

## تحلیل مکانی و زمانی روند تغییرات سالانه کمینه و بیشینه دما در ایران مبتنی بر روش رگرسیون چندک

صدیقه برارخان پور<sup>۱\*</sup>، خلیل قربانی<sup>۲</sup>، میثم سالاری جزی<sup>۳</sup>، لاله رضایی قلعه<sup>۴</sup>

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان
- ۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان
- ۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان
- ۴- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب- منابع آب، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی

### چکیده

دمای هوا یکی از متغیرهای مهم آب و هواشناسی است و تغییرات شدید در متغیرهای دمایی، موجب افزایش احتمال وقوع پدیده‌های حدی نظیر خشکسالی، بارش‌های سنگین و طوفان می‌شود. روش رگرسیون چندک این توانایی را دارد که با بررسی روند چندک‌های مختلف توزیع، تغییرات در سطوح مختلف پارامتر را در طول زمان مشخص کند. در این پژوهش، تغییرات زمانی و مکانی از کمینه و بیشینه دما در پهنه‌ی جغرافیایی ایران بررسی قرار گرفت. روش رگرسیون چندک بر روی چندک‌های مختلف از سری زمانی داده‌های کمینه و بیشینه دمای روزانه ۱۰۲ ایستگاه هواشناسی در دوره ۳۰ ساله (۱۳۹۶-۱۳۶۷) اجرا گردید و نتایج آن با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی در محیط GIS به منظور انتخاب بهترین روش درون‌یابی پهنه‌بندی شد. نتایج پهنه‌بندی مکانی شیب‌های چندک موردنظر با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی نشان داد که روش درون‌یابی بی‌زین کریجینگ تجربی دارای کمترین مقدار  $RMSE$  می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که روش رگرسیون چندک، روندهای افزایشی معنی‌دار با شیب‌های متفاوتی را برای متغیرهای کمینه و بیشینه دما در چندک‌های مختلف و برای بخش‌های مختلف از ایران در طول ۳۰ سال نشان داده است؛ بیش‌ترین روندهای افزایشی برای مقادیر بسیار پایین از کمینه دما در نیمه‌ی غربی، مقادیر میانه در نیمه‌ی شرقی و مقادیر بسیار بالا در نیمه‌ی غربی، شرق و بخش مرکزی ایران بوده است. در مقابل، بیش‌ترین روندهای افزایشی برای مقادیر بسیار پایین از بیشینه دما در شمال غربی، مقادیر میانه در نیمه‌ی شرقی، غرب و بخش مرکزی، و مقادیر بسیار بالا در نیمه‌ی شمالی ایران دیده شده است. و به طور کلی می‌توان بیان کرد که دمای ایران در اثر تغییر اقلیم افزایش یافته و روش رگرسیون چندک برای بررسی و کنترل دماهای بسیار بالا و بسیار پایین که در مطالعات خطر آب‌وهوایی اهمیت بیش‌تری نسبت به دمای میانگین دارند، مفید می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** دما، رگرسیون چندک، روند مکانی و زمانی، GIS، ایران.

## مقدمه

تابستان و سالانه در شمال غرب و شمال شرق، در پاییز در نیمه جنوبی کشور و در زمستان در نیمه غربی کشور بیش تر از مناطق دیگر بوده است. در مطالعه‌های دیگر، بارانی و گرمی (۱۳۹۸) تغییرات زمانی پارامتر اقلیمی دما را در ده ناحیه‌ی زراعی-اکولوژیکی ایران در بین سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۶۴ بررسی نمودند؛ نتایج نشان داد متغیر دما در نواحی مرکزی، شمال غرب، ساحلی خزر، خوزستان، زاگرس مرکزی، خراسان، ساحلی جنوب و مرکزی خشک دارای روند صعودی بوده است و موجب افزایش قابل توجه در میزان تبخیر و تعرق سالانه شده که در بیش تر منطقه‌های ایران، نسبت به مقدار بارندگی سالانه بیش تر می‌باشد. لذا با توجه به اهمیت متغیرهای دمایی و تبعاتی که تغییرات دما در بخش‌های مختلف زندگی انسان دارد، بررسی تغییرات متغیرهای دمایی خصوصاً دماهای شدید که تاثیر بیشتری در وقوع پدیده‌های حدی و زیان‌بار مانند خشکسالی و سیلاب دارند، اهمیت زیادی دارد.

از نظر روش‌شناسی، استفاده از روش رگرسیون خطی معمولی و آزمون ناپارامتری من-کندال (Mann, 1945؛ Kendall, 1975) برای بررسی وجود یا عدم وجود روند و برآوردگر شیب سن (Sen, 1968) برای بررسی مقدار شیب روند متغیرهای اقلیمی نمونه روش‌هایی است که عمدتاً در تشخیص روند متغیرهای اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعات بسیاری در بررسی روند پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از آزمون من‌کندال و شیب خط سن انجام شده است (Nykadzino et al., 2020؛ Latif et al., 2020؛ Kuriqi et al., 2020؛ Norouzi, 2020؛ Doulabian et al., 2020). همچنین گزارش افزایش دمای ایران (Rafati and Karimi, 2018؛ Sharafi and Mir, 2021؛ Karim, 2020؛ Alavinia, and Zarei, 2021؛ Javanshiri et al., 2021؛ Zare et al., 2022) و افزایش دما در مناطق خشک و نیمه خشک ایران (Bahrami and Mahmoudi, 2022) نمونه مطالعاتی است که در بررسی روند تغییرات دما انجام شده است. برخی از پژوهش‌گران معیارهایی در نظر می‌گیرند و بر اساس آن زیرمجموعه‌ای از سری داده‌های اصلی تولید می‌کنند و آزمون من-کندال را بر روی آنها اجراء می‌کنند. بطور مثال موهان و همکاران (Mohan et al., 2020) با تعریف شاخص‌های حدی دما،

تغییرات اقلیمی یکی از اصلی‌ترین مسائل کره زمین در عصر حاضر می‌باشد و بسیاری از مشکلات محیطی عصر ما از جمله سیل، طوفان، خشکسالی و مسائل دیگر، همگی ریشه در تغییر اقلیم کره زمین خصوصاً افزایش دما دارند (جلالی و همکاران، ۱۳۹۰). آخرین نتایج مدل‌های هواشناسی پیشنهاد می‌دهد که گرمایش جهانی باعث افزایش تبخیر از سطح زمین و آب‌های سطحی شده است که پیش‌بینی می‌شود با گذشت زمان تأثیر جدی بر مدیریت منابع آب و جمعیت جهانی داشته باشد؛ همچنین شواهد قابل توجهی در مورد افزایش میانگین دمای جهانی وجود دارد به گونه‌ای که هم شدت و هم وسعت مکانی رویدادهای گرمایشی معنی‌دار، در حال افزایش است (Adnan et al., 2020). از علل مهم افزایش دمای کره زمین می‌توان به تغییر کاربری اراضی و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ناشی از صنعتی شدن و سوزاندن سوخت‌های فسیلی اشاره کرد که موجب بروز تغییرات در شاخص‌های اقلیمی شده و به دنبال آن، افزایش دما، کاهش بارش و افزایش وقوع پدیده‌های مخرب را به همراه خواهد داشت (برارخان‌پور و همکاران، ۱۳۹۹). سازمان فضایی آمریکا (ناسا) طی گزارشی در مورد افزایش گرمایش جهانی و خشکسالی در ۳ سال آینده جهان، از ۴۵ کشور به عنوان مناطق در معرض شدید خشکسالی نام برد و کشور ایران نیز در این فهرست قرار دارد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۹). به دلیل نقش مهم دمای هوا در وقوع تغییرات اقلیمی، مطالعات مختلفی در زمینه بررسی روند دما در ایران انجام شده است و نتایج حاکی از افزایش دمای فصلی و سالانه در بخش‌های مختلف ایران بوده است؛ افزایش متغیرهای دما در گستره ایران (زرین، ۱۳۹۹؛ Rahimi and Hejabi, 2020؛ Hadipour et al., 2020)، شمال غرب ایران (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۷؛ فتاحی و مقیمی، ۱۳۹۸) نمونه مطالعاتی است که در زمینه بررسی دما انجام شده است. همچنین صابر و سبحانی (۱۳۹۷) در بررسی تغییرات زمانی و مکانی متوسط حداکثر دمای ایران و پهنه‌بندی آن در ۹۲ ایستگاه سینوپتیک ایران در دوره‌ی آماری ۲۰۱۵-۱۹۹۱ نتیجه گرفتند که اغلب نواحی کشور با افزایش دما مواجه بوده‌اند و این افزایش در فصل بهار در نیمه شمالی کشور، در

یک توصیف کامل‌تری از تغییرپذیری طولانی مدت از یک سری زمانی را فراهم می‌کند و به‌ویژه در برنامه‌هایی که مقادیر فرین اهمیت دارند، مفید است (Lee et al., 2013).  
 استرین و تیموفیو (Sterin and Timofeev, 2016) در برآورد تغییرات دمای هوای سطح در مناطق مختلف هواشناسی در روسیه با استفاده از روش تحلیل رگرسیون چندک نشان داد که رگرسیون چندک مورد استفاده می‌تواند برای تجزیه و تحلیل روندها در مجموعه‌های بلند مدت استفاده شود و اطلاعات مربوط به روندها را در طیف وسیعی از مقادیر چندک از ۰ تا ۱ توزیع متغیر وابسته به دست آورد و همچنین ویژگی‌های فصلی و منطقه‌ای از حداقل دمای روزانه، روندهای میانگین و دمای هوای حداکثر در طیف گسترده‌ای از مقادیر چندک در نظر گرفته می‌شود.  
 گایو و فرانزک (Gao and Franzke, 2017) 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. دون و همکاران (Dunn et al., 2019) 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 شبنم در پاییز و زمستان به طور مشخص در مناطق شمالی اروپا بیش‌تر تغییر می‌کند. مطالعه‌ی مک‌کینان و پوپیک (McKinnon and Poppick, 2020) در بررسی روند نقطه‌ی شبنم در طول روزهای گرم بر روی ۲۴۱۶ ایستگاه هواشناسی در جهان نشان داد که به طور کلی نقطه‌ی شبنم در هر دو روز گرم و خشک، و گرم و مرطوب در مناطق گرمسیری و عرض‌های جغرافیایی بالا در حال افزایش اما در مناطق نیمه گرمسیری به ویژه در روزهای گرم و خشک در

تغییرات آنها را در جزیره کارینا طی دوره آماری ۱۹۶۷-۲۰۱۷ به کمک آزمون من-کندال بررسی کردند. کومار و همکاران (Kumar et al., 2020) نیز با استخراج شاخص‌های حدی بارش و دما از آزمون من-کندال برای تشخیص تغییر اقلیم در هندوستان استفاده کردند. آزمون من-کندال و روش‌هایی مبتنی بر میانگین داده‌ها قادر به دسته‌بندی سری به چندک‌های مختلف نمی‌باشند و آزمون بر روی کل سری داده‌ها انجام می‌شود. این روش‌ها در بررسی روند، تنها میانگین داده‌ها را بررسی می‌کنند، در صورتی‌که روند ممکن است در محدوده‌ی خاصی از دامنه‌ی داده‌ها ایجاد شده باشد و بدلیل اینکه میانگین یکی از معیارهای تمرکز است، آگاهی از آن به تنهایی نمی‌تواند اطلاعات کاملی در مورد شکل توزیع متغیر تصادفی مورد مطالعه، در سطوح مختلف متغیر تشریحی به دست دهد. از طرفی رویدادهای اقلیمی مانند سیل، طوفان و خشکسالی اغلب از آب و هوای حدی حاصل می‌شوند و توجه به میانگین داده‌های اقلیمی ممکن است اطلاعات کافی را برای مدیریت و کنترل رویدادها به همراه نداشته باشد؛ بنابراین بررسی روند محدوده‌های مختلف از داده‌های اقلیمی به جای صرفاً میانگین و بررسی اثرات آن بر منابع آب، محیط طبیعی، کشاورزی و اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (زارعی و همکاران، ۱۳۹۹).  
 بدین منظور برای بررسی روند تغییرات در محدوده‌های متفاوت از دامنه‌ی داده‌های مورد مطالعه، روش رگرسیون چندک (Koenker and Bassett, 1978) پیشنهاد شد که محدودیت‌های آزمون‌های ناپارامتری بالا را ندارد و می‌تواند یک روش تشخیص روند جایگزین برای شناسایی تغییرات از هر صدک متغیرهای آب هوایی در طول زمان باشد (Donner, 2012) و منجر به دستیابی به طیف گسترده‌ای از تحلیل‌های روند برای چندک‌ها و صدک‌های مختلف از توزیع داده شود. همچنین این روش رگرسیونی محدودیت‌های روش حداقل مربعات را ندارد (Koenker, 2005). از مزایای این روش می‌توان گفت که نسبت به داده‌های دور افتاده یا داده‌های پرت حساس نیست و نیز این روش رگرسیونی محدودیت‌های روش حداقل مربعات از جمله در موارد غیرنرمال بودن توزیع خطا و وجود ناهمگنی واریانس را ندارد. (Koenker, 2005). همچنین این روش

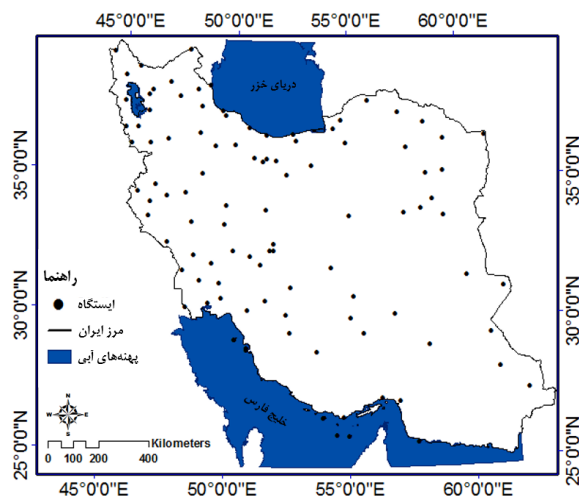
ترسیم نقشه‌های شیب روند مناطق با تغییرات دمایی مختلف مشخص شوند.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی در پژوهش حاضر پهنه جغرافیایی ایران می‌باشد (شکل ۱). ایران کشوری است که به دلیل قرارگیری در عرض‌های میانی ۳۰ درجه، بیشتر مساحت آن را اقلیم‌های خشک و نیمه خشک فراگرفته است. مساحت این کشور ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع و در جنوب غربی آسیا (به طور تقریبی بین ۲۵-۳۹ درجه شمالی و ۴۴-۶۳ درجه شرقی) واقع شده است. کشور ایران از اقلیم‌های مختلف از فراخشک تا بسیار مرطوب و بسیار گرم تا سرد برخوردار می‌باشد. متوسط بارش سالانه در ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد که نوار ساحلی و شمالی آن در کنار دریای خزر جزو مناطق پربارش (بارش تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در سال در بندر انزلی) و مناطق مرکزی آن در شرق کشور کم‌باران و کویری (بارش کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در سال) می‌باشد. مناطق جنوبی ایران جزو مناطق گرمسیری می‌باشد به طوری که در تابستان‌ها دمای هوا به بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. بخشی از مساحت ایران کوهستانی با آب و هوایی سرد می‌باشد و در شهرهای سردسیر در زمستان دما به کمتر از ۲۰- درجه سانتی‌گراد هم می‌رسد.

حال کاهش است. همچنین شاه و همکاران (Shah et al., 2022) در بررسی روندهای بلندمدت متغیرهای شدید هواشناسی (دمای هوا، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارش) در جنوب و مرکز Ontario و نقش نوسانات جوی بزرگ مقیاس در این تغییرات نشان دادند که متغیرهای شدید هواشناسی بیشتر تحت تاثیر فرایندهای تعادل گرما و رطوبت منطقه‌ای و محلی نسبت به متغیرهای گردش جوی در مقیاس جهانی می‌باشد و روندهای مشاهده شده در دمای هوا، رطوبت و سرعت باد شدید نشان می‌دهد که تاثیر عمیقی بر فنولوژی اکوسیستم‌های آبی و خشکی دارد. نتایج سلیمانی و برارخان‌پور (Solaimani and Bararkhanpour, 2022) در بررسی روند دما در استان گلستان با استفاده از رگرسیون چندک بیانگر افزایش چندک-های بالایی از میانگین دمای روزانه بوده که حاکی از افزایش تعداد روزهای گرم در این استان می‌باشد. همچنین نتایج مطالعه (Haupt and Fritsch, 2022) با بهره‌گیری از روش رگرسیون چندک نشان داد که دماهای بسیار بالا در انگلستان به طور غیرمعمول افزایش یافته است. با توجه به مطالعات انجام شده و اهمیت بررسی دماهای حدی، به منظور بررسی تغییرات در مقادیر حدی کمینه و بیشینه دمای ایران در مقیاس سالانه، از رگرسیون چندک و به منظور تحلیل مکانی این تغییرات از روش‌های مختلف درون‌یابی در محیط Arc GIS استفاده شد تا ضمن تحلیل ایستگاهی روند در چندک‌های مختلف ۱ تا ۹۹ درصد، با



شکل ۱: موقعیت ۱۰۲ ایستگاه مورد مطالعه

## داده‌های مورد استفاده

در پژوهش حاضر، برای بررسی روند تغییرات شاخص‌های دمایی در ایران، داده‌های بیشینه و کمینه دمای روزانه ۴۰۰ ایستگاه هواشناسی از سازمان هواشناسی اخذ گردید. پس از بررسی اولیه، ایستگاه‌هایی که بیش از ۳۰ سال آمار داشتند، جدا گردید که در مجموع ۱۰۲ ایستگاه با دوره‌ی مشترک ۳۰ سال (۱۳۶۷-۱۳۹۶) برای تحلیل روند انتخاب شدند (شکل ۱). پس از استخراج داده‌ها، سری زمانی سالانه از کمینه و بیشینه‌ی دما برای این بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله تشکیل شد. روش رگرسیون چندک برای تحلیل روند تغییرات در کمینه و بیشینه‌ی دما استفاده شد. سپس شیب‌های برآورد شده برای کل ایران پهنه‌بندی گردید و مورد بررسی قرار گرفت.

## رگرسیون خطی معمولی

مدل رگرسیون خطی معمولی برای بررسی رابطه بین میانگین توزیع متغیر وابسته  $Y$  با تعدادی متغیر مستقل استفاده می‌گردد. فرم مدل رگرسیون خطی معمولی به صورت رابطه (۱) می‌باشد.

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

که در آن  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایب نامعلوم مدل که باید برآورد شوند،  $x_i$  متغیر مستقل و  $\varepsilon_i$  متغیر تصادفی هستند.

برای برآورد ضرایب مدل رگرسیون خطی معمولی از روش حداقل کردن مربع باقیمانده‌های مدل استفاده می‌شود که این نوع از برآورد را رگرسیون حداقل مربعات می‌نامند. در این روش، خط رگرسیون به گونه‌ای برازش داده می‌شود که در مجموع فاصله‌ی نقاط از آن حداقل باشد. هدف اصلی در این روش، بررسی ارتباط بین متغیرهای کمکی و میانگین متغیر پاسخ می‌باشد، با این حال در بسیاری از موارد، بررسی رابطه بین متغیرهای مستقل با دیگر قسمت‌های توزیع متغیر وابسته، مانند چندک‌های انتهایی مورد توجه می‌باشد. چندک‌ها معیارهای دیگری برای تمرکز هستند که در کنار هم می‌توانند شکل توزیع را به صورت کامل‌تری به تصویر بکشند، لذا اگر مانند رگرسیون خطی معمولی که برای بررسی میانگین داده استفاده می‌گردد، یک روش رگرسیونی وجود داشته باشد که برای بررسی چندک‌ها مورد استفاده

قرار گیرد، موجب می‌شود شکل توزیع متغیر وابسته در سطوح مختلف متغیر مستقل بررسی شود.

## رگرسیون چندک

رگرسیون چندک یک روش آماری با قابلیت محاسبه و رسم خطوط رگرسیونی متفاوت و منطبق با نقاط صدکی مختلف می‌باشد. این روش برای مدل کردن چندک‌های متغیر پاسخ 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. الگو رگرسیون چندک به شکل رابطه (۲) می‌باشد:

$$Y(\rho|x) = \beta_0(\rho) + \beta_1(\rho)x + \varepsilon \quad (2)$$

که در آن،  $\beta_0(\rho)$  عرض از مبدأ و  $\beta_1(\rho)$  ضریب شیب می‌باشد و هر دو بسته به مقدار  $\rho$  امین چندک مورد بررسی تغییر می‌کنند.  $\varepsilon$  خطا با امید ریاضی صفر و محدوده‌ی مقادیر  $\rho$  از ۰ تا ۱ می‌باشد (Lee et al., 2013). برای برآورد ضرایب رگرسیون چندک برخلاف الگو رگرسیون خطی که بر حداقل کردن مربع خطاهای مدل مبتنی است، در این روش رگرسیونی از حداقل نمودن مجموع وزنی قدرمطلق خطاها استفاده می‌شود که روش حداقل قدرمطلق خطاها (LAD) نامیده می‌شود. بر این اساس، برآورد ضرایب رگرسیون چندک  $\rho$  ام، توسط رابطه‌های (۳)، (۴) و (۵) انجام می‌شود (Koenker, 2005):

$$\text{minimize} \left\{ \sum_{\{i|y_i < y_p(x_i)\}} (1 - \rho) |y_i - y_p(x_i)| + \sum_{\{i|y_i > y_p(x_i)\}} \rho |y_i - y_p(x_i)| \right\} \quad (3)$$

$$\hat{\beta}_\rho = \text{argmin} \sum_{i=1}^n \rho_\rho (y_i - x_i^T \beta)$$

$$\rho_\rho(u) = \begin{cases} u(\rho - 1) & \text{if } u < 0 \\ \rho u & \text{if } u \geq 0 \end{cases}$$

که  $\{y_p(x_i) = \beta_0(\rho) + \beta_1(\rho)x_i, i = 1, 2, \dots, n\}$  می‌باشد. به عبارتی دیگر، مقدار مطلق تفاوت بین یک مشاهده  $y_i$  از چندک  $\rho$  ام متناظر  $y_p(x_i)$  وزن  $(1 - \rho)$  می‌گیرد اگر مشاهدات زیر خط چندک باشد و وزن  $\rho$  می‌گیرد اگر مشاهدات بالای خط چندک باشد (Lee et al., 2013). خط برازش داده شده در این روش به گونه‌ای است که  $100 \times \rho$  درصد از نقاط زیر آن و مابقی بالای خط قرار می‌گیرند.

روش های زمین آمار نیازی به تنظیم دستی پارامترها برای دستیابی به جواب های دقیق ندارد و طی فرآیند مدل سازی این تنظیمات را به صورت خودکار انجام می دهد. روش های کلاسیک کریجینگ یک واریوگرام واقعی از داده های مشاهداتی را لحاظ می کنند اما بطور یقین عدم قطعیت را در نظر نمی گیرند. با در نظر نگرفتن این عدم قطعیت روش های کلاسیک، خطای استاندارد پیش بینی ها را کم برآورد می کنند (Basu, 2016). در مقابل، EBK طیفی از واریوگرام ها را ایجاد می کند (Gribov and Krivoruchko, 2020). از جمله مزایای روش EBK می توان نیاز به حداقل عملیات در مدل سازی، پیش بینی خطای استاندارد دقیق تر از سایر روش های کریجینگ، پیش بینی دقیق داده های غیرایستا و دقت بیشتر نسبت به سایر روش های کریجینگ برای داده های کوچک اشاره نمود (Finzgar et al., 2014).

#### روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW)

روش IDW بر مبنای میانگین گیری ریاضی و روش جبری و وزن دهی فاصله معکوس می باشد. به این ترتیب که نقاط نسبت به هم و براساس عکس فاصله، وزن دهی می شوند که وزن دهی براساس نزدیک ترین همسایه ها (عوارض) انجام می گیرد. در این روش فاصله هر نقطه یا پیکسل با پیکسل مجاور سنجیده می شود و سپس برحسب مقدار فاصله به آن سلول، ارزش یا ضریب وزن داده می شود و در نهایت ارزش سلول مرکزی ماتریس با جمع ارزش های نقاط همسایه و میانگین وزنی آن ها به دست می آید. جزئیات این روش و معادلات برآورد این روش در مطالعات مرادی و نامدار خجسته (۱۳۹۹) و نیز کماسی و گودرزی (۱۴۰۰) و بیان شده است.

#### نتایج و بحث

نتایج روش رگرسیون چندک بر روی داده های کمینه دما روش های رگرسیون چندک و رگرسیون خطی معمولی بر روی سری داده های کمینه و بیشینه دما در مقیاس سالانه برای هر ۱۰۲ ایستگاه مورد مطالعه اجرا گردید و نتایج

برای ارزیابی شیب در هر چندک و عدم قطعیت در مورد تخمین شیب چندک، یک روش بوت استرپ اعمال می شود و اجازه می دهد که به جای یک برآورد دقیق واحد، یک توزیعی از مقادیر شیب به دست آید. جزئیات برآورد پارامترهای الگو رگرسیون چندک در مطالعات Koenker and D'Orey (1987) and Koenker, (2005) و Koenker (2006) بیان شده است و برای اعمال رگرسیون چندک بر روی متغیرهای دما در مطالعه حاضر، از بسته نرم افزاری quantreg (Koenker, 2018) در نرم افزار R استفاده شده است.

#### روش زمین آمار کریجینگ

روش کریجینگ یک روش درونیابی مکانی می باشد که به منظور به دست آوردن برآورد خطی ناریب استفاده می شود. بهترین برآورد کننده خطی ناریب می بایست کمترین واریانس خطای برآورد را داشته باشد. کریجینگ روش تخمینی است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می باشد. در بسیاری از موارد تغییرات محلی، نامنظم تر از آن است که بتوان با یک رابطه ریاضی، تغییرات در کل منطقه را مدل سازی کرد لذا در این روش بر اساس نظریه متغیر ناحیه بندی شده، جنبه های مختلف تغییرات بررسی، ناحیه بندی و سپس مدل درونیابی برازش می گردد. در روش کریجینگ فرض بر این است که فاصله و جهت بین نقاط نمونه بر روی همسبستگی مکانی تأثیر می گذارد. از این روش اغلب در زمین شناسی و توزیع مکانی عوامل اقلیمی استفاده می کنند (مرادی، ۱۳۹۹). روابط مورد استفاده برای برآورد روش های کریجینگ در مطالعه فرنیا و همکاران (۱۳۹۷) بیان شده است.

#### روش بیزین کریجینگ تجربی

کریوروچکو و گریبو (Krivoruchko and Gribov, 2014) روش زمین آمار کلاسیک کدنویسی شده در بسته نرم افزاری ESRI را (که فقط از یک واریوگرام استفاده می کرد) با معرفی بیزین کریجینگ تجربی (EBK) توسعه دادند. این روش یکی از روش های درونیابی است که در تحلیل های زمین آمار استفاده می گردد و نسبت به سایر

در سراسر ایران در طول سال، در حال افزایش است. هم‌چنین با توجه به فاصله کم‌تر خطوط چندک از یکدیگر در چندک‌های حدی بالا و پایین می‌توان بیان کرد که داده‌های کمینه دما در بیش‌تر ایستگاه‌ها در چندک‌های حدی بالا و پایین متمرکز شده‌اند و در چندک‌های میانی پراکندگی بیش‌تری دارند و نیز فاصله‌ی خطوط چندک در سمت راست نمودار یا در سال‌های ابتدایی در ایستگاه اردبیل و تهران فاصله‌ی بیش‌تری از یکدیگر داشته و بیانگر آن است که توزیع داده‌های کمینه دما در طول سال، گرایش به چولگی مثبت یا چوله شدن به سمت راست دارد.

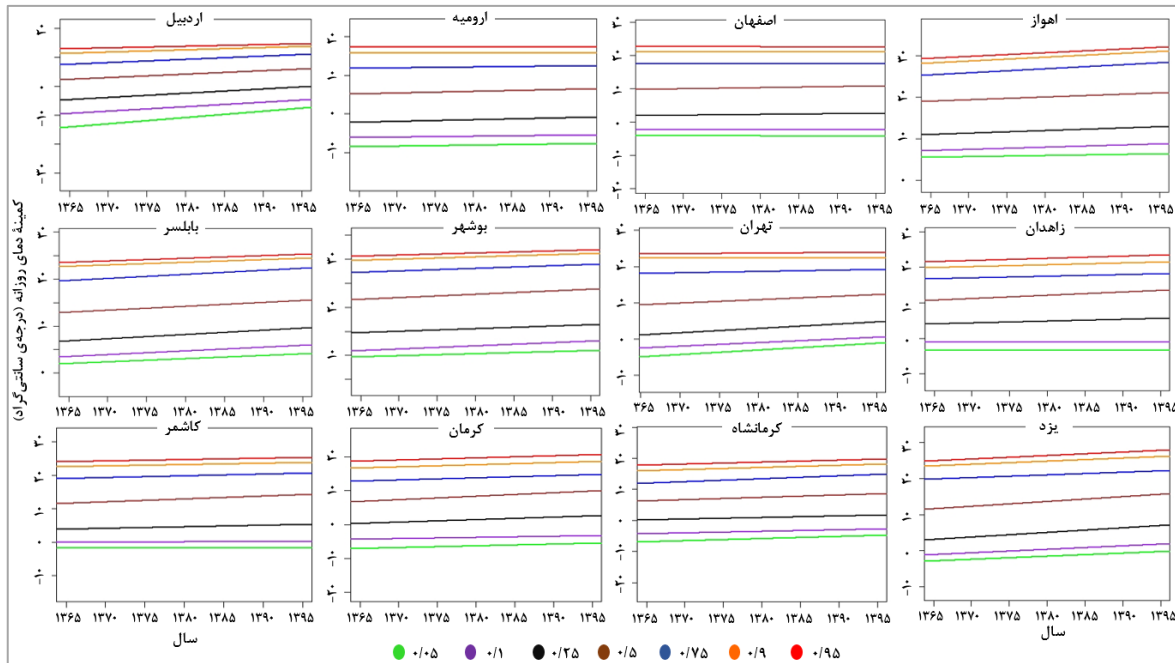
#### نتایج روش رگرسیون چندک بر روی داده‌های بیشینه دما

نتایج رگرسیون چندک بر روی سری زمانی داده‌های بیشینه دما (شکل ۳ و جدول ۲) تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها دارای روند معنی‌دار افزایشی در همه‌ی چندک‌های مورد مطالعه بوده است. با این‌حال، مقادیر شیب‌های روند در چندک‌های مختلف، با یکدیگر متفاوت بوده است. شدت شیب افزایشی روند، برای ایستگاه‌های اردبیل، بابلسر، اهواز و کرمانشاه در چندک‌های پایینی یا مقادیر پایین از داده‌های بیشینه دما بیش‌تر از مقادیر بالایی بوده است و بیانگر آن است که روزهای خنک‌تر در طول سال به سمت گرم‌شدن گرایش دارند. اما در مابقی ایستگاه‌ها، شدت شیب‌ها در چندک‌های میانی یا مقادیر میانی از بیشینه دما بیش‌تر بوده است و ایستگاه‌های تهران و اردبیل، بیش‌ترین شیب‌های روند مثبت و افزایشی را نشان داده است. فاصله‌ی خطوط چندک از یکدیگر نیز نشان می‌دهد که تمرکز داده‌ها در چندک‌های حدی بالا و پایین، بیش‌تر از چندک میانه بوده است و توزیع داده‌های بیشینه دما در طول سال چولگی کمی داشته و به توزیع نرمال نزدیک‌تر می‌باشد.

حاصل، اعم از خطوط شیب روند، مقدار شیب و معنی‌داری شیب روند برای میانگین دما و نیز در چندک‌های مختلف مورد مطالعه (۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۰/۹ و ۰/۹۵) برای ۱۲ ایستگاه از بخش‌های مختلف ایران در شکل‌های ۲ و ۳ و جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. شیب‌های روند حاصل از روش رگرسیون خطی معمولی و رگرسیون چندک میانه (چندک ۰/۵) برای هر دو متغیر دما و در تمامی ایستگاه‌های مختلف متفاوت بوده و در اغلب موارد، مثبت و معنی‌دار می‌باشد.

نتایج بررسی روند و تغییرات کمینه دما در چندک‌های مختلف (شکل ۲ و جدول ۱)، متفاوت با شیب رگرسیون چندک میانه (۰/۵) بوده است. تمامی ایستگاه‌ها دارای روند معنی‌دار افزایشی با شیب مثبت بوده‌اند و بیش‌تر ایستگاه‌ها در تمامی چندک‌ها، روند معنی‌دار و افزایشی اما با شیب متفاوت داشته‌اند و تنها در چندک‌های بالایی (بیشتر از ۰/۵) و پایینی (کمتر از ۰/۵) از کمینه دما در ایستگاه‌های ارومیه و اصفهان، چندک‌های بالایی حدی در ایستگاه تهران و چندک‌های پایینی حدی در ایستگاه کاشمر و زاهدان، هیچ‌گونه روند معنی‌داری دیده نشده است. بنابراین می‌توان بیان کرد تمامی مقادیر از داده‌های کمینه دما در بیش‌تر ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش یافته است و بیش‌ترین مقادیر شیب روند در ایستگاه‌های اردبیل و تهران در چندک‌های پایینی حدی، در ایستگاه‌های بابلسر، یزد، زاهدان، کرمان، بوشهر و کاشمر در چندک‌های میانی و در ایستگاه اهواز در چندک‌های بالایی بوده است و مقادیر بسیار پایین یا چندک‌های حدی پایینی (چندک ۰/۰۵) از کمینه دما در ایستگاه اردبیل با شیب مثبت و قابل توجه (۰/۲) دارای بیش‌ترین روند افزایشی در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بوده است. به طور کلی، می‌توان بیان کرد که دماهای پایین در روز که عموماً در ابتدای صبح اتفاق می‌افتد، با شدت بالایی

## تحلیل مکانی و زمانی روند تغییرات سالانه کمینه و بیشینه دما در ایران مبتنی بر روش رگرسیون چندک ۱۶۰



شکل ۲: نمودار خطوط شیب روند تغییرات (درجه سانتی گراد بر دوره) در چندک‌های مختلف (۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۰/۹، ۰/۹۵) و برای توزیع داده‌ی کمینه دمای روزانه از ۱۲ ایستگاه مختلف در مقیاس سالانه طی دوره ۱۳۶۷-۱۳۹۶

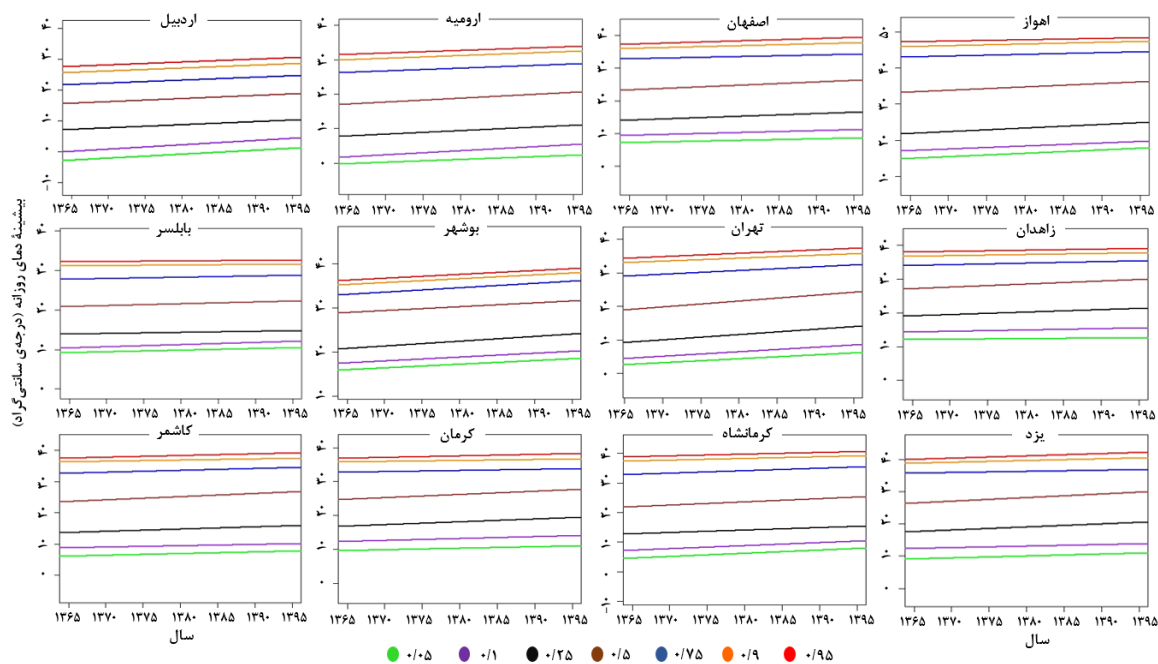
جدول ۱: شیب‌های روند رگرسیون چندک و رگرسیون خطی معمولی (درجه سانتی گراد بر دوره) و معنی‌داری آماری آن برای توزیع

داده‌ی کمینه دمای روزانه در مقیاس سالانه طی دوره ۱۳۶۷-۱۳۹۶

شماره	ایستگاه	شیب در چندک‌های مختلف						
		۰/۹۵	۰/۹	۰/۷۵	۰/۵	۰/۲۵	۰/۱	۰/۰۵
۱	اردبیل	۰/۰۶**	۰/۰۷۷**	۰/۱**	۰/۱۲**	۰/۱۵**	۰/۱۵**	۰/۲**
۲	ارومیه	۰	۰/۰۰۸	۰/۰۱۸	۰/۰۴**	۰/۰۳۸**	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲
۳	اصفهان	-۰/۰۰۸	۰	۰	۰/۰۳۳*	۰/۰۲	۰	-۰/۰۱
۴	اهواز	۰/۰۸۷**	۰/۰۹**	۰/۱**	۰/۰۶۷**	۰/۰۶**	۰/۰۵**	۰/۰۳**
۵	بابلسر	۰/۰۵۶**	۰/۰۵۷**	۰/۰۸۶**	۰/۰۸۳**	۰/۰۹**	۰/۰۷۶**	۰/۰۶۷**
۶	بوشهر	۰/۰۴**	۰/۰۴۶**	۰/۰۵۳**	۰/۰۷**	۰/۰۵۳**	۰/۰۶۷**	۰/۰۴۴**
۷	تهران	۰/۰۱۵	۰	۰/۰۳۷**	۰/۰۹۴**	۰/۱۲**	۰/۱**	۰/۱۲**
۸	زاهدان	۰/۰۶**	۰/۰۵**	۰/۰۵**	۰/۰۹۶**	۰/۰۴۷**	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
۹	کاشمر	۰/۰۴۴**	۰/۰۴۴**	۰/۰۵**	۰/۰۸۹**	۰/۰۴۴**	۰/۰۱	۰
۱۰	کرمان	۰/۰۶**	۰/۰۶۳**	۰/۰۶۶**	۰/۱**	۰/۰۷**	۰/۰۳۳**	۰/۰۴۶**
۱۱	کرمانشاه	۰/۰۶**	۰/۰۷۲**	۰/۰۹۲**	۰/۰۷۳**	۰/۰۵**	۰/۰۵**	۰/۰۶۷**
۱۲	یزد	۰/۰۹۶**	۰/۰۸۸**	۰/۰۷۷**	۰/۱۳۵**	۰/۱۳**	۰/۱**	۰/۰۸۷**

سطح معنی داری: \*\* p<0.01, \* p<0.05





شکل ۳: نمودار خطوط شیب روند تغییرات (درجه سانتی‌گراد بر دوره) در چندک‌های مختلف (۰/۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۰۷۵، ۰/۰۹، ۰/۰۹۵) برای توزیع داده‌ی بیشینه دمای روزانه از ۱۲ ایستگاه مختلف در مقیاس سالانه طی دوره ۱۳۶۷-۱۳۹۶

جدول ۲: شیب‌های روند رگرسیون چندک و رگرسیون خطی معمولی (درجه سانتی‌گراد بر دوره) و معنی‌داری آماری آن برای توزیع داده‌ی بیشینه دمای روزانه در مقیاس سالانه طی دوره ۱۳۶۷-۱۳۹۶

شماره	ایستگاه	رگرسیون خطی معمولی	شیب در چندک‌های مختلف						
			۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۲۵	۰/۰۵	۰/۰۷۵	۰/۰۹	۰/۰۹۵
۱	اردبیل	۰/۰۱**	۰/۰۱۳**	۰/۰۱۵**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**
۲	ارومیه	۰/۰۰۹۷**	۰/۰۰۷۸**	۰/۰۱۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱۱۳**	۰/۰۰۷۸**	۰/۰۰۷۶**
۳	اصفهان	۰/۰۰۵۸**	۰/۰۰۴۴**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۷۶**	۰/۰۰۶**	۰/۰۱**	۰/۰۰۴۴**	۰/۰۰۶۹**
۴	اهواز	۰/۰۰۷۴**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۸۶**	۰/۰۱**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۷۴**	۰/۰۰۳۶**
۵	بابل	۰/۰۰۲۷**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۵۲**	۰/۰۰۲۸**	۰/۰۰۲۸**	۰/۰۰۴۷**	۰/۰۰۲۷**	۰/۰۰۱*
۶	بوشهر	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۸۳**	۰/۰۰۸۷**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۰۸۷**	۰/۰۰۸۳**	۰/۰۰۸۷**
۷	تهران	۰/۰۰۶**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۳**	۰/۰۱۵**	۰/۰۱۵**	۰/۰۱۷**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱**
۸	زاهدان	۰/۰۰۶۲**	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴۲**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۶۲**	۰/۰۰۳۵**
۹	کاشمر	۰/۰۰۶۶**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۷۵**	۰/۰۰۷۵**	۰/۰۱**	۰/۰۰۶۶**	۰/۰۰۵۷**
۱۰	کرمان	۰/۰۰۶۳**	۰/۰۰۴۴**	۰/۰۰۵۵**	۰/۰۰۸۶**	۰/۰۰۸۶**	۰/۰۰۹۴**	۰/۰۰۶۳**	۰/۰۰۴۳**
۱۱	کرمانشاه	۰/۰۰۸**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۰۸۴**	۰/۰۰۸۴**	۰/۰۱**	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۵۷**
۱۲	یزد	۰/۰۰۷۴**	۰/۰۰۵۴**	۰/۰۰۴۸**	۰/۰۰۹۲**	۰/۰۰۹۲**	۰/۰۱**	۰/۰۰۷۴**	۰/۰۰۷**

\*\* p<0.01, \* p<0.05 سطح معنی‌داری

نتایج پهنه‌بندی شیب‌های چندک با روش کریجینگ

بیزین تجربی

بررسی‌ها و تحلیل‌های انجام شده در بالا برای هر یک از ۱۰۲ ایستگاه مورد مطالعه انجام شد و نتایج شیب برای چندک‌های ۰/۰۵، ۰/۵ و ۰/۹۵ برای کمینه و بیشینه دما در مقیاس سالانه در شکل ۴ پهنه بندی شده است. در این شکل، توزیع مکانی شیب‌های چندک‌های ۰/۰۵، ۰/۵ و ۰/۹۵ برای داده‌ی کمینه و بیشینه دمای روزانه در بین سال‌های ۱۳۶۷-۱۳۹۶ گزارش شده است. پهنه بندی مکانی شیب‌های چندک موردنظر با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی انجام گردید و روشی که دارای کمترین RMSE بوده است به عنوان بهترین روش درون‌یابی برای شیب‌های چندک

انتخاب گردید. نتایج درون‌یابی برای کمینه و بیشینه دما در چندک‌های مختلف در جدول ۳ آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود برای تمامی موارد، روش درون‌یابی بیزین کریجینگ تجربی دارای کمترین مقدار RMSE می‌باشد. اولیور و وبستر (Oliver and Webster, 2014) نیز در مطالعه‌ی خود نشان دادند که از بین تمام روش‌های زمین‌آماری، روش‌های کریجینگ به دلیل ایجاد خطای کمتر و تولید حداقل واریانس ممکن، محبوبیت بیشتری را نسبت به سایر روش‌ها داشته و در تعیین توزیع مکانی متغیرهای محیطی پتانسیل بالایی دارد. لذا با توجه به نتایج درون‌یابی، برای درون‌یابی شیب‌ها از روش کریجینگ بیزین تجربی استفاده گردید.

جدول ۳: نتایج توزیع مکانی کمینه و بیشینه دما برای شیب‌های چندک با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی

کمینه دما-RMSE			بیشینه دما-RMSE			روش درون‌یابی
چندک ۰/۹۵	چندک ۰/۵	چندک ۰/۰۵	چندک ۰/۹۵	چندک ۰/۵	چندک ۰/۰۵	
۳/۹۵	۳/۶۹	۴/۸۲	۳/۳۳	۳/۶۷	۳/۲۳	معکوس فاصله
*۳/۸	۳/۶۹	۴/۵۹	۲/۶۹	۳/۴۶	۳/۲۳	کریجینگ ساده
۳/۸۶	۳/۶۱	۴/۵۶	۲/۷۳	۳/۳۶	*۳/۰۸	کریجینگ معمولی
*۳/۸	*۳/۵۵	*۴/۴۷	*۲/۵۶	*۳/۳۵	*۳/۰۸	کریجینگ بیزین تجربی

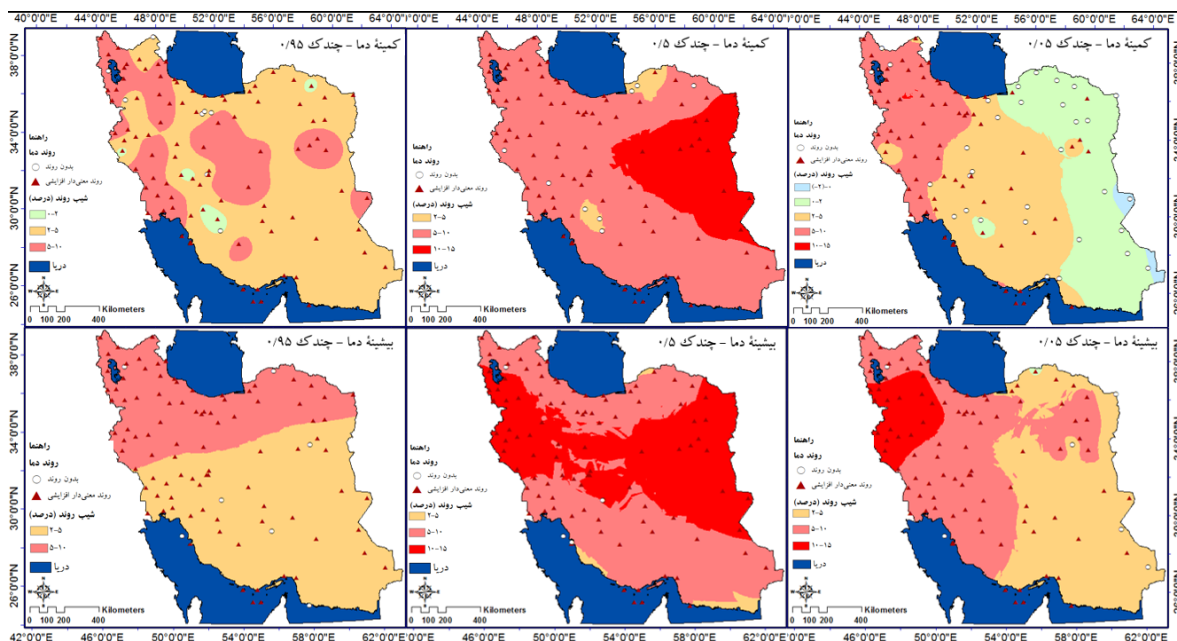
\*: کمترین خطا جذر میانگین مربعات (RMSE)

معنی‌دار دیده نمی‌شود. هم‌چنین روندهای مثبت و افزایشی در نیمه‌ی شرقی ایران (۲۳/۸۷ درصد از ایران) با شدت بالاتری بوده است. بررسی مکانی روند تغییرات در چندک ۰/۹۵ از کمینه دما نیز همانند چندک ۰/۵، در بیش‌تر ایستگاه‌های ایران مثبت و معنی‌دار بوده که شدت این شیب‌های افزایشی در بخش‌هایی از شرق ایران بیش‌تر بوده است که به طور کلی، ۲۹/۵ درصد از مساحت ایران را شامل می‌شود. درصد مساحت مناطق با شیب‌های مختلف روند کمینه و بیشینه دما در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج پهنه‌بندی مکانی شیب‌های روند برای بیشینه دما (شکل ۴ و جدول ۵) در سراسر ایران، وجود روند افزایشی با شیب مثبت و قابل توجه را نشان داده است. شدت شیب‌های روند در چندک‌های حدی پایین (۰/۰۵) در بخش‌هایی از غرب کشور (۱۰/۱۵ درصد از ایران) بیش‌تر بوده و به سمت شرق از شدت شیب‌ها کاسته شده است. هم‌چنین بیشینه دما در چندک میانه (۰/۵) همانند کمینه دما

شیب‌های روند کمینه و بیشینه دما در چندک‌های ۰/۰۵، ۰/۵ و ۰/۹۵ که به ترتیب بیانگر داده‌هایی با مقادیر بسیار کم، میانه و بسیار بالا می‌باشند، برای هر ۱۰۲ ایستگاه مورد مطالعه محاسبه گردید و سپس با روش کریجینگ بیزین تجربی برای کل ایران پهنه‌بندی شد. نتایج (شکل ۴) نشان داد که تغییرات مکانی شیب‌ها در چندک‌های مختلف از کمینه و بیشینه دما متفاوت بوده و هر یک از مقادیر این دو پارامتر در بخش‌های مختلف از ایران، آهنگ تغییرات متفاوتی را نشان داده‌اند. کمینه دما در چندک‌های پایینی حدی (۰/۰۵) در نیمه‌ی غربی کشور دارای شیب مثبت قابل توجه و معنی‌دار بوده است. با این‌حال، روندها در نیمه‌ی شرقی کشور، در بیش‌تر موارد معنی‌دار نبوده و شدت شیب‌ها در آن کم‌تر می‌باشد. شیب‌های روند در چندک میانه (۰/۵) از کمینه دما در تمامی بخش‌های ایران، دارای شیب افزایشی و معنی‌دار بوده و تنها در تعداد محدودی از ایستگاه‌ها در بخش‌هایی از شمال‌شرقی و جنوب‌غربی، روند

بیشینه دما (۰/۹۵) نسبت به دو چندک قبلی، کم‌تر بوده است؛ به طوری‌که تمامی مناطق دارای شیب مثبت و معنی‌دار بوده که شدت آن‌ها در نیمه‌ی شمالی ایران (۳۷/۱ درصد از مساحت ایران) بیش‌تر از نیمه‌ی جنوبی بوده است.

دارای شیب‌های مثبت قابل توجه در تمامی مناطق بوده که بیش‌ترین شدت این شیب‌ها مربوط به بخش‌های غربی، مرکزی و شرق ایران (۴۴/۵۸ درصد از ایران) بوده است. با این‌حال، تغییرات شیب روند در چندک بالایی حدی از



شکل ۴: پهنه‌بندی شیب‌های رگرسیون چندک ۵ ام، ۵۰ ام و ۹۵ ام برای ۱۰۲ ایستگاه مطالعاتی در ایران در مقیاس سالانه با استفاده از

روش کریجینگ بی‌زین

جدول ۴: درصد مساحت مناطق با شیب‌های مختلف خط روند کمینه دما در مقیاس سالانه

چندک	شیب (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مجموع درصد مساحت
۰/۹۵	۰-(-۲)	۲۲۸۵۸/۲	۱/۴	۱/۴
	۲-۰	۵۷۶۹۶۳/۳	۳۵/۶	۳۵/۶
	۵-۲	۶۶۸۵۶۷/۹	۴۱/۲۶	۶۳
۰/۵	۱۰-۵	۳۵۰۷۷۹/۸	۲۱/۶۵	۶۳
	۱۵-۱۰	۱۱۳۸/۳	۰/۰۷	۶۳
	۵-۲	۴۵۴۷۱/۴	۲/۸	۱۰۰
۰/۵	۱۰-۵	۱۱۸۸۱۱۹	۷۳/۳۲	۱۰۰
	۱۵-۱۰	۳۸۶۷۶۰/۶	۲۳/۸۷	۱۰۰
	۲-۰	۳۰۰۵۴/۴	۱/۸۵	۱۰۰
۰/۹۵	۵-۲	۱۱۱۲۰۶۷/۷	۶۸/۶۳	۹۸/۱۵
	۱۰-۵	۴۷۸۱۸۳/۸	۲۹/۵	۹۸/۱۵

جدول ۵. درصد مساحت مناطق با شیب‌های مختلف خط روند بیشینه دما در مقیاس سالانه

چندک	شیب (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مجموع درصد مساحت
۰/۰۵	۲-۰	۲۷۸۴	۰/۱۷	۰/۱۷
	۵-۲	۷۶۱۸۳۲/۹	۴۷	۹۹/۸۳
	۱۰-۵	۶۹۱۲۱۶/۷	۴۲/۶۶	
۰/۵	۱۵-۱۰	۱۶۴۴۴۲/۶	۱۰/۱۵	۱۰۰
	۵-۲	۳۱۴۸۶/۷	۱/۹۴	
	۱۰-۵	۸۶۲۲۱۷/۱	۵۳/۴۶	
۰/۹۵	۱۵-۱۰	۷۲۲۶۲۱/۳	۴۴/۵۸	۱۰۰
	۵-۲	۱۰۳۵۲۴۳/۷	۶۳/۸۹	

کشوری که خود با بحران منابع آبی مواجه است، می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد که روش رگرسیون چندک برای مطالعه 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 (Abbas and Xuan, 2019).

### نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایجی که در تحلیل روند زمانی و مکانی تغییرات کمینه و بیشینه دمای روزانه در طول سال و در پهنه جغرافیایی ایران طی یک دوره ۳۰ ساله آماری بین سال‌های ۱۳۶۷-۱۳۹۶ بدست آمد عبارتند از:

- روند تغییرات دمای هوا در پهنه جغرافیایی ایران از شیب یکسانی در زمان و مکان پیروی نمی‌کند. هم‌چنین بیشینه و کمینه دمای روزانه نیز روند تغییرات متفاوتی را نشان می‌دهند و این روند متفاوت در چندک‌های مختلف از آن‌ها نیز مشاهده می‌شود.
- تمامی مقادیر از کمینه و بیشینه دما در طول ۳۰ سال در ایران افزایش یافته است. بیش‌ترین روندهای افزایشی در مقادیر پایین از کمینه و بیشینه دما (چندک پایینی ۰/۰۵) در نیمه غربی و شمال غرب ایران بوده است که با توجه به روند کاهشی بارش در این نواحی (ابلاغیان و همکاران، ۱۳۹۹)، افزایش دما و کاهش

استفاده از روش رگرسیون چندک اطلاعات بیش‌تری نسبت به روش‌های مبتنی بر میانگین داده‌ها در بررسی روند متغیرهای اقلیمی در دسترس قرار می‌دهد. با توجه به نتایج، روندهای متفاوتی در چندک‌های مختلف از داده‌های کمینه و بیشینه دما در طول سال دیده شده است که هر یک می‌تواند پاسخگوی روش‌های مدیریتی در کنترل دماهای بسیار بالا و یا بسیار پایین باشد؛ چه بسا که این روندها با استفاده از روش‌های معمول بررسی روند شناسایی نشده یا صرفاً تنها به بررسی تغییرات در میانگین یا میانۀ داده‌ها اکتفا شده است. به طور کلی، کمینه و بیشینه دمای روزانه در تمامی نقاط ایران در طول سال افزایش یافته که شدت این افزایش در بخش‌های مختلف ایران و نیز چندک‌های مختلف از داده‌های دما متفاوت بوده است. شدت روندهای افزایشی برای مقادیر پایین از کمینه و بیشینه دما در نیمه غربی ایران، اما برای مقادیر میانه در بخش‌های شرقی کشور بیش‌تر بوده است. با این‌حال شیب روند افزایشی برای مقادیر بالای کمینه دما در نیمه غربی، بخش مرکزی و نواحی شرقی ایران و برای مقادیر بالای بیشینه دما در نیمه شمالی ایران بیشتر بوده است. بیش‌ترین شدت روندهای معنی‌دار افزایشی برای دماهای میانه و نیز برای مقادیر پایین از حداکثر دما دیده شده است در حالی که شدت روند برای چندک‌های بالایی به نسبت کم‌تر بوده است. با وجود روندهای افزایشی قابل توجه در کمینه و بیشینه دمای ایران، می‌توان به رخداد پدیده‌ی تغییر اقلیم در کشور پی برد که متعاقب آن با افزایش تبخیر و تعرق همراه خواهد بود که اولین اثر سوء آن بر روی کاهش منابع آب در دسترس، در

- parameters using polynomial regression analysis over the Fasa Plain, southern Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 134(2): 1-12.
5. Barani, N., Karami, A. (2019). Annual trend analysis of climate parameters of temperature and precipitation in decuple agroecology regions of Iran. *Environmental Sciences*, 17(4): 75-90.
  6. Bararkhanpour, S., K. Ghorbani, M. Salari Jazi and L. Rezaei Ghaleh, 2020, Study of Seasonal and Annual Rainfall Changes with Quantile regression method (Case Study: Gorgan Hashem-Abad Station. *Journal of Climate Research*, 1398(39): 89-104.
  7. Basu, K., 2016, Spatio Temporal Mapping of Tuberculosis using Log-Empirical Bayesian Kriging Methods. Technical Report Indian Statistical Institute / Applied Statistics Unit.
  8. Donner, R.V., R. Ehrcke, S.M. Barbosa, J. Wagner, J.F. Donges and J. Kurths, 2012, Spatial patterns of linear and nonparametric long-term trends in Baltic sea-level variability. *Nonlinear Processes Geophys*, 19: 95-111.
  9. Doulabian, S., S. Golian, A.S. Toosi and C. Murphy, 2020, Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 12(1): 166-184.
  10. Dunn, R.H., K.M. Willett and E.P. Parker, 2019, Changes in statistical distributions of sub-daily surface temperatures and wind speed. *Journal of Earth System Dynamics*, 10(4): 765-788.
  11. Eblaghian, A., A. Akhondali, F. Radmanesh and H. Zarei, 2019, Trend Analysis of Temperature, Precipitation, and Relative Humidity Changes in Iran. *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(3): 197-212.
  12. Fattahi, E. and S. moghimi, 2019, Investigation of snow cover changes affected by climate change In North West of Iran. *Researches in Geographical Sciences*, 19(54): 47-63.
  13. Finzgar, N., E. Jez, D. Voglar and D. Lestan, 2014, Spatial distribution of metal contamination before and after remediation in the Meza Valley, Slovenia. *Geoderma*, 217: 135-143.
  14. Gao, M. and C. Franzke, 2017, Quantile Regression-based Spatio-temporal Analysis of Extreme Temperature Change in China. *Journal of Climate*, 30: 9897-9914.
  15. Ghorbani, K., M. Salarjazi and E. Farnia, 2018, Evaluation of the Empirical Bayesian Kriging method in ground water level
- بارندگی، مشکلاتی از جمله کاهش منابع آب در دسترس را به همراه خواهد داشت.
- بیش‌ترین روندهای افزایشی برای مقادیر میانی (چندک ۰/۵) از کمینه دما در نیمه شرقی و برای بیشینه دما، در بخش‌هایی از نیمه شرقی، غرب و بخش مرکزی ایران بوده است. اما بیش‌ترین روندهای افزایشی برای مقادیر بالای کمینه دما (چندک ۰/۹۵) در نیمه غربی، شرق و بخش مرکزی اما برای بیشینه دما در نیمه شمالی ایران بوده است؛ با این حال، تغییرات در مقادیر میانی متغیرهای دما به نسبت بیش‌تر از مقادیر بسیار بالا و بسیار پایین بوده است.
- روش رگرسیون چندک قادر به ارائه اطلاعات در مورد چگونگی تغییرات در سطوح چندک مختلف از داده‌های کمینه و بیشینه دما می‌باشد به طوری که آزمون من‌کنندال و روش‌های مبتنی بر میانگین سری داده‌ها این توانایی را ندارند؛ لذا می‌تواند مزایای زیادی در تصمیم‌گیری و انتخاب بهترین روش‌های مدیریتی در کنترل وقایع حدی دمایی را به همراه داشته باشد.
- تغییرات دمایی در بخش‌های مختلف از پهنه جغرافیایی ایران نشان‌دهنده وقوع تغییرات اقلیمی در کشور می‌باشد و می‌بایست برای مقابله و کنترل آن، روش‌های مدیریتی مناسب را برای کاهش خسارت‌ها و آسیب‌های ناشی از آن به کار گرفت.

## منابع

1. Abbas, S.A., Y. Xuan and X. Song, 2019, Quantile Regression Based Methods for Investigating Rainfall Trends Associated with Flooding and Drought Conditions. *Water Resources Management*, 33: 4249-4264.
2. Adnan, S., K. Ullah and R. Ahmed, 2020, Variability in meteorological parameters and their impact on evapotranspiration in a humid zone of Pakistan. *Journal of Meteorological Applications*, 27(2): 1-10.
3. Alavinia, S.H. and M. Zarei, 2021, Analysis of spatial changes of extreme precipitation and temperature in Iran over a 50-year period. *International Journal of Climatology*, 41: E2269-E2289.
4. Bahrami, M. and M.R. Mahmoudi, 2022, Long-term temporal trend analysis of climatic

29. Latif, Y., M. Yaoming, M. Yaseen, S. Muhammad and M.A. Wazir, 2020, Spatial analysis of temperature time series over the Upper Indus Basin (UIB) Pakistan. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1): 741-758.
30. Lee, K., H.J. Baek and C. Cho, 2013, Analysis of changes in extreme temperatures using quantile regression. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 49(3): 313-323.
31. Mann, H.B. 1945, Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, Journal of the Econometric Society, 245-259.
32. McKinnon, K.A. and A. Poppick, 2020, Estimating changes in the observed relationship between humidity and temperature using noncrossing quantile smoothing splines. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 1-23.
33. Mohan, S., R.M. Clarke and X.T. Chadee, 2020, Variations in extreme temperature and precipitation for a Caribbean island: Barbados (1969–2017). *Theoretical and Applied Climatology*, 140(3): 1277-1290.
34. Moradi, E. and D. Namdar Khojasteh, 2021, Comparison of Interpolation Methods for the Mapping of Wind Erosion using the USEPA Model. *Journal of Water and Soil Science*, 24 (4): 93-110.
35. moradi, H. 2020, Evaluation of Different Interpolation Methods in Climatic Zones of Ilam Province. *Geography and Human Relationships*, 2(4): 1-15.
36. Norouzi, N. 2020, Climate change impacts on the water flow to the reservoir of the Dez Dam basin. *Water Cycle*, 1: 113-120.
37. Nyikadzino, B., M. Chitakira and S. Muchuru, 2020, Rainfall and runoff trend analysis in the Limpopo river basin using the Mann Kendall statistic. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 117: 102870.
38. Oliver, M.A. and R. Webster, 2014, A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*, 113: 56-69.
39. Pour, S.H., A.K. Abd Wahab and S. Shahid, 2020, Spatiotemporal changes in aridity and the shift of drylands in Iran. *Atmospheric Research*, 233: 104704.
40. Rafati, S. and M. Karimi, 2018, Assessment of homogenization of climate data and trend of temperature. *Journal of the Earth and Space Physics*, 44:199-214 (in Persian).
41. Rahimi, M. and S. Hejabi, 2018, Spatial and temporal analysis of trends in extreme zoning. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(1): 165-182.
16. Ghorbani, K., S. Bararkhan Poor, E. Valizadeh and A. Molaarazi, 2020, Regional analysis of trend and change point in seasonal series of SPEI drought index in Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(4): 185-200.
17. Gribov, A. and K. Krivoruchko, 2020, Empirical Bayesian kriging implementation and usage. *Science of The Total Environment*, 722: 137290.
18. Haupt, H. and M. Fritsch, 2022, Quantile trend regression and its application to central England temperature. *Mathematics*, 10(3): 413.
19. Jalali, M. and H. Karegar, 2011, Statistical analysis and modeling of Bushehr station temperature (1995-1995). *Journal of Geographical Space*, 11(33): 149-173.
20. Javanshiri, Z., M. Pakdamana and Y. Falamarzi, 2021, Homogenization and trend detection of temperature in Iran for the period 1960–2018. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(1–2):1-18.
21. Kendall, M.G. 1975, *Rank Auto-correlation Methods*, Charles Griffin, London.
22. Koenker, R and G. Bassett, 1978, *Regression Quantiles*. *Econometrica*, 46: 33-50.
23. Koenker, R. 2005, *Quantile Regression*, first ed, New York, Cambridge University Press, 2005, 1-25.
24. Koenker, R. 2006, *Quantile regression in R: A vignette*. [Available online at <http://www.econ.uiuc.edu/~roger/research/rq/vig.pdf>]
25. Koenker, R., 2018: *Quantreg: Quantile regression and related methods*, version 5.54. R package, <https://cran.r-project.org/web/packages/quantreg/quantreg.pdf>.
26. Krivoruchko, K. and A. Gribov, 2014, *Pragmatic Bayesian kriging for non-stationary and moderately non-Gaussian data*. In *Mathematics of Planet Earth* (pp. 61-64). Springer, Berlin, Heidelberg.
27. Kumar, S., K. Chanda and S. Pasupuleti, 2020, Spatiotemporal analysis of extreme indices derived from daily precipitation and temperature for climate change detection over India. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-15.
28. Kuriqi, A., A. Raushan, Q.B. Pham, J.M. Gambini, V. Gupta, V.A. Malik, N.T.T. Linh, Y. Joshi, D.T. Anh, V.T. Nam and X. Dong, 2020, Seasonality shift and streamflow flow variability trends in central India. *Acta Geophysica*, 68(5): 1461-1475.

47. Sterin, A.M. and A.A. Timofeev, 2016, Estimation of surface air temperature trends over the Russian Federation territory using the quantile regression method. *Journal of Russian Meteorology and Hydrology*, 41(6): 388-397.
48. Zare, M., M.S. Bejestan, A. Adib and G. Beygipoor, 2022, Analysis of Future Precipitation and Temperature Change and Its Implication on Doroodzan Dam, Iran. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-13.
49. zarei, Y., A. Mohammad Khorshiddoust, M. rezaeebanafshe and H. Rostamzadeh, 2020, Assessing the Impacts of Global Climate Change on Climate Elements of Temperature and Precipitation in various Climatic Zones of Iran Using RCP Scenarios. *Geography and Planning*.
50. Zarrin, A., A. dadashi-rodbari and N. Salehabadi, 2021, Projected temperature anomalies and trends in different climate zones in Iran based on CMIP6. *Iranian Journal of Geophysics*, 15(1): 35-54.
51. Zolfaghari, H., J. Masoompourv Samakosh and S. Chahvari, 2018, Estimating the Growing Degree Days in the Northwest of Iran based on Climate Change Models. *Researches in Geographical Sciences*, 18(49): 221-240.
- temperature indices in Iran over the period 1960–2014. *International Journal of Climatology*, 38(1): 272-282.
42. Rahimi, M., N. Mohammadian, A.R. Vanashi and K. Whan, 2018, Trends in indices of extreme temperature and precipitation in iran over the period 1960-2014. *Open Journal of Ecology*, 8(07): 396-415.
43. saber, M. and B. sobhani, 2018, The study of temporal and spatial variations average of the maximum temperature in Iran during 1991-2015. *Geographic Thought*, 9(18): 45-68.
44. Shah, L., C.A. Arnillas and G.B. Arhonditsis, 2022, Characterizing temporal trends of meteorological extremes in Southern and Central Ontario, Canada. *Weather and Climate Extremes*, 100411.
45. Sharafi, S. and N. Mir Karim, 2020, Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(16): 1-11.
46. Solaimani, K. and S. Bararkhanpour, 2022, Spatiotemporal changes of climatic parameters extreme quantiles and their role on evaporation in N. Iran (Golestan province). *Arabian Journal of Geosciences*, 15(1) :1-16.