

## بررسی توزیع زمانی بارش‌های روزانه با روش منحنی‌های بارش نرمال (NRC) (مطالعه موردی: ایستگاه تبریز)

فاطمه بانان فردوسی<sup>۱\*</sup>، یعقوب دین‌پژوه<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۲۵

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲-دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fh.ferdosi71@yahoo.com

### چکیده

در این مطالعه، با استفاده از آمار روزانه ایستگاه هواشناسی تبریز به بررسی منحنی‌های بارش نرمال (NRC) پرداخته شد. برای این منظور، مقدار بارش روزانه به همراه تعداد روزهای بارانی به صورت تراکمی در نظر گرفته شد و به ترتیب، با  $x_k$  و  $y_k$  نشان داده شد، آنگاه منحنی‌های NRC براساس معادله‌های  $x_k = ay_k \exp(by_k)$  و  $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$  بسط داده شد، این روش هم برای تمامی روزهای دوره آماری و هم برای هر ماه، به طور جداگانه، در طول دوره آماری به کار گرفته شد. مقادیر پارامترهای مدل‌ها با روش بهینه‌سازی و با گزینه solver در نرم‌افزار اکسل تخمین زده شدند. افزون بر این، چند مدل دیگر ریاضی (از جمله، مدل چندجمله‌ای درجه  $n$ ام، توانی، توانی اصلاح شده، نمایی، نمایی پیوسته و ...) نیز برای داده‌های  $x_k$  و  $y_k$  توسط نرم افزار Curve Expert 1.3 بسط داده شد. در نهایت، مدل با کمترین مقدار  $RMSE$  و بیشترین مقدار  $R^2$  به عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی گردید. نتایج نشان داد که تقریباً در همه موارد، مدل  $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$  کمترین مقدار  $RMSE$  (۰/۴۸۵۸ میلی‌متر) و بیشترین مقدار  $R^2$  (۰/۹۹۹۶) را دارا بود. بنابراین، مدل مذکور به عنوان مناسب‌ترین مدل برای بسط منحنی‌های NRC تبریز انتخاب شد. در مقیاس ماهانه، معیار  $RMSE$  از کمینه ۰/۲۲ میلی‌متر (در ماه سپتامبر) تا بیشینه ۰/۶۷ میلی‌متر (در ماه آوریل) تغییر می‌کند. در حالی که مقادیر  $R^2$  این دو ماه، به ترتیب، ۰/۹۹۹۹ و ۰/۹۹۹۳ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: بارش روزانه، تبریز، توزیع زمانی، مدل تجربی، منحنی‌های بارش نرمال

## Investigation of Temporal Distribution of Daily Rainfall Using the Normalized Rainfall Curves (NRC) (Case Study: Tabriz Station)

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

Received: August 23, 2017 Accepted: December 16, 2018

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Assoc. Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

\*Corresponding Author, Email: fh.ferdosi71@yahoo.com

### Abstract

In this study, by use of the daily rainfalls of Tabriz weather station the normalized rainfall curves (NRC) were investigated. For this purpose, the cumulative amount of daily rainfalls with the cumulative number of rainy days were considered and shown by  $x_k$  and  $y_k$ , respectively. Then, the NRCs were extracted according to the equations of  $x_k = ay_k \exp(by_k)$  and  $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$ . This approach was applied to all days and every months of the data recording time period, separately. The parameters of models were estimated using the solver option in Excel software by the optimization method. Moreover, some of the other mathematical models (including the  $n$ -th degree polynomial, power, modified power, exponential, continuous exponential, etc.) were derived for  $x_k$  and  $y_k$  data by the Curve Expert 1.3 software. Among the all extracted models, a model having the lowest *RMSE* and highest  $R^2$  was introduced as the most appropriate one. The results showed that, approximately, in the all cases the *RMSE* model with the lowest  $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$  value (0.4858 mm) and the largest amount of  $R^2$  (0.9996) was known as the most appropriate model to derive the NRCs of Tabriz station. Furthermore, in monthly time scale the amount of *RMSE* varied from 0.22 mm (in September) up to 0.67 mm (in April). The  $R^2$  values for these two months obtained as 0.9999 and 0.9993, respectively.

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

### مقدمه

الگوهای توزیع زمانی را برای چهار گروه احتمال مورد مطالعه قرار داد. آنانتاکریشن و راجان (۱۹۸۷) توزیع زمانی بارش‌های روزانه را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های کوچین و مینی‌کوی برای دوره آماری ۱۹۷۳-۱۹۸۲ مطالعه کردند. ایشان از فرمول‌های تجربی  $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$  و  $x_k = ay_k \exp(by_k)$  برای ارتباط بین درصد تجمعی بارش روزانه ( $x_k$ ) و درصد تجمعی زمان بارش ( $y_k$ ) استفاده کردند. آنانتاکریشن و سومان (۱۹۸۹) با استفاده از اطلاعات ۱۵ ایستگاه هند به تحلیل آماری بارش روزانه (ماهانه، فصلی و سالانه) در دوره آماری ۱۹۸۰-۱۹۰۱ پرداختند. ایشان با استفاده از ارتباط بین  $x_k$  و  $y_k$ ، منحنی‌های

مطالعه جنبه‌های مختلف بارش‌های روزانه در مدیریت علمی منابع آب هر منطقه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. ایران به‌لحاظ موقعیت جغرافیایی، علاوه بر کمبود بارش، دارای رژیم بارندگی بسیار نامنظم است. استان آذربایجان شرقی و به‌تبع آن شهر تبریز نیز از این قاعده مستثنی نبوده و چون جزو مناطق مهم کشاورزی می‌باشد، بنابراین، مطالعه توزیع زمانی و مکانی بارش‌های روزانه آن اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. در زمینه توزیع زمانی بارش، تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است. هاف (۱۹۶۷) توزیع زمانی مقادیر بارش ناشی از طوفان‌های سنگین را در مناطق مختلف مطالعه کرد. ایشان

داسیلوا (۲۰۰۷) در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران، محمدی (۱۳۹۰) در ۱۴۳۷ ایستگاه همید ایران، میرعباسی و دین‌پژوه (۱۳۹۱) در شمال‌غرب ایران، دین-پژوه (۱۳۹۳) در ایران (روند بارش‌های حداکثر ۲۴ ساعته)، سیاه‌چشم (۱۳۹۴) در بخش جنوبی حوضه رود ارس و احمدی و همکاران (۱۳۹۵) در نیمه شمالی کشور در زمینه تحلیل روند بارش‌ها در کشور (عمق و تعداد روزهای بارانی) مطالعه کردند. علی‌رغم مطالعات متعددی که راجع به جنبه‌های مختلف بارش‌های روزانه در ایران انجام شده، به نظر می‌رسد که در زمینه بسط مدل توزیع زمانی بارش‌های روزانه در ایران هیچ‌گونه مطالعه جامعی انجام نشده است. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، بسط و معرفی مناسب‌ترین مدل مربوط به منحنی‌های بارش نرمال (NRC) در ایستگاه تبریز می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه تبریز، مرکز استان آذربایجان شرقی، می‌باشد که به لحاظ جغرافیایی در ۳۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی و ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی واقع شده است. در این مطالعه، داده‌های بارش روزانه ایستگاه تبریز طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۵۱ از اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی اخذ شد. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در مطالعه فعلی، روز بارانی روزی است که مقدار بارش روزانه آن کمینه ۰/۱ میلی‌متر باشد. در تبریز، به‌طور متوسط ۸۰ روز بارانی در سال وجود دارد. در حالی‌که سازمان هواشناسی کشور روز بارانی را روزی تعریف کرده است که در آن کمینه یک میلی‌متر بارش نازل شود، در این صورت، تعداد روزهای بارانی تبریز به ۵۴ روز کاهش می‌یابد. همچنین، کمینه دمای مطلق در تبریز در ماه ژانویه، حدود منهای ۲۶ (°C) و بیشینه دمای مطلق در ماه ژوئیه در حدود ۴۰ (°C) می‌باشد.

بارش نرمال<sup>۱</sup> (NRC) را برای هرکدام از ایستگاه‌ها رسم نمودند. جولایف و هوپ (۱۹۹۶) با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در پژوهش آنانتاکریشن و سومان (۱۹۸۹)، به بررسی توزیع بارش در هند پرداختند. نتایج نشان داد که منحنی‌های NRC برای نشان دادن توزیع‌های زمانی بارش مناسب هستند، ولی بسط مدل دقیق برای این منحنی‌ها چندان آسان به نظر نمی‌رسد. بورگننو و همکاران (۲۰۰۴) داده‌های بارش روزانه را برای ۷۵ ایستگاه بارسلونا در شمال شرقی اسپانیا و در دوره آماری (۲۰۰۰-۱۹۵۰) مطالعه نمودند و منحنی‌های NRC را به مشاهدات بارش‌های روزانه برازش دادند. بورگننو و همکاران (۲۰۰۵) توزیع آماری رژیم بارش روزانه را برای ۷۵ ایستگاه کاتالونیا در شمال شرقی اسپانیا و در دوره آماری (۲۰۰۰-۱۹۵۰) مطالعه نمودند و منحنی‌های NRC را به مشاهدات بارش‌های روزانه برازش دادند. لانا و همکاران (۲۰۰۹) توزیع زمانی بارش‌های روزانه و ماهانه را با استفاده از داده‌های هفت ایستگاه کاتالونیا مورد مطالعه قرار دادند. ایشان از فرمول تجربی  $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$  برای استخراج منحنی‌های NRC استفاده کردند. بورگننو و همکاران (۲۰۱۰) بار دیگر توزیع آماری رژیم بارش روزانه را برای دوره آماری (۲۰۰۰-۱۹۵۱) در اروپا مطالعه کردند. ناندارجی و مالی (۲۰۱۲) ویژگی‌های توزیع بارش‌های روزانه (از طریق ارتباط بین  $x_k$  و  $y_k$ ) را مطالعه و منحنی‌های NRC را از رابطه  $x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c]$  رسم نمودند. زابیتا و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی مقدار بارش روزانه در ۴۶ ایستگاه در حوضه آبریز مانتارودر پرو و در دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۷۴ پرداختند. در ایران نیز مطالعات متعددی در زمینه‌های مختلف بارش‌های روزانه انجام شده است. مثلاً محمدی و جاوری (۱۳۸۵) تغییرات زمانی بارش در نه ایستگاه ایران را در دوره آماری ۱۹۹۵-۱۹۶۵ مطالعه کردند. مدرس و

<sup>1</sup> Normalized rainfall curves

$$R = \sum_{i=1}^N r_i \quad [۳]$$

که در آن،  $r_1, r_2, \dots, r_N$  مقادیر بارش مشاهداتی غیرصفر مرتب شده (به‌طور صعودی) در کل  $N$  روز بارانی و  $R$  کل بارش‌های مشاهداتی می‌باشند. مقادیر مشاهداتی  $x_k$  و  $y_k$  از روابط زیر تخمین زده شدند:

$$x_k = \left( \sum_{i=1}^k \frac{r_i}{R} \right) \times 100, k = 1, 2, \dots, N \quad [۴]$$

$$y_k = \left( \frac{k}{N} \right) \times 100, k = 1, 2, \dots, N \quad [۵]$$

که در آن،  $x_k$  و  $y_k$  به ترتیب، درصد مقادیر بارش‌های روزانه غیرصفر (تراکمی) در ترتیب صعودی و درصد تعداد روزهای بارانی (تراکمی) است که از ابتدای روز اول دوره آماری تا روز  $k$  ام به ترتیب صعودی در نظر گرفته شد. برای یافتن پارامترهای  $a$ ،  $b$  و  $c$  از روش بهینه‌سازی GRG<sup>۲</sup> استفاده گردید. به‌طوریکه، تابع هدف به صورت جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) کمینه گردید. در این مطالعه، علاوه بر روش منحنی‌های NRC (روابط ۱ و ۲)، تعداد ۱۵ مدل دیگر (جدول ۱) نیز مورد آزمون واقع شدند.

#### معیارهای ارزیابی عملکرد

در این مطالعه، از دو معیار ارزیابی عملکرد مدل شامل RMSE (دای و همکاران ۲۰۰۹) و  $R^2$  (سنتلهاس و همکاران ۲۰۱۰) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2} \quad [۶]$$

$$R^2 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs,i}) \times (X_{model,i} - \bar{X}_{model,i}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs,i})^2 \times \sum_{i=1}^n (X_{model,i} - \bar{X}_{model,i})^2} \quad [۷]$$

که در آن  $X_{obs,i}$  و  $X_{model,i}$  به ترتیب، مقادیر مشاهداتی و محاسباتی،  $\bar{X}_{obs,i}$  و  $\bar{X}_{model,i}$  به ترتیب، میانگین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی متناظر می‌باشند.

#### نتایج و بحث

#### منحنی‌های بارش نرمال (NRC)

در این مطالعه، منحنی‌های NRC برای سری مشاهدات بارش‌های روزانه تبریز رسم شد. مدل ریاضی منحنی-های NRC اولین بار به صورت رابطه ۱ توسط اولاسکاگا ارائه گردید (اولاسکاگا ۱۹۵۰). سپس به صورت فرمول ۲ اصلاح شد (آنانتاکریشنان و سومان ۱۹۸۹).

$$[۱]$$

$$x_k = ay_k \exp(by_k)$$

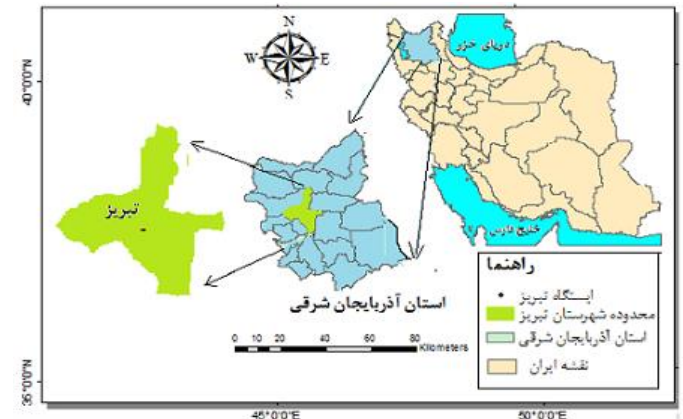
$$x_k = y_k \exp[-b(1-y_k)^c] \quad [۲]$$

که در آن،  $x_k$  درصد تجمعی مقادیر بارش‌های غیرصفر،  $y_k$  درصد تجمعی روزهای بارانی (با بارش روزانه بیش از ۰/۱ میلی‌متر در این مطالعه) و  $a$ ،  $b$  و  $c$  پارامترهای مدل هستند. برای یافتن مقادیر  $x_k$  در مدل-های فوق ابتدا مقادیر بارش‌های مشاهداتی روزانه غیرصفر به صورت صعودی مرتب گردید و مجموع آنها به صورت تجمعی در نظر گرفته شد. منحنی‌های NRC ابتدا برای کل طول دوره آماری (به‌طور متوالی) رسم شد. برای این کار، محور افقی و قائم به ترتیب، به مقادیر  $x_k$  و  $y_k$  اختصاص داده شد. این منحنی‌ها هم برای مشاهدات و هم برای مدل منتخب در یک دیاگرام رسم گردید. سپس، این منحنی‌ها برای یکایک ماه‌های سال در طول دوره آماری به‌طور جداگانه نیز رسم شد. در حالت اخیر، بارش‌های روزانه یک ماه معین (مانند ژانویه) به‌طور پی‌درپی، در یک ستون درج شد. بارش‌های نظیر همان ماه برای سال بعد درج گردید و به همین ترتیب، همه بارش‌های روزانه ماه مذکور در کل دوره آماری در یک ستون از صفحه گسترده اکسل قرار گرفتند. در مرحله بعد، مقادیر بارش غیرصفر مرتب شده (به‌طور صعودی) در هر روز با مقدار نظیر روز ماقبل خود جمع و بر مجموع بارش 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:

<sup>2</sup> Generalized reduced gradient (GRG)

در این شکل مدل‌هایی که مقادیر  $R^2$  آن‌ها بالاتر از ۰/۹۹۵ بود برای انتخاب مناسب‌ترین مدل مقایسه شده‌اند. سایر مدل‌های مندرج در جدول ۱ (که دارای  $R^2$  کمتری بودند) از روند مقایسه حذف شدند. به‌طوریکه از این نمودار می‌توان استنباط کرد، بیشترین مقدار آماره  $R^2$  معادل ۰/۹۹۸۷ متعلق به مدل چندجمله‌ای درجه چهار می‌باشد. بنابراین، در کل دوره آماری از مدل مذکور (منتخب از بین ۱۵ مدل مندرج در جدول ۱) و نیز مدل‌های حاصل از فرمول‌های ۱ و ۲ برای بررسی منحنی‌های NRC روزانه استفاده شد. همچنین، مشابه هیستوگرام مذکور برای هر یک از ماه‌های سال رسم گردید. به‌طوریکه در پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) مدل نمایی ۳ پارامتری و در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) مدل‌های توانی اصلاح شده و نمایی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل (از بین ۱۵ مدل مندرج در جدول ۱) انتخاب شدند.

شکل ۲ هیستوگرام مقادیر آماره  $R^2$  حاصل از شش مدل برتر را در کل دوره آماری برای ایستگاه تبریز نشان می‌دهد.

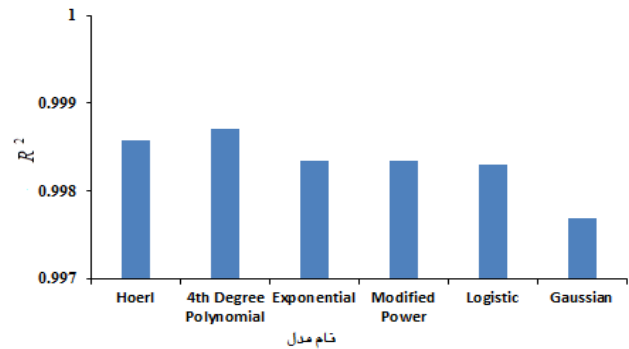


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه هواشناسی واقع در شهرستان تبریز.

جدول ۱- مدل‌های کاندیدای مورد استفاده برای برازش منحنی‌های NRC در ایستگاه تبریز.

پارامترها	مدل ریاضی	نام مدل	کد مدل
$a, b, c, d, e, \dots$	$x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4 + \dots$	چند جمله‌ای درجه $n$ ام	۱
$a, b, c$	$x = ab^y y^c$	Hoerl	۲
$a, b$	$x = ae^{by}$	Exponential (نمایی)	۳
$a, b, c$	$x = a(b - e^{-cy})$	Exponential Association (3) (نمایی پیوسته)	۴
$a, b$	$x = ay^b$	Power (توانی)	۵
$a, b$	$x = ab^y$	Modified Power (توانی اصلاح شده)	۶
$a, b, c$	$x = e^{a + \frac{b}{y} + c \ln y}$	Vapor Pressure (فشاربخار)	۷
$a, b$	$x = ay^{by}$	Geometric (هندسی)	۸
$a, b, c$	$x = \left( \frac{1}{a + by^c} \right)$	Harris	۹
$a, b, c$	$x = ae^{-c^{b-cy}}$	Gompertz	۱۰
$a, b, c$	$x = \frac{a}{1 + be^{-cy}}$	Logistic	۱۱
$a, b, c, d$	$x = \frac{ab + cy^d}{b + y^d}$	MMF	۱۲
$a, b, c, d$	$x = a - be^{-cy^d}$	Weibull	۱۳
$a, b, c, d$	$x = a + b \cos(cy + d)$	Sinusoidal (سینوسی)	۱۴
$a, b, c$	$x = ae^{-\frac{(y-b)^2}{2c^2}}$	Gaussian	۱۵

جدول‌های ۲ و ۳ خلاصه آماری میانگین بارش‌های روزانه را برای کل روزها (در طول دوره آماری) و هریک از ماه‌های سال (در دوره آماری) در ایستگاه تبریز نشان می‌دهد. به‌طوریکه از جدول ۲ می‌توان استنباط کرد، به‌طورمیانگین در تبریز مقدار بارش روزانه (با احتساب روزهای خشک) در طی دوره آماری حدود ۰/۷۷ میلی-متر می‌باشد. در کل دوره آماری، مقدار بارش روزانه تبریز هیچ‌گاه از ۶۳ میلی‌متر در روز (سوم مارس ۱۹۷۷) بیشتر نبوده است. بیشترین مقدار میانگین بارش در ماه آوریل (معادل ۱/۷ میلی‌متر در روز) و پس از آن در ماه می (معادل ۱/۳۲ میلی‌متر در روز) می‌باشد (جدول ۳).



شکل ۲- هیستوگرام مقادیر آماره  $R^2$  برای شش مدل برتر.

جدول ۲- خلاصه آماری مقادیر بارش روزانه تبریز در کل روزهای دوره آماری (۲۰۱۶-۱۹۵۱).

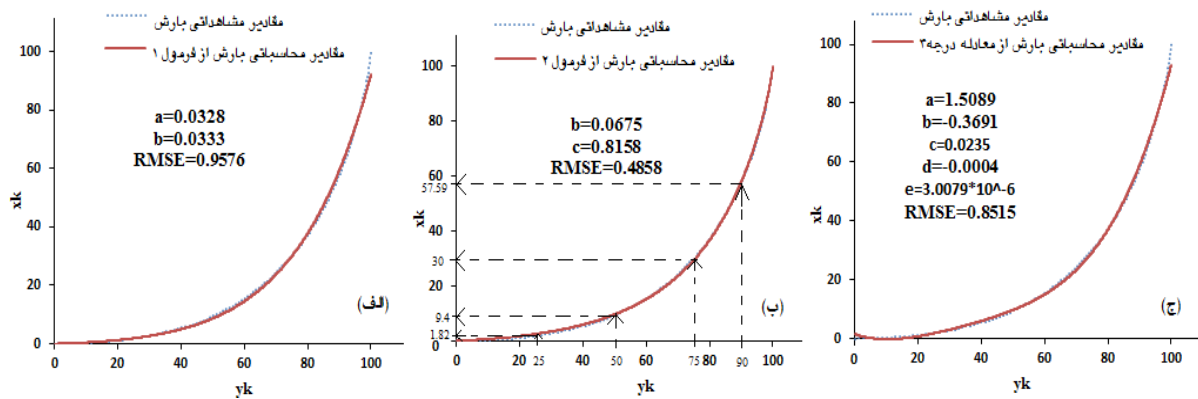
نام آماره	مقدار	واحد	نام آماره	مقدار	واحد
میانگین	۰/۷۷	میلی‌متر	بیشینه	۶۳	میلی‌متر
انحراف معیار	۲/۶۷	میلی‌متر	مجموع	۱۸۶۰۴/۸۷	میلی‌متر
واریانس نمونه	۷/۱۳	مربع میلی‌متر	ضریب تغییرات	۳/۴۳	بی‌بعد
ضریب کشیدگی	۵۴/۳۷	بی‌بعد	تعداد داده‌ها	۲۳۹۲۵	بی‌بعد
ضریب چولگی	۶/۰۲	بی‌بعد	سطح اعتماد (۹۵٪)	۰/۰۳	بی‌بعد
دامنه تغییرات	۶۳	میلی‌متر			

توجه: در این جدول، مقادیر صفر میلی‌متر بارش‌های روزانه در محاسبات آماره‌ها دخالت داده شده‌اند. مقادیر میانه، مد و کمینه بارش روزانه، صفر می‌باشند.

جدول ۳- خلاصه آماری مقادیر بارش روزانه تبریز در ماه‌های مختلف (۲۰۱۶-۱۹۵۱).

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
۰/۷۰	۰/۸۴	۱/۲۶	۱/۷۰	۱/۳۲	۰/۵۲	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۷۴	۰/۹۳	۰/۷۱	میانگین
۲/۱۲	۲/۶۲	۳/۴۳	۴/۰۱	۳/۴۷	۲/۲۹	۱/۳۳	۱/۰۶	۱/۵۷	۲/۶۹	۲/۹۲	۲/۲۶	انحراف معیار
۴/۵۱	۶/۹۰	۱۱/۸۰	۱۶/۱۱	۱۲/۰۴	۵/۲۸	۱/۷۹	۱/۱۲	۲/۴۸	۷/۲۵	۸/۵۵	۵/۱۵	واریانس نمونه
۲۶/۰۹	۵۵/۸۰	۶۳/۹۱	۲۶/۵۴	۱۸/۹۱	۷۰/۵۱	۱۸۷/۹۲	۳۲۶/۰۵	۹۱/۷۹	۴۳/۲۱	۳۱/۹۵	۲۸/۲۱	ضریب کشیدگی
۴/۶۰	۶/۲۴	۵/۹۱	۴/۱۶	۴/۰۱	۷/۴۳	۱۱/۹۶	۱۶/۰۴	۸/۷۹	۵/۸۱	۴/۹۳	۵/۳۱	ضریب چولگی
۲۲	۳۷	۶۳	۵۳	۳۰	۳۲	۳۰	۲۸	۲۳	۳۷	۳۷	۲۹/۲	دامنه تغییرات
۲۲	۳۷	۶۳	۵۳	۳۰	۳۲	۳۰	۲۸	۲۳	۳۷	۳۷	۲۹/۲	بیشینه
۱۴۴۰	۱۵۶۹	۲۵۷۸	۳۳۸۲	۲۷۰۶	۱۰۴۶	۳۸۸	۲۲۵	۵۰۳	۱۴۹۶	۱۸۲۴	۱۴۴۲	مجموع
۳/۰۱	۳/۱۲	۲/۷۲	۲/۳۴	۲/۶۲	۴/۳۴	۶/۹۶	۹/۴۷	۶/۱۰	۲/۶۲	۳/۱۲	۳/۱۷	ضریب تغییرات
۲۰۴۶	۱۸۶۵	۲۰۴۶	۱۹۸۰	۲۰۴۶	۱۹۸۰	۲۰۱۷	۲۰۱۵	۱۹۵۰	۲۰۱۵	۱۹۵۰	۲۰۱۵	تعداد داده‌ها
۰/۰۹ (۹۵٪)	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۹	سطح اعتماد (۹۵٪)

توجه: در این جدول، مقادیر بارش صفر میلی‌متر در محاسبات آماره‌ها دخالت داده شده‌اند. مقادیر میانه، مد و کمینه بارش روزانه، برای تمام ستون‌ها صفر می‌باشند.



شکل ۳- منحنی‌های NRC تبریز در کل دوره آماری با استفاده از الف) فرمول ۱، ب) فرمول ۲، ج) مناسب‌ترین مدل جدول ۱.

درصد روزهای مربوط به دوره آماری، مقدار بارش کمتر از یک میلی‌متر بوده است. از طرفی، فراوانی کلاس دوم (یک تا پنج میلی‌متر) ۸/۲ درصد و کلاس سوم ۲/۹۷ درصد بود. به همین ترتیب، در کلاس‌های بالاتر، درصد فراوانی کمتر شد. به‌طوریکه، فراوانی بارش‌های با عمق بیش از ۳۰ میلی‌متر در روز حدود ۰/۰۴ درصد بود. به عبارت دیگر، هرچه عمق بارش بیشتر می‌شود فراوانی یا تعداد دفعات وقوع آن کاهش می‌یابد که این امر بیانگر توزیع بسیار نامنظم بارش در طی زمان می‌باشد. در این مطالعه، درصد مقادیر  $x_k$  و  $y_k$  با توجه به فرمول‌های ۳ تا ۵ محاسبه و نمودار حاصل از آن‌ها (NRC) رسم گردید، همچنین، مقادیر محاسباتی بارش با توجه به فرمول‌های ۱ و ۲ و سایر فرمول‌های کاندیدا (جدول ۱) محاسبه و نمودار حاصل از آن‌ها بر روی نمودار مقادیر مشاهداتی منطبق و مقادیر  $RMSE$  هرکدام به‌دست آمد. قابل ذکر است که به‌دلیل کثرت تعداد داده‌های آماری و نزدیک بودن محاسبات و مشاهدات به هم، نمودارها تقریباً روی هم منطبق شده‌اند. شکل ۳، منحنی NRC روزانه تبریز (با شروع بارش از ۰/۱ میلی‌متر) را برای کل دوره آماری نشان می‌دهد. نمودار NRC برای سه مدل (شامل مدل‌های ارائه شده با معادلات ۱ و ۲ و نیز مناسب‌ترین مدل مستخرج از جدول ۱) نشان داده شده است. از این شکل می‌توان دید، این نمودارها مقعر بوده و حاکی از این است که در بیشتر اوقات مقدار کمی از کل

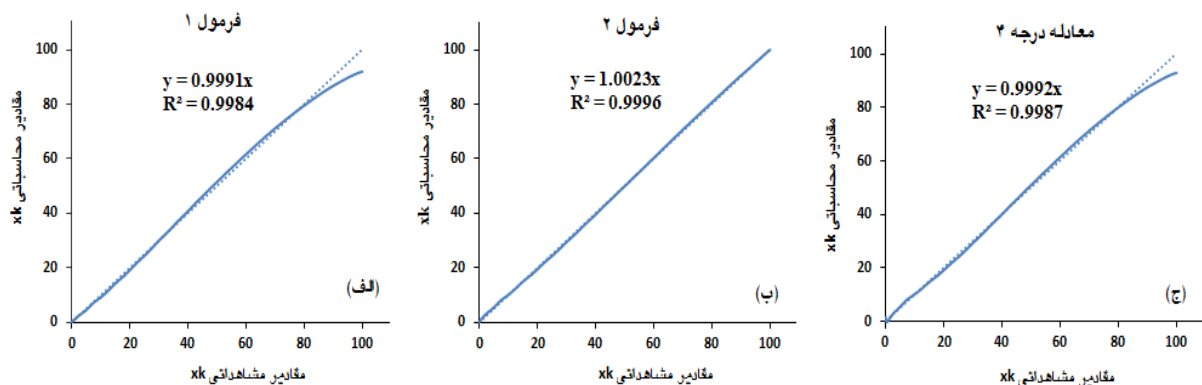
با توجه به جدول مذکور، می‌توان دریافت که ضریب تغییرات ( $CV$ ) بارش‌های روزانه از کمینه ۲/۳۴ در ماه آوریل (معادل ۲۳۴٪) تا بیشینه ۹/۴۷ (معادل ۹۴۷٪) در ماه اوت تغییر می‌کند. این واقعیت حاکی از پراکنش بسیار نامنظم بارش روزانه در تمام ماه‌های سال (به‌ویژه در ماه‌های تابستان) می‌باشد. این ارقام، در مقام مقایسه با مطالعه بورگننو و همکاران (۲۰۰۴) برای بارسلونا بسیار بالاتر است. مقدار  $CV$  بارش‌های روزانه در کل سال برای بارسلونا ۱۶۱ درصد و برای تبریز معادل ۳۴۳ درصد است. لانا و همکاران (۲۰۰۹) نیز در مطالعه داده‌های بارش هفت ایستگاه کاتالونیا در شمال‌شرقی اسپانیا مقدار  $CV$  بارش‌های روزانه را در کل سال از کمینه ۹۴ درصد برای ایستگاه تورتوسا تا بیشینه ۲۰۸ درصد برای ایستگاه ولنیکا به‌دست آوردند که این رقم، کمتر از مقدار به‌دست آمده برای تبریز (۳۴۳٪) است. همچنین، ناندارجی و مالی (۲۰۱۲) در مطالعه هشت ایستگاه در هندوستان، مقدار  $CV$  را برای بارش‌های روزانه در ماه‌های مونسون، بین ۱۱۰ تا ۱۲۹ درصد گزارش کرده‌اند که این ارقام، در مقایسه با مقادیر نظیر در تبریز بسیار ناچیز است. مقادیر بارش روزانه در دامنه یک تا ۳۰ میلی‌متر (و بیشتر) و با فواصل پنج میلی‌متر کلاس‌بندی شد. در کل دوره آماری مورد مطالعه، فراوانی بارش‌های روزانه با عمق کمتر از یک میلی‌متر در روز به‌مراتب، بیشتر از فراوانی نظیر سایر کلاس‌ها بود. در بیش از ۸۷

قابل ذکر است که شکل‌های دیگری مشابه با شکل‌های ۳ و ۴ برای هر یک از ماه‌های سال در طول دوره آماری (با بارش‌های شروع شده از ۰/۱ میلی‌متر) نیز رسم گردید. به‌عنوان نمونه، شکل‌های ۵ و ۶ نمودارهای مذکور را برای پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) و کم‌باران‌ترین آن (اوت) نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت، در پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) مدل‌های حاصل از فرمول ۱ و مناسب‌ترین مدل از فرمول‌های مندرج در جدول ۱ (مدل نمایی ۳ پارامتری) در مقایسه با مدل حاصل از فرمول ۲ در انتهای منحنی تا حدودی ضعیف عمل کرده‌اند، درحالی‌که در مدل حاصل از فرمول ۲ منحنی مربوطه آن‌چنان روی منحنی مشاهدات منطبق شده است که تمیز دادن آن‌ها با چشم چندان آسان نیست. چنین نتیجه‌ای برای سایر ماه‌ها نیز مشاهده شد. در حالت کلی، مدل حاصل از فرمول ۲ برای تمام ماه‌های سال به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای تیریز تشخیص داده شد و در هیچیک از ماه‌های سال، سایر مدل‌ها ارجحیت نداشتند. شکل ۶ نیز نشان می‌دهد که مدل حاصل از فرمول ۲، در مقایسه با مدل نظیر فرمول ۱ و نیز مدل‌های نمایی دو پارامتری و توانی اصلاح شده در قسمت انتهای منحنی به‌خوبی برازش دارد. لازم به اشاره است که سایر مدل‌های مندرج در جدول ۱ در مقایسه با مدل‌های شکل-های ۶-ج و ۶-د برازش مناسبی از خود نشان ندادند.

بارش نازل می‌شود. مثلاً در شکل ۳-ب می‌توان نتیجه گرفت که در ۲۵ درصد روزهای دوره آماری تنها ۱/۸۲ درصد کل بارش در تیریز نازل شده است. افزون بر این، در ۵۰ درصد روزها فقط ۹/۴۰ درصد بارش نازل شده است. به‌همین ترتیب، در ۷۵ درصد اوقات فقط ۳۰ درصد بارش و در ۹۰ درصد اوقات تنها ۵۷/۵۹ درصد بارش نازل می‌شود. هرچه نزولات جوی در طول زمان یکنواخت‌تر باشد، تقعر منحنی NRC نیز کمتر خواهد بود، به‌طوریکه، اگر همه روزهای دوره آماری به یک اندازه بارش داشته باشند، نمودار حالت خطی (نیمساز) به‌خود می‌گیرد. در این مطالعه، همچنین، مقادیر بارش‌های مشاهداتی حاصل‌شده از فرمول‌های ۳ تا ۵ در مقابل مقادیر بارش‌های محاسباتی از فرمول‌های ۱ و ۲ و مناسب‌ترین مدل (از بین ۱۵ مدل مندرج در جدول ۱) رسم گردید و  $R^2$  هر یک محاسبه شد. شکل ۴ مقادیر  $x_k$  را در مقابل  $y_k$  نشان می‌دهد. به‌طوریکه از شکل ۴ می‌توان دریافت، شکل‌های ۴-الف و ۴-ج در انتهای منحنی، انحرافی از نیمساز (خط ۱:۱) داشته‌اند درحالی‌که نمودار شکل ۴-ب به‌خوبی روی نیمساز منطبق شده است و مقدار  $R^2$  آن (۰/۹۹۹۶) از دو مدل دیگر بیشتر است. در نهایت، مدل ریاضی منحنی NRC برای بارش‌های روزانه کل دوره آماری تیریز به‌شرح زیر به‌دست آمد:

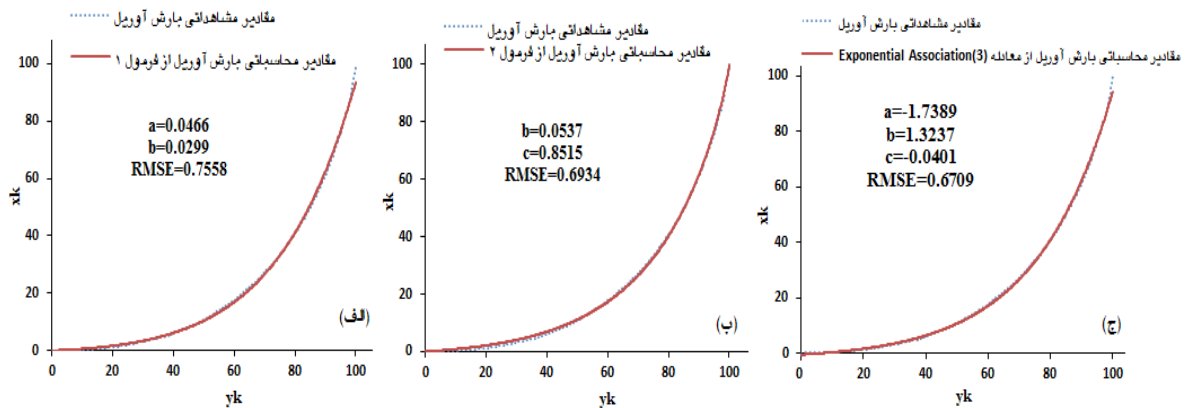
$$x_k = y_k \exp[-0.0675(1 - y_k)^{0.8158}] \quad [8]$$

$(R^2 = 0.9996, n = 5250)$

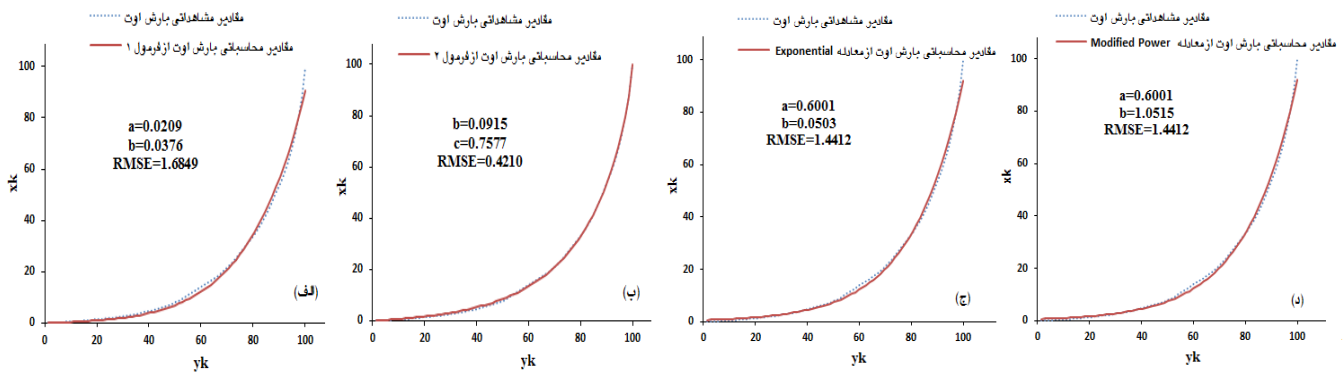


شکل ۴- مقادیر درصد بارش‌های تجمعی روزانه مشاهداتی نسبت به مقادیر نظیر محاسباتی تیریز برای بارش‌های بیش از ۰/۱ میلی-متر در روز با استفاده از الف) فرمول ۱، ب) فرمول ۲، ج) مناسب‌ترین مدل جدول ۱.





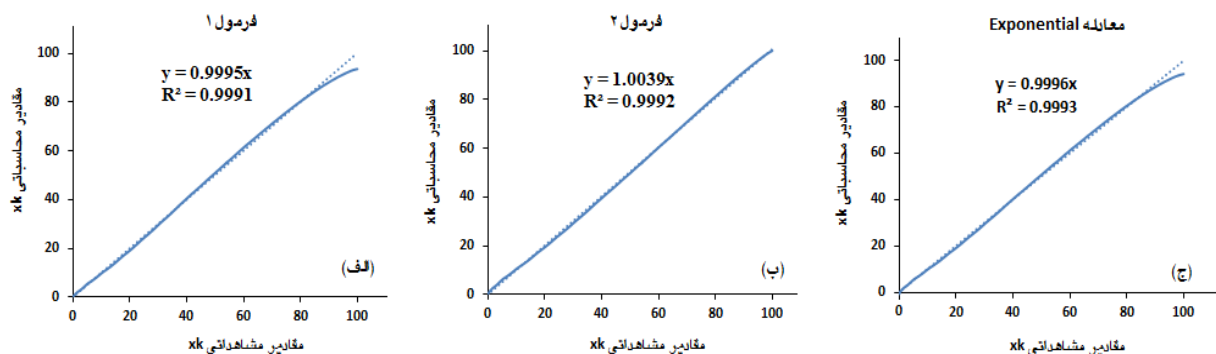
شکل ۵- منحنی‌های NRC تبریز، در پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) با استفاده از الف) فرمول ۱، ب) فرمول ۲، ج) مناسب‌ترین مدل از بین فرمول‌های مندرج در جدول ۱.



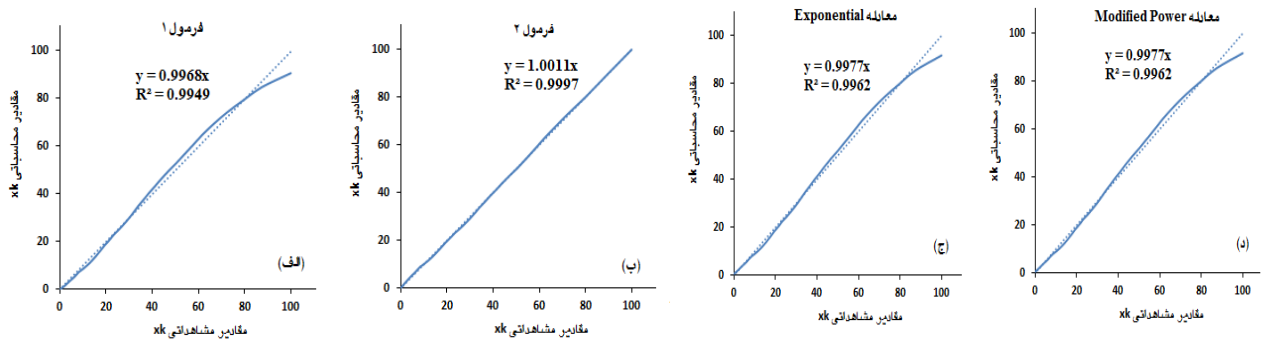
شکل ۶- منحنی‌های NRC تبریز، در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) با استفاده از الف) فرمول ۱، ب) فرمول ۲، ج و د) مناسب‌ترین مدل از بین فرمول‌های مندرج در جدول ۱.

از جدول ۱ به ترتیب، برای پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) و کم‌باران‌ترین آن (اوت) در تبریز نشان می‌دهند.

شکل‌های ۷ و ۸ نمودار نقاط پراکنش مقادیر  $x_k$  حاصل از مدل را در مقابل مقادیر نظیر مشاهداتی برای مدل‌های حاصل از فرمول‌های ۱ و ۲ و مناسب‌ترین مدل مستخرج



شکل ۷- مقادیر درصد تجمعی بارش‌های روزانه مشاهداتی نسبت به مقادیر نظیر محاسباتی تبریز در پرباران‌ترین ماه سال (آوریل) با استفاده از الف) فرمول ۱، ب) فرمول ۲، ج) مناسب‌ترین مدل از بین مدل‌های مندرج در جدول ۱.



شکل ۸- مقادیر درصد تجمعی بارش‌های روزانه مشاهداتی نسبت به مقادیر نظیر محاسباتی تبریز در کم‌باران‌ترین ماه سال (اوت) با استفاده از الف) فرمول ۱، ب) فرمول ۲، ج و د) مناسب‌ترین مدل از بین مدل‌های مندرج در جدول ۱.

این در حالی است که  $RMSE$  در آوریل بیشترین مقدار (۰/۶۹۳۴) و در ماه‌های سپتامبر و ژوئیه (به ترتیب با ۰/۲۱۹۲ و ۰/۲۳۲۲) کمترین مقدار را دارد. همچنین، در این جدول، مقدار  $CV$  از ۱/۲۳۴۳ (در ماه آوریل) تا ۱/۵۱۴۴ (در ماه اوت) تغییر می‌کند.

جدول ۴ مقادیر پارامترهای تخمین‌زده شده برای فرمول ۲ (مناسب‌ترین مدل) را در ماه‌های مختلف سال برای تبریز نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که مقادیر  $R^2$  در ماه‌های ژوئیه و سپتامبر بیشترین مقدار (۰/۹۹۹۹) و در آوریل کمترین مقدار (۰/۹۹۹۲) را دارد.

جدول ۴- مقادیر پارامترهای مدل منتخب (فرمول ۲) برای منحنی NRC تبریز در دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۵۱.

پارامتر/ ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
$b$	۰/۰۵۴۹	۰/۰۷۹۴	۰/۰۷۰۳	۰/۰۵۳۷	۰/۰۶۶۰	۰/۰۸۸۲	۰/۰۸۹۳	۰/۰۹۱۵	۰/۰۵۵۶	۰/۰۷۴۹	۰/۰۵۵۰	۰/۰۶۰۷
$c$	۰/۸۷۲۵	۰/۷۶۳۳	۰/۸۰۱۳	۰/۸۵۱۵	۰/۸۲۵۷	۰/۷۶۶۸	۰/۷۷۰۰	۰/۷۵۷۷	۰/۸۹۱۱	۰/۷۹۲۷	۰/۸۶۵۶	۰/۸۲۷۸
$R^2$	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۴
$RMSE$ (mm)	۰/۴۸۴۲	۰/۶۰۴۶	۰/۵۲۵۷	۰/۶۹۳۴	۰/۴۴۱۸	۰/۵۴۸۵	۰/۲۳۲۲	۰/۴۲۱۰	۰/۲۱۹۲	۰/۳۶۸۵	۰/۶۱۴۶	۰/۵۹۸۴
$n$	۵۲۷	۵۲۸	۷۱۵	۷۶۵	۷۰۴	۳۱۹	۱۳۳	۷۲	۱۳۷	۴۰۳	۴۶۹	۴۷۸
$CV$	۱/۲۶۹۸	۱/۴۳۳۶	۱/۳۹۶۹	۱/۲۳۴۳	۱/۳۱۰۷	۱/۴۹۰۶	۱/۵۱۴۴	۱/۵۱۲۹	۱/۳۰۵۴	۱/۳۵۶۶	۱/۲۶۳۳	۱/۲۷۷۱

توجه:  $b$  و  $c$  پارامترهای رابطه ۲ و  $n$  تعداد داده‌ها و  $CV$  ضریب تغییرات داده‌های مورد استفاده (با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر در روز) است.

جدول ۵- مقادیر درصد تراکمی بارش روزانه ( $x_k$ ) به‌ازای درصد تراکمی تعداد روزهای بارانی ( $y_k$ ) در ماه‌های سال در تبریز.

$x_k$	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	$y_k$
۲۵٪	۱/۹۳٪	۲/۰۳٪	۱/۹۴٪	۲/۰۵٪	۱/۷۰٪	۱/۶۲٪	۱/۸۵٪	۱/۸۴٪	۱/۵۷٪	۲/۱۸٪	۱/۶۶٪	۱/۹۶٪	۲۵٪
۵۰٪	۹/۱۵٪	۹/۷۴٪	۹/۷۱٪	۱۰/۷۶٪	۹/۵۶٪	۷/۸۶٪	۸/۵۰٪	۷/۸۵٪	۸/۰۰٪	۹/۹۳٪	۹/۵۴٪	۱۰/۲۷٪	۵۰٪
۷۵٪	۳۰/۵۳٪	۳۰/۱۷٪	۳۰/۲۳٪	۳۳/۴۴٪	۲۹/۵۷٪	۲۷/۳۵٪	۲۵/۹۰٪	۲۶/۹۵٪	۲۸/۶۶٪	۲۸/۶۲٪	۳۱/۳۵٪	۳۲/۲۰٪	۷۵٪
۹۰٪	۵۹/۲۷٪	۵۶/۷۱٪	۵۷/۴۸٪	۶۱/۲۳٪	۵۷/۴۸٪	۵۳/۰۷٪	۵۴/۲۱٪	۵۰/۵۰٪	۵۹/۸۰٪	۵۶/۳۵٪	۵۹/۸۴٪	۵۹/۸۱٪	۹۰٪
Ratio ( $\frac{x_{90}}{x_{25}}$ )	۳۰/۷۱٪	۲۷/۹۳٪	۲۹/۶۳٪	۲۹/۸۶٪	۳۳/۸۱٪	۳۲/۷۶٪	۲۹/۳۰٪	۲۷/۴۴٪	۳۸/۰۹٪	۲۵/۸۴٪	۳۶/۰۵٪	۳۰/۵۱٪	

دادند که ۷۱٪ مقادیر بارش‌های روزانه پرو تنها در ۳۵٪ روزهای بارانی نازل می‌شوند. همچنین، در ۲۵٪ روزهای بارانی بین کمینه ۵۲/۷ تا بیشینه ۶۵/۷ درصد مقدار بارش نازل می‌شود، که در مقایسه با یافته‌های مطالعه حاضر به مراتب بیشتر است. همچنین، براساس گزارش ناندارجی و مالی (۲۰۱۲)، 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 (۸۶/۸٪) بسیار ناچیز است. قابل ذکر است که تعداد روزهای بارانی در حوضه کوینا در هند بین ۸۸ تا ۱۰۹ روز در سه ماه مونسون می‌باشد، در حالی‌که این رقم برای تبریز با بارش بیش از ۰/۱ میلی‌متر حدود ۸۰ روز است. لانا و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که در ایستگاه ولنیکا در ۵۰٪ روزهای بارانی هشت درصد بارش نازل می‌شود، این نتیجه، با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد. زیرا در تبریز و در ۵۰٪ روزهای بارانی بین ۷/۸۵٪ تا ۱۰/۷۶٪ بارش کل سال نازل می‌شود.

#### جدول ۶- مقادیر آماره‌های ارزیابی عملکرد بارش روزانه

(بیش از ۰/۱ میلی‌متر) تبریز در کل دوره آماری.

فرمول	$R^2$	RMSE (mm)
فرمول (۱)	۰/۹۹۸۴	۰/۹۵۷۶
فرمول (۲)	۰/۹۹۹۶	۰/۴۸۵۸
چندجمله‌ای درجه ۴*	۰/۹۹۰۸	۰/۸۵۱۵

\* 4<sup>th</sup> Degree Polynomial;  $x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4$

مختلف نشان می‌دهند. با توجه به جداول مذکور، هم در کل روزهای دوره آماری و هم در هر یک از ماه‌های سال (در دوره آماری) به جز ماه آوریل  $R^2$  مدل حاصل از فرمول ۲ بیشترین و  $RMSE$  آن کمترین مقدار را دارا بود. برای همه ماه‌ها، مدل حاصل از فرمول ۲، نتیجه بهتری را برای مقادیر محاسباتی بارش روزانه ارائه کرد. قابل

جدول ۵ مقادیر شاخص  $x_k$  را به‌ازای  $y_k$  (معادل با ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد) در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. با توجه به جدول مذکور، مقدار شاخص  $x_k$  به‌ازای  $y_k$  (معادل با ۲۵٪) در دامنه ۱/۵۷ تا ۲/۱۸ درصد می‌باشد. همچنین، به‌ازای  $y_k$  (معادل با ۵۰٪) این دامنه مابین ۷/۸۵ تا ۱۰/۷۶ درصد قرار دارد. از سویی به‌ازای  $y_k$  (معادل با ۷۵٪) مقادیر  $x_k$  مابین ۲۵/۹۰ تا ۳۳/۴۴ درصد و به‌ازای  $y_k$  (معادل با ۹۰٪) مقادیر  $x_k$  مابین ۵۰/۵۰ تا ۶۱/۲۳ درصد قرار دارد. یعنی، در ۲۵ درصد روزهای بارانی حدود دو، در ۵۰ درصد روزهای بارانی حدود ۱۰، در ۷۵ درصد روزهای بارانی حدود ۳۰ و در ۹۰ درصد روزهای بارانی حدود ۶۰ درصد کل بارش نازل می‌شود. یکی از نکات مهمی که از جدول ۵ می‌توان استنتاج کرد، این است که به‌ازای  $y_k = ۵۰٪$  ماه‌های مختلف ارقام متفاوتی را برای  $x_k$  به‌خود اختصاص داده‌اند، طوریکه کمترین مقدار  $x_k$  در ماه اوت (۷/۸۵٪) و بیشترین آن در ماه آوریل (۱۰/۷۶٪) می‌باشد. به‌عبارت بهتر، در ماه‌های پرباران (مثل آوریل) پراکنش بارش‌های روزانه منظم‌تر از ماه‌های کم‌باران (مثل اوت) می‌باشد. این نتیجه، از سایر سطرهای جدول ۵ نیز قابل استنتاج است. مثلاً به‌ازای  $y_k = ۹۰٪$  بیشترین مقدار  $x_k$  در آوریل (معادل ۶۱/۲۳٪) و کمترین آن در اوت (معادل ۵۰/۵۰٪) می‌باشد. همچنین، در مقایسه‌ی نسبت مقدار نزول بارش در ۹۰٪ روزهای بارانی به مقدار نظیر در ۲۵٪ روزهای بارانی ملاحظه می‌شود که کمترین مقدار این نسبت در اکتبر (با ۲۵/۸۴٪) و بیشترین مقدار آن در سپتامبر (۳۸/۰۹٪) است. زابیتا و همکاران (۲۰۱۶) نشان در حالیکه با یافته‌های لانا و همکاران (۲۰۰۹) برای ایستگاه تورتوسا همخوانی ندارد. زیرا در این ایستگاه در نیمی از روزهای بارانی حدود ۲۰٪ بارش کل نازل می‌شود که بیش از دو برابر مقدار نظیر تبریز است. جدول-های ۶ و ۷ به‌ترتیب، مقادیر  $R^2$  و  $RMSE$  بارش روزانه (مشاهداتی و محاسباتی) را در کل دوره و در ماه‌های

۰/۰۰۰۱ اختلاف دارند که قابل اغماض است. در حالت کلی، مدل حاصل از فرمول ۲، برای توجیه بارش‌های روزانه تبریز مناسب تشخیص داده شد.

ذکر است که در ماه آوریل مدل نمائی سه پارامتری مناسب‌تر از مدل حاصل از فرمول ۲ تشخیص داده شد، اما ملاحظه می‌گردد که این دو مدل در مقدار  $R^2$  فقط

جدول ۷- مقادیر آماره‌های ارزیابی عملکرد بارش روزانه (بیش از ۰/۱ میلی‌متر) تبریز در ماه‌های مختلف.

ماه	فرمول	$R^2$	RMSE (mm)	ماه	فرمول	$R^2$	RMSE (mm)
فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۹۳	۰/۶۴۸۸	فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۵۸	۱/۵۰۹۸
فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۶	۰/۴۸۴۲	فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۹	۰/۲۳۲۲
Exponential Association(3) $x = a(b - e^{-cy})$	4 <sup>th</sup> Degree Polynomial $x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4$	۰/۹۹۹۵	۰/۵۵۴۵	فرمول (۱)	4 <sup>th</sup> Degree Polynomial $x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4$	۰/۹۸۷۹	۱/۱۰۶۷
فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۷۵	۱/۱۶۲۳	فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۴۹	۱/۶۸۴۹
فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۳	۰/۶۰۴۶	فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۷	۰/۴۲۱۰
4 <sup>th</sup> Degree Polynomial $x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4$	Exponential $x = ae^{by}$	۰/۹۸۶۹	۰/۹۴۴۶	Exponential $x = ae^{by}$	Modified Power $x = ab^y$	۰/۹۹۶۲	۱/۴۴۱۲
فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۸۲	۱/۰۰۸۷	فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۹۲	۰/۶۷۵۸
فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۵	۰/۵۲۵۷	فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۹	۰/۲۱۹۲
4 <sup>th</sup> Degree Polynomial $x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4$	Hoerl $x = ab^y y^c$	۰/۹۸۹۷	۰/۸۷۰۸	Hoerl $x = ab^y y^c$	فرمول (۱)	۰/۹۹۹۴	۰/۵۹۳۱
فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۹۱	۰/۷۵۵۸	فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۶۴	۱/۴۲۴۴
فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۲	۰/۶۹۳۴	فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۸	۰/۳۶۸۵
Exponential Association(3) $x = a(b - e^{-cy})$	4 <sup>th</sup> Degree Polynomial $x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4$	۰/۹۹۹۳	۰/۶۷۰۹	4 <sup>th</sup> Degree Polynomial $x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4$	فرمول (۱)	۰/۹۸۷۸	۰/۹۱۵۹
فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۷۹	۱/۰۹۵۳	فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۹۱	۰/۷۵۲۶
فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۷	۰/۴۴۱۸	فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۴	۰/۶۱۴۶
4 <sup>th</sup> Degree Polynomial $x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4$	Exponential Association(3) $x = a(b - e^{-cy})$	۰/۹۹۰۸	۰/۸۸۸۸	Exponential Association(3) $x = a(b - e^{-cy})$	فرمول (۱)	۰/۹۹۸۵	۰/۹۴۱۵
فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۶۱	۱/۴۲۶۳	فرمول (۱)	فرمول (۱)	۰/۹۹۸۵	۰/۹۴۱۵
فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۴	۰/۵۴۸۵	فرمول (۲)	فرمول (۲)	۰/۹۹۹۴	۰/۵۹۸۴
Exponential $x = ae^{by}$	Modified Power $x = ab^y$	۰/۹۹۶۹	۱/۲۵۷۹	4 <sup>th</sup> Degree Polynomial $x = a + by + cy^2 + dy^3 + ey^4$	فرمول (۱)	۰/۹۸۷۷	۰/۸۱۲۰

### نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، در بررسی توزیع زمانی بارش‌های روزانه تبریز با روش NRC در دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۵۱ نتایج زیر حاصل گردید:

- از بین کل مدل‌های کاندیدا (۱۷ مدل) مدل ارائه‌شده با فرمول ۲ با بیشترین مقدار  $R^2$  (۰/۹۹۹۶) و

کمترین مقدار  $RMSE$  (۰/۴۸۵۸) که دارای فرم ریاضی  $x_k = y_k \exp[-0.0675(1 - y_k)^{0.8158}]$  است، به‌عنوان بهترین مدل، جهت رسم منحنی‌های بارش نرمال (NRC) انتخاب شد. همچنین، مدل مذکور به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای همه ماه‌های مختلف تبریز انتخاب شد.

- محاسبه نسبت  $(\frac{x_{90}}{x_{25}})$  (یا چندک ۹۰ به چندک ۲۵) برای ماه‌های مختلف نشان داد که بیشترین مقدار آن در ماه سپتامبر و کمترین مقدار آن در ماه اکتبر می‌باشد. با این حال، این نسبت بین ۲۵/۸۴ تا ۳۸/۰۹ درصد در ماه‌های مختلف تغییر می‌کند.
- با توجه به موارد فوق، در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که در درصد زیادی از روزهای سال، مقدار ناچیزی از بارش کل سال نازل می‌شود. بنابراین، استفاده علمی از آب موجود (ناشی از بارش) در این ایستگاه امری حیاتی محسوب می‌شود.
- درصد مقادیر مشاهداتی بارش و درصد روزهای بارانی محاسبه و نمودار حاصل از آن‌ها به نام منحنی‌های بارش نرمال (NRC) از طریق مدل ارائه شده با فرمول ۲ رسم گردید. این نمودارها مقعر بوده و بیانگر آن است که در بیشتر اوقات مقدار کمی از بارش نازل می‌شود و در این نمودارها مقدار بارش در هر نقطه با شیب منحنی در همان نقطه ارتباط مستقیم دارد. همچنین، با توجه به منحنی‌های NRC، در مطالعه حاضر و در کل دوره آماری، در ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد روزهای بارانی به ترتیب حدود ۱۰، ۳۰ و ۶۰ درصد بارش در تبریز نازل می‌شود.
- در ۵۰ درصد اوقات، میزان بارش رسیده به تبریز از کمینه ۷/۸۵ درصد در ماه اوت تا بیشینه ۱۰/۷۶ درصد در ماه آوریل تغییر می‌کند.

#### منابع مورد استفاده

- Ahmadi F, Radmanesh F and Mirabbasi R, 2016. Trend Analysis of Precipitation in Northern Half Iran during the Recent Half of the Century. *Journal of Water and Soil Science* 26(2/1): 207-224.
- Ananthakrishnan R and Rajan CK, 1987. Some features of the south-west monsoon rainfall of Cochin and Minicoy. *International Journal of Climatology* 7: 355-372.
- Ananthakrishnan R and Soman MK, 1989. Statistical distribution of daily rainfall and its association with the coefficient of variation of rainfall series. *International Journal of Climatology* 9: 485-500.
- Burgueño A, Martinez MD, 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.
- Burgueño A, Martinez MD, 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.
- 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.
- 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.
- Dinpashoh Y, 2014. Trend Analysis of the maximum 24-hour rainfall in Iran. The final report of the research project of Tabriz University 134 pages.
- Huff FA, 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources* 3(4): 1007-1019.
- Jolliffe IT and Hope PB, 1996. Representation of daily rainfall distributions using normalized rainfall curves. *International Journal of Climatology* 16: 1157-1163.
- Lana X, Burgueño A, Martinez MD 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.
- Mirabbasi R and Dinpashoh Y, 2012. Trend Analysis of Precipitation of Northwest of Iran Over The Past Half of The Century. *Journal of Irrigation Science and Engineering* 4(35): 59-73.
- Modarres R and Dasilva V, 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments* 70(2): 344-355.

- Mohammadi B, 2011. Trend analysis of Annual precipitation in Iran. *Journal of Geography and Environmental Planning* 22(3): 95-106.
- Mohammadi H and Javari M, 2006. Precipitation Time Changes in Iran. *Journal of Environmental Studies* 32(40): 87-100.
- Nandargi S and Mulye SS, 2012. Relationships between rainy days, mean daily intensity, and seasonal rainfall over the Koyna catchment during 1961–2005. *The Scientific World Journal* 2012: 1-10.
- Olascoaga MJ, 1950. Some aspects of Argentina rainfall. *Tellus* 2: 312–318.
- Sentelhas PC, Gillespie TJ and Santos EA, 2010. Methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management* 97(5): 635-644.
- Siyahcheshm A, 2015. The Effect of global warming on precipitation and temperature in the southern basin of the Aras River. Master Thesis in Civil Engineering (Hydraulic Structures), Azad University of Ahar.
- 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 Risk Assessment* 31(6): 1305-1318.