

تحلیل روند شاخص‌های دمای فرین در شمال ایران

بهلول علیجانی^۱

حسن فرج‌زاده^۲

چکیده

محیط طبیعی بر اساس شرایط آب و هوایی تنظیم شده است. جوامع انسانی به ناچار باید خود را بر اساس این شرایط تنظیم و تجهیز نمایند. شناسایی شدت، فراوانی و زمان رخداد‌های فرین آب و هوایی می‌تواند به حل مسایل زیست محیطی کمک نموده و انسان را در تنظیم و اجرای برنامه‌ریزی‌های منسجم و منطقی در برابر تغییرات رفتار این رخدادها یاری نماید. در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات دمای فرین، داده‌های روزانه حداقل و حداکثر دمای ۱۳ ایستگاه شمال غرب ایران از سازمان هواشناسی کشور دریافت و بعد از کنترل و ارزیابی کیفی استفاده گردید. شاخص‌های ۱۶ گانه دمای فرین ایستگاه‌های منتخب توسط بسته نرم‌افزاری RclimDex استخراج و از روش من-کندال برای بررسی وجود روند و روش موجک برای بررسی تغییرات و نوسان‌های دوره‌ای موجود در سری‌ها استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که روند شاخص‌های دمای فرین در اکثر ایستگاه‌های منتخب حاکی از کاهش فراوانی شاخص‌های سرد فرین و افزایش فراوانی شاخص‌های گرم فرین است. نتایج حاصل از تحلیل موجک نشان داد که شاخص‌های سرد فرین دارای نوسان‌های دوره‌ای معنی‌دار کاملاً آشکار طی چرخه‌های زمانی ۲ تا ۴ ساله بوده و در بین شاخص‌های گرم فرین، تنها شاخص گرم‌ترین دمای روز (TXx) در چرخه‌های زمانی ۲ تا ۴ ساله و شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) در چرخه‌های زمانی ۴ تا ۸ ساله بارزترین محدوده‌های معنی‌داری را نشان دادند.

واژگان کلیدی: شاخص‌های فرین آب و هوایی؛ حداقل و حداکثر دمای روزانه؛ روند؛ تحلیل موجک؛ شمال غرب ایران.

۱- Email:bralijani@gmail.com

۲- Email:hassanfa2003@yahoo.com

۱- استاد دانشگاه خوارزمی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی.

۲- نویسنده مسئول دانشجوی دوره دکتری آب و هواشناسی دانشگاه خوارزمی.

مقدمه

در سال‌های اخیر، وقوع مکرر رخداد‌های فرین، مانند امواج گرما و سرما، باران سنگین، رگبار تگرگ، بارش برف، طوفان، سیل و خشکسالی در سراسر جهان گزارش شده است که تغییرات آن‌ها ناشی از تغییرات جهانی آب و هوا است (Yurong, et al., 2012). امروزه رخداد‌های فرین آب و هوایی، به دلیل اثرات مهم در زندگی بشر، اکوسیستم‌های طبیعی و پیامدهای اقتصادی-اجتماعی اهمیت زیادی پیدا کرده است (Jiang, et al., 2011). هر گونه تغییر در فراوانی یا شدت رخداد‌های فرین آب و هوایی می‌تواند اثرات عمیقی بر محیط طبیعی و جوامع انسانی داشته باشد. بنابراین تجزیه و تحلیل رخداد‌های فرین بسیار مهم است. بسیاری از تحلیل‌های تغییرات جهانی آب و هوا در درازمدت بر تغییر در مقادیر میانگین متمرکز شده است که این عمدتاً به دلیل در دسترس نبودن داده‌های روزانه با کیفیت و وضوح بالا برای بررسی تغییرات فرین‌های آب و هوایی می‌باشد (Zhang, et al., 2005). با گرم شدن کره زمین فرین‌های آب و هوایی، از جمله دماهای فرین بالا، کاهش فراوانی دماهای فرین پایین و افزایش رخداد‌های بارش شدید خود را نشان داده است (Easterling, et al., 2000). دمای فرین در مقیاس جهانی، منطقه‌ای، ملی و محلی مورد مطالعه قرار گرفته است. در مقیاس جهانی، جامع‌ترین تحلیل‌ها روی دمای فرین توسط (Alexander, et al., 2006 و Frich, et al., 2002) انجام شده است.

در مقیاس منطقه‌ای تحقیق‌هایی در جنوب شرقی آسیا و اقیانوس آرام جنوبی (Griffiths, et al., 2005 و Manton, et al., 2001)، منطقه کارائیب (Peterson, et al., 2002)، جنوب آمریکا (Haylock, et al., 2006؛ Vincent, et al., 2005)، خاورمیانه (Zhang, et al., 2005)، جنوب و غرب آفریقا (New, et al., 2006)، آمریکای مرکزی و شمال آمریکای جنوبی (Aguilar et al., 2005)، آسیای مرکزی و جنوبی (Klein Tank et al., 2006)، شمال آمریکا (Peterson, et al., 2008)، فلات تبت (You, et al., 2008, a,b., 2010 a,2011) و غرب آفریقای مرکزی، گینه و زیمباوه (Aguilar, et al., 2009) صورت گرفته است. نتایج به دست آمده از این مطالعات نشان‌دهنده تغییرات معنی‌دار در دماهای فرین بوده که با گرمایش کره زمین مطابقت دارد. در مقیاس

ملی، (تقوی و همکاران، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۶) (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰) با بررسی روند شاخص‌های دمای فرین به این نتیجه رسیده‌اند که شاخص‌های سرد فرین روند منفی و شاخص‌های گرم فرین روند مثبت نشان می‌دهد. (Marofi, et al., 2011) با مطالعه‌ای تحت عنوان ارزیابی رخدادهای فرین هواشناسی در مناطق ساحلی ایران نشان دادند که شاخص‌های گرم فرین دارای روند مثبت و کاملاً سازگار با گرمایش جهانی بوده در حالی که شاخص‌های سرد فرین کاهش یافته‌اند (علیجانی، ۱۳۹۰). با تحلیل فضایی دماها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران به این نتیجه رسیده است که بحران‌های دماهای بالا در سواحل جنوب و مناطق مرکزی فراوان هستند، اما بحران‌های سرما در نواحی کوهستانی شمال غرب و مناطق کوهستانی زیاد است و بحران‌های بارشی در همه جای کشور پراکنده است. در مقیاس محلی مطالعات اندکی صورت گرفته است. مطالعه‌ای در استان هرمزگان توسط (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰) انجام شده است که نتایج به‌دست آمده حاکی از تشدید گرمایش در این استان همراه با نوسان‌های دمای فرین بوده است (سهرابی و همکاران، ۱۳۸۸). با بررسی شاخص‌های دما و بارش فرین در مراکز استان‌های واقع در شمال غرب ایران به این نتیجه رسیده‌اند که روند شاخص‌های دما رو به افزایش بوده و شاخص‌های بارش کاهش شدیدی داشته‌اند.

همه تحقیقات بالا نشان می‌دهند که تحلیل و بررسی فرین‌های آب و هوایی در همه جای دنیا از اهمیت بالایی برخوردار بوده و تغییرات آب و هوایی و به‌دنبال آن وقوع مکرر رخدادهای فرین تبدیل به یک بحران جهانی شده است که ذهن بسیاری از متفکرین و اندیشمندان آب و هوا-شناس را به خود مشغول کرده است. به‌نظر می‌رسد امروزه گرایش به تحقیقات منطقه‌ای و محلی فرین‌های آب و هوایی به‌خاطر اثرات اقتصادی-اجتماعی در زندگی انسان‌ها بیش‌تر شده است. بدین جهت تحقیق حاضر سعی دارد این موضوع را در شمال غرب ایران بررسی نماید تا با تکیه بر نتایج آن بتوان برنامه‌های مناسب و منسجم در راستای مقابله با وقوع مکرر فرین‌های آب و هوایی تنظیم و اجرا نمود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، داده‌های روزانه حداقل و حداکثر دمای ۱۳ ایستگاه شمال غرب ایران انتخاب شدند (جدول ۱). طول دوره آماری مورد مطالعه برای تحلیل روند به‌روش من-کندال طبق

جدول ۱ از ابتدای تأسیس ایستگاه هواشناسی تا ۲۰۰۸ بوده و برای تحلیل موجک و روند سری‌های زمانی منطقه‌ای از سال ۱۹۸۶-۲۰۰۸ می‌باشد. کنترل کیفیت و ارزیابی همگنی داده‌ها با استفاده از بسته نرم‌افزاری RCLimDex انجام شد. برای مثال روزهایی که دمای حداکثر، کمتر از دمای حداقل بود، از داده‌های خام استخراج و تصحیح شد. در این زمینه نرم‌افزار RHTest، که در بخش تحقیقات آب و هوا و خدمات هواشناسی کانادا تهیه شده، برای ارزیابی همگنی داده‌ها به کار می‌رود. شاخص‌های ۱۶ گانه دمای فرین (ذکر شده در جدول ۲)، ایستگاه‌های منتخب توسط بسته نرم‌افزاری RCLimDex استخراج و با استفاده از روش من-کندال روند آن‌ها بررسی گردید و در نهایت به وسیله تحلیل موجک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یک رویداد فرین عبارت است از پدیده نادری است که دور از انتظار بوده و با شرایط آب و هوایی منطقه کمتر تطابق داشته باشد (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸) و در دنباله توزیع فراوانی و دور از نقطه تمرکز توزیع (میانگین و میانه) قرار گرفته باشد (عساکره، ۱۳۸۹). شاخص‌های ۱۶ گانه دمای فرین در ۵ دسته تقسیم‌بندی شده‌اند که به شرح زیر ارائه می‌گردند:

شاخص‌های بر پایه صدک‌ها: این شاخص‌ها به ترتیب شامل وقوع روزها و شب‌های سرد و گرم (TX10p, TX90p, TN10p و TN90p) می‌باشد. اساس این شاخص‌ها مبتنی بر حداکثر و حداقل دما است که ما را قادر می‌سازد تا بتوانیم تغییرات فرین‌ها را ارزیابی کنیم.

شاخص‌های مطلق: این شاخص‌ها دربرگیرنده بیش‌ترین و کم‌ترین دمای حداکثر و حداقل در یک فصل و یا سال است، که شامل شاخص‌های TNx, TNn, TXn, TXx هستند.

شاخص‌های آستانه‌ای: این دسته شامل شاخص‌هایی است که با تعداد روزهایی که دما از یک آستانه ثابت عبور بکند، بیان می‌گردند. تعداد سالانه روزهای یخبندان (FD)، تعداد سالانه شب‌های (TR)، تعداد سالانه روزهای تابستانی (SU) و تعداد سالانه روزهای یخی (ID) در این طبقه قرار می‌گیرند. در کل تغییرات این شاخص‌ها تأثیرات عمیقی روی جامعه و اکوسیستم‌ها بر جای می‌گذارند.

شاخص‌های دوره‌ای: این شاخص‌ها مبین دوره‌های خیلی گرم، سرد، مرطوب، خشک و طول فصل رشد هستند. طول مدت گرما (WSDI) سرما (CSDI) و طول دوره رشد (GSL) در این دسته قرار دارند. در حالی که بعضی از این شاخص‌ها کاربرد جهانی ندارند به‌عنوان مثال طول فصل رشد (GSL) در مناطق استوایی کارایی ندارد.

سایر شاخص‌ها: این شاخص‌ها در هیچ یک از دسته‌های فوق قرار نمی‌گیرند که شامل دامنه تغییرات شبانه روزی دما (DTR) است که تغییر در آن می‌تواند اثرات قابل توجه اجتماعی داشته باشد (Alexander, et al, 2006).

در این مطالعه از آزمون ناپارامتری من-کندال برای بررسی وجود روند با سطح معنی‌داری ۵٪ و تحلیل موجک که یکی از روش‌های نوین و بسیار موثر در زمینه تحلیل سیگنال‌ها و سری‌های زمانی محسوب می‌شود، برای استخراج تغییرات موجود در سری‌ها استفاده شده است. به‌علت اهمیت روش موجک در تحلیل‌های آب و هوایی در زیر به‌طور خلاصه توضیح داده می‌شود.

تبدیل موجک پیوسته

استفاده از تحلیل موجک در بررسی‌های آب و هوایی از اواخر قرن بیستم شروع شد (نیستانی و همکاران، ۱۳۸۹). تحلیل موجکی استفاده از فواصل زمانی طولانی مدت را برای اطلاعات دارای بسامد پایین و تناوب‌های کوتاه‌تر را برای اطلاعات دارای بسامد بالا ارایه می‌دهد و قادر به نمایش جنبه‌های مختلف داده‌های متفاوت، نقاط شکست و ناپیوستگی‌ها می‌باشد که ممکن است دیگر روش‌های تحلیل سیگنال آن‌ها را نشان ندهند. موجک به معنی موج کوچک است و برای این که تابعی بتواند به‌عنوان تبدیل موجکی عمل کند باید دارای سه مشخصه تعداد نوسان محدود، بازگشت سریع به صفر در هر دو جهت مثبت و منفی در دامنه خود و میانگین صفر باشد (مساعدی و همکاران، ۱۳۹۰).

یکی از روش‌های مهم آنالیز موجک پیوسته، موجک مورلت است که به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$\psi o(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega o\eta} e^{-1/2\eta^2}.$$

در رابطه بالا ψ_0 فرکانس بی بعد و η زمان بی بعد می‌باشد. بهتر است موجک مارلت با $\psi_0=6$ انتخاب شود. زیرا بین زمان و فرکانس تعادل خوبی ایجاد می‌کند (Grinsted et al., 2004). ایده‌ای پشت تحلیل موجک پیوسته نهفته است که موجک به‌عنوان یک فیلتر میان‌گذر در سری‌های زمانی به کار می‌رود. موجک با تغییر در مقیاس پدیده‌ها (S) در محدوده زمان (T) موجب آشکارسازی تغییرات موجود در پدیده‌ها می‌شود پس $(\eta=S.T)$. بنابراین تحلیل موجک پیوسته مورلت تناسب بسیار خوبی را بین زمان و فرکانس ایجاد نموده و استخراج تغییرات موجود در پدیده‌ها را به آسانی امکان‌پذیر می‌کند (Moore, et al., 2006).

جدول (۱) ایستگاه‌های هواشناسی منتخب شمال غرب ایران

ایستگاه	عرض جغرافیایی N	طول جغرافیایی E	ارتفاع به متر	دوره آماری	ایستگاه	عرض جغرافیایی N	طول جغرافیایی E	ارتفاع به متر	دوره آماری
اردبیل	۳۸/۱۵	۴۸/۱۷	۱۳۳۲/۲	۳۲	پارس آباد	۳۹/۱۸	۴۸/۰۱	۴۴/۷	۲۵
اهر	۳۸/۲۹	۴۷/۰۳	۱۳۹۰/۵۰	۲۳	سقز	۳۶/۱۴	۴۶/۱۶	۱۵۵۲/۸	۴۷
جلفا	۳۸/۵۶	۴۵/۳۸	۷۲۰/۱۵	۲۴	سنندج	۳۵/۲۰	۴۷	۱۳۷۳/۴	۴۸
خوی	۳۸/۳۳	۴۴/۵۸	۱۱۰۷/۵	۴۸	تبریز	۳۸/۰۵	۴۶/۱۷	۱۳۶۱	۴۸
مهاباد	۳۶/۴۶	۴۵/۴۳	۱۵۰۰	۲۴	تکاب	۳۶/۲۳	۴۷/۷	۱۷۶۵	۲۳
ماکو	۳۹/۱۸	۴۴/۳۳	۱۴۱۱/۳	۲۴	زنجان	۳۶/۴۱	۴۸/۲۷	۱۶۶۳	۴۸
ارومیه	۳۷/۳۲	۴۵/۰۵	۱۳۱۲/۵۰	۵۸	-	-	-	-	-

جدول (۲) شاخص‌های دمای فرین استفاده شده در این مطالعه

علائم	شرح شاخص	واحد
SU25	تعداد روزهای تابستانی ($>25^{\circ}\text{C}$ دمای حداکثر روزانه)	روز
ID ₀	تعداد روزهای یخی ($>0^{\circ}\text{C}$ دمای حداکثر روزانه)	روز
FD ₀	تعداد روزهای یخبندان ($>0^{\circ}\text{C}$ دمای حداقل روزانه)	روز
TR20	تعداد شب‌های حارهای ($>20^{\circ}\text{C}$ دمای حداقل روزانه)	روز
GSL	طول فصل رویش	روز
CSDI	شاخص طول مدت سرما (تعداد روزهای که حداقل ۶ روز متوالی دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد)	روز
WSDI	شاخص طول مدت گرما (تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای	روز

	حداکثر بیش‌تر از صدک نودم باشد)	
$^{\circ}C$	دامنه تغییرات شبانه روزی دما	DTR
$^{\circ}C$	بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه	TXx
$^{\circ}C$	کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه	TXn
$^{\circ}C$	بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه	TNx
$^{\circ}C$	کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه	TNn
%	شب‌های سرد (درصد روزهای با دمای حداقل کمتر از صدک دهم)	TN10p
%	روزهای سرد (درصد روزهای با دمای حداکثر کمتر از صدک دهم)	TX10p
%	روزهای گرم (درصد روزهای با دمای حداکثر بیش‌تر از صدک نودم)	TX90p
%	شب‌های گرم (درصد روزهای با دمای حداقل بیش‌تر از صدک نودم)	TN90p

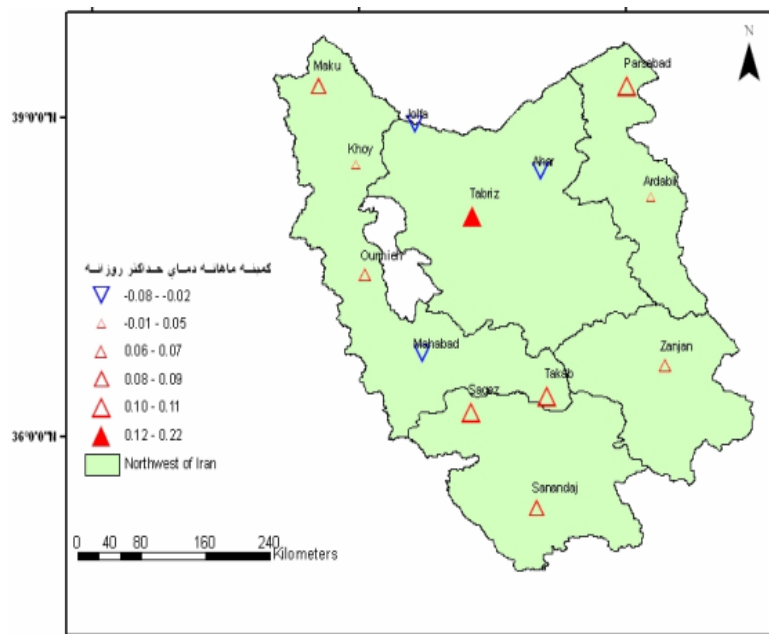
یافته‌ها و بحث

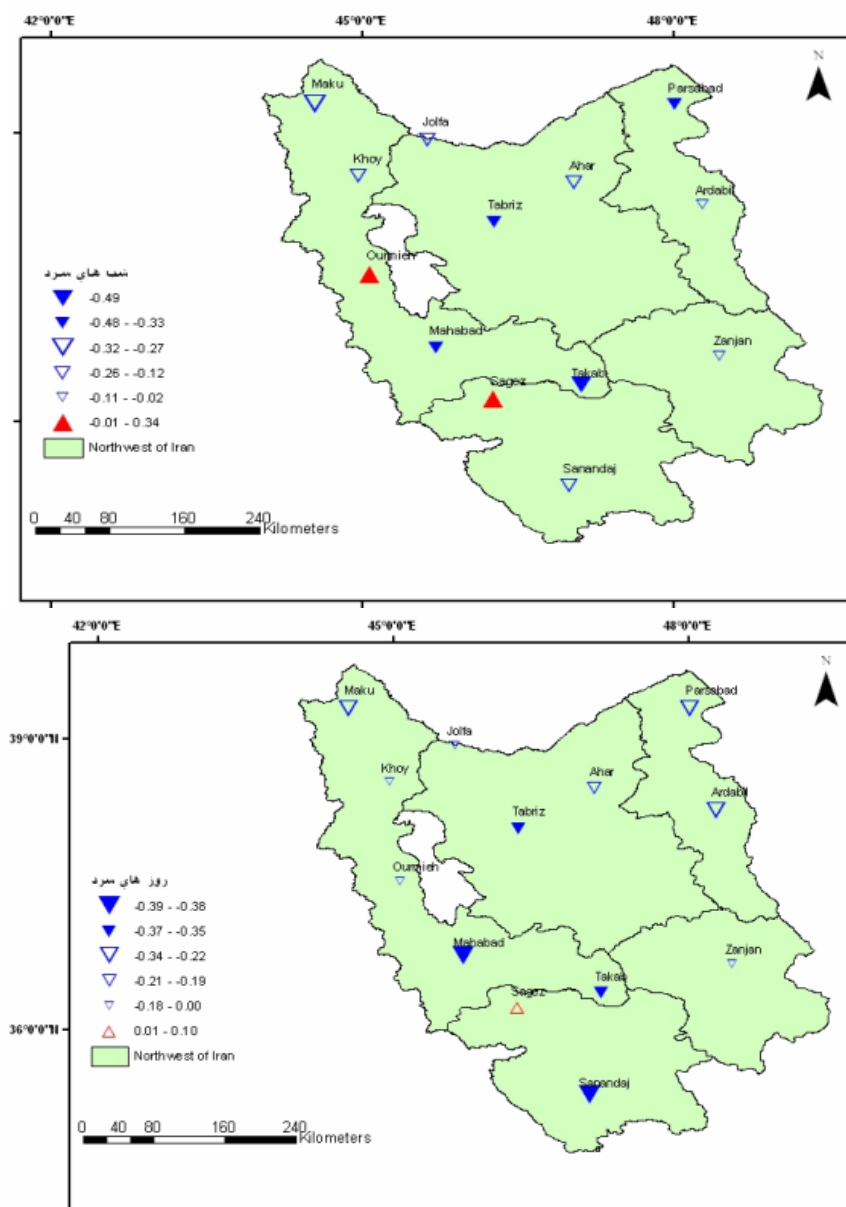
شاخص‌های سرد فرین (ID, CSDI, FD, TNn, TXn, TN10p, TX10p)

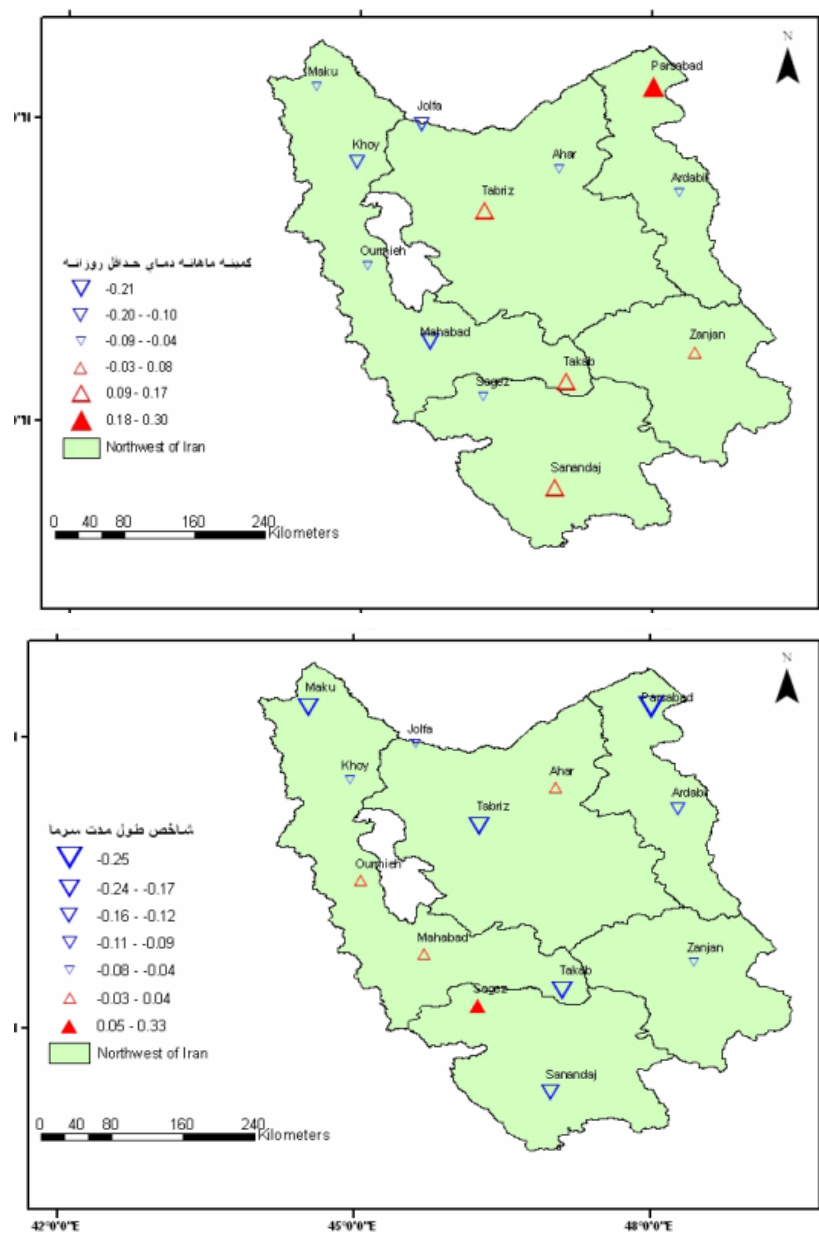
بعد از محاسبه شاخص‌های ۱۶ گانه دما برای ایستگاه‌های منتخب، پراگندگی فضایی هر کدام به صورت نقشه و نمودار تهیه شده است.

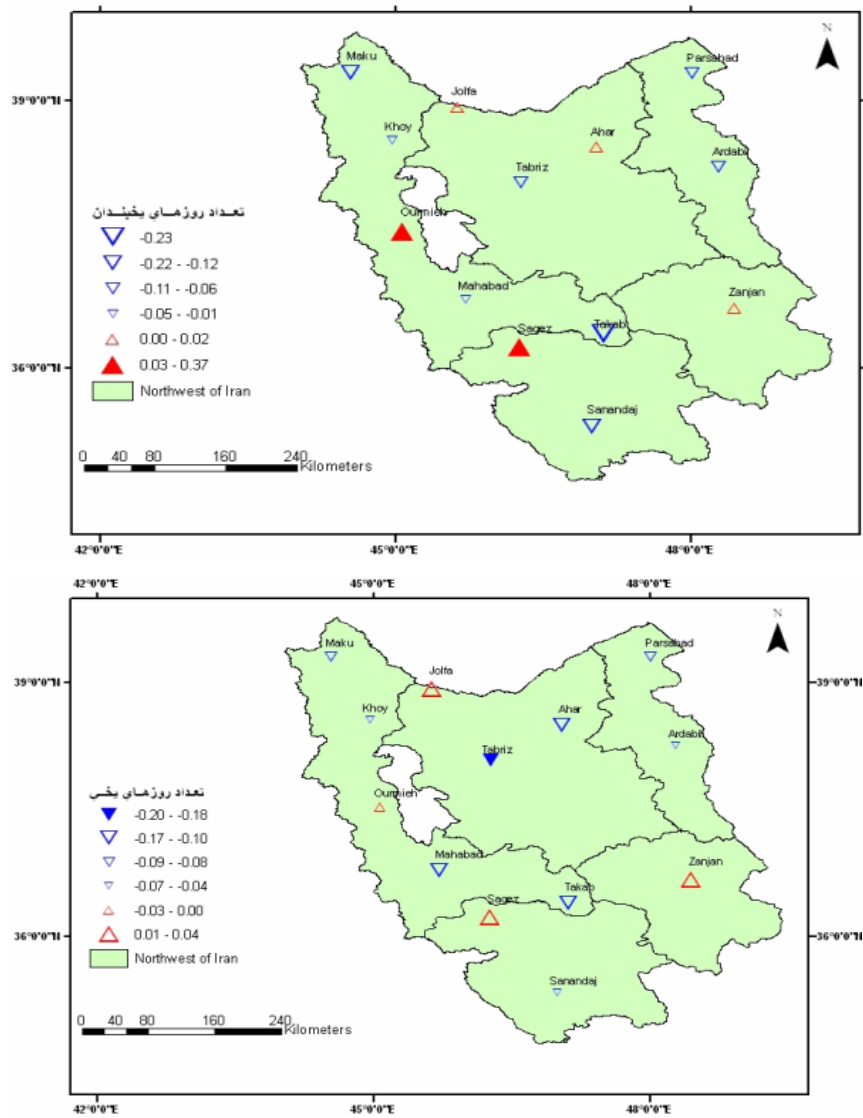
شکل ۱ الگوهای فضایی روند شاخص‌های سرد فرین در شمال غرب ایران را برای دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. روزهای سرد (TX10p) در ایستگاه سقز روند افزایشی و در بقیه ایستگاه‌ها روند کاهشی را نشان می‌دهند به طوری که روند کاهشی در ایستگاه‌های مهاباد، تکاب، تبریز و سنندج معنی‌دار می‌باشد. شب‌های سرد (TN10p)، در ایستگاه‌های سقز و ارومیه روند افزایشی معنی‌دار داشته و در بقیه ایستگاه‌ها روند کاهشی دارند. این روند در ایستگاه‌های تکاب، مهاباد، تبریز، و پارس‌آباد معنی‌دار است. روند سردترین روز (TXn) در ایستگاه‌های مهاباد، جلفا و اهر منفی و در سایر ایستگاه‌ها این روند مثبت است و در ایستگاه تبریز معنی‌دار می‌باشد. سردترین شب (TNn) ثبت شده سال در ایستگاه پارس‌آباد روند افزایشی معنی‌دار و در اکثر ایستگاه‌ها دارای روند منفی است. روزهای یخبندان (FD) در ایستگاه ارومیه و سقز با روند افزایشی معنی‌دار نمایان شده و در ۸ ایستگاه دیگر با روند

منفی همراه بوده است. شاخص طول دوره سرما (CSDI) در ایستگاه سقز روند مثبت معنی‌دار و در ۹ ایستگاه روند منفی داشته است. تعداد روزهای یخی (ID) در ایستگاه تبریز از روند کاهشی معنی‌داری برخوردار بوده و در سایر ایستگاه‌ها هم روند منفی به وقوع پیوسته است. مشابه نتایج فوق در تحقیقات Zhang, et al., Alexander, et al., 2006، 2005، IPCC 2007 و تقوی، همکاران، ۱۳۸۶ نیز به‌دست آمده است. بنابراین علی‌رغم عرض جغرافیایی بالا و کوهستانی بودن منطقه، فراوانی شاخص‌های سرد فرین در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه روند کاهشی دارند. کاهش وقوع سال‌های بسیار سردتر از میانگین در نواحی مختلف و گسترش این سال‌ها، شاهدهی بر تغییر آب و هوا است که می‌تواند مبنایی برای بررسی شدت و فراوانی فرین‌ها و تأثیرات آب و هوایی آن‌ها باشد.



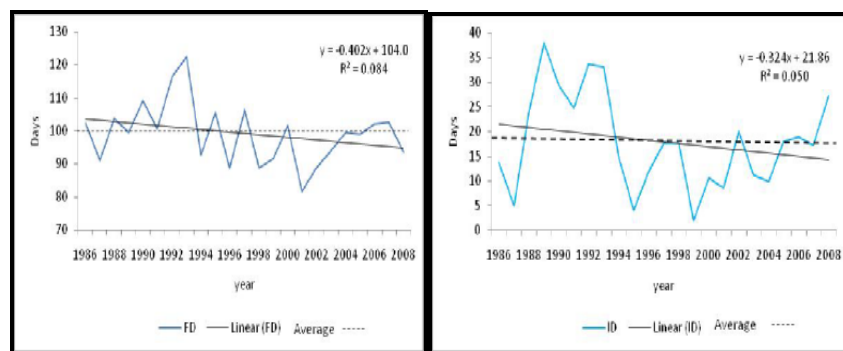


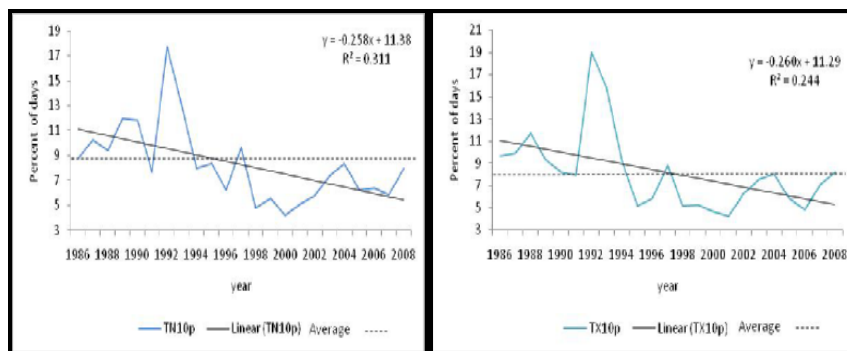




شکل (۱) الگوهای فضایی روند شاخص‌های سرد فرین (ID , $CSDI$, FD , TNn , TXn , $TN10p$, $TX10p$) در شمال غرب به ترتیب از بالا به پایین. مثلث‌های رو به بالا و پایین به ترتیب نمایانگر روند مثبت و منفی و مثلث‌های پر، معنی‌داری روندها را در سطح معنی‌داری ۵٪ مشخص می‌کند.

شکل ۲ سری‌های زمانی متوسط منطقه‌ای شاخص‌های سرد فرین برای شمال غرب ایران را در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۶ نشان می‌دهد. از نظر مکانی بیش‌ترین مقدار روزهای سرد (TX10p) و شب‌های سرد (TN10p) را ایستگاه‌های سقز و اردبیل تجربه کرده‌اند. از نظر زمانی بالاترین میزان این شاخص‌ها در سال ۱۹۹۲ رخ داده است. روند شاخص‌های TX10p و TN10p به ترتیب $-۰/۳۶$ و $-۰/۳۹$ می‌باشند که کاهش‌ی معنی‌دار ($P < 0.05$) را در طول دوره مورد مطالعه نشان می‌دهند. بیش‌ترین تعداد روزهای یخبندان (FD) از نظر مکانی در ایستگاه‌های سقز و اردبیل رخ داده و از لحاظ زمانی بیش‌ترین روزهای یخبندان شمال غرب ایران در سال ۱۹۹۳ مشاهده می‌شود. بیش‌ترین سهم تعداد روزهای یخی (ID) در ایستگاه‌های ماکو، تکاب و اردبیل مشاهده می‌شود. در سال ۱۹۸۹ روزهای یخی بیش‌تری تجربه شده است. بر اساس شکل ۲ شاخص‌های FD و ID روند کاهش‌ی نشان می‌دهند اما این روند معنی‌دار نمی‌باشد. به‌طور کلی اکثر شاخص‌های سرد فرین طی دوره مورد مطالعه روند کاهش‌ی دارند که بیانگر تأثیرات و پیامدهای ازدیاد جهانی گازهای گلخانه‌ای و افزایش دمای کره زمین می‌باشد.

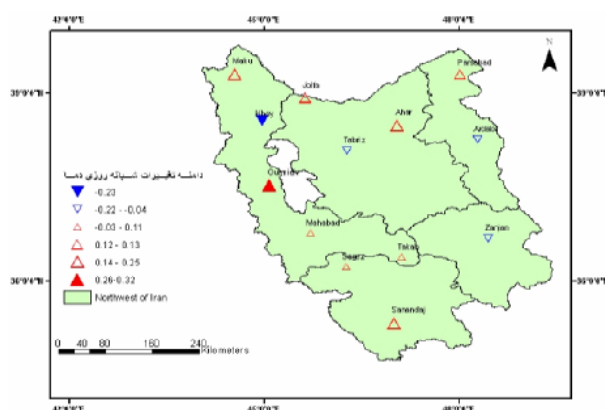


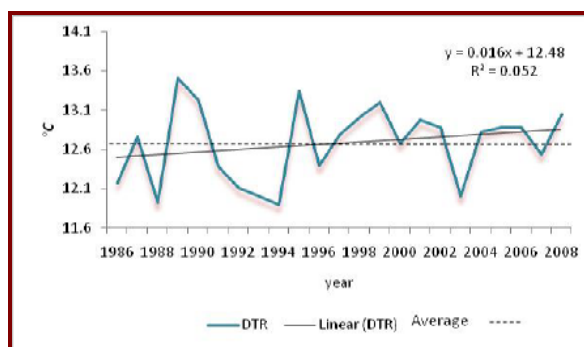


شکل (۲) سری‌های زمانی متوسط منطقه‌ای شاخص‌های سرد فرین (TD , FD , $TX10p$, $TN10$) شمال-غرب ایران در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۶

دامنه تغییرات شبانه روزی دما (DTR)

بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده در سطح جهانی و در سطح کشور، روند DTR منفی می‌باشد. در صورتی که بر اساس شکل ۳، این شاخص در ۶۹٪ ایستگاه‌های شمال غرب روند مثبت را نشان می‌دهد که تنها در ایستگاه ارومیه معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد. در تعداد کمی از ایستگاه‌ها دامنه تغییرات شبانه روزی دما روند منفی داشته که فقط در ایستگاه خوی معنی‌دار می‌باشد. بیش‌ترین دامنه تغییرات شبانه روزی دما را ایستگاه‌های سقز و سنندج را تجربه کرده‌اند و از لحاظ زمانی بیش‌ترین میزان این شاخص در سال ۱۹۸۹ رخ داده است.



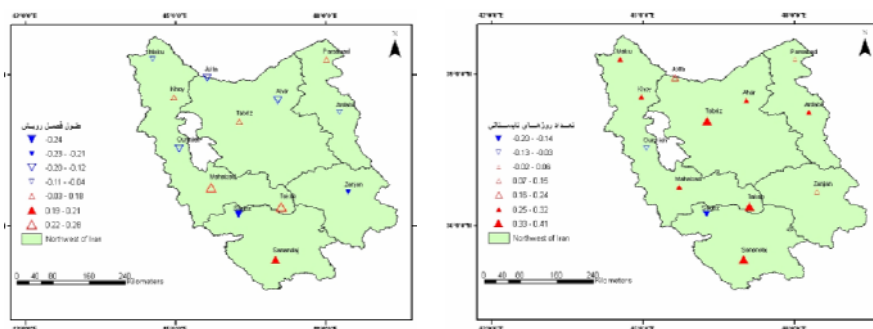


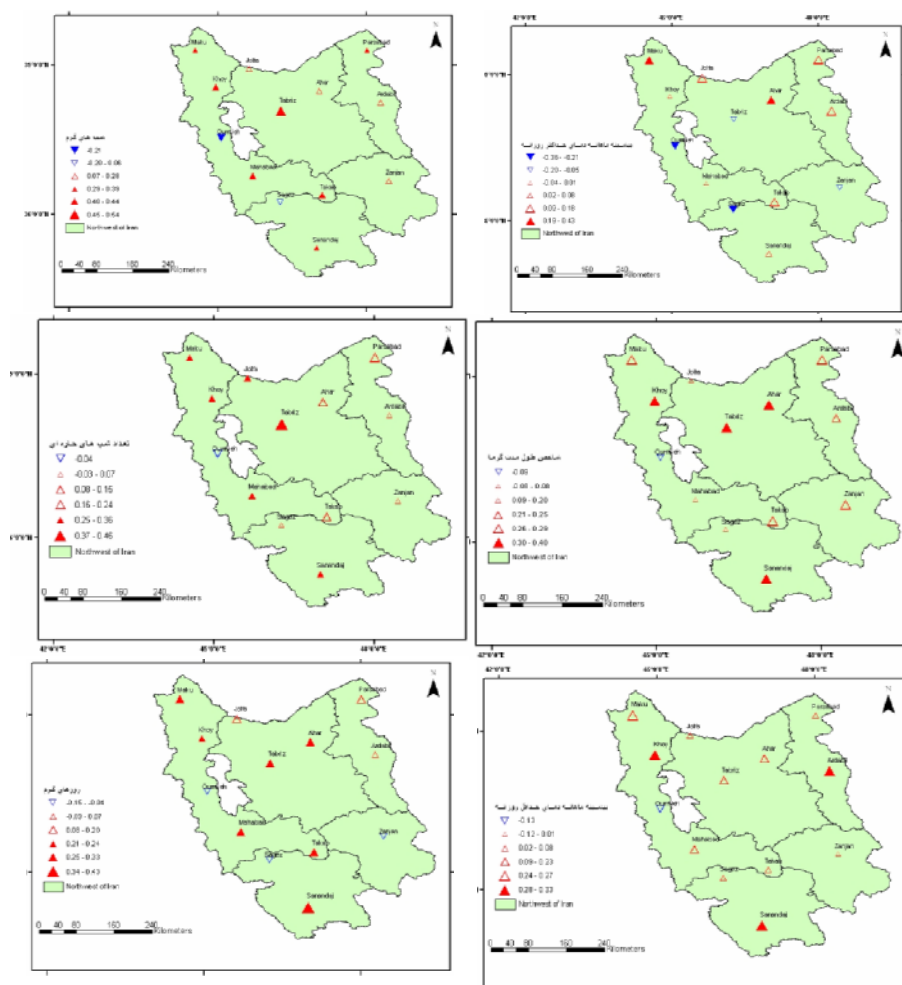
شکل (۳) الگوی فضایی روند دامنه تغییرات شبانه روزی دما (DTR) (بالا) و سری‌های زمانی متوسط منطقه‌ای (پایین) شمال غرب ایران در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۶

شاخص‌های گرم فرین (TR20, WSDI, TX90, TN90, TNx, TXx, GSL, SU)

شکل ۴ الگوهای فضایی روند شاخص‌های گرم فرین در شمال غرب ایران را برای دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. تعداد روزهای تابستانی (SU)، فقط در ایستگاه سقز روند کاهشی نشان می‌دهد. در حالی که اکثریت ایستگاه‌ها (حدود ۶۲٪) روند افزایشی را تجربه کرده‌اند (معنی‌دار در سطح ۰/۵). که این مطلب روند گرمایش را در منطقه تایید می‌کند. طول فصل رشد (GSL)، در حدود نیمی از ایستگاه‌ها روند منفی و نیم دیگر از روند مثبت برخوردار است. روند منفی ایستگاه‌های سقز و زنجان و روند مثبت سنندج معنی‌دار است. در بیش‌تر ایستگاه‌ها شاخص گرم‌ترین دمای روز (TXx) روند مثبت مشاهده می‌شود. به‌طوری که روند مثبت ایستگاه‌های اهر و ماکو و روند منفی ایستگاه‌های ارومیه و سقز معنی‌دار می‌باشد. شاخص گرم‌ترین دمای شب (TNx) غیر از ایستگاه ارومیه در بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه روند افزایشی را تجربه کرده‌اند. به‌طوری که در ایستگاه‌های اردبیل، خوی و سنندج معنی‌دار است. شاخص‌های شب‌های گرم (TN90) و روزهای گرم (TX90) به‌طور مشترک در حدود ۵۴٪ از ایستگاه‌ها از روند افزایشی (معنی‌دار در سطح ۰/۵) برخوردارند. این مطلب منطبق با گرمایش جهانی دهه اخیر کره زمین است. شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) غیر از ایستگاه ارومیه در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه روند مثبت را نشان می‌دهد که در ۴۶٪ از ایستگاه‌ها معنی‌دار است. تعداد شب‌های حاره‌ای در اکثر

ایستگاه‌های مورد مطالعه به علت واقع شدن در عرض جغرافیایی بالا و کوهستانی بودن منطقه ضمن نوسان زیاد، در تعدادی از سال‌ها صفر بوده است. تعداد این گونه شب‌ها در ایستگاه‌های ماکو و مهاباد بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها بوده است و بیشترین مقدار آن حدود ۲۰ شب حاره‌ای در ایستگاه مهاباد در سال ۱۹۹۹ رخ داده است. شاخص طول مدت گرما (WSDI) به غیر از ایستگاه ارومیه در بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه روند افزایشی را نشان می‌دهد به طوری که در ۳۹٪ ایستگاه‌ها معنی‌دار می‌باشد. روند مثبت این شاخص هم نظیر شاخص‌های TN90 و TX90 در نتیجه تأثیرات گرمایش جهانی اواخر قرن بیستم کره زمین است. در این راستا Alexander, et al., 2006 و رحیم‌زاده و همکاران ۱۳۸۸ نیز به نتایج فوق دست یافته‌اند. افزایش فراوانی و شدت وقوع شاخص‌های گرم فرین برای ساکنان منطقه سبب افزایش مرگ و میر، به وجود آمدن امراض ناشناخته و افزایش برخی از امراض می‌شود و از منظر زیست-محیطی موجب تغییر نوع بارش‌ها، افزایش طوفان‌ها، خشکسالی‌ها، نابودی نسل برخی از جانوران و گیاهان، آسیب برخی از محصولات زراعی و به وجود آمدن آفات گیاهی می‌گردد. اثرات اقتصادی-اجتماعی و زیست محیطی امواج گرمایی در مقیاس محلی بسیار زیاد بوده و می‌تواند مناطق وسیعی را شدیداً تحت تأثیر قرار دهد.

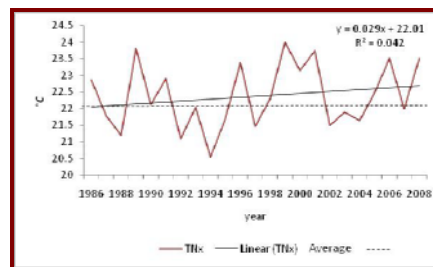
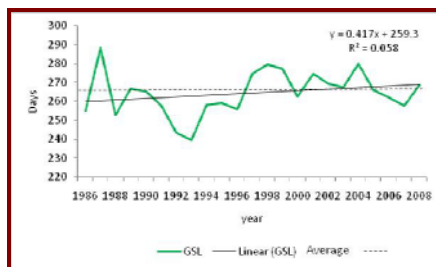


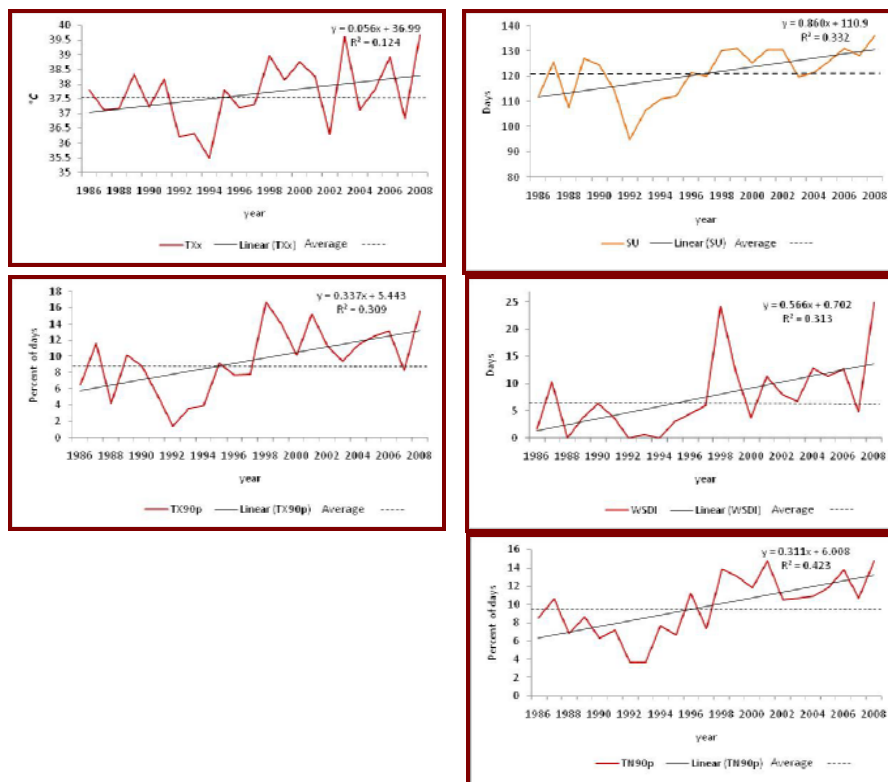


شکل (۴) الگوهای فضایی روند شاخص‌های گرم‌ترین (GSL, SU, TXx, TNx, TN90, TX90, WSDI) و سردترین (TR20) شمال غرب ایران به ترتیب از بالا به پایین، مثلث‌های رو به بالا و پایین به ترتیب نمایانگر روند مثبت و منفی و مثلث‌های پر، معنی‌داری روند‌ها را در سطح معنی‌داری ۵٪ مشخص می‌کند.

شکل ۵ سری‌های زمانی متوسط منطقه‌ای شاخص‌های گرم‌ترین شمال غرب ایران را در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۶ نشان می‌دهد. از نظر مکانی بیش‌ترین مقدار تعداد روزهای

تابستانی (SU) را ایستگاه‌های سنندج، جلفا و مغان تجربه کرده‌اند. روند این شاخص ضمن مثبت بودن ($+60\%$) معنی‌دار نیز می‌باشد که روند گرمایش را در منطقه تأیید می‌کند. بالاترین مقدار این شاخص با ۱۳۶ روز در سال ۲۰۰۸ مشاهده می‌شود. ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان و سنندج بیش‌ترین طول فصل رشد (GSL) را طی دوره مورد مطالعه داشته‌اند. روند این شاخص در کل منطقه افزایشی بوده و بیش‌ترین مقدار آن با ۲۸۸ روز در سال ۱۹۸۷ رخ داده است. شاخص گرم‌ترین دمای روز (TXx) در شمال غرب از روند صعودی برخوردار بوده و بیش‌ترین مقدار آن در ایستگاه‌های جلفا و سنندج مشاهده می‌شود. سال ۲۰۰۸ با ۴۰ روز گرم‌ترین سال را تجربه کرده است. گرم‌ترین دمای شب (TNx) از نظر مکانی در ایستگاه‌های جلفا و تبریز و از لحاظ زمانی با ۲۴ درجه سانتیگراد در سال ۱۹۹۹ به‌وقوع پیوسته است. روند معنی‌داری ($P < 0.05$) روزهای گرم (TX90) و شب‌های گرم (TN90) به ترتیب $+0.38$ و $+0.45$ بوده که افزایش شدیدی را نسبت به میانگین در طول دوره مورد مطالعه نشان می‌دهند. ایستگاه‌های تبریز و خوی شب‌ها و روزهای گرم‌تری را پشت سر گذاشته‌اند. طول مدت گرما (WSDI) از روند معنی‌دار $+0.47$ برخوردار بوده و طولانی‌ترین مدت گرما را ایستگاه‌های تبریز و سنندج تجربه کرده‌اند. به طور کلی کلیه شاخص‌های گرم فرین طی دوره مورد مطالعه روند افزایشی داشته که موید اثرات و پیامدهای افزایش جهانی دمای کره زمین می‌باشد.





شکل (۵) سری‌های زمانی متوسط منطقه‌ای شاخص‌های گرم‌ترین (TNx , TXx , GSL , SU) و سردترین ($TN90p$, $TX90p$, $WSDI$) شمال غرب ایران در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۶

مقایسه شاخص‌های گرم و سرد فرین

طبق جدول ۳ میانگین دمای منطقه با شاخص‌های گرم‌ترین نشانگر ارتباط قوی بین دمای سالانه با این شاخص‌ها است. شاخص $TN10p$ با میانگین دما بالاترین ضریب همبستگی ($0/94$) و $TR20$ پایین‌ترین ضریب همبستگی ($0/18$) دارد. شاخص SU با $TX90p$ قوی‌ترین همبستگی ($0/90$) و شاخص $TR20$ و $TX90p$ پایین‌ترین همبستگی ($0/03$) را نشان می‌دهند.

جدول (۳) مقایسه رفتار میانگین دمای منطقه با شاخص‌های گرم فرین

	Tmean	SU	GSL	T _{0x}	TN _x	TN _{90p}	T _{x90p}	WSDI	TR20
Tmean	1	.839**	.716**	.571**	.498*	.939**	.871**	.675**	.176
SU	.839**	1	.797**	.473*	.537*	.828**	.902**	.717**	.155
GSL	.716**	.797**	1	.369	.184	.718**	.823**	.771**	-.118
T _{0x}	.571**	.473*	.369	1	.592**	.551*	.563**	.444	.281
TN _x	.498*	.537*	.184	.592**	1	.526*	.461*	.243	.433
TN _{90p}	.939**	.828**	.718**	.551*	.526*	1	.878**	.747**	.153
T _{x90p}	.871**	.902**	.823**	.563**	.461*	.878**	1	.877**	.030
WSDI	.675**	.717**	.771**	.444	.243	.747**	.877**	1	-.082
TR20	.176	.155	-.118	.281	.433	.153	.030	-.082	1

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

جدول (۴) مقایسه رفتار میانگین دمای منطقه با شاخص‌های سرد فرین

	Tmean	FD	T _{0n}	TN _n	TN _{10p}	T _{x10p}	ID	CSDI
Tmean	1	-.842**	.805**	.614*	-.891**	-.938**	-.726**	-.623**
FD	-.842**	1	-.385	-.403	.752**	.728**	.599**	.484*
T _{0n}	.805**	-.385	1	.937**	-.548*	-.521*	-.885**	-.642**
TN _n	.614*	-.403	.937**	1	-.478*	-.420	-.882**	-.626**
TN _{10p}	-.891**	.752**	-.548*	-.478*	1	.901**	.688**	.770**
T _{x10p}	-.938**	.728**	-.521*	-.420	.901**	1	.640**	.635**
ID	-.726**	.599**	-.885**	-.882**	.688**	.640**	1	.647**
CSDI	-.623**	.484*	-.642**	-.626**	.770**	.635**	.647**	1

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

جدول ۴ مقایسه رفتار میانگین دمای منطقه را با شاخص‌های سرد فرین نشان می‌دهد. همبستگی قوی بین دمای سالانه با شاخص‌های TXn و TNn (به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۵۱) وجود دارد. شاخص TNn با TXn (۰/۹۴) و شاخص TX10p با TN10p (۰/۹۰) قوی‌ترین همبستگی را نشان می‌دهند.

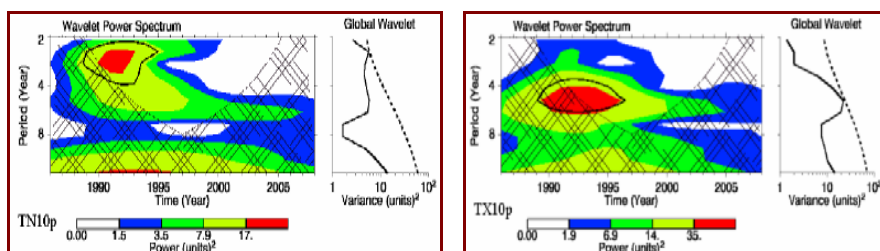
تحلیل موجک

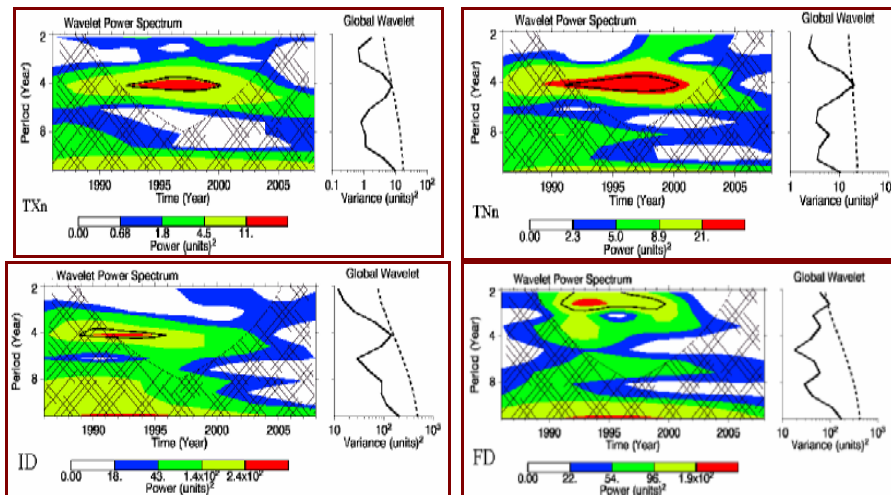
شاخص‌های سرد فرین (ID, FD, TNn, TXn, TN10p, TX10p)

طیف توان موجک، دامنه موجک‌ها و نوسان‌های آن‌ها را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. ناحیه هاشورخورده در این طیف، مخروط نفوذ نامیده می‌شود. به دلیل این که در داده‌های آب و هوایی از سری‌های زمانی با دوره زمانی محدود استفاده می‌شود، خطاهایی در ابتدا و انتهای طیف موجک سری زمانی به وجود می‌آید و تفسیر در این نواحی امکان‌پذیر نمی‌باشد. پربند مشکی تیره در شکل ۶ با سطح اطمینان ۹۰٪ برای طیف پس زمینه قرمز (در

جو تغییرپذیری‌های با دوره تناوب طولانی، تمایل به داشتن طیف قرمز دارند) می‌باشد (نیستانی و همکاران، ۱۳۸۹).

شکل ۶ نشان‌دهنده تحلیل موجک پیوسته مورلت شاخص‌های سرد فرین شمال غرب در دوره آماری ۲۰۰۸ تا ۱۹۸۶ می‌باشد. طیف توان موجک و طیف توان کلی شاخص TX10p طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۸۹ در چرخه زمانی ۴ تا ۶ ساله و شاخص TN10p طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۸۹ در چرخه زمانی ۲ تا ۴ ساله از سطح معنی‌داری ۱۰٪ تبعیت می‌کنند. شاخص TXn در چرخه زمانی ۴ ساله طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۱۹۹۳ و شاخص TNn در چرخه زمانی ۴ ساله طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۱۹۹۱ بارزترین محدوده‌های معنی‌داری را نشان می‌دهند. شاخص FD چرخه زمانی ۲ ساله ضعیف در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۱۹۹۲ و شاخص ID چرخه زمانی ۴ ساله نسبتاً ضعیف در سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۰ با سطح معنی‌داری ۱۰٪ نمایان است. با توجه به این که تحلیل موجک قابلیت تجزیه سری زمانی به چندین زیر سری زمانی با مقیاس‌های مختلف را دارد لذا مطالعه زیرسری‌ها محقق را در شناسایی رفتار کوچک و بزرگ مقیاس یک پدیده آب و هوایی یاری می‌کند. بنابراین بر اساس نتایج حاصله، اکثریت شاخص‌های سرد فرین در محدوده چرخه زمانی ۲ تا ۴ ساله بارزترین معنی‌دار را طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۱۹۹۰ نشان دادند.



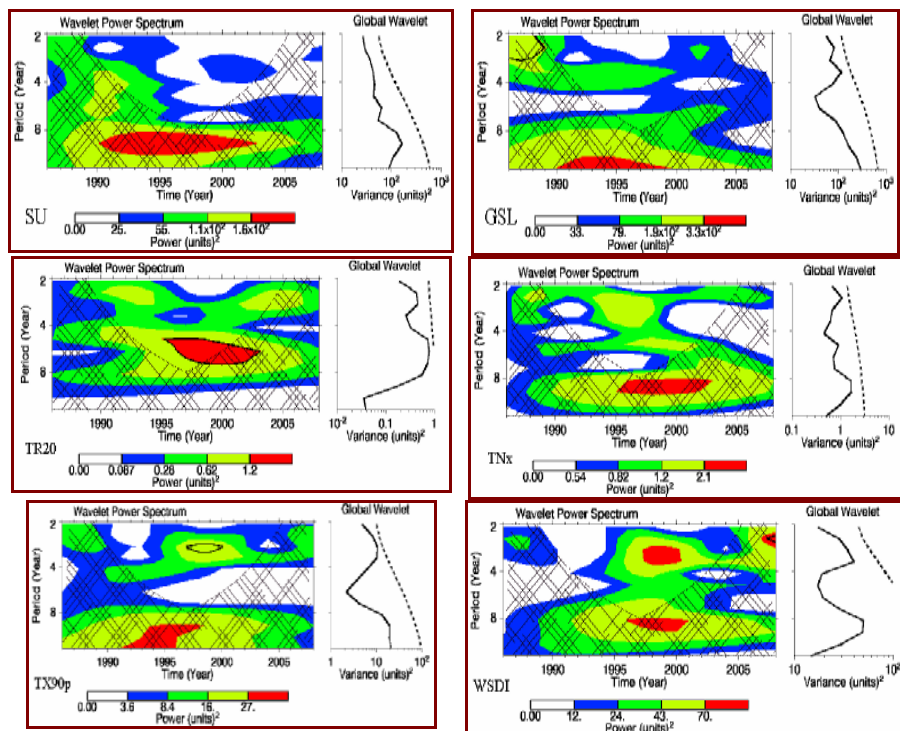


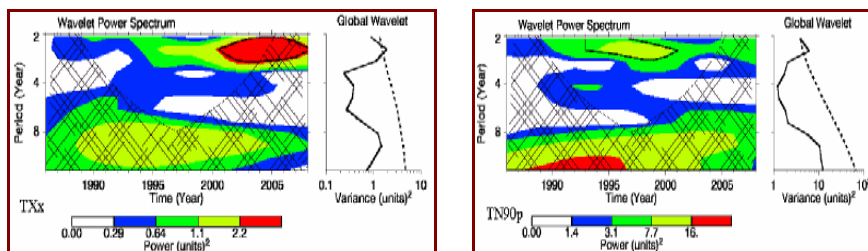
شکل (۶) طیف توان موجک (WPS، شکل چپ)، طیف توان کلی (GW، شکل راست) شاخص‌های سرد فرین (TX10p, TN10p, TXn, TNn, FD, ID) منطقه شمال غرب ایران در دوره آماری ۲۰۰۸ تا ۱۹۸۶. سطوح تراز طوری انتخاب شده‌اند که به ترتیب ۷۵٪، ۵۰٪، ۲۵٪ و ۵٪ توان موجک بالای هر سطح است. معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۰٪ با استفاده از نویز پس زمینه قرمز انتخاب شده است.

شاخص‌های گرم فرین (TR20, WSDI, TX90, TN90, TNx, TXx, GSL, SU)

شکل ۷ تحلیل موجک پیوسته مورلت شاخص‌های گرم فرین منطقه شمال غرب را در دوره آماری ۲۰۰۸ تا ۱۹۸۶ نشان می‌دهد. طیف توان موجک و طیف توان کلی شاخص TXx در چرخه زمانی ۲ ساله طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۰، شاخص TR20 در چرخه‌های زمانی ۴ تا ۸ ساله طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۱۹۹۵ و در شاخص WSDI در چرخه زمانی ۲ تا ۳ ساله طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۷ بارزترین محدوده‌های معنی‌داری قابل مشاهده است. شاخص SU طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۱۹۹۰ در چرخه زمانی ۸ تا ۱۱ ساله، شاخص GSL طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۱۹۹۰ در چرخه زمانی ۱۶ ساله و شاخص TNx در چرخه زمانی ۸ ساله طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۱۹۹۵ از سطح معنی‌داری ۱۰٪ تبعیت نمی‌کنند. شاخص TN90 در چرخه زمانی ۱۲ ساله طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۸۸ و شاخص TX90 در چرخه زمانی ۱۲ تا ۸ ساله طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۱۹۹۲ از محدوده معنی‌داری خارج است. با تکیه بر یافته‌های

فوق می‌توان فهمید که چرخه‌های زمانی شاخص‌های گرم فرین از سیگنال‌های منظمی برخوردار نبوده و غیر از شاخص‌های TXx، TR20 و WSDI بقیه شاخص‌ها معنی‌دار نیستند. به‌طور کلی، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل موجک نوسان‌های دوره‌ای و سالانه نسبتاً کوچکی را نشان داد که این نتایج احتمالاً به‌دلیل کوتاه بودن دوره مطالعه است. انتظار می‌رود برای پیدا کردن ویژگی‌های دوره‌ای مطلوب‌تر، از سری‌های زمانی طولانی‌تر در آینده استفاده شود.





شکل (۷) طیف توان موجک (WPS، شکل چپ)، طیف توان کلی (GW، شکل راست) شاخص‌های گرم فرین (SU, GSL, WSDI, X90, TR20, TNx, TXx, TN90) منطقه شمال غرب ایران در دوره آماری ۲۰۰۸ تا ۱۹۸۶. سطوح تراز طوری انتخاب شده‌اند که به ترتیب ۷۵٪، ۵۰٪، ۲۵٪ و ۵٪ توان موجک بالای هر سطح است. معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۰٪ با استفاده از نویز پس زمینه قرمز انتخاب شده است.

نتیجه‌گیری

وقوع مکرر رخداد‌های فرین آب و هوایی به سبب اثرات قابل توجه بر روی محیط زیست و داشتن پیامدهای اقتصادی-اجتماعی در زندگی انسان‌ها موجب شده تا گرایش به تحقیقات فرین‌های آب و هوایی در مقیاس منطقه‌ای و محلی در سال‌های اخیر بیش‌تر گردد. با تاسی از این رویکرد در این تحقیق شاخص‌های ۱۶ گانه دمای فرین در ۱۳ ایستگاه شمال غرب ایران در طول دوره آماری مورد مطالعه با استفاده از روش من-کندال برای بررسی وجود روند و روش موجک برای بررسی تغییرات و نوسان‌های دوره‌ای موجود در سری‌ها مورد تحلیل قرار گرفته است.

نتایج این تحقیق نشان داد که روند شاخص‌های دمای فرین در اکثر ایستگاه‌های منتخب حاکی از کاهش فراوانی شاخص‌های سرد فرین، (نظیر روزها و شب‌های سرد، روزهای یخبندان، شاخص طول مدت سرما و روزهای یخی) و افزایش فراوانی شاخص‌های گرم فرین، (نظیر تعداد روز تابستانی، طول فصل رشد، روزها و شب‌های گرم و شاخص طول مدت گرما) است. این نتایج در تحقیقات انجام شده توسط سهرابی و همکاران در سال ۱۳۸۸، تقوی و همکاران، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۶ و رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ نیز به‌دست آمده است. سری زمانی متوسط منطقه‌ای شاخص‌های گرم فرین طی دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۶ شدت و فراوانی بیش‌تر و شاخص‌های سرد فرین شدت و فراوانی کم‌تری نشان داد.

این بدین معنی است که شب‌های گرم و سرد نسبت به روزهای گرم و سرد سریع‌تر به طرف گرم شدن تمایل پیدا کرده است که مؤید اثرات و پیامدهای تغییرات آب و هوایی و افزایش جهانی دمای کره زمین می‌باشد.

نتایج حاصل از تحلیل موجک نشان داد که شاخص‌های سرد فرین دارای نوسان‌های دوره‌ای معنی‌دار کاملاً آشکار طی چرخه‌های زمانی ۲ تا ۴ ساله می‌باشد. در بین شاخص‌های گرم فرین، تنها شاخص گرم‌ترین دمای روز (TXx) در چرخه‌های زمانی ۲ تا ۴ ساله و شاخص تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) در چرخه‌های زمانی ۴ تا ۸ ساله بارزترین محدوده‌های معنی‌داری را نشان دادند.

در سال‌های اخیر تغییرات در فرکانس، شدت و زمان رخدادهای فرین آب و هوایی به دلیل اثرات خسارت بار بر فعالیت‌های انسانی و محیط زیست به یک بحران آب و هوایی تبدیل شده است. نظر به این امر نتایج این تحقیق می‌تواند سیاست‌گذاران و مسئولان امر را در برنامه‌ریزی‌های منطقی برای آینده به‌منظور کمک به حل مسائل زیست محیطی و مقابله با بحران‌های ناشی از تغییرات فرین‌های آب و هوایی یاری نماید.

منابع

- تقوی، فرحناز؛ محمدی، حسین (۱۳۸۴)، «روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران»، *تحقیق‌های جغرافیایی*، ۵۳: ۱۷۲-۱۵۱.
- تقوی، فرحناز؛ محمدی، حسین (۱۳۸۶)، «بررسی دوره بازگشت رویداد‌های آب و هوایی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی»، *محیط‌شناسی*، ۴۳: ۲۰-۱۱.
- رحیم‌زاده، فاطمه؛ عسگری، احمد؛ فتاحی، ابراهیم؛ محمدیان، نوشین و افسانه تقی‌پور (۱۳۸۸)، «روند نمایه‌های حدی آب و هوایی دما در ایران طی دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱»، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۹۳: ۱۴۴-۱۱۹.
- رحیم‌زاده، فاطمه؛ هدایت دزفولی، اکرم (۱۳۹۰)، «رزیایی روند و جهش نمایه‌های حدی دما و بارش در استان هرمزگان»، *جغرافیا و توسعه*، ۲۱: ۱۱۶-۹۷.
- سهرابی، محمدمهدی؛ معروفی، صفر؛ آبابایی، بهنام (۱۳۸۸)، «بررسی رویدادهای حدی آب و هوایی شمال غرب ایران با استفاده از بارش و دمای حداقل و حداکثر روزانه»، *اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب*، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- عساکره، حسین (۱۳۸۹)، «تحلیل تغییرات بارش‌های فرین شهر زنجان»، *نشریه تحقیق‌های آب و هواشناسی*، شماره اول و دوم: ۱۰۰-۸۹.
- علیجانی، بهلول (۱۳۹۰)، «تحلیل فضایی دماها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران»، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰: ۳۰-۹.
- مساعدی، ابوالفضل؛ طوفانی، پیوش؛ فاخری فرد، احمد (۱۳۹۰)، «پیش‌بینی بارندگی با استفاده مستقیم از نظریه موجک (مطالعه موردی: ایستگاه بارانسنجی زرینگل استان گلستان)»، *نشریه آب و خاک*، دانشگاه فردوسی مشهد، ۵: ۱۲۲۶-۱۲۱۷.
- نیستانی، ابوالفضل؛ تقوی، فرحناز (۱۳۸۹)، «بررسی تغییر پذیری بارش با استفاده از آنالیز طیفی و موجک»، *چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران*، ۷۹-۷۶.
- Aguilar E, et al (2005), "Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America", 1961-2003. *J Geophys Res Atmos* 110: doi:[10.1029/2005JD006119](https://doi.org/10.1029/2005JD006119)

- Aguilar E, et al (2009), "Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe", 1955-2006. *J Geophys Res Atmos* 114, doi: [10.1029/2008JD011010](https://doi.org/10.1029/2008JD011010)
- Alexander LV, et al (2006), "Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation", *J Geophys Res Atmos* 111: doi: [10.1029/2005JD006290](https://doi.org/10.1029/2005JD006290)
- Easterling DR, et al (2000), "Climate extremes: observations, modeling, and impacts", *Science* 289:2068-2074.
- Frich P, et al (2002) "Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century", *Clim Res* 19:193-212
- Griffiths GM, et al (2005), "Change in mean temperature as a predictor of extreme temperature change in the Asia-Pacific region", *Int J Climatol*. 25:1301-1330
- Grinsted, A, et al (2004), "Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series", *Linear Processes in Geophysics*, 11:561-566.
- Haylock MR, et al (2006), "Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *J Clim* 19:1490-1512
- Jiang, D, et al (2011), "Variability of extreme summer precipitation over Circum -Bohai-Sea region during 1961-2008", *Theor Appl Climatol* 104:501-509 doi : [10.1007/s00704-010-0369-5](https://doi.org/10.1007/s00704-010-0369-5)
- Klein Tank AMG, et al (2006), "Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia", *J Geophys Res Atmos* 111, doi : [10.1029/2005JD006316](https://doi.org/10.1029/2005JD006316)
- Manton MJ, et al (2001), "Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998", *Int J Climatol* 21: 269-284, doi: [10.1002/joc.610](https://doi.org/10.1002/joc.610)
- Marofi, S, et al (2011), "Investigation of meteorological extreme events over coastal regions of Iran", *Theor Appl Climatol*, 103, 401-412, doi: [10.1007/s00704-010-0298-3](https://doi.org/10.1007/s00704-010-0298-3)

- Moore, J, et al (2006), “Is there evidence of sunspot forcing of climate of multi-year and decadal periods?”, *Geophys. Res. Lett.*, 33, doi:[10.1029/2006GL026501](https://doi.org/10.1029/2006GL026501).
- New, M, et al (2006), “Evidence of trends in daily climate extremes over Southern and West Africa”, *J. Geophys. Res.*, 111, doi:[10.1029/2005JD006289](https://doi.org/10.1029/2005JD006289).
- Peterson TC, et al (2002), ‘Recent changes in climate extremes in the Caribbean region’, *J Geophys Res Atmos* 107, doi:[10.1029/2002JD002251](https://doi.org/10.1029/2002JD002251).
- Peterson TC et al (2008), “Changes in North American extremes derived from daily weather data”, *J Geophys Res Atmos* 113, doi:[10.1029/2007JD009453](https://doi.org/10.1029/2007JD009453).
- Vincent LA et al (2005), “Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000”, *J Clim* 18:5011-5023, doi : <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI3589.1>.
- You QL et al (2008a), “Changes in daily climate extremes in the eastern and central Tibetan Plateau during 1961-2005”, *J Geophys Res Atmos*, 113: doi:[10.1029/2007JD009389](https://doi.org/10.1029/2007JD009389) .
- You, Q.L., et al., (2008b), “Relationship between trends in temperature extremes and elevation in the eastern and central Tibetan Plateau, 1961 -2005”, *Geophysical Research Letters* 35, doi:[10.1029/2007GL032669](https://doi.org/10.1029/2007GL032669).
- You, Q.L., et al., (2010a), “Relationship between temperature trend magnitude, elevation and mean temperature in the Tibetan Plateau from homogenized surface stations and reanalysis data”, *Global and Planetary Change* 71, 124-133. doi: [10.1016/j.gloplacha.2010.01.020](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.01.020).
- You QL, et al (2011), “Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961–2003”, *Clim Dynam.* 36 2399-2417, doi: [10.1007/s00382-009-0735-0](https://doi.org/10.1007/s00382-009-0735-0).

- Yurong Hu, Y, et al (2012), "Trends in temperature and rainfall extremes in the Yellow River source region, China", *Climatic Change* 110 403-429, doi: [10.1007/s10584-011-0056-2](https://doi.org/10.1007/s10584-011-0056-2).
- Zhang X, et al (2005), "Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003", *J Geophys Res Atmos* 110, doi: [10.1029/2005JD006181](https://doi.org/10.1029/2005JD006181).