

## مدل سازی توالی و مقادیر حدی بارش روزانه در استان آذربایجان شرقی

نادیا شهرکی<sup>۱</sup>، صفر معروفی<sup>۲\*</sup>، محمدصادق غضنفری مقدم<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۵

## چکیده

در این مطالعه به منظور مدل سازی مقادیر حدی و وقوع بارش، از داده های بارش روزانه چهار ایستگاه سینوپتیک استان آذربایجان شرقی که دارای اقلیم نیمه خشک فراسرد بودند، استفاده شده است. بدین منظور از زنجیره مارکف مرتبه های اول، دوم و سوم دو حالت برای محاسبات وقوع بارش و توابع چگالی پارتو تعمیم یافته و نمایی برای برآورد مقدار آن استفاده شده است. همچنین از تابع چگالی نمایی-پارتو تعمیم یافته به منظور بهبود در عملکرد برآورد مقادیر حدی بارش نیز بهره گرفته شد. قابل ذکر است که مدل ارائه شده دارای ساختاری تکه ای می باشد، لذا توزیع پارتو تعمیم یافته برای مقادیر حدی و تابع نمایی برای سایر مقادیر استفاده شده است. بررسی معیار AIC نشان می دهد که زنجیره مارکف مرتبه اول برای برآورد وقوع بارش روزانه، مناسب ترین مدل می باشد. به طور متوسط برتری زنجیره مارکف مرتبه اول از مرتبه های دوم و سوم به ترتیب ۷۹ و ۶۶ درصد برای تمام ایستگاه های مطالعاتی بوده است. همچنین با توجه به معیار RMSE، مقادیر حدی بارش روزانه که توسط توزیع تکه ای نمایی-پارتو تعمیم یافته برآورد شده است، دارای دقت بیش تری نسبت به برآورد سایر توزیع ها می باشد. معیار RMSE برای برآورد مقادیر حدی بارش روزانه توسط توزیع تکه ای نمایی-پارتو تعمیم یافته برای تمام ایستگاه ها بین ۰/۰۰۱۵ تا ۰/۰۰۱۷ متغیر بوده است.

واژه های کلیدی: بارش حدی، توزیع تکه ای نمایی-پارتو تعمیم یافته، زنجیره مارکف، نیمه خشک فراسرد

## مقدمه

داده های بارندگی در مدیریت منابع آب، مهمترین ورودی مدل های ریاضی هیدرولوژی، کشاورزی، اکولوژی و حفاظت آب و خاک می باشند. با این وجود، اغلب مشکلاتی از قبیل: طول ناکافی سری های ثبت شده، عدم تایید صحت و یا عدم ثبت داده ها، منجر به گسترش استفاده از روش هایی مدل سازی و پیش بینی داده ها شده است. مولدهای تصادفی هواشناسی مدل های آماری ای هستند که با هدف شبیه سازی سریع و واقع گرایانه سری های تصادفی متغیرهای هیدرولوژیکی مانند دما، بارندگی و سرعت باد به کار می روند (Wilks and Wilby., 1999).

برنامه ریزی بلندمدت منابع آب احتیاج به ایجاد یک استراتژی برای کاهش تاثیر خطرات عدم قطعیت آب و هوایی و اثرات آنها دارد. برای این هدف، از مدل های تولید تصادفی برای تعریف سناریوهای متغیرهای آب و هوا که دارای ویژگی های مشابه با متغیرهای مشاهده شده هستند، استفاده می شود. زمانی که داده های مشاهداتی به اندازه کافی موجود باشند، مدل های تصادفی قادر به تولید خواص آماری متغیرهای آب و هوا هستند و برای ایجاد توالی بارش توسعه می یابند. مدل های بسیاری برای تولید باران روزانه در یک ایستگاه واحد در منابع هیدرولوژی و اقلیمی موجود است (Richardson., 1981; Liu et al., 2009). یک رویکرد مشترک در مدل سازی در سایت های تک مکانی، توسعه مدل مارکف با فرض مرتبه پایین آن است. کاربرد آسان و سریع استفاده از مدل ها برای

خشکسالی یکی از پیچیده ترین بلایای طبیعی در جهان است و هر ساله بیش از نیمی از کره زمین در معرض آن قرار می گیرند و زمانی رخ می دهد که آب قابل دسترس یک سامانه برای تامین نیازهای حداقل یکی از بخش های زیستی، اقتصادی و اجتماعی طی یک دوره زمانی قابل ملاحظه کافی نباشد (اقتداری و همکاران، ۱۳۹۴). حفاظت و مدیریت منابع آب ضمن این که تابعی از بارش دریافتی است، همچنین به تغییرپذیری بارش نیز بستگی دارد. هرچه تغییرات مکانی بارش کوچکتر باشد همگنی و یکدستی منابع آب بیشتر می شود. از سوی دیگر هرچه تغییرپذیری زمانی بارش کم تر باشد، منابع آب نیز با ثبات تر بوده و عرضه دائمی آب امکان پذیر می شود (میرموسوی و زهره نودی، ۱۳۹۰). بارش مهمترین نیروی محرکه در سیستم هیدرولوژیکی است و تغییرات الگوهای آن تاثیر مستقیمی بر منابع آب دارد. مطالعه تغییرات بارش برای برنامه ریزی کشاورزی، محیط زیست و منابع آب حیاتی است (Moazed et al.,

۱- دانشجوی دکتری رشته مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه

بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۳- استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، ایران

\* نویسنده مسئول: (Email: smarofi@yahoo.com)

مشخص شد که با افزایش طول دوره‌ها از فراوانی روزهای بارانی کاسته شده و با افزایش طول دوره‌های بارانی، احتمال وقوع آن‌ها نیز کاهش یافته و دوره بازگشت آن افزایش می‌یابد. بختیاری و همکاران (۱۳۹۳) احتمال وقوع بارش‌های روزانه برای اقلیم‌های مختلف در ایران را با مدل زنجیره مارکف بدست آوردند. نتایج نشان داد که احتمال عدم وقوع بارش در ایستگاه‌ها مطالعاتی با اقلیم‌های خشک از ۰/۸۱۱ تا ۰/۹۰۹، با اقلیم‌های نیمه‌خشک از ۰/۶۸۵ تا ۰/۸۴ و با اقلیم‌های معتدل و مرطوب از ۰/۶۹۵ تا ۰/۷۲۸ متغیر می‌باشد. میروسوسی و زهره‌وندی (۱۳۹۰) برای مدل‌سازی احتمالات بارش هفته‌ای ایستگاه هواشناسی نهاوند جهت تحلیل روزهای خشک متوالی از زنجیره مارکف استفاده نمودند. این مطالعه بر مبنای داده‌های روزانه بارش در طول دوره آماری ۱۹۹۳-۲۰۰۹ و با استفاده از زنجیره مارکف به انجام رسید. وقوع بارش، مقدار بارش، دوره‌های تر و خشک و دوره بازگشت خشکی‌های متوالی در این تحقیق ارائه شد. توصیف وابستگی زمانی الگوهای وقوع بارش و بکارگیری تابع چگالی احتمال از قبیل توزیع گاما، توزیع نمایی و برخی از توزیع‌های مخلوط نشان‌دهنده این است که مقدار بارش مستقل از وقوع بارش می‌باشد (Kim et al., 2012; Richardson., 1981; Stern and Coe., 1984; Wilks., 1999). مطالعات زیادی برای مدل‌سازی مقادیر بارش با استفاده از توزیع‌های گاما و نمایی انجام شده است (Papalaskaris et al., 2016; Ng et al., 2016; Mhanna and Bauwens., 2012; Li et al., 2015; Soleh et al., 2017). ان جی و همکاران وقوع بارش را با استفاده از مرتبه‌های اول تا پنجم زنجیره مارکف و مقدار بارش را با استفاده از توزیع‌های نمایی، مخلوط نمایی، گاما، نرمال لگاریتمی، پارتو تعمیم‌یافته در مالزی شبیه‌سازی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که زنجیره مارکف مرتبه اول و سوم برای وقوع بارش و توزیع‌های نمایی و لوگ نرمال برای مقدار حدی بارش مناسب‌تر بوده است (Ng et al., 2017). پاپالاسکاریس و همکاران از زنجیره مارکف مرتبه اول برای وقوع بارش و از توزیع گاما برای برآورد مقدار بارش در یونان استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که استفاده از زنجیره مارکف مرتبه اول و توزیع گاما برای برآورد وقوع و مقدار بارش مناسب بوده است (Papalaskaris et al., 2016). منا و باوونز از زنجیره مارکف مرتبه اول و توزیع گاما برای برآورد وقوع بارش در خاورمیانه استفاده کردند. آن‌ها نتایج مطلوبی برای برآورد مقدار و وقوع بارش، از مطالعه خود بدست آوردند (Mhanna and Bauwens., 2012). ویلکس از توزیع گاما و مخلوط نمایی برای برآورد مقدار بارش استفاده کرد. نتایج نشان داد که توزیع مخلوط نمایی برای برآورد مقدار بارش از توزیع گاما مناسب‌تر بوده است (Wilks 1999). انصاری پیش‌بینی مقادیر بارندگی فصلی و سالیانه بارش در شمال ایران را با استفاده از توزیع گاما در سال‌های ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۵ در شمال ایران انجام داده است. نتایج نشان داد که

تولید باران روزانه در یک ایستگاه واحد، باعث شده است که استفاده‌ی گسترده‌ای از آن‌ها در سطح جهان صورت پذیرد (Qian et al., 2002; Wilks., 1999).

در علوم هیدرولوژیکی، در میان روش‌های آماری، زنجیره‌ی مارکف برای مدل‌سازی بارش در سایت‌های تک‌مکانی در ابعاد ملی و بین‌المللی مورد توجه قرار گرفته است. لئارتسون مدل‌سازی بارش را با استفاده از زنجیره مارکف چندگانه، برای ۲۰ ایستگاه در سوئد انجام دادند. این مطالعه روش جدیدی برای مدل‌سازی بارش در سوئد پیشنهاد کرده است. این مدل، زنجیره مارکف را وابسته به مدل تصادفی در نظر گرفته است که متشکل از مدل احتمال وقوع بارش و مدل مقدار بارش در ایستگاه‌های هواشناسی در هنگام رخداد بارش می‌باشد. در بخش اول این تحقیق، نشان داده شده است که برای بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی در سوئد یک زنجیره مارکف بالاتر از مرتبه اول مورد نیاز است. در بخش دوم آن نیز از روش گوسین استفاده گردید. این روش ترکیبی از توزیع تجربی برای مقادیر بارش کمتر از حد آستانه و توزیع پارتو به منظور تعمیم مقادیر بارندگی بیشتر از حد آستانه است و برای محاسبه شاخص‌ها استفاده گردید. نتایج توزیع شاخص‌های مدل‌سازی شده و داده‌های تجربی همپوشانی خوبی نشان دادند، که تاییدی بر صحت انتخاب مدل مربوطه می‌باشد (Lennartsson et al., 2008). اسپوف و پریور مرتبه‌های مختلف زنجیره مارکف را برای وقوع بارش روزانه در ایالات متحده آمریکا مقایسه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که دقت زنجیره مارکف مرتبه اول بهتر از سایر مرتبه‌ها می‌باشد (Schoof and Pryor., 2008). همچنین دستیار از مدل زنجیره مارکف برای شبیه‌سازی باران‌های موسمی چهار ایستگاه هواشناسی در منطقه بنگال هند استفاده کردند. این محققان از تئوری بیزین برای تعیین مرتبه مدل زنجیره مارکف بهره گرفتند. نتایج نشان داد که مدل زنجیره مارکف مرتبه سوم بهترین توصیف الگوی بارش را برای تمام ایستگاه‌ها به جز یک ایستگاه دارا است. همچنین دقت زنجیره مارکف مرتبه سه یا چهار برای شبیه‌سازی داده‌های بارش از دقت سایر مرتبه‌های زنجیره مارکف بیشتر می‌باشد (Dastidar et al., 2010). سونادارا و جیواردن از زنجیره مارکف برای توصیف الگوهای خشک و مرطوب در کلمبو استفاده کردند. این محققان در مطالعه خود میانگین طول دوره خشک و مرطوب سالانه را به ترتیب ۳/۸ و ۲/۶ روز بدست آوردند. این نتایج نشان داد که زنجیره مارکف مرتبه اول برای توصیف الگوهای خشک و مرطوب در کلمبو مناسب بوده است (Sonnadara and Jayewardene., 2015). جوان (۱۳۹۵) احتمال تداوم روزهای بارانی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول مورد بررسی قرار داد. بر اساس نتایج مربوطه، در دوره مورد مطالعه به‌طور میانگین ۲۵ درصد روزها همراه با بارندگی بوده است. میانگین تداوم روزهای بارانی در حوضه حدود دو روز بوده است. همچنین

۳۰ ساله بودند، استفاده شده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل ۱ آورده شده است. پهنه‌بندی اقلیمی این ایستگاه‌ها در سیستم دوماتن<sup>۱</sup> گسترش یافته مشخص شده است (Khalili., 1997). بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی سیستم دوماتن گسترش یافته تمام ایستگاه‌های مطالعاتی دارای اقلیم نیمه‌خشک فراسرد بودند.

## روش‌ها

وقوع بارش روزانه در این مطالعه توسط زنجیره مارکف مرتبه‌های اول، دوم و سوم دو حالت (روز بارانی و بدون باران) انجام شده است. به طوری که وقوع روز تر مستقل از مقدار بارش می‌باشد. برای این منظور حد آستانه ۰/۱ میلی‌متر در نظر گرفته و روزهای با بارش کمتر از آن، به عنوان روز خشک در نظر گرفته شد. بررسی توزیع مقدار بارش برای هر ایستگاه با استفاده توابع چگالی پارتو تعمیم‌یافته، نمایی و تابع چگالی نمایی-پارتو تعمیم‌یافته انجام شده است. گرچه توزیع هر سری بارش ممکن است پارامتری باشد، اما کاربرد مدل نیمه‌پارامتری با توزیع دنباله تعمیم‌یافته پارتو مفید خواهد بود. همچنین در این مطالعه مقایسه توزیع تکه‌ای تجمعی نمایی-پارتو تعمیم‌یافته با تابع چگالی احتمال نمایی و توزیع دنباله پارتو تعمیم‌یافته که برای تعیین بهتر رفتار دنباله سری‌های بارش مفید می‌باشد، انجام شده است.

## زنجیره مارکف

زنجیره مارکف روشی ریاضی، برای مدل‌سازی فرآیندهای احتمالاتی است. یک زنجیره مارکف با دو ویژگی فضای حالت و مرتبه شناخته می‌شود. اگر سیستم برای بارش روزانه تعریف شود، فضای حالت  $s$  در یک روز معین یکی از دو وضعیت  $s = \{w, d\}$  خواهد بود. که در آن  $d$  معرف روز خشک و  $w$  معرف روز تر است. مرتبه زنجیره مارکف مشخص می‌کند که حالت فعلی یک سیستم به چند حالت قبلی آن وابستگی دارد (۴). از این روی زنجیره مارکف از مرتبه  $m$  با استفاده از رابطه (۱) بدست می‌آید (Daniel., 1985).

(۱)  $P_r\{X_{t+1}|X_t, X_{t-1}, \dots, X_1\}P_r\{X_{t+1}|X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-m}\}$   
احتمال انتقال (احتمال شرطی) زنجیره مارکف مرتبه  $m$  با استفاده از رابطه (۲) تعیین می‌گردد (Daniel., 1985).

(۲)  $P_{h...ijk} = \{X_{t+1} = k | X_t = j, X_{t-1} = i, \dots, X_{t-m} = h\}$   
این احتمال همچنین بر اساس فراوانی شرطی انتقال، با استفاده از

رابطه (۳) به دست می‌آید (Daniel., 1985).

$$P_{h...ij} = \frac{n_{h...ij}}{n_{h...i+}} \quad (3)$$

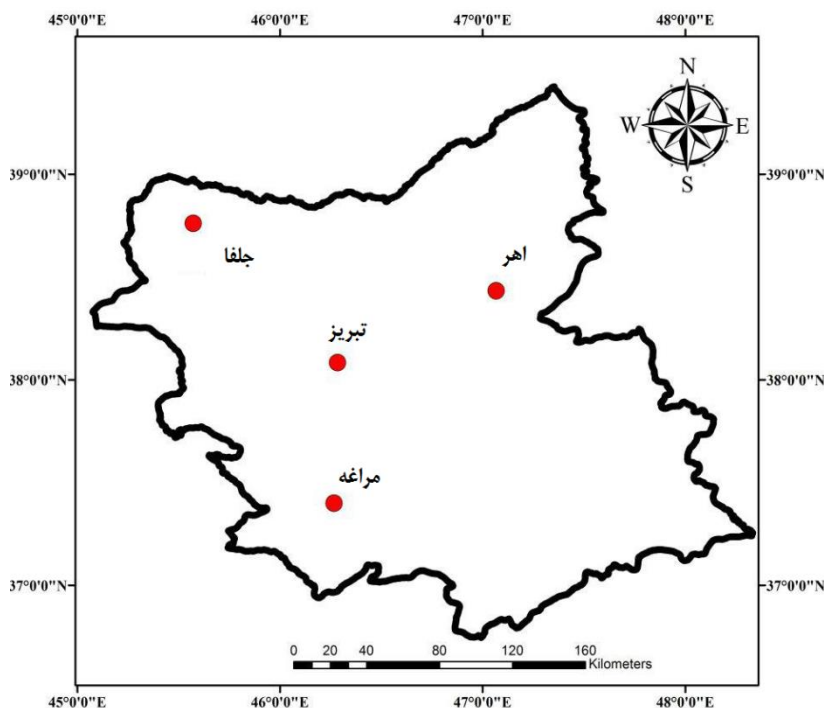
توزیع گاما برای پیش‌بینی بارندگی مناسب بوده است (Ansari., 2013). بررسی‌های انجام گرفته در مورد بارش تصادفی نشان می‌دهد، نادیده گرفتن مقادیر حدی بارش باعث ایجاد نگرانی در مورد پراکندگی بیش از اندازه در شبیه‌سازی بارندگی شده است (Katz and Zheng., 1999; Kim et al., 2012; Mehrotra and Sharma., 2007). کیان و همکاران و سمنو از روش نیمه‌پارامتری با استفاده از توزیع تجربی به منظور بهبود و شبیه‌سازی بارش حدی استفاده کردند. نتایج نشان داد که مقادیر حدی به خوبی تولید شدند (Qian et al., 2008; Semenov., 2008). وارس و ناویو و همچنین فورر و کاتز با استفاده از روش‌های مخلوط (گاما و پارتو تعمیم یافته) بهبود قابل توجه در زمینه مقادیر حدی بارندگی را نشان دادند (Furrer and Katz., 2008; Vrac and Naveau., 2007).

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی برای مدل‌سازی مکانی و زمانی بارش در ایستگاه‌های متعدد مطرح شده است. از جمله می‌توان به مدل  $k$ -نزدیکترین همسایه (Apipattanavis et al., 2007; Rajagopalan and Lall., 1999 et al., 2009; Hughes et al., 1999; Khalil et al., 2010; Kwon Bardossy and Pegram, 2009) مدل مبتنی بر Copula، مدل میتنی بر Copula (Li et al., 2013) اشاره نمود. جمع‌بندی از مطالعات انجام یافته نشان داده شد که گرچه روش‌های زیادی برای مدل‌سازی بارش ارائه شده است، اما نادیده گرفتن مقادیر حدی در مدل شبیه‌سازی بارش روزانه به طور گسترده مطالعه نشده است. هدف اصلی از این تحقیق، در نظر گرفتن مقادیر حدی در مدل شبیه‌سازی بارش روزانه می‌باشد، به این دلیل که، نادیده گرفتن مقادیر حدی بارش باعث ایجاد یک سناریو غیر واقعی برای مطالعه اثر منابع آب در ارتباط با ریسک تنوع آب و هوا می‌شود. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که توزیع نمایی برای برآورد مقادیر میانگین بارش (Wilks., 1999) و توزیع پارتو تعمیم‌یافته برای مقادیر حدی (Byung-Jin et al., 2015) مناسب بوده است. در تحقیق حاضر از توزیع‌های پارتو تعمیم‌یافته، نمایی و همچنین توزیع تکه‌ای نمایی-پارتو تعمیم‌یافته که ترکیب دو توزیع نمایی و پارتو تعمیم‌یافته می‌باشد و روشی جدید است، برای شبیه‌سازی بارش روزانه استفاده شده است. با انتخاب بهترین توزیع، احتمال مقادیر حدی و میانگین مقدار بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز، اهر، جلفا و مراغه برآورد شده است. همچنین در این مطالعه، از زنجیره مارکف مرتبه‌های اول، دوم و سوم دو حالت برای محاسبه وقوع بارش استفاده شده است.

## مواد و روش‌ها

### مناطق و داده‌های مورد استفاده

در بررسی حاضر، از آمار بارش روزانه ماه‌های اکتبر تا ژوئن ۴ ایستگاه سینوپتیک در استان آذربایجان شرقی که دارای دوره آماری



شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعاتی در استان آذربایجان شرقی

شد. در این رابطه  $m$  تعداد کل حالت‌ها که در این مطالعه ۲ می‌باشد،  $n_{ij}$  و  $p_{ij}$  به ترتیب بیانگر فراوانی و احتمال حالت‌های انتقال از حالت  $i$  به حالت  $j$  هستند و  $p_j$  بیان کننده احتمالات حاشیه‌ای برای ستون  $j$  از ماتریس احتمالی انتقالات است.

#### تعیین مناسب‌ترین مرتبه زنجیره مارکف

برای تعیین مناسب‌ترین مرتبه زنجیره مارکف آزمون‌های متعددی از قبیل آزمون  $AIC^x$  (Akaike., 1974; Daniel., 1985) و آزمون  $BIC^x$  (Schwarz., 1978) استفاده می‌شود. در این مطالعه از آزمون  $AIC$  برای تعیین مناسب‌ترین زنجیره مارکف استفاده شده است. مناسب‌ترین مرتبه زنجیره مارکف بر اساس کم‌ترین مقدار  $AIC$  انتخاب شد. آزمون  $AIC$  براساس مقادیر درستمایی زنجیره مارکف مرتبه اول ( $L_1$ )، دوم ( $L_2$ ) و سوم ( $L_3$ ) با استفاده از روابط (۸ تا ۱۰) بدست می‌آیند (Daniel., 1985).

$$L_1 = \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{s-1} n_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (8)$$

$$L_2 = \sum_{h=0}^{s-1} \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{s-1} n_{hij} \ln(p_{hij}) \quad (9)$$

$$L_3 = \sum_{g=0}^{s-1} \sum_{h=0}^{s-1} \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{s-1} n_{ghij} \ln(p_{ghij}) \quad (10)$$

$$AIC(m) = -2L_m + 2s^m(s - 1) \quad (11)$$

از آنجایی که مقدار سری‌های زمانی در زمان  $t-(m-1)$  برابر با  $x_{t-(m-1)}$  و در زمان  $t$  برابر  $x_t = i$  بوده است، احتمال اینکه وقوع بارش در زمان  $t+1$  برابر با  $j$  باشد،  $p_{h...ij}$  است. احتمالات ساده وقوع روزهای بارانی و خشک از رابطه‌های (۴) و (۵) بدست می‌آید (Mandal et al., 2015).

$$p_d = \frac{n_d}{n} \quad (4)$$

$$p_w = \frac{n_w}{n} \quad (5)$$

که در آن  $p_d$  (یا  $p_w$ ) احتمال ساده وقوع روز خشک یا تر،  $n_d$  (یا  $n_w$ ) تعداد دفعات خشک یا تر بودن روز مورد نظر و  $n$  تعداد سال‌های مورد بررسی است.

#### آزمون بررسی خصوصیات زنجیره مارکف

وابسته یا مستقل بودن روزهای بارانی به یکدیگر بر اساس آزمون  $\alpha$ ، با استفاده روابط (۶) و (۷) بدست می‌آید (Moon et al., 1994).

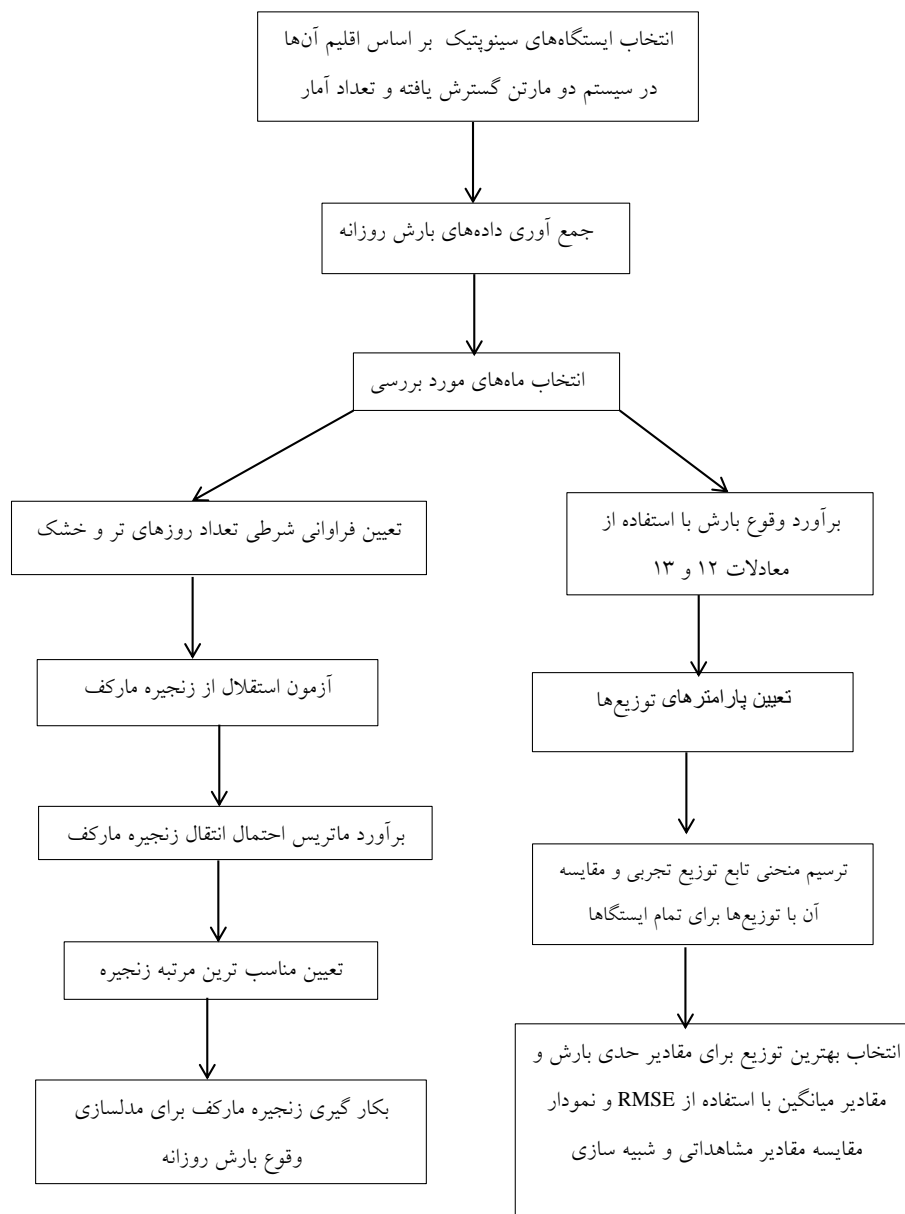
$$\alpha = 2 \sum_{i,j}^m n_{ij} \ln \left( \frac{p_{ij}}{p_j} \right) \quad (6)$$

$$p_j = \sum_i^m n_{ij} / \sum_{i,j}^m n_{ij} \quad (7)$$

نتیجه حاصل از آزمون  $\alpha$  با توزیع کای دو ( $\chi^2$ ) با درجه آزادی  $(m-1)^2$  برای مرتبه‌های اول، دوم و سوم زنجیره مارکف آزمون

2- Akaike Information Criterion  
3- Bayesian Information Criterion

1- Chi-Square



شکل ۲- مراحل انجام کار

(Byung-Jin et al., 2015).

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \left[ 1 + \varepsilon \frac{(x-\mu)}{\sigma} \right]^{-1/\varepsilon - 1} \quad (13)$$

$\mu$  پارامتر مکان،  $\sigma$  پارامتر مقیاس و  $\varepsilon$  پارامتر شکل می‌باشند. از توزیع پارتو تعمیم‌یافته برای مقادیر بالا دنباله میزان بارش (۱۰٪ بالا) برای هر ایستگاه استفاده شد (Byung-Jin et al., 2015).

#### معیار ارزیابی مدل

در این پژوهش از ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> (RMSE) که

#### مدل‌سازی مقدار بارش

در این مطالعه مقادیر غیر صفر بارش با استفاده از توابع چگالی نمایی، پارتو تعمیم‌یافته و توزیع تکه‌ای نمای-پارتو تعمیم‌یافته برازش داده می‌شوند. تابع توزیع تجمعی نمایی با رابطه (۱۲) بدست می‌آید (Wilks., 1999).

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (12)$$

که  $\lambda = 1/\mu$  و  $\mu$  میانگین توزیع می‌باشد.

تابع توزیع تجمعی پارتو تعمیم‌یافته به‌منظور تعیین بهتر مقادیر حدی سری بارش روزانه توسط رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود

1- Root-mean-square error

شده است. همانطور که اشاره شد، انتخاب مرتبه مدل زنجیره مارکف برای تمام ایستگاهها بر اساس کمترین مقدار معیار AIC صورت گرفت. نتیجه انتخاب مدل زنجیره مارکف روزانه بر مبنای AIC برای ایستگاههای مطالعاتی در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس این معیار، زنجیره مارکف مرتبه اول برای همه ایستگاهها بهتر از مرتبه-های دوم و سوم بود بجز ایستگاه تبریز که در آن زنجیره مارکف مرتبه سوم تفاوتی با زنجیره مارکف مرتبه اول نداشت. بنابراین، زنجیره مارکف مرتبه اول برای همه ایستگاهها انتخاب می شود. نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعات قبلی که استفاده از مارکف مرتبه اول برای وقوع بارش روزانه گزارش نمودند، مطابقت دارد ( Schoof and Pryor., 2008). بنابراین زنجیره مارکف مرتبه اول برای همه ایستگاهها بدین منظور انتخاب گردید.

برزگی خطا را نشان می دهد استفاده شده. مقدار RMSE تفاوت میان مقدار پیش بینی شده توسط مدل با مقدار واقعی می باشد که توسط رابطه (۱۴) بدست می آید (Hyndman et al., 2006).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_{1,t} - y_{2,t})^2}{n}} \quad (14)$$

که  $y_{1,t}$  و  $y_{2,t}$  به ترتیب سری زمانی مشاهداتی و پیش بینی شده هستند. مراحل انجام کار این مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

### نتایج

در این مطالعه ویژگی های مهم مرتبط با دوره های تر و خشک کوتاه مدت همچون احتمالات ساده و شرطی روزهای خشک و تر با استفاده از زنجیره مارکف مرتبه های اول، دوم و سوم بدست آورده

جدول ۱- نتایج انتخاب مرتبه مدل زنجیره مارکف روزانه بر مبنای AIC

روز جولایوسی	مراغه			جلفا			اهر			تبریز		
	اول	دوم	سوم	اول	دوم	سوم	اول	دوم	سوم	اول	دوم	سوم
۱	۲۷/۵	۲۹/۶۸	۳۱/۶	۳۰/۴۷	۳۰/۵۲	۳۱/۷۷	۲۶/۹	۲۸/۳۲	۲۹/۴	۳۳/۲۶	۳۳/۵۶	۳۱/۹۴
۲	۳۰/۲۵	۳۰/۸۸	۳۶/۵۴	۲۲/۹۴	۲۱/۵۹	۲۸/۷۸	۲۷/۴۹	۳۶	۳۰/۵۸	۳۳/۹۴	۳۶/۳۳	۳۲/۷۶
۳	۲۸/۲۸	۴۰/۹۵	۳۲/۷۵	۳۰/۴۷	۲۹/۲۵	۴۱/۷۳	۳۱/۸۷	۳۲/۲۷	۳۶/۴۵	۳۴/۸۱	۳۶/۳۳	۴۰/۱۱۲
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۱۳۵	۳۵/۹۱	۳۷/۵۷	۳۴/۲۷	۴۴/۸۳	۴۶/۵۶	۵۱/۲۲	۴۲/۱۱	۴۱/۴۱	۳۶/۷۱	۴۳/۸۲	۴۵/۵۱	۳۹/۰۷
۱۳۶	۳۱/۳۷	۳۳/۲۰	۴۰/۶۶	۳۵/۴۶	۳۷/۳۶	۳۸/۶۰	۳۸/۶۷	۳۸/۰۸	۴۴/۶۶	۳۲/۸۵	۳۵/۰۹	۳۵/۵۲
۱۳۷	۳۴/۸۱	۲۶/۳۳	۴۰/۵۲	۴۴/۲۷	۴۷/۲۶	۴۳/۳۲	۴۳/۱۶	۴۷/۰۳۹	۴۷/۹۷	۳۳/۶۲	۳۵/۹۱	۳۷/۲۸
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۲۷۱	۲۸/۱۷	۴۰/۳۷	۴۹/۰۴	۲۳/۲۹	۲۵/۹۲	۲۹/۲۱	۱۸/۲۵	۲۱/۵۹	۳۴/۵۵	۲۰/۶۳	۲۱/۰۴	۱۸/۳۷
۲۷۲	۲۸/۱۷	۳۲/۵۱	۳۳/۸	۳۶/۴۲	۳۹/۹۱	۴۲/۹۹	۳۵/۸۶	۳۸/۳۲	۴۲	۳۶/۵۸	۳۹/۷۲	۳۷/۸۷
۲۷۳	۲۸/۵	۴۲/۰۴	۲۹/۵	۲۳/۳۳	۲۶/۶۲	۲۹	۱۷/۹۷	۲۱/۵۴	۲۳/۸۳	۳۳/۶۲	۳۵/۶۵	۳۵/۴۹

از نتایج دیگر این تحقیق بدست آوردن احتمال روزهای خشک متوالی و نیز احتمال اقلیمی روز خشک در هریک از ایستگاهها است. میانگین احتمال روزهای خشک متوالی در ایستگاههای تبریز، اهر، جلفا و مراغه به ترتیب ۰/۴۱، ۰/۴۱، ۰/۴۱، ۰/۴۱، ۰/۴۱ و ۸۲/۱۹ درصد می باشد. همچنین میانگین احتمال اقلیمی روز خشک در این ایستگاهها به ترتیب ۷۳/۴۴، ۷۲/۴۶، ۷۶/۹۵، ۷۴/۸۳ و ۷۴/۸۳ درصد می باشد. احتمالات شرطی و ساده روزهای خشک و تر برای فصل بارش در جدول ۳ آورده شده است (بدلیل بالا بودن حجم جداول از ارائه تمام جداول خودداری شده و فقط جدول مربوط به ایستگاه سینوپتیک تبریز بعنوان نمونه آورده شده است).

بر اساس نتایج مشخص شد که در میان ایستگاهها، احتمال وقوع یک روز تر بر اساس مدل زنجیره مارکف مرتبه اول، ارتباط مستقیمی با مقدار بارش در آن روز را ندارد. در تمام ایستگاههای مورد بررسی با افزایش میزان بارندگی، احتمال شرطی  $P_{ww}$  نیز افزایش نمی یابد. بر اساس نتایج آزمون  $\alpha$  در جدول ۲ مشخص گردید که در هر سطح دلخواه، شواهد کافی برای پذیرش فرض صفر (استقلال داده ها و عدم پیروی از زنجیره مارکف دو حالتی) وجود ندارد. از این روی فراوانی حالات انتقال از زنجیره مارکف دو حالتی پیروی می کند.

جدول ۲- نتایج آزمون  $\alpha$  برای مراتب مختلف زنجیره مارکف

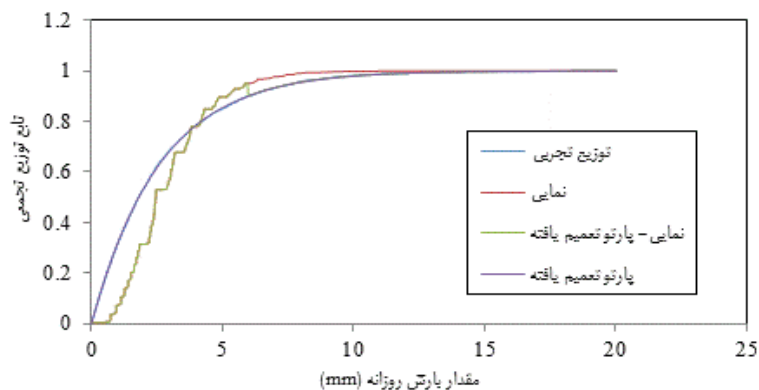
ایستگاه	آزمون $\alpha$		
	MC3	MC2	MC1
اهر	۲۱۰۸/۰۳	۲۲۴۹۵/۳۳	۳۳۹۴۵/۲۷
جلفا	۱۹۲۶/۰۸	۲۲۴۳۴/۵۴	۳۳۷۷۲/۶۶
مراغه	۱۹۱۹/۴۵	۲۲۴۲۳/۲۲	۳۳۸۱۹/۷۲
تبریز	۲۱۲۶/۰۱	۲۲۴۹۲/۴۴	۳۳۹۲۸/۶۳

جدول ۳- احتمالات ساده و شرطی وقوع روزهای تر و خشک ایستگاه تبریز

احتمال شرطی				احتمال ساده		روز جولایوسی
$P_{ww}$	$P_{wd}$	$P_{dw}$	$P_{dd}$	$P_w$	$P_d$	
۰/۳۳	۰/۶۷	۰/۱۷	۰/۸۳	۰/۲	۰/۸	۱
۰/۵	۰/۵	۰/۱۷	۰/۸۳	۰/۲	۰/۸	۲
۰/۵۷	۰/۴۳	۰/۱۷	۰/۸۳	۰/۲۳	۰/۷۷	۳
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۳۳	۰/۶۷	۰/۵	۰/۵	۱۳۵
۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۴	۰/۶	۱۳۶
۰/۷۱	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۸۳	۰/۲۳	۰/۷۷	۱۳۷
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۰/۵	۰/۵	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۲	۰/۸	۲۷۱
۰/۲۵	۰/۷۵	۰/۲۳	۰/۷۷	۰/۱۳	۰/۸۷	۲۷۲
۰/۲۹	۰/۷۱	۰/۱۷	۰/۸۳	۰/۲۳	۰/۷۷	۲۷۳

می‌باشد. همچنین مقایسه میانگین بارش ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در ماه‌های مرطوب برای تمام ایستگاه‌ها در شکل ۴ نشان می‌دهد که توزیع پارتو تعمیم‌یافته برای برآورد مقادیر میانگین بارش ماهانه بهتر از سایر توزیع‌ها بوده است. بنابراین استفاده از توزیع تکه-ای نمایی-پارتو تعمیم یافته برای برآورد مقادیر حدی بارش روزانه و توزیع پارتو برای مقادیر میانگین بارش ماهانه بهتر می‌باشد.

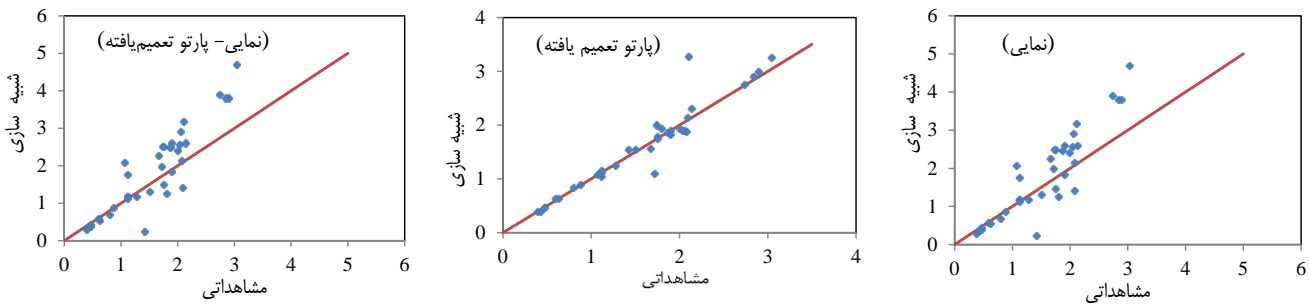
نتایج تابع توزیع تجمعی تجربی و نمایی، پارتو تعمیم یافته و تابع توزیع تکه‌ای نمایی- پارتو تعمیم یافته به عنوان نمونه برای ایستگاه اهر در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج معیار RMSE برای تمام توزیع‌ها در تمام ایستگاه‌ها در جدول ۴ آورده شده است. نتایج بر اساس معیار RMSE نشان می‌دهد که توزیع پارتو تعمیم یافته از سایر توزیع‌ها مطلوب‌تر می‌باشد. برای مقادیر حدی بارش نتایج توزیع نمایی- پارتو تعمیم یافته بهتر از بقیه توزیع‌ها در تمام ایستگاه‌ها



شکل ۳- برآوردهای توزیع تجمعی بارش روزانه ایستگاه اهر

جدول ۴- نتایج معیار RMSE برای برلزش توزیع‌های آماری

ایستگاه	مقادیر حدی			تمام داده‌ها	
	نمایی- پارتو تعمیم یافته	پارتو تعمیم یافته	نمایی	نمایی- پارتو تعمیم یافته	پارتو تعمیم یافته
تبریز	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۶۷	۰/۱۸۵	۰/۰۰۳
اهر	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۳۵	۰/۱۶۲	۰/۰۰۳
جلقا	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۲۵	۰/۰۷	۰/۱۴۴	۰/۰۰۲۷
مراغه	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۳۵	۰/۰۵۸	۰/۱۵۳	۰/۰۲۹



شکل ۴- مقایسه میانگین بارش ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در ماه‌های مرطوب برای تمام ایستگاه‌ها

## نتیجه‌گیری

تعمیم‌یافته، پارتو تعمیم‌یافته و نمایی استفاده شده است. با انتخاب بهترین توزیع، احتمال مقادیر حدی و میانگین مقدار بارش در ایستگاه‌های مطالعاتی برآورد شده است. معیار ارزیابی RMSE عملکرد بالای توزیع تکه‌ای نمایی- پارتو تعمیم یافته برای برآورد احتمال مقادیر حدی بارش روزانه تایید می‌کند. همچنین نتایج شبیه سازی بارش، توافق خوبی بین مقادیر میانگین بارندگی های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از روش پارتو تعمیم‌یافته، در تمام ماه های مرطوب را نشان داده شده است. براساس نتایج مشخص شد که توزیع تکه‌ای نمایی-پارتو تعمیم یافته، برای برآورد مقادیر حدی بارش روزانه و توزیع پارتو، برای مقادیر میانگین بارش ماهانه مناسب بوده است. از این رو، روش پیشنهادی برای برآورد بارش حدی در زمینه های مختلف برنامه ریزی کشاورزی و مدیریت منابع آب کاربردی است.

## منابع

- اقتداری، م.، بذرافشان، ج.، شفیعی، م.، حجابی، س. ۱۳۹۴. پیش بینی خشک سالی جریان رودخانه با استفاده از شاخص SPI و زنجیره مارکف در حوزه آبریز کرخه. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳: ۱۱۵-۱۳۰.
- بختیاری، ب.، شهرکی، ن.، احمدی، م. م. ۱۳۹۳. برآورد احتمالات بارش روزانه با استفاده از مدل زنجیره مارکف در اقلیم‌های مختلف ایران. تحقیقات منابع آبی ایران. ۱۰: ۴۴-۵۵.
- جوان، خ. ۱۳۹۵. بررسی تداوم روزهای بارانی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مدل زنجیره مارکف. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۶: ۴۳-۱۷۳-۱۹۳.
- میر موسوی، ح و زهره ونندی، ح. ۱۳۹۰. مدل‌سازی احتمالات بارش هفته ای جهت تحلیل روزهای خشک متوالی (نمونه موردی: ایستگاه هواشناسی نهبوند استان همدان). دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ای زنجان، زنجان.

یکی از راه‌حل‌های عملی در بخش کشاورزی پیش‌بینی بارندگی و پراکندگی زمانی آن است. اثر پارامتر بارش در زراعت دیم بیش از سایر عوامل اقلیمی می‌باشد. برای تجزیه و تحلیل آماری پیشامدهایی نظیر بارش که مستقل نبوده و به پیشامدهای قبلی خود وابسته می‌باشند، می‌توان از مدل زنجیره مارکف استفاده نمود. در این مطالعه جهت پیش بینی توزیع احتمالات دوره خشک و تر در بازه زمانی روزانه از روش زنجیره مارکف استفاده شده است. به این منظور ویژگی‌های دوره‌های تر و خشک بارش روزانه چهار ایستگاه سینوپتیک در استان آذربایجان شرقی با اقلیم نیمه‌خشک فراسرد با استفاده از زنجیره مارکف مرتبه اول، دوم و سوم مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین ماتریس‌های انتقال جداگانه برای هر روز از سال مقادیر بارشی حد آستانه ۰/۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد، نتایج براساس معیار AIC نشان داد که زنجیره مارکف مرتبه اول برای برآورد وقوع بارش روزانه مناسب‌ترین بوده است. بر اساس این معیار، به‌طور متوسط برای تمام ایستگاه‌های مطالعاتی برتری زنجیره مارکف مرتبه اول از مرتبه دوم و سوم به ترتیب ۷۹ و ۶۶ درصد بدست آمد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج مطالعات قبلی که استفاده از زنجیره مارکف مرتبه اول برای وقوع بارش روزانه بهتر است، موافقت دارد (Schoof and Pryor., 2008). برآورد احتمالات ساده و شرطی روزهای تر و خشک به کمک زنجیره مارکف مرتبه اول از نتایج مهم این تحقیق می‌باشد. نتایج نشان داد که داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه برازش خوبی بر زنجیره مارکف مرتبه اول دارد. فراوانی‌های شرطی  $\pi_{ww}$  در روزهای مختلف رابطه خاصی با میزان بارندگی آن روزها ندارد. از نتایج دیگر این تحقیق بدست آوردن احتمال روزهای خشک متوالی و نیز احتمال اقلیمی روز خشک در هریک از ایستگاه‌ها است. میانگین احتمال روزهای خشک متوالی در ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۸۰/۴۱ (تبریز و اهر) تا ۸۲/۲۷ درصد (جلقا) و میانگین احتمال اقلیمی روز خشک در این ایستگاه‌ها بین ۷۲/۴۶ (اهر) تا ۷۶/۹۵ درصد (جلقا) متغیر می‌باشد. همچنین در این مطالعه، برای شبیه‌سازی بارش روزانه از توزیع‌های تکه‌ای نمایی پارتو



- stochastic weather generators using a generalized linear modeling approach. *Clim. Res.* 53. 1: 13–24.
- Kwon, H.H., Lall, U and Obeysekera, J. 2009. Simulation of daily rainfall scenarios with interannual and multidecadal climate cycles for South Florida. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 23. 7: 879–896.
- Lennartsson, Y., Baxevasani, A and Chen, D.2008. Modeling Precipitation in Sweden using multiple step Markov chains and a composite model. *J. Hydrol.* 363: 42-59.
- Li, C., Singh, V.P and Mishra, A.K. 2013. A bivariate mixed distribution with a heavy tailed component and its application to single-site daily rainfall simulation. *Water Resour. Res.* 49. 2: 767–789.
- Li, Z., Li, Z., Zhao, W and Wang, Y .2015. Probability modeling of precipitation extremes over two river basins in northwest of China. *Adv. Meteorol.* 2015: 1-13.
- Liu, J., Williams, J.R., Wang, X and Yang, H. 2009. Using MODAWEC to generate daily weather data for the EPIC model. *Environ Model & Softwr.* 24: 655–664.
- Mandal, K.G., Padhi, J., Kumar, A., Ghosh, S., Panda, D.K., Mohanty, R.K and Raychaudhuri, M. 2015. Analyses of rainfall using probability distribution and Markov chain models for crop planning in Daspalla region in Odisha, India. *Theor Appl Climatol.* 121: 517-528.
- Mehrotra, R and Sharma, A. 2007. Preserving low-frequency variability in generated daily rainfall sequences. *J. Hydrol.* 345: 102–120.
- Mhanna, M and Bauwens, W. 2012. Stochastic single-site generation of daily and monthly rainfall in the Middle East. *Meteorol. Appl.* 19: 111–117.
- Moazed, H., Salarijazi, M., Moradzadeh, M and Soleymani, S. 2012. Changes in rainfall characteristics in Southwestern Iran. *African Journal of Agricultural Research.* 7. 18: 2835-2843.
- Moon, S.E., Ryoo, S.B and Kwon, J.G. 1994. A Markov Chain Model for Daily Precipitation Occurrence in South Korea, *Int J climatol.* 14: 1009-1016.
- Ng, J.L., Aziz, S.A., Huang, Y.F., Wayayok, A and Rowshon, M.K. 2017. Generation of a stochastic precipitation model for the tropical climate. *Theor Appl Climatol.* 133: 489–509.
- Papalaskaris, T., Panagiotidis, T., Papadopoulos, S and Pantrakis, A. 2016. Stochastic generation of daily rainfall, in Kavala city station, North- Eastern Greece. *Procedia. Eng.* 162: 162–171.
- Qian, B., Corte-Real, J and Xu, H. 2002. Multisite stochastic weather models for impact studies. *Intern J Clim.* 22:1377–1397.
- Ailliot, P., Thompson, C and Thomson, P. 2009. Space-time modelling of precipitation by using a hidden Markov model and censored Gaussian distributions. *J. Roy. Stat. Soc. C – Appl.* 58: 405–426.
- Akaike, H.1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control.* 19: 716–723.
- Ansari, H. 2013. Forecasting seasonal and annual rainfall based on nonlinear modeling with Gamma test in North of Iran. *International Journal of Engineering Practical Research.* 2. 1: 16-29.
- Apipattanas, S., Podesta, G., Rajagopalan, B and Katz, R.W. 2007. A semi parametric multivariate and multisite weather generator. *Water Resour. Res.* 43. 11: 1-19.
- Bardossy, A and Pegram, G.G.S. 2009. Copula based multisite model for daily precipitation simulation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13. 12: 2299–2314.
- Byung-Jin, S., Hyun-Han K., Dongkyun k and Seung O. L.2015. Modeling of daily rainfall sequence and extremes based on a semiparametric Pareto tail approach at multiple locations. *J Hydrol.*529: 1442-1450.
- Daniel, S. 1985. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences.* Dep of soil, Crop and Atmospheric Sciences, ITHACA, Cornell Univ, New Yourk. 453 P.
- Dastidar, A.G., Gosh, D and Dasgupta, S. 2010. Higher order Markov chain models for monsoon rainfall over west Bengal, India. *Indian Journal of Radio & Space Physics.* 39: 39-44.
- Furrer, E.M and Katz, R.W. 2008. Improving the simulation of extreme precipitation events by stochastic weather generators. *Water Resour. Res.* 44. 12: 1-13.
- Hughes, J.P., Guttorp, P and Charles, S. 1999. A nonhomogeneous hidden Markov model for precipitation occurrence. *J Royal Stat Soc (Series C): Appl Stat.* 48: 15–30.
- Hyndman, R.J and Koehler, A. B. 2006. Another look at measures of forecast accuracy. *Int. J. Forecasting.* 22: 679–688.
- Katz, R.W and Zheng, X.G. 1999. Mixture model for over dispersion of precipitation. *J. Clim.* 12. 8: 2528–2537.
- Khalil, A.F., Kwon, H.H., Lall, U., and Kaheil, Y.H. 2010. Predictive downscaling based on non-homogeneous hidden Markov models. *Hydrolog. Sci. J.* 55. 3: 333–350
- Khalili A. 1997. *Integrated water plan of Iran.* Meteorological studies, Ministry of power. Iran.
- Kim, Y., Katz, R.W., Rajagopalan, B., Podesta, G.P and Furrer, E.M. 2012. Reducing over dispersion in

- modeling with statistical downscaling to predict extreme monthly rainfall in Indramayu. 12<sup>th</sup> International Conference on Mathematics, Statistics, and Their Applications (ICMSA), Banda Aceh, Indonesia.
- Sonnadara, D.U.J and Jayewardene, D.R. 2015. A Markov chain probability model to describe wet and dry patterns of weather at Colombo. *Theor Appl Climatol.* 119: 333-340.
- Stern, R.D and Coe, R. 1984. A model-fitting analysis of daily rainfall data. *J. R. Stat. Soc. Series A* 147: 1-34.
- Vrac, M and Naveau, P. 2007. Stochastic downscaling of precipitation: from dry events to heavy rainfalls. *Water Resour. Res.* 43. 7.
- Wilks, D.S and Wilby, R.L. 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress Phys Geograph.* 23: 329-357.
- Wilks, D.S. 1999. Simultaneous stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation at multiple sites in complex terrain. *Agric Forest Meteorol.* 96: 85-101.
- Qian, B., Gameda, S and Hayhoe, H. 2008. Performance of stochastic weather generators LARS-WG and AAFC-WG for reproducing daily extremes of diverse Canadian climates. *Clim. Res.* 37. 1: 17-33.
- Rajagopalan, B and Lall, U. 1999. A k-nearest-neighbor simulator for daily precipitation and other weather variables. *Water Resour. Res.* 35. 10: 3089-3101.
- Richardson, C.W. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resour Res.* 17: 182-190.
- Schoof, J.T and Pryor, S.C. 2008. On the proper order of Markov chain model for daily precipitation occurrence in the Contiguous United States. *J Appl Meteorol Clim.* 47: 2477-248.
- Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *Ann Stat.* 6: 461-464.
- Semenov, M.A. 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Clim. Res.* 35. 3: 203-212.
- Soleh, A.M., Wigena, A.H., Djuraidah, A and Saefuddin, A. 2017. Gamma distribution linear

## Modeling of Daily Rainfall Sequence and Extreme Values in the East Azerbaijan Province

N. Shahraki<sup>1</sup>, S. Marofi<sup>2\*</sup>, MS. Ghazanfari Moghadam<sup>3</sup>

Received: Oct.25, 2018

Accepted: Nov.26, 2018

### Abstract

In this study using 4 synoptic stations of semi-arid extra cold climate of east Azerbaijan province were used in order to modeling extreme values and occurrence rainfall. To this aim, a stochastic rainfall time series generation consisting of first, second and third-order Markov models and the generalized Pareto and Exponential distribution density functions were used for reproducing amount rainfall. Also, the Exponential- generalized Pareto density function was used to improve the estimation of extreme values. The proposed model essentially was a piecewise distribution approach created by parametrically modeling the tails (i.e. above a threshold) of the distribution using a generalized Pareto, , and the rest Exponential density estimation methods. The results Based on the AIC criterion indicated that the first-order Markov performs relatively better than another model for daily rainfall occurrence. The average of preference first- order Markov chain compared with second and third order was 79 and 66% for all study stations, respectively. Also, results from RMSE showed that Exponential-generalized Pareto probability density performs better to reproduce extreme daily rainfall comparing another distribution. The RMSE criterion is varying between 0.0015 to 0.0017 for Piecewise Exponential-generalized Pareto distribution to estimate extreme daily rainfall daily rainfall.

**Keywords:** Extreme rainfall, Markov chain, Piecewise Exponential - generalized Pareto distribution, Semi-arid extra cold

1- Ph.D Student of Water Resources Engineering, Department of Science and Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Professor of Water Resources Engineering, Department of Science and Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Assistant Professor on Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

(\* - Corresponding Author Email:smarofi@yahoo.com)