



## بررسی توزیع بارش‌های روزانه با روش NRC (مطالعه موردی: تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد)

فاطمه بانان فردوسی<sup>۱\*</sup> - یعقوب دین پژوه<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۷

### چکیده

در این مطالعه، از بارش‌های روزانه ایستگاه‌های تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد جهت بررسی منحنی‌های بارش نرمال شده (NRC) استفاده شد. منحنی‌های بارش نرمال شده، نشان‌دهنده تغییرات درصد تجمعی مقادیر بارش‌های روزانه ( $x_k$ ) به‌زای درصد تجمعی تعداد روزهای همراه با بارش ( $y_k$ ) است. برای بررسی این منحنی‌ها، از دو مدل رایج در هیدرولوژی شامل  $x_k = ay_k \exp(by_k)$  و  $x_k = y_k \exp[-b(1 - y_k)^c]$  استفاده شد، افزون بر این، پانزده مدل دیگر (از جمله، توانی، نمایی و ...) نیز برای ایستگاه‌ها مورد آزمون واقع شد. این کار، هم برای تمامی روزهای بارانی دوره آماری و هم برای بارش‌های روزانه هر ماه به‌طور جداگانه (در هر ایستگاه) تکرار شد. از بین مدل‌های مذکور، مناسب‌ترین مدل با توجه به آماره‌های RMSE و  $R^2$  انتخاب گردید. نتایج نشان داد که تقریباً در همه ایستگاه‌ها، مدل  $x_k = y_k \exp[-b(1 - y_k)^c]$  کمترین مقدار RMSE و بیشترین مقدار  $R^2$  را دارا بود و به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای بسط منحنی‌های بارش نرمال شده انتخاب شد. با این حال، در ماه آوریل (در تبریز) مدل نمایی سه پارامتری و در ماه اوت (در مهاباد) مدل چندجمله‌ای درجه ۴ به‌عنوان مدل مناسب انتخاب گردید. افزون بر این، اختلاف آماره  $R^2$  این دو مدل با مشاهدات (در هر دو سری) کمتر از ۰/۰۰۱ به‌دست آمد. در پرباران‌ترین و کم‌باران‌ترین ماه‌های سال، دامنه تغییرات RMSE بین ۰/۲۵۵۹ میلی‌متر در آوریل (مراغه) و ۰/۶۷۰۹ میلی‌متر در آوریل (تبریز) و مقادیر  $R^2$  بین ۰/۹۹۹۲ در اوت (مراغه) و ۰/۹۹۹۹ در آوریل (مراغه) حاصل شد. در حالت کلی، می‌توان نتیجه گرفت که در نیمی از روزهای همراه با بارش، کمتر از پانزده درصد کل عمق بارش نازل می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** بارش روزانه، توزیع زمانی و مکانی، مدل تجربی، منحنی‌های بارش نرمال شده

### مقدمه

مقادیر بارش (ناشی از طوفان‌های سنگین) را در مناطق مختلف مطالعه کرد. ایشان الگوهای توزیع زمانی را برای چهار گروه احتمال (از چارک اول تا چارک چهارم) مورد مطالعه قرار داد. معلوم شد که منحنی‌های این توزیع‌ها صاف و منعکس‌کننده توزیع بارش متوسط نسبت به زمان هستند. معلوم شد که منحنی‌های مذکور در مدیریت زمانی منابع آب در منطقه مفید هستند. آنانتاکریشنان و راجان (۱)، توزیع زمانی و مکانی بارش‌های روزانه را با استفاده از داده‌های بارش‌های موسمی ایستگاه ساحلی کوچین و جزیره مینی‌کوی واقع در خلیج بنگال برای دوره آماری ۱۹۸۲-۱۹۷۳، مورد مطالعه قرار دادند. ایشان از دو مدل رایج در هیدرولوژی، شامل  $x_k = ay_k \exp(by_k)$  و  $x_k = y_k \exp[-b(1 - y_k)^c]$  برای ارتباط بین درصد تجمعی بارش روزانه و درصد تجمعی تعداد روزهای همراه با بارش استفاده کردند. آنانتاکریشنان و سومان (۲)، با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۱۵ ایستگاه هند، به تجزیه و تحلیل آماری بارش روزانه (ماهانه، فصلی و سالانه) در دوره آماری ۱۹۸۰-۱۹۰۱

مطالعه جنبه‌های مختلف بارش‌های روزانه، در مدیریت علمی منابع آب هر منطقه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. ایران به‌لحاظ قرار گرفتن در کمربند پرفشار جنب حاره، علاوه بر بارش کم، دارای رژیم بارندگی بسیار نامنظم است. بارش‌های سالانه اندک، نوسانات شدید سالانه و فصلی، کوتاه بودن دوره بارش و نزول بارش‌ها به صورت ناگهانی از ویژگی‌های بارز رژیم بارندگی کشور محسوب می‌شود (۳). استان‌های آذربایجان شرقی و غربی جزو مناطق مهم کشاورزی، به‌ویژه تولید غلات در ایران می‌باشند. بنابراین، مطالعه توزیع زمانی و مکانی بارش‌های روزانه آن‌ها اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. در زمینه توزیع زمانی و مکانی بارش در سطح جهانی و ایران تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است. هاف (۹)، توزیع زمانی

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب و دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(\*) نویسنده مسئول: (Email: fh.ferdosi71@yahoo.com)

۷۱ درصد مقدار بارش کل را شامل می‌شوند. در ایران نیز مطالعات متعددی در زمینه‌های مختلف بارش‌های روزانه انجام شده است. مثلاً محمدی و جاوری (۱۵) تغییرات زمانی بارش در نه ایستگاه ایران را در دوره آماری ۱۹۹۵-۱۹۶۵ مطالعه کردند. همچنین، تغییرات مکانی و زمانی بارش توسط مدرس و داسیلوا (۱۳) در نواحی خشک و نیمه خشک ایران، محمدی (۱۴) در ۱۴۳۷ ایستگاه همدید ایران، میرعباسی و دین‌پژوه (۱۲) در شمال غرب ایران، دین‌پژوه (۸) در ایران (روند بارش‌های حداکثر ۲۴ ساعته) و سیاه‌چشم (۱۹) در بخش جنوبی حوضه رود ارس مطالعه شد. علی‌رغم مطالعات متعددی که راجع به جنبه‌های مختلف بارش‌های روزانه در ایران انجام شده است، به‌نظر می‌رسد که در زمینه بسط مدل توزیع زمانی و مکانی بارش‌های روزانه در ایران، مطالعه جامعی انجام نشده است. افزون بر این، در مطالعات انجام شده در زمینه توزیع زمانی بارش‌های روزانه فقط از دو مدل رایج در هیدرولوژی شامل  $x_k = ay_k \exp(by_k)$  و  $x_k = y_k \exp[-b(1 - y_k)^c]$  برای رسم منحنی‌های NRC استفاده شده است که در این تحقیق، علاوه بر این دو مدل مذکور، تعداد ۱۵ مدل دیگر (مطابق مندرجات جدول ۲) نیز مورد آزمون قرار گرفته‌اند که می‌توان از آن به‌عنوان نوآوری مطالعه حاضر یاد کرد. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، بسط و معرفی مناسب‌ترین مدل مربوط به منحنی‌های NRC در ایستگاه‌های تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد می‌باشد. دانستن این که در چند درصد از زمان، چند درصد از کل بارندگی ریزش می‌کند در مدیریت علمی منابع آب ناشی از باران مهم است.

## مواد و روش‌ها

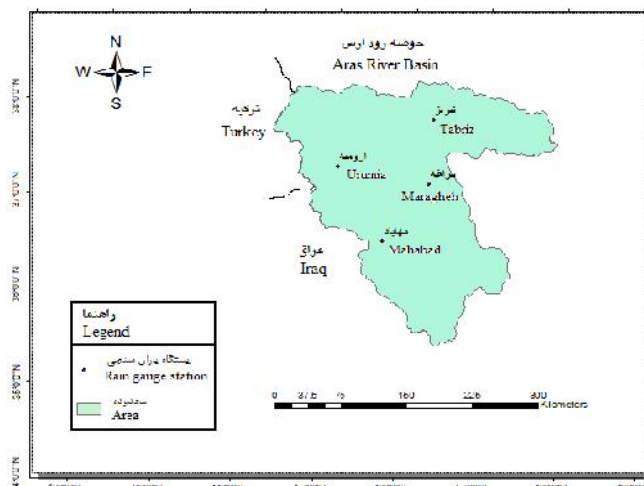
منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران است. مساحت این حوضه، حدود ۵۷۰۰۰ کیلومتر مربع بوده و ایستگاه‌های تبریز و مراغه از استان آذربایجان شرقی و ایستگاه‌های ارومیه و مهاباد از استان آذربایجان غربی، برای مطالعه انتخاب گردید. مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها، در جدول ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه، داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه از بدو تأسیس ایستگاه تا سال ۲۰۱۶ از اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی اخذ شد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را در حوضه دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. در این مطالعه، روز بارانی، به روزی اطلاق شد که مقدار بارش در آن بیش از ۰/۱ میلی‌متر بود. بر این اساس، میانگین تعداد روزهای بارانی ایستگاه‌های تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد به ترتیب، ۸۰، ۷۱، ۷۴ و ۷۵ روز در سال حاصل شد. میانگین دمای هوا در ایستگاه‌های تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد به ترتیب، ۱۲، ۱۲، ۱۱ و ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. تعداد روزهای یخبندان (در یک سال) به‌طور متوسط، در

پرداختند. منحنی‌های بارش نرمال شده<sup>۱</sup> (NRC)، نشان‌دهنده تغییرات درصد تجمعی مقادیر بارش‌های روزانه ( $x_k$ ) به‌ازای درصد تجمعی تعداد روزهای همراه با بارش ( $y_k$ ) می‌باشد. ایشان با استفاده از ارتباط بین  $x_k$  و  $y_k$ ، منحنی‌های NRC را برای هر کدام از ایستگاه‌ها رسم نمودند. این دانشمندان نتیجه گرفتند که منحنی‌های NRC ابزار مفیدی برای نمایش الگوی توزیع زمانی بارندگی می‌باشد. بنابه گزارش ایشان، مدل تجربی  $x_k = y_k \exp[-b(1 - y_k)^c]$  برای برازش منحنی‌های بارش نرمال شده بسیار مناسب است. جولایف و هوپ (۱۰)، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی، به بررسی توزیع زمانی بارش در هند پرداختند. نتایج نشان داد که منحنی‌های NRC برای نشان دادن توزیع‌های زمانی و مکانی بارش مناسب هستند. بورگوئو و همکاران (۶)، داده‌های بارش روزانه را برای ۷۵ ایستگاه باران‌سنجی بارسلونا در شمال شرقی اسپانیا و در طول ۵۱ سال دوره آماری (۱۹۵۰-۲۰۰۰) مطالعه و منحنی‌های NRC را به مشاهدات بارش‌های روزانه برازش دادند. بورگوئو و همکاران (۴)، توزیع آماری بارش‌های روزانه را برای ۷۵ ایستگاه باران‌سنجی کاتالونیا در شمال شرقی اسپانیا و در طول ۵۱ سال دوره آماری (۱۹۵۰-۲۰۰۰) مطالعه نمودند و منحنی‌های NRC را به مشاهدات بارش‌های روزانه برازش دادند. لانا و همکاران (۱۱)، توزیع زمانی و مکانی بارش‌های روزانه و ماهانه را با استفاده از داده‌های بارش هفت ایستگاه کاتالونیا (در شمال شرقی اسپانیا) مورد مطالعه قرار دادند. ایشان از مدل تجربی  $x_k = y_k \exp[-b(1 - y_k)^c]$  برای استخراج منحنی‌های NRC استفاده کردند. بورگوئو و همکاران (۵)، توزیع آماری بارش‌های روزانه را برای دوره آماری ۵۰ سال (۱۹۵۱-۲۰۰۰) در اروپا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که برخی از ویژگی‌های مختلف جغرافیایی، بر میانگین بارش و تعداد روزهای بارانی تأثیرگذار است. ناندارجی و مالی (۱۶)، ویژگی‌های توزیع بارش‌های روزانه (از طریق ارتباط بین درصد تجمعی مقدار بارش و درصد تجمعی تعداد روزهای بارانی) را مورد مطالعه قرار دادند و منحنی‌های بارش نرمال شده مشاهداتی را از طریق مدل رایج در هیدرولوژی  $x_k = y_k \exp[-b(1 - y_k)^c]$  برازش دادند. زابیتا و همکاران (۲۰)، به بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی مقدار بارش روزانه در ۴۶ ایستگاه باران‌سنجی در حوضه آبریز مانتارو در پرو و در دوره آماری ۱۹۷۴-۲۰۰۴ پرداختند. نتایج نشان داد که در این منطقه بارش‌های با شدت کم در ۳۸ درصد روزهای بارانی نازل می‌شوند. این بارش‌ها تنها نه درصد مقدار کل بارش را شامل می‌شوند. در حالی که، بارش‌های با شدت زیاد در ۳۵ درصد روزهای بارانی نازل می‌شوند و

ایستگاه‌های تبریز، مراغه، ارومیه و مهاباد به ترتیب، ۱۰۸، ۱۱۴، ۱۲۰ و ۹۳ روز در سال به دست آمد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه  
Table 1- Geographical characteristics studied stations

مشخصه Characteristic	نام ایستگاه (Station name)			
	تبریز Tabriz	ارومیه Urmia	مراغه Maragheh	مهاباد Mahabad
دوره آماری Time Period	1951-2016	1951-2016	1983-2016	1985-2016
ارتفاع (m) Altitude	1455	1332	1478	1320
عرض جغرافیایی latitude	38° 05 00	37° 31 47	37° 22 18	36° 45 41
طول جغرافیایی Longitude	46° 15 00	45° 02 48	46° 12 18	45° 44 40
متوسط بارش سالانه (mm) average annual rainfall	281.89	335.33	291.71	395.69
ضریب تغییرات سالانه annual coefficient of variation	0.0092	0.0099	0.0099	0.0097



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های منتخب در مطالعه حاضر

Figure 1- The geographical location of the Urmia Lake basin and selected stations in the present study

تجمعی تعداد روزهای بارانی (با بارش روزانه بیش از ۰/۱ میلی‌متر در این مطالعه) و  $a$ ،  $b$  و  $c$  پارامترهای مدل هستند. این پارامترها با توجه به داده‌های مشاهداتی هر ایستگاه تخمین زده می‌شوند. برای یافتن مقادیر  $x_k$  در مدل‌های فوق به شرح زیر عمل شد. ابتدا مقادیر بارش‌های مشاهداتی روزانه با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر در روز، به صورت صعودی، مرتب گردید. سپس سری مذکور، به صورت تجمعی در نظر گرفته شد. ابتدا منحنی‌های NRC هر ایستگاه، برای کل طول دوره آماری (به طور متوالی) رسم شد و سپس این کار به طور جداگانه برای یک ماه معین (مانند ژانویه) و یکایک ماه‌های سال در طول دوره

#### منحنی‌های بارش نرمال شده (NRC)

در این مطالعه، منحنی بارش نرمال شده (NRC)، برای سری مشاهدات بارش‌های روزانه چهار ایستگاه منتخب در حوضه دریاچه ارومیه رسم شد. مدل‌های مورد استفاده در این مطالعه، در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. مدل ریاضی منحنی‌های NRC، اولین بار توسط اولاسکاگا، به صورت مدل شماره ۱ (جدول ۲) ارائه گردید (۱۷). این مدل، در سال ۱۹۸۹ توسط آناتاکریشنان و سومان (۲) (به صورت مدل شماره ۲) اصلاح شد. که در آن  $x_k$  درصد تجمعی مقادیر بارش‌های روزانه (با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر در روز)،  $y_k$  درصد

و  $R^2$ ) مطابق جدول ۳ استفاده شد. در این جدول  $X_{obs,i}$  و  $X_{model,i}$  به ترتیب، مقادیر مشاهداتی و محاسباتی (به دست آمده از مدل های مختلف (NRC) مندرج در جدول ۲،  $\bar{X}_{obs,i}$  و  $\bar{X}_{model,i}$  به ترتیب، میانگین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی می باشند.

## نتایج و بحث

بر اساس خلاصه آماری میانگین بارش های روزانه در کل روزهای دوره آماری و هریک از ماه های سال (در دوره آماری) در هر چهار ایستگاه منتخب، میانه سری بارش های روزانه در همه ایستگاه ها صفر (میلی متر) برآورد شد. به عبارت بهتر، بارش های روزانه در کل دوره آماری دارای چولگی مثبت بوده است. از طرفی، مقدار آماره مد (یا نما) برای همه سری های مورد بحث صفر (میلی متر) است. این نتیجه حاکی از واقعیتی است که تعداد مشاهدات بارش صفر میلی متر (یعنی روزهای خشک) در ایستگاه های مورد مطالعه از هر رقم دیگری بیشتر بوده است. همچنین، مقدار بارش روزانه، در ایستگاه های مذکور، از حداقل ۴۲ (میلی متر در روز) در ایستگاه مراغه تا حداکثر ۷۹ (میلی متر در روز) در ایستگاه ارومیه تغییر می کند. حداکثر مقدار بارش نازل شده در یک روز در ایستگاه مهاباد در پرباران ترین ماه سال یا آوریل (معادل ۶۸ میلی متر در روز) و در کم باران ترین ماه سال یا اوت (معادل ۶ میلی متر در روز) رخ داده است. جدول ۴ مقادیر ضریب تغییرات بارش های روزانه را در ایستگاه های مورد مطالعه نشان می دهد. نتایج با توجه به جدول مذکور حاکی از پراکنش بسیار نامنظم بارش روزانه در تمام ماه های سال (به ویژه در ماه های تابستان) می باشد. این ارقام در مقایسه با کشور اسپانیا، در مطالعه بورگوئو و همکاران (۶)، بسیار بالاتر است، زیرا در مطالعه مذکور، مقدار ضریب تغییرات بارش های روزانه بارسلونا (در شمال شرقی اسپانیا) از حداقل ۱۴۱ درصد برای ماه مارس تا حداکثر ۱۷۹ درصد برای ماه فوریه گزارش شده است که در مقایسه با منطقه مورد مطالعه بسیار اندک است. افزون بر این، ضریب تغییرات بارش های روزانه در کل سال برای منطقه مذکور ۱۶۱ درصد گزارش شده است که این رقم به ترتیب، برای ایستگاه های تبریز، ارومیه، مراغه و مهاباد معادل ۳۴۳، ۳۷۱، ۳۶۴ و ۳۵۷ درصد بود. لانا و همکاران (۱۱) نیز در مطالعه داده های بارش هفت ایستگاه کاتالونیا (در شمال شرقی اسپانیا) مقدار ضریب تغییرات بارش های روزانه را در کل سال از حداقل ۹۴ درصد، برای ایستگاه تورتوسا تا حداکثر ۲۰۸ درصد، برای ایستگاه ولنیکا به دست آوردند. این رقم، برای ایستگاه های مورد مطالعه خیلی کمتر است زیرا رقم مذکور، برای تبریز ۳۴۳، برای ارومیه ۳۷۱، برای مراغه ۳۶۴ و برای مهاباد ۳۵۷ درصد است. پر واضح است که هرچه CV بارش های روزانه کمتر باشد نشان دهنده یکنواختی بارش در طول زمان (در یک سال) می باشد. بنابراین، چهار

آماری نیز به انجام رسید. در حالت اخیر، بارش های روزانه (با بارش بیش از ۰/۱ میلی متر در روز) یک ماه معین (مانند ژانویه) در سال  $i$  به طور پی در پی (در مقیاس روزانه) در یک ستون صفحه گسترده اکسل درج شد. سپس، بارش های نظیر همان ماه برای سال  $i+1$  در دنباله همان داده ها درج گردید و به همین ترتیب، همه بارش های روزانه (ماه مذکور) در کل دوره آماری به طول  $N$  سال (تعداد سال های دوره آماری) در همان ستون از صفحه گسترده اکسل قرار گرفتند. به این ترتیب، برداری ستونی، با  $q$  درایه، برای ماه مورد نظر تشکیل شد که در آن  $q$  در حقیقت، تعداد روزهای بارانی در همان ماه و در طول دوره آماری می باشد.

در مرحله بعد، مقادیر بارش غیر صفر (مرتب شده به طور صعودی) در هر روز با مقدار نظیر روز ماقبل خود جمع و سپس بر مجموع بارش نازل شده در کل دوره آماری ( $R$ ) تقسیم گردید. همچنین، برای یافتن مقادیر  $y_k$ ، شماره هر یک از روزهای بارانی بر کل روزهای بارانی ( $N$ ) تقسیم گردید. برای محاسبه  $R$  از فرمول زیر استفاده شد:

$$R = \sum_{i=1}^N r_i \quad (1)$$

که در آن  $r_1, r_2, \dots, r_N$ ، مقادیر بارش روزانه مشاهداتی غیر صفر (مرتب شده به طور صعودی) در کل  $N$  روز بارانی در کل دوره آماری مورد نظر و  $R$  عمق کل بارش های مشاهداتی در ایستگاه مورد نظر می باشد. مقادیر مشاهداتی  $x_k$  و  $y_k$  از روابط زیر محاسبه شدند:

$$x_k = \left( \sum_{i=1}^k \frac{r_i}{R} \right) \times 100, k = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$y_k = \left( \frac{k}{N} \right) \times 100, k = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

که در آن  $x_k$  و  $y_k$  به ترتیب، مقادیر بارش های روزانه غیر صفر (تراکمی) در ترتیب صعودی و تعداد روزهای بارانی (تراکمی) است، که از ابتدای روز بارانی اول در دوره آماری تا روز بارانی  $k$ ام (به ترتیب صعودی و هر دو به صورت درصد) در نظر گرفته شد. برای تخمین پارامترهای  $a$ ،  $b$  و  $c$  (پارامترهای مدل های شماره ۱ و ۲ در جدول ۲) از روش بهینه سازی GRG<sup>۱</sup> استفاده گردید. به طوریکه، تابع هدف، به صورت جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) کمینه گردید. در این مطالعه، علاوه بر مدل های ۱ و ۲، تعداد ۱۵ مدل دیگر (مندرج در جدول ۲) نیز مورد آزمون واقع شدند. فرم ریاضی همه مدل های مورد مطالعه (۱۷ مدل) در جدول ۲ قابل مشاهده است.

## معیارهای ارزیابی عملکرد مدل

در این مطالعه، از دو معیار ارزیابی عملکرد مدل (شامل RMSE

ایستگاه مورد مطالعه در این پژوهش، از نظر پراکنش زمانی نسبت به هفت ایستگاه اسپانیا بسیار نامنظم می‌باشد. به عبارت بهتر، در اکثر روزهای سال بارانی نازل نمی‌شود و برعکس در تعداد کمی از روزهای سال مانند بهار بارش‌ها روی می‌دهند. همچنین، ناندارجی و مالی (۱۶) در هشت ایستگاه هندوستان، ضریب تغییرات بارش‌های روزانه در ماه‌های مونسون را بین ۱۱۰ تا ۱۲۹ درصد گزارش کرده‌اند که این ارقام در مقایسه با منطقه مورد مطالعه بسیار ناچیز است. دلیل آن به اقلیم ایستگاه‌های هندوستان برمی‌گردد که بارش‌های آن به‌طور نسبتاً نامنظم در مقایسه با شمال غرب ایران نازل می‌شود. در این مطالعه، مقادیر بارش روزانه، در دامنه یک تا ۳۰ میلی‌متر (و بیشتر) و با گام‌های پنج میلی‌متری، برای هر چهار ایستگاه منتخب، کلاس-بندی شد. نتایج نشان داد که درصد فراوانی مطلق در کلاس بارش-های کمتر از یک میلی‌متر، برای تبریز ۰.۱٪، برای ارومیه

۸۷/۲۵٪، برای مراغه ۸۷/۸۷٪ و برای مهاباد ۸۶/۳۵٪ می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در این ایستگاه‌ها، بیشترین فراوانی بارندگی در کلاس کمتر از یک میلی‌متر است. همچنین، درصد فراوانی مطلق بارش‌های بین یک تا پنج میلی‌متر، در این چهار ایستگاه، هیچ‌وقت از ۸/۲٪ و درصد فراوانی مطلق بارش‌های بین پنج تا ۱۰ میلی‌متر از ۳٪ تجاوز نکرده است. در این مطالعه، درصد مقادیر مشاهداتی بارش و درصد روزهای بارانی با توجه به فرمول‌های ۱ تا ۳ محاسبه و نمودار حاصل از آن‌ها (NRC) رسم گردید، همچنین، مقادیر محاسباتی بارش با توجه به همه مدل‌ها (جدول ۲) محاسبه و نمودار حاصل از آن‌ها، همراه با مقادیر مشاهداتی در یک دیاگرام رسم و مقادیر RMSE هر کدام به‌دست آمد. قابل ذکر است که به‌دلیل کثرت تعداد داده‌های آماری و نزدیک بودن مقادیر محاسبات و مشاهدات به‌هم، نمودارها تقریباً روی هم منطبق شده‌اند.

جدول ۲- مدل‌های کاندیدا برای برازش منحنی‌های NRC، در ایستگاه‌های منتخب واقع در حوضه دریاچه ارومیه

Table 2- Candidate models to fit the NRC curves, at the selected stations located in the Urmia Lake basin

شماره مدل Model number	نام مدل Model name	مدل ریاضی Mathematical model	پارامترها Parameters
1	مدل نمایی ارائه شده توسط Olascoaga (17) Exponential model provided by Olascoaga (17)	$x_k = ay_k \exp(by_k)$	a, b
2	مدل نمایی ارائه شده توسط Soman و Ananthakrishnan (2) Exponential model provided by Ananthakrishnan and Soman (2)	$x_k = y_k \exp[-b(1 - y_k)^c]$	b, c
3	چند جمله‌ای درجه nام n <sup>th</sup> degree polynomial	$x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4 + \dots$	a, b, c, d, e, ...
4	Hoerl	$x = ab^y y^c$	a, b, c
5	Exponential (نمایی دو پارامتری)	$x = ae^{by}$	a, b
6	Exponential Association (3) (نمایی سه پارامتری)	$x = a(b - e^{-cy})$	a, b, c
7	Power (توانی)	$x = ay^b$	a, b
8	Modified Power (توانی اصلاح شده)	$x = ab^y$	a, b
9	Vapor Pressure (فشاربخار)	$x = e^{\frac{a+b}{y} + c \ln y}$	a, b, c
10	Geometric (هندسی)	$x = ay^{by}$	a, b
11	Harris	$x = \left( \frac{1}{a + by^c} \right)$	a, b, c
12	Gompertz	$x = ae^{-c^{b-cy}}$	a, b, c
13	Logistic	$x = \frac{a}{1 + b e^{-cy}}$	a, b, c
14	MMF	$x = \frac{ab + cy^d}{b + y^d}$	a, b, c, d
15	Weibull	$x = a - b e^{-cy^d}$	a, b, c, d
16	Sinusoidal (سینوسی)	$x = a + b \cos(cy + d)$	a, b, c, d
17	Gaussian	$x = ae^{-\frac{(y-b)^2}{2c^2}}$	a, b, c

جدول ۳- آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر

Table 3- Performance evaluation criteria of used models in this study

معیار ارزیابی Evaluation Criteria	منبع Reference	فرم معادله آماره Statistic equation form
RMSE (mm)	Dai et al (7)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}$
$R^2$ (بی‌بعد)	Sentelhas et al (18)	$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs,i}) \times (X_{model,i} - \bar{X}_{model,i}))^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs,i})^2 \times \sum_{i=1}^n (X_{model,i} - \bar{X}_{model,i})^2}$

جدول ۴- مقادیر حداکثر و حداقل ضریب تغییرات بارش‌های روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 4- The values of maximum and minimum coefficient of variation of daily precipitation in the studied stations

ضریب تغییرات Coefficient of variation	ایستگاه Station			
	ته‌ریز Tabriz	ارومیه Urmia	مراغه Maragheh	مهاباد Mahabad
حداکثر ضریب تغییرات Maximum coefficient of variation	9.47 (اوت) August	10.62 (اوت) August	15.03 (اوت) August	9.25 (اوت) August
حداقل ضریب تغییرات Minimum coefficient of variation	2.34 (آوریل) April	2.63 (آوریل) April	2.60 (آوریل) April	2.59 (مارس) March

شکل ۲، متحنی بارش نرمال شده روزانه (با شروع بارش از ۰/۱ میلی‌متر) را برای کل دوره آماری، در هر چهار ایستگاه منتخب در حوضه دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت، نمودار NRC مشاهداتی و محاسباتی (حاصل از مدل ۲) برای ایستگاه‌ها خیلی به هم نزدیک هستند. این نمودارها مقعر بوده و حاکی از این واقعیت است که در بیشتر اوقات سال مقدار کمی از بارش نازل می‌شود. به عنوان مثال، در شکل ۲-الف می‌توان مشاهده کرد که در ۲۵ درصد روزهای دوره آماری تنها ۱/۸۲ درصد بارش کل در تبریز نازل شده است. افزون بر این، در ۵۰ درصد روزهای دوره آماری فقط ۹/۴۰ درصد بارش کل نازل شده است. به همین ترتیب، در ۷۵ درصد اوقات، فقط ۳۰ درصد بارش کل و در ۹۰ درصد اوقات، تنها ۵۷/۵۹ درصد بارش کل نازل می‌شود. هرچه نزولات جوی در طول زمان یکنواخت‌تر باشد، تقعر منحنی NRC نیز کمتر خواهد بود، به طوری که اگر همه روزهای دوره آماری، به یک اندازه مساوی بارش داشته باشند، نمودار، حالت خطی (نیمساز) به خود می‌گیرد و هرچه نزولات جوی در طول زمان غیریکنواخت‌تر نازل شود، تقعر منحنی زیادت‌تر می‌گردد. در این مطالعه، همچنین مقادیر بارش‌های مشاهداتی حاصل شده از فرمول‌های ۱ تا ۳ در مقابل مقادیر بارش‌های محاسبه شده از مناسب‌ترین مدل (از بین ۱۷ مدل مندرج در جدول ۲) رسم گردید و ضرایب تعیین هر یک از مدل‌ها محاسبه شد. شکل ۳، مقادیر درصد بارش‌های تجمعی مشاهداتی را در مقابل مقادیر نظیر

محاسباتی از مناسب‌ترین مدل (مدل شماره ۲) نشان می‌دهد. در روی این شکل‌ها، ضرایب تعیین برای مناسب‌ترین مدل (مدل شماره ۲) نشان داده شده است. به طوری که از شکل ۳ می‌توان دریافت، نمودار حاصل از مناسب‌ترین مدل (مدل شماره ۲)، هیچ انحرافی از خط نیمساز (خط ۱:۱) ندارند و به خوبی روی آن منطبق شده اند و مقدار ضریب تعیین آن‌ها به ترتیب، در تبریز، ارومیه، مراغه و مهاباد برابر با ۰/۹۹۹۶، ۰/۹۹۹۷، ۰/۹۹۹۶ و ۰/۹۹۹۴ به دست آمد و نیز مقادیر پارامترهای تخمین زده شده برای مدل شماره ۲ (مناسب‌ترین مدل) به همراه آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه به شرح جدول ۵ به دست آمد. ملاحظه می‌شود که  $R^2$  در ارومیه بیشترین مقدار (۰/۹۹۹۷) را دارد. کمترین مقدار این آماره (۰/۹۹۹۴) برای مهاباد به دست آمد. این در حالی است که آماره RMSE در مهاباد بیشترین مقدار (۰/۵۶۱۲ میلی‌متر) و در ارومیه کمترین مقدار (۰/۴۰۴۹ میلی‌متر) را دارد. همچنین، در این جدول، مقدار ضریب تغییرات از ۱/۴۲۶۲ (در ارومیه) تا ۱/۳۳۸۴ (در مراغه) تغییر می‌کند. قابل ذکر است که شکل‌های دیگری، مشابه با شکل‌های ۲ و ۳، برای هریک از ماه‌های سال در طول دوره آماری (با بارش‌های شروع شده از ۰/۱ میلی‌متر در روز) نیز رسم گردید. به عنوان نمونه، شکل‌های ۴ و ۵، نمودارهای مذکور را به ترتیب، برای پرباران‌ترین (آوریل) و کم باران‌ترین ماه سال (اوت) نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل ۴

چشم‌پندان آسان نیست. همچنین، شکل ۵، منحنی‌های بارش نرمال شده را در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) برای چهار ایستگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

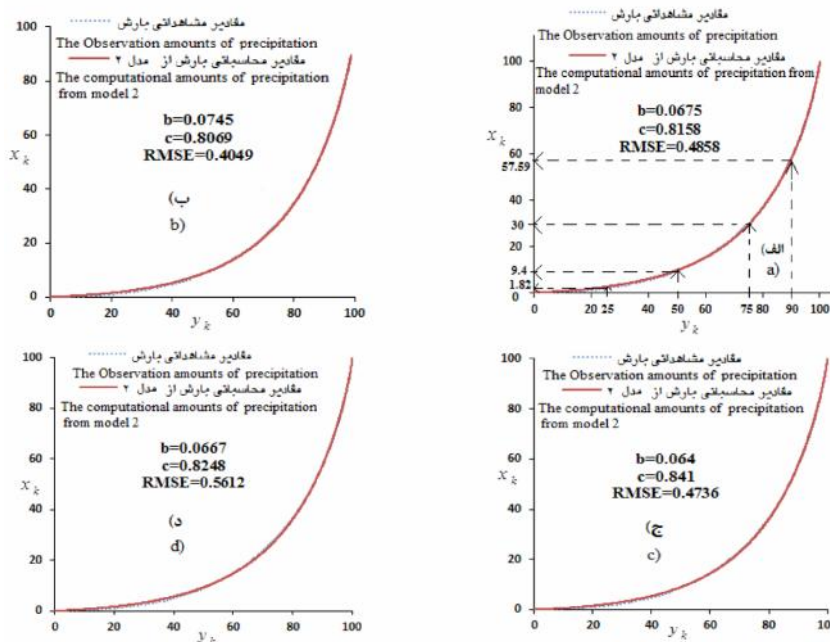
می‌توان نتیجه گرفت، در پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) مدل نمایی سه پارامتری در تبریز و مدل شماره ۲ در ارومیه، مراغه و مهاباد نسبت به سایر مدل‌ها کارایی خوبی دارند و منحنی‌های مربوطه آن چنان روی نقاط مشاهدات منطبق شده است که تمیز دادن آن‌ها با

جدول ۵- مقادیر آماره‌های ارزیابی عملکرد مناسب‌ترین مدل (مدل ۲) و پارامترهای آن برای منحنی NRC در ایستگاه‌های مورد مطالعه و در کل طول دوره آماری

Table 5- The performance evaluation criteria of the most appropriate model (model 2) and its parameters for NRC curve in the selected stations in the whole time period

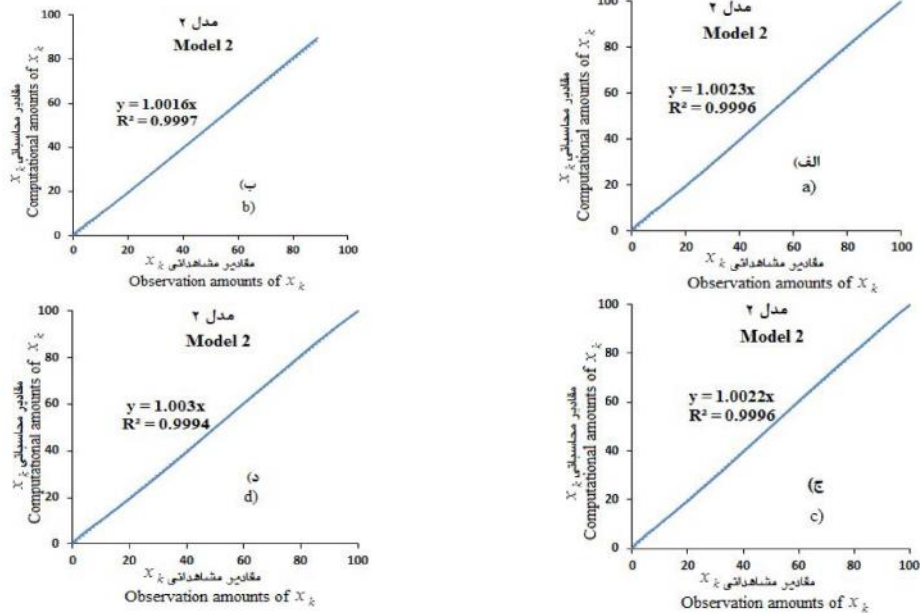
ایستگاه Station	پارامترهای مدل ۲ Model 2 parameters		$R^2$	RMSE (mm)	N	CV
	c	b				
تبریز Tabriz	0.8158	0.0675	0.9996	0.4858	5250	1.3470
ارومیه Urmia	0.8069	0.0745	0.9997	0.4049	4882	1.4262
مراغه Maragheh	0.841	0.064	0.9996	0.4736	2357	1.3384
مهاباد Mahabad	0.8248	0.0667	0.9994	0.5612	2366	1.3566

توجه: b و c پارامترهای مدل ۲ و N تعداد داده‌های مشاهداتی و cv ضریب تغییرات داده‌های مورد استفاده (با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر در روز) هستند  
Note: b and c are parameters of the model 2 and N is the number of the observed data and cv is the coefficient of variation of data used (with rainfalls having depth at least 0.1 mm per day)



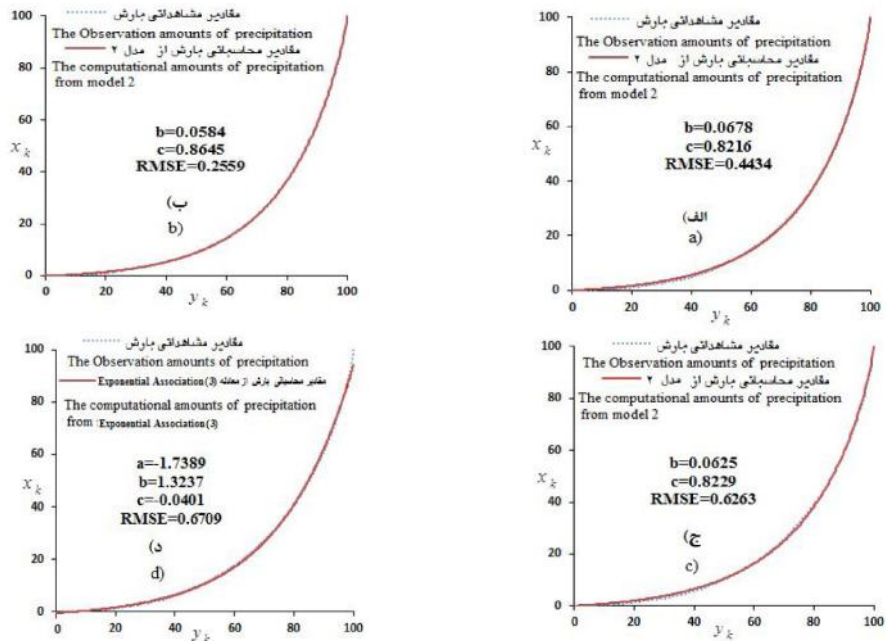
شکل ۲- منحنی‌های NRC با بارش نرمال شده روزانه (در کل دوره آماری) با حداقل عمق بارش ۰/۱ میلی‌متر و با استفاده از مناسب‌ترین مدل (مدل شماره ۲) در ایستگاه‌های منتخب: الف) تبریز، ب) ارومیه، ج) مراغه و د) مهاباد

Figure 2- NRC curves with daily normalized rainfall (in the time period) with the minimum depth of precipitation of 0.1 mm and using the most appropriate model (model 2) at the selected stations: a) Tabriz, b) Urmia, c) Maragheh and d) Mahabad



شکل ۳- نقاط پراکنش درصد تجمعی بارش‌های روزانه مشاهداتی و محاسباتی برای بارش‌های با حداقل عمق ۰/۱ میلی‌متر در روز و با استفاده از مناسب‌ترین مدل (مدل شماره ۲) در ایستگاه‌های منتخب: الف) تبریز، ب) ارومیه، ج) مراغه و د) مهاباد

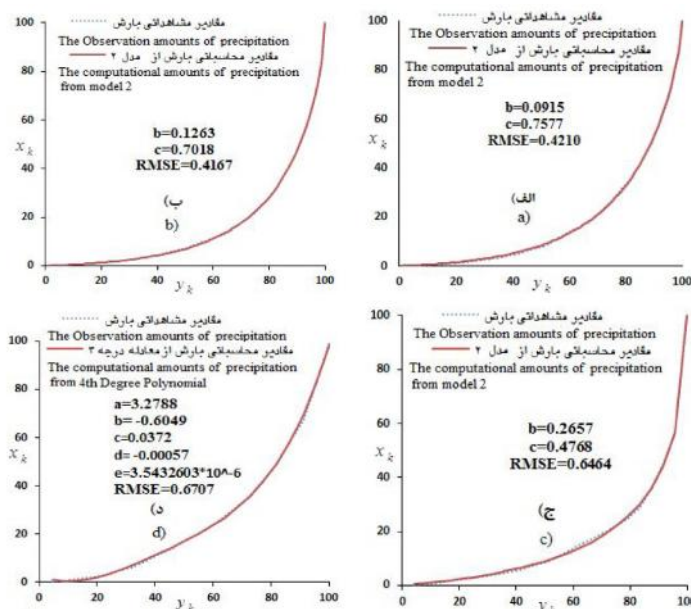
Figure 3- Scatter plot of cumulative percentage of observed and computed daily rainfalls with minimum depth of rainfall 0.1 mm per day and using the most appropriate model (model 2) at the selected stations: a) Tabriz, b) Urmia, c) Maragheh and d) Mahabad



شکل ۴- منحنی‌های NRC با بارش نرمال شده روزانه در پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) با استفاده از مناسب‌ترین مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه: الف) ارومیه، ب) مراغه، ج) مهاباد و د) تبریز

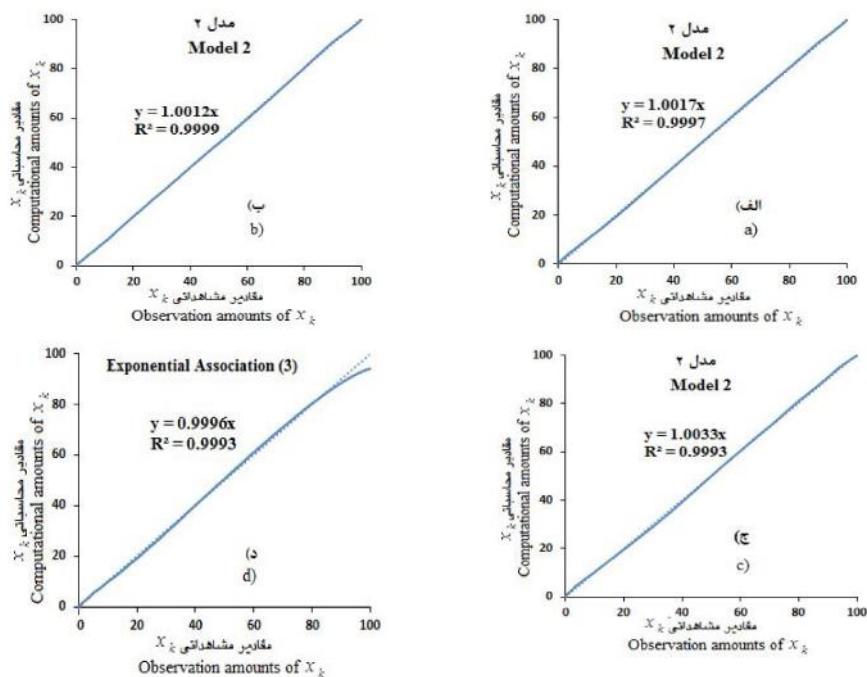
Figure 4- NRC curves with daily normalized rainfall in the rainiest month of the year (April) using the most appropriate model in the studied stations: a) Urmia, b) Maragheh, c) Mahabad and d) Tabriz





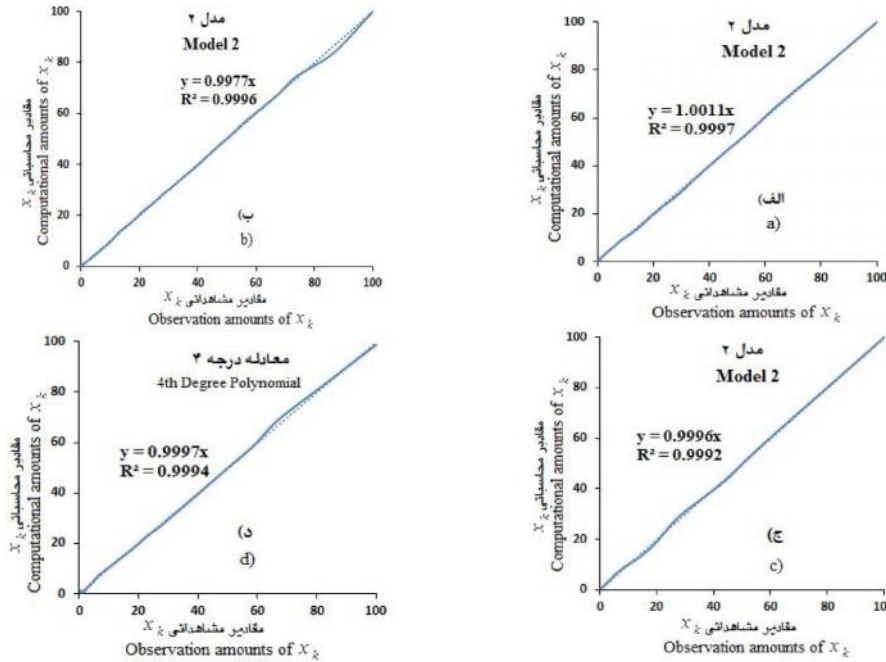
شکل ۵- منحنی‌های NRC با بارش نرمال شده روزانه در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) با استفاده از مناسب‌ترین مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه: (الف) تبریز، (ب) ارومیه، (ج) مراغه و (د) مهاباد

Figure 5- NRC curves with daily normalized rainfall in the driest month of the year (August) using the most appropriate model in the studied stations : a) Tabriz, b) Urmia, c) Maragheh and d) Mahabad



شکل ۶- نقاط پراکنش درصد تجمعی بارش‌های روزانه مشاهداتی و محاسباتی در پر باران‌ترین ماه سال (آوریل) و با استفاده از مناسب‌ترین مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه: (الف) ارومیه، (ب) مراغه، (ج) مهاباد و (د) تبریز

Figure 6- Scatter plot of cumulative percentage of observed and computed daily rainfalls in the rainiest month of the year (April) and using the most appropriate model in the studied stations: a) Urmia, b) Maragheh, c) Mahabad and d) Tabriz



شکل ۷- نقاط پراکنش درصد تجمعی بارش‌های روزانه مشاهداتی و محاسباتی در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) با استفاده از مناسب‌ترین مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه: الف) تبریز، ب) ارومیه، ج) مراغه و د) مهاباد

Figure 7- Scatter plot of cumulative percentage observed and computed daily rainfalls in the driest month of the year (August) and using the most appropriate model in the studied stations: a) Tabriz, b) Urmia, c) Maragheh and d) Mahabad

از این شکل، می‌توان استنباط کرد که در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) از  $1/7363$  تا  $1/133$  (در ارومیه) تا  $1/133$  (در مهاباد) تغییر می‌کند. جدول ۷، مقادیر آماره‌های ارزیابی  $R^2$  و RMSE بارش روزانه (مشاهداتی و محاسباتی) را به ترتیب، در کم‌باران‌ترین و کم‌باران‌ترین ماه سال (برای هر چهار ایستگاه) نشان می‌دهند. با توجه به جدول مذکور، در اغلب ماه‌های مذکور (به جز ماه آوریل در ایستگاه تبریز و ماه اوت در ایستگاه مهاباد) مقدار آماره  $R^2$  در مورد مدل ۲ بیشترین مقدار و آماره RMSE آن کمترین مقدار را دارا می‌باشد. برای همه ماه‌ها، مدل ۲ نتیجه بهتری را برای مقادیر محاسباتی بارش روزانه ارائه کرد. قابل ذکر است که در ماه آوریل در ایستگاه تبریز مدل شماره ۶ (Exponential Association (3)) و در ماه اوت در ایستگاه مهاباد مدل شماره ۳ (چندجمله‌ای درجه ۴) مناسب‌تر از مدل ۲ به دست آمده است، اما ملاحظه می‌گردد که مقدار ضریب تعیین این دو مدل فقط  $0.0001$  (در هر دو ایستگاه) اختلاف دارند که رقمی بسیار ناچیز و قابل اغماض است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در حالت کلی، مدل ۲ هم در مقیاس ماهانه و هم در مقیاس سالانه برای توجیه بارش‌های روزانه ایستگاه‌های منتخب مناسب تشخیص داده شد.

جدول ۸، مقادیر شاخص  $x_k$  را به‌ازای  $y_k$  (معادل با ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد) در ماه‌های مختلف سال و در هر چهار ایستگاه نشان

از این شکل، می‌توان استنباط کرد که در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) مدل شماره ۳ (چندجمله‌ای درجه ۴) در مهاباد و مدل شماره ۲ در ارومیه، مراغه و تبریز، نسبت به سایر مدل‌ها، خوب عمل کرده‌اند. چنین نتیجه‌هایی برای سایر ماه‌ها نیز حاصل شد. در حالت کلی، مدل شماره ۲، برای تمام ماه‌های سال در هر چهار ایستگاه به‌عنوان مناسب‌ترین مدل تشخیص داده شد. شکل‌های ۶ و ۷، نمودار نقاط پراکنش مقادیر  $x_k$  (حاصل از مدل) را در مقابل مقادیر نظیر مشاهداتی، برای مناسب‌ترین مدل، نشان می‌دهد. مناسب‌ترین مدل، از بین مدل‌های مندرج در جدول ۲ به ترتیب، برای پر باران‌ترین ماه سال (آوریل) و کم‌باران‌ترین آن (اوت) در هر چهار ایستگاه در شکل‌های مذکور مشخص شده‌اند.

جدول ۶ مقادیر پارامترهای تخمین‌زده شده برای مدل ۲ در پر باران‌ترین و کم‌باران‌ترین ماه‌های سال (برای هر چهار ایستگاه) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که مقادیر  $R^2$  در پر باران‌ترین ماه سال (آوریل) در مراغه بیشترین مقدار ( $0.9999$ ) و در تبریز کمترین مقدار ( $0.9992$ ) را دارد. در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) مقدار  $R^2$  در تبریز بیشترین ( $0.9997$ ) و کمترین مقدار ( $0.9992$ ) را به‌خود اختصاص داد. همچنین، در این جدول، ضریب تغییرات در پر باران‌ترین ماه سال (آوریل) از  $1/3480$  (در ارومیه) تا  $1/2343$  (در تبریز) و

نازل شده در ۹۰٪ روزهای بارانی به مقدار نظیر در ۲۵٪ روزهای بارانی ملاحظه می‌شود که در تبریز، کمترین و بیشترین مقدار این نسبت به ترتیب، مربوط به ماه‌های اکتبر (با ۲۵/۸۴ درصد) و سپتامبر (۳۸/۰۹ درصد) بود. این در حالی است که در ارومیه، ماه‌های آوریل (با ۳۲ درصد) و ژوئیه (۴۰/۴۲ درصد)، و در مراغه، ماه‌های اوت (با ۱۴/۹۰ درصد) و دسامبر (۴۳/۰۴ درصد) و بالأخره در مهاباد، ماه‌های اوت (با ۱۶/۷۷ درصد) و دسامبر (۴۵/۷۱ درصد) به ترتیب، کمترین و بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. زابیتا و همکاران (۲۰)، در یک تحلیل مشابه برای بارش‌های روزانه‌ی کشور پرو در دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۷۴ نشان دادند که ۷۱٪ مقادیر بارش‌های روزانه تنها در ۳۵٪ روزهای بارانی نازل می‌شوند. نامبردگان برای ۴۶ ایستگاه پرو نشان دادند که در ۲۵٪ روزهای بارانی بین حداقل ۵۲/۷ تا حداکثر ۶۵/۷ درصد مقدار بارش نازل می‌شود که در مقایسه با یافته‌های مطالعه حاضر به مراتب بیشتر است.

می‌دهد. به‌طوریکه از جدول ۸ می‌توان استنباط کرد، در ۲۵ درصد روزهای بارانی، مقدار درصد بارش رسیده از کل مابین یک تا چهار درصد است. این رقم در ۵۰ درصد روزهای بارانی، مابین پنج تا ۱۶، در ۷۵ درصد روزهای بارانی، مابین ۲۰ تا ۴۰ و در ۹۰ درصد روزهای بارانی، مابین ۴۰ تا ۶۷ درصد می‌باشد. یکی از نکات مهمی که از جدول ۸ می‌توان استنتاج کرد این است که به‌ازای  $y_k$  معادل ۵۰ درصد، ماه‌های مختلف ارقام متفاوتی را برای  $x_k$  به‌خود اختصاص داده‌اند، طوری که، در تبریز کمترین مقدار  $x_k$  در ماه اوت (۷/۸۵٪) و بیشترین آن در ماه آوریل (۱۰/۷۶٪) به‌دست آمد. در حالی که در ارومیه، کمترین مقدار  $x_k$  در ماه ژوئیه (۶/۲۵٪) و بیشترین آن در ماه می (۹/۷۲٪)، و در مراغه، کمترین مقدار  $x_k$  در ماه ژوئیه (۵/۸۹٪) و بیشترین آن در ماه نوامبر (۱۱/۵۸٪) و بالأخره در مهاباد کمترین مقدار  $x_k$  در ماه دسامبر (۷/۳۲٪) و بیشترین آن در ماه اوت (۱۶/۹۶٪) حاصل شد. همچنین، با مقایسه‌ی نسبت مقدار عمق بارش

جدول ۶- مقادیر آماره‌های ارزیابی عملکرد و پارامترهای مناسب‌ترین مدل (مدل ۲) در ایستگاه‌های منتخب در پرباران‌ترین (ماه آوریل) و کم‌باران

ترین (ماه اوت) ماه سال برای منحنی NRC

Table 6- The performance evaluation criteria and the values of parameters of the most appropriate model (model 2) in the selected stations of the rainiest (April) and driest (August) month of the year for NRC curve

ایستگاه Station	ماه month	پارامترهای مدل ۲ Model 2 parameters		$R^2$	RMSE (mm)	N	CV
		b	c				
تبریز Tabriz	آوریل April	0.0537	0.8515	0.9992	0.6934	765	1.2343
	اوت August	0.0915	0.7577	0.9997	0.4210	72	1.5129
ارومیه Urmia	آوریل April	0.0678	0.8216	0.9997	0.4434	703	1.3480
	اوت August	0.1263	0.7018	0.9996	0.4167	70	1.7363
مراغه Maragheh	آوریل April	0.0584	0.8645	0.9999	0.2559	341	1.2966
	اوت August	0.2657	0.4768	0.9992	0.6464	24	2.1273
مهاباد Mahabad	آوریل April	0.0625	0.8229	0.9993	0.6263	311	1.3104
	اوت August	0.0465	0.8170	0.9993	0.7305	22	1.0133

توجه: b و c پارامترهای مدل ۲ و N تعداد داده‌های مشاهداتی و cv ضریب تغییرات داده‌های مورد استفاده (با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر در روز) هستند

Note: b and c are parameters of the model 2 and N is the number of the observed data and cv is the coefficient of variation of data used (with rainfalls having depth at least 0.1 mm per day)

جدول ۷- مقادیر آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل بارش روزانه به ترتیب، در پرباران‌ترین (آوریل) و کم‌باران‌ترین (اوت) ماه سال و با حداقل عمق بارش ۰/۱ میلی‌متر در روز

Table 7- The performance evaluation criteria of daily rainfall model respectively, in the rainiest (April) and driest (August) month and with minimum depth of rainfall 0.1 mm per day

ایستگاه Station	ماه Month	نام یا شماره مدل Name or Model number	$R^2$	RMSE (mm)
	آوریل April	Exponential Association (3)	0.9993	0.6709
تبریز Tabriz	اوت August	(2)	0.9997	0.4210
	آوریل April	(2)	0.9997	0.4434
ارومیه Urmia	اوت August	(2)	0.9996	0.4167
	آوریل April	(2)	0.9999	0.2559
مراغه Maragheh	اوت August	(2)	0.9992	0.6464
	آوریل April	(2)	0.9993	0.6263
مهاباد Mahabad	اوت August	4 <sup>th</sup> Degree Polynomial	0.9994	0.6707

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، در بررسی توزیع زمانی بارش‌های روزانه چهار ایستگاه منتخب در حوضه دریاچه ارومیه (تبریز، ارومیه، مراغه و مهاباد) با روش NRC نتایج زیر حاصل گردید:

از بین ۱۷ مدل کاندیدا، مدل شماره ۲ با داشتن بالاترین مقدار آماره‌ی  $R^2$ ، کمترین مقدار RMSE و با فرم ریاضی  $x_k = y_k \exp[-b(1 - y_k)^c]$  به‌عنوان مناسب‌ترین مدل، جهت برازش منحنی‌های بارش نرمال شده (NRC) در هر چهار ایستگاه و در کل دوره آماری انتخاب شد که در آن  $x_k$  درصد تجمعی مقادیر بارش‌های روزانه،  $y_k$  درصد تجمعی تعداد روزهای همراه با بارش و b و c پارامترهای مدل ۲ می‌باشند. همچنین، مدل مذکور، به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای همه ماه‌ها (در هر چهار ایستگاه) انتخاب شد. برای یکایک ایستگاه‌ها، درصد مقادیر مشاهداتی بارش و درصد روزهای بارانی (با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر) محاسبه و منحنی‌های بارش نرمال شده (NRC) از طریق مدل ۲ رسم گردید. این نمودارها مقعر بوده و مفهوم آن این است که در بیشتر اوقات، مقدار کمی از بارش کل نازل می‌شود و در این نمودارها، مقدار درصد بارش رسیده از کل، در هر نقطه، با شیب خط مماس بر منحنی، در همان نقطه، ارتباط مستقیم دارد. همچنین، در دو ایستگاه تبریز و ارومیه با توجه به منحنی‌های NRC، در ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد روزهای بارانی به

همچنین، براساس گزارش ناندارجی و مالی (۱۶)، ۵۰ درصد مقدار باران در هشت ایستگاه مورد مطالعه در هندوستان تنها در ۱۳ تا ۱۶ درصد روزهای همراه با بارش نازل می‌شود. این رقم، در مقایسه با مطالعه حاضر (حدود ۹۰ درصد) بسیار ناچیز است. قابل ذکر است که شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه ایشان با شرایط اقلیمی مطالعه حاضر بسیار متفاوت است، طوریکه، تعداد روزهای بارانی در حوضه کوینا در هند بین ۸۸ تا ۱۰۹ روز فقط در فصل مونسون می‌باشد، در حالی‌که، تعداد روزهای بارانی (با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر) به‌طور متوسط در تبریز ۸۰، در ارومیه ۷۴، در مراغه ۷۱ و در مهاباد ۷۵ روز در سال می‌باشد. لانا و همکاران (۱۱) نیز با استفاده از داده‌های بارش هفت ایستگاه کاتالونیا در شمال شرقی اسپانیا نشان دادند که در ایستگاه ولنیکا، در ۵۰٪ روزهای بارانی، تنها هشت درصد بارش کل نازل می‌شود، این نتیجه، با یافته‌های مطالعه حاضر در تبریز، ارومیه و مراغه هم‌خوانی دارد زیرا در ۵۰٪ روزهای بارانی بین ۷/۸۵٪ تا ۱۰/۷۶٪ بارش در تبریز، ۶/۲۵٪ تا ۹/۷۲٪ بارش در ارومیه و ۵/۸۹٪ تا ۱۱/۵۸٪ بارش کل سال نازل می‌شود. همچنین، ایشان نشان دادند که در ایستگاه توروسا در نیمی از روزهای بارانی حدود ۲۰٪ بارش کل نازل می‌شود که این نتیجه با یافته‌های مطالعه حاضر در مهاباد تا حدودی مطابقت دارد زیرا در ۵۰٪ روزهای بارانی بین ۷/۳۲٪ تا ۱۶/۹۶٪ بارش کل نازل می‌شود.

(بیش از ۱/۰ میلی‌متر) فقط ۱۵ درصد کل بارندگی در مه‌آباد نازل می‌شود.

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، چنین به نظر می‌رسد که توزیع زمانی بارش در روزهای مختلف سال بسیار نامنظم است. در نتیجه، مدیریت خردمندان منابع آب قابل دسترس در حوضه آبریز دریاچه ارومیه امری بسیار مهم و ضروری می‌باشد. در غیر اینصورت، علاوه بر خشک شدن دریاچه ارومیه، نابودی تدریجی باغات و مزارع مورد انتظار است که از جمله تبعات آن مهاجرت دسته‌جمعی مردم روستاها و شهرهای اطراف دریاچه برای امرار معاش به سایر نقاط ایران خواهد بود، که آن هم مشکلات متعدد زیادی خواهد داشت.

ترتیب، حدود دو، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ درصد کل بارندگی نازل می‌شود. با توجه به منحنی‌های NRC، در مراغه در ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد روزهای بارانی به ترتیب، ۲، ۱۰، ۳۵ و ۶۵ درصد کل بارندگی نازل می‌شود.

با توجه به منحنی‌های NRC، در مه‌آباد در ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد روزهای بارانی به ترتیب، سه، ۱۵، ۳۵ و ۶۵ درصد کل بارندگی نازل می‌شود.

با توجه به منحنی‌های NRC، در نیمی از روزهای همراه با بارش (بیش از ۱/۰ میلی‌متر) فقط ۱۰ درصد کل بارندگی در تبریز، ارومیه و مراغه نازل می‌شود.

با توجه به منحنی‌های NRC، در نیمی از روزهای همراه با بارش

## منابع

- 1- Ananthakrishnan R., and Rajan C.K. 1987. Some features of the south-west monsoon rainfall of Cochin and Minicoy. *International Journal of Climatology*, 7:355-372.
- 2- Ananthakrishnan R., and Soman M.K. 1989. Statistical distribution of daily rainfall and its association with the coefficient of variation of rainfall series. *International Journal of Climatology*, 9:485-500.
- 3- Babaei Fini S., and Farajzadeh M. 2002. Patterns of temporal and spatial variations of rainfall in Iran. *Journal of Modarres*, 4: 51-70 (in Persian).
- 4- Burgueño A., Martinez M.D., Lana X., and Serra C. 2005. Statistical distribution of the daily rainfall regime in Catalonia (northeastern Spain) for the years 1950-2000. *International Journal of Climatology*, 25:1381-1403.
- 5- Burgueño A., Martinez M.D., Lana X., and Serra C. 2010. Statistical distributions of the daily rainfall regime in Europe for the years 1951-2000. *Theoretical and Applied Climatology*, 102:213-226.
- 6- Burgueño A., Serra C., and Lana X. 2004. Monthly and annual statistical distributions of the daily rainfall at the Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) for the years 1917-1999. *Theoretical and Applied Climatology*, 77:57-75.
- 7- Dai X., Shi H., Li Y., Ouyang Z., and Huo Z. 2009. Artificial neural network models for estimating regional reference evapotranspiration based on climate factor. *Hydrological Processes*, 23:442-450.
- 8- Dinpashoh Y. 2014. Trend analysis of maximum 24-hour rainfall in Iran. The final report of the research project Tabriz University, Page 134 (in Persian).
- 9- Huff F.A. 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources*, 3(4):1007-1019.
- 10- Jolliffe I.T., and Hope P.B. 1996. Representation of daily rainfall distributions using normalized rainfall curves. *International Journal of Climatology*, 16:1157-1163.
- 11- Lana X., Burgueño A., Martinez M.D., and Serra C. 2009. A review of statistical analyses on monthly and daily rainfall in Catalonia. *Journal of Weather & Climate of the Western Mediterranean*, 6:15-29.
- 12- Mirabbasi R., and Dinpashoh Y. 2012. Trend analysis of rainfalls in northwest of Iran in the past half century. *Journal of Science and Irrigation Engineering*, 4 (35): 59-73 (in Persian).
- 13- Modarres R., and Dasilva V. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environment*, 70(2): 344-355.
- 14- Mohammadi B. 2011. Trend Analysis of annual rainfall in Iran. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 3 (22): 95-106 (in Persian).
- 15- Mohammadi H., and Javeri M. 2006. Temporal variability of rainfall in Iran. *Journal of Ecology*, 32 (40): 87-100 (in Persian).
- 16- Nandargi S., and Mulye S.S. 2012. Relationships between rainy days, mean daily intensity and seasonal rainfall over the Koyna catchment during 1961-2005. *The Scientific World Journal*, doi: 10.1100/2012/894313, Page 1-10.
- 17- Olascoaga M.J. 1950. Some aspects of Argentina rainfall. *Tellus*, 2: 312-318.
- 18- Sentelhas P.C., Gillespie T.J., and Santos E.A. 2010. Methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management*, 97(5): 635-644.
- 19- Siyahcheshm A. 2015. The effect of global warming on precipitation and temperatures in the southern basin of Aras River. Master thesis of Civil engineering (hydraulic structures), Ahar Islamic Azad University (in Persian).

- 20- Zubieta R., Saavedra M., Silva Y., and Giráldez L. 2016. Spatial analysis and temporal trends of daily precipitation concentration in the Mantaro River basin: central Andes of Peru. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(6): 1305-1318.



## Investigation of Daily Rainfall Distribution Using the NRC Method (Case Study: Tabriz, Maragheh, Urmia and Mahabad)

F. Banan Ferdosi<sup>1\*</sup> - Y. Dinpashoh<sup>2</sup>

Received: 30-07-2017

Accepted: 09-10-2017

**Introduction:** Study of various aspects of daily rainfalls is so crucial from the view of scientific management of water resources in every region. Iran is located in subtropical high-pressure belt, which had low annual rainfall. The precipitation regime is very irregular both in time and space. The East and West Azarbaijan provinces are known as the important areas of agriculture, especially cereal production in Iran. Therefore, study of temporal and spatial distribution of daily rainfalls is very important in this region. The purpose of this study is to extract the best model for normalized rainfall curves (NRC) in the four selected stations namely, Tabriz, Maragheh, Urmia and Mahabad.

**Materials and Methods:** In this study, daily rainfalls of four stations namely, Tabriz, Maragheh, Urmia and Mahabad were used to fit the normalized rainfall curves (NRC). For this purpose, the two custom hydrologic models i.e.  $x_k = ay_k \exp(by_k)$  and  $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$  were employed for NRCs. In order to find the values of  $x_k$  (cumulative percentage of daily rainfalls) firstly the amount of daily rainfalls observations were arranged in ascending Order. Then, cumulative percent of rainfall calculated during the time period. The NRC curves of each station, plotted by drawing the  $x_k$  versus  $y_k$  for a total statistical period, separately. This was done for a given month (eg, January) data across the whole period and whole day's rainfall during the consecutive months of the years of the study period. In the latter case, the daily rainfalls of the first month of the first year of the study period were written consecutively in a distinct column of Excel spreadsheets. Then, daily rainfalls of the second year were written similarly, following the first years data. Daily rainfalls of the third, fourth and so on were written consecutively in the same mentioned column of Excel spreadsheets. Similarly, another column attributed to the number of rainy days in the studied period. Then, the values of non-zero daily rainfalls (arranged in ascending order) accumulated consecutively, and the resulted value were divided to the total number of observed rainfalls in the period (R). Similarly cumulative rainy days were divided to the total days (N). Moreover, the other fifteen models (including the power, exponential ...), were tested for the stations observations separately. Among the mentioned models, the most suitable one is selected according to RMSE and  $R^2$  criteria.

**Results and Discussion:** Results showed that the maximum amount of daily rainfall experienced in Mahabad station in the rainiest month of the year or April (equivalent to 68 mm per day). The minimum value of daily rainfall belonged to the August (equivalent to 6 mm per day). The shape of NRCs created in this study for period in each of the four stations, showed that these curves were concave in almost all of the cases. This implies that a small amount of rainfall fell in a long period. In addition, the results showed that nearly in all of the stations the model of  $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$  had the lowest value of RMSE and the largest value of  $R^2$ . Therefore, this model selected as the most suitable one for NRCs of the stations. Although, the Exponential Association (3) model (in Tabriz) in April and the 4<sup>th</sup> degree Polynomial model (in Mahabad) in August selected as the most suitable model for them. Furthermore, the difference of  $R^2$  statistics for the two models (at both of the time series) obtained as less than 0.0001. In the rainiest month and driest month of a year, the range of RMSE varied between 0.2559 mm in April (Maragheh) and 0.6709 mm in April (Tabriz). Moreover, the  $R^2$  values varied between 0.9992 in August (Maragheh) and 0.9999 in April (Maragheh). In general, it can be concluded that the amount of precipitation receives in half of the rainy days is less than fifteen percent of the total rainfall depth. In this study, the values of  $R^2$  of the most appropriate model for Tabriz, Urmia, Maragheh, Mahabad obtained as equal to 0.9996, 0.9997, 0.9996 and 0.9994, respectively.

**Conclusions:** Among the 17 candidate models, the model number 2 showed the highest  $R^2$ , and the lowest

1 and 2- Master Student and Associate Professor of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University

(\*- Corresponding Author Email: fh.ferdosi71@yahoo.com)

RMSE. Therefore, the model  $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$  was selected as the most appropriate model for drawing NRCs. Also, the mentioned model, were selected as the most appropriate model for all the months (in the four stations). The results showed that the NRCs were concave and in most cases, a small amount of total rainfall fell during the large number of days. In addition, in the two stations namely, Tabriz and Urmia the amount of rainfall receives in the 25, 50, 75 and 90 percent of rainy days were about two, 10, 30 and 60 percent of the total rainfall depth, respectively.

**Keywords:** Daily rainfall, Experimental model, Normalized rainfall curves, Temporal and spatial distribution