

تحلیل مشخصه‌های خشکسالی‌های تبریز (۲۰۱۵-۱۹۵۱)

سمیه شفائی^{۱*}، یعقوب دین پژوه^۲

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه تبریز

۲- دانشیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Sshafaei474@yahoo.com

چکیده

در این مطالعه، جهت بررسی خشکسالی‌های تبریز، از آمار بارش‌های ماهانه (۲۰۱۵-۱۹۵۱) استفاده شد. سه مشخصه خشکسالی، شامل دوره تداوم، شدت و بزرگی خشکسالی از مشاهدات تخمین زده شدند. مناسب‌ترین توزیع آماری بر هر کدام از مشخصه‌های خشکسالی برازش داده شد. آنگاه ۵۰۰ سری مصنوعی با طول مشابه با مشاهدات برای هر مشخصه تولید شد. دو حدآستانه‌ای، شامل میانگین بارش سالانه (\bar{x}) و میانگین منهای انحراف‌معیار بارش سالانه ($x_c = \bar{x} - \sigma$)، برای تحلیل در نظر گرفته شد. نتایج حدآستانه اول نشان داد که برای سری مشاهدات، بیشینه مقدار مشخصه‌های M_d و S_d ، L_d به ترتیب، برابر ۷ سال، ۵۰۰ میلی‌متر و ۷۱ میلی‌متر در سال بود. توزیع‌های پواسون، پیرسون نوع ۵ و ویکبای به ترتیب، برای برازش مشخصه‌های M_d و S_d ، L_d مناسب تشخیص داده شدند. چندانک ۹۰ درصد برای مشخصه‌های M_d و S_d ، L_d به ترتیب ۵ سال، ۴۴۳ میلی‌متر و ۱۰۳ میلی‌متر در سال به دست آمد. بزرگی خشکسالی، در دوره‌های خشکی روی داده در تبریز حداقل ۱۴ و بیشینه ۷۱ میلی‌متر در سال بود. نتایج حدآستانه دوم نشان داد که برای سری مشاهدات، بیشینه مقدار مشخصه‌های M_d و S_d ، L_d به ترتیب معادل ۲ سال، ۷۶ میلی‌متر و ۳۸ میلی‌متر در سال بود. همچنین توزیع‌های یکنواخت، بور و مقادیر کرانه‌ای به ترتیب برای M_d و S_d ، L_d مناسب بود. چندانک ۹۰ درصد برای M_d و S_d ، L_d به ترتیب ۲ سال، ۵۱ میلی‌متر و ۳۸ میلی‌متر در سال به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: بزرگی خشکسالی، تبریز، دوره تداوم، شدت خشکسالی، مشخصه‌های خشکسالی

Analysis of Drought Characteristics of Tabriz (1951-2015)

S Shafaei^{*1}, Y Dinpashoh²

Received: 15 September 2015 Accepted: 21 May 2016

¹M.Sc. Student of Water Resource Engineering, University of Tabriz, Iran

²Associate Professor of Water Resource Engineering, University of Tabriz, Iran

*Corresponding author, Email: Sshafaei474@yahoo.com

Abstract

In this study, for investigation of Tabriz droughts, monthly precipitation data (1951-2015) were used. Three drought characteristics, including drought duration (L_d), severity (S_d) and magnitude (M_d) were extracted from observations. Data of every characteristic fitted with the most suitable statistical distribution. Then five hundred artificial series with the same length of the observed precipitation were generated for each of the characteristics. Two thresholds were considered for drought analysis, including average of annual precipitation and average of annual precipitation minus its standard deviation. The results of first threshold showed that the maximum of L_d , S_d and M_d were 7 years, 500 mm and 71 mm/yr, respectively. Poisson, Pearson type 5 and Wakeby distributions were recognized as the most suitable fitted distributions for to the L_d , S_d and M_d , respectively. Quantile 90% for L_d , S_d and M_d were obtained as 5 years, 443 mm, 103 mm per year, respectively. The maximum and minimum of L_d in Tabriz were between 14 and 71 mm/yr. The second threshold results were showed that the maximum for L_d , S_d and M_d were 2 years, 76 mm and 38 mm/yr, respectively. Uniform, Burr, and Generalized Extreme value distributions were recognized as the suitable distributions, for duration, severity and drought magnitudes, respectively. In this case, quintile 90% for drought duration, severity, magnitudes were obtained as 2 years, 51 mm and 38 mm/yr, respectively.

Keywords: Drought characteristics, Drought duration, Drought magnitude, Drought severity, Tabriz

مقدمه

احساس می‌شود و وقوع آن شرط لازم برای وقوع انواع دیگر خشکسالی است (ویلهايت ۲۰۰۰). در سه دهه گذشته، خشکسالی‌های شدید مناطق وسیعی از جهان را درگیر کرده است (کارابولوت ۲۰۱۵). خسارت خشکسالی سال ۱۹۸۸ در اقتصاد آمریکا ۴۰ میلیارد دلار تخمین زده شده است (میشرا و سینگ ۲۰۱۱). از آغاز قرن ۲۱ دو خشکسالی شدید در سال-های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱ در تگزاس اتفاق افتاده است. خشکسالی سال ۲۰۱۱ شدیدترین خشکسالی در تاریخ تگزاس بوده است. در اکتبر ۲۰۱۱، نزدیک به ۹۰ درصد این کشور درگیر خشکسالی شدید بوده است (کومبز ۲۰۱۲). در طول ۳۰ سال گذشته اروپا تحت تأثیر

خشکسالی یکی از پدیده‌های طبیعی است که با کمبود بارش آغاز می‌شود و در طول زمان به تدریج بر شدت آن افزوده می‌شود. این پدیده، معمولاً در یک ناحیه محدود آغاز و به تدریج بر وسعت منطقه درگیر خشکسالی اضافه می‌شود. پدیده خشکسالی، در چهار گروه هواشناختی، کشاورزی، آب شناختی و اقتصادی-اجتماعی قابل مطالعه است (ویلهايت و گلانتز ۱۹۸۵). معمولاً این پدیده با ریزش اولین بارش پس از دوره خشکی به فراموشی سپرده می‌شود (ماتالاس ۱۹۹۱). خشکسالی هواشناختی پیش از سایر انواع خشکسالی‌ها

ایران را با استفاده از شاخص کمبود توام^۳ (JDI) ارزیابی کردند. آن‌ها از داده‌های بارش ماهانه شش ایستگاه سینوپتیک تربت‌حیدریه، سبزوار، سمنان، شاهرود، گرگان و مشهد (۲۰۱۱-۱۹۷۱) استفاده کردند. نتایج نشان داد در سال‌های اخیر تعداد ماه‌های خشک شدیداً افزایش یافته است، بطوریکه در تمام ایستگاه‌ها به‌جز سمنان به بیش از ۵۰ درصد در ۱۰ سال اخیر (۲۰۰۲-۲۰۱۱) رسیده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۴) خشکسالی‌های سه استان گلستان، گیلان و مازندران را با استفاده از شاخص کمبود توام (JDI) بررسی کردند. همچنین عملکرد شاخص (JDI) با دو شاخص بارش استاندارد شده^۴ SPI و SPI^{mod} مقایسه شد. از داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های بابلسر، بندرانزلی، رامسر، گرگان و رشت استفاده شد. نتایج نشان داد، برای شاخص‌های JDI، SPI و SPI^{mod} هرچه فاصله ایستگاه‌ها از دریا بیشتر می‌شود، مقدار خشکی افزایش می‌یابد و در همه ایستگاه‌ها (به‌جز بابلسر) درصد ماه‌های خشک به بیش از ۵۰ درصد در ۱۰ سال اخیر (۲۰۱۱-۲۰۰۲) رسیده است. وامبوا و همکاران (۲۰۱۴) عملکرد شاخص‌های SPI و EDI^۵ را در پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در بالادست حوضه رودخانه تانا بررسی نمودند. ایشان، ابتدا به تعریف و بررسی خشکسالی و ویژگی‌های آن، شاخص‌های خشکسالی و ANN پرداختند و سپس، با استفاده از داده‌های بارش برای حوضه بالادست رودخانه تانا با محاسبه شاخص‌های EDI و SPI به مقایسه نتایج پرداختند. نتایج حاکی از این است که هر دو شاخص در ابتدای دوره، خشکسالی را با دقت خوبی پیش‌بینی نمی‌کنند، اما با گذشت زمان که تعداد داده‌های ورودی نرم افزار بیشتر می‌شود، دقت شاخص‌ها در مدل‌سازی خشکسالی نیز بهتر می‌گردد. اخیراً ری و ایم (۲۰۱۷) پیش‌بینی مشخصه‌های خشکسالی‌های هواشناسی کشور کره جنوبی را با استفاده از روش یادگیری ماشین انجام دادند. نامبردگان، از دو شاخص SPI و SPEI^۶ استفاده کردند. نتایج نشان داد که یکی از

خشکسالی‌های بزرگ قرار گرفته، که از مهمترین آن‌ها می‌توان به خشکسالی سال ۱۹۷۶ (شمال و غرب اروپا)، ۱۹۸۹ (بیشتر مناطق اروپا)، ۱۹۹۱ (بیشتر مناطق اروپا)، اشاره کرد. در طول سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۹، حدود ۶۰ میلیون نفر در مرکز و جنوب غرب آسیا تحت تأثیر خشکسالی‌های طولانی مدت قرار گرفتند. در این میان، کشورهای ایران، افغانستان، غرب پاکستان، تاجیکستان، ازبکستان و ترکمنستان شدیدترین تأثیرات را از خشکسالی‌ها تجربه کردند (میشرا ۲۰۱۱). در سال ۲۰۰۰، وسعت مناطق کشاورزی که تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفتند، بالغ بر ۴۰ میلیون هکتار بود (میشرا و سینگ ۲۰۱۱). در ایران نیز خشکسالی‌های گذشته خساراتی را به بخش‌های مختلف وارد نمود. تازه‌ترین تحقیقات انجام گرفته در کشور که از سوی وزارت نیرو (در سامانه خشکسالی و هواشناسی ایران منتشر شده) نشان می‌دهد که اثر مستقیم خسارت ناشی از کاهش هر یک میلی‌متر بارندگی برابر با ۸/۹ میلیارد تومان است. میزان بارندگی ایران، در سال آبی ۸۶-۸۵ حدود ۱/۲۷۸ میلی‌متر بوده است. اما این رقم در سال آبی ۹۳-۹۲ حدود ۵۹۰ میلیارد تومان خسارت به اقتصاد ایران وارد کرد.

در ارتباط با خشکسالی هواشناختی، مطالعات زیادی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به کارهای سانتوز (۱۹۸۳)، ویجایاراتن و گلاب (۱۹۹۱)، هیسدال و تالاکسن (۲۰۰۳)، لیوادا و آسیما کاپالوس (۲۰۰۷)، چن و همکاران (۲۰۰۹)، کاراواتیز و همکاران (۲۰۱۱)، تدیسکو و همکاران (۲۰۱۳)، وروچیدو و همکاران (۲۰۱۳)، وامبوا و همکاران (۲۰۱۴) و دین‌پژوه (۱۳۸۲) اشاره کرد. سانتوز (۱۹۸۳) تعریفی از خشکسالی ناحیه‌ای و روشی برای مطالعه خشکسالی‌های ناحیه‌ای ارائه داده است. ایشان مشخصه‌های خشکسالی منطقه-ای، مانند مدت دوام^۱ (L_d)، شدت^۲ (S_d) و وسعت ناحیه تحت تأثیر خشکسالی را بطور ریاضی فرمول‌بندی و داده‌های بارش پرتغال را برای بررسی خشکسالی مورد استفاده قرار داد. میرعباسی نجف‌آبادی و همکاران (۱۳۹۶) خشکسالی‌های منطقه شمال شرق

³ - Joint Deficit Index

⁴ - Standardized Precipitation Index

⁵ - Effective Drought Index

⁶ - Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

¹ - Drought duration

² - Drought severity

$$S_d = \left| \sum_{i=1}^{L_d} (x_c - x_i) \right| \quad [1]$$

بزرگی خشکسالی^۸ (M_d) برای هر رویداد خشکی به صورت خارج قسمت S_d بر L_d تعریف شد (ویجایاراتین و گلاب ۱۹۹۱):

$$M_d = \frac{S_d}{L_d} \quad [2]$$

لازم است، برای مطالعه خشکسالی حدآستانه‌ای به‌طور سلیقه‌ای در نظر گرفته شود (سانتوز ۱۹۸۶). در این مطالعه، دو حد آستانه برای جداسازی رویدادهای خشکسالی به شرح زیر انتخاب شد: الف) میانگین دراز مدت بارش سالانه و ب) میانگین منهای انحراف معیار بارش سالانه. طبیعی است که تعداد رویدادهای خشکسالی در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۵ اندک می‌باشد. بنابراین، برای تحلیل مشخصه‌های خشکسالی، هر کدام از مشخصه‌ها با یکی از توزیع‌های آماری رایج در هیدرولوژی برازش داده شد و پارامترهای آن توزیع با روش حداکثر راست‌نمایی^۹ (MLE) تخمین زده شدند. سپس ۵۰۰ سری زمانی مصنوعی برای هر مشخصه شبیه‌سازی شد. چندک‌های مشخصه‌های خشکسالی با قید احتمال به‌دست آمد. برای مدت دوام خشکسالی (شامل اعداد صحیح) از توزیع‌های گسسته استفاده شد. معیار برازش آماره کلموگروف-اسمیرنوف (D) بود که از میان پنج توزیع یکنواخت، هندسی، لگاریتمی، دو جمله‌ای منفی و پواسون مناسب‌ترین آن‌ها انتخاب شد. معیار مذکور بعداً شرح داده خواهد شد. با فرض حدآستانه‌ای، معادل میانگین درازمدت بارش سالانه، تعداد داده‌های نظیر مشخصه‌های خشکسالی تبریز بر-اساس مشاهدات دوره آماری ۱۲ بود. نتایج حاکی از مناسب بودن توزیع پواسون برای مشخصه L_d بود. پس از تخمین پارامترهای این توزیع، ۵۰۰ سری داده-های مصنوعی برای مشخصه L_d تولید گردید.

مدل‌های یادگیری ماشین موسوم به درختان تصادفی^۷ از نظر دقت پیش‌بینی، در ۶۴٪ مواقع بهترین عملکرد را داشته است. هدف مطالعه حاضر بررسی مشخصه‌های خشکسالی هواشناختی در ایستگاه تبریز در دوره آماری (۱۹۵۱-۲۰۱۵) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

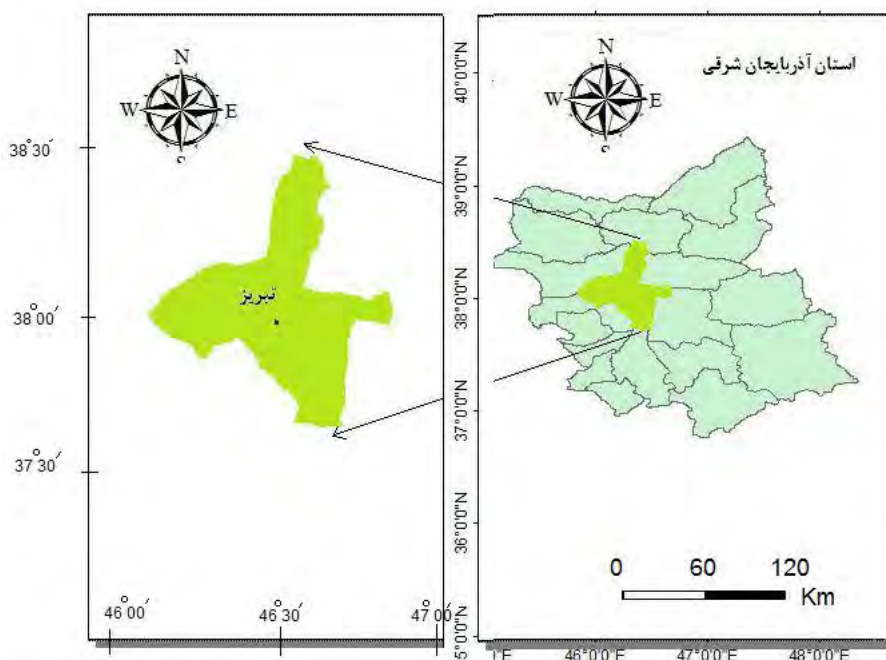
منطقه مورد مطالعه، تبریز، مرکز استان آذربایجان شرقی است. این ایستگاه، در ۳۸ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی قرار دارد. ارتفاع آن ۱۳۶۱ متر از سطح دریا می‌باشد. میزان نزولات جوی سالانه، بطور متوسط ۲۸۳ میلی‌متر (۱۹۵۱-۲۰۱۵) می‌باشد. فروردین پر باران‌ترین ماه این ایستگاه می‌باشد. در مقیاس سالانه، میانگین دمای روزانه ۱۲/۶ درجه سلسیوس می‌باشد. حداکثر و حداقل دمای مطلق ثبت شده در تبریز به ترتیب، ۴۲ (در ۲۶ ژوئیه ۱۹۶۶) و ۲۵- (در ۲۰ ژانویه ۱۹۶۴) درجه سلسیوس می‌باشد. میانگین تعداد روزهای یخبندان تبریز ۱۰۸ و تعداد روزهای برفی ۳۲ روز در سال است. اقلیم تبریز با روش دومارتن (سیدان و محمدی ۱۳۷۶) نیمه خشک (با ضریب خشکی معادل ۱۲/۵) می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه هواشناسی تبریز را نشان می‌دهد. داده‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر، مقادیر بارش در مقیاس ماهانه بوده که از اداره کل هواشناسی تبریز اخذ شدند. در جدول ۱، مشخصات آماری بارش‌های در دوره آماری ۶۵ ساله (۱۹۵۱-۲۰۱۵) آورده شده است.

در این مطالعه، دوره تداوم خشکسالی (L_d) به صورت یک دوره ممتد زمانی که در آن میانگین بارش سالانه کمتر از حدآستانه‌ای یا x_c است، تعریف گردید. همچنین، شدت خشکسالی (S_d) به صورت قدرمطلق مجموع مقادیر کمبود بارندگی در یک دوره ممتد که بارش از x_c کمتر بود، تعریف شد (ویجایاراتین و گلاب ۱۹۹۱):

⁸ - Drought magnitude

⁹ - Maximum likelihood

⁷ - Randomized Trees



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی استان آذربایجان شرقی و محدوده شهر تبریز و ایستگاه هواشناسی تبریز.

جدول ۱ - مشخصات آماری بارش‌های ماهانه و سالانه ایستگاه تبریز (۱۹۵۱-۲۰۱۵).

| آماره | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | می | ژوئن | ژوئیه | اوت | سپتامر | اکتبر | نوامبر | دسامبر | سالانه |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|-------|--------|--------|--------|
| میانگین (mm) | ۲۱/۸۱ | ۲۳/۷۱ | ۳۹/۰۷ | ۵۱/۲۵ | ۴۱/۰۰ | ۱۵/۵۱ | ۵/۹۶ | ۳/۴۷ | ۷/۷۴ | ۲۳/۰۲ | ۲۸/۰۶ | ۲۲/۱۹ | ۲۸۳/۱۲ |
| انحراف معیار (mm) | ۱۳/۱۵ | ۱۶/۶۷ | ۲۳/۸۹ | ۲۵/۲۱ | ۲۳/۶۵ | ۱۶/۱۵ | ۹/۰۴ | ۶/۱۱ | ۹/۶۰ | ۲۴/۹۶ | ۲۰/۰۰ | ۲۱/۰۰ | ۷۵/۲۸ |
| ضریب چولگی | ۰/۷۳ | ۱/۳۳ | ۱/۶۲ | ۰/۷۴ | ۰/۷۱ | ۱/۱۷ | ۲/۴۳ | ۲/۲۴ | ۱/۲۹ | ۱/۷۵ | ۱/۰۸ | ۲/۳۶ | ۰/۹۵ |
| ضریب کشیدگی | ۰/۶۲ | ۳/۴۷ | ۳/۲۱ | -۰/۱۲ | -۰/۱۲ | ۰/۶۴ | ۷/۴۵ | ۴/۹۷ | ۰/۷۵ | ۳/۸۵ | ۰/۶۰ | ۷/۹۶ | ۱/۶۱ |

که در آن، λ پارامتر توزیع پواسون می‌باشد. افزون بر این، بهترین برازش برای مقادیر S_d تبریز، با توجه توزیع بور (با پارامترهای معادل

$$k = 0.38906, \alpha = 2.6263, \beta = 42.495$$

و با تابع چگالی احتمال زیر بود:

$$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}\right)^{k+1}} \quad [4]$$

و برای مقادیر بزرگی خشکسالی (M_d) ایستگاه تبریز با توجه به همان معیار، توزیع ویکبای با تابع چندک زیر مناسب شناخته شد:

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} (1 - (1 - F)^\beta) - \frac{\gamma}{\delta} (1 - (1 - F)^{-\delta}) \quad [5]$$

برای این کار، پس از به دست آوردن تابع چندک، عددهایی بین صفر و یک به طور تصادفی تولید گردید و به جای مقدار احتمال کمتری (F) قرار داده شد تا مقدار داده مصنوعی تولید شود. برای هر سری مصنوعی، میانه، چندک‌های نظیر ۹۵٪، ۹۰٪، ۵٪، ۱۰٪ و حداکثر مقدار (L_d) به دست آمد. فرایند فوق، برای دو مشخصه دیگر خشکسالی (شدت و بزرگی) تکرار شد. با این تفاوت که برای این دو مشخصه از توزیع‌های پیوسته استفاده شد. بطوریکه اشاره شد، بهترین توزیع برای سری L_d ایستگاه تبریز با توجه معیار D ، توزیع پواسون (با پارامتر λ معادل ۲/۸۳۳۳) بود. تابع چگالی احتمال توزیع پواسون به شرح زیر است:

$$f(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \quad [3]$$

تابع توزیع احتمال منتخب به دست آمد. بطوریکه اشاره شد، همه مراحل فوق، با توجه به آستانه دوم (تفاضل میانگین و انحراف معیار بارش سالانه) نیز تکرار شد. در این حالت، بهترین توزیع برای مدت دوام خشکسالی، توزیع یکنواخت با پارامترهای $a=1, b=2$ و برای مقادیر مشاهدات S_d توزیع بور (با $\beta=21.812, k=0.9085$) $\alpha=2.8255$ و برای مقادیر M_d توزیع کرانه‌ای تعمیم یافته (GEV) (با $\mu=19.687, \sigma=13.1910, k=-0.40452$) بود.

در این مطالعه، برای هر سری i ام، مقدار پارامتر a با روش MLE برآورد و مقدار اریب آن از رابطه زیر تخمین زده شد:

$$\text{Bias}(\alpha) = \left| \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\alpha_{\text{obs}} - \alpha_i) \right| \quad [۸]$$

که در آن، m تعداد سری‌های مصنوعی، α_{obs} مقادیر پارامتر α برای سری مشاهداتی و α_i مقدار پارامتر a برای سری i ام می‌باشد. افزون بر این، مقدار MSE^1 نیز از رابطه زیر به دست آمد:

$$\text{MSE}(a) = E [(a_{\text{obs}} - a)^2] \quad [۹]$$

که در آن، $E(.)$ نشان‌دهنده امید ریاضی می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج به ترتیب، ابتدا برای حدآستانه‌ای اول و سپس برای دوم ارائه می‌شود. یادآوری می‌شود که حد-آستانه‌ای اول برای خشکسالی میانگین طولانی مدت بارش‌های سالانه ($\bar{x}_c = \bar{x}$) بوده در حالیکه برای حد-آستانه‌ای دوم این حد معادل میانگین منهای انحراف-معیار طولانی مدت بارش‌های سالانه ($\bar{x}_c = \bar{x} - \sigma$) بوده است. شکل ۲، نمودار بارش سالانه تبریز را همراه با حدود آستانه‌ای اول (میانگین بارش سالانه) و دوم (میانگین منهای انحراف معیار بارش سالانه) نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این شکل می‌توان استنباط کرد، با توجه به حدآستانه‌ای اول، معادل با میانگین درازمدت بارش سالانه، در طی دوره مشاهداتی، در تبریز تعداد

که در آن، $X(F)$ تابع چندک، F احتمال کمتری و $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ و ξ پارامترهای توزیع ویکبای هستند. مقادیر پارامترها به روش MLE به شرح زیر تخمین زده شدند:

$$\alpha=816.12, \quad \beta=13.289, \quad \gamma=11.757$$

$$\delta=-0.1394, \quad \xi=18.717$$

برای محاسبه آماره D ، ابتدا برای هر یک از مشاهدات مرتب شده بطور صعودی، مقدار تابع توزیع تجمعی تجربی از رابطه زیر بدست آمد:

$$F_n(x_i) = [\text{No. of obs. } \leq x_i] / n \quad \text{for } i=1, 2, \dots, n \quad [۶]$$

آماره D بیشترین اختلاف از بین n مقدار بین تابع توزیع تجمعی تجربی ($F_n(x_i)$) و نظری ($F_0(x_i)$) به شرح زیر حاصل شد:

$$D = \max [F_n(x_i) - F_0(x_i) \quad \text{for } i=1, 2, \dots, n] \quad [۷]$$

که در آن، n تعداد داده‌ها است. آماره D محاسبه شده با مقدار نظیر جدول در سطح ۵٪ مقایسه شد. اگر D محاسبه شده، کمتر از D نظیر جدول می‌شد، فرض صفر، مبنی بر تبعیت داده‌ها از توزیع مورد نظر پذیرفته می‌شد، در غیر اینصورت (H_0) رد و فرض مخالف (H_1) پذیرفته می‌شد. مشاهدات بارش سالانه در دوره آماری مورد بررسی با حدآستانه‌ای x_c مقایسه شدند. دوره‌های زمانی ممتد که بارش سالانه آنها کمتر از x_c بود، به عنوان دوره‌های خشکسالی منظور گردید. در هر دوره، تعداد سال‌هایی که بطور پیاپی، بارش سالانه آن‌ها کمتر از حد x_c بود، شمارش و به عنوان مدت دوام خشکسالی در آن دوره منظور شد. این کار برای همه دوره‌های خشکی تکرار شد. آنگاه، برای هر دوره خشکی مقدار نظیر شدت خشکسالی و سپس بزرگی خشکسالی (با تقسیم مقدار شدت به طول دوره خشکسالی) به دست آمد. سپس، چون تعداد سری‌های به دست آمده برای هر سه مشخصه خشکسالی اندک (۱۲ عدد در این مطالعه) بود، بنابراین، از هر مشخصه به تعداد ۵۰۰ سری با مناسب‌ترین توزیع آماری شبیه-سازی به عمل آمد (امیرعطایی و همکاران ۱۳۹۲). پس از انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری، برای هر مشخصه، میزان احتمال وقوع خشکسالی به اندازه معین از روی

¹ - Mean Square Error

یافته است. به‌طوریکه اشاره شد، تعداد ۵۰۰ سری مصنوعی برای هر یک از مشخصه‌های مدت دوام، شدت، بزرگی خشکی تولید شده و نتایج در جدول ۲ آمده است. جدول ۳ مقدار احتمال نظیر مشخصه‌های خشکسالی را به ازای مقدار معین از هر مشخصه نشان می‌دهد. مقادیر اریب (Bias) و MSE پارامترها از روی داده‌های مصنوعی برای S_d به‌شرح زیر به‌دست آمد:

$$\begin{aligned} \text{BIAS}(\alpha) &= 0.577562, & \text{BIAS}(\beta) &= 9.41659 \\ \text{BIAS}(k) &= 0.1336, & \text{MSE}(\alpha) &= 0.7535 \\ \text{MSE}(\beta) &= 178.91, & \text{MSE}(k) &= 0.0374 \end{aligned}$$

همچنین مقادیر اریب و MSE پارامترها از روی داده‌های مصنوعی برای M_d به‌شرح زیر به‌دست آمد:

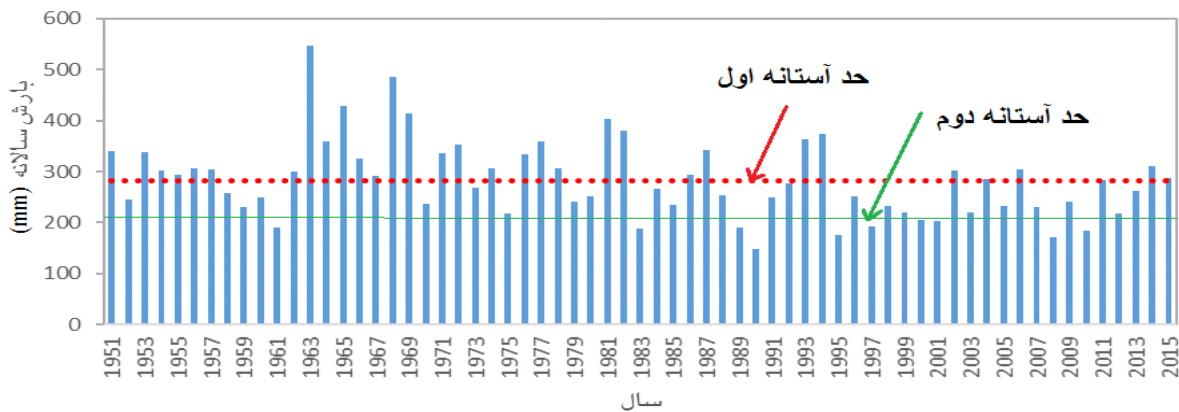
$$\begin{aligned} \text{BIAS}(\alpha) &= 555.14, & \text{BIAS}(\beta) &= 6.14 \\ \text{BIAS}(\gamma) &= 3.02, & \text{BIAS}(\delta) &= 0.14 \\ \text{BIAS}(\xi) &= 13.34, & \text{MSE}(\alpha) &= 1068 \\ \text{MSE}(\beta) &= 12.03, & \text{MSE}(\gamma) &= 3.80 \\ \text{MSE}(\delta) &= 0.16, & \text{MSE}(\xi) &= 16.78 \end{aligned}$$

همان‌گونه که از شکل ۲ می‌توان استنباط کرد، با انتخاب معیار حد آستانه دوام، تعداد رویدادهای خشکی کاهش می‌یابد.

شکل ۵ نمودار مدت دوام خشکی را در دوره‌های زمانی که بارش مشاهداتی تبریز کمتر از حد آستانه‌ای دوام $x_c = \bar{x} - \sigma$ است نمایش می‌دهد. با توجه به حد آستانه دوام، تعداد هشت دوره خشکی در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۵۱ روی داده است. این رقم، حدود ۳۳ درصد کمتر از مقدار نظیر برای حد آستانه اول است. بیشترین طول دوره دو سال پیاپی با بارش سالانه کمتر از x_c بوده است که این سال‌ها به‌ترتیب، از سال ۱۹۸۹ آغاز و تا سال ۱۹۹۰ ادامه داشته است. این رقم، خیلی کمتر از مقدار نظیر برای حد آستانه‌ای اول (یا $\bar{x} = x_c$) می‌باشد. افزون بر این، یک دوره دیگر خشکسالی به‌مدت ۲ سال که از ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ ادامه داشته است، در تبریز تجربه شده است. دوره خشکی ۲ ساله اول بسیار شدیدتر از دوره‌ی ۲ ساله دوم است. در مورد شدت خشکی (S_d) در کل ۸ دوره، بیشترین مقدار آن حدود ۷۶ و کمترین آن ۷ میلی‌متر بود.

۱۲ دوره خشکسالی در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۵۱ روی داده است که بیشترین آن‌ها ۷ سال پیاپی (از ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۱) بطول انجامیده است. افزون بر این، یک دوره‌ی دیگر خشکسالی، به‌مدت ۷ سال از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ تجربه شده است. دوره خشکی ۷ ساله اول بسیار شدیدتر از دوره ۷ ساله دوم بوده است، زیرا در دوره اول، شدت خشکی (مجموع کمبود بارش نسبت به میانگین) حدود ۵۰۰ میلی‌متر بود، در حالیکه، برای دوره دوم، این رقم حدود ۳۹۳ میلی‌متر بود. کمترین مقدار شدت خشکی (S_d) در کل ۱۲ دوره خشکی حدود ۱۴ میلی‌متر بود. در مورد بزرگی خشکی (M_d) کمترین و بیشترین مقدار آن به‌ترتیب، حدود ۱۴ و ۷۱ میلی‌متر در سال بود و معنای آن این است که متوسط کمبود بارش نسبت به میانگین، در دوره‌های خشکی روی داده در تبریز بین ۱۴ و ۷۱ میلی‌متر در سال تغییر می‌کند. بر اساس شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت که از سال ۱۹۸۸ به بعد، کاهش چشمگیری در بارش سالانه تبریز وجود داشته است. به‌ویژه از سال ۱۹۹۵ خشکسالی‌های پیاپی تا سال ۲۰۱۵ به‌مدت (۲۰ سال) در تبریز روی داده است که در آن، تنها در تعدادی از سال‌ها (مانند ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۴) بارش به‌مقدار خیلی جزئی از میانگین بیشتر بوده است که در آن امکان جبران کمبود نزولات جوی در سال‌های خشک وجود نداشته است.

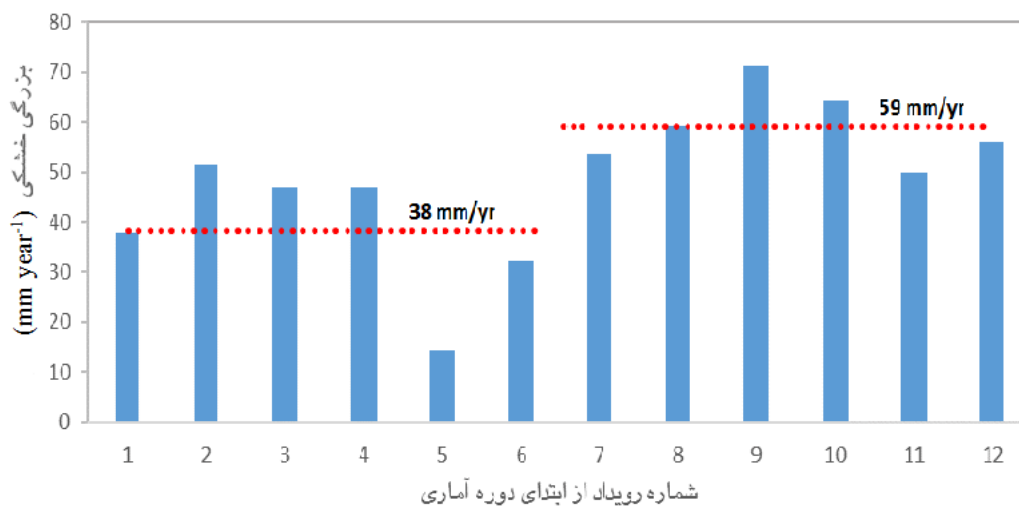
شکل ۳ نمودار مدت دوام و شدت خشکی را در دوره‌های زمانی که بارش مشاهداتی تبریز کمتر از حد آستانه‌ای اول (میانگین بارش) است نشان می‌دهد. به‌همین ترتیب، شکل ۴ نمودار بزرگی خشکی (M_d) یا متوسط شدت خشکی را با توجه به حد آستانه اول نمایش می‌دهد. شکل ۴ هیستوگرام بزرگی خشکی (M_d) را در ۱۲ دوره خشکی تجربه شده در تبریز نشان می‌دهد. به‌طوریکه از این شکل مشاهده می‌شود، از ۱۲ دوره خشکی مشاهداتی، میانگین M_d برای شش دوره اول ۳۸ و برای شش دوره دوم ۵۹ میلی‌متر در سال می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار M_d دوره دوم حدود ۵۵ درصد، نسبت به دوره اول، افزایش



شکل ۲- هیستوگرام بارش سالانه تبریز (۱۹۵۱-۲۰۱۵) و حدود آستانه اول (نقطه چین) و دوم (خط نازک).



شکل ۳- مدت دوام خشکی (L_d) و شدت خشکی مشاهداتی (S_d) در تبریز (۱۹۵۱-۲۰۱۵) و با فرض $(x_c = \bar{x})$.



شکل ۴- بزرگی خشکی مشاهداتی (M_d) در ایستگاه تبریز (۱۹۵۱-۲۰۱۵) و با فرض $(x_c = \bar{x})$.

جدول ۲ - خلاصه آماری مربوط به داده‌های شبیه‌سازی شده مشخصه‌های خشکسالی تبریز (با فرض $x_c = \bar{x}$).

| متوسط کمبود خشکسالی (mm year ⁻¹) | شدت خشکسالی (mm) | مدت دوام خشکسالی (year) | آماره |
|---|------------------|-------------------------|----------------------------------|
| ۸۶/۳۸ | ۳۳۰ | ۲/۸۲ | میانگین |
| ۱۶/۶۷ | ۱۳۴۲/۵۷ | ۱/۶۷ | انحراف معیار |
| -۱/۱۳ | ۵/۵۴ | ۰/۵۵ | ضریب چولگی |
| ۳/۰۹ | ۳۵/۸۶ | ۰/۲۵ | ضریب کشیدگی |
| ۱۰۳/۲۹ | ۳۷۴/۳۱ | ۴/۹۸ | مقدار متغیر با احتمال ۹۰٪ و کمتر |
| ۱۰۸/۹۴ | ۷۸۷/۱۱ | ۵/۶۳ | مقدار متغیر با احتمال ۹۵٪ و کمتر |
| ۱۱۷/۷۳ | ۵۰۵۰/۲۳ | ۶/۸۷ | مقدار متغیر با احتمال ۹۹٪ و کمتر |
| ۱۲۲/۱۱ | ۱۰۲۵۶/۶۳ | ۷/۴۳ | حداکثر |

جدول ۳ - مقدار احتمال نظیر ۳ مشخصه‌ی خشکسالی با توجه به داده‌های مصنوعی در تبریز (با فرض $x_c = \bar{x}$).

| احتمال کمتری | بزرگی خشکسالی (mm year ⁻¹) | احتمال کمتری | شدت خشکسالی (mm year ⁻¹) | درصد احتمال کمتری | مدت دوام خشکسالی |
|--------------|---|--------------|---|----------------------|---------------------|
| ۰/۲ | ۸۰ | ۰/۹۵۹ | ۱۰۰۰ | ۲۳٪ | ۱ سال |
| ۰/۴ | ۸۶ | ۰/۹۷۹ | ۲۰۰۰ | ۴۶٪ | ۲ سال |
| ۰/۵ | ۸۸ | ۰/۹۸۶ | ۳۰۰۰ | ۶۸٪ | ۳ سال |
| ۰/۶ | ۹۰ | ۰/۹۹۰ | ۴۰۰۰ | ۸۴٪ | ۴ سال |
| ۰/۸ | ۹۷ | ۰/۹۹۲ | ۵۰۰۰ | ۹۳٪ | ۵ سال |
| ۰/۹ | ۱۰۳ | ۰/۹۹۳ | ۶۰۰۰ | ۹۷٪ | ۶ سال |
| ۱ | ۱۶۴ | ۰/۹۹۴ | ۷۰۰۰ | ۹۹٪ | ۷ سال |

دوره‌های زمانی که بارش مشاهداتی تبریز کمتر از حد-آستانه‌ای دوم ($x_c = \bar{x} - \sigma$) است نمایش می‌دهد. به-همین ترتیب، شکل ۶ نمودار مشخصه M_d (در دوره‌های زمانی که بارش سالانه تبریز کمتر از حد آستانه دوم است) را نمایش می‌دهد. با مقایسه شکل ۴ با ۶ می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش حد آستانه ای از ($x_c = \bar{x}$) به ($x_c = \bar{x} - \sigma$) مقادیر M_d به مراتب کاهش پیدا می‌کند، طوری‌که، بیشترین M_d برای حد آستانه‌ای خشکسالی اول ($x_c = \bar{x}$) معادل با ۷۰ بوده که با پایین آوردن حد-آستانه‌ای به اندازه $x_c = \bar{x} - \sigma$ ، این رقم به ۳۸ (میلی‌متر در سال) کاهش یافته است. مقدار کاهش، در مورد

این مقادیر، در مقایسه با مقادیر نظیر در حد آستانه‌ای مرحله اول ($x_c = \bar{x}$) به مراتب ناچیز است. به عبارت دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که با پایین آوردن حد-آستانه‌ای خشکسالی نه تنها طول دوره خشکسالی کوتاه‌تر می‌شود، بلکه شدت خشکسالی (S_d) نیز به تبع آن کاهش می‌یابد. این کاهش در تبریز با پایین آوردن x_c از میانگین به ($x_c = \bar{x} - \sigma$) محسوس بود، طوری‌که حداکثر S_d حدود ۴۲۴ و حداقل آن ۷ میلی‌متر بود. در مورد بزرگی خشکی (M_d) کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب، حدود ۳۸ و ۴ (میلی‌متر در سال) به دست آمد. شکل ۵ نمودار مدت دوام خشکی و شدت خشکی را در

(جدول ۳) که در حالت دوم ($x_c = \bar{x} - \sigma$) به حدود ۴۰ (میلی متر در سال) کاهش یافته است (جدول ۵).

مقادیر اریب و MSE پارامترها از روی داده‌های مصنوعی برای شدت خشکسالی در مرحله دوم به شرح زیر به دست آمد:

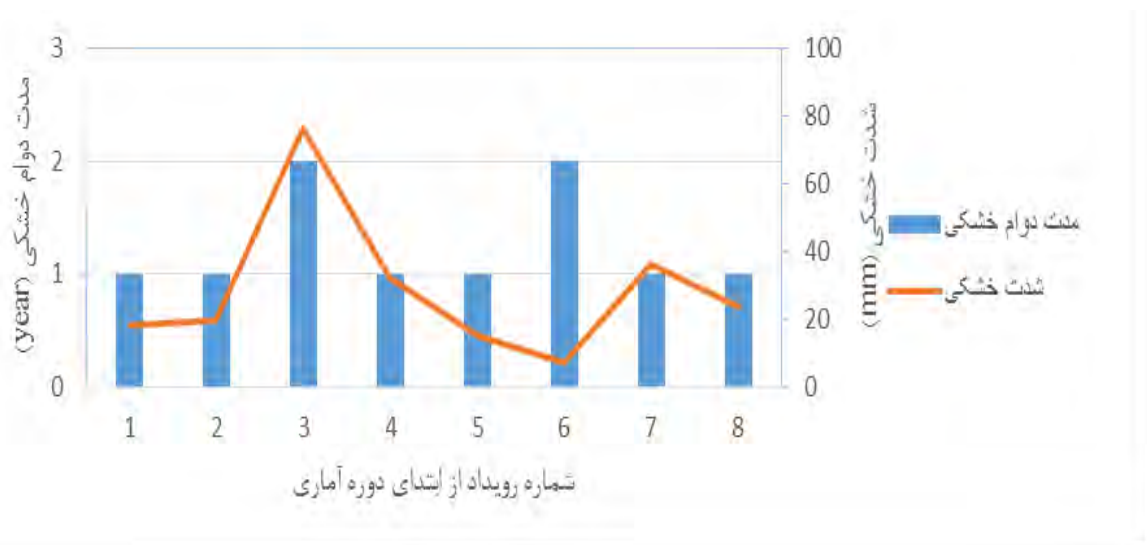
$$\begin{aligned} \text{BIAS}(\alpha) &= 0.54, & \text{BIAS}(k) &= 0.82 \\ \text{BIAS}(\beta) &= 8.53, & \text{MSE}(\alpha) &= 0.46 & \text{MSE}(k) &= 4.35, \\ \text{MSE}(\beta) &= 335.75 \end{aligned}$$

همچنین مقادیر اریب و MSE پارامترها از روی داده‌های مصنوعی برای بزرگی خشکسالی در مرحله دوم به شرح زیر بود:

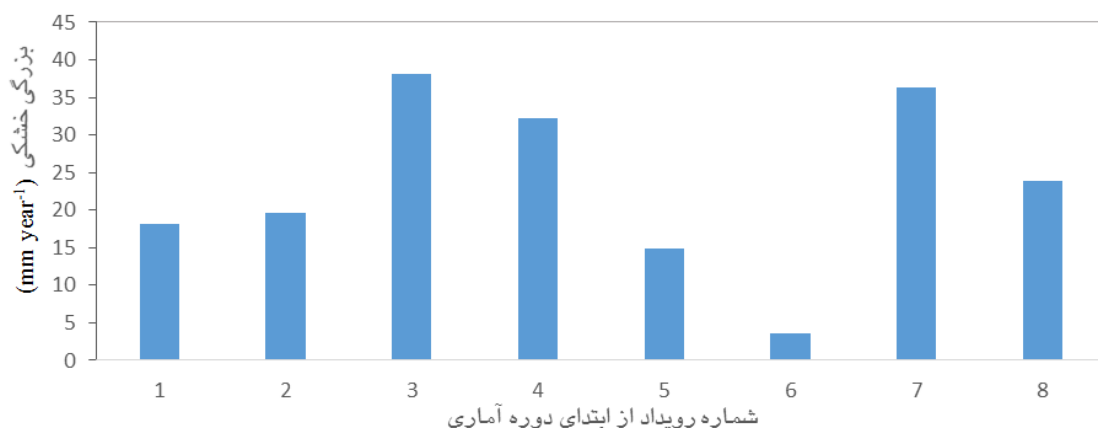
$$\begin{aligned} \text{BIAS}(k) &= 0.078, & \text{BIAS}(\sigma) &= 1.07 \\ \text{BIAS}(\mu) &= 1.25, & \text{MSE}(k) &= 0.009 & \text{MSE}(\sigma) &= 1.66, \\ \text{MSE}(\mu) &= 2.21 \end{aligned}$$

کاظم‌زاده و ملکیان (۱۳۹۴) در پایش زمانی خشکسالی در استان اردبیل (۱۳۶۰-۱۳۸۹) در بازه‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه نتیجه گرفتند که بیشینه خشکسالی‌ها در ۱۵ سال گذشته بوده است. به عبارت دیگر در ۱۵ سال اول دوره مطالعاتی خشکسالی‌های قابل توجهی نبوده و بیشتر ایستگاه‌ها حالت نرمال داشته‌اند و شدیدترین دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیکی در سال ۱۳۸۹ اتفاق افتاده است. این نتیجه با یافته‌های مطالعه فعلی برای تبریز کاملاً همخوانی دارد.

مشخصه M_d در تبریز حدود ۴۶ درصد می‌باشد. خلاصه‌ی آماری ۵۰۰ سری مصنوعی تولید شده در حالت دوم در جدول ۴ آمده است. به طوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد، میانگین مشخصه‌های L_d و S_d برای حالت دوم (یعنی $x_c = \bar{x} - \sigma$) به ترتیب، برابر با ۱/۴۹ سال، ۲۹/۳۸ میلی‌متر و ۲۳/۵۶ میلی‌متر در سال می‌باشد. این ارقام، به مراتب کمتر از حالت اول ($x_c = \bar{x}$) می‌باشد، زیرا در حالت اخیر، این ارقام به ترتیب برابر با ۲/۸۲ سال، ۳۳۰ میلی‌متر و ۸۶/۴ میلی‌متر در سال بود (جدول ۴). جدول ۵، مقادیر احتمال کمتری نظیر سه مشخصه خشکسالی را در تبریز (بازای $x_c = \bar{x} - \sigma$) نشان می‌دهد. به طوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد، بازای احتمال کمتری ۰/۵، طول دوره خشکسالی در حالت دوم ($x_c = \bar{x} - \sigma$) فقط یک سال است در حالیکه در حالت اول ($x_c = \bar{x}$) این رقم حدود ۲/۵ سال (جدول ۳) بود. افزون بر این، شدت خشکسالی بازای احتمال ۰/۹۹ (دوره برگشت صد سال) در تبریز برای حالت دوم تنها ۱۳۴ میلی‌متر است. در حالیکه، در حالت اول (یعنی فرض حد بحرانی برابر با میانگین) این رقم، بالغ بر ۴۰۰۰ میلی‌متر در طولانی‌ترین دوره خشکی با دوره بازگشت صد ساله است (جدول ۳). افزون بر این، مقدار M_d در حالت اول ($x_c = \bar{x}$) بازای احتمال کمتری ۰/۸ حدود ۹۷ (میلی‌متر در سال) است



شکل ۵- مدت دوام خشکی مشاهداتی (L_d) و شدت خشکی (S_d) حد آستانه دوم در تبریز در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۵۱.



شکل ۶- بزرگی خشکی مشاهداتی (Md) در ایستگاه تبریز در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۱۵ (با فرض $x_c = \bar{x} - \sigma$).

جدول ۴- خلاصه‌ی آماری مربوط به داده‌های شبیه‌سازی شده مشخصه‌های خشکسالی تبریز با فرض $(x_c = \bar{x} - \sigma)$.

| آماره | مدت دوام خشکسالی (year) | شدت خشکسالی (mm) | متوسط کمبود خشکسالی (mm year ⁻¹) |
|----------------------------------|-------------------------|------------------|--|
| میانگین | ۱/۴۹ | ۲۹/۳۸ | ۲۳/۵۶ |
| انحراف معیار | ۰/۵ | ۲۶/۲۳ | ۱۲/۴۴ |
| ضریب چولگی | ۰/۰۱ | ۲/۶۶ | -۰/۳۷ |
| ضریب کشیدگی | -۱/۹۹ | ۱۱/۲۹ | -۰/۰۷۲ |
| مقدار متغیر با احتمال ۹۰٪ و کمتر | ۲ | ۵۱/۵۲ | ۲۸/۹۷ |
| مقدار متغیر با احتمال ۹۵٪ و کمتر | ۲ | ۶۷/۶۱ | ۴۱/۷۳ |
| مقدار متغیر با احتمال ۹۹٪ و کمتر | ۲ | ۱۲۱/۴۳ | ۴۵/۸۰ |
| حداکثر | ۲ | ۱۶۵/۸۱ | ۴۷/۲۶ |

جدول ۵- مقادیر احتمال کمتری مشخصه‌های خشکسالی تبریز (با توجه به داده‌های مصنوعی و $x_c = \bar{x} - \sigma$).

| مدت دوام خشکسالی | احتمال کمتری | شدت خشکسالی (mm) | احتمال کمتری | بزرگی خشکسالی (mm year ⁻¹) | احتمال کمتری |
|------------------|--------------|------------------|--------------|--|--------------|
| ۱ سال | ۰/۵ | ۴ | ۰/۰۰۷ | ۹ | ۰/۱ |
| ۲ سال | ۱ | ۳۰ | ۰/۶۷ | ۱۵ | ۰/۲۴ |
| | | ۵۶ | ۰/۹۱ | ۲۱ | ۰/۴ |
| | | ۸۲ | ۰/۹۶ | ۲۷ | ۰/۵۶ |
| | | ۱۰۸ | ۰/۹۸ | ۳۳ | ۰/۶۹ |
| | | ۱۳۴ | ۰/۹۹ | ۳۹ | ۰/۷۹ |
| | | ۱۶۵ | ۰/۹۹ | ۴۷ | ۰/۸۸ |

میلی متر می باشد و با توجه به معیار $x_c = \bar{x} - \sigma$ بیشترین مقدار شدت خشکسالی ۷۶ میلی متر و کمترین مقدار آن ۷ میلی متر می باشد. همچنین، با توجه به معیار $x_c = \bar{x}$ بیشترین مقدار بزرگی خشکسالی ۷۱ میلی متر در سال و کمترین مقدار آن ۱۴ میلی متر در سال می باشد و با توجه به معیار دوم $x_c = \bar{x} - \sigma$ بیشترین مقدار بزرگی خشکسالی ۳۸ میلی متر در سال و کمترین مقدار آن ۴ میلی متر در سال می باشد. از این مطالعه، میتوان نتیجه گرفت که اولاً با کاهش حد آستانه ای نه تنها تعداد دوره های خشک کمتر می شود بلکه مقدار هر سه مشخصه خشکسالی، کاهش می یابد و ثانیاً با گذشت زمان دوره های خشکی تبریز دارای طول بیشتر، مجموع کمبود شدیدتر و بزرگی بیشتر شده است. این سوال که کدام یک از معیارهای مربوط به حد آستانه ای برای خشکسالی مناسب است، بستگی به نوع استفاده از آب دارد. مثلاً در کشاورزی چون آب زیاد مصرف می شود انتخاب حد آستانه ای پایین ممکن است نتایج گمراه کننده ای داشته باشد. در کشاورزی بهتر است از حد آستانه ای بالا (مانند میانگین دراز مدت بارندگی) استفاده شود. در حالیکه برای استفاده شرب، می توان حد آستانه را پایین در نظر گرفت زیرا مصرف آب در بخش شهری به مراتب کمتر از بخش کشاورزی است. بنابراین، لازم است از آب قابل دسترس بخوبی حفاظت و بطور معقول استفاده نمود. مطالعه مشابه برای سایر ایستگاه های آمار بلندمدت و نیز با استفاده از روش های مختلف داده کاوی مانند شبکه عصبی مصنوعی، عصبی-فازی و سری های زمانی هیدرولوژیکی به منظور پیش بینی مشخصه های خشکسالی پیشنهاد می شود.

بختیاری عنایت و همکاران (۱۳۹۴) در تحلیل همبستگی پایه زمانی و تاخیر زمانی بین خشکسالی اقلیمی و خشکسالی آب شناختی دشت هشتگرد به این نتیجه رسیدند که چندین دوره خشکسالی و ترسالی اقلیمی در طول دوره آماری (۱۳۷۰-۱۳۹۰) رخ داده است که با افزایش پایه زمانی در SPI تعداد این دوره ها کاهش و بر تداوم آن ها افزوده می شود. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) در تحلیل خشکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی با تاکید بر سنجش از دور و شاخص وضعیت پوشش گیاهی در دوره آماری (۲۰۰۰-۲۰۱۱) با استفاده از داده های بارش ایستگاه های استان به این نتیجه رسیدند که بر اساس شاخص SPI سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ با بیشترین و سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ با کمترین خشکسالی مواجه شدند. این نتیجه برای سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ در تبریز کاملاً همخوانی دارد ولی برای سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ مغایرت دارد.

نتیجه گیری کلی

در حالت کلی، می توان نتیجه گرفت که با تغییر حد آستانه ای میانگین درازمدت از \bar{x} به میانگین منهای یک برابر انحراف معیار داده های بارش های سالانه، مقدار مشخصه های مدت دوام خشکسالی، شدت خشکسالی و بزرگی خشکسالی کاهش می یابد. با توجه به معیار اول ($x_c = \bar{x}$) تعداد ۱۲ دوره خشکسالی در بازه زمانی ۱۹۵۱-۲۰۱۵ روی داده است. در حالیکه، با توجه به معیار دوم ($x_c = \bar{x} - \sigma$) فقط ۸ دوره خشکسالی تشخیص داده شد. بیشترین طول دوره خشکسالی با توجه به معیار اول، ۷ سال و با توجه به معیار دوم، ۲ سال می باشد. با توجه به معیار $x_c = \bar{x}$ بیشترین مقدار شدت خشکسالی ۵۰۰ میلی متر و کمترین مقدار آن ۱۴

منابع مورد استفاده

- Ahmadi F, Mirabbasi R and Radmanesh F, 2015. Application of joint deficit index (JDI) for analyzing droughts over the southern margins of Caspian Sea. Iranian Journal of Soil and Water Research 46(3):431-442. (In Persian)
- Amirataee B, Montaseri M and Yasi M, 2014. Comparison of inherent performance of seven drought indices in drought mitigation using a Monte Carlo simulation approach. Journal of Civil and Environmental Engineering 43(1):25-39. (In Persian)

- Bakhtiare Enayat B, Malekian A and Salajegheh A, 2015. Time and lag correlation analysis between climate drought and hydrological drought in Hashtgerd Plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 46(3):431-442. (In Persian)
- Barzegari F and Malekynejhad H, 2015. Linear moments application in drought prediction (Case study: Central catchment of Iran). *Water and Soil Science* 25(1):113-123. (In Persian)
- Combs S, 2012. *The Impact of the 2012 Drought and Beyond*. Texas Comptroller of Public Accounts. Pp: 1-12.
- Chen S-T, Kuo C-C and Yu PS, 2009. Historical trends and variability of meteorological droughts in Taiwan. *Hydrological Sciences Journal* 54(3), 430-441.
- Dinpashoh Y, 2004. *Meteorological drought analysis using pattern analysis*. PhD Thesis in Irrig. Eng. and Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian)
- Ekhtiari Khajeh S and Dinpashoh Y, 2018. Application of Effective Drought Index (EDI) in Characterizing Drought Periods (Case study: Tabriz, Bandar Anzali, and Zahedan). *Journal of Irrigation Science and Engineering* 41(1): 133-145. (In Persian)
- Ghorbani-Aghdam M, Dinpashoh Y and Mostafaeipour A, 2013. Application of factor analysis in defining drought prone areas in Lake Urmia Basin. *Natural Hazards* 69(1):267-277.
- Hisdal H and Tallaksen ML, 2003. Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark. *Journal of Hydrology* 281: 230-247.
- Karabulut M, 2015. Drought analysis in Antakya-Kahramanmaras Graben, Turkey. *J Arid Land* 7(6): 741-754.
- Karavatiz CA, Alexandris S, Demetrios ET and Athanasopoulos G. 2011. Application of the standardized precipitation index (SPI) in Greece. *Water Resources Management* 3:787-805.
- Livada I and Assimakopoulos VD, 2007. Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardization of Precipitation Index (SPI). *Theoretical and Applied Climatology* 89:143-153.
- Matalas NC, 1991. Drought description. *Stochastic Hydrology and Hydraulics* 5: 255-260.
- Mckee TB, Doesken N and Kleist J, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, Pp: 179-184. 8th Conference on Applied Climatology. 17-22 January, Anaheim, California.
- Mirabbasi Najaf Abadi R, Ahmadi F, Ashuri M, Nazeri Tahroudi M, 2017. Droughts analysis in the Northeast of Iran using Joint Deficit Index (JDI). *Ecohydrology* 4(2): 573-585. (In Persian)
- Mishra AK and Singh VP, 2011. A review of drought concept. *Journal of Hydrology* 203:157-175.
- Rezaei Banafsheh M, Rezaei A, Faridpour M, 2015. Analyzing agricultural drought in East Azarbaijan province emphasizing remote sensing technique and vegetation condition index. *Water and Soil Science* 25(1):113-123. (In Persian)
- Rhee J and Im J, 2017. Meteorological drought forecasting for ungauged areas based on machine learning: using long-range climate forecast and remote sensing data. *Agricultural and Forest Meteorology* 237: 105-122.
- Santos MA, 1983. Regional droughts: A stochastic characterization. *Journal of Hydrology* 66: 183-211.
- Seidan J and Mohammadi F, 1997. Methods of climate classification. *Quarterly Journal of Geographical Researches* 45: 74-108. (In Persian)
- Todisco F, Mannocchi F and Vergni L, 2013. Severity-duration-frequency curves in the mitigation of drought impact: An agricultural case study. *Natural Hazards* 65: 1863-1881.
- Vrochidou AK, Tsanis IK, Grillakis MG and Koutroulis AG, 2013. The impact of climate change on hydro meteorological droughts at a basin scale. *Journal of Hydrology* 476: 290-301.
- Wambua R, Mutua B and Rauda J, 2014. Performance of Standardized Precipitation Index (SPI) and Effective Drought Index (EDI) in drought forecasting using Artificial Neural Network (ANNS) for Upper Tana River basin, Kenya. *International Journal of Engineering Research and Technology* 3(11):547-556.
- Wijayarathne LH and Golube E, 1991. Multiyear drought simulation. *Water Resources Bulletin* 27(3): 387-395.
- Wilhite DA, 2000. Drought as a Natural Hazard, Concepts and Definitions. Pp:345-410. In: DA Wilhite (ed). *Drought,)1(A Global Assessment Rout ledge*.

Wilhite DA and Glantz MH, 1985. Understanding the drought phenomenon, the role of definitions. *Water International* 10(3): 111-120.

Zare Abianeh H, Bayat Varkeshi M and Dinpashoh Y. 2011. Study of aridity index trends in southern half of Iran. *Water and Soil Science* 21(2):81-92. (In Persian)