

تحلیل شاخص‌های حدی دما در آشکارسازی تغییر اقلیم خراسان بزرگ

محمود احمدی^۱، حسن لشکری^۲، قاسم کیخسروی^۳ و مجید آزادی^۴

تاریخ وصول: ۱۳۹۳/۷/۲۲، تاریخ تایید: ۱۳۹۳/۹/۱

چکیده

تغییرات آب و هوایی با تغییر الگوهای اقلیمی و به هم ریختن نظم اکوسیستم‌ها، عواقب جدی بر محیط زیست وارد می‌کند. تغییر در این الگوها می‌تواند به گرم شدن جهانی هوا و پیامد وقوع سیل‌ها، گرما و سرماهای شدید، تکرار بیشتر خشکسالی‌ها و... منجر شود. این امر در خراسان بزرگ به سبب وسعت زیاد و ویژگیهای طبیعی خاص و عواملی مانند وجود رشته کوه‌های مرتفع و مناطق کویری، دوری از پهنه‌های آبی و وزش بادهای مختلف موجب گوناگونی آب‌وهوا در هر یک از مناطق آن شده است. هدف از این پژوهش بررسی ۱۶ شاخص حدی دما در منطقه خراسان بزرگ به‌منظور آشکارسازی تغییرات اقلیمی است. روش کار از ۲۵ سال آمار دمای روزانه ایستگاههای سینوپتیک (۱۴ ایستگاه) طی سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۱ براساس تحلیل اماری استفاده گردید. نتایج نشان داد، ایستگاههای محدودی از جمله قوچان و سبزوار در تعدادی از نمایه‌های حدی دما (CSDI, TR₂₀, TN_X, FD, TN10p) روند کاهشی را نشان می‌دهند، در سایر ایستگاهها در بیش از ۹۰ درصد درچار تغییرات دمایی از نوع گرمایشی می‌باشند. در بین شاخص‌ها، در مرتبه اول، شاخص‌های روزهای تابستانی، روزهای گرم، حداکثر دمای حداکثر، شب‌های گرم، طول دوره گرم، ۱۰۰ درصد روند افزایشی و شاخص روزهای سرد ۱۰۰ درصد روند کاهشی را نشان می‌دهند. همچنین شاخص‌های شب‌های حاره‌ای و حداکثر دمای حداقل، حداقل دمای حداقل با بیش از ۸۵ درصد روند افزایشی و شاخص شب‌های سرد با ۸۵ درصد روند کاهشی در مرتبه دوم قرار دارند. در مرتبه سوم، شاخص‌های حداقل دمای حداکثر، طول فصل رشد به ترتیب با ۷۱ و ۶۹ درصد روند افزایشی و شاخص روزهای یخبندان با ۷۱ درصد روند کاهشی قرار دارند. از این رو می‌توان نتیجه گرفت خراسان بزرگ، تغییرات شدید دمایی را، از نوع گرمایشی طی ۲۵ سال اخیر تجربه کرده است و با توجه به رفتارسنجی شاخص‌ها شدت این نوع تغییرات در دهه‌های آتی افزایش بیشتری داشته است.

کلیدواژگان: تغییر اقلیم، شاخص‌های حدی دما، خراسان بزرگ.

۱. استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی.

۲. دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی.

۳. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول)

۴. دانشیار اقلیم‌شناسی پژوهشکده هواشناسی.

مقدمه

تغییر اقلیم امروز یک مسئله جهانی است که مورد توجه محققان می‌باشد، تغییر اقلیم بر بسیاری از پدیده‌ها، عناصر و محیط زیست اطراف ما همچون اقتصاد، انرژی، کشاورزی، منابع آب، زندگی شهری، حمل و نقل، بهداشت و سلامت موثر است. به منظور بررسی پدیده تغییر اقلیم و عواقب مرتبط به آن در سال ۱۹۸۸ هیات بین‌الدول (IPCC)^۱ برای تغییر اقلیم به وسیله سازمان جهانی هواشناسی (WMO)^۲ و برنامه محیط زیست سازمان ملل (UNEP)^۳ پایه‌گذاری شد.

تغییرات دما، موضوعی است که امروزه مطالعات بی‌شماری را به خود اختصاص داده است. سناریوی گرمایش جهانی یکی از سناریوهای مطرح در سطوح ملی، منطقه‌ای و جهانی می‌باشد. در حال حاضر سرعت افزایش دما نسبت به گذشته افزایش چشمگیری داشته است. نتیجه تحقیقات نشان می‌دهد هر ساله تراز آب اقیانوس‌ها در اثر آب شدن یخچال‌ها، در حال افزایش است و حتی اگر مصرف تمام سوخت‌های فسیلی نیز قطع شود، تغییر اقلیم در افزایش تراز آب اقیانوس‌ها اتفاق خواهد افتاد (توکش^۴، ۲۰۰۲: ۹۷۷-۹۴۷).

اغلب عوامل تاثیرگذار اقلیمی مربوط به رخدادهای حدی هواشناسی است و طولانی شدن وقوع آنها باعث تغییر اقلیم در یک منطقه می‌شود. رخدادهای حدی، زمانی پتانسیل یک خطر بزرگ را دارند که به صورت ناگهانی، غیرقابل پیش‌بینی و با شدت زیاد رخ دهند. تاثیرات تغییرات اقلیمی غالباً در یک منطقه بزرگ خود را نشان می‌دهد و معمولاً فشار زیادی بر اکوسیستم‌های طبیعی و انسانی مناطق مختلف وارد می‌کند.

یافته‌های پژوهشگران علوم جوی نشان می‌دهد، تغییرات شدید رفتار سنج‌های جوی به ویژه طی دو قرن اخیر نشانه‌هایی از رخداد تغییر اقلیم است. علاوه بر تغییرات در مقادیر میانگین، مقادیر فرین نیز دست‌خوش تغییرات شده‌اند. نرخ تغییرات در مقادیر فرین شدیدتر و آشکارتر است. هیات بین‌دولت تغییر اقلیم نرخ افزایش متوسط دمای جهانی را طی این قرن بین ۶/۴-

-
1. Intergovernmental Panel on Climate Change
 2. World Meteorological Organization
 3. United Nation Environmental Program
 4. Turkesh

۱/۱ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی می‌کند (هیات بین‌دولت تغییر اقلیم، ۲۰۰۷: ۳۶۷-۳۶۵). بر اساس گزارش سال ۲۰۰۱ این هیات مناطق آسیایی در مقابل تغییر اقلیم آسیب‌پذیرتر هستند (مهمسافر و همکاران، ۲۰۱۱: ۵۸-۴۷).

خراسان بزرگ، به سبب وسعت زیاد از شرایط طبیعی بسیار متنوع و هر یک از نواحی آن دارای ویژگی‌های طبیعی خاصی می‌باشد. گستردگی استان و عواملی مانند وجود رشته‌کوه‌های مرتفع و مناطق کویری، دور از پهنه‌های آبی و وزش بادهای مختلف موجب گوناگونی آب و هوا در مناطق آن گردیده است.

فعالیت اصلی اقتصادی استان کشاورزی و فعالیت‌های مرتبط به آن است که به شدت به شرایط آب و هوایی منطقه وابسته است. با توجه به اینکه تغییر اقلیم در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه (به دلیل موقعیت جغرافیائی منطقه نسبت به گردش عمومی جو (سامانه‌های سیاره‌ای)، توپوگرافی، خصوصیات فیزیکی زمین (دشت‌ها، بیابانها، ارتفاعات، و جهت ارتفاعات) و فاصله از منابع رطوبتی) ممکن است متفاوت باشد، برای آنکه بتوان از هر رژیم اقلیمی حداکثر بهره اقتصادی را ببریم، لازم است قبل از انجام هر کاری، عناصر آب و هوایی و میزان تغییرات آن را در دوره‌های مختلف بررسی کنیم.

پیشینه تحقیق

مساله تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های بشر در چند دهه اخیر ضرورت مطالعات بیشتری را برای محققان در این زمینه فراهم نمود.

در این راستا در اواسط دهه ۷۰ میلادی مطالعاتی به منظور آشنایی با مفاهیم اصلی تغییر اقلیم انجام شده است. اگر چه علاوه بر فعالیت‌های بین‌المللی و توافقات جهانی در زمینه اقلیم و تغییرات آن، در سالهای اخیر و بدنبال گزارشات مربوط به افزایش گازهای گلخانه‌ای و درصد آنها و تغییرات اقلیمی مطالعاتی در سطح جهانی و منطقه‌ای توسط محققین و دانشمندان انجام شده است. ولی در سایر نقاط جهان محققانی در این زمینه به نتایج و دستاوردهایی دست

یافته‌اند. رپلاوسکی و هالپرت^۱ (۱۹۸۶) با استفاده از ترکیب ماهانه داده‌های بارش و دما، در یک دوره ۲۴ ماهه و تهیه نقشه سری‌های زمانی بارش و دما به این نتیجه رسیدند که بارش بالای نرمال در ۱۸ مورد از ۲۲ مورد (۸۱ درصد) که با آنسو همراه شده است از اکتبر شروع و تا مارس سال بعد که بخش‌هایی از جنوب شرقی ایالات متحده و شمال مکزیک را دربر می‌گیرد، کایانو، برهماندا، مورا^۲ (۱۹۸۸) خشکی شدیدی را که در طول سال ۱۹۸۳ در منطقه وسیعی از سرزمین‌های حاره‌ای ایجاد شده بود در ارتباط با ال نینو ۱۹۸۲-۸۳ می‌دانند در مقابل، بارندگی در این مناطق در سال ۱۹۸۴ بالای حد نرمال بود. ژائو و همکاران (۲۰۱۲) به تحلیل منطقه‌ای نمایه‌های فرین دمای حوضه رودخانه هایپه چین طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۶۰ پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان داد که در سراسر حوضه نمایه‌های فرین سرد روزهای یخبندان، روزهای یخی، شب‌های سرد، روزهای سرد، دوام امواج سرما و دامنه دمای شبانه روزی روند منفی معناداری را نشان می‌دهند در حالی که نمایه‌های گرم‌ترین از جمله روزهای تابستانی، طول دوره رشد، میانگین دمای بیشینه، میانگین دمای کمینه، کوچک‌ترین دمای کمینه، شب‌های گرم، روزهای گرم و امواج گرما روند مثبت و معناداری را نشان می‌دهند. چانگ چان و همکاران^۳ در سال ۲۰۰۷ با بررسی اثر تغییر اقلیم بر دما، بارش و سطح پوشش برف و روند تغییرات آنها در حوضه رودخانه تاریم چین پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش جهشی در دما و بارش در اواسط دهه ۱۹۸۰ با استفاده از روش‌های تعیین روند ناپارامتریک مشاهده می‌شود ولی تغییر سطح پوشش برف قابل توجه نیست (چانگ چان و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۴۶۵ - ۱۴۷۴).

برنز و همکاران^۴ در سال ۲۰۰۷ روندهای اقلیمی و اثرات آنها را بر منابع آب در حوضه کوهستان کاتس‌کیل در نیویورک آمریکا مورد بررسی قرار دادند. آنها در تحقیق خود از آزمون ناپارامتریک من - کندال برای محاسبه روندهای سالانه، ماهانه و چند ماهه، در دما، میزان بارش، رواناب حدی و تبخیر تعرق پتانسیل در ناحیه مورد مطالعه در طول سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۵۲ بر مبنای داده‌های نه ایستگاه دماسنجی، ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی و هشت ایستگاه اندازه‌گیری

-
1. Ropelewski and Halpert
 1. Kayano , Brahmanda and Moura
 2. Changchun et al
 3. Burns et al

سیلاب استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که یک الگوی افزایشی دما، بارش، رواناب و تبخیر و تعرق پتانسیل در ناحیه وجود دارد. همچنین متوسط دمای هوای سالانه منطقه‌ای با اندازه ۰/۶ درجه در طول ۵۰ سال از دوره مورد بررسی افزایش یافته است که بزرگترین افزایش‌ها و بیشترین تعداد روندهای صعودی مهم در حداقل دمای هوای روزانه وجود دارد (برنز و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۷۷-۱۵۵).

مو و همکاران^۱ (۲۰۰۹) به ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق، بهره‌وری آب و عملکرد گندم و ذرت در شمال چین پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان افزایش محصول گندم زمستانه در شمال چین ۱۳ درصد (تحت سناریو انتشار B2) و ۱۹ درصد (تحت سناریو انتشار A2) و مربوط به سال‌های ۲۰۶۰ و ۲۰۷۰ خواهد بود. ۶ درصد افزایش در تبخیر و تعرق و ۱۰ و ۷ درصد افزایش بهره‌وری آب به ترتیب تحت سناریوهای A2 و B2 از دیگر نتایج بدست آمده است. در مورد ذرت محصول به میزان ۱۵ و ۱۲ درصد تحت سناریوهای A2 و B2 کاهش و تبخیر و تعرق تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۱۰ درصد افزایش خواهد داشت که منجر به کاهش ۲۵ درصدی بهره‌وری آب تحت دو سناریو مذکور می‌گردد (مو و همکاران، ۲۰۰۹: ۷۸-۶۷).

در سال ۲۰۰۸ تودیسکو و ورنی^۲ در بررسی تغییر اقلیم مرکز ایتالیا، روند افزایش کینه دما در سه منطقه پروچا، ترنی و اسپولتو روند افزایش بیشینه دما در اسپرلتو و روند افزایش متوسط دما در پروچا و اسپولتو در نیم قرن گذشته ثبت شده است (تودیسکو و ورنی، ۲۰۰۸: ۱۱-۱).

گو و همکاران^۳ در سال ۲۰۱۰ تاثیرپذیری بهره‌وری آب و عملکرد گندم و ذرت از تغییرات اقلیم را در شمال چین و در قرن ۲۱ بررسی کردند. ایشان از سه سناریو انتشار A2, B2, A1B مدل گردش عمومی HadCM3 و مدل CLIGEN برای تولید داده‌های هواشناسی روزانه و از مدل گیاهی CERES برای بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی بر گندم و ذرت استفاده نمودند. بدون در نظر گرفتن اثرات مثبت افزایش دی اکسیدکربن در رشد گیاهان مقادیر ۹/۸ و ۳/۲ درصد افزایش به ترتیب در میزان عملکرد گندم و ذرت حاصل شده است و در صورت افزایش غلظت در اکسید

-
1. Mo et al
 2. Todisco and Vergni
 3. Guo et al

کربن به 600 pmm ، میزان عملکرد گندم و ذرت به ترتیب ۳۸ و ۱۲ درصد افزایش و بهره‌وری آب ۴۰ تا ۲۵ درصد افزایش خواهد داشت (گو و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۱۹۴-۱۱۸۵).

رحیم‌زاده و عسگری با استفاده از آخرین روش‌های آماری توصیه شده در سازمان هواشناسی جهانی مطالعات متفرقه‌ای را که در دیگر کشورها انجام شده نیز مدنظر قرار داده‌اند. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که الگوی تغییرات دماهای حداقل و حداکثر و میانگین در سطح کشور یکسان نیست. هرچند روند افزایش دمای حداقل در اکثر ایستگاهها به ویژه ایستگاههای واقع در شهرهای بزرگ و رو به گسترش قابل ملاحظه می‌باشد که به عنوان مثال می‌توان به روند افزایش دمای حداقل شهر اصفهان اشاره نمود (رحیم‌زاده و عسگری، ۱۳۸۲: ۱۷۱-۱۵۳).

ابراهیمی و همکاران در بررسی تغییر اقلیم در دشت مشهد به مطالعه تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین و تغییرات درجه حرارت در طول دوره‌های آماری دراز مدت پرداختند. در پژوهش روند تغییرات درجه حرارت با روش رگرسیون و من‌کندال و لتن‌مایر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که روند تغییرات دمای هوا در آغاز ماه‌ها مثبت و افزایشی بوده و می‌توان از این تغییرات به‌عنوان نمایه‌ای از تغییر اقلیم نام برد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۴: ۵).

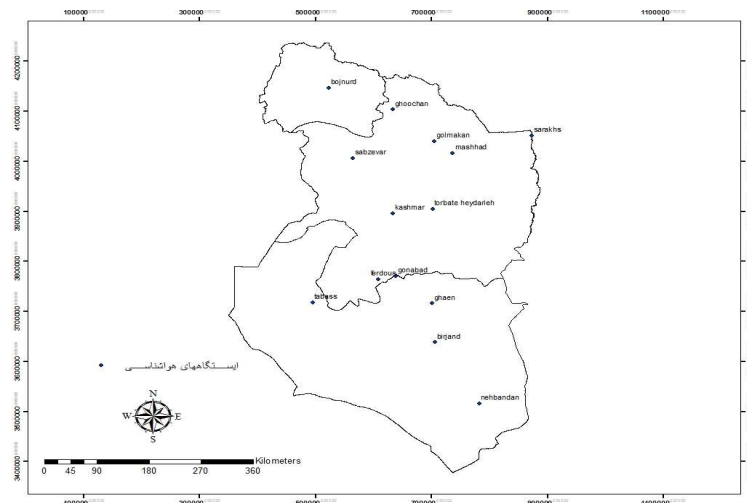
دارند در سال ۱۳۹۳ در پژوهشی تحت‌عنوان واکاوی تغییرات حدی بارش و دما در ارومیه به عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم به نتیجه رسید که تغییرات بیشتر نمایه‌های بارش فرین طی دوره آماری مورد مطالعه روند نزولی معناداری را نشان می‌دهند. طی چند سال اخیر از بسامد رخداد بارش‌های سنگین، ابر سنگین و میزان کل بارش سالانه ارومیه بشدت کاسته شده است (دارند، ۱۳۹۳: ۲۸-۱).

روش تحقیق

برای انجام این پژوهش مراحل ذیل دنبال گردید:

الف. اساس و مبنای تراز و تعدیل آماری، آمار و اطلاعات ایستگاههای هواشناسی است که در مطالعات پتانسیل‌یابی به صورت شبکه‌ای انجام می‌شود. هر چه تراکم ایستگاهها بیشتر باشد نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات دقیق‌تر است. در بررسی‌های اولیه مبنای انتخاب ایستگاههای هواشناسی طول دوره آماری قرار گرفته است. یعنی ایستگاههای که دارای

دوره آماری طولانی‌تر باشند به‌عنوان ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب شده‌اند. لذا بر این اساس تعداد ۱۴ ایستگاه انتخاب گردید (شکل شماره ۱).
ب. نسبت به آماده‌سازی داده‌ها در ایستگاه‌ها به‌صورت روزانه داده‌ها مورد پردازش قرار گرفت.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در شمال شرق ایران

ج. انتخاب شاخص‌های حدی دما بشرح جدول شماره (۱)

جدول ۱: شاخص‌های حدی اقلیمی دما

واحد	تعاریف	نام شاخص	شناسه
سانتی‌گراد	میانگین ماهانه اختلاف بین دمای حداقل و حداکثر	دامنه دمایی	DTR
روز	روزهای بین اولین و آخرین روز از حداقل ۶ روز گرم	طول فصل رشد	GSL
روز	حداقل ۶ روز متوالی دارای دمای حداقل کمتر از صدم دهم	طول دوره سرد	CSDI
روز	تعداد روزهای دارای دمای حداقل کمتر از صفر	روزهای یخبندان	FD
روز	تعداد روزهای دارای دمای حداکثر کمتر از صفر	روز یخی (انجماد)	ID
درصد	درصد روزهای دارای دمای حداقل کمتر از صدم دهم	شب‌های سرد	TN10p
درصد	درصد روزهای دارای دمای حداقل بیش از صدم نودم	شب‌های گرم	TX90p
سانتی‌گراد	حداقل مقدار ماهیانه دمای حداقل روزانه	حداقل دمای حداقل	TNn
سانتی‌گراد	حداکثر مقدار ماهیانه دمای حداقل روزانه	حداکثر دمای حداقل	TNx
روز	تعداد روزهای دارای دمای حداکثر بیش از ۲۵ درجه سانتیگراد	روزهای تابستانی	SU
واحد	تعاریف	نام شاخص	شناسه
روز	تعداد روزهای دارای دمای حداقل بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد	شب‌های حاره‌ای	TR
درصد	درصد روزهای دارای دمای حداکثر کمتر از صدم دهم	روزهای سرد	TX10p
درصد	درصد روزهای دارای دمای حداکثر بیش از صدم نودم	روزهای گرم	TX90p
سانتی‌گراد	حداقل مقدار ماهیانه دمای حداکثر روزانه	حداقل دمای حداکثر	TXn
سانتی‌گراد	حداکثر مقدار ماهیانه دمای حداکثر روزانه	حداکثر دمای حداکثر	TXx
روز	حداقل ۶ روز متوالی دارای دمای حداکثر بیش از صدم نودم	طول دوره گرم	WSDI

د. تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس نوع شاخص‌ها و پهنه‌بندی آن.

شرح یافته‌ها

شاخص طول دوره سرد (CSDI)

بیشترین فراوانی شاخص طول دوره سرد به ترتیب متعلق به ایستگاههای سرخس، قوچان، سبزوار، مشهد با ۱۵۴، ۱۲۵، ۱۵۰ و ۱۱۶ روز و کمترین شاخص متعلق به ایستگاههای بیرجند، تربت حیدریه و گل‌مکان است.

بر اساس شکل شماره (۱) روندهای شاخص طول دوره سرد در ۶ ایستگاه روند کاهش و ۸ ایستگاه روند افزایشی دارند.

روندهای کاهش ایستگاههای قائن با شیب (-۰,۱۴۵) و بجنورد با شیب (-۰,۱۰۹) از همه بیشتر است و روندهای افزایشی به ترتیب در ایستگاههای قوچان، سبزوار و سرخس مشاهده می‌شود. لذا شدیدترین روندهای کاهش در شمال غربی و جنوب شرقی و روندهای افزایشی در راستای شمال شرقی - جنوب غربی مشاهده می‌شود.

شاخص روزهای یخبندان (FD)

اقلیم‌شناسی برودت هوا یا کاهش دما را سرما می‌نامند و یخبندان حالتی است که دمای هوا پایین‌تر از 0°C (برابر ۳۲ درجه فارنهایت) برسد.

یخبندان حالتی است که کلیه موجودات زنده بلافاصله نسبت به آن حساس بوده و در واقع می‌توان گفت این شرایط که خود محصول تراز تشعشعی خورشید و بودجه انرژی زمین است حالت عطفی در نحوه رشد موجودات محسوب می‌گردد.

بیشترین تعداد روزهای یخبندان در ایستگاههای قوچان و قائن با ۸۶ روز، ایستگاه تربت حیدریه ۸۵ روز و ایستگاه بجنورد ۸۱ روز و کمترین با ۹ روز در ایستگاه طبس به ثبت رسیده است.

بیشترین روندکاهشی را از نظر شاخص FD ایستگاههای فردوس، قائن، تربت، با شیب -۱,۰۴۹، -۰,۸۷۶، -۰,۴۹ و از نظر روند افزایشی ایستگاههای سبزوار (۰,۴۱۵)، قوچان (۰,۲۹۲) و سرخس (۰,۲۳۷) تجربه کرده‌اند. بنابراین خشکترین مناطق از نظر این شاخص، قسمت‌های

مرکزی و جنوبی منطقه است.

شاخص روزهای یخی (ID)

تعداد روزهایی از سال که دمای بیشینه روزانه کوچکتر از صفر درجه سانتیگراد باشد، به‌عنوان روز یخی یا انجماد شناخته می‌شود.

سال ۲۰۰۸ بعنوان سردترین و از نظر شاخص فوق شدیدترین سال در بین ۲۵ سال است. ایستگاه قوچان با ۲۱۲ روز بیشترین و ایستگاه طبس با ۲ روز و نهبندان با ۵ روز کمترین فراوانی را دارند. با وجود این ایستگاه قوچان هم شدیدترین روند کاهش (۱۲۷،-) بین تمام ایستگاهها داشته است.

در ایستگاههای نهبندان، طبس، بیرجند، قائن، سرخس، کاشمر، سبزوار، گناباد، فردوس روند افزایشی مشاهده می‌شود. که در این میان روند افزایشی ایستگاه گناباد بیشتر (۱۵،۰) است (جدول شماره ۲). به‌طور کلی روند افزایشی در غرب منطقه و روندهای کاهش در شمال و شرق منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل شماره ۱).

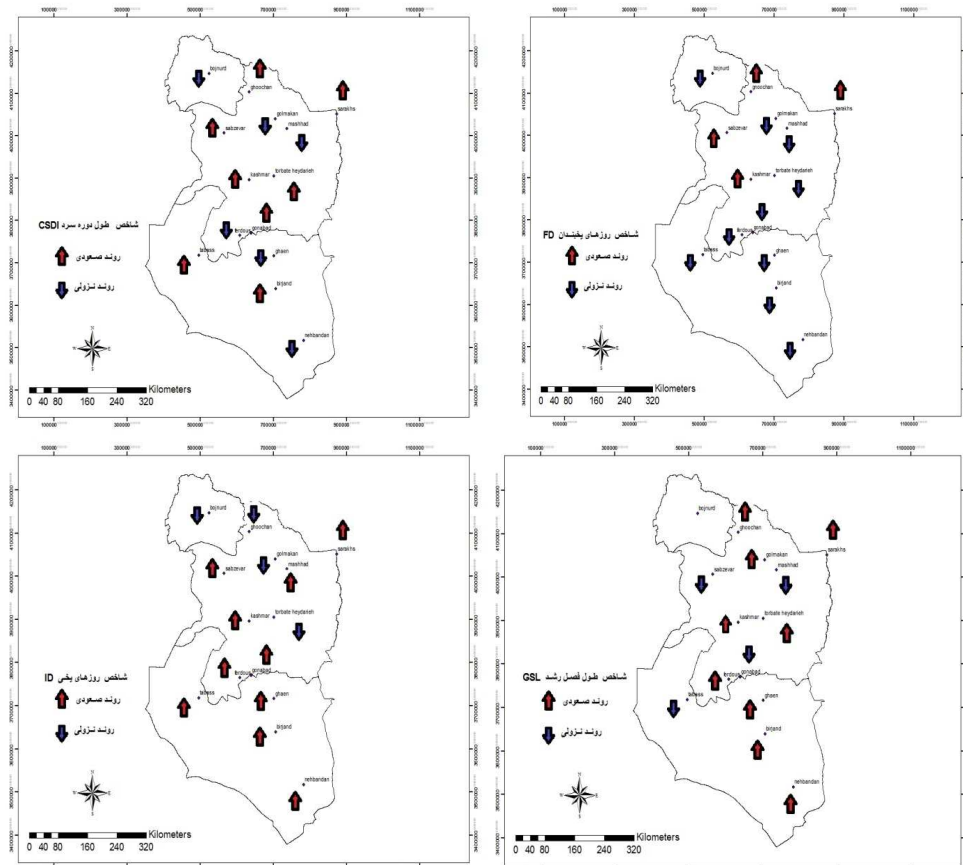
شاخص طول فصل رشد (GSL)

طول فصل رشد در سال (اول ژانویه تا ۳۱ دسامبر در نیم کره شمالی، اول ژوئیه تا ۳۰ ژوئن در نیمکره جنوبی). برابر است با تعداد روزهایی از سال که بین اولین رخدادی که دست کم ۶ روز پیاپی میانگین دمای روزانه بیشتر از ۵ درجه سانتیگراد و اولین رخدادی که دست کم ۶ روز پیاپی بعد از اول ژوئیه (اول ژانویه در نیمکره جنوبی) میانگین دمای روزانه کوچکتر از ۵ درجه سانتیگراد باشد. این شاخص در کشاورزی بسیار اهمیت دارد. انتظار می‌رود این نمایه به طور مستقیم به دلیل افزایش دما و به طور غیرمستقیم به دلیل کاهش پوشش برف افزایش یابد. لذا در ایستگاههای قائن، تربت حیدریه، گلمکان، بیرجند، نهبندان، سرخس، فردوس، کاشمر و قوچان روند افزایشی مشاهده می‌شود و شدیدترین روند کاهش را ایستگاه سبزوار و گناباد به ترتیب با شیب (۲۱۹،-)، (۱۶۵،-) دارند.

جدول ۲: روند شاخص‌های حدی دما در دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۱

(علامت منفی روند کاهش و علامت مثبت روند افزایشی)

ایستگاهها	dtr	csdi	wsdi	tn90p	tn10p	tx90p	tx10p	tnn	tnx	txn	txx	gsl	fd0	tr20	id0	su25
قائن	-0.05	-0.15	0.30	0.43	-0.41	0.22	-0.18	0.01	0.08	0.03	0.06	1.30	-0.88	0.54	0.06	1.10
فردوس	-0.10	-0.02	0.21	0.50	-0.50	0.04	-0.03	-0.03	0.07	0.01	0.02	0.09	-1.05	1.67	0.13	0.79
کاشمر	0.01	0.08	0.46	0.21	-0.15	0.23	-0.16	-0.04	0.06	0.02	0.04	0.05	0.08	0.65	0.11	0.88
مشهد	0.00	-0.04	0.16	0.42	-0.25	0.33	-0.23	0.02	0.05	-0.04	0.05	-0.11	-0.38	0.95	0.00	1.17
بیرجند	0.00	0.00	0.44	0.27	-0.26	0.28	-0.22	-0.02	0.05	0.00	0.08	0.41	-0.48	0.89	0.03	1.32
تربت حیدریه	0.01	0.02	0.31	0.25	-0.13	0.20	-0.17	-0.01	0.05	-0.02	0.05	0.99	-0.49	0.69	-0.04	1.08
کلمکان	-0.02	-0.04	0.30	0.29	-0.13	0.23	-0.09	0.05	0.04	-0.04	0.03	0.58	-0.25	0.21	-0.03	0.81
بجنورد	-0.01	-0.11	0.09	0.27	-0.14	0.23	-0.13	-0.02	0.03	0.07	0.06	NA	-0.18	0.32	-0.11	0.78
طبس	-0.03	0.06	0.29	0.44	-0.24	0.17	-0.11	0.01	0.03	0.02	0.02	-0.10	-0.09	0.99	0.01	0.77
نهبندان	0.00	-0.10	0.45	0.27	-0.18	0.26	-0.22	-0.05	0.02	0.03	0.06	0.24	-0.12	0.79	0.01	1.28
گناباد	-0.03	0.10	0.08	0.48	-0.21	0.21	-0.07	-0.09	0.02	0.02	0.00	-0.17	-0.38	1.02	0.15	1.13
سرخس	0.00	0.13	0.32	0.22	-0.13	0.25	-0.08	0.01	0.01	-0.07	0.06	0.16	0.24	0.98	0.07	0.88
سبزوار	0.05	0.33	0.13	0.10	0.10	0.19	-0.12	-0.01	0.00	0.02	0.04	-0.22	0.42	-0.71	0.12	0.88
قوچان	0.07	0.84	0.06	0.06	0.33	0.15	-0.14	-0.03	-0.07	0.05	0.01	0.05	0.29	-0.05	-0.13	0.66



شکل ۱: نقشه‌های شاخص‌های طول دوره سرد، روزهای یخبندان، روزهای یخی، طول فصل رشد

شاخص دامنه دمایی (DTR)

تفاوت میانگین ماهانه دمای روزانه و شبانه شاخص دامنه دمایی گویند. فرض کنید که T_{xij} و T_{nij} به ترتیب دمای بیشینه روزانه و دمای کمینه روزانه در روز i ام در دوره j ام است. اگر I بیانگر تعداد روزهای دوره j ام باشد، بنابراین دامنه دمای روزانه از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (T_{xij} - T_{nij})}{I}$$

برای نشان دادن نوسانات دمایی این نمایه مناسب است، چرا که آستانه‌های حداقل و حداکثر جداگانه بررسی می‌شوند و میانگین‌ها نمی‌توانند نوسانات را بخوبی نشان دهند.

شاخص DTR در طول زمان ممکن است روند افزایشی یا کاهش‌ی داشته باشد. این تغییرات متأثر از تغییرات دمای حداقل و دمای حداکثر است. روند افزایشی این شاخص ممکن است به دلیل روند افزایشی دمای حداکثر یا روند کاهش‌ی دمای حداقل و یا تأثیر همزمان این دو عامل باشد. البته در مواردی نیز مشاهده می‌شود در حالی که یکی از دو عامل ذکر شده به صورت عکس عمل می‌کند، ولی باز با روند افزایشی DTR مواجه هستیم و این حالت زمانی رخ می‌دهد که تأثیر مثبت عامل دیگر بسیار قویتر از تأثیر عکس عامل ذکر شده باشد. روند کاهش‌ی این شاخص نیز ممکن است به دلیل روند کاهش‌ی دمای حداکثر یا روند افزایشی دمای حداقل یا تأثیر همزمان این دو عامل باشد. البته مانند روند افزایشی شاخص DTR در این حالت نیز ممکن است یکی از دو عامل ذکر شده به صورت عکس عمل می‌کند و لی باز با روند DTR مواجه هستیم و این حالت زمانی رخ می‌دهد که تأثیر مثبت عامل دیگر بسیار قویتر از تأثیر عکس عامل ذکر شده باشد.

در روند سالانه DTR، ۵۰ درصد ایستگاه‌ها روند افزایشی و ۵۰ درصد دیگر روند کاهش‌ی DTR را تجربه کرده‌اند. در هر صورت روندهای کاهش‌ی و افزایش‌ی با شدت خیلی کمی انجام شده است. در میان ایستگاه‌ها، شدیدترین روند افزایشی به ایستگاه قوچان با شیب (۰,۰۶۹) و شدیدترین روند کاهش‌ی با شیب (-۰,۱۰۰) متعلق به ایستگاه فردوس می‌باشد. در شکل شماره (۲) از ۱۴ ایستگاه منطقه مورد مطالعاتی ۸ ایستگاه روند صعودی و ۶ ایستگاه دارای روند نزولی می‌باشد.

شاخص شب‌های سرد (TN10p)

درصدی از روزها که دمای شبانه کوچکتر از صدمک ۱۰ام دوره مینا باشد، شب سرد نام دارد. در منطقه مورد مطالعه در دهه‌های اخیر از نظر شهرنشینی رشد زیادی داشته است، بسیاری از مناطق اطراف شهرها تبدیل به نواحی شهری و صنعتی و در بسیاری از نواحی شهرها، ساختن ساختمان‌های بلند به شکل گسترده افزایش داشته است. این عوامل سبب گشته تا میزان آلودگی اتمسفر بیشتر شود و گازهای گلخانه‌ای به شکل گسترده‌ای در جو شهرها حضور داشته باشند. از طرف دیگر ساختن ساختمان‌های با ارتفاع زیاد باعث کاهش ضریب شاخص SVF شده

است. تمام این عوامل در کاهش شب‌های سرد تاثیر داشته است. بر اساس جدول شماره (۲) روندهای شاخص شب‌های سرد در ۱۲ ایستگاه کاهشی و در ۲ ایستگاه روند افزایشی وجود دارد. روندهای کاهشی ایستگاههای فردوس با شیب (-۰,۵۰۲) و قائن با شیب (-۰,۴۱۱) از همه بیشتر است و روندهای افزایشی به ترتیب در ایستگاه قوچان و سبزوار مشاهده می‌شود. لذا غیر از بخش کوچکی در شمال منطقه، الباقی مناطق طول شب‌های سرد کاهش پیدا کرده است (شکل شماره ۲).

شاخص شب‌های گرم (TN90p)

این شاخص بعنوان درصدی از روزها که دمای شبانه بزرگتر از صدک ۱۰ام دوره مینا باشد، تعریف می‌شود. شاخص شب‌های گرم توانایی نمایش تاثیرات مضر را دارد که به دلیل فقدان سرمای شبانه بوجود می‌آید و از جمله پارامترهایی است که در ایجاد فشارهای ناشی از گرما بوجود می‌آید، شب‌های گرم به دلیل افزایش در مقدار گازهای گلخانه‌ای بوجود می‌آید زیرا بر مقدار خروج امواج بازتابش زمینی از آسمان تاثیر می‌گذارد و مقدار رطوبت را هنگام شب افزایش می‌دهد، این عامل در اواخر تابستان خود را بیشتر نشان می‌دهد، زمانی که اتمسفر ظرفیت نگهداری حداکثر مقدار رطوبت را دارد (وایت و همکاران، ۲۰۰۱: ۳۳-۲۱). مقدار شاخص سالانه شب‌های گرم در کل منطقه مورد مطالعه افزایش پیدا کرده است. ایستگاههای فردوس، گناباد، طبس، قائن و کلان‌شهر مشهد به ترتیب با شیب‌های (۰,۵۰۴)، (۰,۴۷۷)، (۰,۴۳۸)، (۰,۴۳۳)، (۰,۴۱۶) شدیدترین افزایش را در طی ۲۵ سال اخیر داشتند. در این میان ایستگاههای قوچان و سبزوار با شیب‌های (۰,۰۶۲)، (۰,۰۹۸) کمترین افزایش را تجربه کرده‌اند (جدول شماره ۲).

شاخص روزهای گرم (TX90p)

این شاخص به‌عنوان درصدی از روزها که دمای روزانه بزرگتر از صدک ۹۰ ام دوره مینا باشد، تعریف می‌شود.

شاخص روزهای گرم به دلیل رشد سریع شهرنشینی، افزایش ترافیک در سالهای اخیر، توجه نکردن به معماری که متناسب با اقلیم گرم منطقه باشد، در هنگام طراحی و ساخت، کاهش منابع آب منطقه مورد مطالعه سبب گشته که میزان جذب انرژی گرمایی در ساعات قبل از ظهر بالا برود و در هنگام ظهر و بعدازظهر مقدار گرمای محسوس در سطح شهر بشدت افزایش پیدا نماید (باکاو و همکاران، ۲۰۰۳).

مقدار شاخص سالانه روزهای گرم در تمام شمال‌شرق کشور افزایش پیدا کرده است. ایستگاههای مشهد، بیرجند و نهبندان به ترتیب با شیب‌های (۰,۳۳۳)، (۰,۲۷۶)، (۰,۲۶۱) شدیدترین افزایش را در طی ۲۵ سال اخیر داشتند. لذا قسمت‌های جنوب‌شرقی و شمال‌شرقی، منطقه افزایش شدید دما را تجربه کرده‌اند (شکل شماره ۲).

در این میان ایستگاههای فردوس و قوچان با شیب‌های (۰,۰۳۶)، (۰,۱۴۸) کمترین افزایش را تجربه کرده‌اند.

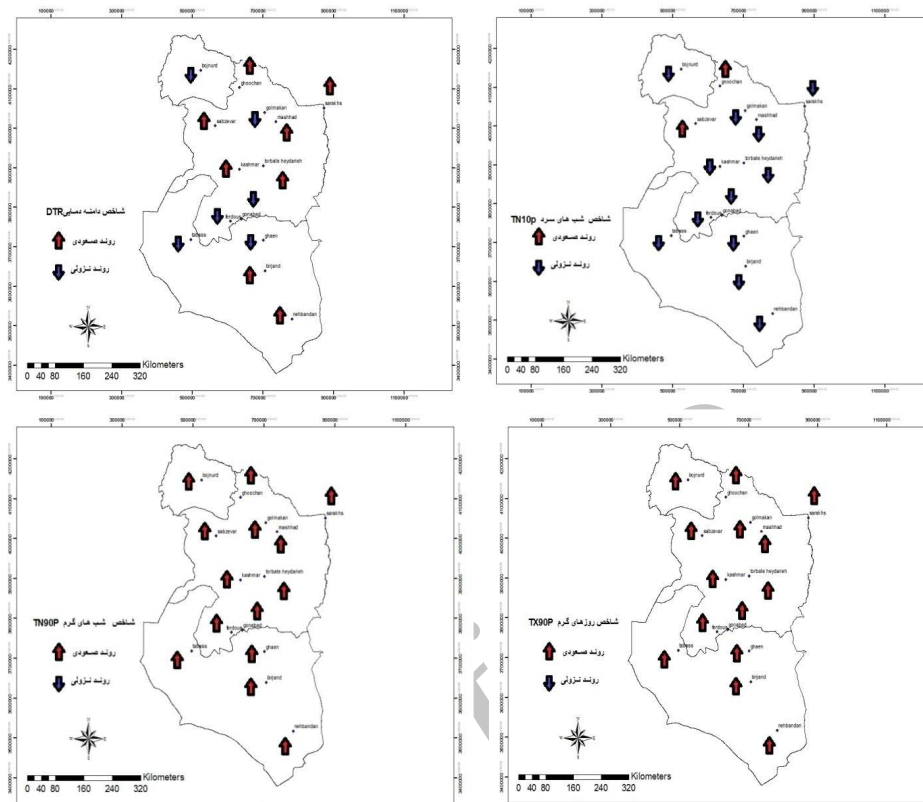
شاخص روزهای سرد (TX10p)

این شاخص به‌عنوان درصدی از روزها که دمای روزانه کوچکتر از صدک ۱۰ ام دوره مینا باشد، تعریف می‌شود.

به دلیل رشد سریع شهرنشینی، افزایش فعالیتهای صنعتی و کشاورزی، مصرف سوخت‌های فسیلی و افزایش گازهای گلخانه‌ای جو و به هم خوردن توازن طبیعی گازها، انتظار می‌رود از روند روزهای سرد کاسته شود. که این امر موجب کاسته شدن طول دوره سرما، و عدم برآورد نیاز سرمای گیاهان می‌شود.

در منطقه مورد مطالعه در تمامی ایستگاهها، روزهای سرد در طی دوره آماری مورد نظر کاسته شده است که در این میان ایستگاههای مشهد، نهبندان و بیرجند به ترتیب با شیب‌های (۰,۲۳۴-)، (۰,۲۲۴-)، (۰,۲۱۶-) شدیدترین روند کاهشی را نسبت به دیگر ایستگاهها داشته‌اند. لذا

قسمت‌های شرقی منطقه شدیدترین روند کاهشی را تجربه کرده‌اند (شکل شماره ۳).



شکل ۲: نقشه‌های شاخص‌های دامنه دمایی، شب‌های سرد، شب‌های گرم، روزهای گرم

شاخص روزهای تابستانی (su25)

این شاخص معرف تعداد روزهایی است که دمای بیشینه روزانه بزرگتر از ۲۵ درجه سانتیگراد باشد.

متوسط تعداد روزهای تابستانی در تمام ایستگاهها افزایش پیدا کرده است. در این میان ایستگاه طبس و نهبندان با متوسط ۲۲۶ و ۲۲ روز بیشترین و ایستگاه بجنورد با ۸۱ روز کمترین فراوانی روزهای تابستانی را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس جدول شماره (۲) شدیدترین روند افزایشی روزهای تابستانی متعلق به ایستگاههای بیرجند، نهبندان، مشهد و گناباد به ترتیب با

شیب‌های (۱,۳۳۲)، (۱,۲۷۸)، (۱,۱۶۸)، (۱,۱۳۳) و کمترین روند افزایشی با شیب کاهش‌ی (۰,۶۳۳) و (۰,۷۶۵) متعلق به ایستگاههای قوچان و طبس می‌باشد.

به‌طور کلی در منطقه روند روزهای تابستانی افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. از عوامل اصلی افزایش طولانی شدن دوره گرم، افزایش آلودگی هوا به دلیل افزایش ترافیک و همچنین افزایش فعالیتهای صنعتی در دهه‌های اخیر سبب شده که میزان پخش منواکسیدکربن و اکسیدهای نیتروژن در اتمسفر افزایش پیدا کند. از طرفی تخریب جنگل، سوزاندن کاه و کلش، افزایش احشام و کودپاشی با کودهای نیتروژنه از مهمترین فعالیتهای کشاورزی است که باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. چرا که دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن سه گاز مهم گلخانه‌ای است که توسط بخش کشاورزی تولید می‌شود.

شاخص طول دوره گرم (WSDI)

طول دوره گرم یا موج گرما معرف تعداد روزهای از سال می‌باشد که حداقل ۶ روز پیاپی دمای روزانه بیش از صدک ۹۰ ام دوره مینا باشد.

موج‌های گرمایی بخشی از رویدادهای حدی جو هستند، که باعث تلفات شدیدی در زندگی بشر شده و محیط زیست را تخریب می‌کنند. یک موج گرمایی دوره گرمی است که دوام و پایداری آن چند روز تا چند هفته است و ممکن است با رطوبت شدید همراه باشد. موجهای گرمایی از جمله رویدادهایی است که با روند افزایشی دما در مناطق خشک در دوره سرد و دوره گرم رخ می‌دهد. به هر حال موج‌های گرمایی برپایه عنصر دما شکل می‌گیرد. دماهای حداکثر در مدیریت منابع آبی و طبیعی، کشاورزی، گسترش آفات و بیماری‌ها، ذوب برف و سیلاب، تبخیر و تعرق خشکسالی و غیره دارای اهمیت زیادی است (خسروی و همکاران؛ ۱۳۸۹). بررسی این پدیده در منطقه مورد مطالعه، هم به جهت کمبود نسبی بارش و هم وابستگی فراوان منابع تأمین آب شیرین به ذخایر برف و ماندگاری زمستانی آنها ضروری است. وقوع موج‌های گرما بویژه در فصل سرد سال از جمله برجسته‌ترین عواملی است که می‌تواند ماندگاری ذخایر برف را در قله‌های کوهستانی کاسته و آهنگ رطوبتی خاک را نیز دچار تنش سازد.

سالهای ۱۹۸۸ و ۲۰۱۰ با ۱۷۵ و ۱۷۱ روز گرمترین سالها، و سالهای ۱۹۹۴، ۱۹۹۳، ۱۹۹۲، ۱۹۹۱

۱۹۹۸ و ۲۰۰۵ به‌عنوان سردترین سالها بدون وقوع حتی یک موج گرما در طول دوره آماری شناخته می‌شوند.

به‌طورکلی در منطقه، تمامی ایستگاههای روند افزایشی طول دوره گرم را تجربه کرده‌اند. در این میان ایستگاههای کاشمر، نهبندان و بیرجند به ترتیب با شیب افزایشی (۰,۴۵۶)، (۰,۴۵)، (۰,۴۴۳)، بیشترین، و ایستگاههای قوچان، گناباد و بجنورد با شیب‌های (۰,۰۵۷)، (۰,۰۸)، (۰,۰۸۹) کمترین روند افزایشی موج گرما را داشتند (شکل شماره ۳).

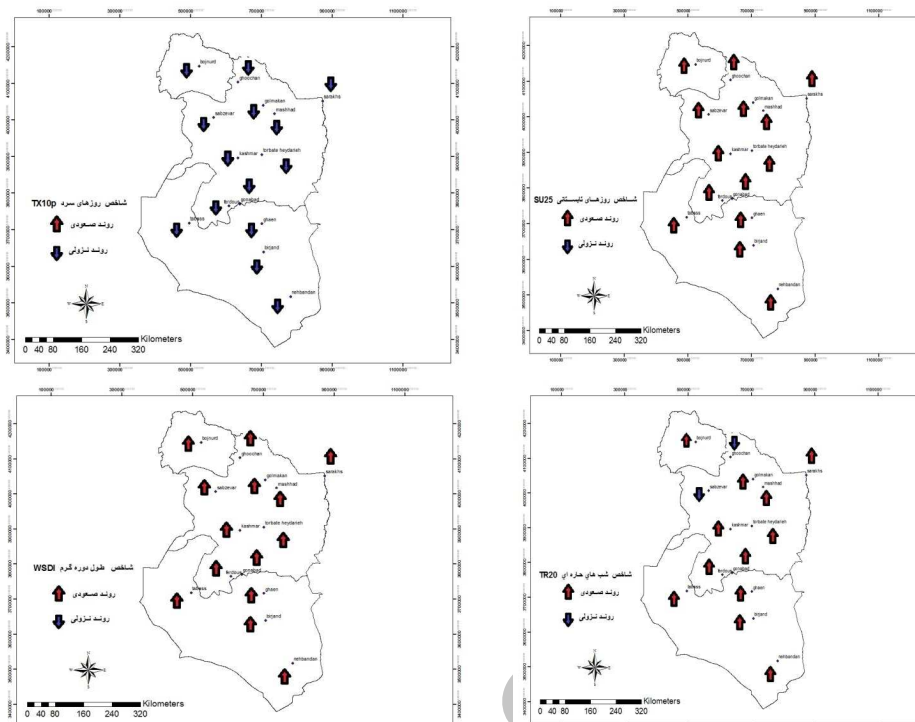
شاخص شب‌های حاره‌ای (TR20)

این شاخص به‌عنوان تعداد روزهایی از سال که دمای کمینه بیش تر از ۲۰ درجه سانتیگراد باشد، تعریف می‌شود.

افزایش دماهای کمینه در مدیریت منابع آبی و طبیعی، کشاورزی، گسترش آفات و بیماری‌ها، ذوب برف و سیلاب، تبخیر و تعرق، خشکسالی و غیره دارای اهمیت زیادی است. فراوانی، شدت و دوام دماهای افراطی، می‌تواند بحرانهای مهمی را در شرایط اکوسیستم‌ها پدید آورد. این مخاطرات می‌تواند شامل ذوب سریع برف، بروز سیلاب، آتش‌سوزی، بهمن، شیوع امراض و کاهش محصولات کشاورزی باشد.

ایستگاههای طبس و نهبندان با متوسط ۱۵۱ و ۱۵۰ روز بیشترین فراوانی و ایستگاههای قوچان، گل‌مکان و قائن با متوسط ۲,۸ و ۱۰ روز کمترین فراوانی را از نظر شاخص شب‌های حاره‌ای داشتند.

به‌طورکلی در منطقه، از ۱۴ ایستگاه انتخابی، ۱۲ ایستگاه روند افزایشی و ایستگاههای سبزوار و قوچان روند کاهشی از نظر شاخص (TR20) می‌باشند. در میان روندهای افزایشی، روند ایستگاههای فردوس و گناباد با شیب (۱,۶۶) و (۱,۰۲) از همه شدیدتر می‌باشند.



شکل ۳: نقشه‌های شاخص‌های روزهای سرد، روزهای تابستانی، طول دوره گرم، شب‌های حاره‌ای

حداکثر دمای حداکثر (TX_X) و حداقل دمای حداکثر (TX_N)

میزان حداکثر دمای بیشینه روزانه در ماه را شاخص بزرگترین دمای بیشینه گویند. اثر گلخانه‌ای، سطح زمین را در فرایند پیچیده‌ای که با همراهی نور خورشید، گازها و ذرات موجود در اتمسفر صورت می‌گیرد، گرم می‌کند. در هنگام گرم شدن هوا، دمای آب اقیانوسها نیز افزایش می‌یابد و منجر به بروز مشکلاتی در اکوسیستم اقیانوسها می‌شود. بسیاری از گونه‌های زیستی مشکلات زیادی برای ادامه حیات در شرایط جدید خواهند داشت و با ادامه یافتن گرما و شدت یافتن آن می‌تواند عامل مرگ و میرهای زیاد و بیماری‌های گوناگون شود.

براساس شکل شماره (۴) روند دمای حداکثر در تمامی ایستگاهها با شیب ملایمی روبه افزایش است. در این میان ایستگاه گناباد و قوچان کمترین حالت افزایشی و در ایستگاههای بیرجند و نهبندان بیشترین روند افزایشی مشاهده می‌شود. لذا نیمه جنوبی و

شرقی منطقه حداکثر افزایش دما را دارد.

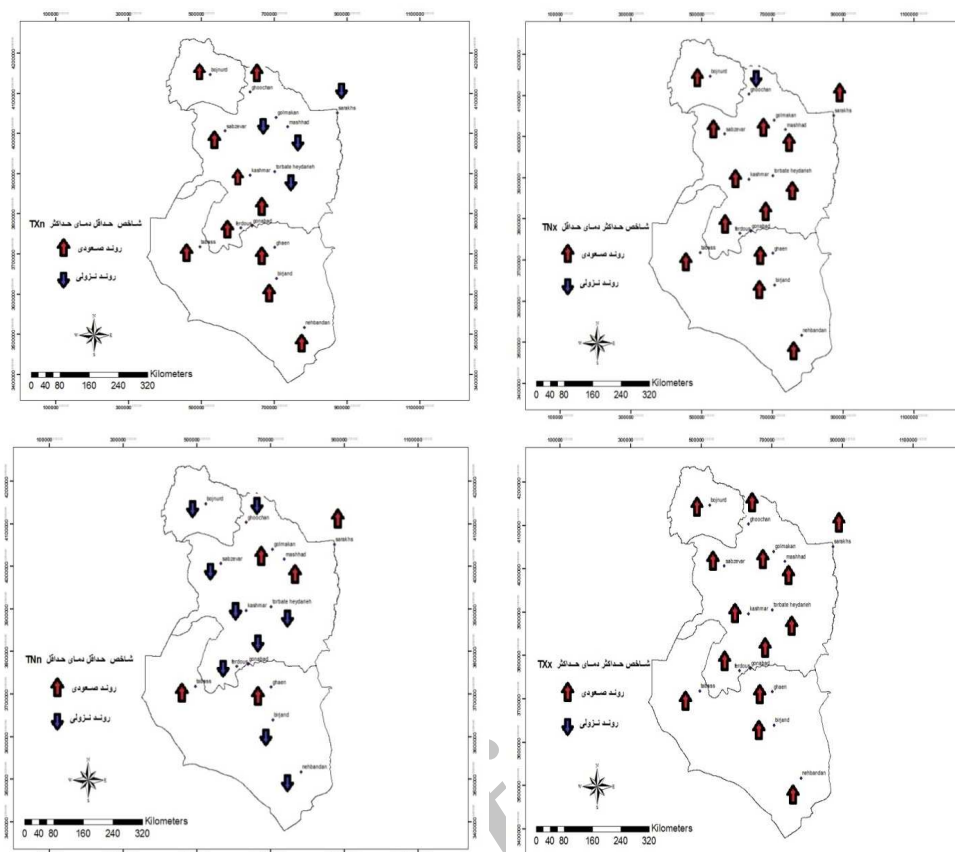
متوسط روند افزایشی شاخص حداقل دمای حداقل (۰/۰۱) نسبت به شاخص حداکثر دمای حداکثر (۰/۰۴) پایین‌تر می‌باشد. چرا که در ایستگاههای سرخس، مشهد، گل‌مکان و تربت حیدریه روند منفی مشاهده می‌شود.

حداکثر دمای حداقل (TN_X) و حداقل دمای حداقل (TN_N)

میزان حداکثر دمای کمینه روزانه در ماه را شاخص (TN_X) گویند. در شمال شرق کشور بیش از ۸۵ درصد ایستگاههای مورد مطالعه افزایش شاخص (TN_X) را تجربه کرده‌اند. در بین ایستگاهها فقط ایستگاه قوچان و سبزوار با شیب‌های $(-۰,۰۶۵)$ ، $(-۰,۰۰۲)$ دارای روند کاهشی در مقدار حداکثر دمای حداقل می‌باشند (جدول شماره ۲).

بنابراین در منطقه مورد مطالعه، افزایش دما عمدتاً در دمای شبانه (نماینده دمای حداقل) رخ داده است. به عبارت دیگر افزایش دمای این منطقه نه به دلیل کاهش تابش‌های ورودی (که تعیین کننده دمای روزانه است) بلکه به دلیل کاهش تابش‌های خروجی (که تعیین کننده دمای شبانه است) می‌باشد و این تابش‌های خروجی بشدت متأثر از مقدار گازهای گلخانه‌ای جو هستند.

شاخص حداقل دمای حداقل برخلاف حداکثر دمای حداقل فقط در ۵ مورد از ایستگاهها (قائن، سرخس، طبس، مشهد، گل‌مکان) دارای روند افزایشی است. در الباقی ایستگاهها، روند کاهشی مشاهده می‌شود (شکل شماره ۴).



شکل ۴: نقشه‌های شاخص‌های حداقل دمای حداکثر، حداکثر دمای حداقل، حداقل دمای حداقل، حداکثر دمای حداکثر

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم در بسیاری از نقاط جهان آثار خود را دهه‌های اخیر به جای گذاشته و انتظار می‌رود در دهه‌های آینده اثرات این تغییرات تشدید شود، تبعاً شمال شرق کشور نیز از این تغییرات بزرگ مقیاس مستثنی نبوده و اثرات آن نیز در بسیاری از نواحی مشاهده شده است.

در منطقه مورد مطالعه شاخص‌های روزهای تابستانی، روزهای گرم، حداکثر دمای حداکثر، شب‌های گرم، طول دوره گرم، ۱۰۰ درصد روند افزایشی و شاخص روزهای سرد ۱۰۰ درصد روند کاهشی را نشان می‌دهند.

همچنین شاخص‌های شب‌های حاره‌ای و حداکثر دمای حداقل، حداقل دمای حداقل با بیش از ۸۵ درصد روند افزایشی و شاخص شب‌های سرد با ۸۵ درصد روند کاهشی در مرتبه دوم قرار دارند.

شاخص‌های حداقل دمای حداکثر، طول فصل رشد به ترتیب با ۷۱ و ۶۹ درصد روند افزایشی و شاخص روزهای یخبندان با ۷۱ درصد روند کاهشی در مرتبه سوم قرار دارند. لذا، نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات صورت گرفته در سطح جهان مانند الکساندرو و همکاران در سال ۲۰۰۶ در سطح جهان، بانزراگ و همکاران در سال ۲۰۰۷ در مغولستان و کاری که توسط سازمان هواشناسی در زمینه تغییر اقلیم در ایران انجام داده است، مطابقت دارد. با توجه به بررسی آماری به عمل آمده توسط بابائیان و همکاران نشان می‌دهد تا سال ۲۰۳۹ میانگین دمای کشور و بالطبع منطقه مورد مطالعه تا ۰/۵ درجه افزایش و بارش تا ۹ درصد کاهش خواهد داشت، لذا، این پژوهش به طور دقیق و با احتمال بالا افزایش نسبی دما را مورد تأیید قرار می‌دهد از این رو می‌توان نتیجه گرفت عواملی که بر گرمایش جهانی موثر هستند، به نوعی منطقه مورد مطالعه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. در نتیجه خراسان بزرگ تغییرات شدید دمایی از نوع گرمایشی را، طی ۲۵ سال اخیر تجربه کرده است.

Archive of SID

کتابشناسی

۱. ابراهیمی، حسن؛ علیزاده، امین؛ جوانمرد، سهیلا (۱۳۸۴). بررسی وجود تغییر دما در دشت مشهد به عنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۹، ص ۵؛
۲. بابائیان، ایمان؛ عباسی (۱۳۸۷). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از خروجی مدل ECHO-G، مجله جغرافیا و توسعه؛
۳. خسروی، محمود؛ اژدری مقدم، مهدی؛ نظری پور، حمید؛ رزمجوی، شهرام (۱۳۸۹). پیش‌بینی دمای بیشینه شیراز با استفاده از مدل شبکه عصبی: چهارمین کنگره جغرافیدانان جهان اسلام؛
۴. دارند، محمد (۱۳۹۳). آکاوی تغییرات حدی بارش و دما در ارومیه به عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۱، شماره دوم، صص ۳۰-۱؛
۵. رحیم‌زاده و عسگری (۱۳۸۲). نگرشی بر تفاوت نرخ افزایش دمای حداقل و حداکثر و کاهش دامنه شبانه روزی دما، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۳، صص ۱۵۳-۱۷۱؛
6. Alexander L, Zhang X, Peterson TC, Caesar J, Gleason B, Klein Tank A, Haylock M, Collins D, Trewin B, Rahimzadeh F, Taghipour A, Kumar Kolli R, Revadekar JV, Griffiths G, Vincent L, Stephenson D, Burn J, Aguilar E, Brunet M, Taylor M, New M, Zhai P, usticucci M, Vazquez-Aguirre JL.(2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research* 111:1-11;
7. Banzragch Nandintsetseg, a J. Scott Greeneb and Clyde E. Gouldenc.(2007), Trends in extreme daily precipitation and temperature near Lake H'ovsg'ol, Mongolia. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*. 1-5;
8. Bokwa Anita, Sebastian Wypych. Source of data: Voivodship Inspectorate of Environmental Protection in Cracow. (2003), Daily changes in air pollution on a typical sunny summer day. *Climate in cities*.5,10;
9. Burns, D. A., Klaus, J., and McHale, M. R. (2007), "Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region, New York, USA." *J. Hydrology.*, 336, 155-170;
10. Changchun X., Ch. Yaning, L., Weihong and Ch. Y. Ge Hongtao (2007), "Potential impact of climate change on snow cover area in the Tarim River basin" *Journal of Environmental Geology*, Vol. 53, No. 7, p1465-1474;
11. Guo R., Lin Z., Mo X., Yang C. (2010), Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain : *Agricultural Water Management*. p. 1185-1194;
12. IPCC.(2007), Fourth assessment report climate change. Paris, <http://www.IPCC.ch>. *J. Am. Stat. Assoc.* 74: 365-367;
13. Kayano, Mt, B rahmanda, Rao. V, Moura, AD, (1998), Tropical circulations

- and the associated rainfall anomalies during two contrasting years, journal of climatology, vol 8, no 5, p 47-88;
14. Mahsafar, H., Maknoon, R., and Saghafian, B. (2011), The Impact of Climate Change on Urmia Lake Water Level. Iran. Wat. Rec. Res. 7: 47-58;
 15. Mo, X.G., Liu, S.X., Lin, Z.H., Guo, R.P., (2009), Regional crop yield, water consumption and water use efficiency and their responses to climate change in the North China Plain. Agric. Ecosyst. Environ. 134: 67-78;
 16. Ropelewski, C.F., and Halpert, M.S., (1986), Northern American Precipitation and temperature patterns associated with the El Nino/southern oscillation (Enso), monthly weather review, vol 14, p 2352-2362;
 17. Rosenzweig, J. Sarukhan, H.-J. Schellnhuber, S. Schneider, M.J. Scott, G. Sem, B. Smit, J.B. Smith, A. Tsyban, P. Vellinga, R. Warrick, D. Wratt. (2001), IMPACTS, ADAPTATION, AND VULNERABILITY .21-33;
 18. Todisco F and Vergni L, (2008), Climatic changes in central Italy and their potential effects on corn water consumption. Agric For Meteorol 148: 1-11;
 19. Turkesh, M., Sumer, M. and Demir, I. (2002), Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of turkey for period 1991-1999, International Journal of Climatology, 22, 947-977.
 20. White K.S., Q.K. Ahmad, O. Anisimov, N. Arnell, S. Brown, M. Campos, T. Carter, Chunzhen Liu, S. Cohen, P. Desanker, D.J. Dokken, W. Easterling, B. Fitzharris, H. Gitay, A. Githiko, S. Gupta, H. Harasawa, B.P. Jallow, Z.W. Kundzewicz, E.L. La Rovere, M. Lal, N. Leary, C. Magadza, L.J. Mata, R. McLean, A. McMichael, K. Miller, E. Mills, M.Q. Mirza, D. Murdiyarsa, L.A. Nurse, C. Parmesan, M.L. Parry, O. Pilifosova, B. Pittock, J. Price, T. Root, C;
 21. Zhao, C., Wang, W., and Xing, W. (2012), Regional Analysis of Extreme Temperature Indices for the Haihe River Basin from 1960 to 2009. International Conference on Modern Hydraulic Engineering. 28: 604-607.