



بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی در چندک‌های حدی کمینه و بیشینه دما در ایران

خلیل قربانی^{۱*}، صدیقه برارخان پور احمدی^۲

^۱ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران.
^۲ دانشجوی دکتری هواشناسی، کشاورزی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸

چکیده

تغییر اقلیم به هرگونه تغییرات در شرایط آب و هوایی گفته می‌شود که در طول زمان اتفاق می‌افتد. این تغییرات ممکن است در میانگین سری داده‌ها دیده نشود بلکه در چندک‌هایی از سری با شدت‌های مختلف رخ دهد که بررسی آن توسط رگرسیون چندک امکان‌پذیر است. در این پژوهش به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی بیشینه و کمینه دمای روزانه در فصل‌های مختلف در ایران، پس از برازش رگرسیون چندک بر روی ۱۰۲ ایستگاه هواشناسی با دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۶۶ (1987-2016)، شیب روند در چندک‌های مختلف محاسبه و پس از مقایسه نتایج آن با نتایج رگرسیون خطی معمولی به صورت مکانی پهنه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که مقادیر حدی کمینه و بیشینه دما در اغلب مناطق ایران دارای روند معنی‌دار بوده است. بیشترین شیب‌های روند افزایشی در فصل بهار و تابستان مربوط به چندک پایینی دما (۰/۰۵) و در نیمه شرقی ایران (شیب < ۰/۱ درجه در سال)، اما در پاییز و زمستان به ترتیب مربوط به چندک بالایی دما (۰/۹۵) در نواحی شرقی (شیب < ۰/۰۵ درجه در سال) و چندک‌های میانی و بالایی (۰/۵ و ۰/۹۵) در شمال غربی و غرب (شیب < ۰/۱۵ درجه در سال) بوده است. با این حال یک روند کاهشی برای مقادیر پایین (۰/۰۵) دمای پاییز در نیمه شمالی و غرب ایران (شیب > ۰/۰۲- درجه در سال) وجود داشت. همچنین مقایسه نتایج دو روش رگرسیونی بیانگر آن است که بیشتر چندک‌ها شیبی متفاوت با شیب رگرسیون حداقل مربعات داشتند و اختصاص شیب خط رگرسیون مربعات معمولی برای روند تغییرات دما در کل سری صحیح نمی‌باشد. در نهایت می‌توان بیان کرد که تغییر اقلیم در بیشینه و کمینه دمای روزانه در ایران اتفاق افتاده است اما شدت این تغییرات در فصل‌ها، چندک‌ها و بخش‌های مختلف، متفاوت است.

واژه‌های کلیدی: کمینه و بیشینه دمای روزانه، رگرسیون چندک، رگرسیون خطی معمولی، روند، ایران.

مقدمه

دما یکی از مهم‌ترین پارامتر اقلیمی است که تحت تاثیر عوامل محلی و خارجی و نیز تحت تغییرات زمانی و مکانی قرار می‌گیرد (احمدی و همکاران، ۲۰۱۸). شواهد قابل توجهی در مورد افزایش میانگین دمای جهانی وجود دارد که بیان می‌کند شدت و وسعت مکانی از وقایع گرمایشی معنی‌دار در حال افزایش می‌باشد (ادن و همکاران، ۲۰۲۰) که اثرات

بالقوه‌ای را در بخش‌های مختلف زندگی انسان و موجودات زنده بر جای گذاشته است. مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که دما در بخش‌های مختلف جهان دارای روند افزایشی یا کاهشی معنی‌دار بوده است، روند افزایشی در کمینه و بیشینه دمای اسپانیا (گنزلز هیدالگو و همکاران، ۲۰۱۵)، نیوزلند (کالیرو، ۲۰۱۷)، جنوب شرقی هند (محمد و گوسوامی، ۲۰۱۹)، غرب آفریقا (ایلوری و اجایی، ۲۰۲۰)، قزاقستان (فروغ و همکاران، ۲۰۲۱) و وجود روند کاهشی در چین (ژنگ و همکاران، ۲۰۲۱) نمونه

*نویسنده مسئول: ghorbani.khalil@yahoo.com

مطالعاتی است که در بررسی روند متغیرهای دما در جهان انجام شده است. بنابراین افزایش شدت و فراوانی رویدادهای شدید جوی جهانی، مانند گرمای شدید، سرمای شدید، خشکسالی، کاهش پوشش برف، ناشی از تغییرات اساسی در آب و هوای زیرین است (پایک و مین، ۲۰۲۰؛ اسپینونی و همکاران، ۲۰۲۰؛ سلیمانی و همکاران، ۲۰۲۱). این پدیده‌های حدی اقلیمی به سبب ندرت در وقوع و عدم سازگاری جوامع بشری و اکوسیستم با آن‌ها، منجر به خسارت‌های زیادی می‌شود (دیاز و مورنان، ۲۰۰۸).

فعالیت‌های بشری به عنوان عامل اصلی گرمایش زمین شناخته می‌شود (پاچوری و ریسینگر، ۲۰۰۷؛ پاچوری و میر، ۲۰۱۴) و پیش بینی می‌شود که این روند افزایشی دما ادامه یابد و در صورت ادامه آن، تغییرات عظیم اجتماعی و زیست محیطی ایجاد خواهد شد (دوآن و همکاران، ۲۰۲۱). ایران کشوری است که به دلیل بارش کم و پتانسیل تبخیر بالا، بیشتر مناطق آن در بین مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته است و علی‌رغم اینکه یکی از تولیدکنندگان عمده محصولات کشاورزی است، بیشتر مناطق کشور با کاهش منابع آبی مواجه است. بنابراین درک عمیق تغییرات آب و هوایی در ایران از اهمیت زیادی برخوردار است. به دلیل نقش مهم دمای هوا در وقوع تغییرات اقلیمی و عواقب آن، مطالعات متعددی در مورد بررسی روند تغییرات آن انجام شده است. در ایران مطالعات زیادی به افزایش دما در ماه‌ها و فصل‌های مختلف اشاره دارند (عساکره و ورناسری قندعلی، ۱۳۹۸؛ بنایان و همکاران، ۲۰۲۰؛ کامیابی و عبدی، ۱۳۹۹؛ حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹؛ سلیمانی و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر این، مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که شدت شیب‌های روند دما در نواحی مختلف از ایران متفاوت بوده است. شرفی و کریم (۲۰۲۰) گزارش کردند که روند افزایش دما و کاهش بارش از مناطق ارتفاع بالا یا عرض جغرافیایی بالا تا مناطق کم‌عرض مانند خطوط ساحلی در ایران مشاهده شد. احمدی و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند

که بیش‌ترین روند افزایشی دما در فصل زمستان و در مقیاس سالانه و نیز در ایستگاه‌های واقع در نواحی جنوبی و جنوب شرقی ایران بوده است. فلاح قاهره و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای بیان کردند که روند افزایشی در کمینه و بیشینه دمای ایران وجود دارد و شاخص روزهای گرم و شب‌های گرم در بیش‌تر ایستگاه‌ها روند مثبت قابل‌توجهی داشته است که شمال غرب ایران، بیش‌ترین افزایش دما را داشته است. رحیمی و حبیبی (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای نشان دادند که روند گرمایشی معنی‌دار در شاخص‌های دمای شدید، خصوصاً شاخص‌هایی که براساس کمینه دمای روزانه است در بسیاری از ایستگاه‌های ایران وجود دارد که در ارتفاعات پایین دست بیش‌تر بوده است. صادقی و کاهیا (۲۰۲۱) بیان کردند که روندهای افزایشی در کمینه دمای ایران بیش‌تر از بیشینه‌ی دما بوده است و شدت افزایش دمای هوا در مناطق گرمسیر بیش‌تر از مناطق سردسیر بوده است.

بیشتر مطالعاتی که در زمینه تشخیص روند دما صورت گرفته بر اساس آزمون‌های ناپارامتری من-کندال (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۷۵) استوار است و نیز اکثر تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام شده در مطالعات آب و هوایی در بخش‌های مختلف از ایران بر اساس استنباط در مورد بیشینه، کمینه یا میانگین دما (الحاجی و همکاران، ۲۰۱۸؛ احمدی و همکاران، ۲۰۱۸؛ سلیمانی و همکاران، ۲۰۲۱؛ بنایان و همکاران، ۲۰۲۱) است. آزمون من-کندال قادر به دسته‌بندی سری به چندک‌های مختلف نیست و آزمون بر روی کل سری داده‌ها انجام می‌شود و بر این فرض استوار هست که تغییرات در میانگین، تغییرات در کل توزیع پارامتر را مشخص می‌کند (لاسیر و جین، ۲۰۱۸). تعریف شاخص‌های حدی دمایی مانند روزهای گرم، شب‌های سرد و دیگر شاخص‌هایی که از کل سری زمانی داده‌ها استخراج می‌شوند، ممکن است از تعداد کافی داده برای تحلیل روند برخوردار نباشند و از طرفی دیگر، روند در دیگر بخش‌های سری به جز سری‌های حدی رخ داده باشد. بر این اساس، روش

عراق برای دوره‌ی آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۵ از رگرسیون چندک برای ارزیابی روندها در سطح اعتماد ۹۵ درصد استفاده کردند. نتایج حاکی از افزایش بیشینه دمای در زمستان و افزایش کمینه دما در تابستان بوده است. دون و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تغییرات در توزیع‌های آماری دماهای سطحی روزانه و سرعت باد در جهان با استفاده از روش رگرسیون چندک پرداختند و نتایج بیانگر افزایش در مقادیر بالای دما در شرق اروپا در طول تابستان و همچنین در شمال اروپا برای مقادیر کم دما در زمستان می‌باشد. در آمریکای شمالی بیشترین تغییرات در مقادیر کم‌تر دما در عرض‌های جغرافیایی شمالی برای پاییز و زمستان بوده است و نیز چندک‌های دمای نقطه‌ی شب‌نیم در پاییز و زمستان به طور مشخص در مناطق شمالی اروپا بیش‌تر تغییر می‌کند. چن و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ی وابستگی شدید بارندگی روزانه به دما را با استفاده از داده‌های روزانه ۵۲۵ ایستگاه در چین طی سال‌های ۱۹۵۷ تا ۲۰۱۷ براساس روش رگرسیون چندک مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد چارک بالایی بارش (P75) بیشتر به تغییرات دما حساس بود. برخلاف الگوهای مقیاس بندی در کل سال، روابط منفی در بیشتر مناطق در تابستان غالب بود که نشان می‌دهد چنانچه کمترین دمای تابستان به اوج سال برسد، مقیاس منفی بارش شدید در دماهای بالاتر تقویت می‌شود.

با توجه به مطالعات انجام شده، می‌توان به ضرورت بررسی تغییرات متغیرهای دمایی خصوصاً مقادیر حدی دما که اغلب در وقوع رویدادهای شدید مانند سیل و خشکسالی اهمیت بالایی دارند، پی برد. لذا در پژوهش حاضر، به منظور بررسی و مقایسه تغییرات زمانی و مکانی روند تغییرات در مقادیر مختلف از کمینه و بیشینه دمای روزانه از روش‌های رگرسیون خطی معمولی و رگرسیون چندک استفاده گردید و نتایج مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

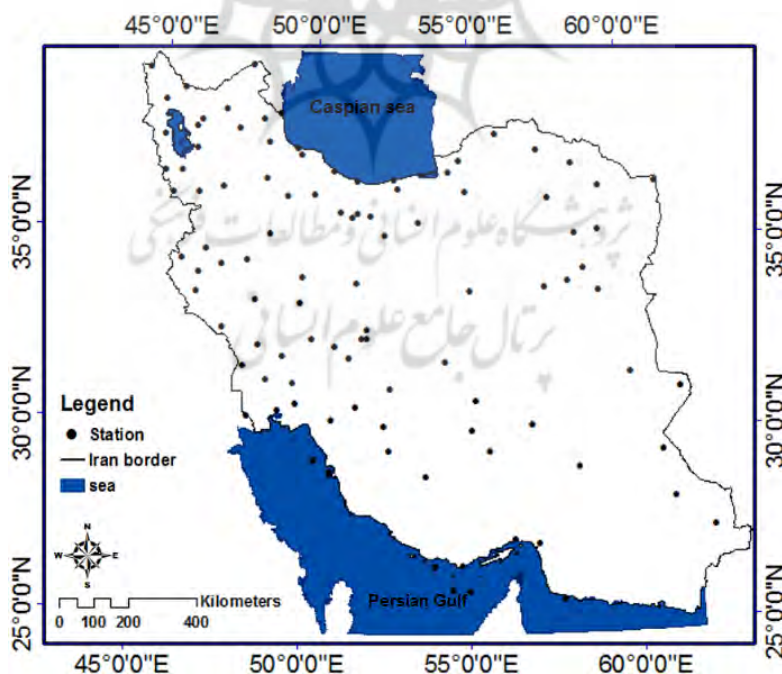
رگرسیون چندک^۱ که توسط کوئنکر و باست (۱۹۷۸) پیشنهاد شده است می‌تواند یک روش تشخیصی-روند جایگزین برای شناسایی تغییرات از هر صدک متغیرهای آب‌هوایی در طول زمان باشد (دونر و همکاران، ۲۰۱۲) و منجر به دستیابی به طیف گسترده‌ای از تحلیل‌های روند برای چندک‌های مختلف از توزیع داده شود. همچنین این روش رگرسیونی محدودیت‌های روش حداقل مربعات از جمله در موارد غیرنرمال بودن توزیع خطا و وجود ناهمگنی واریانس را ندارد (هاوگن و همکاران، ۲۰۱۸) و یک روش آماری با توانایی محاسبه و رسم منحنی‌های رگرسیونی متفاوت و منطبق با نقاط صدکی مختلف می‌باشد. با اعمال روش رگرسیون چندک، یک رابطه‌ی جامع بین متغیرهای توضیحی و بخش‌های مختلف از متغیر پاسخ تهیه می‌شود (بنوئیث و پوئل، ۲۰۱۷) و شیب‌های روند را در هر چندک دلخواه برآورد می‌کند (ژنگ و همکاران، ۲۰۲۰).

محققان مختلفی در بررسی روندهای مکانی و زمانی پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی از روش رگرسیون چندک استفاده نمودند (داروچا جونیر و همکاران، ۲۰۱۹؛ ونگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ نیان و همکاران، ۲۰۲۰؛ کالیسا و همکاران، ۲۰۲۱) که نتایج مهم و کاربردی را به همراه داشته است. همچنین گائو و فرانزک (۲۰۱۷) در بررسی روندهای زمانی و الگوهای مکانی از تغییر دمای شدید در ۳۵۲ ایستگاه هواشناسی در چین، با استفاده از کاربرد رگرسیون چندک نتیجه گرفتند که برای چندک‌های پایینی از دمای میانگین روزانه در ژانویه، یک روند افزایشی در بیشتر ایستگاه‌ها وجود دارد و همچنین برای چندک‌های بالاتر از دمای میانگین روزانه یک روند کاهشی در یک محدوده از دامنه شمال شرقی به سمت مرکز چین در جولای قابل رؤیت می‌باشد. سلیم و همکاران (۲۰۱۸) در انتخاب مدل‌های آب و هوایی برای پیش‌بینی تغییرات زمانی-مکانی در دماهای فصلی و سالانه از

به بیش از ۵۰ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. در حالی که در شهرهای سردسیر در زمستان دما به کمتر از ۲۰- درجه سانتی‌گراد هم می‌رسد.

داده‌های مورد استفاده: در پژوهش حاضر، از داده‌های بیشینه و کمینه دمای ایستگاه‌های هواشناسی ایران که از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید، استفاده شد. پس از بررسی اولیه، ایستگاه‌هایی که بیش از ۳۰ سال آمار داشتند جدا گردید که در مجموع ۱۰۲ ایستگاه با دوره‌ی مشترک ۳۰ سال (۱۳۹۵-۱۳۶۶) برای تحلیل روند انتخاب شدند (شکل ۱). پس از استخراج داده‌ها، سری زمانی فصلی از کمینه و بیشینه دمای روزانه برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان برای این بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله تشکیل شد. از دو روش رگرسیون خطی معمولی برای تحلیل روند در میانگین داده‌های دما و روش رگرسیون چندک برای تحلیل روند در چندک‌های مختلف از کمینه و بیشینه دما استفاده شد. سپس شیب‌های روند در چندک‌های مختلف برای کل ایران پهنه‌بندی گردید و نتایج مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

منطقه مطالعاتی: منطقه‌ی مطالعاتی در این پژوهش، پهنه‌ی جغرافیایی ایران، واقع در منطقه‌ی خشک و نیمه خشک جهان با طول جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و عرض جغرافیایی ۴۵ درجه تا ۶۵ درجه شرقی می‌باشد. اگرچه بیشتر سرزمین ایران فلات است، دو کمر بند کوهستانی بزرگ در مناطق شمالی (کوه‌های البرز) و غربی (کوه‌های زاگرس) واقع شده است و با توجه به اینکه این دو منطقه کوهستانی مانع از رسیدن رطوبت به فلات مرکزی ایران می‌شوند، هر دو سیستم جوی بزرگ و محلی بر آب و هوای ایران تأثیر می‌گذارد (فتحیان و همکاران، ۲۰۲۰) و تنوع زمانی و مکانی در متغیرهای آب و هوایی (مانند بارش و دما) تحت تأثیر این دو سیستم جوی قرار می‌گیرد (مدرس و همکاران، ۲۰۱۶). متوسط بارش سالانه در ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد که نوار ساحلی و شمالی آن در کنار دریای خزر جزو مناطق پر بارش و مناطق مرکزی آن در شرق کشور کم‌باران و کوبیری می‌باشد. مناطق جنوبی ایران جزو مناطق گرمسیری می‌باشد بطوری که در تابستان‌ها دمای هوا



شکل ۱: موقعیت ۱۰۲ ایستگاه مشاهداتی در ایران

چندک برای بررسی تغییرات دما در طول زمان استفاده شد. برای این منظور، به منظور بررسی

روش‌های بررسی روند: در این پژوهش از دو روش رگرسیونی، رگرسیون خطی معمولی و رگرسیون

نرمال بودن باقیمانده‌ها، حتی در حضور نقاط پرت فراهم می‌کند (کوئنکر، ۲۰۰۵) که به طور گسترده مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند (یو و همکاران، ۲۰۰۳). این روش برای مدل کردن چندک‌های متغیر پاسخ معین بر روی متغیرهای مستقل شرطی یا بر روی زمان تعیین شده است و اطلاعات بیشتری در بررسی چگونگی تغییرات وقایع مرتبط با مقادیر حدی و شدید در اختیار قرار می‌دهد.

مدل رگرسیون چندک به شکل رابطه (۳) می‌باشد (کوئنکر، ۲۰۰۵):

$$Y(\rho|x) = \beta_0(\rho) + \beta_1(\rho)x + \varepsilon \quad (3)$$

که در آن، $\beta_0(\rho)$ عرض از مبدأ و $\beta_1(\rho)$ ضریب شیب می‌باشد و هر دو بسته به مقدار ρ امین چندک مورد بررسی تغییر می‌کنند. ε خطا با انتظار صفر و محدوده‌ی مقادیر ρ از ۰ تا ۱ می‌باشد (لی و همکاران، ۲۰۱۳). برای برآورد رگرسیون چندک از حداقل نمودن مجموع قدرمطلق باقیمانده‌ها استفاده می‌شود که روش حداقل قدرمطلق باقیمانده‌ها^۲ نامیده می‌شود. بر این اساس، برآورد رگرسیون چندک ρ ام، توسط حداقل کردن رابطه (۴) انجام می‌شود:

$$\text{minimize } \left\{ \sum_{\{i|y_i < y_p(x_i)\}} (1 - \rho)|y_i - y_p(x_i)| + \sum_{\{i|y_i > y_p(x_i)\}} \rho|y_i - y_p(x_i)| \right\}$$

که $\{y_p(x_i) = \beta_0(\rho) + \beta_1(\rho)x_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ تفاوت بین یک مشاهده y_i از چندک ρ ام متناظر $y_p(x_i)$ ، وزن $(1 - \rho)$ می‌گیرد اگر مشاهدات زیر خط چندک باشد و وزن ρ می‌گیرد اگر مشاهدات بالای خط چندک باشد (لی و همکاران، ۲۰۱۳). نحوه‌ی برآورد پارامترهای مدل در کوئنکر و دی اوری (۱۹۸۷)، کوئنکر (۲۰۰۵) و کوئنکر (۲۰۰۶) بیان شده است و در این مطالعه از بسته `quantreg` (کوئنکر، ۲۰۱۸) در نرم افزار R استفاده شده است.

تغییرات فصلی در مقادیر مختلف از متغیرهای کمینه و بیشینه دما در ایران، از رگرسیون چندک استفاده شد و با روند رگرسیون میانگین مقایسه شد. سپس شیب‌های برآورد شده در چندک‌های حدی (مقادیر بسیار پایین و بسیار بالا از متغیرهای دما) و میانه برای کل ایران پهنه‌بندی گردید تا ضمن تحلیل ایستگاهی روند در چندک‌های مختلف، با ترسیم نقشه‌های شیب روند در فصل‌های مختلف، مناطق با تغییرات دمایی مختلف مشخص شوند.

رگرسیون خطی معمولی: مدل رگرسیون خطی معمولی به منظور بررسی رابطه بین میانگین توزیع متغیر تصادفی Y با تعدادی متغیر تشریحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرم مدل رگرسیون خطی معمولی به صورت رابطه (۱) می‌باشد.

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

که در آن α و β پارامترهای نامعلوم مدل که باید برآورد شوند، x_i مقادیر معلوم متغیر مستقل و ε_i متغیر تصادفی هستند. در حالتی که $E(\varepsilon_i) = 0$ ، آن‌گاه می‌توان رابطه‌ی شماره (۱) را به فرم رابطه‌ی (۲) شرح زیر بازنویسی کرد.

$$E(Y_i) = \alpha + \beta x_i \quad (2)$$

که کمیت $E(Y_i)$ را میانگین شرطی متغیر تصادفی Y می‌نامند (کوئنکر و باست، ۱۹۷۸؛ کوئنکر، ۲۰۰۵). برای برآورد پارامترهای مدل رگرسیون خطی معمولی از روش حداقل کردن مربع باقیمانده‌های مدل استفاده می‌شود که این نوع از برآورد، رگرسیون حداقل مربعات^۱ نامیده می‌شود.

رگرسیون چندک: رگرسیون چندک یک روش آماری با قابلیت محاسبه و رسم منحنی‌های رگرسیونی متفاوت و منطبق با نقاط صدکی مختلف می‌باشد که علاوه بر اینکه تصویری کامل‌تر و بهتر از داده‌ها را فراهم می‌کند، قادر است منحنی یا خط رگرسیون مربوط به هر چندک دلخواه را به طور جداگانه ترسیم کند و امکان بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل با چندک‌های موردنظر متغیر وابسته را بدون نیاز به

1. least squares regression
2. Least Absolute Deviation

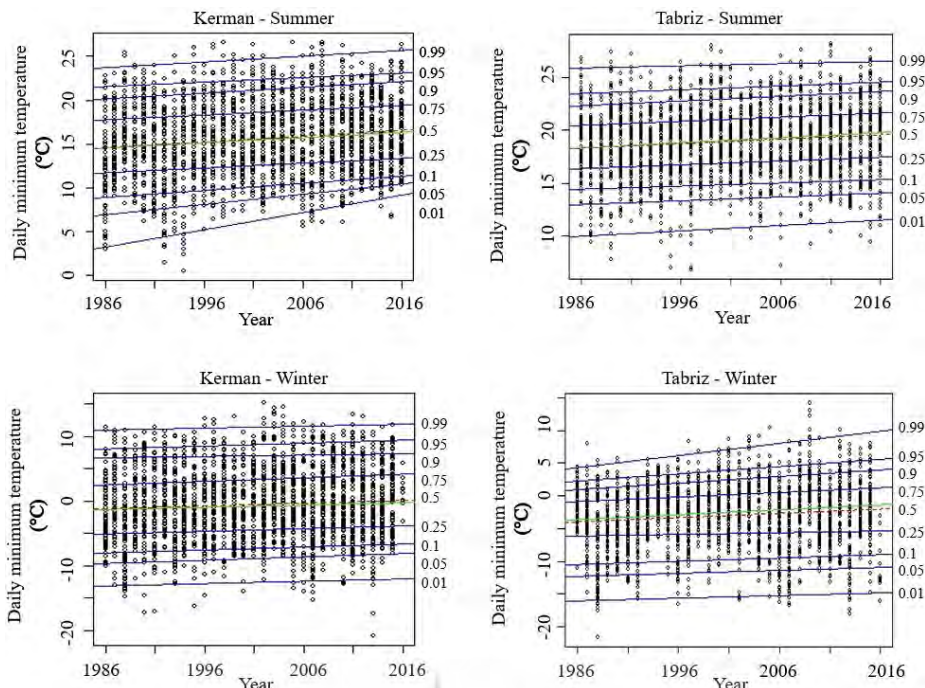
نمونه نتایج برای ایستگاه‌های منتخب کرمان و تبریز ارائه گردید و نتایج آن با شیب خط رگرسیون معمولی مقایسه گردید. برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، نتایج به صورت نقشه در شکل‌های ۵ تا ۸ نشان داده شده است که رگرسیون‌های میانگین و میانه بر روی مرکز داده‌های دما تمرکز می‌کنند و همچنین تغییرات در دنباله‌های بالایی و پایینی در توزیع داده‌ی دما بر روی رگرسیون میانه تأثیر چندانی ندارد. شکل ۲ و ۳ شیب خطوط روند در چندک‌های کمینه و بیشینه دما را برای فصل‌های تابستان و زمستان که از نظر دمایی به عنوان فصل‌های مهم به شمار می‌آیند، نشان می‌دهد و نیز معنی‌داری آماری روندها در جدول ۱ و ۲ آمده است؛ خطوط آبی در شکل، بیانگر خط رگرسیون چندک برای چندک‌های مختلف و خط تیره قرمز بیانگر شیب رگرسیون میانگین می‌باشد.

در فصل تابستان (شکل ۲، جدول ۱) شیب رگرسیون چندک میانه (۰/۵) برای کمینه دمای روزانه در هر دو ایستگاه کرمان (۰/۰۵۹) و تبریز (۰/۰۴۶) متفاوت با شیب حداقل مربعات (به ترتیب ایستگاه ۰/۰۶۷ و ۰/۰۴) می‌باشد و شیب خطوط چندک در تمامی چندک‌ها برای هر دو ایستگاه افزایشی و مثبت می‌باشند. اما شدت شیب‌ها در کرمان به ویژه در چندک‌های حدی پایینی (چندک‌های ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱) بیش‌تر می‌باشد. و نیز در فصل زمستان (شکل ۲، جدول ۱) برای کمینه دمای روزانه شیب رگرسیون چندک میانه در ایستگاه‌های کرمان (۰/۰۳۶) و تبریز (۰/۰۷۶) مقداری متفاوت با شیب رگرسیون حداقل مربعات و یا رگرسیون خطی معمولی (به ترتیب ایستگاه ۰/۰۴ و ۰/۰۶۵) می‌باشد و شیب خطوط برای تمامی چندک‌های مورد نظر مثبت می‌باشند که شدت این شیب‌های افزایشی در ایستگاه تبریز برای چندک‌های بالایی (چندک‌های بیش‌تر از ۰/۵) به طور محسوسی بیش‌تر می‌باشد.

نتایج و بحث

برازش رگرسیون چندک بر سری بیشینه و کمینه دمای روزانه در فصل‌های مختلف: با برازش رگرسیون چندک بر روی سری زمانی بیشینه و کمینه دمای روزانه در ۴ فصل سال (برای ۱۰۲ ایستگاه هواشناسی)، مقادیر شیب خط روند برای ۹ صدک ۱، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۹۰، ۹۵ و ۹۹ و همچنین شیب خط رگرسیون معمولی آن‌ها محاسبه شد. با توجه به حجم زیاد محاسبات، نتایج بطور نمونه برای دو ایستگاه تبریز و کرمان به ترتیب واقع در شمال غربی و جنوب شرقی ایران و برای دو فصل تابستان و زمستان آورده شده است (جدول‌های ۱ و ۲، شکل‌های ۲ و ۳). نتایج نشان داد شیب خط روند برای چندک‌های مختلف در این دو ایستگاه هواشناسی و حتی برای چندک‌های یک ایستگاه و در فصل‌های مختلف متفاوت است. در کرمان برای فصل تابستان چندک پایینی حدی (۰/۰۱) از کمینه دمای روزانه با بیشترین شیب (۲ درجه در ۱۰ سال) در حال افزایش است. اما در تبریز برای فصل زمستان چندک بالایی حدی (۰/۹۹) کمینه دمای روزانه با بیشترین شیب (۱/۸ درجه در ۱۰ سال) نسبت به دیگر چندک‌ها در حال افزایش است در حالی که چندک پایینی حدی آن (۰/۰۱) ۰/۳۸ درجه سانتی‌گراد در ۱۰ سال در حال افزایش است.

بررسی روند تغییرات بیشینه و کمینه دمای روزانه با استفاده از شیب رگرسیون چندک و رگرسیون میانگین: به منظور بررسی روند تغییرات در چندک‌های مختلف از سری زمانی داده‌های کمینه و بیشینه دمای روزانه، روش رگرسیون چندک بر روی داده‌ها و برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه اعمال گردید. با توجه به حجم بالای محاسبات به طور



شکل ۲: خطوط رگرسیون چندک و رگرسیون میانگین برای سری های زمانی فصلی از کمینه دمای روزانه برای ایستگاه های کرمان و تبریز طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۵

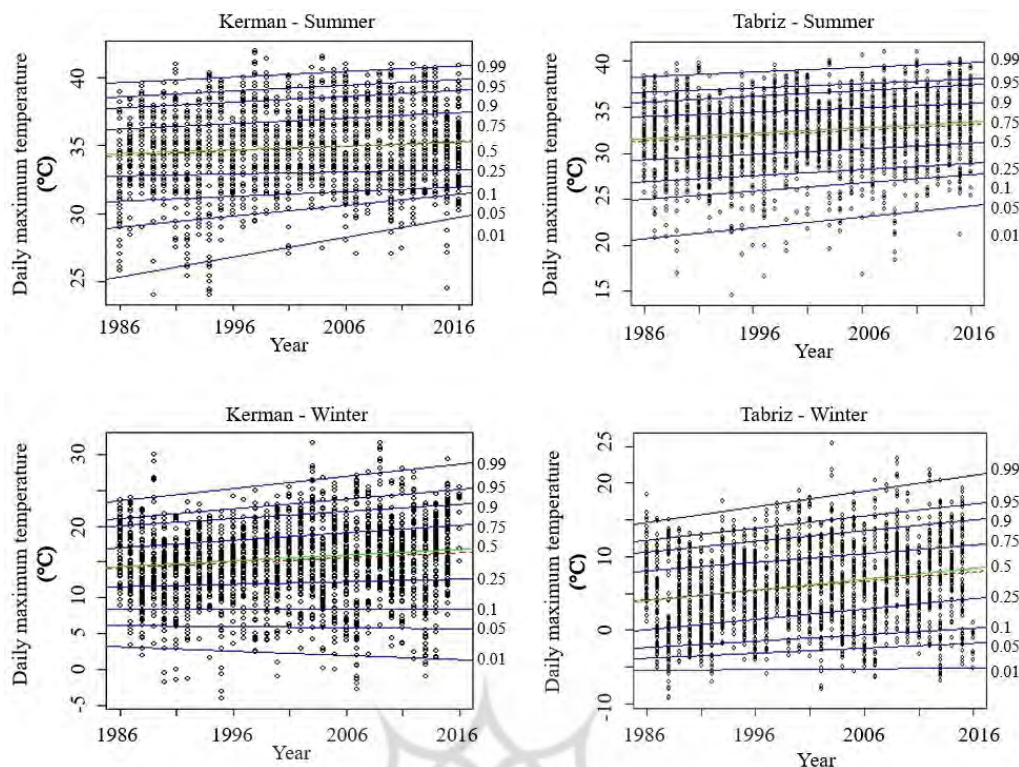
جدول ۱: شیب‌های چندک (درجه سانتی‌گراد بر سال) برای توزیع داده‌ی کمینه دمای روزانه طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۵

فصل	ایستگاه	رگرسیون خطی معمولی	رگرسیون چندک								
			۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۰/۹	۰/۹۵	۰/۹۹
تابستان	کرمان	۰/۰۶۷**	۰/۳**	۰/۱۲**	۰/۰۸**	۰/۰۵**	۰/۰۶**	۰/۰۶**	۰/۰۷**	۰/۰۵**	۰/۰۷*
	تبریز	۰/۰۴**	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳*	۰/۰۴**	۰/۰۵**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۴*	۰/۰۲
زمستان	کرمان	۰/۰۴**	۰/۰۳	۰/۰۵*	۰/۰۴**	۰/۰۴*	۰/۰۴*	۰/۰۶*	۰/۰۲	۰/۰۵*	۰/۰۳
	تبریز	۰/۰۶۵**	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵*	۰/۰۲	۰/۰۸**	۰/۰۷**	۰/۱**	۰/۰۱**	۰/۱۸**

سطح معنی‌داری: * $p < 0.05$ ، ** $p < 0.01$

برآوردی برای ایستگاه های کرمان (۰/۰۸۳) و تبریز (۰/۱۴۳) دارای تفاوت چشمگیری با شیب حداقل مربعات (به ترتیب ایستگاه ۰/۰۷ و ۰/۱۲۸) می‌باشد. خطوط چندک‌های پایینی (چندک‌های کم‌تر از ۰/۵) در ایستگاه کرمان دارای روند منفی اما غیرمعنی‌دار هستند در حالی که چندک‌های بالایی (چندک‌های بیش‌تر از ۰/۵) دارای روند معنی‌دار با شیب مثبت افزایشی می‌باشند (شکل ۳). در ایستگاه تبریز نیز در اغلب چندک‌ها روند معنی‌دار افزایشی وجود دارد که در چندک بالایی حدی (۰/۹۹) از شدت بیش‌تری برخوردار می‌باشد.

در بررسی بیشینه دمای روزانه برای فصل تابستان (شکل ۳ و جدول ۲) شیب رگرسیون چندک میانه (۰/۵) در ایستگاه کرمان (۰/۰۲۷) متفاوت با شیب حداقل مربعات (۰/۰۳۵) اما در ایستگاه تبریز (۰/۰۵۹) نزدیک به شیب حداقل مربعات (۰/۰۶) می‌باشد. همچنین شیب خطوط چندک برآوردی برای هر دو ایستگاه در تمامی چندک‌های منتخب (شکل ۳) مثبت و معنی‌دار اما چندک‌های حدی پایینی (چندک‌های ۰/۰۱ و ۰/۰۵) دارای مقادیر شیب بیش‌تری نسبت به چندک‌های دیگر می‌باشند اما برای داده‌های بیشینه دمای روزانه در فصل زمستان شیب‌های رگرسیون چندک میانه



شکل ۳: خطوط رگرسیون چندک و رگرسیون میانگین برای سری‌های زمانی فصلی از بیشینه دمای روزانه برای ایستگاه‌های کرمان و تبریز طی دوره ۱۳۶۵-۱۳۹۵

جدول ۲: شیب‌های صدک (درجه سانتی‌گراد بر سال) برای توزیع داده‌ی بیشینه دمای روزانه طی دوره ۱۳۶۵-۱۳۹۵

فصل	ایستگاه	رگرسیون خطی معمولی	رگرسیون چندک								
			۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۰/۹	۰/۹۵	۰/۹۹
تابستان	کرمان	۰/۰۳۵**	۰/۱۵**	۰/۰۸**	۰/۰۳**	۰/۰۳**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	
	تبریز	۰/۰۶**	۰/۱۲*	۰/۰۹**	۰/۰۷**	۰/۰۶**	۰/۰۶**	۰/۰۵**	۰/۰۶**	۰/۰۵**	
زمستان	کرمان	۰/۰۷**	-۰/۰۶	-۰/۰۱	۰	۰/۰۳	۰/۰۸**	۰/۱**	۰/۱**	۰/۱۳**	
	تبریز	۰/۱۲۸**	۰/۰۱	۰/۰۷**	۰/۰۹**	۰/۱۴**	۰/۱۴**	۰/۱۲**	۰/۱۴**	۰/۱۶**	

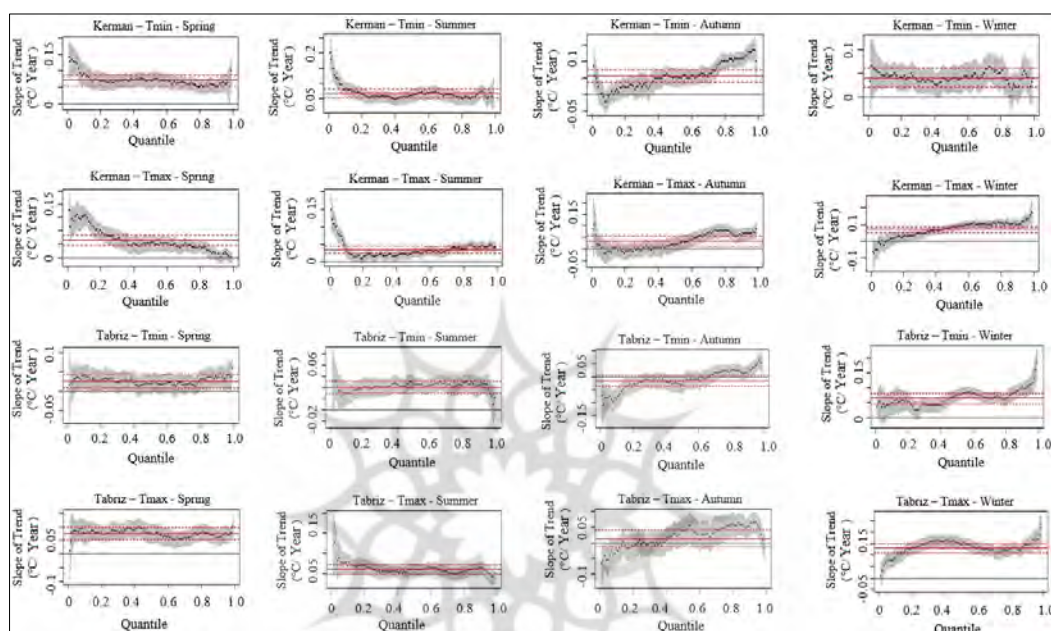
سطح معنی‌داری: * p<0.05, ** p<0.01

شیب‌ها در هر دو ایستگاه در بیشتر چندک‌های داده‌های کمینه و بیشینه دما، تقریباً نزدیک به شیب رگرسیون میانه (۰/۵) بوده و بیشترین تفاوت شیب‌ها در چندک‌های حدی بالا و پایین (چندک‌های محدوده‌ی ۰/۵ و ۰/۹۵) دیده می‌شود که تمامی شیب‌ها برای هر دو ایستگاه در چندک‌های مختلف مثبت می‌باشد و مقادیر شیب‌ها در چندک‌های پایینی (چندک‌های کمتر از ۰/۵) از ایستگاه کرمان بیش‌تر از چندک‌های بالایی (چندک‌های بیش‌تر از ۰/۵) می‌باشد. اما برای بیشینه دمای ایستگاه کرمان در بهار شرایط در تمامی چندک‌ها متفاوت با چندک میانه و

شکل ۴ تصویری کامل‌تر از نتایج رگرسیون چندک را در بررسی روند تغییرات کمینه و بیشینه دمای روزانه در ایستگاه‌های کرمان و تبریز در مقیاس فصلی نشان می‌دهد به طوری که شیب‌های چندک برآورد شده برای صدک‌های ۱ تا ۹۹ با گام ۱ یعنی چندک‌های ۱، ۲، ۳، ...، ۹۹ را بررسی می‌کند که در این شکل نقاط مشکی، شیب روند برآوردی برای هر چندک و ناحیه خاکستری، حدود اعتماد ۹۰٪ برای شیب‌ها می‌باشد و نیز خط قرمز و خط تیره قرمز به ترتیب شیب رگرسیون میانگین و حدود اعتماد این شیب می‌باشد. در فصل‌های بهار و تابستان تغییرات

بیشتر تغییرات در شیب‌ها در چندک‌های حدی بالا و پایین دیده می‌شود. به جز کمینه دمای زمستان در هر دو ایستگاه که در تمامی چندک‌ها دارای شیب مثبت و افزایشی می‌باشند، در مابقی موارد چندک‌های پایینی دارای شیب منفی و چندک‌های بالایی دارای شیب مثبت و افزایشی می‌باشند.

رگرسیون میانگین می‌باشد؛ به گونه‌ای که چندک‌های پایین‌تر، شیب‌های بالاتر از شیب میانه و چندک‌های حدی بالایی، دارای شیب‌های پایین‌تر از شیب میانه می‌باشند. در فصل‌های پاییز و زمستان شرایط روند متفاوت با بهار و تابستان می‌باشد و در اغلب موارد شیب‌های برآوردی در چندک‌های مختلف دارای تفاوت محسوسی با شیب میانگین و میانه می‌باشند و



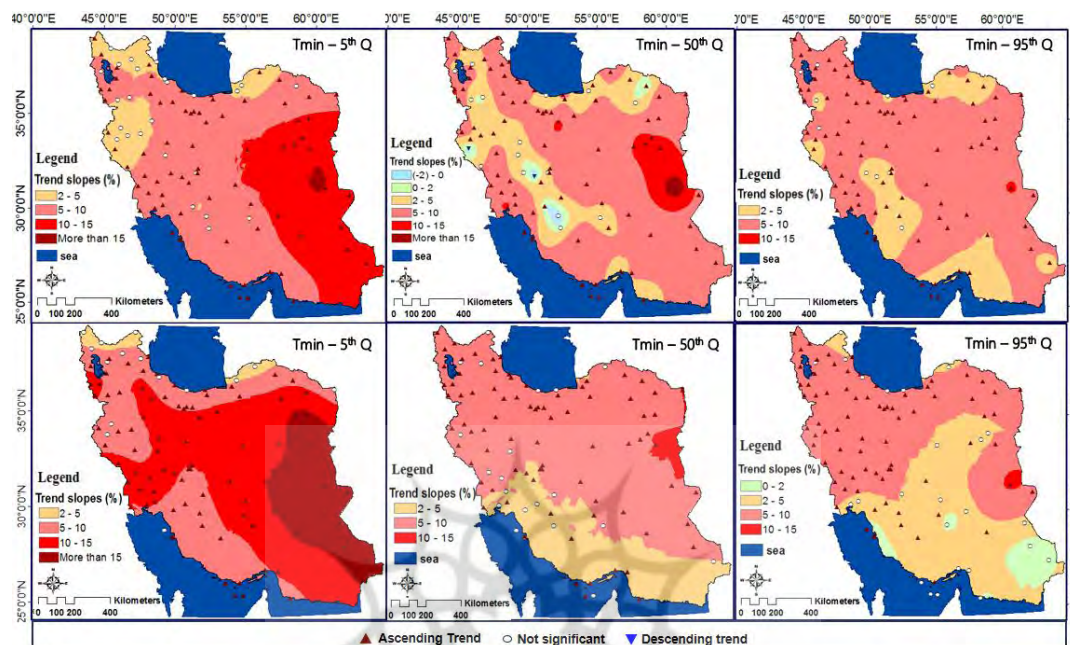
شکل ۴: نمودار شیب روندها برای سری زمانی فصلی از کمینه و بیشینه دمای روزانه به همراه چندک‌ها (۰۱/۰-۹۹/۰ با گام ۰۱/۰) برای فصل‌های تابستان و زمستان

توزیع مکانی شیب چندک‌ها: بررسی‌ها و تحلیل‌های انجام شده در بالا برای هر یک از ۱۰۲ ایستگاه مورد مطالعه انجام شد و نتایج شیب برای چندک‌های پایینی، میانه و بالایی به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۹۵ و ۰/۵ برای هر یک از فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان و مقیاس سالانه به ترتیب در شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ پهنه بندی شده است. در این شکل‌ها دایره‌های مشکی بیانگر ایستگاه‌هایی است که دارای روند معنی‌دار هستند و دایره‌های توخالی مشکی، ایستگاه‌های با روند غیرمعنی‌دار را نشان می‌دهند. در این شکل‌ها توزیع مکانی شیب‌های صدک‌های ۵، ۵۰ و ۹۹ برای داده کمینه و بیشینه

دمای روزانه در بین سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۶۶ برای هر فصل گزارش شده است. در فصل بهار (شکل ۵) مقادیر شیب‌ها در چندک‌های مختلف برای کمینه و بیشینه دماها متفاوت می‌باشد. در بیشتر بخش‌ها شیب مثبت افزایشی در کمینه و بیشینه دمای روزانه دیده می‌شود و این شیب‌ها در صدک ۵ بیشتر می‌باشند در حالی که در صدک‌های ۵۰ و ۹۵ برای هر دو متغیر دما درصد شیب‌ها به نسبت کمتر می‌باشد. برای کمینه و بیشینه دما در صدک ۵ بیش‌ترین شیب‌های مثبت و افزایشی در شرق و جنوب شرقی ایران دیده می‌شود که برای بیشینه دما شدت شیب‌ها بیشتر می‌باشند. بنابراین می‌توان بیان کرد که دماهای پایین در روز که اغلب

کمیته و بیشینه دما هستند. همچنین در صدک‌های ۵۰ و ۹۵ برای هر دو متغیر دما در بیشتر ایستگاه‌ها، روندها معنی‌دار می‌باشند.

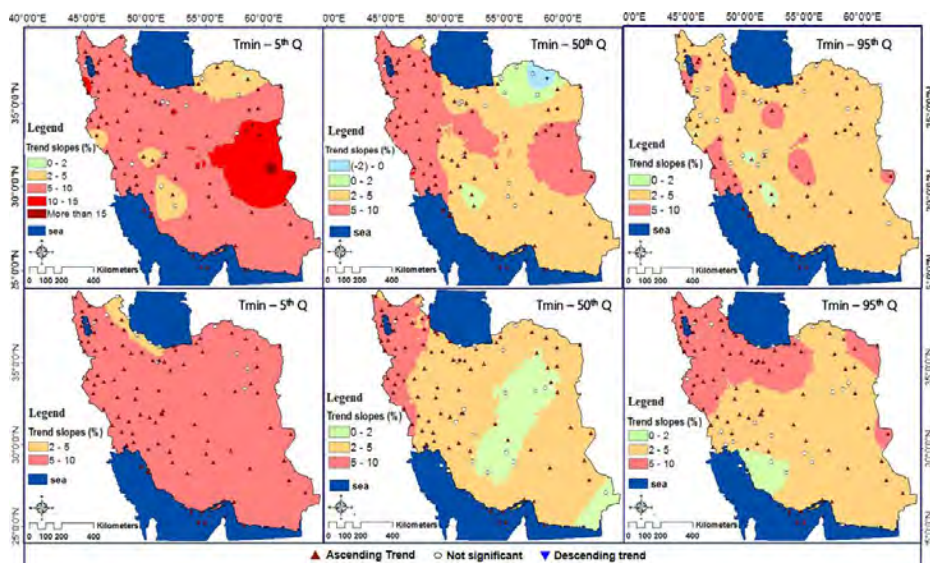
در اول صبح اتفاق می‌افتد، با شدت زیادی در فصل بهار افزایش یافته‌اند. از نظر معنی‌داری نیز در صدک ۵ تمامی ایستگاه‌ها به جز تعدادی از ایستگاه‌های نوار ساحلی شمال و شمال غربی، دارای روند معنی‌دار در



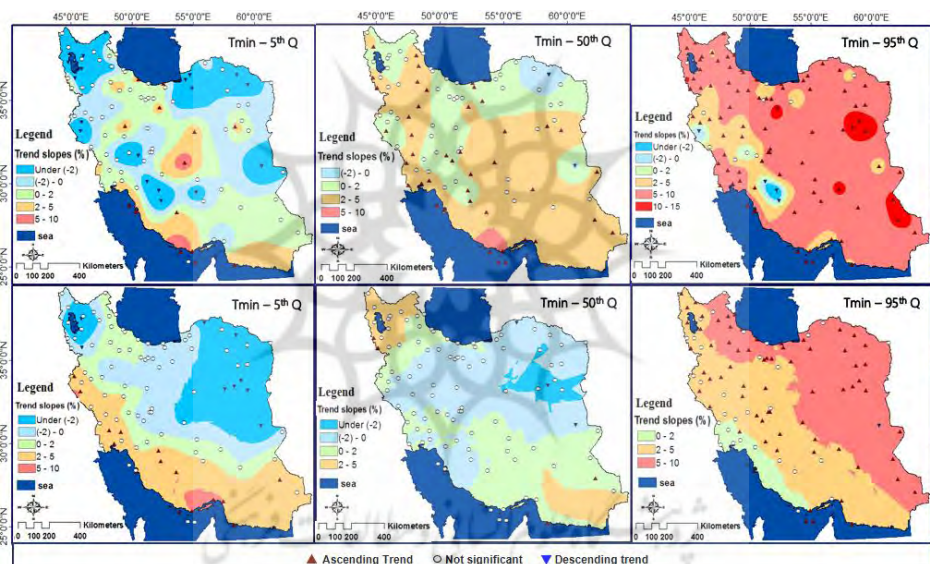
شکل ۵: شیب‌های رگرسیون چندک در ۵ امین، ۵۰ امین و ۹۵ امین چندک برای ۱۰۲ ایستگاه در فصل بهار

در فصل پاییز (شکل ۷) چندک‌های ۰/۵ و ۵/۰ (صدک ۵ و ۵۰) از کمیته و بیشینه دما در بیشتر بخش‌ها دارای شیب منفی و کاهشی می‌باشند که در نیمه‌ی شمالی ایران بیشتر دیده می‌شود اما بخش‌های جنوبی دارای روند افزایشی می‌باشند. از نظر معنی‌داری نیز در بیشتر ایستگاه‌ها، روندها غیرمعنی‌دار می‌باشند. اما برای چندک حدی بالایی ۰/۹۵ (صدک ۹۵)، تقریباً در تمامی بخش‌ها روندهای مثبت و افزایشی دیده می‌شود که شدت آن‌ها در نیمه‌ی شرقی کشور بیشتر است لذا می‌توان بیان کرد که دماهای بالای پاییز که بیشتر در اواسط ظهر اتفاق می‌افتد رو به افزایش می‌باشد. از نظر معنی‌داری نیز در بیشتر ایستگاه‌ها، روندها معنی‌دار هستند اما در اغلب ایستگاه‌های واقع در جنوب غربی ایران روندها از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشند.

در فصل تابستان (شکل ۶) نیز همانند فصل بهار در اغلب نواحی روند مثبت و افزایشی برای تمامی چندک‌ها دیده می‌شود. به طوری که چندک حدی پایین ۰/۰۵ (صدک ۵) از کمیته دما که معمولاً در ابتدای صبح اتفاق می‌افتد، در نواحی شرقی کشور دارای روند مثبت افزایشی با شدت بالاتری می‌باشد. همچنین چندک‌های پایین از بیشینه دما نیز در نواحی شرق و غرب و بین این نواحی دارای روند مثبت افزایشی با شدت بیش‌تری می‌باشند و در چندک بالایی (صدک ۹۵) از بیشینه دما، نواحی ساحلی شمال دارای شیب افزایشی بیشتر هستند که حاکی از این است که روزهای تابستان در این نواحی گرم‌تر شده‌اند. از نظر معنی‌داری روند نیز در بیش‌تر ایستگاه‌ها روندهای معنی‌دار دیده می‌شود و تنها در تعدادی از ایستگاه‌های پراکنده در سواحل شمالی روندها غیر معنی‌دار می‌باشند.



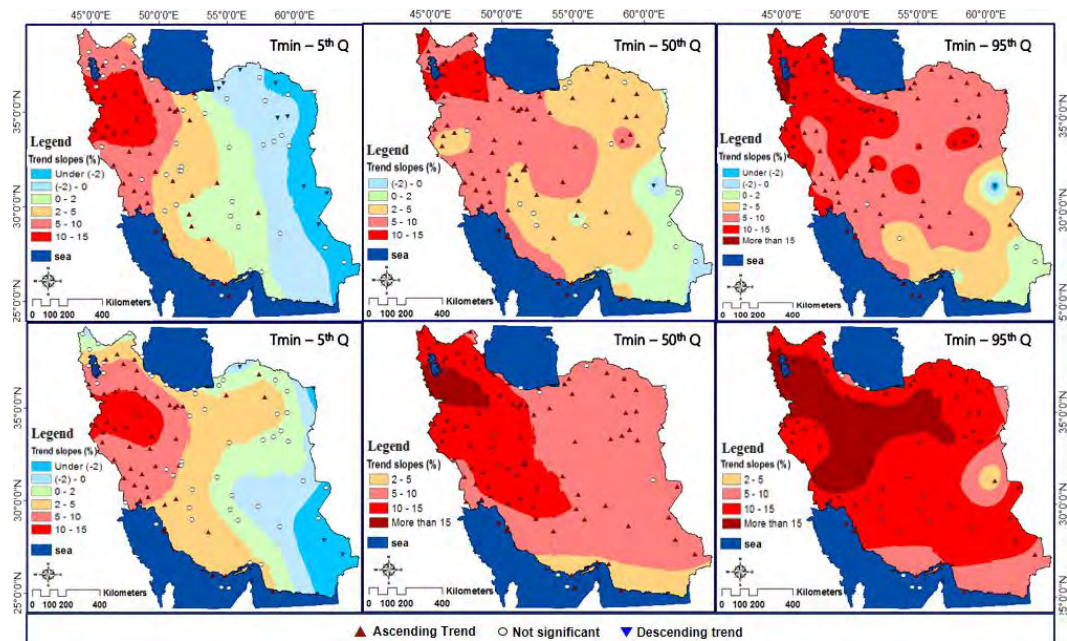
شکل ۶: شیب‌های رگرسیون چندک در ۵ امین، ۵۰ امین و ۹۵ امین چندک برای ۱۰۲ ایستگاه در فصل تابستان



شکل ۷: شیب‌های رگرسیون چندک در ۵ امین، ۵۰ امین و ۹۵ امین چندک برای ۱۰۲ ایستگاه در فصل پاییز

افزایش یافته است. سری زمانی بیشینه دمای روزانه در چندک‌های ۰/۵ و ۰/۹۵ (صدک‌های ۵۰ و ۹۵) در تمام مناطق ایران دارای روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد به طوری که شدت شیب در شمال غربی ایران محسوس‌تر می‌باشد لذا با توجه به مقادیر شیب در چندک بالایی حدی از بیشینه دما که اغلب در هنگام ساعات ظهر از شبانه روز اتفاق می‌افتد، می‌توان اظهار داشت دماهای ساعات ظهر با شدت بالایی افزایش یافته است.

برای فصل زمستان (شکل ۸) چندک پایینی حدی ۰/۰۵ (صدک ۵) از کمینه و بیشینه دما دارای روند افزایشی معنی‌دار در نیمه‌ی غربی ایران بوده که بیانگر افزایش دماهای پایین در روز می‌باشد؛ در حالی که در نیمه‌ی شرقی روند منفی دیده می‌شود، که در تعدادی از ایستگاه‌ها معنی‌دار می‌باشند. کمینه دما در چندک‌های میانی و بالایی دارای روند افزایشی معنی‌دار در بیش‌تر نواحی می‌باشد که در شمال غربی با شدت بالاتر محسوس است لذا می‌توان بیان کرد که مقادیر میانی و بالای کمینه دمای روزانه در زمستان



شکل ۸: شیب‌های رگرسیون چندک در ۵ امین، ۵۰ امین و ۹۵ امین چندک برای ۱۰۲ ایستگاه در فصل زمستان

چندک بالایی حدی روند معنی‌دار افزایشی دارد که بیانگر افزایش کمینه و بیشینه دمای روزانه در محدوده‌های بالایی در این فصل می‌باشد. هاوگن و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به تخمین تغییرات در توزیع‌های دمای زمستان با استفاده از روش رگرسیون چندک در آمریکای شمالی پرداخته‌اند و نتایج نشان داد که تنوع دما به طور کلی در طول زمستان در عرض‌های بالای جغرافیایی کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان داده که تفاوت در دو چندک پایینی از دماهای زمستان به اندازه سایر توزیع دما کاهش نیافته است و مقدار کاهش آن نسبت به سایر بخش‌های توزیع دما ناچیز است. از نظر مقایسه روش رگرسیون چندک با روش میانگین و میانه نیز با توجه به نتایج می‌توان اظهار داشت که روش رگرسیون چندک اطلاعات زیادی در مورد چگونگی تغییرات در محدوده‌های مختلف از توزیع متغیرهای دما در اختیار قرار می‌دهد و نشان می‌دهد که روند تغییرات در کدام چندک‌ها رخ داده و یا در کدام یک از چندک‌ها شدت بیشتری داشته است. در حالی که رگرسیون میانگین و یا میانه تنها میانگین و یا میانه داده‌ها را مد نظر قرار داده و اطلاعاتی در مورد نحوه تغییرات در محدوده‌های مختلف از توزیع کمینه و

با توجه به یافته‌های بالا می‌توان بیان کرد که رگرسیون چندک امکان وجود روندهای با شیب‌های متفاوت برای محدوده‌ها یا چندک‌های مختلف از توزیع داده کمینه و بیشینه دمای روزانه را نشان داده است به طوری که ممکن است رفتار تغییرات در فصل‌های مختلف برای هر چندک دلخواه از داده کمینه و بیشینه دما، متفاوت با چندک‌های دیگر باشد. کمینه و بیشینه دما در بیشتر فصل‌ها به صورت معنی‌دار افزایش پیدا کرده است اما شدت این روندهای افزایشی در چندک‌های بالایی و پایینی متفاوت بوده‌اند. در فصل‌های بهار و زمستان تمامی چندک‌ها در اغلب نواحی دارای روند افزایشی در کمینه و بیشینه دما می‌باشند و شدت این روندها برای فصل بهار در چندک‌های پایینی، اما برای فصل زمستان در چندک‌های میانی و بالایی بیشتر می‌باشند. در فصل تابستان در بیشتر مناطق روند افزایشی وجود دارد اما شدت این روندها نسبت به فصل‌های بهار و زمستان به مراتب کم‌تر می‌باشد به طوری که مقادیر شیب‌ها در چندک‌های پایینی بیشتر و در چندک‌های میانه و بالایی کم‌تر می‌باشد. اما در فصل پاییز چندک‌های پایینی و میانی در بیش‌تر مناطق دارای شیب کاهشی می‌باشد در حالی که

- افزایش دما در فصول گرم سال باعث افزایش تبخیر و متعاقب آن کاهش منابع آب در سراسر ایران و فشار به آب‌های زیرزمینی می‌شود. از طرفی با افزایش دما میزان تبخیر-تعرق (نیاز آبی گیاهان) نیز افزایش یافته و کاهش بالقوه منابع آب به خصوص در مناطق خشک را به همراه خواهد داشت. لذا علاوه بر وجود کم‌آبی به دلیل سوء مدیریت، افزایش میزان تبخیر-تعرق به دلیل افزایش دما، باعث کاهش بیشتر منابع آب خواهد شد.

- مقادیر دماهای پایین و میانی در فصل پاییز در نیمه‌ی شمالی کاهش یافته است و در نیمه‌ی شرقی کشور مقادیر دماهای بالا در حال افزایش است. کاهش دمای صبح‌دم در فصل پاییز، احتمال رخداد یخبندان را به خصوص در نواحی سردسیر (شمال غربی و غرب ایران) افزایش می‌دهد و موجب سرمازگی باغ‌ها، درختان میوه و محصولات زراعی می‌شود. همچنین با کاهش ناگهانی دمای هوا، احتمال یخ‌زدگی کنتور و لوله‌های انشعاب آب نیز افزایش خواهد یافت.

- دمای شبانه روز در فصل زمستان افزایش یافته است و مقادیر دماهای کم در ساعات اولیه صبح زمستان و همچنین مقادیر دماهای بالای ساعات گرم ظهر در نیمه‌ی شمالی و به ویژه در شمال غربی ایران به طور محسوس‌تری افزایش یافته است. افزایش دما به خصوص کمینه دما در فصول سرد سال موجب کاهش سطح پوشش برف و ذخیره‌گاه‌های برفی می‌شود که به عنوان یک منبع و مخزن تأمین آب در فصل خشک سال می‌باشد. بنابراین از آنجاکه پوشش و ماندگاری برف از جمله فاکتورهای تأثیرگذار در تأمین آب در مناطق جغرافیایی مانند ایران با بارش محدود در فصل‌های بهار و تابستان می‌باشد، افزایش دمای کمینه به خصوص در مناطق کوهستانی که سهم قابل توجهی در پوشش برف به خصوص در فصل زمستان دارند باعث تخصیص سهم کمتری از بارش‌ها به صورت برف، کاهش ذخیره منابع آب

بیشینه دما به دست نمی‌دهد؛ همچنین استفاده از کمینه و بیشینه دما اطلاعات بیشتری در خصوص نحوه‌ی تغییرات روند دما در شبانه روز می‌دهد و بر اساس آن می‌توان بیان کرد که کمینه و بیشینه دما که دماهای حساس‌تر و تأثیرپذیرتری نسبت به دمای میانگین هستند، در شبانه روز چه تغییراتی کرده‌اند. بنابراین می‌توان بیان کرد که روش رگرسیون چندک برای مطالعه‌ی روندهای زمانی-مکانی متغیرهای دما به صورت توزیعی به جای میانگین جنبه مفید دارد که به خوبی می‌تواند نیاز متخصصان و تصمیم‌گیرندگان را در برخورد با برنامه‌ریزی‌های بلند مدت و تأثیر تغییرات آب و هوایی برطرف سازد (عباس و همکاران، ۲۰۱۹). چه بسا که ممکن است تغییرات در محدوده‌های دیگری از سری داده‌های دمای میانگین، برای مثال در چندک‌های حدی بالا یا پایین اتفاق بیفتد اما در میانگین یا میانه داده‌ها چندان محسوس نباشد که گاه نتایج و تصمیم‌گیری‌های اشتباه را به دنبال خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر به منظور بررسی زمانی و مکانی روند تغییرات کمینه و بیشینه دمای روزانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۶۶ و در مقیاس فصلی، از روش رگرسیون خطی معمولی و رگرسیون چندک استفاده گردید و نتایج مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت که مهم‌ترین نتایج به شرح زیر می‌باشد:

- در فصل بهار دمای کمینه و بیشینه دارای روند افزایشی و معنی‌دار در بیش‌تر نواحی ایران می‌باشند به طوریکه مقادیر دماهای پایین در نیمه‌ی شرقی ایران با شدت محسوس‌تری افزایش یافته است.

- در فصل تابستان در بیش‌تر نواحی روند افزایشی برای کمینه و بیشینه دما وجود دارد و شدت این روندها برای مقادیر پایین از متغیرهای دما بیش‌تر می‌باشد. لذا مقادیر دماهای پایین افزایش یافته و روزها به سمت گرم‌تر شدن پیش می‌روند.

روش‌های رگرسیونی میانه و میانگین برای بررسی تغییرات در محدوده‌های مختلف از توزیع دمای میانگین اکتفا نمود؛ چه بسا که گاهی اوقات ممکن است عدم اطلاعات کافی در مورد تغییرات در محدوده‌های مختلف از داده به نتایج نادرستی منتهی شود.

در ارتفاعات و کاهش آبدهی رودخانه‌ها می‌شود که ایجاد تنش آبی در فصول خشک سال را به دنبال خواهد داشت.

- شیب رگرسیون چندک بیشتر در چندک‌های حدی بالا و پایین مقادیری متفاوت با شیب رگرسیون میانه و میانگین داشته است لذا تنها نمی‌توان به

منابع

۱. حجازی زاده، زهرا؛ حلبیان، امیرحسین؛ کربلانی درئی، علیرضا؛ طولایی نژاد، میثم (۱۳۹۹). واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش در گستره‌ی ایران زمین، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۹، شماره ۲۳، صص ۱۳۵-۱۵۰.
۲. عساکره، حسین؛ ورناصری قندعلی، نسرین (۱۳۹۸). واکاوی تغییرات مقدار، فراوانی، و شدت بارش سالانه ناحیه خزری طی دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۱۶، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۱، شماره ۲، صص ۳۳۵-۳۵۲.
۳. کامیابی، سعید؛ عبدی، کمیل (۱۳۹۹). آشکارسازی و تحلیل روند تغییرات اقلیم (بارش و دما) در محدوده ساری، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۲، شماره ۷، صص ۱۶۵-۱۷۹.
۴. Abbas, S.A., Xuan, Y., and Song, X. (2019). Quantile Regression Based Methods for Investigating Rainfall Trends Associated with Flooding and Drought Conditions. *Water Resource Management*, 33: 4249-4264.
۵. Adnan, S., Ullah, K., and Ahmed, R. (2020). Variability in meteorological parameters and their impact on evapotranspiration in a humid zone of Pakistan. *Journal of Meteorological Applications*, 27(2): 1-10.
۶. Ahmadi, F., Nazeri Tahroudi, M., Mirabbasi, R., Khalili, K., and Jhajharia, D. (2018). Spatiotemporal trend and abrupt change analysis of temperature in Iran. *Meteorological Applications*, 25(2): 314-321.
۷. Alhaji, U.U., Yusuf, A.S., Edet, C.O., Oche, C.O., and Agbo, E.P. (2018). Trend analysis of temperature in Gombe state using mann kendall trend test. *Journal of Scientific Research and Reports*, 20(1): 1-9.
۸. Bannayan, M., Asadi, S., Nouri, M., and Yaghoobi, F. (2020). Time trend analysis of some agroclimatic variables during the last half century over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-19.
9. Benoit, D.F. and Poel, D.V., (2017). BayesQR: a Bayesian approach to quantile regression. *Journal of Statistical Software*, 76(7): 2-32.
10. Caloiero, T. (2017). Trend of monthly temperature and daily extreme temperature during 1951–2012 in New Zealand. *Theoretical and Applied Climatology*, 129(1): 111-127.
11. Chen, W., Cui, H., and Ge, Q. (2021). The spatial and seasonal dependency of daily precipitation extremes on the temperature in China from 1957 to 2017. *International Journal of Climatology*.
12. Da Rocha Júnior, R.L., Dos Santos Silva, F.D., Lisboa Costa, R., Barros Gomes, H., Herdies, D.L., Rodrigues da Silva, V.D.P., and Candido Xavier, A. (2019). Analysis of the Space–Temporal Trends of Wet Conditions in the Different Rainy Seasons of Brazilian Northeast by Quantile Regression and Bootstrap Test. *Geosciences*, 9(11): 457.
13. Diaz, H.F. and Murnane R.J. (2008). *Climate extremes and society*. Cambridge University Press.
14. Donner, R.V., Ehrcke, R., Barbosa, S.M., Wagner, J. Donges, J.F., and Kurths J. (2012). Spatial patterns of linear and nonparametric long-term trends in Baltic sea-level variability. *Nonlinear Processes Geophys*, 19(95-111): 95-111.
15. Duan, Q., McGrory, C.A., Brown, G., Mengersen, K., and Wang, Y.G. (2021). Spatio-temporal quantile regression analysis revealing more nuanced patterns of climate change: a study of long-term daily temperature in Australia. *arXiv preprint arXiv:2103.05791*.

- quantile regression model. *Natural Hazards*, 1-30.
25. Kendall, M.G. (1975). *Rank Auto-correlation Methods*, Charles Griffin, London.
 26. Koenker, R. (2005). *Quantile Regression*. first ed, New York, Cambridge University Press, 2005, 1-25.
 27. Koenker, R. (2006). *Quantile regression in R: A vignette*. [Available online at <http://www.econ.uiuc.edu/~roger/research/rq/vig.pdf>.]
 28. Koenker, R., (2018). *Quantreg: Quantile regression and related methods*, version 5.54. R package, <https://cran.r-project.org/web/packages/quantreg/quantreg.pdf>.
 29. Koenker, R., and Bassett, G. (1978). *Regression Quantils*. *Econometrica*, 46: 33-50.
 30. Koenker, R., and D'Orey, V. (1987). *Algorithm AS 229: Computing regression quantiles*. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 36: 383-393. <https://doi.org/10.2307/2347802>.
 31. Lausier, A.M., and Jain, S. (2018). *Overlooked trends in observed global annual precipitation reveal underestimated risks*. *Scientific Reports*, 8: 16746.
 32. Lee, K., Baek, H.J., and Cho, C. (2013). *Analysis of changes in extreme temperatures using quantile regression*. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 49(3): 313-323.
 33. Mann, H.B. (1945). *Nonparametric Tests Against Trend* *Econometrica*. *Journal of the Econometric Society*, 245-259.
 34. Modarres, R., Sarhadi, A., and Burn, D.H. (2016). *Changes of extreme drought and flood events in Iran*. *Glob Planet Chang*, 144: 67-81.
 35. Mohammad, P., and Goswami, A. (2019). *Temperature and precipitation trend over 139 major Indian cities: An assessment over a century*. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(4): 1481-1493.
 36. Nian, D., Linz, M.K., Mooring, T.A., and Fu, Z. (2020, December). *The changing extreme values of summer relative humidity in the Tarim Basin in*
 16. Dunn, R.H., Willett, K.M., and Parker E.P. (2019). *Changes in statistical distributions of sub-daily surface temperatures and wind speed*. *Journal of Earth System Dynamics*, 10(4): 765-788.
 17. Fallah-Ghalhari, G., Shakeri, F., and Dadashi-Roudbari, A. (2019). *Impacts of climate changes on the maximum and minimum temperature in Iran*. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(3): 1539-1562.
 18. Farooq, I., Shah, A.R., Salik, K.M., and Ismail, M. (2021). *Annual, Seasonal and Monthly Trend Analysis of Temperature in Kazakhstan During 1970–2017 Using Non-parametric Statistical Methods and GIS Technologies*. *Earth Systems and Environment*, 1-21.
 19. Fathian, F., Ghadami, M., Haghghi, P., Amini, M., Naderi, S., and Ghaedi, Z. (2020). *Assessment of changes in climate extremes of temperature and precipitation over Iran*. *Theoretical and Applied Climatology*, 141: 1119-1133.
 20. Gao, M., and Franzke, C. (2017). *Quantile Regression-based Spatio-temporal Analysis of Extreme Temperature Change in China*. *Journal of Climate*, 30: 9897-9914.
 21. Gonzalez-Hidalgo, J.C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M., and Cortesi, N. (2015). *MOTEDAS: a new monthly temperature database for mainland Spain and the trend in temperature (1951–2010)*. *International Journal of Climatology*, 35(15): 4444-4463.
 22. Haugen, M.A., Stein, M.L., and Moyer, E.J. (2018). *Estimating Changes in Temperature Distributions in a Large Ensemble of Climate Simulations Using Quantile Regression*. *Journal of CLIMATE*, 31: 8573-8588.
 23. Ilori, O.W., and Ajayi, V.O. (2020). *Change detection and trend analysis of future temperature and rainfall over West Africa*. *Earth Systems and Environment*, 4(3): 493-512.
 24. Kalisa, W., Igbawua, T., Ujoh, F., Aondoakaa, I.S., Namugize, J.N., and Zhang, J. (2021). *Spatio-temporal variability of dry and wet conditions over East Africa from 1982 to 2015 using*

- mean temperature and precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(16): 1-11.
44. Solaimani, K., Habaibnejad, M., and Pirnia, A. (2021). Temporal trends of hydro-climatic variables and their relevance in water resource management. *International Journal of Sediment Research*, 36(1): 63-75.
45. Spinoni, J., and Coauthors, 2020: Future global meteorological drought hot spots: A study based on cordex data. *Journal of Climate*, 33(9): 3635-3661.
46. Wang, K., Fu, W., Chen, T., Zhang, B., Xiong, D., and Fang, P. (2020). A compound framework for wind speed forecasting based on comprehensive feature selection, quantile regression incorporated into convolutional simplified long short-term memory network and residual error correction. *Energy Conversion and Management*, 222: 113234.
47. Yu, K.M., Lu, Z.D., and Stander, L.J. (2003). Quantile regression: Applications and current research areas. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 52(3): 331-350.
48. Zhang, S., Gan, T.Y., and Bush, A.B. (2020). Variability of arctic sea ice based on quantile regression and the teleconnection with large-scale climate patterns. *Journal of Climate*, 33(10): 4009-4025.
49. Zhang, Y., Shen, X., and Fan, G. (2021). Elevation-Dependent Trend in Diurnal Temperature Range in the Northeast China during 1961-2015. *Atmosphere*, 12(3): 319.
- northwestern China. *Climate Dynamics*, 58: 3527-3540.
37. Pachauri, R., and Meyer, L. Eds., (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
38. Pachauri, R.K., and Reisinger, A. Eds., (2007). *Climate change 2007. Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
39. Paik, S., and Min, S.K. (2020). Quantifying the anthropogenic greenhouse gas contribution to the observed spring snow cover decline using the cmip6 multi-model ensemble. *Journal of Climate*. 33(21): 9261-9269.
40. Rahimi, M., and Hejabi, S. (2018). Spatial and temporal analysis of trends in extreme temperature indices in Iran over the period 1960–2014. *International Journal of Climatology*, 38(1): 272-282.
41. Sadeqi, A., and Kahya, E. (2021). Spatiotemporal analysis of air temperature indices, aridity conditions, and precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(1): 703-716.
42. Saleem, A.S., Shamsuddin, Sh., Tarmizi, I., Kamal, A., and Xio-Jun, W. (2018). Selection of Climate Models for Projection of Spatiotemporal Changes in Temperature of Araç With Uncertainties. *Atmospheric Research*, (213): 509-522.
43. Sharafi, S., and Karim, N.M. (2020). Investigating trend changes of annual