمانی هم بالاترین مقادیر دمای سطح را دارا است. ضریب همبستگی بین عوامل، آشکارکننده کنترل دمای سطح توسط سطح نفوذناپذیر زمین ($R = 0/62$) و توده‌های آبی و پوشش گیاهی است. الفتریو و همکاران^۸ (۲۰۱۸) در پژوهشی نشان داد که روندهای دمای روز هنگام سطح زمین در یونان برای بیش‌تر نواحی دامنه کاهشی از ۱/۳ تا ۱ درجه سلسیوس و در بعضی بخش‌ها افزایشی جزئی دارد. درحالی‌که روندهای دمای شب هنگام سطح زمین در همه نواحی دارای دامنه افزایشی از ۴/۶ تا ۳/۱ درجه سلسیوس است و بیشینه مقادیر در بخش‌های جنوبی- شرقی کشور قرار دارد. همچنین یک نتیجه جالب، افزایش مقادیر دمای سطح زمین در زمستان در هر دو زمان روز هنگام و شب هنگام است که نشان‌گر افزایش کمینه مطلق دمای سطح زمین در طول زمستان در کشور یونان است. کورچان و همکاران^۹ (۲۰۱۸) به بررسی روند دمای سطح زمین در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۸۲ در شبه‌جزیره اسپانیا پرداختند. نتایج ایشان نشان‌گر افزایش معنی‌دار (۰/۷۰) درجه سلسیوس نسبت به دهه قبل و همچنین افزایش شدیدتری در تابستان (۱/۵۳) درجه

¹ Bhumralkar

² Shukla et al

³ Wen et al

⁴ Qin et al

⁵ Zhong et al

⁶ Pal & Zial

⁷ Malda

⁸ Eleftheriou et al

⁹ Khorchan et al

سلسیوس نسبت به دهه قبل) است. نتایج زولو و همکاران^۱ (۲۰۱۹) در دره پو^۲ ایتالیا نیز حاکی از کاهش دامنه دمای سطح زمین همراه با افزایش نواحی شهری است؛ به طوری که با افزایش پراکنش شهری یک روند صعودی در دمای کمینه دیده می‌شود. بالو و کورمه^۳ (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵-۷-۸ به پایش دمای سطح زمین در شهر بهیردار^۴ پرداختند. نتایج تجزیه و تحلیل گرادیان آن‌ها در مناطق شهری و حومه طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۷ نشان داد که شدت جزیره حرارتی در مناطق شهری تا سال ۲۰۰۲ به سرعت گسترش یافته است. میانگین دمای سال ۱۹۸۷ حدود ۳۴٫۵ درجه سلسیوس بوده است. این مقدار در سال ۲۰۰۲ به ۳۷٫۵ درجه سلسیوس رسیده است و در سال ۲۰۱۷ به ۳۵٫۵ درجه سلسیوس کاهش یافته است. علت این کاهش را می‌توان افزایش پهنه آبی و مناطق کشاورزی همچنین کاهش سطح سنگفرش دانست. اسپینوزا مولینا و همکاران^۵ (۲۰۲۲) در پژوهشی با استفاده از داده‌های لندست ۵ و ۸ کالکشن ۱ طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۲۰ در محیط گوگل ارث انجین نشان دادند که با تغییر کاربری و پوشش گیاهی در منطقه تکانا دمای سطح زمین تا حدود ۴۴ درجه رسیده است. نتایج نشان داد که در مناطق با پوشش گیاهی، دما در محدوده ۲۴ درجه باقی‌مانده است. نتایج آن‌ها بیانگر آن است که تغییرات در شکل و توسعه شهری باعث رشد جزیره حرارتی درون شهری شده است. پاندی و همکاران (۲۰۲۲) در یک مطالعه بر روی ارزیابی روند گرمایش جهانی و روند دمای سطح زمین (LST) در هند مشخص کردند که روند نزولی دما (LSTmin-LSTmax) در فصول زمستانی و روند افزایشی در فصل تابستان ایجاد شده است. بر اساس پژوهش ژی و همکاران^۶ (۲۰۲۳) میانگین دمای سطح زمین در کوه‌های کیلینگ دابا در منطقه چین مرکزی طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۰ حدود ۱۸/۲ درجه سلسیوس برآورد شده است. همچنین ضمن آشکار شدن گرمایش در منطقه مورد مطالعه، میزان آن در شب‌هنگام قوی‌تر از روزهنگام بیان شده و متعاقب آن تفاوت بین دمای شب و روز نیز در حال کاهش است. علاوه بر این در منطقه کوه‌های کیلینگ دابا، عامل ارتفاع به‌عنوان مهم‌ترین عامل در توزیع فضایی دمای سطح زمین بود که میزان تأثیرگذاری متغیر مذکور در دمای روزهنگام و شب‌هنگام به ترتیب ۶۳ و ۹۲ درصد مشخص شده است. شکبیا و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه دمای سطحی شبانه‌روزی حوضه‌های آبخیز ایران در دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ با داده مودیس به این نتیجه رسیدند که در طول روز، ۱٫۵ درصد از مساحت ایران دارای دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد، ۲۱ درصد دارای LST بین ۰ تا ۲۰ درجه و ۳۷ درصد بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. همچنین این مطالعه افزایش قابل‌توجهی را در LST در طول فصل تابستان نشان داد بعلاوه روند مثبت معنی‌داری را در ۱۰ حوضه در دمای روز و روند مثبت معنی‌دار در ۶ حوضه در دمای شب نشان داد.

در ایران نیز پژوهش‌های زیادی بر روی دمای سطح زمین در مقیاس خرد و کلان انجام شده است. در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. قزلباش و مؤمنی شهرکی (۱۳۹۱) در پژوهشی برای ارزیابی تغییرات دمای سطح زمین و پدیده جزیره گرمایی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ با استفاده از سنجنده مودیس در تعدادی از شهرهای ایران (۱۴ شهر مختلف) به این نتیجه رسیدند که دمای سطح زمین برای بازه زمانی مورد مطالعه در محدوده‌های شهری، الزاماً با افزایش روبرو نبوده است و حتی در مواردی روندی کاهش داشته است. پدیده جزیره گرمایی در شب رخ می‌دهد و روز و شب در بیش‌تر این شهرها به سمت هم‌دمایی پیش می‌روند. همچنین اختلاف دمای

1 Zullo et al

2 Po Valley

3 Balew & Korme

4 Bahir Dar

5 Espinoza-Molina et al

6 Xi et al

بین این شهرها با حومه آن‌ها در حال کاهش است. در پژوهشی دیگر صلاحی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از داده‌های دو ماهواره تررا و آکوا، شیب دمایی سطح زمین در ایران را بررسی کردند. بر اساس یافته‌های ایشان، تغییرات زمانی- مکانی چشم‌گیری در شیب دمای سطح زمین ایران دیده می‌شود؛ این تغییرات از شرایط محیطی و تغییرات دریافت تابش خورشیدی اثر می‌پذیرد. اثر ناهمواری‌ها و پهنه‌های آبی در کاهش شیب دمای سطح زمین به‌خوبی دیده می‌شود. در مقابل، پستی‌ها و مناطق بیابانی، به سبب خشکی خاک، شیب‌های دمایی مثبت و بیش‌تر را تجربه می‌کنند. در ماه‌های مختلف سال شیب‌های دمایی صفر تا +۱ درجه و +۱ تا +۲ درجه کلون بر ساعت گستره بیش‌تری از ایران را پوشش می‌دهند؛ با این حال در دوره سرد سال شیب‌های صفر تا -۱ درجه کلون بر ساعت، به‌ویژه بر بلندی‌های البرز و زاگرس گسترش می‌یابند. مسعودیان و کیخسروی کیانی (۱۳۹۶) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نقش دمای سطح زمین در پراکنش پوشش برف ایران را مورد واکاوی قرار دادند. آنان ابتدا داده‌های دمای سطح زمین را از سنجنده مودیس ماهواره تررا از تارنمای ناسا برای بازه زمانی ۱۳۸۲-۱۳۹۳ در تفکیک مکانی ۱×۱ کیلومتری دریافت کردند. سپس برای بررسی پوشش برف کشور نیز از داده‌های سنجنده مودیس ترا و مودیس آکوا برای بازه‌های زمانی ۱۳۸۲-۱۳۹۳ در تفکیک مکانی ۵۰۰×۵۰۰ بهره گرفتند. یافته‌های ایشان نشان داد مناطقی که میانگین سالانه دمای سطح آن‌ها کم‌تر از ۳۰ درجه سلسیوس است، برای نشست پوشش برف به‌طور نسبی مهیا هستند و از ارتفاع ۱۷۰۰ متر به بالا دمای سطح زمین در ایران به کم‌تر از ۳۰ درجه سلسیوس می‌رسد. واکاوی پیوند میان شمار روزهای برف‌پوشان با میانگین دمای سطح زمین آشکار ساخت، میانگین دمای سطح زمین در مناطقی از ایران که به‌طور میانگین هیچ‌گونه پوشش برفی ندارد ۳۷ درجه سلسیوس است و بیش‌ترین شمار روزهای برف‌پوشان در کشور در مناطقی است که میانگین سالانه دمای سطح آن‌ها صفر درجه سلسیوس است. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی به مطالعه دمای شب‌هنگام سطح ایران در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ پرداختند. یافته‌ها حاکی از رخداد کمینه دمای سطح در ماه‌های سپتامبر تا فوریه و منطبق بر الگوی ارتفاعات و ناهمواری‌ها، به‌ویژه نیمه غربی، شمالی و شمال غرب و شمال خراسان است. همچنین مشخص شده ماه سپتامبر به‌عنوان ماه گذار از دوره گرم سال به دوره سرد سال و ماه مارس به‌عنوان ماه گذار از دوره سرد سال به دوره گرم است. کانون دماهای گرم شب‌هنگام سطح زمین نیز در ماه‌های مختلف سال و به‌ویژه از آوریل تا سپتامبر بر مناطق گرمسیری حکم‌فرمایی می‌کنند. آباد و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس دمای روزهنگام حوضه جازموریان را طی دوره ۲۰۱۹-۲۰۰۳ بررسی کردند. یافته‌های ایشان نشان داد که مقادیر LST در حوضه آبریز جازموریان از ۲۰ تا ۵۵ درجه سلسیوس متغیر بوده و به‌روشنی از ارتفاعات و عرض جغرافیایی تبعیت می‌نماید. واکاوی فصلی از توزیع فضایی LST، فصول زمستان و تابستان را به ترتیب با دامنه‌ای از ۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس و ۳۵ تا ۶۵ درجه سلسیوس به‌عنوان سردترین و گرم‌ترین فصول نشان داده است. همچنین در بررسی توزیع فضایی LST ماهانه، ژانویه و فوریه از کمترین و ژوئن و جولای از بیشترین مقدار LST برخوردار بودند. روند سری زمانی آنومالی LST بیانگر افزایش حدود ۵/۰ درجه سلسیوس در دوره مورد مطالعه است. همچنین نتایج ایشان نشان داد که توزیع فضایی LST نشان‌دهنده بیشینه آنومالی مثبت در بخش‌های جنوب غربی و مرکزی و کمینه آنومالی مثبت در شرق حوضه است. مزیدی و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی با استفاده از داده‌های لندست ۵ و ۸ به تغییرات زمانی جزایر حرارتی شهر کرمان طی دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ پرداختند. نتایج نشان داد که در فصل تابستان و زمستان میزان دمای سطح زمین دارای روند صعودی بوده است اما جزیره حرارتی فقط در فصل تابستان رخ داده است. به‌طوری‌که در تابستان سال ۲۰۰۹ تراکم دمای خیلی گرم کمتر از ۳۰ درصد بوده است اما با گذشت زمان و در سال ۲۰۲۲ در فصل تابستان بیش از ۶۰ درصد منطقه شهری دارای دمای خیلی گرم بوده است. همچنین قسمت‌هایی از غرب به سمت جنوب شهر به دلیل وجود زمینه‌ای بایر و همچنین به دلیل عدم بهره‌مندی از سازوکارهای خنک‌کنندگی تبخیر و تعرق، دارا بودن ظرفیت بالای جذب گرما در کنار ظرفیت هدایتی پایین، هسته اصلی جزایر حرارتی را تشکیل داده‌اند. آزمون آماری من-

کندال نیز حاکی از روند صعودی دما به خصوص در سال‌های اخیر است؛ میزان این افزایش دما در یک دوره ۲۵ ساله حدود ۱/۵ درجه سلسیوس بوده است. در یک مطالعه منصور مقدم و همکاران (۱۴۰۳) اثر خشکی زاینده‌رود بر تغییرات دمای سطح زمین و پوشش گیاهی را مورد ارزیابی قرار دادند. طبق نتایج به دست آمده در سال‌های خشک مقادیر NDVI و NDWI میل به مقادیر مثبت کوچک و در سال‌های ترسالی میل به مقادیر منفی کوچک‌تر داشتند. همچنین سال‌های خشک دارای LST بیشتر بوده و مساحت بیشتری از کلاس‌های گرم دمایی را به خود اختصاص داده بودند.

هدف اصلی این پژوهش، بررسی روند تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح کویر درانجیر با تمرکز بر پارامتر کلیدی دمای سطح زمین (LST) که تغییر در نوسانات آن تأثیر قطعی بر روی فرایندهای انسانی و طبیعی در حوضه مورد نظر دارد. نتایج این تحقیق می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت برای مقابله با چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی، از جمله تشدید پدیده‌های آب و هوایی شدید مانند موج‌های گرما و سرما، تغییر در کاربری زمین کشاورزی مؤثر باشد. با توجه به نوع سنجنده مطالعه شده در اکثر تحقیقات گذشته و انجام مطالعات در دوره‌های کوتاه‌مدت؛ در تحقیق حاضر تا حد امکان سعی بر آن شد که این نقص اصلاح و مناسب‌ترین سنجنده با طول دوره مناسب برای حوضه مورد نظر با توجه به داده‌های موجود در نظر گرفته شود.

۲ داده‌ها و روش‌ها

حوضه کویر در انجیر یکی از حوضه‌های بسته ایران است که در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز ایران حوضه فرعی به شمار می‌رود و زیرمجموعه حوضه آبریز مرکزی است (شکل ۱). این حوضه در عرض جغرافیایی ۲۹ تا ۳۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ تا ۵۸ درجه شرقی با مساحت ۵۸۵۰۸ کیلومترمربع به‌عنوان حوضه آبریز مناطق جنوب یزد و شمال کرمان شناخته می‌شود. این حوضه از جنوب به کوه‌های لاله‌زار و بیدخان و از شمال به کوه‌های راین و پلوار محدود می‌شود و دشت‌های کم شیب آن از جنوب شرق به شمال غربی امتداد یافته‌اند. رودهای اصلی این حوضه از کوه‌های کرمان سرچشمه می‌گیرند و به کویر درانجیر در غرب بافق می‌ریزند. با توجه به عدم پراکنش مناسب و کافی ایستگاه‌های هواشناسی زمینی در منطقه، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای آسان‌ترین و کارآمدترین راه جهت هرگونه مطالعه محیطی است. از طرف دیگر به دلیل بکر بودن و عدم انجام هرگونه مطالعه جامع روی این منطقه آشکارسازی تغییرات ضروری است. در دهه‌های اخیر گرمایش جهانی و خشک‌سالی‌های پی‌پی باعث مشکلات زیست‌محیطی و دگرگونی عناصر آب و هوایی به‌ویژه وضعیت حرارتی سطح منطقه شده که نیازمند پژوهشی در این زمینه است.

از آنجایی که ارتفاع نقش چشمگیری بر روی دمای سطح زمین دارد، برای درک بهتر از شرایط محیطی حوضه مورد مطالعه از داده‌های مدل رقومی ارتفاع برای منطقه مورد مطالعه حاصل از وبسایت ناسا بهره گرفته شد (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>). سیستم تصویر و تفکیک مکانی این داده‌ها منطبق بر داده‌های دمای سطح زمین، سینوسی ۱ و ۱۰۰۰ متر انتخاب شده است. در شکل ۲ مدل رقومی ارتفاع کویر درانجیر نشان داده شده است. بر اساس این داده‌ها کمترین ارتفاع در داده‌های مدل رقومی ۹۱۴ متر در چاله بافق واقع در شمال حوضه و بالاترین آن ۴۴۵۰ متر در ارتفاعات لاله‌زار واقع در جنوب حوضه مشاهده می‌شود. میانگین ارتفاع حوضه آبریز درانجیر ۱۹۱۹ متر است به همین دلیل از آن به‌عنوان کویر درانجیر نام برده می‌شود.

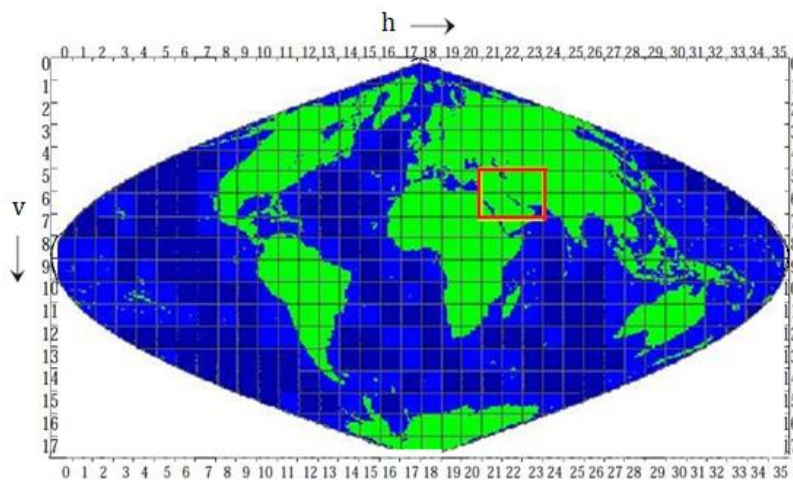
¹ Sinusoidal Projection

۲،۱ دمای سطح زمین

سنجنده مودیس در تاریخ ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ با موفقیت توسط سازمان ناسا به فضا پرتاب شد. این سنجنده بر روی دو ماهواره ترا^۱ و آکوا^۲ نصب شده است که هر روز دو بار و جمعاً چهار مرتبه از تمام سطح زمین تصویربرداری می‌کنند و داده‌هایی در ۳۶ باند طیفی (طول موج‌های ۰/۴-۱۴/۴ میکرومتر) با قدرت تفکیک ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری برداشت می‌کنند. در این پژوهش داده‌های روزانه محصول MYD11A1 با تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر در بازه زمانی ۲۰۰۳/۱/۱ تا ۲۰۲۲/۱۲/۳۰ میلادی به مدت ۷۳۰۵ روز از وبگاه ناسا استخراج شد. با انتخاب این محصول و ماهواره آکوا، به دلیل زمان مناسب عبور آن از روی منطقه به بررسی دقیق‌تر دمای سطح حوضه کویر درانجیر پرداخته شد. از آنجاکه ماهواره خورشید آهنگ^۳ ترا در ساعت ۱۰،۳۰' صبح و ۲۲،۳۰' شب هنگام از فراز ایران گذر می‌کند نمی‌تواند تصویر دقیقی از ترازمندی انرژی ارائه بدهد، به همین دلیل ماهواره آکوا که در ساعت ۱،۳۰' شب و ۱۳،۳۰' ظهر ایران را رصد می‌کند انتخاب شده است. دلیل اصلی این انتخاب بالا بودن ترازمندی انرژی در میانه روز و میانه شب است. از آنجاکه دوره آماری ترا بیشتر از آکوا است علی‌القاعده می‌باید این ماهواره انتخاب می‌شد، اما داده‌های ماهواره آکوا به دلایل توصیف‌شده بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (وان، ۲۰۱۳).

۲،۲ پیش‌پردازش داده‌ها

در سیستم تصویر سینوسی کره زمین به صورت کاشی‌های مربعی شکل تقسیم‌بندی شده است (شکل ۳). منطقه کویر درانجیر در دو کاشی با نام‌های H۲۲۷۰۵ و H۲۲۷۰۶ واقع شده است. از این‌رو برای بررسی روند دمای سطح کویر درانجیر، داده‌های دمای سطح این دو کاشی از وبگاه ناسا اخذ گردید. در درون کاشی‌های هر یک از فرآورده‌ها، فیلدهای گوناگونی وجود دارد. در گام دوم اطلاعات فیلد اول که نشان‌دهنده دمای روز هنگام سنجنده مودیس- آکوا بود، انتخاب گردید و مبنای پردازش‌ها قرار گرفت. در گام سوم با تابع inpolygon در نرم‌افزار متلب تنها داده‌هایی که درون حوضه آبریز درانجیر بود، انتخاب شدند. پس از آماده‌سازی داده‌های مورد مطالعه، روند دمای سطح کویر درانجیر در مقیاس فصلی و سالانه انجام گرفت.



شکل ۳. چارچوب کاشی‌های ۱۲۰۰×۱۲۰۰ کیلومتری در سیستم تصویر سینوسی مودیس

منبع: <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

¹ Terra

² Aqua

³ Wan

۲،۳ آزمون ناپارامتریک من- کندال

این آزمون توسط من^۱ (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال^۲ (۱۹۴۸) توسعه یافت و بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. امتیاز این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از رتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها است که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و نیازی به تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال نیست (عساکره، ۱۳۹۰). اثرپذیری ناچیز این آزمون از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای آن به شمار می‌رود. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (ژانگ و همکاران^۳، ۲۰۰۰). مراحل محاسبه این آزمون به شرح زیر است:

۱- محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S:

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

n تعداد مشاهدات داده‌ها x_k و x_j ترتیب داده‌های متوالی kام و زام سری می‌باشند. در این رابطه $k, j \leq n$ است و $k \neq j$.

Sgn تابع علامت است و تابع علامت از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

درواقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان بجای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه موردنظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. به این دلیل، این آزمون یک آزمون بر پایه مرتبه داده‌ها است.

۲- محاسبه واریانس به کمک روابط (۳ و ۴):

$$\text{Var}(s) \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \leq \text{if } n > 10 \quad (3)$$

$$\text{Var}(s) \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \leq \text{if } n \leq 10 \quad (4)$$

در این رابطه n تعداد مشاهدات و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر شمار داده‌های با ارزش یکسان است.

۳- آماره Z استاندارد شده به کمک رابطه زیر محاسبه می‌شود:

¹ Mann

² Kendal

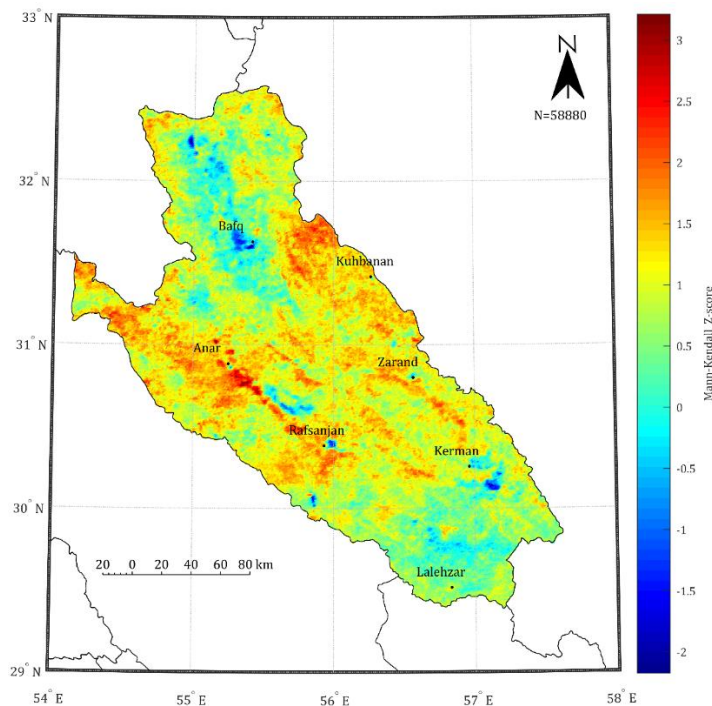
³ Zhang et al

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} \dots \text{if } \dots s > 0 \\ 0 \dots \text{if } \dots s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} \dots \text{if } \dots s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

این آزمون، یک آزمون دوطرفه است. در آزمون دوطرفه روند اگر رابطه $Z \leq Z^{\alpha/2}$ در سطح اطمینان ۹۰٪ برقرار باشد، باید فرض H_0 (تصادفی بودن داده‌ها) را پذیرفت. در غیر این صورت باید فرض H_1 (وجود روند) را پذیرفت. اگر معنی‌داری در سطح $\alpha = 0/1$ آزمون شد، فرض H_0 در صورتی رد می‌شود که $Z > Z_{0.95} = 1.96$ مقادیر مثبت Z روند صعودی و مقادیر منفی روند نزولی را در داده‌ها نشان می‌دهد (ویوکاناندان^۱، ۲۰۰۷).

۳ نتایج و بحث

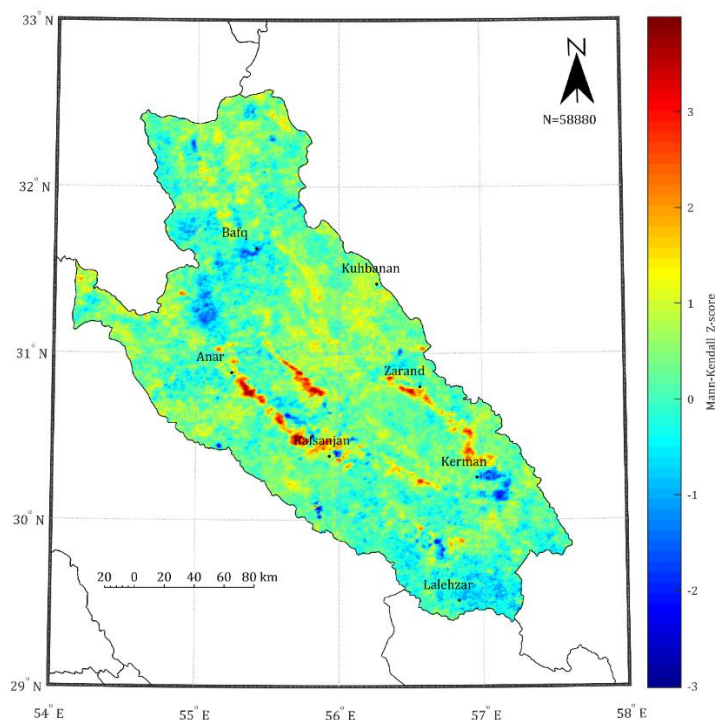
پدیده تغییر و نوسانات در دمای سطح زمین در سال‌های اخیر به‌طور چشمگیری بیشتر شده است. شدت و نشانه (مثبت/منفی) این تغییرات نیز در مکان و زمان مختلف برای حوضه مورد مطالعه نیز صدق می‌کند. شکل ۴ روند دمای سطح کویر درانجیر در فصل زمستان طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. رنگ قرمز نشانه روند مثبت و رنگ آبی نشانه روند منفی دمای سطح زمین در کویر درانجیر است. محاسبات نشان می‌دهد که در این فصل در بیش از ۹۵ درصد گستره کویر درانجیر دما افزایشی بوده و این مقدار نسبت به فصول دیگر بیشینه است. این افزایش روند به‌ویژه در نواحی غرب و شرق حوضه کویر درانجیر دیده می‌شود. در چاله بافق واقع در شمال حوضه و چاله‌های جنوب رفسنجان و کرمان نیز به دلیل آبگیر شدن آن، روند کاهشی دمای سطح را نشان می‌دهد که حدود ۴ درصد حوضه را در برمی‌گیرد.



شکل ۴. میزان روند دمای سطح کویر درانجیر در فصل زمستان در دوره ۲۰ ساله (۲۰۰۳-۲۰۲۲)

¹ Vivekanandan

شکل ۵ روند دمای سطح کویر درانجیر در فصل بهار طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. در این فصل از گستره روند مثبت کاسته شده و به ۶۹ درصد گستره رسیده است اما گستره روند منفی به شدت افزایش یافته و به حدود ۲۷ درصد گستره رسیده است. این روند منفی علاوه بر ارتفاعات لاله‌زار، در چاله‌های جنوب کرمان، جنوب رفسنجان و بافق نیز دیده می‌شود. به نظر می‌رسد افزایش روند دمای سطح زمین بین شهرستان‌های کرمان - زرنند و رفسنجان - انار که به رنگ سرخ نشان داده شده، می‌تواند ناشی از خشک شدن رودخانه‌های فصلی شور سیریز و شور رفسنجان طی دو دهه اخیر باشد. این موضوع طبیعی به نظر می‌رسد چراکه با خشک شدن رودخانه و کاهش رطوبت کف رودخانه، دمای سطح آن به شدت افزایش می‌یابد.

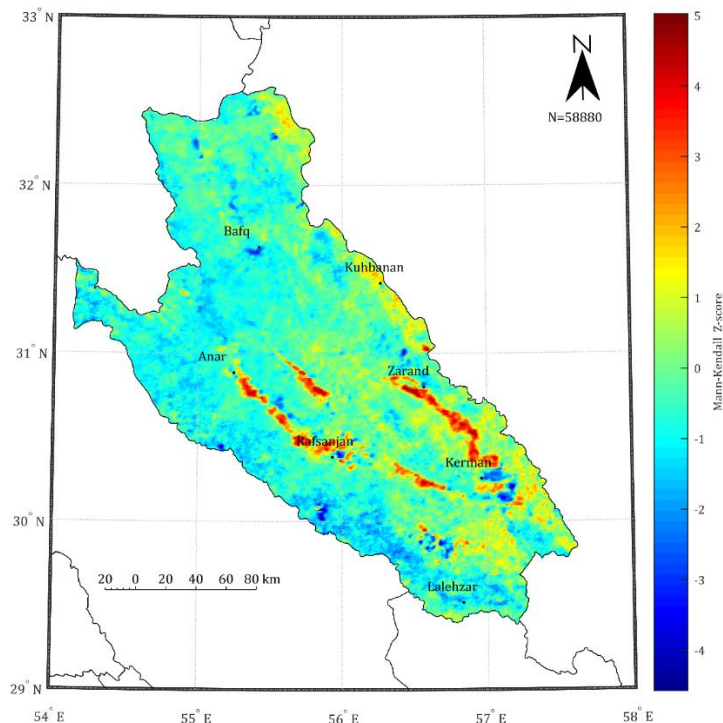


شکل ۵. میزان روند دمای سطح کویر درانجیر در فصل بهار در دوره ۲۰ ساله (۲۰۰۳-۲۰۲۲)

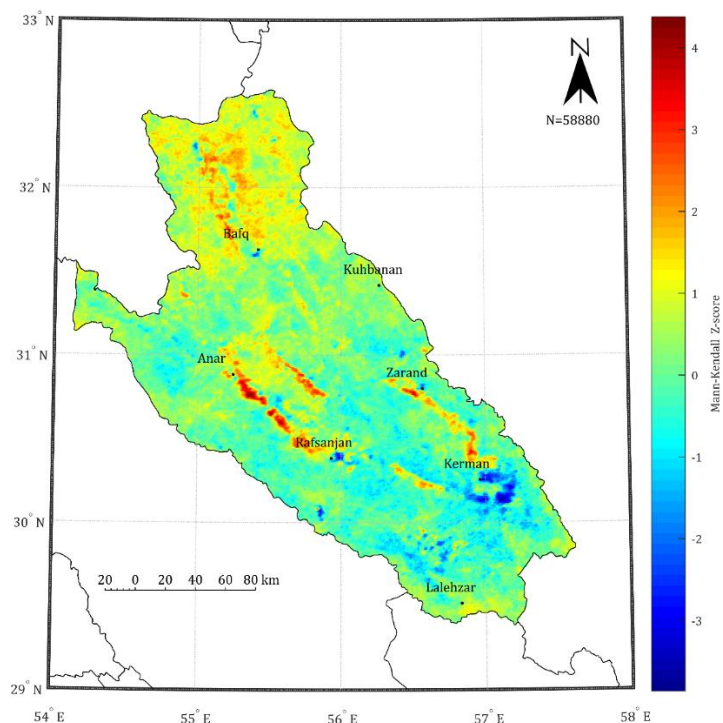
شکل ۶ روند دمای سطح کویر درانجیر در فصل تابستان طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد که در این فصل درصد گستره روند مثبت و منفی برعکس شده و حدود ۶۹ درصد گستره کویر روند دمای سطح زمین منفی و ۲۹ درصد گستره آن روند مثبت بوده است. این یافته در تضاد با انتظار اولیه مبنی برافزایش دمای سطح در پی خشک شدن رودخانه‌ها است. بررسی‌های بیشتر نشان می‌دهد که عوامل متعددی از جمله تغییرات در الگوی بارندگی، پوشش ابر و آلودگی می‌توانند بر دمای سطح تأثیرگذار باشند. درحالی‌که خشک شدن رودخانه‌ها به‌طور محلی باعث افزایش دمای سطح شده است، عوامل دیگری ممکن است باعث کاهش دمای کلی سطح کویر شده باشند. این موضوع نشان می‌دهد که رابطه بین افزایش دما در حوضه موردنظر پیچیده‌تر از آنچه در ابتدا تصور می‌شد است.

شکل ۷ روند دمای سطح کویر درانجیر در فصل پاییز طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهد که طی فصل پاییز بیش از ۶۰ درصد گستره کویر درانجیر روند دمای سطح زمین مثبت و حدود ۳۶ درصد گستره آن روند منفی بوده است. در این فصل از سال گذشته از افزایش دمای بستر رودخانه‌ها که در فصل پیش بیان شد، دمای سطح چاله بافق نیز روند افزایشی داشته است. این موضوع بیان‌گر آن است که در فصل پاییز چاله بافق خشک‌تر شده و دمای آن افزایش یافته است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که دریاچه‌های

جنوب کرمان و رفسنجان طی دو دهه اخیر آبیگرتر شده و روند دمایی منفی را نشان می‌دهند. در برخی از این مناطق دمای سطح ۲-۳ درجه سلسیوس کاهش یافته است.

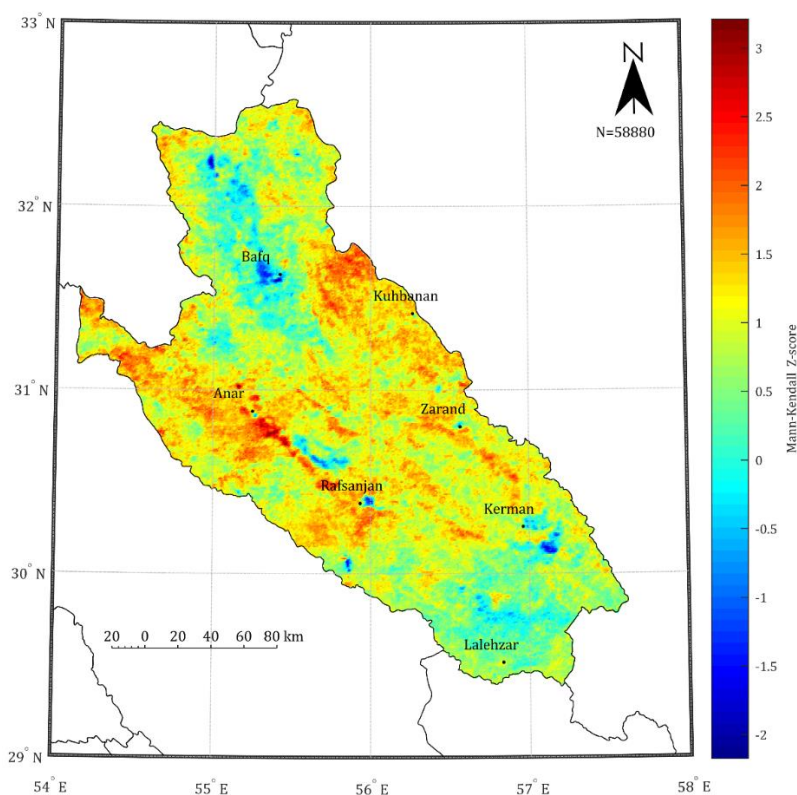


شکل ۶. میزان روند دمایی سطح کویر درانجیر در فصل تابستان در دوره ۲۰ ساله (۲۰۰۳-۲۰۲۲)



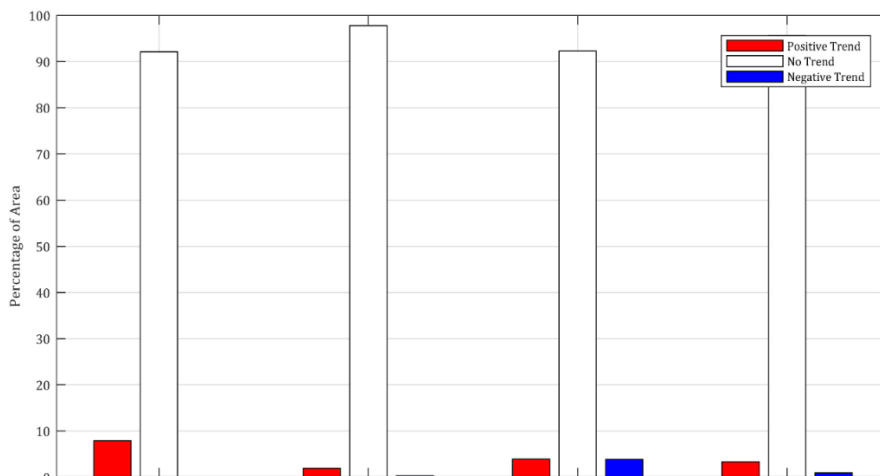
شکل ۷. میزان روند دمایی سطح کویر درانجیر در فصل پاییز در دوره ۲۰ ساله (۲۰۰۳-۲۰۲۲)

شکل ۸ روند سالانه دمای سطح کویر درانجیر طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. به‌طور کلی بررسی روند بلندمدت دمای سطح کویر درانجیر طی دو دهه اخیر گویای آن است که در بخش وسیعی از کویر درانجیر (حدود ۷۲ درصد) روند دمای سطح زمین مثبت (افزایشی) بوده است. این روند افزایشی دما به‌ویژه در بستر رودخانه شور سیریز و رودخانه شور رفسنجان به‌وضوح دیده می‌شود. به نظر می‌رسد مقادیر افزایشی این نواحی به دلیل خشک شدن آن و در نتیجه کاهش شدید رطوبت سطحی در بلندمدت بوده باشد. همچنین کوه‌های لاله‌زار از جمله مناطقی هستند که در دو دهه اخیر روند مثبت دمای سطح را نشان داده‌اند. از آنجایی که این روند مثبت بیشتر در فصول سرد سال (پاییز و زمستان) اتفاق افتاده، یکی از دلایل اصلی آن می‌تواند کاهش پوشش برفی در دو دهه گذشته باشد (کیخسروی کیانی و مسعودیان، ۱۳۹۶). از طرف دیگر وجود سدهای احداث شده در جنوب کرمان، رفسنجان و چاله بافق و آبیگر شدن آن‌ها در سال‌های اخیر روند منفی (کاهش) دمای سطح زمین در این نواحی را نشان می‌دهد. این نواحی حدود ۲۵ درصد گستره حوضه را پوشش داده است. مابقی سطح کویر درانجیر که حدود ۳ درصد گستره حوضه را شامل می‌شود، روندی را نشان نمی‌دهد.



شکل ۸. میزان روند سالانه دمای سطح کویر درانجیر در دوره ۲۰ ساله (۲۰۰۳-۲۰۲۲)

شکل ۹ درصد گستره روند دمای سطح کویر درانجیر در فصول مختلف با سطح اطمینان ۹۰ درصد را نشان می‌دهد. رنگ سرخ نشانه روند مثبت، رنگ سفید نشانه بدون روند و رنگ آبی نشانه روند منفی دمای سطح کویر درانجیر است. نتایج در سطح اطمینان ۹۰ درصد نشان داد که بیش از ۹۰ درصد از گستره ایران در تمامی فصول سال بدون روند است. علاوه بر این در تمامی فصول سال گستره روند مثبت بیشتر از روند منفی بوده است. این موضوع به‌ویژه در فصل زمستان آشکارتر بوده و بیانگر آن است که دمای سطح حوضه درانجیر در زمستان‌های اخیر نسبت به زمستان‌های گذشته افزایش یافته است. البته این افزایش دما تنها در ۷ درصد از گستره حوضه مشاهده می‌شود و بقیه مناطق حوضه (۹۳ درصد گستره) روندی را نشان نمی‌دهد.



شکل ۹. درصد گستره روند دمای سطح کویر درانجیر در فصول مختلف با سطح اطمینان ۹۰ درصد

۴ نتیجه‌گیری

در این نوشتار برای بررسی روند دمای سطح کویر درانجیر از داده‌های روزانه محصول MYD11A1 سنجنده مودیس- آکوا در دوره ۲۰۰۳/۱/۱ تا ۲۰۲۲/۱۲/۳۰ با تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر بهره گرفته شد. پس از پردازش داده ها، روند بلندمدت فصلی و سالانه دمای سطح کویر درانجیر محاسبه گردید. نتایج روند در مقیاس بلندمدت فصلی نشان داد که در فصل زمستان بخش وسیعی از کویر درانجیر (حدود ۹۵ درصد گستره) روند دمای سطح زمین افزایش یافته است. به نظر می‌رسد افزایش دمای سطح در فصل زمستان می‌تواند به دلیل کاهش بارندگی، برف و پوشش گیاهی طی سال‌های اخیر باشد. در فصل تابستان شرایط متفاوت است. در این فصل حدود ۷۰ درصد گستره کویر درانجیر روند دمای سطح زمین منفی (کاهش) و حدود ۳۰ درصد گستره آن روند مثبت (افزایشی) است. به نظر می‌رسد که روند مثبت در محور کرمان - زرنده و رفسنجان - انار می‌تواند ناشی از خشک شدن رودخانه شور سیریز و رودخانه شور رفسنجان طی دو دهه اخیر باشد. این موضوع طبیعی به نظر می‌رسد چراکه با خشک شدن رودخانه و کاهش رطوبت کف رودخانه، دمای سطح آن به شدت افزایش یافته است. در فصل پاییز به دلیل خشک‌سالی‌های اخیر علاوه بر محورهای ذکرشده، چاله بافق نیز روند افزایشی دمای سطح را نشان می‌دهد. پژوهش‌های انجام‌شده بر روی دمای سطح ایران‌زمین هماهنگ با این ایده است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ کربلایی و همکاران، ۱۴۰۰؛ احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج روند در مقیاس بلندمدت سالانه نشان داد که طی دو دهه اخیر روند دمای سطح زمین در ۷۵ درصد سطح حوضه کویر درانجیر افزایشی بوده است. به دلیل خشک شدن رودخانه‌ها و در نتیجه کاهش رطوبت سطح آن‌ها، بخشی از این روند افزایشی در بستر رودخانه شور سیریز و رودخانه شور رفسنجان دیده می‌شود. بخشی دیگر از این روند افزایشی در ارتفاعات لاله‌زار دیده می‌شود. یکی از دلایل اصلی روند افزایشی دمای سطح این منطقه می‌تواند ناشی از کاهش پوشش برفی طی دو دهه گذشته باشد (کیخسروی‌کیانی و مسعودیان، ۱۳۹۶؛ کفایت مطلق و همکاران، ۲۰۲۴). بررسی‌های بیشتر نشان داد که وجود سدهای احداث‌شده در جنوب کرمان، رفسنجان و چاله بافق و آبرگیر شدن آن‌ها در سال‌های اخیر عامل روند منفی (کاهش) دمای سطح زمین در این نواحی است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۶؛ کیخسروی‌کیانی و مسعودیان، ۱۴۰۰).

¹ Kefayat Motlagh et al

References

- Ahmadi, M., & Ahmadi, H. (2018). Monitoring of the night time land surface temperature in Iran based on output of the MODIS. *Geographical Research*, 33(1), 174-190. (In Persian) doi: [10.29252/geores.33.1.174](https://doi.org/10.29252/geores.33.1.174)
- Ahmadi, M., Mirzaei, Z. S., & Dadashiroudbari, A. (2021). Investigation of seasonal distribution and abnormal trend of day and night surface temperature in Iran using MODIS sensor data. *Physical Geography Research*, 53(3), 351-364. (In Persian) doi: [10.22059/jphgr.2021.323144.1007615](https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.323144.1007615)
- Abad, B., Raispour, K., & Moradi, M. (2021). Satellite Monitoring of Daytime Land Surface Temperature (LST) of Jazmourian Catchment Using MODIS Sensor Products. *Physical Geography Quarterly*, 14(52), 63-81. (In Persian) <https://sanad.iau.ir/Journal/jopg/Article/982791>
- 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) doi: [10.22059/jphgr.2016.60823](https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.60823)
- Keikhosravi Kiany, M., & Masoodian, S. A. (2021). Climatology of snow cover accumulation and melting in Iran using MODIS data. *Physical Geography Research*, 53(1), 109-121. (In Persian) doi: [10.22059/jphgr.2021.290500.1007446](https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.290500.1007446)
- Azizi, G., Rahimi, M., Mohammadi, H., & Khoshakhlagh, F. (2017). Spatio-temporal variations of snow cover in the southern slope of central Alborz. *Physical Geography Research*, 49(3), 381-393. (In Persian) doi: [10.22059/jphgr.2017.217393.1006943](https://doi.org/10.22059/jphgr.2017.217393.1006943)
- Z. Ghezlbash, M. Momeni, (2012). Evaluation of LST and Urban Heat Island changes using MODIS LST data in some Iranian cities, *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2(2), 29. (In Persian) magiran.com/p1116369
- Keikhosravi, M., & Masoodian, A. (2017). Trend analysis of snow-covered days in Iran based on remote sensing data. *Geography and Environmental Planning*, 28(1), 49-60. (In Persian) doi: [20.1001.1.20085362.1396.28.1.5.8](https://doi.org/20.1001.1.20085362.1396.28.1.5.8)
- Keikhosravi Kinay, M., & 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*, 15(49), 189-204. (In Persian) doi: [10.22111/gdij.2017.3459](https://doi.org/10.22111/gdij.2017.3459)
- Mazidi, A., Rosta, I., & Mohammadi Ravari, F. (2023). Temporal Changes of Urban Heat Islands And its Relationship with Air Pollution by Remote Sensing in Kerman City. *Climate Change Research*, 4(14), 103-120. (In Persian) doi: [10.30488/ccr.2023.404996.1151](https://doi.org/10.30488/ccr.2023.404996.1151)
- 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) doi: [10.22111/jneh.2016.2657](https://doi.org/10.22111/jneh.2016.2657)

- Mansourmoghaddam, M., Naghipur, N., Rezaei, M. and Rousta, I. (2024). Quantifying the Zayandeh Rud River drying effects on land surface temperature and adjacent vegetation cover changes over the past 33 years using satellite images. *Climate Change Research*, 5(18), 1-30. (In Persian) doi: [10.30488/ccr.2024.425449.1175](https://doi.org/10.30488/ccr.2024.425449.1175)
- Karbalaee, A. R., Beygam Hejazizadeh, Z., Masoodian, S. A. and Keikhosravi kiany, M. (2021). Trend Analysis of Land surface temperature using Remote Sensing Data in Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(2), 93-109. (In Persian) doi: [10.22067/geoeh.2021.69462.1035](https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.69462.1035)
- Asakereh, H. (2011). *Fundamentals of statistical climatology*. Zanjan University of Publishers. (In Persian)
- Balew, A., & Korme, T. (2020). Monitoring land surface temperature in Bahir Dar city and its surrounding using Landsat images. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(3), 371-386.
- Eleftheriou, D., Kiachidis, K., Kalmintzis, G., Kalea, A., Bantasis, C., Koumadoraki, P., ... & 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.
- Espinoza-Molina, J., Acosta-Caipa, K., Chambe-Vega, E., Huayna, G., Pino-Vargas, E., & Abad, J. (2022). Spatiotemporal analysis of urban heat islands in relation to urban development, in the vicinity of the atacama desert. *Climate*, 10(6), 87. <https://search.earthdata.nasa.gov/search/>.
- Kefayat Motlagh, O. R., Khosravi, M., & Masoodian, S. A. (2024). The effects of snow on albedo in the mountains of Iran using MODIS data. *Theoretical and applied climatology*, 155(2), 1103-1112.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Measures*, 202 pp. London: Charles Griffin, 747, 251-266.
- Khorchani, M., Vicente-Serrano, S. M., Azorin-Molina, C., Garcia, M., Martin-Hernandez, N., Peña-Gallardo, M., ... & 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.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.
- Pal, S., & Ziaul, S. K. (2017). Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1), 125-145.
- Pandey, P. C., Chauhan, A., & Maurya, N. K. (2022). Evaluation of earth observation datasets for LST trends over India and its implication in global warming. *Ecological Informatics*, 72, 101843.

- Qin, J., Yang, K., Liang, S., & Guo, X. (2009). The altitudinal dependence of recent rapid warming over the Tibetan Plateau. *Climatic Change*, 97(1), 321-327.
- Shakiba, F., Rousta, I., Mazidi, A., & Olafsson, H. (2024). Spatial and temporal variation of day and night time land surface temperature and its drivers over Iran's watersheds using remote sensing. *Earth Science Informatics*, 1-21.
- Vivekanandan, N. (2007, July). Analysis of trend in rainfall using non parametric statistical methods. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 923, No. 1, pp. 101-113). American Institute of Physics.
- Wan, Z. (2013). *Collection-5 MODIS land surface temperature products users' guide*. ICES, University of California, Santa Barbara, 400.
- Wen, J., Su, Z., & Ma, Y. (2003). Determination of land surface temperature and soil moisture from Tropical Rainfall Measuring Mission/Microwave Imager remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D2), ACL-2.
- Xi, M., Zhang, W., Li, W., Liu, H., & Zheng, H. (2023). Distinguishing dominant drivers on LST dynamics in the Qinling-Daba Mountains in Central China from 2000 to 2020. *Remote Sensing*, 15(4), 878.
- Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W. D., & Niitsoo, A. (2000). Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmosphere-ocean*, 38(3), 395-429.
- Zhong, L., Su, Z., Ma, Y., Salama, M. S., & Sobrino, J. A. (2011). Accelerated changes of environmental conditions on the Tibetan Plateau caused by climate change. *Journal of Climate*, 24(24), 6540-6550.
- Zullo, F., Fazio, G., Romano, B., Marucci, A., & Fiorini, L. (2019). Effects of urban growth spatial pattern (UGSP) on the land surface temperature (LST): A study in the Po Valley (Italy). *Science of the Total Environment*, 650, 1740-1751.