

## شناسایی و برآورد بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر بر اساس نظریه مقدار فرین

روح‌اله اوجی<sup>۱\*</sup>، پروین غفاریان<sup>۲</sup>

۱- استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه گیلان، رشت، پست الکترونیکی: [oji.ruhollah@gmail.com](mailto:oji.ruhollah@gmail.com)

۲- استادیار هواشناسی، پژوهشکده علوم جوی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، پست الکترونیکی: [p.ghafarian@inio.ac.ir](mailto:p.ghafarian@inio.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۳

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۵

### چکیده

بارش‌های فرین روزانه ۱۳ ایستگاه سینوپتیک واقع در سواحل جنوبی دریای خزر، طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۵۷ بر اساس دو رویکرد نظریه‌ی مقدار فرین مورد بررسی قرار گرفتند. در این بررسی پارامترهای توزیع‌های مذکور با استفاده از درست‌نمایی بیشینه و درست‌نمایی بیشینه‌ی تعمیم‌یافته برآورد شدند. همچنین سطح برگشت بارش‌های فرین هر ایستگاه در سطح اطمینان ۹۵٪ برای دوره‌های برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شدند. قبل از برآورد سطوح برگشت، بارش‌های فرین ایستگاه‌های مذکور به لحاظ ایستایی مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بارش‌های فرین ایستگاه انزلی بر اساس رویکرد حداکثر بلوک و ایستگاه‌های رامسر و مراوتپه بر اساس رویکرد فراتر از آستانه فاقد ایستایی بودند که در برازش مدل و برآورد سطوح برگشت مورد توجه قرار گرفتند. مقایسه نتایج براساس روش‌های گرافیکی و معیار آکائیکه نشان داد که رویکرد حداکثر بلوک براساس برآورد درست‌نمایی بیشینه، برازش بهتری با بارش‌های فرین اغلب ایستگاه‌های منطقه دارند. ایستگاه‌های رشت، انزلی، آستارا، نوشهر، رامسر و گرگان با دارا بودن سری زمانی طولانی‌تر، نتایج بهتری ارائه نمودند. بر اساس سطوح برگشت محاسبه شده با احتمال ۹۵٪ می‌توان اطمینان داد که بارش‌های فرین ایستگاه‌های ساحلی با نرخ بالاتری نسبت به سایر ایستگاه‌های منطقه افزایش خواهند داشت، در حالی که احتمالاً بارش‌های فرین ایستگاه‌های دیگر روند افزایش کندتری را تجربه خواهند نمود.

کلمات کلیدی: بارش فرین، نظریه مقدار فرین، رویکرد حداکثر بلوک، رویکرد فراتر از آستانه، سواحل جنوبی دریای خزر.

### ۱. مقدمه

وجود ندارند. فرین‌های آب و هوایی، تغییرات شدید غیرفصلی، غیرمنتظره، غیرمعمول و غیرقابل پیش‌بینی در وقوع کمیت‌های هواشناسی هستند که در یک مکان خاص، در بازه‌ی زمانی یک-ساله به ندرت اتفاق می‌افتند. اگر چه تعاریف متفاوتی از وقوع نادر یک رویداد وجود دارد، اما وقوع مقادیر فرین معمولاً به پایین‌تر از صدک دهم و بالاتر از صدک ۹۰ تابع چگالی احتمال

طبق تعریف، فرین‌ها<sup>۱</sup> رویدادهایی هستند که به ندرت اتفاق افتاده و به دلیل عدم کفایت و یا فقدان داده‌های مشاهداتی، نشانه‌های مستندی از آن‌ها در سری زمانی کمیت مورد بررسی

<sup>۱</sup> Extremes

اگرچه در زمینه‌ی بارش‌های فرین (سنگین) سواحل جنوبی دریای خزر، مطالعات زیادی در کشور صورت گرفته است؛ در اغلب این مطالعات، به شناسایی شرایط همدید، بررسی آماری-همدید و یا اثرات بعد از رویدادهای فرین پرداخته شده است (مرادی، ۱۳۸۵؛ لشکری و همکاران، ۱۳۸۷؛ جانبازقبادی و همکاران، ۱۳۹۰؛ ستوده و علیجانی، ۱۳۹۴؛ حلبیان و همکاران، ۱۳۹۵). مطالعات معدودی نیز در زمینه مدل‌سازی فیزیکی بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر (کارخانه و همکاران، ۱۳۹۵) انجام شده است. لذا در زمینه‌ی مطالعات مرتبط با بارش‌های فرین بر اساس نظریه‌ی مقدار فرین، مطالعات اندکی در کشور انجام شده است. به نحوی که به‌کارگیری نظریه‌ی مقدار فرین بیشتر توسط پژوهشگران حوزه‌ی اقتصاد و مهندسی مالی صورت گرفته است (مانند: زمانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ فلاح‌طلب و عزیززی، ۱۳۹۳).

در مطالعه‌ای که توسط (Asakereh, 2012) انجام شد، با استخراج مقادیر ۵ و ۹۵٪ به‌عنوان آستانه‌های بارش فرین در شهر زنجان، مقادیر حاصله را با تابع توزیع تعمیم یافته برازش داد. نتایج این بررسی نشان داد که مقادیر فرین بارش این ایستگاه در هر دو آستانه‌ی بالا و پایین رو به کاهش است. تحلیل فراوانی فرین‌های اقلیمی شهر زنجان با استفاده از نظریه مقدار فرین در مطالعه دیگری توسط Jahanbaksh Asl و همکاران (۲۰۱۳) مورد بررسی قرار گرفت. پژوهش مذکور با محاسبه و ارزیابی چندک‌های معادل دوره برگشت مختلف نشان داد که هر دو توزیع در این ایستگاه از برازش منطقی برخوردارند. شفییعی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در پژوهشی به بررسی و تعیین آستانه بارش‌های فرین غرب ایران با استفاده از روش توزیع تعمیم‌یافته مقدار فرین پرداختند و از این طریق، آستانه‌های فرین ایستگاه‌های مورد مطالعه را استخراج کردند. پژوهش حاضر، با هدف شناسایی و برآورد بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر بر اساس رویکردهای مختلف نظریه‌ی مقدار فرین انجام گردید.

## ۲. روش کار

منطقه‌ی مورد مطالعه، سواحل جنوبی دریای خزر را پوشش داده و کل وسعت سه استان گیلان، مازندران و گرگان در شمال کشور را شامل می‌شود (شکل ۱).

تخمین زده شده از مشاهدات، محدود می‌شود (AghaKouchak, 2013; WMO et al., 2016). رویداد بارش سنگین، یکی از مخاطرات اقلیمی است که اغلب به وقوع سیل، زمین لغزش و زیان‌های جانی و مالی در جوامع بشری منجر می‌گردد. گزارش‌ها حاکی از افزایش روند معنی‌دار فراوانی وقوع این رویداد است، اگرچه ممکن است الگوی تغییرات آن در مناطق مختلف کره‌ی زمین نمود یکسانی نداشته باشد (IPCC, 2013). همچنین، پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که بر اساس سناریوهای انتشار تا پایان قرن ۲۱، نسبت فراوانی وقوع بیشینه بارش ۲۴ ساعته از ۱ به ۲۰ در سال (بر اساس دوره‌ی پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰) به ۱ تا ۱۵، افزایش خواهد داشت که نشان دهنده‌ی شدت روند افزایشی فراوانی وقوع این رویداد است (IPCC, 2012). بارش‌های فرین، از دیرباز موضوع مطالعات متعدد داخلی و خارجی بوده است. بر اساس نظریه‌ی مقادیر فرین، برای تحلیل فرین‌های یک مجموعه داده دو روش وجود دارد. روش اول، با انتخاب حداکثر مقدار هر بلوک بزرگ، تعداد داده‌ها را به‌طور قابل توجهی کاهش داده و روش دوم، در پی تحلیل مقادیر فراتر از یک آستانه‌ی بالا است. هر دو رویکرد می‌توانند بر اساس توزیع پواسن، که به‌طور همزمان امکان برازش پارامترهای مرتبط با شدت و فراوانی مقادیر فرین را فراهم می‌سازد، تبیین شوند.

تابع توزیع تعمیم‌یافته‌ی مقدار فرین، دارای توجیه نظری برای برازش به حداکثر بلوک داده‌ها و تابع توزیع پارتو تعمیم‌یافته نیز دارای توجیه مشابه برای برازش به مقادیر فراتر از یک آستانه بالا است (Gilleland and Katz, 2016). مطالعات متعددی در زمینه‌ی استفاده از توابع توزیع تعمیم‌یافته مقدار فرین در بررسی ویژگی‌های بارش‌های فرین در سراسر دنیا انجام گرفته است. مطالعات انجام شده به منظور بررسی روند تغییرات بارش‌های فرین (Chen and Chu, 2014; B-Harju et al., 2012)، ساخت سناریوهای فرین اقلیمی بر اساس ماهیت غیر مطمئن آستانه‌های بالای بارش (Goldstein et al., 2003) و همچنین مطالعات صورت گرفته جهت تعیین پارامترهای توزیع و برآورد بارش‌های فرین ساعتی و یا روزانه بر اساس داده‌های دیده‌بانی و شبکه‌بندی شده (Ender and Ma, 2014; Santos et al., 2016; Katz, 1999) از نمونه‌هایی از این پژوهش‌ها هستند که نتایج آنها موید اهمیت و کارایی این نظریه در مدل‌سازی و برآورد بارش‌های فرین هستند.

فرین در رویکرد فراتر از آستانه با استفاده از روش‌های گرافیکی و محاسباتی صورت گرفت. به منظور مقایسه و انتخاب مناسب‌ترین روش جهت برآورد بارش‌های فرین برای دوره‌های برگشت مختلف نیز از معیار آکائیکه و همچنین روش‌های گرافیکی استفاده شد. مقادیر بارش فرین برآورد شده در ایستگاه‌ها برای دوره‌های برگشت مورد نظر نیز با استفاده از روش Cokriging درون‌یابی شد و از این طریق نقشه‌های خطر بارش فرین منطقه تولید گردید. بر اساس آنچه که در قسمت مبانی نظری نیز شرح داده شد، دو رویکرد نظریه مقدار فرین ۱ به شرح زیر است.

### ۱-۲ رویکرد حداکثر بلوک<sup>۲</sup>

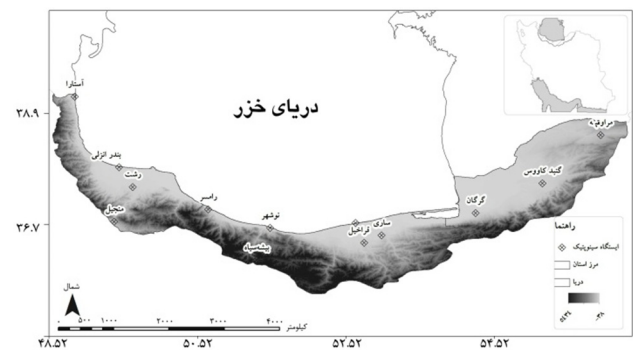
نظریه مقدار فرین حداکثر بلوک، مبتنی بر توزیع تعمیم‌یافته مقدار فرین، رویکرد سنتی آنالیز مقادیر فرین است که برای مدل کردن بیشترین یا کمترین مقدار تعدادی از داده‌های تصادفی به کار می‌رود. تابع توزیع تعمیم‌یافته مقدار فرین (GEV) طبق رابطه ۱ تعریف می‌شود.

$$G(Z) = \exp \left[ - \left\{ 1 + \xi \left( \frac{Z - \mu}{\sigma} \right) \right\}_+^{-1/\xi} \right] \quad \text{رابطه ۱}$$

$$Y_+ = \max\{y, 0\}, \sigma > 0 \text{ and } -\infty < \mu, \xi < \infty \quad \text{که}$$

و دارای سه پارامتر مکان  $\mu$ ، مقیاس  $\sigma$  و شکل  $\xi$  است. این توزیع در نظریه آمار و احتمال از خانواده توزیع‌های پیوسته و بر اساس رابطه ۱ در برگیرنده سه تابع توزیع وابسته به پارامتر شکل ( $\xi$ ) است. به نحوی که نوع اول: گامبل (توزیع دم‌سبک)؛ نوع دوم: فریسه (توزیع دم‌سنگین)<sup>۳</sup> و نوع سوم: ویبول (حدبالا کران‌دار)<sup>۴</sup> است. زمانی که  $\xi < 0$  است، توزیع مقدار فرین معادل نوع سوم است. وقتی که  $\xi > 0$  باشد، توزیع مقدار فرین معادل نوع دوم است. و در نهایت، وقتی مقدار  $\xi$  به سمت صفر میل می‌کند توزیع مقدار فرین به مقدار فرین نوع اول میل می‌کند. انتظار می‌رود مقدار مورد نظر به طور متوسط یک‌بار در هر  $1/p$  دوره رخ دهد، که در آن  $1 - p$  احتمال مرتبط با چندک مربوطه

مجموعه عوامل محلی و فرامحلی، یعنی مجاورت کوه و دریا، پوشش گیاهی، عرض جغرافیایی و حاکمیت الگوهای جوی متفاوت دینامیک و ترمودینامیک باعث ایجاد منطقه‌ای معتدل و مرطوب، با میانگین مجموع بارش سالانه بیش از ۹۰۰ میلی‌متر در شمال کشور شده است. لذا آستانه‌ی بارش‌های فرین این منطقه، تفاوت چشمگیری با بارش مناطق دیگر در کشور دارد. اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های دیده‌بانی روزانه‌ی ۱۳ ایستگاه سینوپتیک منطقه است (شکل ۱) که از توزیع مکانی نسبتاً مناسبی برخوردار هستند.



شکل ۱: توزیع فضایی ایستگاه‌های سینوپتیک سواحل جنوبی دریای خزر

با این وجود، به‌خاطر عدم همزمانی تاسیس ایستگاه‌های سینوپتیک سواحل جنوبی دریای خزر، متأسفانه سری زمانی بلندمدت در همه ایستگاه‌ها در دسترس نیست. از این رو به منظور استفاده از تمام پتانسیل‌های موجود در منطقه و با توجه به اینکه بارش‌های فرین هر ایستگاه بر اساس سری زمانی موجود و به طور مجزا مورد تحلیل قرار می‌گیرند، داده‌های مورد بررسی در این پژوهش شامل دو گروه از ایستگاه‌های هواشناسی دارای سری زمانی بلندمدت (۶۰ ساله) و سری زمانی کوتاه مدت هستند. لذا ایستگاه‌های رشت، انزلی، رامسر، بابلسر و گرگان از سال پایه ۱۹۵۷ و سایر ایستگاه‌ها از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفتند. بازسازی داده‌های مفقود با استفاده از روش انتساب نزدیکترین همسایگی متوالی K (Kim and Yi, 2008) انجام شد و آزمون‌های همگنی مذکور برای هر سری زمانی، قبل و بعد از بازسازی آنها به کار گرفته شدند. به‌منظور ارزیابی صحت و همگنی داده‌های مشاهداتی، از بسته نرم افزاری RHtestsV3 (Wang et al., 2010) استفاده شد. سپس بارش‌های فرین ایستگاه‌های منطقه بر اساس دو رویکرد نظریه مقدار فرین مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که تعیین آستانه بارش‌های

<sup>1</sup> Extreme value theory

<sup>2</sup> Block Maxima (BM)

<sup>3</sup> Heavy-tailed Fréchet

<sup>4</sup> Upper bounded Weibull

مقادیر فرین می‌پردازد. اگرچه در روش حداکثر بلوک، صرفاً یک مقدار فرین برای هر بلوک در نظر گرفته می‌شود، روش فراتر از آستانه، تمام مقادیر بالاتر از آستانه تعیین شده را به‌عنوان مقادیر فرین در نظر می‌گیرد. اگر  $G$  تابع توزیع محدود کننده حداکثر استاندارد شده باشد، یک تابع توزیع تعمیم‌یافته مقدار فرین با پارامترهای مکان، مقیاس و شکل به ترتیب  $\mu$ ،  $\sigma$  و  $\xi$  مشخص می‌شود. تابع توزیع تعمیم‌یافته پارترتو دارای پارامتر شکل مشابه  $\xi$  و پارامتر مقیاس  $\sigma_u = \sigma + \xi(u - \mu)$  است. چندک‌های تابع توزیع تعمیم‌یافته پارترتو به سادگی از طریق تنظیم رابطه ۳ برابر با  $1 - p$  و معکوس کردن، به دست می‌آید. با این حال، به آسانی نمی‌توان چندک‌های تابع توزیع تعمیم‌یافته پارترتو را به عنوان سطوح بازگشت تفسیر کرد، چراکه داده‌ها از بلوک‌های خاصی با طول یکسان حاصل نمی‌شوند. لذا، نیاز به برآورد احتمال وقوع مقادیر بالاتر از آستانه است. بنابراین به‌طور میانگین، مقدار  $x_m$  متجاوز از آستانه تعیین شده در هر  $m$  مشاهده (سطح بازگشت برآورد شده) مطابق رابطه ۵ خواهد بود (Gilleland and Katz, 1999; Katz, 2016).

$$x_m = \begin{cases} u + \frac{\sigma_u}{\xi} [(m\xi_u)^\xi - 1], & \xi \neq 0, \\ u + \sigma_u \ln(m\xi_u), & \xi = 0. \end{cases} \quad \text{رابطه ۵}$$

در صورت ایستا نبودن مقادیر فرین، پارامترهای توزیع می‌توانند به‌صورت رابطه ۶ باشند.

$$\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 t + \mu_2 t^2, \quad \sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_1 t \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\xi(t) = \begin{cases} \xi_0, & t \leq t_0 \\ \xi_1, & t > t_0 \end{cases}$$

در مدل‌های فوق، هر پارامتر با زمان تغییر می‌کند؛ پارامتر مکان، تابعی از یک معادله‌ی درجه دوم زمان است. پارامتر مقیاس، تابعی خطی و پارامتر شکل نیز بین دو دوره‌ی زمانی متغیر است. از آنجاکه پارامتر مقیاس بایستی همواره مثبت باشد، غالباً با استفاده از یک تابع لگاریتمی طبق رابطه ۷ مدل‌سازی می‌شود.

$$\ln \sigma(t) = \phi_0 + \phi_1 t \quad \text{رابطه ۷}$$

لازم به ذکر است که به منظور بررسی توزیع فرین‌های بارش در این مطالعه، از بسته نرم‌افزاری extRemes که در سازمان ملی

است. در واقع ما به دنبال  $z_p$  هستیم به نحوی که  $G(z_p) = 1 - p$  و  $G$  بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن  $y_p = -1/\ln(1 - p)$ ، سطح برگشت  $z_p$  مطابق رابطه ۲ است.

$$z_p = \begin{cases} \mu + \frac{\sigma}{\xi} [y_p^\xi - 1], & \xi \neq 0, \\ \mu + \sigma \ln y_p, & \xi = 0. \end{cases} \quad \text{رابطه ۲}$$

چنانچه  $z_p$  در برابر  $\ln y_p$  به تصویر کشیده شود، نوع توزیع تعیین کننده انحنای خط ترسیم شده برای تابع است. به نحوی که نمودار مذکور برای توزیع گامبل به‌صورت خط راست، برای توزیع فریشه به‌صورت منحنی مقعر بدون حد بالا، و برای توزیع ویبول به‌صورت منحنی محدب با حد بالایی مجانبی خواهد بود (Gilleland and Katz, 2016).

### ۲-۲ رویکرد فراتر از آستانه<sup>۱</sup>

رویکرد فراتر از آستانه، رویکردی نسبتاً جدید در تحلیل مقدار فرین است و بیانگر این است که مقادیر مشاهداتی بالاتر از آستانه‌ی بالا، تقریباً با توزیع تعمیم یافته پارترتو توزیع شده‌اند. تابع توزیع تعمیم‌یافته پارترتو<sup>۲</sup> (GP) طبق رابطه ۳ تعریف می‌شود.

$$H(x) = 1 - \left[ 1 + \xi \left( \frac{x-u}{\sigma_u} \right)_+^{-1/\xi} \right]^{-1/\xi} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن  $u$  یک آستانه بالا،  $x > u$ ، پارامتر مقیاس  $\sigma_u > 0$  (وابسته به آستانه  $u$ ) و پارامتر شکل  $-\infty < \xi < \infty$  است. در این توزیع نیز  $\xi$  مبتنی بر سه نوع تابع توزیع (با تفسیری مشابه تابع توزیع تعمیم‌یافته مقدار فرین) است. به‌نحوی که نوع اول: نمایی (توزیع دم‌سبک)؛ نوع دوم: پارترتو (توزیع دم‌سنگین) و نوع سوم: بتا (توزیع حد بالا کران‌دار) است که نتیجه آن طبق رابطه ۴ است.

$$H(x) = 1 - e^{-(x-u)/\sigma} \quad \text{رابطه ۴}$$

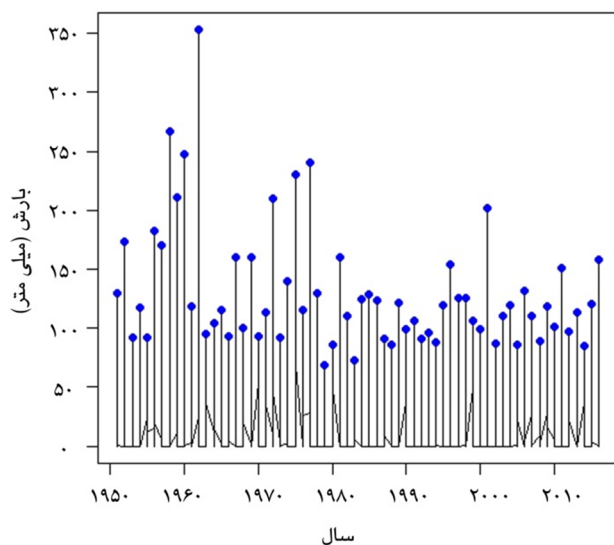
تابع توزیع تعمیم‌یافته پارترتو تقریبی برای دم بالایی یک تابع توزیع است. در این رویکرد با در نظر گرفتن آستانه مشخص، به استخراج مقادیر بالاتر از آستانه مذکور در سری پیوسته به عنوان

<sup>۱</sup> Peaks Over Threshold (POT)

<sup>۲</sup> The generalized Pareto (GP)

ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه استفاده شد. به دلیل تعدد نمودارهای هر ایستگاه و جهت جلوگیری از تکرار مطالب، در اینجا به تشریح مناسب‌ترین خروجی در ایستگاه بندر انزلی پرداخته شده است. بارش‌های فرین ایستگاه بندر انزلی با توجه به جدول ۱ بر اساس رویکرد حداکثر بلوک با دارا بودن سطح معنی‌داری ۰/۰۴ بر اساس آزمون من-کنال، غیرایستا هستند. لذا به منظور تحلیل بارش‌های فرین این ایستگاه بر اساس رابطه ۶ عمل شد.

نتایج بررسی نشان می‌دهد که بارش‌های فرین ایستگاه بندر انزلی که در شکل ۲ نشان داده شده است، بر اساس رویکرد حداکثر بلوک بین مقادیری در حدود ۷۰ تا بیش از ۳۰۰ میلی‌متر در نوسان است که به‌عنوان پربارش‌ترین ایستگاه سواحل جنوبی دریای خزر، بالاترین آستانه و بیشترین دامنه تغییرات را به خود اختصاص داده است. با بررسی معیار آکائیکه حاصل از برازش دو رویکرد تحلیل مقدار فرین بر اساس برآوردهای مختلف در ایستگاه بندر انزلی نشان داد که رویکرد حداکثر بلوک بر اساس برآورد درست‌نمایی بیشینه تعمیم‌یافته با مقدار ۶۶۹، بهترین برازش را با بارش‌های فرین این ایستگاه داشته و برآورد درست-نمایی بیشینه نیز در بین برآوردهای توزیع تعمیم‌یافته پارتو معیار آکائیکه ۵۱۰۹، در جایگاه نخست قرار دارد؛ اگرچه عملکرد ضعیف‌تری را نسبت به رویکرد حداکثر بلوک به نمایش گذاشته است.



شکل ۲: بارش‌های فرین بندر انزلی بر اساس رویکرد حداکثر بلوک

پژوهش‌های جوی<sup>۱</sup> ایالات متحده توسط Katz و Gilleland (۲۰۱۶) تولید شده است، استفاده گردید.

### ۳. نتایج و بحث

به منظور تحلیل بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر، دو رویکرد نظریه‌ی مقدار فرین شامل حداکثر بلوک و فراتر از آستانه، بکار گرفته شد. به منظور برآورد پارامترهای مدل در این بررسی، از روش‌های برآورد درست‌نمایی بیشینه<sup>۲</sup> و برآورد درست‌نمایی بیشینه تعمیم‌یافته<sup>۳</sup> استفاده گردید. دنباله‌های بارش فرین (بیشینه بارش رخ داده در بلوک‌های سالانه و نیز بارش‌های فراتر از آستانه صدک ۹۹) در هر ایستگاه، قبل از برازش توزیع‌های تعمیم‌یافته، به منظور اطمینان از ایستایی با استفاده از آزمون روند Mann-Kendall مورد آزمون قرار گرفتند. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، نتایج این آزمون نشان می‌دهد که بارش‌های فرین ایستگاه‌های مراوه تپه و رامسر در رویکرد فراتر از آستانه و همچنین ایستگاه انزلی در رویکرد حداکثر بلوک با دارا بودن سطح معنی‌داری کمتر از مقدار خطای مجاز (۰/۰۵)، ایستا نیستند. لذا برازش توزیع‌های مورد نظر به بارش‌های فرین ایستگاه‌های مذکور و نیز ایستگاه‌های دارای ایستایی ضعیف (داری سطح معنی‌داری نزدیک مقدار خطا)، با در نظر گرفتن رابطه ۶ صورت گرفت. سپس به منظور دستیابی به مناسب‌ترین توزیع جهت برآورد دوره‌ی برگشت مقادیر فرین بارش در منطقه، توزیع‌های مختلف هر رویکرد با استفاده از آزمون نکویی برازش و همچنین روش‌های گرافیکی مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج آنها به تفکیک ایستگاه‌های منطقه، ارائه خواهند شد.

همان‌طور که از مقایسه معیار آکائیکه<sup>۴</sup> خروجی رویکردهای نظریه مقدار فرین مشخص است (جدول ۲)، برآوردهای درست-نمایی بیشینه در هر دو رویکرد، دارای عملکرد نسبتاً بهتری در برآورد پارامترهای مدل و محاسبه سطح بازگشت بارش‌های فرین ایستگاه‌های منطقه داشته‌اند؛ اگرچه، تفاوت مشاهده شده در اغلب موارد بسیار اندک و بعضاً قابل چشم‌پوشی است. شایان ذکر است که علاوه بر معیار آکائیکه، از روش‌های گرافیکی نیز جهت انتخاب مناسب‌ترین روش در تحلیل بارش‌های فرین

<sup>۱</sup> National Center for Atmospheric Research (NCAR)

<sup>۲</sup> Maximum likelihood estimation (MLE)

<sup>۳</sup> Generalized Maximum Likelihood Estimation (GMLE)

<sup>۴</sup> The Akaike Information Criterion (AIC)

۳ حاصل گردید. توزیع چگالی احتمال داده‌های تبدیل شده در این شکل، حاکی از برازش مناسب مقادیر مدل‌سازی شده و توزیع تجربی آن‌ها است. همچنین، نمودارهای کیو-کیو پلات و نیز آزمون توزیع داده‌ها در بازه اطمینان ۹۵٪، نشان‌دهنده قطعیت بیشتر مقادیر برآورد شده بر اساس این روش است.

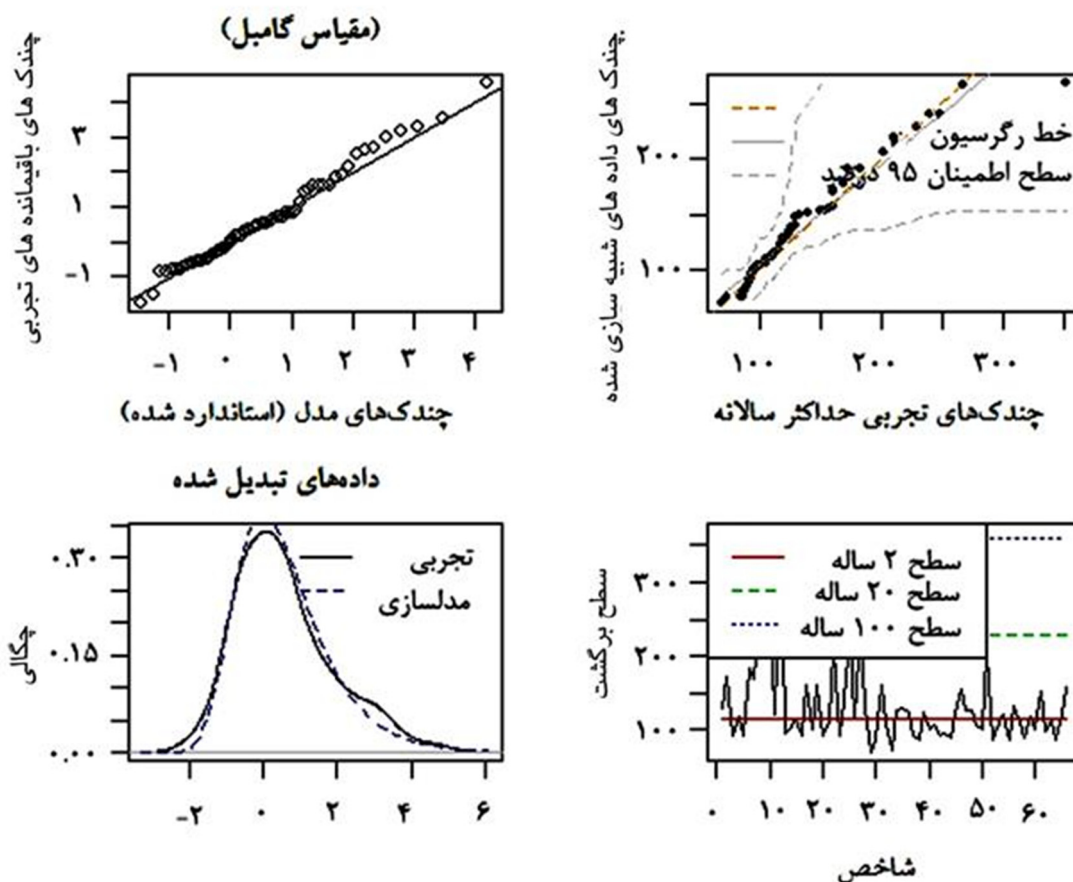
به واسطه‌ی عدم ایستایی بارش‌های فرین ایستگاه بندر انزلی بر اساس رویکرد حداکثر بلوک، با اعمال رابطه ۶ اقدام به تنظیم پارامترهای این توزیع شد. با اعمال این رابطه در توزیع تعمیم‌یافته با رویکرد حداکثر بلوک بر اساس برآورد درست‌نمایی بیشینه تعمیم‌یافته در ایستگاه بندر انزلی، نتایج ارائه شده در شکل

جدول ۱: سطح معنی‌داری آزمون Mann-Kendall

ایستگاه	ساری	نوشهر	مراوه تپه	گرگان	گنبدکاووس	قراخیل	بابلسر	سیاه بیشه	رشت	رامسر	منجیل	انزلی	آستارا
حداکثر بلوک	۰.۴۷	۰.۷۶	۰.۶۷	۰.۰۶	۰.۷۸	۰.۲۸	۰.۰۸	۰.۹۱	۰.۶۳	۰.۱۱	۰.۸۴	۰.۰۴	۰.۷۵
فراتر از آستانه	۰.۴	۰.۵۱	۰.۰۳	۰.۸۱	۰.۴۱	۰.۵۷	۰.۰۵	۰.۳۲	۰.۱۳	۰.۰۳	۰.۳۵	۰.۲۷	۰.۰۹

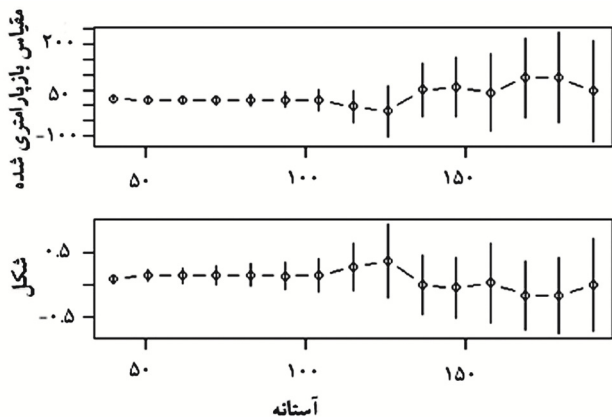
جدول ۲: نتایج حاصل از معیار آکائیکه جهت ارزیابی عملکرد رویکردهای نظریه مقدار فرین برازش داده شده به بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر

روش	ایستگاه	آستارا	انزلی	منجیل	رامسر	رشت	سیاه بیشه	بابلسر	قراخیل	گنبد	گرگان	مراوه	نوشهر	ساری
حداکثر	درست‌نمایی بیشینه	۱۵۰	۴۰۱	۱۹۵	۵۵۹	۱۸۶	۲۹۰	۶۳۵	۱۴۱	۵۷۶	۶۷۴	۱۶۷	۶۷۱	۳۰۵
بلوک	درست‌نمایی بیشینه تعمیم‌یافته	۱۶۱	۴۰۶	۱۹۲	۵۶۸	۱۸۶	۲۸۸	۶۳۲	۱۴۱	۶۷۸	۶۷۶	۱۷۳	۶۶۹	۱۰۴۷
فراتر از	درست‌نمایی بیشینه	۴۶۱	۱۳۰۴	۱۹۲	۱۶۷۱	۵۳۶	۸۷۶	۱۹۶۲	۴۰۷	۱۷۶۶	۶۷۶	۴۹۱	۱۰۹۵	۹۸۲
آستانه	درست‌نمایی بیشینه تعمیم‌یافته	۵۱۲	۱۴۶۹	۱۹۵	۱۶۷۴	۵۳۸	۸۷۳	۱۹۶۵	۴۰۸	۱۹۷۴	۶۷۸	۵۵۶	۱۰۹۵	۱۱۴۷
غیر تعمیم یافته	گامیل	۳۳۳۱۱	۸۸۸۷۴	۳۳۲۸۸	۱۰۵۸۴۴	۳۳۴۱۰	۵۹۷۳۲	۱۳۰۳۶۳	۲۷۸۲۴	۱۳۵۷۸۵	۱۳۴۴۱۴	۲۳۳۱۳	۱۶۲۱۷۷	۶۹۷۰۸
	نمایی	۴۵۹	۱۳۰۲	۵۸۰	۱۶۷۱	۵۲۷	۸۷۴	۱۹۷۷	۴۰۸	۱۷۷۴	۲۱۲۸	۴۹۳	۲۱۱۳	۹۸۰

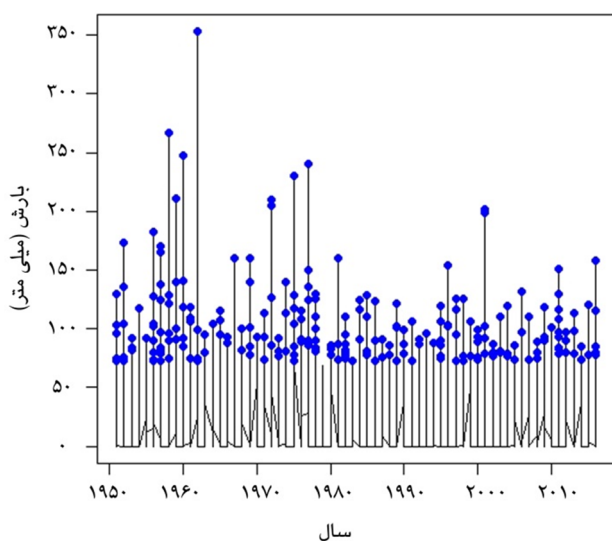


شکل ۳: برازش تابع توزیع تعمیم‌یافته با رویکرد حداکثر بلوک بر اساس برآورد درست‌نمایی بیشینه تعمیم‌یافته در ایستگاه بندر انزلی

۱۰۹۴/۸، کمترین عدد و به عبارتی بهترین عملکرد را به خود اختصاص داده است. لذا بارش‌های فرین ایستگاه بندر انزلی برای مقادیر فراتر از آستانه‌ی ۹۲ میلی‌متر، با استفاده از رویکرد پارتوی تعمیم‌یافته به‌وسیله‌ی برآوردگر مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



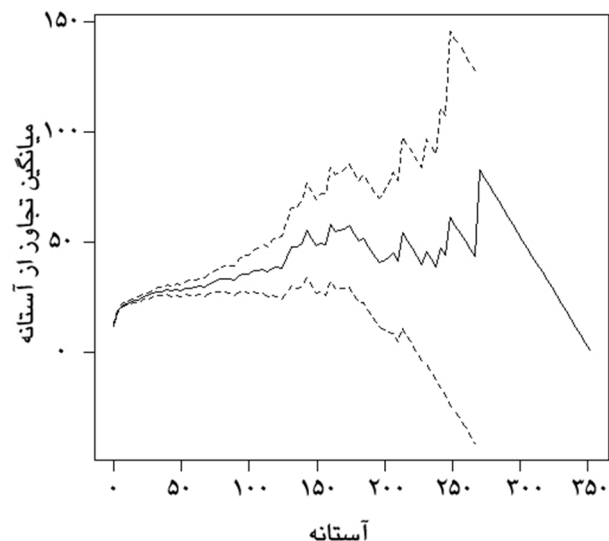
شکل ۵: نمودار پایداری پارامترهای شکل و مقیاس توزیع پارتو تعمیم‌یافته برای بارش‌های فرین ایستگاه بندر انزلی



شکل ۶: بارش‌های فرین بندر انزلی بر اساس رویکرد پارتوی تعمیم‌یافته

نتایج حاصل از برازش برآوردگر درست‌نمایی بیشینه‌ی تعمیم‌یافته در رویکرد فراتر از آستانه برای ایستگاه انزلی در شکل ۷، حاکی از برازش مناسب کیو-کیو پلات و پایین بودن عدم قطعیت مقادیر شبیه‌سازی شده در سطح اطمینان ۹۵٪ است. نمودار چگالی احتمال در این شکل نیز نشان دهنده‌ی انطباق توزیع مقادیر شبیه‌سازی شده بر تجربی است.

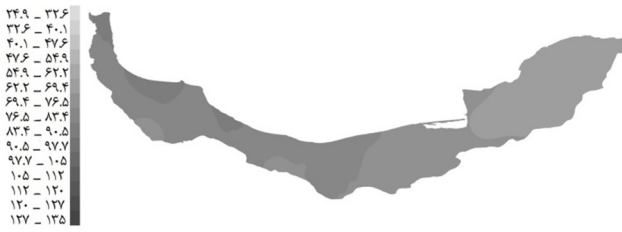
بررسی نمودار میانگین باقی‌مانده‌ها جهت تعیین آستانه‌ی بارش‌های فرین بندر انزلی در رویکرد فراتر از آستانه، حاکی از افزایش مقدار  $u$  (خط پررنگ) از صفر تا حدود ۹۰ میلی‌متر بوده و از ۱۲۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر به علت نوسان زیاد، غیرقابل اعتماد است (شکل ۴). روند نمودار مذکور در مقادیر بالاتر از ۳۰۰ میلی‌متر نیز به شدت کاهشی است که نشان‌دهنده حداکثر مقدار مطلق در بارش‌های رخ داده است. روند نمودار در مقادیر حدود ۹۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر ثابت است که به نظر می‌رسد می‌تواند به عنوان آستانه‌ی بارش‌های فرین تعیین شود. لذا، با توجه به تفاوت بارش‌های انزلی و به منظور تایید یا رد آنچه که در نمودار باقی‌مانده‌ها مشاهده شد، نمودار پایداری مبتنی بر توزیع پارتو تعمیم‌یافته نیز مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۴: نمودار میانگین باقی‌مانده‌های بارش‌های فرین بندر انزلی بر اساس رویکرد پارتوی تعمیم‌یافته

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، نمودار پایداری پارامترهای شکل و مقیاس توزیع پارتوی تعمیم‌یافته برای بارش‌های فرین ایستگاه بندر انزلی نشان می‌دهد که پارامترهای مذکور در فاصله مقادیر حدود ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر ثابت است. لذا مقداری حدود ۱۰۰ میلی‌متر می‌تواند به عنوان آستانه‌ی بارش‌های فرین این ایستگاه تعیین گردد که بر اساس معیارهای برآورد مدل، برابر با ۹۲ میلی‌متر تعیین گردید.

همچنان که در شکل ۶ نیز مشخص است، بررسی معیار آکائیکه جهت انتخاب مناسب‌ترین برآوردگر در رویکرد فراتر از آستانه نشان می‌دهد که درست‌نمایی بیشینه‌ی تعمیم‌یافته با مقدار



شکل ۹: بارش فرین سواحل جنوبی دریای خزر با دوره برگشت ۲ ساله



شکل ۱۰: بارش فرین سواحل جنوبی دریای خزر با دوره برگشت ۵ ساله

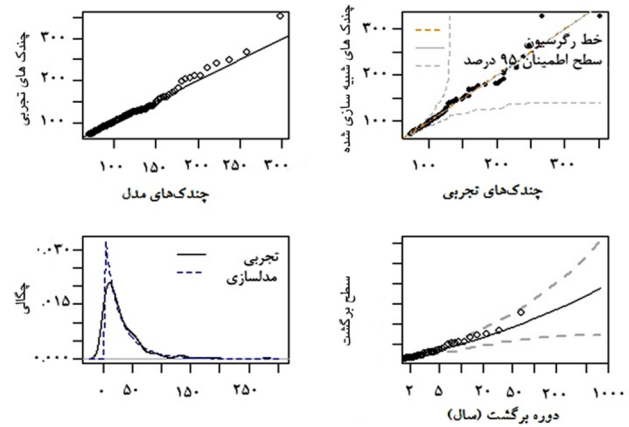


شکل ۱۱: بارش فرین سواحل جنوبی دریای خزر با دوره برگشت ۱۰ ساله

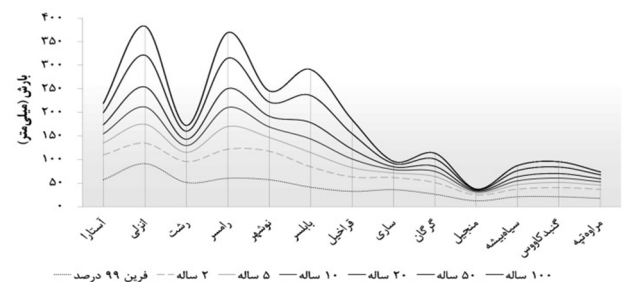
#### ۴. نتیجه‌گیری

تحلیل بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر بر اساس نظریه مقدار فرین نشان داد که آستانه‌ی بارش‌های فرین ایستگاه‌های منطقه به‌طور چشمگیری متفاوت از یکدیگر هستند. به‌طوری که براساس شکل ۸ آستانه‌ی بارش‌های فرین ایستگاه بندر انزلی به‌عنوان پربارش‌ترین ایستگاه منطقه در حدود ۹۰ میلی‌متر، ایستگاه‌های رامسر، نوشهر، آستارا و رشت بین ۵۰ تا ۶۰ میلی‌متر، قراخیل، ساری و بابلسر ۳۰ تا ۴۰ میلی‌متر، گرگان، سیاه‌بیشه و گنبدکاووس ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر و مراوه‌تپه و منجیل نیز به‌عنوان خشک‌ترین ایستگاه‌های منطقه از ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر متغیر هستند. نتایج حاصل از برازش دو رویکرد حداکثر بلوک و فراتر از آستانه‌ی نظریه مقدار فرین بر اساس برآوردهای درست-نمایی بیشینه و برآورد درست‌نمایی بیشینه تعمیم‌یافته به بارش‌های فرین ایستگاه‌های سینوپتیک سواحل جنوبی دریای خزر -که با هدف برآورد بارش‌های فرین منطقه طی دوره‌های

با بررسی معیارهای گرافیکی و مقایسه آنها با صدک ۹۹ بارش‌های هر ایستگاه، آستانه بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر محاسبه شد. سپس مناسب‌ترین برآوردها در هر رویکرد انتخاب و بر این اساس، سطح بازگشت بارش‌های فرین ایستگاه‌های منطقه طی دوره‌های برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، برآورد شدند که نتایج آنها در شکل ۸ به تصویر کشیده شده است. در پایان، اقدام به تولید نقشه‌ی خطر (شکل‌های ۹-۱۱) مقادیر وقوع بارش فرین ۲، ۵ و ۱۰ ساله در منطقه شد. در واقع، نقشه‌های مذکور با اعمال روابط ارتفاع و بارش در روش درون‌یابی Cokriging ترسیم گردیدند که روند تغییرات آنها را با توجه به دوره‌های برگشت مختلف به تصویر کشیده اند. نقشه‌های مذکور، بیانگر احتمال افزایش بیشتر آستانه بارش‌های فرین در غرب منطقه طی دوره‌های آتی است. به-طوری که احتمال وقوع بارش‌های سنگین‌تر با دوره‌های برگشت طولانی‌تر در غرب منطقه مورد بررسی (ایستگاه‌های ساحلی پربارش‌تر) نسبت به شرق آن (ایستگاه‌های دور از ساحل و کم بارش‌تر) با احتمال ۹۵٪، افزایش خواهد یافت.



شکل ۷: برازش رویکرد تابع توزیع پارتوی تعمیم‌یافته بر اساس برآورد درست‌نمایی بیشینه در ایستگاه بندر انزلی



شکل ۸: نمودار آستانه بارش‌های فرین (۹۹٪) و سطح بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر با دوره‌های برگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله



بارش های شدید زمستانه در سواحل جنوبی دریای خزر. مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان. دوره ۲۲، شماره ۲ (۴۲)، صفحات ۴۰-۲۳.

حلبیان، ا.ح؛ دهقانپور، ع.ض؛ عاشوری قلعه رودخانی، ز، ۱۳۹۵. تحلیل همیدید بارش های حدی و فراگیر در کرانه های شرقی خزر. نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۵(۳)، صفحات ۵۷-۳۷.

زمانی، ش؛ اسلامی بیدگلی، س؛ کاظمی، م، ۱۳۹۲. محاسبه ارزش در معرض ریسک شاخص بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از نظریه ارزش فرین. فصلنامه بورس اوراق بهادار، سال ششم، شماره ۲۱، صفحات ۱۳۶-۱۱۵.

ستوده، ف؛ علیجانی، ب، ۱۳۹۴. رابطه ی پراکندگی فضایی بارش های سنگین و الگوهای فشار در گیلان. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره ۱، صفحات ۷۳-۶۳.

شفیعی، ش؛ مظفری، غ.ع؛ مزیدی، ا، ۱۳۹۶. بررسی و تعیین آستانه بارش های حدی غرب ایران با استفاده از روش توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۴(۲)، صفحات ۱۲۵-۱۰۷.

فلاح طلب، ح؛ عزیزی، م.ر، ۱۳۹۳. کاربرد تئوری مقدار فرین در پیش بینی ارزش در معرض ریسک. فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه گذاری، سال سوم، شماره ۱۲، صفحات ۱۸۰-۱۵۹.

کارخانه، م؛ مفیدی، ع؛ زرین، آ، ۱۳۹۵. شبیه سازی نقش دریای خزر بر وقوع بارش های منطقه ای در سواحل جنوبی دریای خزر. فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری - منطقه ای، دوره ۶، شماره ۱۸، صفحات ۱۶۸-۱۵۳.

لشکری، ح؛ اصغرپور، م؛ متکان، ع.ا، ۱۳۸۷. تحلیل سینوپتیکی عوامل ایجاد بارش های سیل زا در استان گلستان. فصلنامه جغرافیا، دوره ۱۲، شماره ۲، صفحات ۲۱۱-۱۸۱.

مرادی، ح.ر، ۱۳۸۵. پیش بینی وقوع سیلاب ها بر اساس موقعیت های سینوپتیکی در ساحل جنوبی دریای خزر. پژوهش های جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۵۵، صفحات ۱۳۱-۱۰۹.

AghaKouchak, A.; Easterling, D.; Hsu, K.; Schubert, S.; Sorooshian, S., 2013. Extremes in a changing climate detection, analysis and uncertainty. Book series WSTL, 65p.

Asakereh, H., 2012. Frequency distribution change of extreme precipitation in Zanjan city. Geography and Environmental Planning Journal, 45(1): 13-17.

آتی صورت گرفت تا حدود زیادی با مطالعات جهانی (Katz, 1999; Ender and Ma, 2014; Santos et al., 2016; Boudrissa et al., 2017; Barnetti et al., 2018) همخوانی دارد. به نحوی که هر دو رویکرد این نظریه، نتایج مطلوب تری را نسبت به توزیع های معمول گاما و ... ارائه نمودند. با این وجود، نتایج حاصل از رویکرد حداکثر بلوک با برآورد درست نمایی بیشینه در مدل سازی و برآورد بارش های فرین تا حدودی بهتر از پارتو تعمیم یافته بود. همچنین با افزایش سری زمانی مورد بررسی، بهبود نتایج و کاهش عدم قطعیت آن ها امکان پذیر گردید. صرف نظر از عدم قطعیت های یاد شده، مقادیر فرین برآورد شده حاکی از آن است که با احتمال ۹۵٪، بارش های فرین ایستگاه های بندر انزلی، رامسر و بابلسر با نرخ بالاتری نسبت به سایر ایستگاه های منطقه افزایش یابند. احتمالاً بارش های فرین ایستگاه های رشت، ساری و منجیل نیز روند افزایش کندتری را تجربه خواهند نمود. نقشه های خطر برآورد بارش های فرین سواحل جنوبی دریای خزر طی دوره های آتی که گویای احتمال افزایش بارش های سنگین تر در سواحل و غرب منطقه و همچنین کاهش آن در بخش های شرقی و دور از ساحل است، به عنوان نتیجه نهایی پژوهش حاضر می توانند در برنامه ریزی های آتی سواحل خزری مورد استفاده قرار گیرند. به نظر می رسد انجام پژوهشی با استفاده از نظریه مقدار فرین چند متغیره و با در نظر گرفتن شاخص های پیوند از دور و غیره می تواند نتایج مناسب تری را در این زمینه فراهم آورد.

## ۵. سیاست گذاری

پژوهش حاضر مستخرج از طرح پژوهشی ساز و کار فیزیکی بارش های فرین در سواحل جنوبی دریای خزر است که با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام شده است. لذا نویسندگان بر خود لازم می دانند مراتب قدردانی خود را از این طریق اعلام نمایند. همچنین از سازمان هواشناسی کشور برای در اختیار قرار دادن داده های هواشناسی تشکر و قدردانی می گردد.

## منابع

جانبازقبادی، غ؛ مفیدی، ع؛ زرین، آ، ۱۳۹۰. شناسایی الگوهای همیدید

- IPCC, 2013. Climate change, the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535p.
- Jahanbaksh Asl, S.; Khorshiddoust, A.M.; Dinpashoh, Y.; Sarafrouzeh, F., 2013. Frequency analysis of climate extreme events in Zanjan, Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(7): 1637-1650.
- Katz, R.W., 1999. Extreme value theory for precipitation: Sensitivity analysis for climate change. *Advances in Water Resources*, 23(2):133-139.
- Kim, K.Y.; Yi, G.S.; CSBio Lab., 2008. Sequential KNN imputation method. Information and Communications University. R package version 1.0.1. <http://csbio.icu.ac.kr>
- Qin, N.; Wang, J.; Yang, G.; Chen, X.; Liang, H.; Zhang, J., 2015. Spatial and temporal variations of extreme precipitation and temperature events for the Southwest China in 1960-2009. *Geoenvironmental Disasters*, 2:4.
- Santos, E.B.; Lucio, P.S.; Silva, S., 2016. Estimating return periods for daily precipitation extreme events over the Brazilian Amazon. *Theoretical and Applied Climatology*, 126(3-4):585-595.
- Wang, X.L.; Chen, H.; Wu, Y.; Feng, Y.; Pu, Q., 2010. New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49: 2416–2436.
- WMO, 2016. Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events. First review by TT-DEWCE. Second Meeting of the Task Team on Definitions of Extreme Weather and Climate Events, Guangzhou, China, 23-25 May 2016.
- B-Harju, A.; Grimvall, A.; Brömssen, C.V., 2012. A test for network-wide trends in rainfall extremes. *International Journal of Climatology*, 32: 86-94.
- Boudrissa, N.; Cheraitiab, H.; Halimic, L., 2017. Modelling maximum daily yearly rainfall in northern Algeria using generalized extreme value distributions from 1936 to 2009. *Meteorological Applications*, 24: 114-119.
- Brunetti, M.; Bertolini, A.; Soldati, M.; Maugeri, M.; 2018. High-resolution analysis of 1-day extreme precipitation in a wet area centered over eastern Liguria, Italy. *Theoretical and Applied Climatology*. 1-13pp.
- Chen, Y.R.; Chu, P.S., 2014. Trends in precipitation extremes and return levels in the Hawaiian Islands under a changing climate. *International Journal of Climatology*, 34(15): 3913-3925.
- Ender, M.; Ma, T., 2014. Extreme value modeling of precipitation in case studies for China. *International Journal of Scientific and Innovative Mathematical Research*, 2(1): 23-36.
- Gilleland, E.; Katz, R.W., 2016. extRemes 2.0: An Extreme Value Analysis Package in R. *Journal of Statistical Software*, 72(8): 1-39.
- Goldstein, J.; Mirza, M.; Etkin, D.; Milton, J., 2003. Application of extreme value theory for climate extremes scenarios construction. J2. 6 hydrologic assessment: 14th Symposium on Global Change and Climate Variations, American, 5p.
- IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582p.