

ارزیابی تغییرات نمایه‌های فرین دما بر روی پهنه‌ی استان کردستان طی نیم سده‌ی اخیر^۱

دکتر محمد دارند^۲

چکیده

برای انجام این پژوهش داده‌های روزانه‌ی دمای کمینه و بیشینه‌ی ۱۱ پیمونگاه همدید و ۱۵ پیمونگاه اقلیمی در داخل و خارج از استان طی بازه‌ی زمانی ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۱۰/۱۲/۳۱ استفاده شد. داده‌ها به کمک روش کریگینگ معمولی با تفکیک مکانی ۶×۶ کیلومتر میان‌یابی شدند که حاصل آن ۸۱۱ یاخته بود که استان کردستان را پوشش می‌دادند. دو پایگاه داده (گاه‌جای) در ابعاد ۸۱۱×۱۷۸۹۸ برای دمای کمینه و بیشینه ایجاد شد که بر روی ردیف‌ها روز (زمان) و بر روی ستون‌ها یاخته‌ها (مکان) قرار داشتند. این دو پایگاه داده مبنای محاسبات فرین‌های دما بر روی استان قرار گرفت. از ۱۶ نمایه‌ی پیشنهاد شده‌ی تیم کارشناسی تغییر اقلیم و نمایه‌ها جهت واکاوی و شناسایی فرین‌ها بهره گرفتیم. برای هر کدام از ۸۱۱ یاخته بر روی استان، مقادیر نمایه‌ها محاسبه شد. به کمک روش ناپارامتری من‌کنندال معناداری روند بر روی هر کدام از ۸۱۱ یاخته در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد آزمون قرار گرفت. به کمک روش رگرسیون خطی مقادیر شیب و نرخ تغییرات بر روی یاخته‌های دارای روند معنادار بدست آمد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که بر روی مناطق کم‌ارتفاع و پست در بخش‌های غربی و شرقی استان روند نمایه‌های فرین گرم مثبت و روند نمایه‌های فرین سرد منفی است. بر روی بلندی‌ها و ارتفاعات در شمال و مرکز استان عکس این شرایط صادق است. اختلاف و دامنه‌ی دمای شبانه‌روزی (DTR) بر روی استان روبه کاهش است. همچنین نرخ تغییرات فرین‌های دمای شبانه بیشتر از نرخ تغییرات دمای روزانه است.

کلید واژه‌ها: فرین‌های دما، روند، درون‌یابی، استان کردستان .

۱- این مقاله از طرح پژوهشی با همین عنوان در دانشگاه کردستان استخراج شده است.

۲- استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه کردستان

مقدمه

مخاطرات جوی و اقلیمی مخرب‌ترین و کشنده‌ترین مخاطرات طبیعی در سراسر جهان هستند که منجر به نابودی حیات، ضرر و زیان‌های مالی و اجتماعی فراوانی می‌شوند (نوتر، 1999: 183؛ سو و همکاران 2006: 139). آثار انسانی و طبیعی این‌گونه رخدادهای جوی به جای اینکه در اثر تغییرات میانگین‌های اقلیمی حادث شوند، در اثر تناوب بسامد و شدت شرایط جوی فرین مرتبط با دما، بارش یا جنبه‌های دیگری از اقلیم بوجود آمده و تشدید می‌شوند (کاتز و براون، 1992: 289؛ پلامر و همکاران، 1999: 183).

از آنجا که دما مهم‌ترین سنج‌ی اقلیمی است و اثرات مستقیمی و غیر مستقیمی بر تبخیر، ذوب برف، یخبندان، پایداری_ناپایداری جو و بارش دارد (ایرینک، 1957، به نقل از اوستاواگلو و همکاران، 2008: 431)، تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون سازد. به همین دلیل است که بررسی روند دما در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، بخش بزرگی از تحقیقات اقلیم شناسی را به خود اختصاص داده است (مسعودیان، 1383: 90). افزایش میانگین دمای جهانی طی قرن بیستم، بویژه طی 30 سال اخیر، مُشوق قوی برای پژوهشگران جهت بررسی تغییر اقلیم بوده است (کونی و همکاران، 2008: 399).

برپایه‌ی نتایج پژوهش‌ها، پژوهشگران بر این باورند که تغییر اقلیم بیشتر در قالب تغییر در مقادیر حدی و فرین رخنمود پیدا می‌کند اگرچه ممکن است که میانگین‌ها نیز دچار تغییر و دگرگونی شوند. پژوهش‌های بسیار زیادی بر پایه‌ی مدل‌ها و نمایه‌ها برای نمایش تغییر اقلیم طی چند دهه‌ی اخیر و پیش‌بینی دگرگونی آن برای سال‌های آتی در سراسر جهان انجام شده است. دغدغه‌ی اصلی اندیشمندان علاقمند به تغییر اقلیم یافتن نمایه‌هایی است که بتوانند برای کل جهان کار بست‌پذیر باشند.

تلاش‌های بسیار زیادی در راستای این هدف توسط موسسات و مراکز مطالعات تغییر اقلیم و سازمان جهانی هواشناسی در نشست‌هایی که تدارک دیده بودند، انجام شد. اگر مروری بر ادبیات و پیشینه‌ی مطالعات انجام شده در جهان بر روی فرین‌ها داشته باشیم متوجه می‌شویم که از اوائل دهه‌ی 90، بررسی تغییرات مقادیر فرین منطقه‌ای و جهانی، بویژه دما و بارش با نگرشی نو به آن، در مناطق مختلف دنیا مانند آمریکا (داگانتو، 1996)، کانادا (بونسال، 2001) استرالیا، زلاندنو (پلومر، 1999) و چین (ژای، 1999) آغاز گردید. این مسئله از زمانی بیشتر مورد توجه قرار گرفت که برخی مدل‌های اقلیمی نشان دادند که تغییرات اقلیمی در قرن بیست و یکم سبب افزایشی چشم‌گیر در فراوانی رویدادهای فرین می‌شود (کارل و نایت، 1998: 2254).

فریچ و همکاران (2002) نشان دادند که فرین‌های دمای بیشینه افزایش یافته است و هم‌زمان فرین‌های دمای کمینه کاهش یافته است و نرخ تغییر فرین‌های کمینه بزرگتر از فرین‌های بیشینه است. پژوهش‌ها بر روی دماهای بیشینه و کمینه نشان داده است که تغییرات دما بطور آشکاری بین روز و شب یکسان نیست و نرخ تفاوت شبانه روزی دما طی فرایند گرمایش جهانی کاهش یافته است (کارل و همکاران، 1991: 1108؛ 1993: 1007؛ هورتون، 1995: 102؛ کوتر و لیدک، 1993: 66).

مانتون و همکاران نشان دادند که از سال 1961 روزها و شب‌های گرم بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است درحالیکه روزها و شب‌های سرد در جنوب شرق آسیا و منطقه جنوب اقیانوس آرام کاهش یافته است (مانتون و همکاران، 2001: 284). نتایج بسیاری از تحقیقات بیانگر این است که اقلیم قرن بیست و یکم بسیار متفاوت‌تر از اقلیم قرن بیستم خواهد بود و این مسئله نقش فعالیت‌های انسانی در تغییر اقلیم را متذکر می‌شوند. هر یک از عناصر

اقلیمی در بعد زمان و مکان تغییر می‌کنند. رسیدن به چگونگی این تغییرات از اهداف تحلیل‌های زمانی و مکانی محسوب می‌شود. برای رسیدن به این مقصود باید الگوهای زمانی را از الگوهای مکانی تجزیه نمود به گونه‌ای که مشخص شود هر عنصر اقلیمی در چه زمانی و چه مکانی حاکمیت می‌یابد. شابر و بونسال روند تغییرات امواج سرد و گرم کانادا را بررسی کردند.

بطور کلی نتایج ایشان نشان داد که روند تغییرات امواج گرما و سرما در مناطق مختلف، متفاوت است. در غرب کانادا بسامد امواج گرم (سرد) افزایش (کاهش) یافته است درحالی‌که در شرق کانادا روند برعکس است (شابر و بونسال، 2002: 95). وارفی و همکاران ویژگی‌های روزهای فرین‌های گرم و سرد را در یونان بررسی کردند.

ایشان به کمک داده‌های کمینه و بیشینه‌ی دما بر روی 17 پیمونگه همدیدی و برپایه‌ی یک سری آستانه‌های صدکی نسبت به دوره‌ی پایه هواشناسی 1961-2000، روزهای فرین سرد و گرم را شناسایی کردند.

نتایج آنها نشان داد که فرین‌های سرد روند نزولی و فرین‌های گرم روبه افزایش است (وارفی و همکاران، 2009: 45). روادیکار و همکاران نقش النینو و لانینا را بر فرین‌های دمایی هند مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که نوسان جنوبی النینو با فرین‌های دمایی در زمان آغاز مونسون در ژوئن ارتباط دارد. النینو با فراوانی اندک رخداد‌های فرین گرم در ماه‌های قبل از رخداد مونسون و با فراوانی بالای فرین‌های گرم همزمان با فصل رخداد النینو و بعد از آن ارتباط دارد. برای لانینا شرایط دقیقاً برعکس است (روادیکار و همکاران، 2009: 2121).

بایدیا و همکاران روند فرین‌های اقلیمی دما و بارش را در نپال بررسی کردند. اغلب شاخص‌های فرین دما در مناطق کوهستانی (همیالیا) با مناطق پست جنوبی متفاوت است. در مناطق کوهستانی بزرگی و نرخ روند نسبتاً بیشتر است. دلیل این امر حضور همیشگی پدیده مه در مناطق پست جنوبی است. بطور کلی نرخ رویدادهای حدی گرم صعودی و فرین‌های سرد نزولی است (بایدیا و همکاران، 2008: 38).

رحیم زاده و همکاران تغییرات دما و بارش فرین ایران را طی دهه‌های اخیر مطالعه کردند. برای انجام این کار آنها از آمار 27 پیمونگه همدید کشور و از شاخص‌های توصیه شده توسط کارشناسان آشکارسازی و تعیین شاخص تغییر اقلیم و نمایه‌ها (ETCCDI) استفاده کردند.

نتایج ایشان نشان داد که شاخص‌های دماهای فرین نظیر روزهای همراه با یخبندان (FD)، روزهای سرد (TX10p)، شب‌های سرد (TN10p) و اختلاف دمای روزانه (DTR) در بیشتر مناطق ایران روند منفی را نشان می‌دهند. درحالی‌که روزهای تابستانی (SU25)، روزهای گرم (TX90p) و شب‌های حاره‌ای (TR20) در بیشتر مناطق ایران روند مثبتی را نشان می‌دهد (رحیم‌زاده و همکاران، 2009: 329).

کوثری و اسدی (2010) روند کمینه، بیشینه و میانگین دمای سالانه، رطوبت نسبی و بارش را در مناطق خشک و نیمه خشک ایران مطالعه کردند و نشان دادند که روند دمای کمینه و میانگین معنادار است و روبه افزایش است (کوثری و اسدی، 2010: 321).

مسعودیان و دارند طی مقاله‌ای به تحلیل مکانی زمانی روزهای فرین سرد ایران پرداختند. آنها برای شناسایی روزهای همراه با سرمای فرین از نمایه‌ی تفاضل دمای بهنجار شده (NTD) استفاده کردند.

روزهایی که میزان نمایه دست کم 2- بود ($NTD \leq -2$) به عنوان روزهای همراه با رخداد سرمای فرین برگزیده شدند و روند آن برای پهنه‌ی ایران در برج‌های مختلف سال محاسبه شد. یافته‌ها نشان داد که گستره‌ی روند منفی رخداد تعداد روزهای فرین سرد طی دوره‌ی مورد مطالعه بیشتر از گستره‌ی روند مثبت است.

روند مثبت تعداد روزهای فرین سرد بر روی ناهمواری‌های مرتفع شهر کرد، سنندج، زنجان تا اردبیل و بصورت نوار باریکی بر روی رشته کوه‌های البرز قرار گرفته‌اند. در حالیکه روند منفی رخداد تعداد روزهای فرین سرد، نیمه‌ی مرکزی و جنوبی کشور را در بر دارد. بیشترین و کمترین رخداد سرماهای فرین ایران به ترتیب مربوط به برج‌های دی و تیر است (مسعودیان و دارند، 1392). هدف این پژوهش ارزیابی تغییرات نمایه‌های فرین دما در استان کردستان طی دهه‌های اخیر است.

داده و روش شناسی

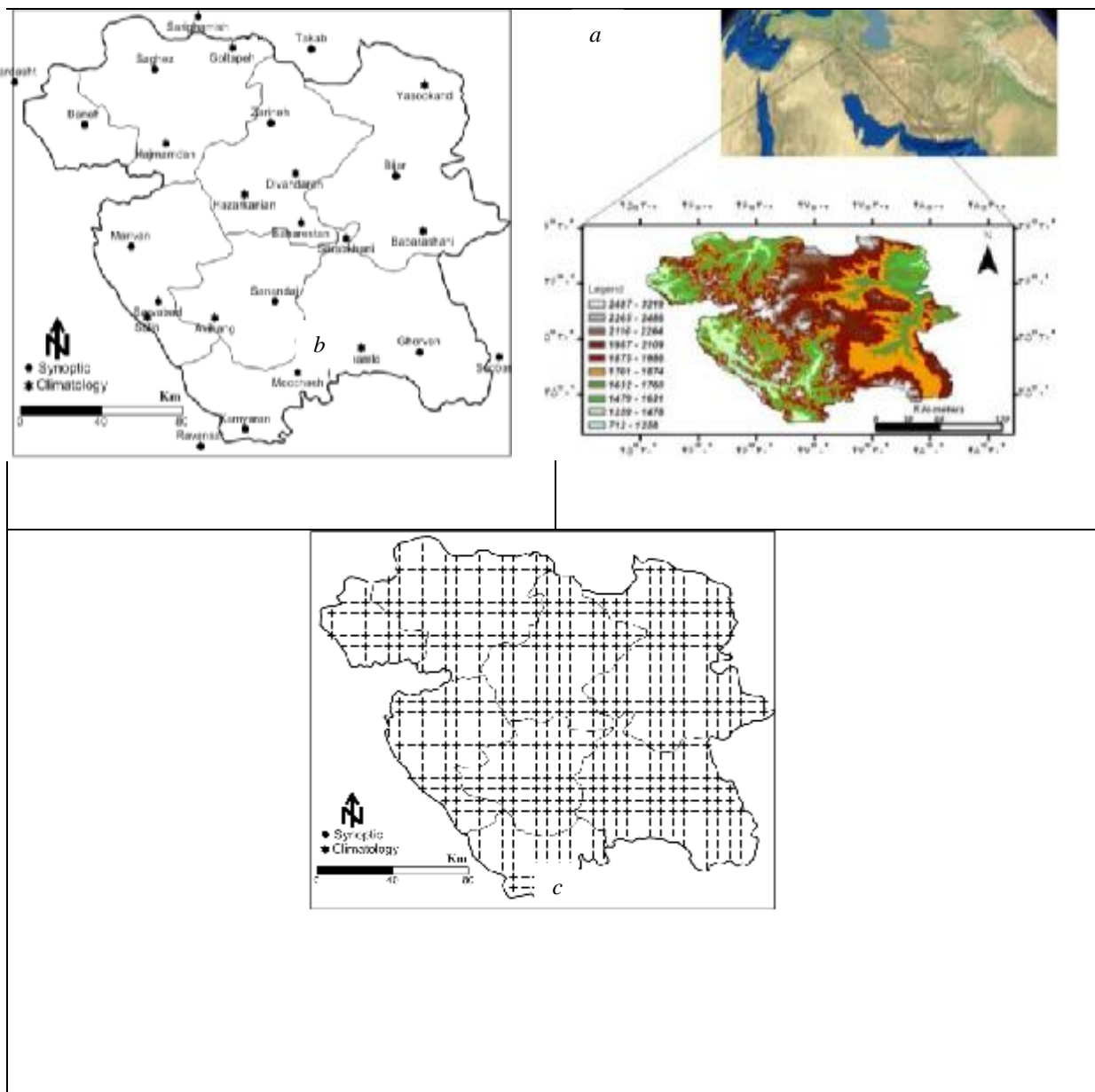
برای انجام این پژوهش از داده‌های روزانه‌ی دمای کمینه و بیشینه‌ی 11 پیمونگاه همدید و 15 پیمونگاه اقلیمی در داخل و خارج از استان (شکل 1) طی بازه‌ی زمانی 1962/1/1 تا 2010/12/31 استفاده شد. داده‌ها به کمک روش کریگینگ معمولی با تفکیک مکانی داده‌ها 6×6 کیلومتر درون‌یابی شدند که حاصل آن 811 یاخته بود که استان کردستان را پوشش می‌دادند. دو پایگاه داده در ابعاد 811×17898 برای دمای کمینه و بیشینه ایجاد شد که بر روی ردیف‌ها روز و بر روی ستون‌ها یاخته‌ها قرار داشتند.

این دو پایگاه داده مبنای محاسبات فرین‌های دما بر روی استان قرار گرفت. از 16 نمایه‌ی فرین دمای معرفی شده توسط گروه کارشناسی شناسای تغییر اقلیم و نمایه‌ها جهت واکاوی تغییرات رفتار فرین‌های دما در استان استفاده شد. در جدول 1 فهرست نمایه‌ها آمده است. بطور کلی این نمایه‌ها برپایه‌ی آستانه‌های صدکی، مطلق و دوره‌ای هستند که بسامد، شدت و دوام سنجه‌ی مهم جوی یعنی دما را ارزیابی می‌کنند.

برای هر کدام از 811 یاخته بر روی استان مقادیر نمایه‌ها محاسبه شد. به کمک روش ناپارامتری من‌کندال معناداری روند بر روی هر کدام از 811 یاخته در سطح اطمینان 95 درصد مورد آزمون قرار گرفت.

به کمک روش رگرسیون خطی مقادیر شیب و نرخ تغییرات بر روی یاخته‌های دارای روند محاسبه شد. جهت آگاهی و تحلیل مکانی، روند و نرخ روند تغییرات نمایه‌ها بصورت نقشه نشان داده شد. مقادیر نرخ روند نمایه‌ها برحسب هر دهه نشان داده شده است.

شکل ۱: موقعیت مکانی و مدل رقومی ارتفاع (DEM) استان کردستان (a)، موقعیت مکانی پیمونگاه‌های سینوپتیک و اقلیمی منطقه جهت انجام درون یابی (b) و موقعیت مکانی 811 یاخته با فواصل ۶×۶ کیلومتر (c).



جدول 1: نمایه‌های فرین دما برگرفته از وب سایت گروه کارشناسی شناسایی

تغییر اقلیم و نمایه‌ها <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI>

| نمایه | تعریف | یکا |
|--|--|------------|
| FD | روزهای یخبندان: تعداد روزهایی از سال که دمای کمینه‌ی روزانه کوچکتر از صفر درجه سانتی گراد باشد | روز |
| SU25 | روزهای تابستانی: تعداد روزهایی از سال که دمای بیشینه‌ی روزانه بزرگتر از 25 درجه سانتی گراد باشد | روز |
| ID | روزهای یخی: تعداد روزهایی از سال که دمای بیشینه‌ی روزانه کوچکتر از صفر درجه سانتی گراد باشد | روز |
| TR20 | شب های حاره‌ای: تعداد روزهایی از سال که دمای کمینه‌ی بیشتر از 20 درجه سانتی گراد باشد | روز |
| GSL | طول فصل رشد در سال (اول ژانویه تا 31 دسامبر در نیمکره شمالی؛ اول ژوئیه تا 30 ژوئن در نیمکره جنوبی): تعداد روزهایی از سال که بین اولین رخدادی که دست کم 6 روز پیاپی میانگین دمای روزانه بیشتر از 5 درجه سانتی گراد و اولین رخدادی که دست کم 6 روز پیاپی بعد از اول ژوئیه (اول ژانویه در نیمکره جنوبی) میانگین دمای روزانه کوچکتر از 5 درجه سانتی گراد باشد را طول فصل رشد گویند | روز |
| TXx | بزرگترین دمای بیشینه: میزان حداکثر دمای بیشینه‌ی روزانه در ماه | سانتی |
| TXn | کوچکترین دمای بیشینه: میزان حداقل دمای کمینه‌ی روزانه در ماه | سانتی |
| TNx | بزرگترین دمای کمینه: میزان حداکثر دمای کمینه‌ی در ماه | سانتی |
| TNn | کوچکترین دمای کمینه: میزان حداقل دمای کمینه‌ی در ماه | سانتی |
| TN10p | شب های سرد: درصدی از روزها که دمای شبانه کوچکتر از صدک 10ام دوره‌ی مینا (1971-2000) باشد | روز |
| TX10p | روزهای سرد: درصدی از روزها که دمای روزانه کوچکتر از صدک 10ام دوره‌ی مینا (1971-2000) باشد | روز |
| TN90p | شب های گرم: درصدی از روزها که دمای شبانه بزرگتر از صدک 90ام دوره‌ی مینا (1971-2000) باشد | روز |
| TX90p | روزهای گرم: درصدی از روزها که دمای روزانه بزرگتر از صدک 90ام دوره‌ی مینا (1971-2000) باشد | روز |
| WSDI* | موج گرما: تعداد روزهای از سال که حداقل 6 روز پیاپی دمای روزانه بیشتر از صدک 90ام دوره‌ی مینا (1971-2000) باشد | روز |
| CSDI* | موج سرما: تعداد روزهای از سال که حداقل 6 روز متوالی دمای شبانه کوچکتر از صدک 10ام دوره‌ی مینا (1971-2000) باشد | روز |
| DTR | دامنه‌ی دمای شبانه‌روزی: تفاوت میانگین ماهانه‌ی دمای روزانه و شبانه. فرض کنید که Tn_{ij} و Tx_{ij} به ترتیب دمای بیشینه‌ی روزانه و دمای کمینه‌ی روزانه در روز i ام در دوره‌ی j ام است. اگر I بیانگر تعداد روزهای دوره‌ی j ام باشد، بنابراین دامنه‌ی دمای روزانه از رابطه‌ی زیر بدست می آید | سانتی گراد |
| $DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I}$ | | |

یافته‌های پژوهش

برپایه‌ی نتایج حاصل از آزمون من‌کندال بر روی بلندی‌های شمالی، نیمه‌ی غربی و شرقی استان کردستان بسامد روزهای یخبندان (FD) طی دوره‌ی مورد مطالعه در سطح اطمینان 95 درصد روند معناداری از خود نشان می‌دهند. بر روی بلندی‌ها روند این گونه روزها مثبت است و به بیانی دیگر بسامد رخداد آنها روبه افزایش است درحالی‌که بر روی نیمه‌ی غربی و شرقی استان روند منفی است. گستره‌ی روند منفی در 19/5 درصد پهنه‌ی استان مشاهده شد و 35/1 درصد پهنه‌ی استان روند منفی را تجربه کرده‌اند. بیشترین نرخ روند افزایشی این نمایه در دیواندره، زرینه و گل‌تپه مشاهده شد. بر روی این مناطق 6 الی 11 روز به ازای هر دهه، بسامد روزهای یخبندان افزوده شده است. بیشترین نرخ کاهش‌ی روزهای یخبندان در سلین در جنوب‌غرب استان کردستان مشاهده شد. در این مناطق 9 الی 13 روز از بسامد رخداد روزهای یخبندان کاسته شده است. برای نمایه‌ی روزهای تابستانی (SU25) در 48 درصد پهنه‌ی استان (از جنوب تا شمال و شمال‌غرب استان) روند منفی و بر روی 6/8 درصد استان (جنوب‌غرب استان) روند مثبت است.

بر روی زرینه و دیواندره نرخ کاهش‌ی این نمایه بیشینه است و برابر با 8 الی 11 روز به ازای هر دهه است. روزهای یخی (ID) در 39/7 درصد استان که از جنوب‌شرق استان تا شمال استان را در بر دارد روند مثبتی نشان می‌دهد درحالی‌که بر روی 16 درصد استان (جنوب‌غرب) روند منفی است.

در نیمه‌ی شرقی شهر دیواندره نرخ افزایش‌ی این نمایه 6 الی 9 روز به ازای هر دهه است. شب‌های گرمسیری (TR20) یکی دیگر از نمایه‌های فرین دماست که برپایه‌ی دمای کمینه (شبانه) قابل محاسبه است. روند بسامد رخداد این نمایه بر روی بلندی‌های استان منفی و بر روی مناطق کم ارتفاع غربی و شرقی استان روند مثبت است. گستره‌ی روند منفی 22/7 درصد استان و برای روند مثبت 34 درصد پهنه را در بر دارد. همانند سایر نمایه‌ها بیشترین نرخ تغییرات روند مثبت در سلین (جنوب‌غرب استان) مشاهده شد. بدین صورت که طی دوره‌ی مورد مطالعه بر بسامد رخداد اینگونه شب‌ها 8 الی 12 شب به ازای هر دهه افزوده شده است.

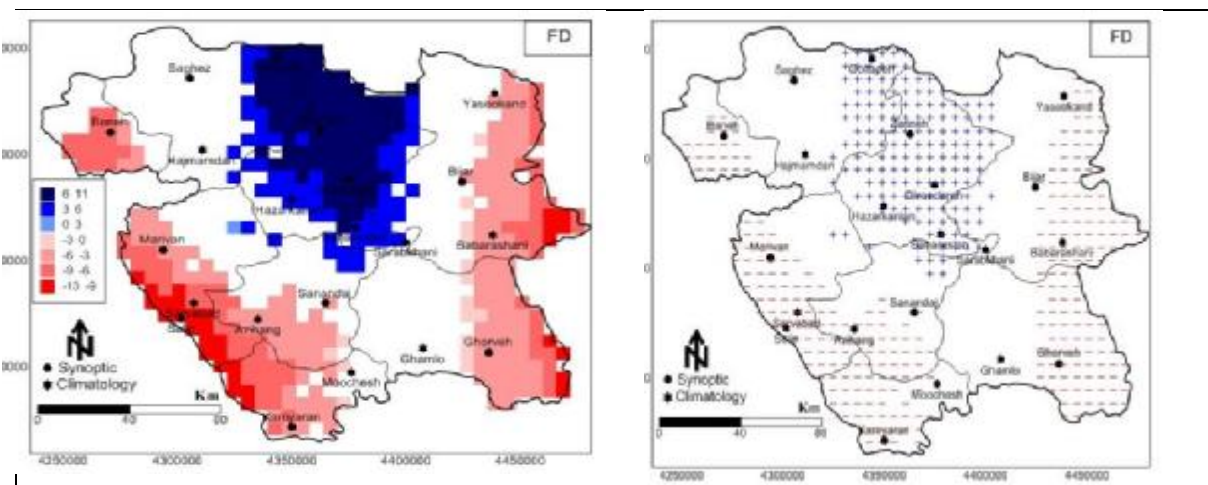
در دیواندره، زرینه و گل‌تپه نیز نرخ کاهش‌ی اینگونه شب‌ها بیشینه است و برابر با 1 الی 2/3 شب به ازای هر ده سال است. طول فصل رشد (GSL) در استان کردستان طی دوره‌ی مورد مطالعه دچار تغییرات معناداری شده است. بر روی حدود 44 درصد از پهنه‌ی مکانی استان طول فصل رشد روند نزولی در سطح اطمینان 95 درصد از خود نشان می‌دهد. از لحاظ موقعیت مکانی این مناطق بر روی بلندی‌ها و ارتفاعات استان که در مرکز استان واقع شده‌اند، قرار دارند. بر روی 7/3 درصد از گستره‌ی مکانی استان روند این نمایه مثبت است. روند مثبت این نمایه بر روی جنوب غرب استان که مناطق پست و کم‌ارتفاع استان را در بر دارد دیده می‌شود.

در بین مناطق دارای روند منفی این نمایه زرینه اوباتو و دیواندره بیشترین نرخ کاهش‌ی را نشان می‌دهند که 9 الی 14 روز به ازای هر دهه از طول فصل رشد کاسته شده است. سلین (جنوب غرب استان) بیشترین نرخ افزایش‌ی طول فصل رشد را تجربه کرده است. به طول فصل رشد در سلین 9 الی 12 روز به ازای هر ده سال افزوده است. با توجه به این نتایج بطور کلی می‌توان گفت که مناطق مرتفع و بلندی‌های استان کردستان سردتر شده و از طول فصل رشد در اینگونه مناطق کاسته شده درحالی‌که مناطق پست و کم‌ارتفاع استان گرمتر شده و بر طول فصل رشد آنها افزوده شده است.

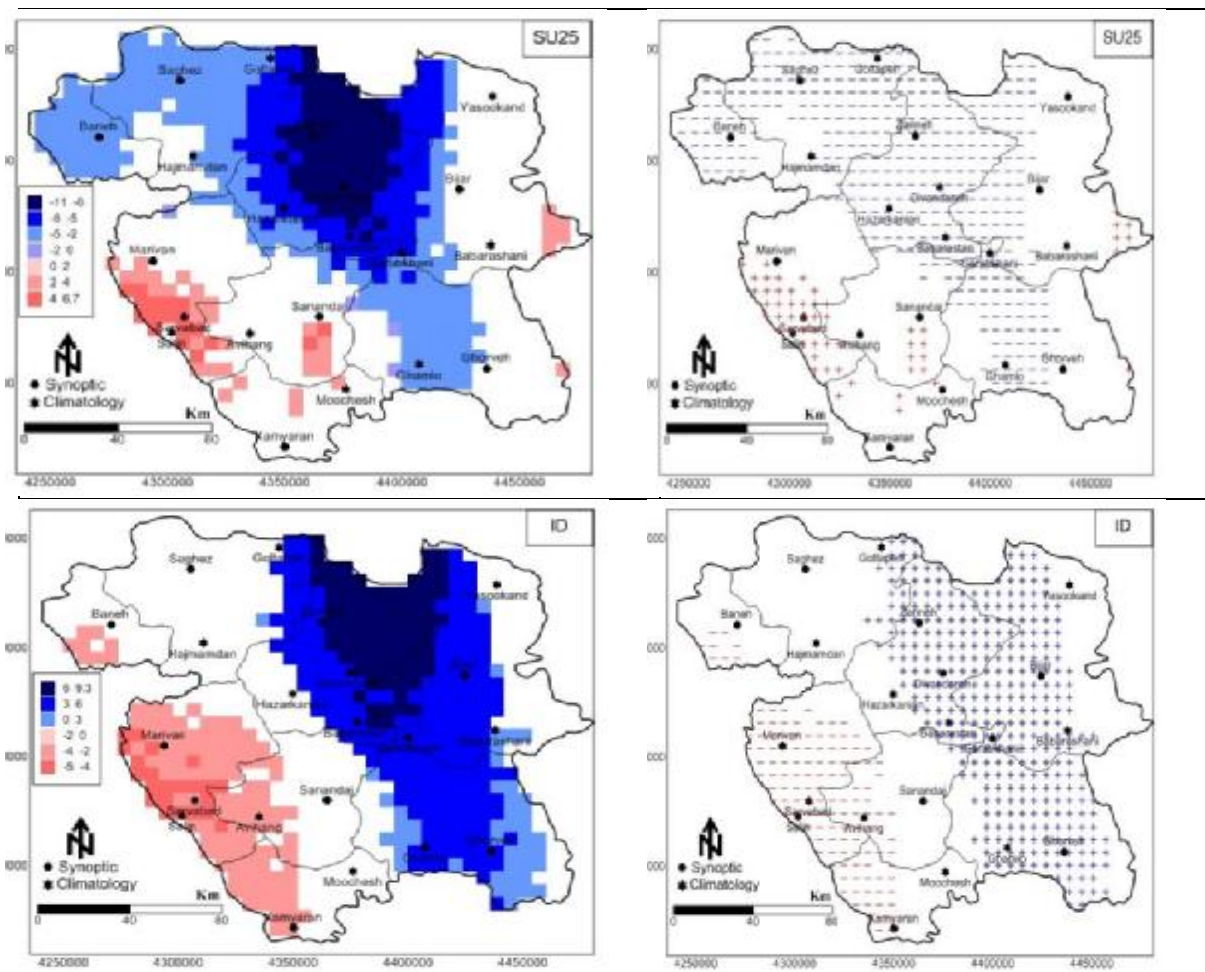
برخلاف سایر نمایه‌ها برای نمایه‌ی بزرگترین دمای بیشینه (TXx) هیچ گونه روند مثبتی بر روی استان مشاهده نشد. روند منفی بر روی بیش از نیمی از گستره‌ی استان (57/8 درصد) مشاهده شد که به لحاظ مکانی بیشتر بر روی بلندی‌های استان مشاهده شد. نرخ کاهش روند این نمایه در زربینه و دیواندره بیشینه است و برابر با 1 الی 1/2 درجه‌ی سلسیوس به ازای هر دهه است. بر روی مناطق کم‌ارتفاع و پست استان کردستان روند این نمایه به لحاظ آماری معنادار نیست.

روند کوچکترین دمای روزانه (TXn) بر روی نیمه‌ی شرقی استان منفی و بر روی نیمه‌ی غربی آن مثبت است. برخلاف سایر نمایه‌ها بیشینه‌ی نرخ کاهش این نمایه بر روی قروه و بیجار مشاهده شد. در این مناطق نرخ کاهش این نمایه 1/8 الی 2/2 درجه‌ی سانتی‌گراد به ازای هر دهه است. در سلین نرخ افزایشی کوچکترین دمای روزانه 1/8 الی 2/3 درجه‌ی سانتی‌گراد به ازای هر ده سال است. نمایه‌ی بزرگترین دمای شبانه (TNx) بر روی 24 درصد از پهنه‌ی استان روند منفی و بر روی 26/8 درصد آن روند مثبت نشان می‌دهد. به لحاظ پراکنش مکانی بر روی بلندی‌های شمال استان روند منفی و بر روی مناطق کم‌ارتفاع نیمه‌ی شرقی و بخش‌های کوچکی از غرب استان روند مثبت است.

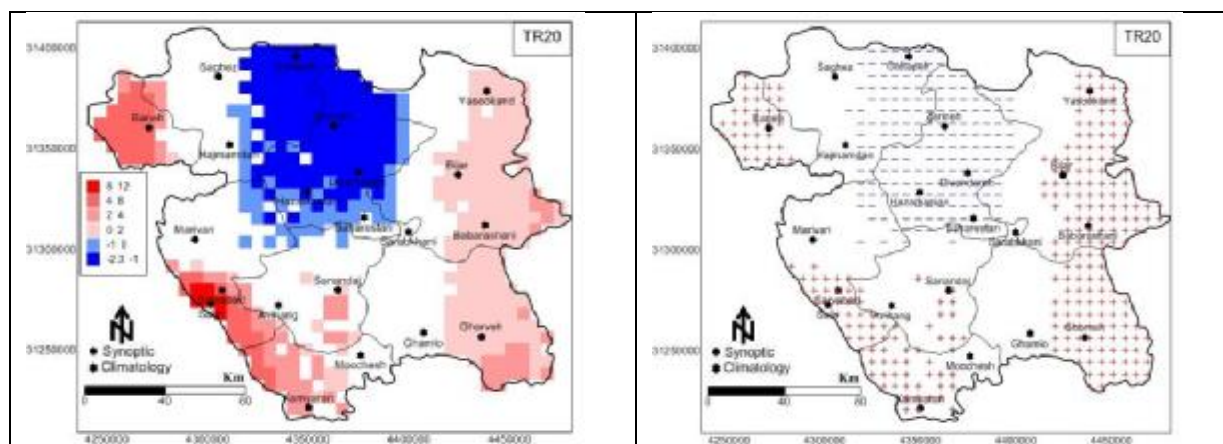
در نیمه‌ی شرقی شهرستان‌های قروه و بیجار نرخ افزایشی این نمایه بیشینه است و برابر با 0/8 الی 1/2 درجه‌ی سانتی‌گراد به ازای هر دهه است. روند کوچکترین دمای شبانه (TNn) بر روی 15/8 درصد از گستره‌ی استان کردستان روند مثبت دارد و تنها بر روی 6/3 درصد آن روند منفی است که به صورت پراکنده بر روی بلندی‌ها مشاهده می‌شود. در سلین و بانه نرخ افزایشی کوچکترین دمای شبانه برابر با 2 الی 2/6 درجه‌ی سانتی‌گراد به ازای هر دهه است.

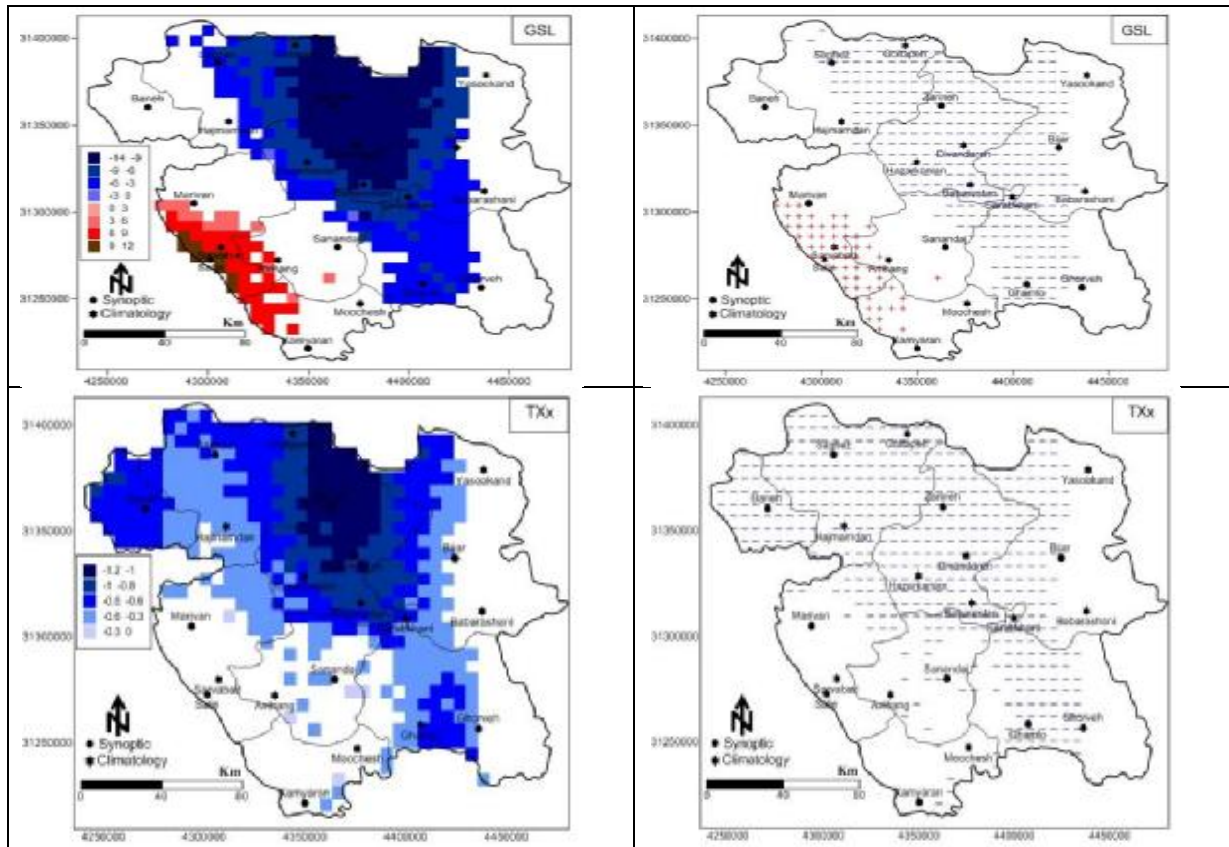


شکل 2: روند و شیب نمایه‌های روزهای یخبندان (FD)، روزهای یخبندان (SU25) و روزهای یخی (ID)

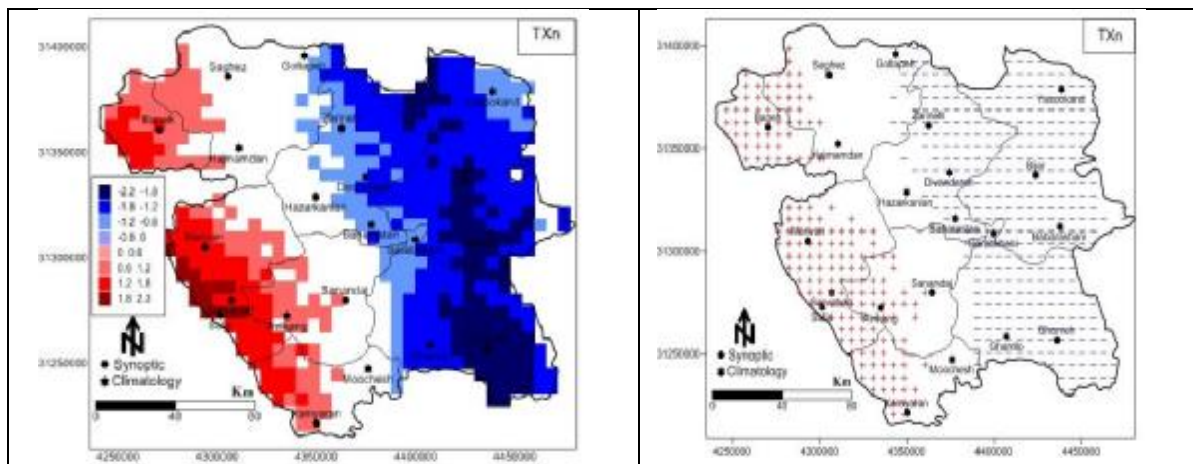


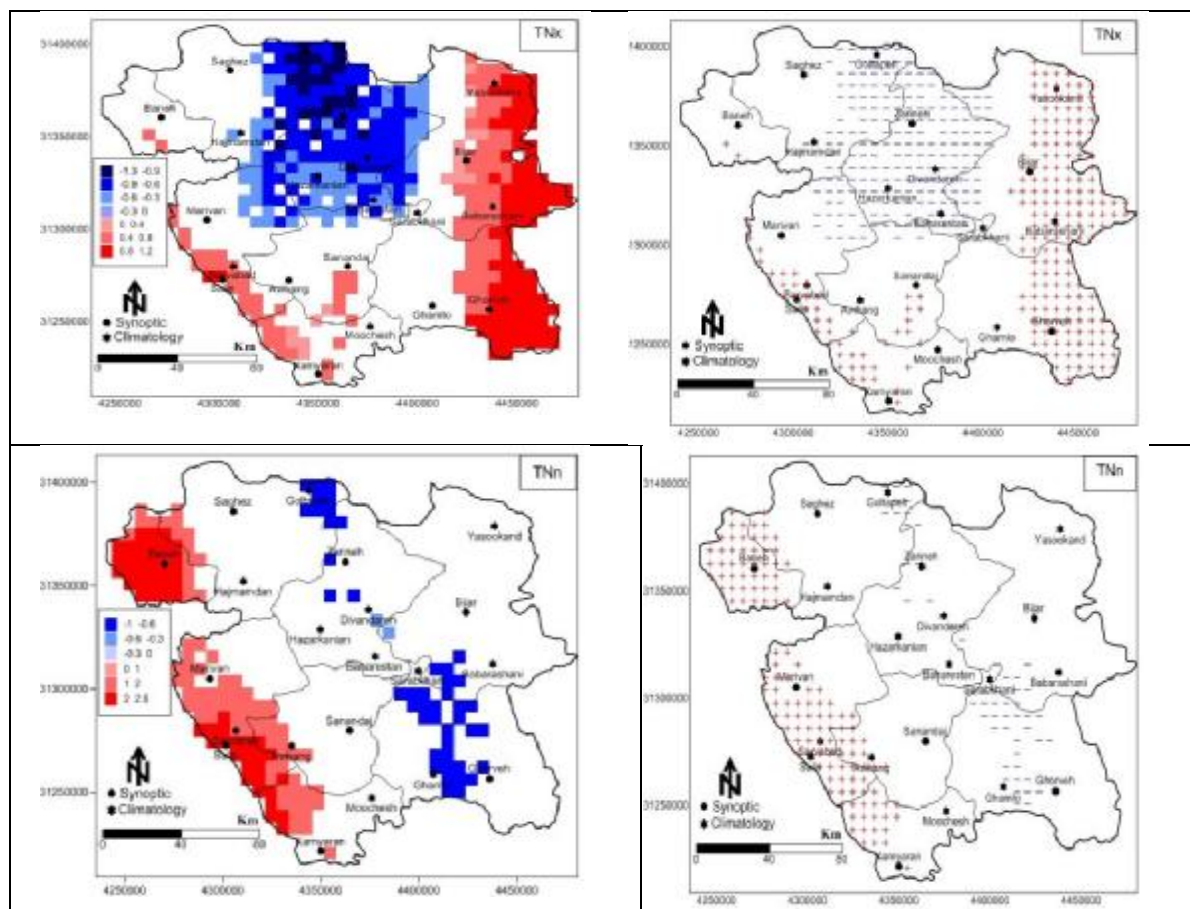
ادامه شکل 2: روند و شیب نمایه‌های روزهای یخبندان (FD)، روزهای یخبندان (SU25) و روزهای یخی (ID)





شکل 3: روند و شیب نمایه‌های شب‌های حاره‌ای (TR20)، طول فصل رشد (GSL) و بزرگترین دمای بیشینه (TXx)





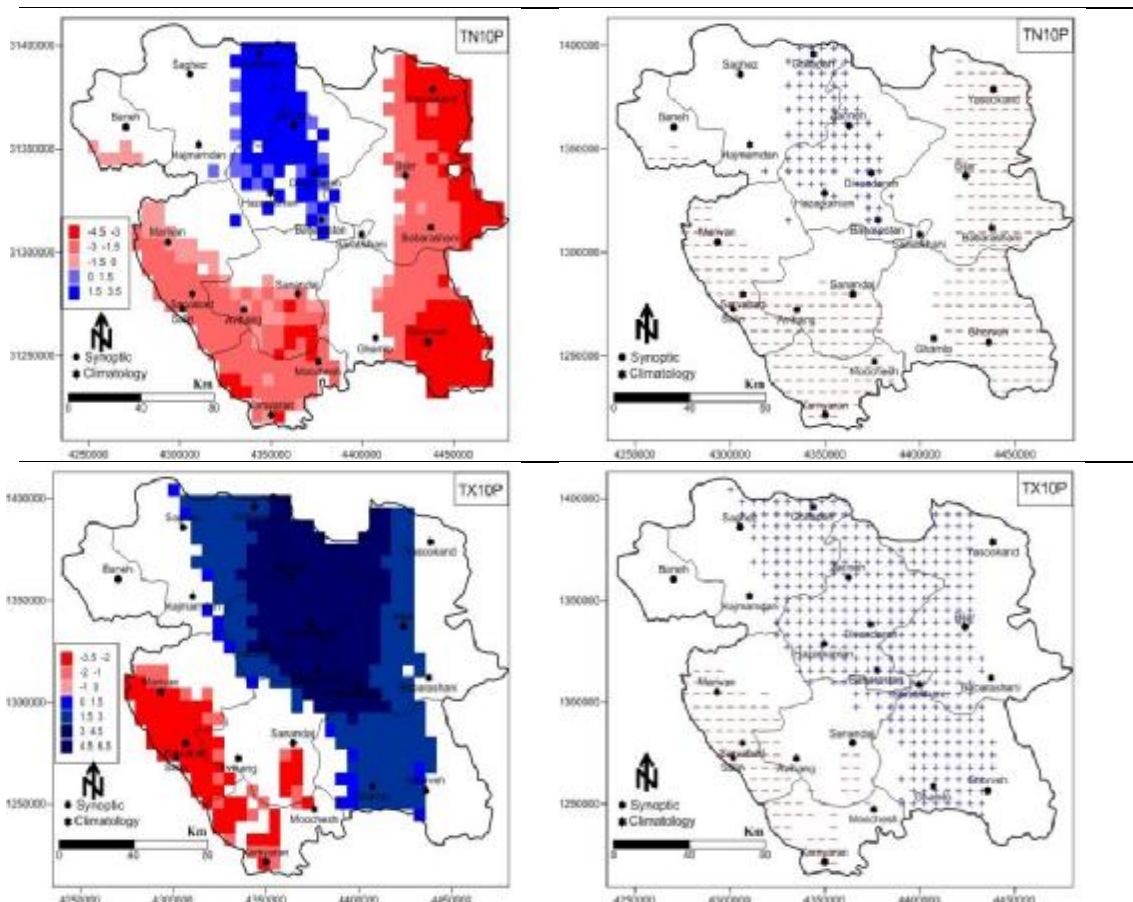
شکل 4: روند و شب نمایه‌های کوچکترین دمای بیشینه (TXn)، بزرگترین دمای کمینه (TNx) و کوچکترین دمای کمینه (TNn)

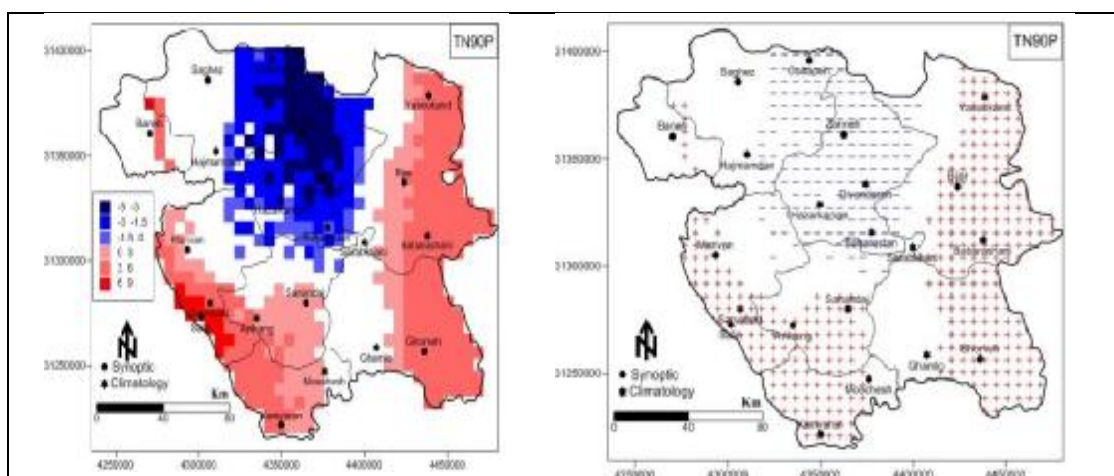
یکی دیگر از نمایه‌های فرین دما، تغییرات بسامد رخداد شب‌های سرد (TN10P) است. بر روی 43/2 درصد از پهنه‌ی استان کردستان روند این نمایه منفی و تنها بر روی 11/2 درصد روند مثبت است. روند مثبت افزایش بسامد رخداد شب‌های سرد بر روی بلندی‌ها و ارتفاعات استان کردستان (زرینه اوباتو، گل تپه و دیواندره) مشاهده می‌شود. بر روی نیمه‌ی شرقی استان، غرب و جنوب غرب استان بسامد رخداد شب‌های سرد روند نزولی از خود نشان می‌دهد. نرخ کاهشی بسامد رخداد شب‌های سرد در نیمه‌ی شرقی استان بیشتر از نیمه‌ی غربی بوده و به 3 الی 4/5 شب به ازای هر دهه می‌رسد. بر روی بلندی‌ها نیز نرخ روند افزایشی اینگونه شب‌ها 1/5 تا 3/5 شب به ازای هر دهه است. روند تغییرات بسامد رخداد روزهای سرد (TX10P) بر روی 44/1 درصد از پهنه‌ی استان کردستان مثبت و بر روی 11/3 درصد آن روند منفی است.

همانند نمایه‌ی شب‌های سرد (TN10P) بر روی بلندی‌ها روند این نمایه مثبت و بر روی مناطق کم‌ارتفاع روند منفی است. تفاوتی که بین تغییرات بسامد این نمایه با نمایه‌ی قبلی وجود دارد آن است که مناطق دارای روند معنادار و مثبت روزهای سرد (TX10P) بیش از 4 برابر گستره‌ی مکانی روند مثبت نمایه‌ی شب‌های سرد (TN10P) است. به بیانی دیگر بر روی گستره‌ی بیشتری از بلندی‌های استان بسامد رخداد روزهای سرد افزایش

یافته است. هم‌چنین مناطق دارای روند منفی روزهای سرد نیز کمتر از 4 برابر گستره‌ی مکانی نمایه‌ی شب‌های سرد (TN10P) است. به بیانی دیگر بر روی گستره‌ی کوچکی از مناطق پست استان روند این نمایه منفی است. مناطق دارای روند منفی روزهای سرد بر روی جنوب غرب استان واقع شده‌اند. مناطق دارای روند مثبت از بلندی‌های جنوب تا شمال استان را بصورت یکپارچه در بر دارد.

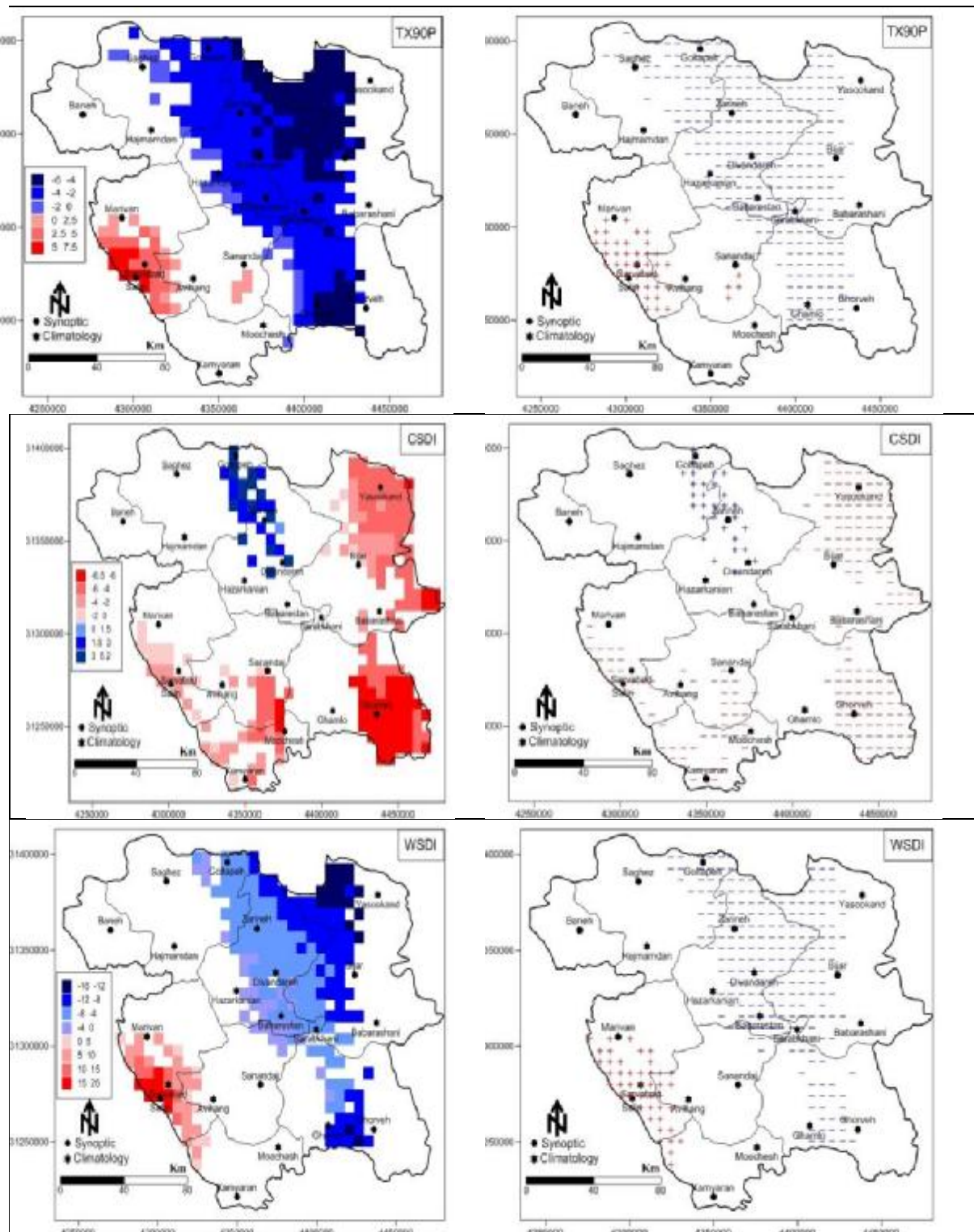
بر روی دیواندره، زرینه اوباتو و بهارستان نرخ افزایشی بسامد رخداد این نمایه به $4/5$ تا $6/5$ روز به ازای هر دهه می‌رسد. بر روی سروآباد، سلین و مریوان نرخ کاهشی بسامد اینگونه روزها 2 الی $3/5$ روز به ازای هر دهه است. یکی دیگر از نمایه‌های صدکی فرین دما، تغییرات بسامد رخداد شب‌های گرم (TN90P) است. همانطور که قابل ملاحظه است بر روی $41/3$ درصد از پهنه‌ی استان کردستان روند مثبت و بر روی $22/2$ درصد آن روند منفی است. همانند سایر نمایه‌های دیگر بر روی ارتفاعات و بلندی‌های استان بسامد رخداد شب‌های گرم کاهشی است و به بیانی دیگر از بسامد رخداد شب‌های گرم کاسته شده است ولی بر روی بخش‌های کم‌ارتفاع استان (بخش‌های شرقی و جنوب غرب و غرب) بسامد رخداد شب‌های گرم افزایش یافته است. بر روی دیواندره و زرینه نرخ کاهشی بسامد رخداد شب‌های گرم بیشینه است و برابر با 3 تا 5 شب به ازای هر دهه از بسامد اینگونه شب‌ها کاسته شده است. هم‌چنین در سلین نرخ افزایشی شب‌های گرم بیشینه است و 6 الی 9 شب به ازای هر دهه افزایش یافته است.





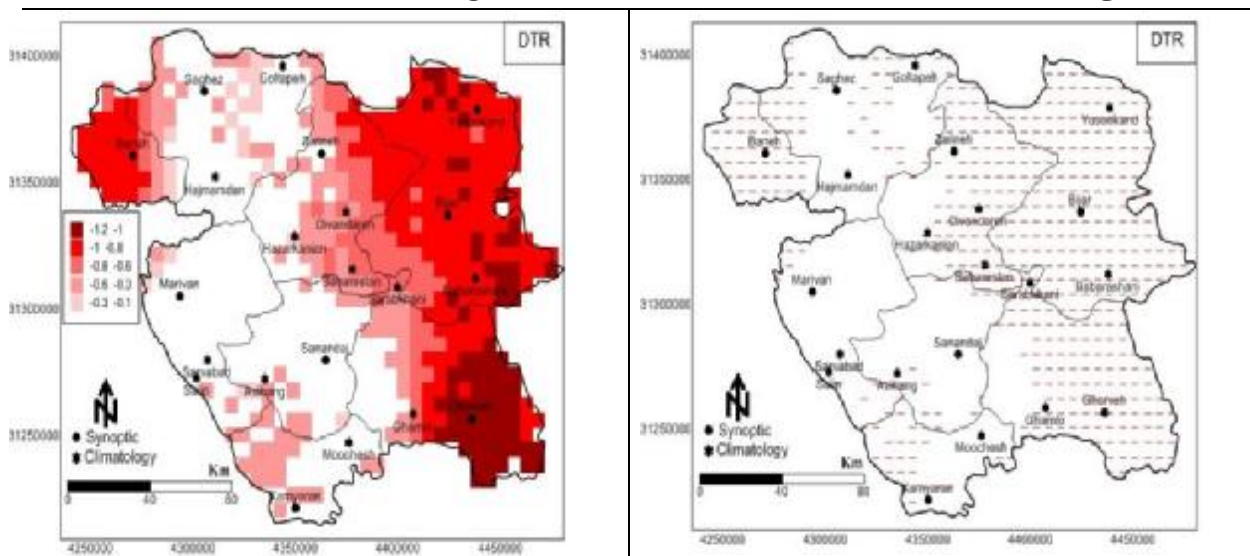
شکل 5: روند و شیب نمایه‌های شب‌های سرد (TN90P)، روزهای سرد (TX10P) و شب‌های گرم (TN90P)

روند نمایه‌ی روزهای گرم بر روی 37/4 درصد از گستره‌ی استان کردستان منفی و بر روی 5/2 درصد آن روند مثبت است. در مقایسه با نمایه‌ی شب‌های گرم (TN90P) گستره‌ی مکانی روند مثبت روزهای گرم (TX90P) بسیار کمتر شده و حدود 8 برابر کمتر شده است و تنها بر روی بخش‌های کم‌ارتفاع و پست جنوب‌غرب استان روند این نمایه مثبت است. برعکس گستره‌ی مکانی روند منفی روزهای گرم (TX90P) دو برابر نمایه‌ی شب‌های گرم (TN90P) است و بر روی بلندی‌ها و ارتفاعات زیاد از جنوب تا شمال استان را در بر دارد. بیشترین نرخ افزایشی روزهای گرم در سلین مشاهده شد که 5 تا 7/5 روز به ازای هر دهه بر بسامد رخداد این‌گونه روزها افزوده شده است. بر روی بخش‌های شمالی استان نرخ کاهش روزهای گرم 4 تا 6 روز به ازای هر دهه است. امواج سرما (CSDI) به نوعی دوام امواج سرما را در نظر دارد. بر روی 24/8 درصد از پهنه‌ی استان کردستان از دوام دوره‌ی سرد کاسته شده است. درحالی‌که بر روی 3/6 درصد از گستره‌ی استان دوام این‌گونه امواج افزایش یافته است. بر روی نیمه‌ی شرقی استان کردستان از یاسوکند تا قروه و بخش‌های جنوب و جنوب غربی استان روند این نمایه منفی است. بیشترین نرخ کاهش این نمایه در قروه و یاسوکند مشاهده شد بطوری‌که از دوام امواج سرما 6 تا 8/5 روز کاسته شده است. افزایش دوام امواج سرما در شمال استان بر روی گل‌تپه و زرینه مشاهده شد. همان‌طور که از عنوان شاخص دوام دوره‌ی گرم (WSDI) بر می‌آید این نمایه دوام امواج گرما را نشان می‌دهد. بر روی 26/6 درصد از گستره‌ی استان کردستان دوام امواج گرما کاسته شده است و بر روی 5/3 درصد از پهنه‌ی استان کردستان دوام امواج گرمایی افزایش یافته است. کاهش دوام دوره‌ی گرم در ارتفاعات و بلندی‌ها از گل‌تپه و زرینه اوباتو تا جنوب استان مشاهده می‌شود. در سلین نرخ افزایشی دوره گرم 15 الی 26 روز به ازای هر دهه افزایش یافته است.



شکل 6: روند و شیب نمایه‌های روزهای گرم (TX90P)، امواج سرما (CSDI) و امواج گرما (WSDI)

دامنه‌ی دمای شبانه‌روزی (DTR) اختلاف بین دمای روزانه و شبانه است. روند این نمایه بر روی 59/9 درصد از گستره‌ی استان منفی است. به بیانی دیگر بر روی این مناطق دمای روزانه و شبانه به همدیگر نزدیک می‌شوند و اختلاف کمتر می‌شود. طی دوره‌ی مورد مطالعه در شرق استان بر روی قروه نرخ کاهشی این نمایه برابر با 1 الی 1/2 درجه‌ی سانتی‌گراد به ازای هر دهه است. روند مثبت برای این نمایه در هیچ نقطه‌ای از پهنه‌ی استان مشاهده نشد.



شکل 7: روند و شیب نمایه‌ی دامنه‌ی دمای شبانه‌روزی (DTR)

نتیجه‌گیری

واکاوی تغییرات رفتار و بسامد رخداد نمایه‌های فرین سنج‌های جوی جهت آگاهی از تغییر اقلیم در یک منطقه بسیار مهم و ضروری است. چرا که یکی از نشانه‌های رخداد تغییر اقلیم تغییر در بسامد رخداد این‌گونه رخداد‌های فرین است. تغییر در بسامد رخداد این‌گونه نمایه‌های فرین بر روی همه‌ی مناطق کره‌ی زمین نه تنها هم‌سو و یکنواخت نیست بلکه ممکن است کاملاً متفاوت باشد. بنابراین در این پژوهش از 16 نمایه‌ی معرفی شده توسط تیم متخصص تغییر اقلیم و نمایه‌ها جهت واکاوی تغییرات نمایه‌ها استفاده شد. برای انجام این پژوهش از داده‌های روزانه‌ی دمای کمینه و بیشینه‌ی 11 پیمونگاه هم‌دید و 15 پیمونگاه اقلیمی در داخل و خارج از استان طی بازه‌ی زمانی 1962/1/1 تا 2010/12/31 استفاده شد. داده‌ها به کمک روش کریگینگ با تفکیک مکانی داده‌ها 6×6 کیلومتر درون‌یابی شدند که حاصل آن 811 یاخته بود که استان کردستان را پوشش می‌دادند. دو پایگاه داده در ابعاد 17898×811 برای دمای کمینه و بیشینه ایجاد شد که بر روی ردیف‌ها روز و بر روی ستون‌ها یاخته‌ها قرار داشتند. این دو پایگاه داده مبنای محاسبات فرین‌های دما بر روی استان قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان داد که نه تنها نوع روند نمایه‌های دمای فرین بر روی کل پهنه‌ی استان کردستان یک‌دست و یکنواخت نیست بلکه نرخ تغییرات و شدت نمایه‌ها نیز یکسان نیست. بسامد رخداد نمایه‌های گرم بر روی مناطق پست و کم‌ارتفاع پهنه‌ی استان رو به افزایش و بر روی مناطق پرارتفاع رو به کاهش است. مناطق دارای روند مثبت بر روی بخش‌های غرب، جنوب‌غرب و

نیمه‌ی شرقی استان قرار دارند. گستره‌ی مکانی افزایش رخداد شب‌های گرم چند برابر گستره‌ی مکانی روزهای گرم است. بسامد رخداد نمایه‌های فرین سرد بر روی استان بر عکس نمایه‌های فرین گرم بر روی ارتفاعات و بلندی‌های استان روبه افزایش است و بر روی مناطق پست و هموار رو به کاهش است. یافته‌های این پژوهش تأییدی بر نتایج مسعودیان (1383) و مسعودیان و دارند (1392) است. به لحاظ مکانی افزایش بسامد رخداد نمایه‌های فرین سرد بر روی بلندی‌های مناطق مرکزی و شمالی استان مشاهده می‌شود. در بین مناطق دارای روند مثبت و افزایش بسامد رخداد نمایه‌های فرین سرد، زرینه‌ی و دیواندره بیشتری نرخ تغییرات را نشان می‌دهند. همچنین در بین مناطق دارای روند مثبت افزایش بسامد رخداد نمایه‌های فرین گرم، بیشترین نرخ تغییرات بر روی سلین و سروآباد مشاهده شد.

منابع

1. مسعودیان، سید ابوالفضل (1383)، بررسی روند دمای ایران در نیم سده‌ی اخیر. مجله جغرافیا و توسعه. صفحات: 89-106.
2. مسعودیان، سید ابوالفضل و دارند، محمد (1392). تحلیل زمانی- مکانی روند روزهای فرین سرد ایران. تحقیقات جغرافیایی. زیر چاپ.
3. Baidya, S., Shrestha, M and Munir Sheikh, M (2008), Trends in daily climatic extremes of temperature and precipitation in Nepal, *Journal of Hydrology and Meteorology*, 38-51.
4. Bonsal, B. R., Zhang, X., Vincent, L.A and Hogg, W.D (2001), Characteristics of daily and extreme temperature over Canada, *Journal of Climate*, 14, pp. 1959-1976.
5. Cony, M., Hernandez, E and Del Teso, T (2008), Influence of synoptic scale in the generation of extremely cold days in Europe, *Atmosfera*, Vol. 21(4), 398-401.
6. Cooter, E.J and LeDuk, S.K (1993), Recent frost data trends in the northern United States. *Int. J. Climatology*, 15: 65-75.
7. DeaGaetano, A.T (1996), Recent trends in Maximum and Minimum temperature threshold exceedences in Northern United States, *Journal of Climate*, 9, pp. 1646-1657.
8. Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P.M., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A.M.G and Peterson, T (2002), Observed coherent changes in climate extremes during the second half of the 20th century. *Clim. Res.*, 19: 193-212.
9. Horton, B (1995), Geographical distribution of changes in maximum and minimum temperatures. *Atmos. Res.*, 37: 101-117.
10. Karl, T.R, Kukla, G., Razuvayev, V.N., Changery, M.J., Quayle, R.G., Heim, R.R., Easterling, D.R and Fu, C.B (1991), Global Warming: Evidence for asymmetric diurnal temperature change. *Geophys. Res. Lett.*, 18: 2253-2256.
11. Karl, T.R and Knight, R.W (1997), The 1995 Chicago heat wave: How likely is a recurrence. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 1107-1119.
12. Karl, T. R., Jones, P. D., Knight, R. W., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V., Gallo, K., Lindsey, J., Charlson, R. J and Peterson, T. C, (1993), Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 74, 1007-1023.
13. Katz, R.W and Brown, B.G (1992) Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Clim Change* 21:289-302.
14. Kousari, M.R., Ekhtesasi, M.R., Tazeh, M., Saremi Naeini, M.A and Asadi Zarch, M.A (2011), An investigation of the Iranian climatic changes by considering the precipitation, temperature, and relative humidity parameters. *Theor Appl Climatol* 103:321-335.
15. Manton, M.J., P.M. Della-Marta, M.R. Haylock, K.J. Hennessy, N. Nicholls, L.E. Chambers, D.A. Collins, G. Daw, A. Finet, D. Gunawan, K. Inape, H. Isobe, T.S. Kestin, P. Lefale, C.H. Leyu, T.Lwin, L. Maitrepierre, N. Ouprasitwong, C.M. Page, J. Pahalad, N. Plummer, M.J. Salinger, R. Suppiah, V.L. Tran, B. Trewin, I. Tibig, and D., Yee (2001), Trends in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the South Pacific: 1916-1998, *Int. J. of Climatol*, 21, 269-284.
16. Nutter, F.W (1999), Global climate change: why U.S. insurers care. *Clim Change* 42:45-49.

17. Plummer, N., Salinger, M.J., Nicholis, N., Suppiah, R., Hennessy, K.J., Leighton, R.M., Trewin, B., Page, C.M and Lough, J.M (1999), Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century. *Climate Change* 42:183–202.
18. Rahimzadeh, F., Asgari, A and Fattahi, E (2008), Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades, *international journal of climatology*, Vol 29, 329-343.
19. Revadekar, J.V., Kothawale, D.R and Rupa Kumar, K (2009), Role of El Nino/La Nina in temperature extremes over India, *Int. J. Climatol.* 29: 2121–2129.
20. Shabbar, A and Bonsal, B (2003), Trends and variability in winter cold and warm spells over Canada, *Int. J. Climatol.* 21, 95-108.
21. Su, B.D, Jiang, T and Jin, W.B (2006), Recent trends in observed temperature and precipitation extremes in the Yangtze River Basin, China. *Theoretical and Applied Climatology* 83:139–151.
22. Varfi, M.S., Karacostas, T.S., Makrogiannis, T.J and Flocas, A.A (2009), Characteristics of the extreme warm and cold days over Greece, *Adv. Geosci.*, 20, 45–50.
23. Zhai, P., Sun, A., Ren, F., Lin ,X., Gao,B and Zhang, Q (1999), Changes of climate extremes in China. *Climatic Change*,42,203-218.
24. Ustaoglu, B., Cigizoglu, H.K and Karaca, M (2008), Forecast of daily mean, maximum and minimum temperature time series by three artificial neural network methods. *Meteotol Appl*, 15, 431-445.