

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و نهم، بهار ۱۳۹۸

صص ۲۱۷-۱۹۹

DOI: <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.76260>

## ارزیابی الگوهای رگرسیونی برازنده بر برخی ویژگی‌های بارش‌های فرین بالا و فراگیر ناحیه خزری

حسین عساکره- استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

لیلا حسینجانی<sup>۱</sup> - دانشجوی دکترای تغییرات اقلیم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۶

### چکیده

واکاوی فرین‌های آب و هوایی به دلیل پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی حاصل از آن‌ها، در معرض توجه بسیاری از اقلیم‌شناسان و نیز دانشمندان علوم محیطی و حتی علوم انسانی- اجتماعی بوده است. یکی از مراحل واکاوی فرین‌های آب و هوایی، الگوسازی آماری این نوع رویدادهاست. یکی از ساده‌ترین الگوهای برازنده بر مشخصات فرین‌های آب و هوایی، الگوهای رگرسیونی است. در مطالعه حاضر تمامی مدل‌های رگرسیونی در دسترس بر فراوانی و متوسط شدت بارش فرین بالا و فراگیر داده‌های شبکه‌ای حاصل از میانمایی ۳۸۵ ایستگاه ناحیه خزری طی ۵۱ سال (۲۰۱۶-۱۹۶۶) در معرض توجه قرار گرفت. برای دستیابی به اهداف این پژوهش آستانه‌های صدک ۹۵-۹۰، ۹۹-۹۵ برای بارش شدید و آستانه صدک ۹۹ و بیشتر برای بارش فرین در نظر گرفته شد. انواع الگوهای رگرسیونی الگوهای خطی و غیرخطی شامل ۳۵ مدل اصلی بر هریک از سری داده‌ها برازش داده شد. ملاک ارزیابی الگوهای برازش یافته بر شدت و فراوانی بارش‌های فراگیر شدید و فرین ناحیه خزری نمایه‌های ضریب تعیین ( $r^2$ ) میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ ) و خطای استاندارد مدل ( $SE$ ) بوده است. نتایج نشان داد که الگوهای رگرسیونی توانایی توجیه روند تغییرات بارش‌های فرین را نداشته‌اند؛ بنابراین دو گروه روش‌های ارزیابی دیگر، شامل تحلیل مشاهدات بر مبنای دانش احتمال و فرایند تصادفی و نیز مطالعه مشاهدات از طریق روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی را می‌توان برای مطالعه این قبیل مشاهدات توصیه نمود.

**کلیدواژه‌ها:** الگوی رگرسیونی، الگوسازی روند، بارش فرین، نمایه‌های فرین بارش، ناحیه خزری.

## مقدمه

تغییرات آب و هوایی از چالش‌های پیشرو در جهان امروز است. این تغییرات در همه عناصر آب و هوایی، به‌ویژه در عناصر و اجزای دما و بارش، با جلوه‌های متفاوت رخ می‌دهد. علاوه بر این تغییرات دو عنصر آب و هوایی بارش و دما به دلیل تأثیراتی که بر عرصه‌های زیستی و غیر زیستی ایفا می‌کنند، از اهمیت شایان توجهی برخوردارند. در این زمینه جلوه تغییرات آب و هوایی بر بارش به دلیل تأثیر مستقیم بر تأمین منابع آب، اهمیت حیاتی دارد. یکی از جلوه‌های تغییرات بارشی، رخداد رویدادهای فرین<sup>۱</sup> بالا (نظیر باران‌های سیل‌آسا) و پایین (نظیر خشکی) است. رویدادهای فرین جوی به حوادث نادر و دور از شرایط بهنجار گفته می‌شود (Bartolini et al, 2008). تغییرات زمانی فراوانی و شدت بارش فرین بالا بر رخداد سیلاب‌ها و خطرات ناشی از آن جلوه‌گر شده است. تغییرپذیری رخدادهای فرین بالای بارش اثرات گسترده و پیامدهای جدی بر زیست‌بوم‌ها و ساختارهای فیزیکی جوامع انسانی و طبیعی دارد؛ زیرا این ساختارها با شرایط اقلیمی بهنجار سازگار هستند و تطبیق آن‌ها با شرایط فرین بندرت محتمل است. به دلیل اثرات محیطی - انسانی و اهمیت بارش‌های فرین بالا روندهای این رویدادها در سطح جهان و ایران مورد مطالعه بسیار بوده، آشکارسازی و نیز الگوسازی شده‌اند. از این مطالعات می‌توان به مواردی که در پی می‌آید، اشاره کرد، محققان با کاربرد داده‌های اقلیمی صد ایستگاه هواشناسی، روند نمایه‌های فرین بارش اروپا را بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که رخدادهای فرین بالای بارش در منطقه مورد بررسی روبه افزایش است (Klein tank and Konnen, 2003). (Brown et al, 2010) تغییرات نمایه‌های فرین بارش شمال شرق ایالات متحده را طی دوره ۲۰۰۵-۱۸۷۰ با روش رگرسیون بررسی کردند و نشان دادند که در بارش منطقه مورد مطالعه تغییرات کمی رخ داده است (Gajic et al, 2011). روندهای زمانی نمایه‌های فرین بارش کشور کرواسی را بر اساس روش حداقل مربعات برای مدل‌های خطی و آزمون سطح معنی‌داری با روش نا پارامتریک من‌کنندال، در بازه زمانی ۲۰۰۸-۱۹۰۱ بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها روند کاهشی را در مقادیر بارش‌های سالیانه از آغاز قرن بیستم در سرتاسر کرواسی نشان می‌دهد به طوری که با روند خشکی مشاهده‌شده در سرتاسر حوزه مدیترانه منطبق است. در حالی که مقادیر بارش‌های فرین هم در مقیاس فصلی و سالانه تغییرپذیری بسیار زیادی داشته‌اند. (Chieh et al, 2011) با استفاده از تئوری مقادیر فرین شدت و فراوانی بارش‌های فرین را در مقیاس جهانی در ارتباط با سناریوهای گرمایش جهانی قرن بیستم مطالعه کردند و دریافتند که روند بارش‌های فرین در مقیاس جهانی به‌شدت در حال افزایش است، به طوری که این روند افزایشی اثرهای درخور توجهی در منحنی شدت، تداوم و فراوانی داشته است (Sohrabi et al, 2012). در مطالعه‌ای به بررسی نمایه‌های فرین اقلیمی و ارتباط آن با خشک‌سالی منطقه آیداهو، امریکا پرداختند. آن‌ها روند کاهشی بارش (فرین) و روند افزایشی دما را نتیجه گرفتند (Keggenhoff et al, 2014). روند دما و

بارش فرین را در گرجستان برای بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۷۱ با استفاده از ۱۱ نمایه ذکر شده در پروژه تحقیقات پیش‌بینی و تغییر اقلیم (CIIVAR) بررسی کردند و نشان دادند که حداکثر بارش یک تا ۵ روزه، تعداد روزهای بارش سنگین، روزهای خیلی مرطوب و به شدت مرطوب، شاخص ساده شدت روزانه در گرجستان افزایش داشته است. سهم بارش سنگین و فوق سنگین به کل بارش بین سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ افزایش یافته است در حالی که تعداد روزهای مرطوب کاهش یافته است (Alexander et al, 2017). روند دما و بارش فرین مشاهدات ایستگاهی و پایگاه داده CMIP5 را در استرالیا در بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۱۱ برای ۲۴ نمایه بررسی کردند و روندهای کمی را در داده‌ها مشاهده کردند. همچنین (Yilmaz et al, 2017) نا ایستایی بارش فرین و تغییرات مکانی بارش را در ارتباط با شدت، مدت و فراوانی در ناحیه ویکتوریای استرالیا بررسی کردند. در ابتدا فراوانی فرین‌ها را بر اساس تابع توزیع تعمیم‌یافته در شرایط ایستا و نا ایستا بررسی کردند. نتایج حاکی از کاهش شدت بارش در غرب ناحیه و افزایش شدت بارش در مرکز و شمال ناحیه با تداوم‌های کوتاه و تداوم‌های طولانی بارش در ناحیه «گیس لندن» می‌باشد. بررسی‌های تغییرات و روند بارش فرین توسط (Zilli et al, 2017) در جنوب شرق سواحل برزیل، (Katiraie et al, 2017) در بررسی نمایه‌های فرین بارش در نواحی نیمه‌خشک جنب حاره، (Shrestha et al, 2017) در بررسی روندها و تغییرات فرین بارش و دما در حوضه رودخانه کوشی (بین چین و نپال و هند)، (Irannezhad et al, 2017) در بررسی تغییرات و روندهای فرین بارش در فنلاند و ارتباطشان با الگوهای گردش جوی را می‌توان نام برد (et al, 2017) (Mehlat). رواناب حوضه آبریز دره کشمیر در هند را بر اساس انواع روش‌های رگرسیونی الگوسازی کردند و بهترین الگوی رگرسیونی را بر اساس مقدار ضریب تعیین ( $r^2$ ) بالا و ریشه دوم میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ ) و میانگین مربعات خطای ( $MSE$ ) پایین انتخاب کردند. همچنین (Guclu, 2018) با به‌کارگیری روش‌های شیب سن، من کندال، اسپیرمن و روش رگرسیون خطی و با کاربرد منحنی فراوانی - شدت و مدت (FID) <sup>۱</sup> به‌جای منحنی شدت - مدت و فراوانی (IDF) <sup>۲</sup> تغییرات شدت و مدت و فراوانی بارش فرین در ایستگاه فلوریا استانبول را برای بازه ۶۶ ساله بررسی کرده و دریافت که روندهای منفی در این ایستگاه اتفاق افتاده است (Xin et al, 2018).

تغییرات و روند بارش‌های فرین (فراوانی - شدت) سنگاپور را در بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۸۰ بر اساس آزمون من کندال و روش رگرسیون خطی بررسی کردند. نتایج مطالعه ایشان افزایش معنی‌داری در فراوانی و شدت بارش فرین سنگاپور را نشان داد (Shi et al, 2018). معنی‌داری روند خطی دما و بارش فرین را در چین برای بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۶۱ و بر پایه آزمون من کندال بررسی کردند و در زمینه تغییرات فرین‌های بارش نتیجه گرفتند که روند روزهای خشک متوالی و تر متوالی به‌طور معنی‌داری در حال کاهش است. تغییرات بلندمدت ویژگی بارش‌های فرین در ایران در مقیاس‌های مختلف سیاسی (نظیر یک شهر یا بهینه یک استان) یا ناحیه‌ای (مثلاً نواحی اقلیمی کشور

1 Frequency-intensity-duration

2 Intensity-duration-frequency

نظیر شمال غرب، غرب و ...) و یا در کل کشور و نیز در مقیاس‌های زمانی مختلف و بعضاً به همراه فرین‌های دما مورد بررسی پژوهشگران بسیاری بوده است. برخی از پژوهش‌های انجام‌شده در چند سال اخیر در زیر آمده‌اند (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶): باهدف تحلیل روند نمایه‌های فرین بارش در ایران نمایه‌های بیشینه بارش یک‌روزه، بیشینه بارش ۵ روز متوالی و نمایه ساده شدت بارش و... را محاسبه و روند تغییرات آن‌ها را بررسی کرده‌اند و هر سه حالت ایستا، روند مثبت و منفی را از بررسی نمایه‌ها در سطح کشور به دست آورده‌اند (کتیرایی و همکاران، ۱۳۸۶). سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه، فصلی و سالانه در روند بارش ایران را برای بازه زمانی ۲۰۱۱-۱۹۶۰ با استفاده از آزمون من‌کندال و کمینه مربعات خطا بررسی کردند. نتایج کار ایشان نشان داد که اغلب ایستگاه‌ها در منطقه غرب و شمال غرب کشور دارای روند بارش سالانه کاهشی و در نواحی جنوبی و مرکزی دارای روند افزایشی می‌باشد. فصل زمستان روند افزایشی و فصل بهار در اغلب ایستگاه‌ها روند کاهشی و فصل پاییز افزایشی بوده است. همچنین (بابایی فینی و همکاران، ۱۳۹۳) اثر تغییر اقلیم بر روند نمایه‌های فرین بارش ایران‌زمین را بر اساس دو سناریو A2 و A1B بر اساس مدل HADCM3 بررسی کردند، روند افزایشی بیشینه بارش یک‌روزه، افزایش روند تعداد روزهای خشک متوالی در برخی نقاط کشور از نتایج بررسی سناریو A2 و کاهش مقدار بارش ۲۴ ساعته در برخی مناطق کشور از نتایج کاربرد سناریو A1B می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶).

نمایه‌های فرین بارش روزانه در ایران را بر اساس داده‌های بارش ۲۴ ساعته ۴۷ ایستگاه همدید طی دوره ۲۰۱۲-۱۹۸۲ و بر اساس نمایه‌های تعریف‌شده به‌وسیله ETCCDMI بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در بیشتر ایستگاه‌ها بارش سالانه کاهش و تعداد روزهای خشک و همچنین بارش‌های سنگین و نیمه سنگین روزهای مرطوب و فوق‌العاده مرطوب افزایش یافته است. سهم تغییرات در ایستگاه‌های واقع در سواحل شمال و جنوب بیشتر بوده است. بررسی و واریسی روند فرین‌های بارشی در مقیاس‌های ناحیه‌ای نیز به‌وسیله بسیاری از متخصصین انجام‌شده است. در زیر برخی از این تلاش‌ها ارائه می‌شود (کوزه‌گران و همکاران، ۱۳۹۴): در بررسی روند رویدادهای فرین (بارش و دما) در شمال شرق ایران از ۲۷ نمایه کارگروه متخصصین پایش اقلیم (ETCCDMI)<sup>۱</sup> بهره گرفته و با آزمون نا پارامتریک من-کندال روند فراسنج‌های اقلیمی را بررسی کردند. ایشان در زمینه نمایه‌های بارش فرین به این نتیجه رسیدند که در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی روند کاهشی و منفی بارش رخ داده است. باین وجود روند مزبور در شمار کمی از ایستگاه‌ها به لحاظ آماری معنی‌دار بوده است (مظفری و همکاران، ۱۳۹۵).

به آشکارسازی و واکاوی روند بارش‌های فرین مناطق غربی ایران پرداخته‌اند. ایشان با به‌کارگیری روش توزیع فرین تعمیم‌یافته آستانه بارش سالانه را استخراج و سپس روند بارش‌های فرین را برای هر ماه با روش نا پارامتریک من‌کندال بررسی کرده‌اند. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که فراوانی روزهای توأم با بارش‌های فرین در ۱۲ ماه

سال به‌جز در بخش‌هایی از ایلام، با روند منفی و کاهشی توأم بوده است. در راستای آشکارسازی روند فراسنج‌های اقلیمی، پژوهش‌های بسیاری در مقیاس‌های استانی و نواحی کوچک‌تر انجام گرفته است که از این دست پژوهش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۴): روند نمایه‌های فرین دما و بارش تهران را با به‌کارگیری نمایه‌های آشکارسازی تغییر اقلیم سازمان جهانی هواشناسی و کمیته اقلیم‌شناسی بررسی کرده‌اند و بدین نتیجه رسیدند که نمایه‌های فرین بارش روند کاهشی با شیب بسیار کم داشته‌اند (رحیم زاده، ۱۳۹۰).

با کاربرد داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های استان هرمزگان، تغییرات میانگین‌های فصلی و سالانه بارش و روندهای مقادیر فرین آن‌ها را بررسی کردند. نتایج کار آن‌ها نشان می‌دهد که میزان بارش استان هرمزگان کاهش یافته است و ادامه آن تداوم خشک‌سالی در سال‌های آتی را در پی دارد. به‌علاوه، میزان بارش در تعداد روزهای کمتری به وقوع پیوسته و رخدادهای بارش نسبتاً سنگین افزایش یافته است (عساکره، ۱۳۹۱). تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان را با استفاده از روش توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته بررسی کرد و نتیجه گرفت که فراوانی و مقدار بارش‌های سنگین و سبک به سمت کاهش میل می‌کند (خورشید دوست و همکاران، ۱۳۹۲). نمایه‌های فرین دما و بارش را برای ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در بازه زمانی ۲۰۰۹-۱۹۶۱ بررسی کردند و نشان دادند نمایه‌های فرین بالای بارش روند کاهشی با شیب بسیار کم داشته است و نمایه‌های فرین پایین نیز روند افزایشی ضعیفی را نشان می‌دهد (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۳). باهدف تحلیل روند و برآورد دوره‌های بازگشت دما و بارش‌های فرین در تبریز، ۲۷ نمایه مرتبط با دما و بارش‌های فرین در تبریز را برای دوره ۲۰۱۱-۱۹۶۱ و با استفاده از آزمون نا پارامتریک من‌کنندال و برآوردگر شیب سن بررسی کرده و نتیجه گرفتند که بارندگی بیش از آستانه صدک ۹۵ و ۹۹ روند نزولی معنی‌دار دارد. (دارند، ۱۳۹۳) از داده‌های روزانه بارش و دمای کمینه و بیشینه با استفاده از ۲۷ نمایه پیشنهادشده توسط *ETCCDMI* و بر اساس روش آزمون نا پارامتریک من‌کنندال و من‌کنندال اصلاح‌شده معنی‌داری نمایه‌ها را برای ایستگاه سینوپتیک ارومیه واریسی نموده و با به‌کارگیری برآوردگر شیب سن نشان دادند که تغییرات بارش فرین طی دوره مورد مطالعه روند نزولی معنی‌داری داشته است. همچنین بسامد رخداد بارش‌های سنگین، ابرسنگین و میزان کل بارش ارومیه به‌شدت کاسته شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). در بررسی روند یازده نمایه فرین بارش در خراسان نشان دادند که در برخی ایستگاه‌های همدید خراسان روندها افزایشی و در برخی ایستگاه‌ها روند نمایه‌ها کاهشی می‌باشد. ایشان این روند را به نقش مؤثرتر عرض جغرافیایی در قیاس با ارتفاع نسبت می‌دهند (سهرابی و همکاران، ۲۰۰۹).

رخدادهای فرین دما و بارش را در سمنان در بازه زمانی ۲۰۰۶-۱۹۶۶ بررسی کردند و نشان دادند که نمایه‌های شدت بارش روند کاهشی داشته‌اند. در زمینه بارش‌های فرین و فراگیر ناحیه خزری مطالعات محدود و با رویکرد همدید می‌باشد (مفیدی و همکاران، ۱۳۸۶) الگوهای همدید بارش‌های شدید و حدی پاییزه سواحل جنوبی خزر را

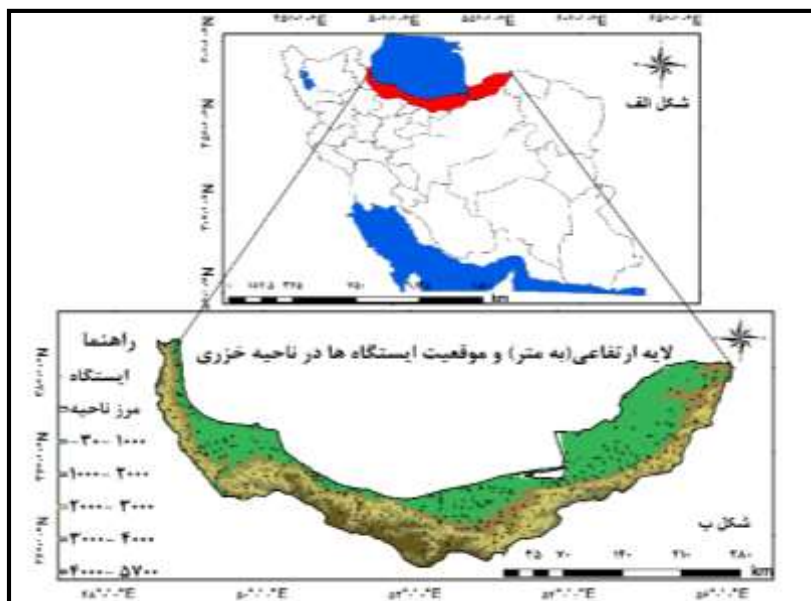
با آستانه ۱۰٪ از مقدار بارش بررسی و سه الگوی همدیدی پرفشار، کم‌فشار و زوجی را شناسایی کردند (حلبیان، ۱۳۹۰). بارش‌های حدی و فراگیر کرانه‌های غربی خزر را با تأکید بر الگوهای ضخامت جو بر اساس شاخص صدک ۹۹ام با تحلیل خوشه‌ای بررسی کردند و نشان دادند استقرار فرود بر بخش‌های شمالی و شمال‌غرب دریای خزر زمینه بارش‌های حدی و فراگیر را فراهم می‌کند همچنین ایشان در تحقیقی دیگر (حلبیان، ۱۳۹۵) نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق پیشین خود را تأیید کردند (حلبیان و همکاران، ۱۳۹۵). بارش‌های حدی و فراگیر در کرانه‌های شرقی خزر را بر اساس بیشینه و درصد مساحت زیر بارش بررسی کردند و با تحلیل خوشه‌ای پنج الگوی بارشی را برای بارش‌های کرانه‌های شرقی خزر استخراج کردند (سلیقه و همکاران، ۱۳۹۵).

بارش‌های فراگیر پاییزه سواحل جنوبی خزر را با بررسی رابطه شاخص‌های NCPI (شاخص دریای شمال-دریای خزر) و CACO (شاخص نوسان آفریقای مرکزی-خزر) با تحلیل خوشه‌ای بررسی کردند و الگوی پرفشار را برای بارش‌ها استخراج نمودند ضمن اینکه این شاخص‌ها ارتباط معنی‌دار با بارش فراگیر نشان دادند. پژوهش‌های مربوط به بارش‌های فرین و فراگیر ناحیه خزری به تعداد محدود و بیشتر با رویکرد همدیدی انجام شده است و از منظر تحلیل آماری کمتر به این بعد توجه شده است لذا با توجه به اهمیت رفتار بارش فرین و تغییرات آن در این پژوهش به بررسی روند فراوانی و متوسط شدت بارش فرین بالا و فراگیر در ناحیه خزری پرداخته شده است بدین دلیل که نوسانات افزایشی و کاهش بارش‌های فرین می‌تواند بر اکوسیستم منطقه تأثیر داشته و مدیریت و برنامه‌ریزی را با مسائل جدی مواجه کند.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در شکل (۱- الف و ب) موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر نشان داده شده است. سواحل جنوبی خزر شامل سه استان گیلان، گلستان و مازندران با مساحتی بالغ بر ۵۸۱۶۷ کیلومتر مربع با مختصات ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی - ویژگی‌های ارتفاعی ناحیه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر برای دوره ۲۰۱۶-۱۹۶۶

## ۲-۲- استخراج داده

به منظور بررسی فراوانی و متوسط شدت رخداد بارش‌های فرین بالا و فراگیر حاصل از آستانه صدک ۹۵-۹۰، ۹۵-۹۹ (بارش شدید) و ۹۹ و بیشتر (بارش خیلی شدید)، از آمار بارش‌های روزانه ایستگاه‌های همدید، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی سازمان هواشناسی کشور و باران‌سنجی وزارت نیرو در ناحیه خوزی برای بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۶۶ (۵۱ سال) استفاده شده است (شکل ۱-ب). به دلیل یکسان نبودن طول دوره آماری ایستگاه‌ها و عدم پراکندگی یکنواخت آن‌ها و نیز به منظور تبدیل داده‌های نقطه‌ای به مقادیر پهنه‌ای، از روش کریجینگ به عنوان روش بهینه برای میانابی مشاهدات استفاده گردید (عساکره، ۱۳۸۷). بدین ترتیب طول زمان و توزیع مکانی مشاهدات یکنواخت شد. برای انجام فرایند میانابی از ۳۸۵ ایستگاه که طول دوره آماری طولانی داشته و همگنی آن‌ها به وسیله آزمون همگنی الکساندرسون ارزیابی و تأیید شد، استفاده گردید (Alexandersson, 1986). حاصل فرایند میانابی داده‌های بارش روزانه، ماتریسی با ابعاد  $18628 \times 6479$  (سطرها یاخته و ستون‌ها روزهای بارش) است؛ بنابراین توان تفکیک مکانی نقشه‌های حاصل از میان‌یابی  $3 \times 3$  کیلومتر است. برای بررسی بارش‌های فرین در آب‌وهواشناسی تعاریف و نمایه‌های متعدد مطلق و نسبی (به صورت نمایه مساحت منحنی هم بارش خاص، نمایه آستانه درصدی، نمایه پایه صدک و...) ارائه شده است (مفیدی، ۱۳۸۶)، (Alexander et al, 2006). نمایه پایه صدک روشی برای تعیین تعداد روزهای دارای بارش شدید و فرین، بر اساس آستانه صدک خاص است. این نمایه به ویژه در بررسی روند تغییرات بارش‌های فرین، بسیار کاربرد دارد. بر اساس توافق بین‌المللی، از تعداد کل روزهای بارشی، روزهای برابر یا بالاتر از

صدک ۹۵ ام و ۹۹ ام به ترتیب به‌مثابه روزهای دارای بارش شدید و بارش فرین در نظر گرفته می‌شود (مفیدی، ۱۳۸۶).

$$P_a = \frac{an}{100} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$P_a$  صدک مورد نظر،  $a$  صدک مورد نظر و  $n$  طول دوره آماری است. براین اساس در پژوهش حاضر از آستانه صدک ۹۵-۹۰، آستانه صدک ۹۵-۹۹ به‌عنوان نمایه بارش‌های شدید و صدک ۹۹ و بیشتر به‌عنوان نمایه بارش‌های خیلی شدید اختیار شد (رابطه ۱). بدین ترتیب آستانه صدک بارش‌ها برای هر یاخته و در هر روز سال در پهنه مورد بررسی و درصد پهنه زیر بارش (رابطه ۲) با استفاده از برنامه‌نویسی محیط نرم‌افزار متلب محاسبه شد.

$$\text{رابطه (۲)} = \left( \frac{\text{تعداد یاخته بیش‌های از آستانه صدکی مورد نظر}}{\text{تعداد کل یاخته حاصل‌های از میان‌بایی}} \right) \times 100 = \text{درصد پهنه زیر بارش منطقه}$$

در گام بعدی فراوانی و متوسط شدت بارش‌های فرین و فراگیر برای تداوم‌های یک تا پنج روزه محاسبه گردید. منظور از فراوانی رخداد بارش فرین، تعداد روزهای توأم با بارش‌های صدک‌های بالا در ماه‌های مختلف است، که مجموع این فراوانی‌ها در هر ماه برای کل دوره آماری محاسبه شده است. متوسط شدت بارش به مقدار بارش در واحد زمان (میلی‌متر در روز) گفته می‌شود (رابطه ۳).

$$\text{رابطه (۳)} = \frac{\text{متوسط بارش فرین در یاخته}}{\text{مجموع فراوانی در یاخته}} = \text{متوسط شدت بارش}$$

در نهایت به‌منظور الگوسازی رفتار بلندمدت بارش‌های فرین و فراگیر الگوهای خطی و غیرخطی رگرسیونی (۳۵ مدل اصلی) با به‌کارگیری نرم‌افزار curve expert بر داده‌ها برازش یافت. تحلیل رگرسیون، تکنیک آماری برای تحلیل و به مدل درآوردن ارتباط بین متغیرهاست (بازرگان لاری، ۱۳۸۵). بررسی و شناخت رفتار بین متغیرها اساس کار رگرسیون است. یکی از روابط قابل توجه در مطالعات اقلیم‌شناختی، روابط متغیرهای آب‌وهوایی با زمان است. در این زمینه زمان متغیر مستقل و متغیر اقلیمی متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود. الگوی رگرسیونی وسیله‌ای جهت تشریح دو مفهوم اساسی تغییرپذیری متغیر وابسته ( $y$ ) در اثر تغییر متغیر مستقل ( $x$ ) است (آذر و همکاران، ۱۳۸۷)؛ بنابراین در تحلیل زمانی، ساده‌ترین تعریف از روند تغییرات عناصر اقلیمی، به‌وسیله رگرسیون بیان می‌شود. در شرایط



معمول و بسیار ساده بهترین خطی که بر مختصات نقاط حاصل از دو متغیر  $x$  و  $y$  بر یک صفحه وجود دارد، تعیین می‌گردد. این نوع رگرسیون به رگرسیون خطی موسوم است. در غالب شرایط روابط متغیرهای اقلیمی (در اینجا نمایه‌های فرین بارش و زمان) را نمی‌توان به وسیله یک خط ارائه داد؛ بنابراین می‌بایست رگرسیون غیرخطی (لگاریتمی، نمایی، سهمی، ....) را برای الگوسازی روابط بکار برد. رگرسیون غیرخطی روشی برای یافتن مدلی غیرخطی در جهت یافتن رابطه میان متغیر وابسته و مستقل می‌باشد. پس از برازش الگو بر داده‌ها، معنی‌داری ضرایب معادله رگرسیون واریسی شد. بدین منظور مقدار آماره  $t$  استیودنت برای معنی‌داری ضرایب رگرسیون بررسی شد. مدلی که بر اساس ضرایبی با خطای  $0/05$  معنی‌دار شکل می‌گرفتند، به‌عنوان الگوی برازنده تلقی می‌شد. سپس با استفاده از نمایه‌های ضریب تعیین  $(r^2)$  (رابطه ۴) میانگین مجذور مربعات خطا ( $RMSE$ ) از میان الگوهای برازش یافته الگوی مناسب اختیار می‌شد. ضریب تعیین معیاری بدون بعد است. مجموع مجذور انحراف مشاهدات حول

میانگین یعنی  $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ ، کل تغییراتی است که در مشاهدات وجود دارد. همچنین اگر  $\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2$  را مجذور خطا یا تغییرات توضیح داده نشده به وسیله خط (یا منحنی) رگرسیون بدانیم، نسبت این دو بیان‌گر نسبت تغییرات توضیح داده نشده با خط رگرسیون نسبت به کل تغییرات است؛ (عساکره، ۱۳۹۰):

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در بهترین مقدار ضریب تعیین برابر یک می‌باشد. میانگین مربعات خطا نشان‌دهنده میزان خطای الگو می‌باشد که بهترین مقدار آن‌ها برابر صفر است و از طریق رابطه (۵) محاسبه می‌شوند (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵):

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در روابط فوق  $p$  و  $o$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد. آستانه صدک‌های موردبررسی صدک ۹۰-۹۵ و ۹۵-۹۹ برای بارش شدید و بالاتر از صدک ۹۹ برای بارش بسیار شدید) که به‌طور فراگیر رخ داده باشند، به لحاظ فراوانی و متوسط شدت بارش به‌عنوان متغیر مستقل و زمان به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و در سطح ۹۵٪ اطمینان مدل‌های بهینه برای هر یک از نمایه‌های بارش فرین بالا (فراوانی و متوسط شدت) برازش داده و ارزیابی شد.

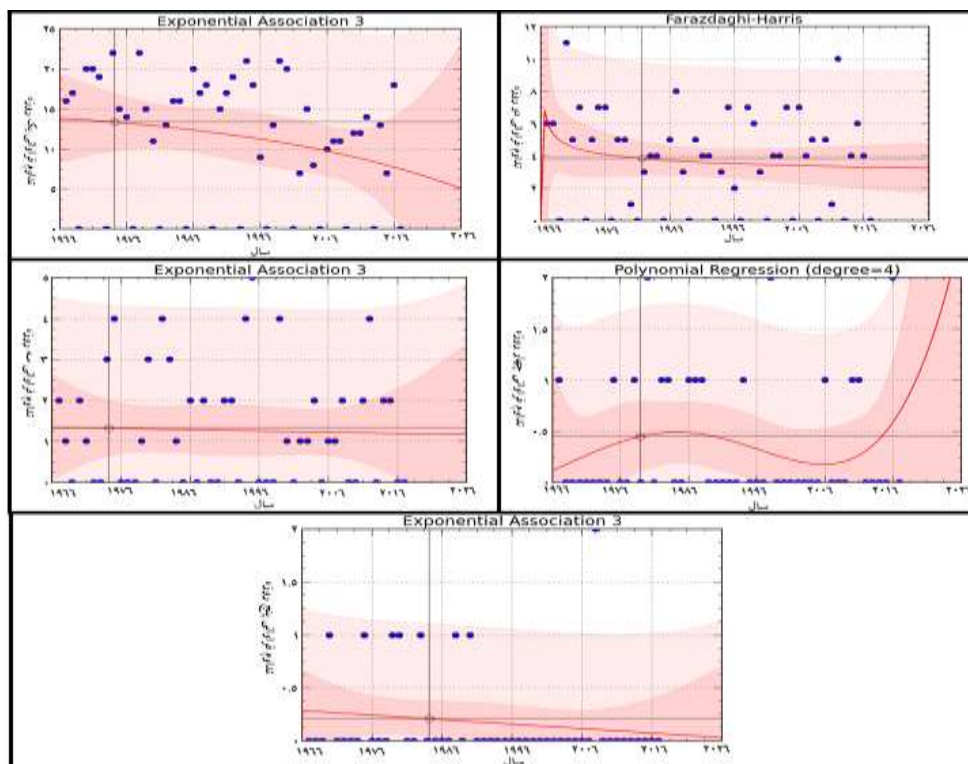
## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- بارش‌های شدید

جدول ۱ مدل‌های بهینه برای فراوانی‌های یک تا پنج روز بارش‌های شدید (آستانه صدک ۹۵-۹۰) را نشان می‌دهد. شکل ۲ نیز الگوی مدل برازش یافته بر فراوانی یک تا پنج روزه را نمایش می‌دهد. طبق جدول ۱ و شکل ۲ ضریب تعیین داده‌ها بسیار پایین و نشان از عدم کفایت الگوها دارد. بیشترین ضریب تعیین برای تداوم یک روزه و کمترین آن برای تداوم سه روزه می‌باشد. بیشترین خطای استاندارد مدل برای تداوم یک روزه و کمترین آن برای تداوم پنج روزه می‌باشد.

جدول ۱- مدل بهینه روند برای فراوانی بارش شدید و فراگیر (آستانه صدک ۹۵-۹۰) ناحیه خزری

تداوم فراوانی	معادله	ضرایب رگرسیون	SE	R <sup>2</sup>	RMSE	نام مدل
یک روزه	$y = a(b - e^{-cx})$	a=1.93	۷/۵۸	۰/۰۵۸	۲۷/۷۶	Exponential Association 3 نمایی
		b=8.17				
		C=- 0.03				
دوروزه	$y = 1/(a + bx^c)$	a=-11.4	۲/۹۱	۰/۰۳۵	۳۱/۸۰	Farazdaghi-Harris فرزدق-هریس
		b=11.56				
		c=-0.002				
سه روزه	$y = a(b - e^{-cx})$	a=-16.13	۱/۴۶	۰/۰۰۱	۳۳/۶۷	Exponential Association 3 نمایی
		b=0.91				
		C=0.0002				
چهار روزه	$y = a + bx + cx^2 - cx^3 + ex^4$	a=0.12	۰/۶۱	۰/۰۰۴	۳۴/۰۶	Polynomial Regression (degree=4) رگرسیون چندجمله‌ای (درجه ۴)
		b=0.03				
		c=-0.0008				
		d=-0.00009				
		e=0.000001				
پنج روزه	$y = a(b - e^{-cx})$	a=-201.34	۰/۴۴	۰/۰۲۱	۳۴/۶۲	Exponential Association 3 نمایی
		b=1				
		c=0.00002				



شکل ۲- برازنده‌ترین الگوهای ارتباط تداوم فراوانی - زمان بارش شدید و فراگیر (آستانه ۹۰-۹۵) ناحیه خزری

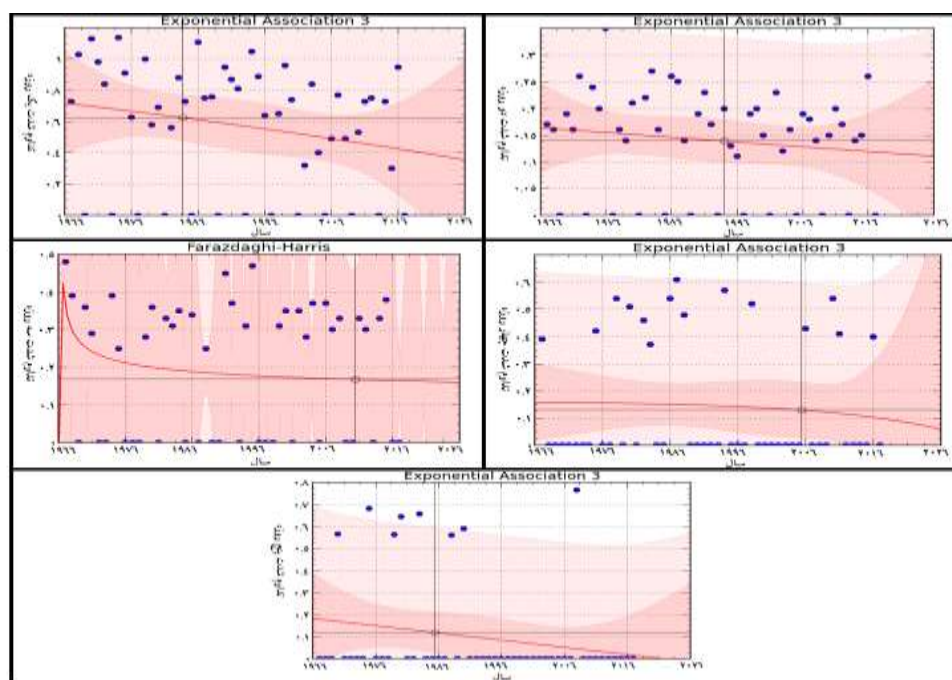
جدول ۲ و شکل ۳ مدل‌های رگرسیون بهینه برازش یافته بر متوسط شدت بارش‌های شدید (آستانه صدک ۹۵-۹۰) با تداوم یک تا پنج روزه را نشان می‌دهد. مقادیر ضریب تعیین کم، ناشایستگی الگوها را برای واکاوی روند بیان می‌دارد. خطاهای بالا بر اساس نمایه‌های  $R^2$  و RMSE بر این ناشایستگی گواهی می‌دهد. در این الگوها کمترین ضریب برای شدت دو روزه و بیشترین آن مربوط به تداوم یک روزه می‌باشد. کمترین خطای استاندارد مدل برای تداوم دو روزه و بیشترین آن برای تداوم یک روزه است.

جدول ۲- مدل بهینه روند برای شدت بارش شدید و فراگیر (آستانه صدک ۹۰-۹۵) ناحیه خزری

تداوم شدت بارش	معادله	ضرایب رگرسیون	SE خطای استاندارد مدل	$R^2$	RMSE	نام مدل
یک روزه	$y = a(b - e^{-cx})$	a=0.85 b=1.58 C= 0.006	۰/۳۸	۰/۰۵	۳۴/۳۰	Exponential Association 3 نمایی

ادامه جدول ۱

تداوم شدت بارش	معادله	ضرایب رگرسیون	SE خطای استاندارد مدل	$R^2$	RMSE	نام مدل
دو روزه	$y = a(b - e^{-cx})$	a=-1.66	۰/۰۹	۰/۰۲۰	۳۴/۶۱	Exponential Association 3 نمایی
		b=0.90				
		c=0.0005				
سه روزه	$y = 1/(a + bx^c)$	a=-205.32	۰/۱۸	۰/۰۲۴	۳۴/۵۷	Farazdaghi-Harris فرزدق-هریس
		b=208.10				
		C=0.0004				
چهار روزه	$y = a(b - e^{-cx})$	a=0.003	۰/۲۳	۰/۰۰۵۶	۳۴/۶۲	Exponential Association 3 نمایی
		b=43.90				
		c=-0.06				
پنج روزه	$y = a(b - e^{-cx})$	a=-55.54	۰/۲۳	۰/۰۴۴	۳۴/۶۸	Exponential Association 3 نمایی
		b=0.1				
		c=0.00006				



شکل ۳- برازنده‌ترین الگوهای ارتباط متوسط شدت - زمان بارش فرین بالا و فراگیر (آستانه صدک ۹۰-۹۵) ناحیه خزری

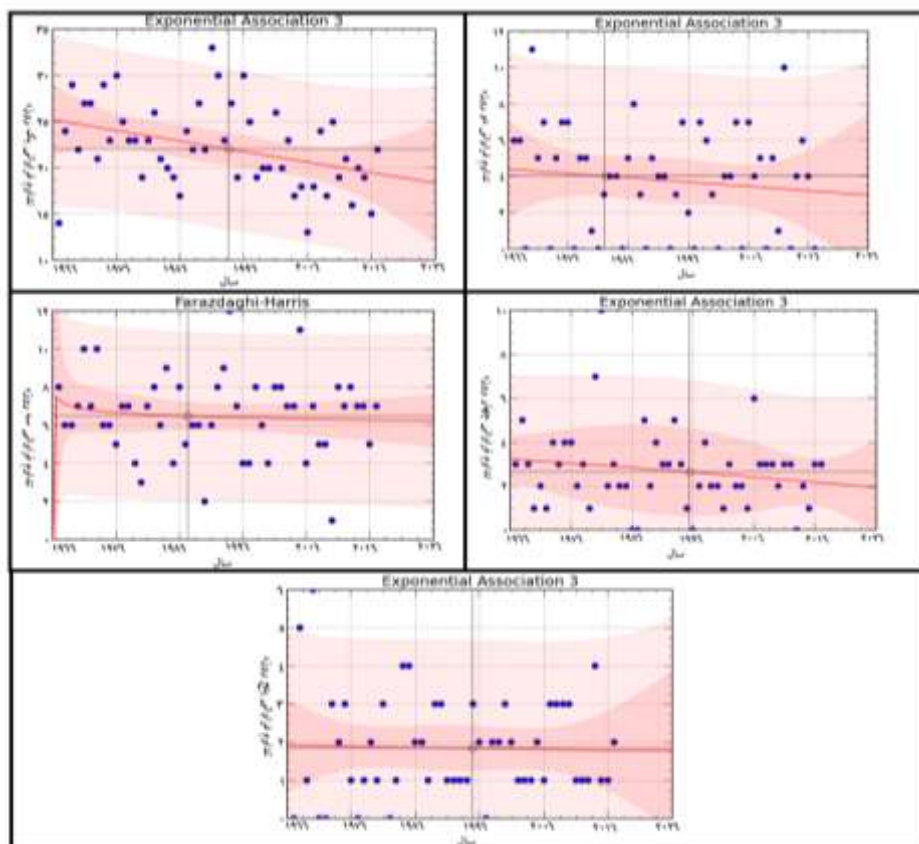
برای آستانه صدک ۹۹-۹۵ تنها یک رویداد ثبت شده است (۱۹۸۹/۲/۲)؛ بنابراین امکان برازش مدل برای رویداد مهیا نیست. از این رو در اینجا محاسبات مزبور نیامده است.

### ۳-۲- بارش‌های بسیار شدید

جدول ۳ و شکل ۴ بهینه‌ترین الگو را برای فراوانی بارش‌های بسیار شدید و فراگیر و نیز برای تداوم‌های یک تا پنج روز نشان می‌دهد. مقادیر ضریب تعیین نشان می‌دهد که درصد کمی از تغییرات فراوانی بارش‌های بسیار شدید و فراگیر می‌تواند به وسیله الگوهای رگرسیونی توجیه شوند. بیشترین ضریب تعیین برای تداوم فراوانی یک روزه و کمترین آن برای تداوم فراوانی پنج روزه می‌باشد. کمترین خطای مدل مربوط به فراوانی پنج روزه و بیشترین خطا مربوط به مدل فراوانی دو روزه می‌باشد. با توجه به خط رگرسیون، داده‌ها پراکنش مناسبی در اطراف خط برازش یافته ندارند.

جدول ۳- مدل بهینه روند برای فراوانی بارش‌های بسیار شدید و فراگیر (آستانه صدک ۹۹ و بیشتر) ناحیه خزری

نام مدل	RMSE	R <sup>2</sup>	SE	ضرایب رگرسیون	معادله	تداوم فراوانی
Exponential Association 3 نمایی	۲۱/۱۳	۰/۱۵	۴/۲۲	a=-246.28	$y = a(b - e^{-cx})$	یک روزه
				b=0.90		
				C= 0.0005		
Exponential Association 3 نمایی	۱۲/۳۹	۰/۰۰۴	۱۵/۱۴	a=1.34	$y = a(b - e^{-cx})$	دو روزه
				b=22.05		
				c=-0.07		
Farazdaghi-Harris فرزدق-هریس	۲۹/۴۱	۰/۰۱۱	۲/۱۵	a=-3.37	$y = 1/(a + bx^c)$	سه روزه
				b=3.51		
				C=0.002		
Exponential Association 3 نمایی	۳۲/۶۸	۰/۰۳۰	۱/۸۲	a=3.66	$y = a(b - e^{-cx})$	چهار روزه
				b=1.89		
				c=-0.005		
Exponential Association 3 نمایی	۳۳/۱۶	۰/۰۰۰۷	۱/۳۷	a=13.49	$y = a(b - e^{-cx})$	پنج روزه
				b=1.14		
				c=-0.0002		

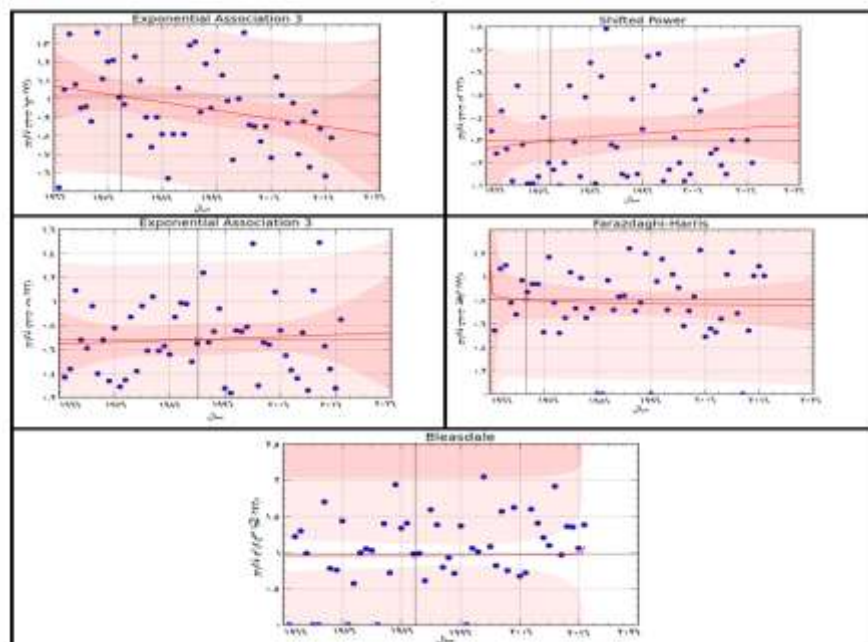


شکل ۴- برازنده‌ترین الگوهای ارتباط فراوانی - زمان بارش بسیار شدید و فراگیر ناحیه خزری (آستانه صدک ۹۹ و بیشتر)

در جدول ۴ و شکل ۵ مدل‌های بهینه رگرسیونی برای شدت بارش فرین بالا و فراگیر در ناحیه خزری نشان داده شده است. بیشترین ضریب تعیین مربوط به تداوم شدت یک روزه و کمترین آن مربوط به تداوم‌های چهار و پنج روزه می‌باشد. مقدار پایین ضریب تعیین نشان می‌دهد که درصد کمی از روند تغییرات شدت بارش با این الگوها قابل توضیح است و در تغییرات متغیر مستقل عوامل دیگر تأثیر دارند. خطاهای بالای حاصل از  $R^2$  و RMSE مدل رگرسیون و پیش‌بینی داده‌ها بیانگر عدم تناسب مدل رگرسیونی بر داده‌ها می‌باشد. همچنین روند بر داده‌های تداوم شدت بارش حاکم نیست. بیشترین خطای استاندارد مدل مربوط به مدل تداوم پنج روزه و کمترین خطا مربوط به تداوم شدت دو روزه است.

جدول ۴- مدل بهینه روند برای شدت بارش‌های بسیار شدید و فراگیر (آستانه صدک ۹۹ و بیشتر) ناحیه خزری

نام مدل	RMSE	R <sup>2</sup>	SE	ضرایب رگرسیون	معادله	تداوم شدت بارش
Exponential Association 3 نمایی	۳۳/۹۵	۰/۱۴	۰/۲۱	a=-8.09	$y = a(b - e^{-cx})$	یک روزه
				b=0.87		
				C= 0.0006		
Shifted Power توانی انتقالی	۳۴/۴۳	۰/۰۲	۰/۱۹	a=0.17	$y = a(x - b)^c$	دو روزه
				b=-11.16		
				c=0.18		
Exponential Association 3 نمایی	۳۴/۱۶	۰/۰۰۶	۰/۳۱	a=-5.3	$y = a(b - e^{-cx})$	سه روزه
				b=0.88		
				C=-0.0003		
Farzadaghi-Harris فرزدق-هریس	۳۴/۰۶	۰/۰۰۴	۰/۳۲	a=0.92	$y = 1/(a + bx^c)$	چهار روزه
				b=0.27		
				c= 0.09		
Bleasdale	۷۷/۴۷	۰/۰۰۵	۰/۵۳	a=179.93	$y = (a + bx)^{-1/c}$	پنج روزه
				b=-3.53		
				c=134.33		



شکل ۵- برازنده‌ترین الگوهای ارتباط متوسط شدت - زمان بارش بسیار شدید و فراگیر (آستانه ۹۹ و بیشتر) ناحیه خزری

## ۴- جمع‌بندی

در زمینه مطالعات بارش‌های فرین و فراگیر ناحیه خزری مطالعات محدود و بیشتر با تأکید بر رویکردهای همدیدی انجام گرفته است از جمله این مطالعات می‌توان به (مفیدی و همکاران، ۱۳۸۶)، (حلبیان و همکاران، ۱۳۹۵، ۱۳۹۰)، (سلیقه، ۱۳۹۵) اشاره کرد. در این پژوهش واکاوی روند فراوانی و متوسط شدت بارش‌های فرین بالا و فراگیر ناحیه خزری برای دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۶۶ و بر اساس آستانه‌های ۹۵-۹۰، ۹۵-۹۹ و ۹۹ و بیشتر بررسی شده است. با توجه به همبستگی پایین بین متغیرهای مستقل و زمان و در نتیجه ضریب تعیین بسیار پایین بین متغیرها تغییرات این دو متغیر باهم بسیار کم می‌باشد، از این رو علیرغم وجود روند قابل توجه در مشاهدات که به‌طور تجربی قابل استنباط بوده و در طی چند سال اخیر محسوس می‌باشد، الگوهای رگرسیونی توانایی توجیه این تغییرات را نداشته‌اند؛ بنابراین به نظر می‌رسد حداقل در این مقوله و در بسیاری زمینه‌های دیگر این الگوها توانایی توجیه روند مشاهدات را ندارند؛ از این رو دو گروه روش‌های ارزیابی، شامل تحلیل مشاهدات بر مبنای دانش احتمال و فرایند تصادفی و نیز مطالعه مشاهدات از طریق روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی (نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی)، را می‌توان برای این قبیل مشاهدات توصیه نمود؛ بنابراین واکاوی احتمالاتی مشاهدات و نیز به‌کارگیری شبکه عصبی مصنوعی روش‌های پیشنهادی برای ارزیابی روند در مشاهدات است.

## کتابنامه

- احمدی، محمود؛ لشگری، حسن؛ آزادی، مجید؛ کیخسروی، قاسم؛ ۱۳۹۴. آشکارسازی تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش در خراسان بزرگ. پژوهش‌های دانش زمین. شماره ۲۳. ۵۲-۳۴.
- آذر، عادل؛ مؤمنی، منصور؛ ۱۳۸۷. آمار و کاربرد آن در مدیریت (جلد دوم). انتشارات سمت.
- بابایی‌فینی، ام‌السلیمه؛ قاسمی، الهه؛ فتاحی، ابراهیم؛ ۱۳۹۳. بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند نمایه‌های حدی بارش ایران زمین. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. شماره ۳. ۱۰۳-۸۵.
- بازرگان لاری، عبدالرضا؛ ۱۳۸۵. رگرسیون خطی کاربردی. چاپ اول. انتشارات دانشگاه شیراز.
- جهانبخش اصل، سعید؛ خورشید دوست، علی محمد؛ دین‌پژوه، یعقوب؛ سرافروزه، فاطمه؛ ۱۳۹۳. تحلیل روند و تخمین دوره‌های بازگشت دما و بارش‌های حدی در تبریز. جغرافیا و برنامه‌ریزی. شماره ۵۰. ۱۳۳-۱۰۷.
- حلبیان، امیرحسین؛ حسینعلی پورجزی، فرشته؛ ۱۳۹۰. شناسایی شرایط همدید بارش‌های حدی و فراگیر در کرانه‌های غربی خزر با تأکید بر الگوهای ضخامت جو. جغرافیا و پایداری محیط. شماره ۳. ۱۲۲-۱۰۱.
- حلبیان، امیرحسین؛ دهقانپور، علیرضا؛ عاشوری قلعه‌رودخانی، زینب؛ ۱۳۹۵. تحلیل همدید بارش‌های حدی و فراگیر در کرانه‌های شرقی خزر. جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۱۹. ۵۷-۳۷.



- خورشیددوست، علی محمد؛ زنگنه، سعید؛ زارعی، یوسف؛ ۱۳۹۲. تحلیل و بررسی روند شاخص‌های حدی دما و بارش بر اساس سری‌های زمانی روزانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در دوره آماری ۴۸ ساله (۲۰۰۹-۱۹۶۱). سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصص علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدن. ۷-۱. دارند، محمد؛ ۱۳۹۳. واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ارومیه به‌عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم. پژوهش‌های آب‌ونخاک. شماره ۲. ۲۹-۱.
- رحیم‌زاده، فاطمه؛ هدایت‌دزفولی، اکرم؛ ۱۳۹۰. ارزیابی روند و جهش نمایه‌های حدی دما و بارش در استان هرمزگان. جغرافیا و توسعه. شماره ۲۱. ۱۱۶-۹۷.
- سلیقه، محمد؛ ناصرزاده، محمدحسین؛ چهره‌آرا، ته‌مینه؛ ۱۳۹۵. بررسی رابطه شاخص‌های NCPI و CACO با بارش‌های فراگیر پاییزه سواحل جنوبی خزر. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۴۳. ۲۳۸-۲۱۷.
- عساکره، حسین؛ ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش. جغرافیا و توسعه. شماره ۱۲. ۴۲-۲۵.
- ؛ ۱۳۹۰. مبانی اقلیم‌شناسی آماری. چاپ اول. انتشارات دانشگاه زنجان.
- ؛ ۱۳۹۱. تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. شماره ۱. ۵۱-۶۶.
- عسگری، احمد؛ رحیم‌زاده، فاطمه؛ محمدیان، نوشین؛ فتاحی، ابراهیم؛ ۱۳۸۶. تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران. تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۳. ۵۵-۴۲.
- کارآموز، محمد؛ رضوانی، فرید؛ رضوی، سامان؛ ۱۳۸۵. پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی. هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران تهران.
- کتیرایی، پری‌سیما؛ حجام، سهراب؛ ایران‌نژاد، پرویز؛ ۱۳۸۶. سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۲۰۰۱-۱۹۶۰. فیزیک زمین و فضا. شماره ۱. ۸۳-۶۷.
- کوزه‌گران، سعیده؛ موسوی‌بایگی، محمد؛ ۱۳۹۴. بررسی روند رویدادهای حدی اقلیمی در شمال‌شرق ایران. نشریه آب‌ونخاک. شماره ۳. ۷۶۴-۷۵۰.
- محمدی مزرعه، حسین؛ تقوی، فرحناز؛ ۱۳۸۴. روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران. پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۳. ۱۷۲-۱۵۱.
- محمدی، حسین؛ عزیزی، قاسم؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ رنجبر، فیروز؛ ۱۳۹۶. تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش روزانه در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۱. ۳۷-۲۱.
- مظفری، غلامعلی؛ شفیع، شهاب؛ ۱۳۹۵. واکاوی زمانی - مکانی بارش‌های حدی مناطق غربی ایران. فصلنامه جغرافیایی سرزمین. شماره ۵۲. ۹۴-۷۷.
- مفیدی، عباس؛ زرین، آذر؛ جانباز قبادی، غلامرضا؛ ۱۳۸۶. تعیین الگوی هم‌دیدگی بارش‌های شدید و حدی پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر. فیزیک زمین و فضا. شماره ۳. ۱۵۴-۱۳۱.

- Alexander, L., Julie M., and Arblaster, d., 2017. Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. *Weather and Climate Extremes*, (Vol. 15), 34-56.
- Alexander, L.V., and 23 Co-authors., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, (Vol, 111), 1-22.
- Alexandersson, H., 1986. A Homogeneity Test Applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, (Vol, 6), 661-675.
- Bartolini, G., Morabito, M., Alfonso, C., Grifoni, D., Torrigiani, T., Petralli, M., Maracchi, G., and Orlandini, S., 2008. Recent trends in Tuscany (Italy) summer temperature and indices of extremes. *International journal of climatology*, 28(13), 1751-1760.
- Brown, P., Bradley S.R., Keimig, F. T., 2010. Changes in Extreme Climate Indices for the Northeastern United States, 1870–2005. *Journal of Climate*, (Vol, 23), 6555-6572.
- Chieh-Kao, S., and Ganguly, A.R., 2011. Intensity, duration, and frequency of precipitation extremes under 21st-century warming scenarios. *Journal of Geophysical Research*, 116(16), 1-14.
- Gajic-Capka, M., and Cindric, K., 2011. Secular trends in indices of precipitation extremes in Croatia, 1901-2008. *GEOFIZIKA*, (Vol, 28), 293-312.
- Guclu, Y.s., and Sisman, E., Yelegan, M. o., 2018. Climate change and frequency-intensity-duration (FID) curves for Florya station Istanbul. *Flood Risk Management journal*, 11(s1), 403-418.
- Irannezhad, M., Deliang C., Klove, B., Moradkhani, H., 2017. Analyzing the variability and trends of precipitation extremes in Finland and their connection to atmospheric circulation patterns. *International journal of climatology*, 37(s1), 1053-1066.
- Katirai-Boroujerdy, P.S., Ashore, H., Hsu, K.L., Sorooshian, S., 2017. Trends of precipitation extreme indices over a subtropical semi-arid area using PERSIANN-CDR. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(1-2), 249-260.
- Kegenhoff, I., Elizbarashvili, M., Amiri-Farahani, A., King, L., 2014. Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010. *Weather and Climate Extremes*, (Vol, 4), 75-85.
- Kendall, M.G., 1970. Rank Correlation Methods, 2nd Ed., and New York: Hafner.
- Klein tank, A., and Konnen, G.P., 2003. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99. *Journal of Climate*, 16(22), 3665-3680.
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend, *Econometrical*, (Vol, 13), 245-25.
- Manton, M.J, Della-Marta, P.M., Haylock, M.R., 2001. Trends In extreme Daily Rainfall and Temperature in Southeast Asia and south Pacific: 1961- 1998. *International Journal of Climatology*, 21(3), 269-284.
- Mehlat, S., Fazil, S.M., Syed Rouhullah, A., Pandey, Y., 2017. Modelling of Runoff Using Curve Expert for Dachigam –Telbal Catchment OF Kashmir Valley, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 3822-3826.
- Shi, J., Cui, L., Wen, K., Zhan, T., Wei, P., Zhang, B., 2018. Trends in the consecutive days of temperature and precipitation extremes in China during 1961–2015. *Environment Research*, (Vol, 161), 381-391.
- Shrestha, A., Sagar R.B, Sharm, A.R., Duo, C., Kulkarni, A., 2017. Observed trends and changes in daily temperature and precipitation extremes over the Koshi river basin 1975-2010. *International Journal of Climatology*, 37(2), 1066-1083.
- Sohrabi M., Jae H.R., Abatzoglou J., Tracy, J., 2012. Climate extreme and its linkage to regional droughtover Idaho, USA. *Natural Hazards*, 65(1):653-681.

- Sohrabi, M., Hyeon Ryu, J., Abatzoglou, J., Tracy, J., 2012. Climate extreme and its linkage to regional droughtover Idaho, USA. *Natural Hazards*, 65(1), 653-681.
- Sohrabi, M., Marofi, S., and Ababaei, B., 2009. Investigation of temperature and precipitation indices by using RCLimDex and R software in Semnan province. *International Conference on Water Resources*, 16-18 August. 341-348
- Xin, L., Wang, X., Babivic, V., 2018. Analysis of variability and trends of precipitation extremes in Singapore during 1980-2013. *International Journal of Climatology*, 38(1), 125-141.
- Yilmaz, A., G., Imteaz, M.A., and Perera, B.J.C., 2017. Investigation of non-stationary of extreme rainfalls and spatial variability of rainfall intensity-frequency-duration relationships: a case study of Victoria Australia. *International Journal of Climatology*, 37(1), 430-442.
- Zilli, T., M., Carvalho, M., V., Liebmann, B. A., Silva Dias, M., 2017. A Comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. *International Journal of Climatology*, 37(5), 2269-2279.