# ارزیابی و تحلیل حجم خشکی رودخانه با استفاده از داده‌های تاریخی و پیش‌بینی شده (مطالعه موردی: رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه)

کیوان خلیلی[1*]، محمد ناظری تهرودی[2] و فرشاد احمدی[3]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه khalili2006@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه ارومیه

۳- دانشجوی دکتری منابع آب دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۵

## چکیده

**دقت تحلیل فراوانی سیلاب یا تحلیل خشکی و دوره بازگشت خشکی‌ها، بستگی به انتخاب نوع توزیع احتمالاتی و روش تخمین پارامترهای آن دارد. در این مطالعه با استفاده از داده‌های دبی روزانه رودخانه‌های نازلوچای، باراندوزچای و شهرچای در دوره آماری تاریخی و پیش‌بینی شده، سری زمانی حجم خشکی رودخانه‌های ذکر شده در دوره آماری تاریخی و دوره آماری به روز شده با استفاده از داده‌های پیش‌بینی، استخراج و تا مدت دوام ٦٠ روزه تصحیح و تکمیل شد. سپس با استفاده از تابع لاگ پیرسون نوع سه، هر دو سری زمانی تاریخی و به روز شده، برازش یافت و حجم خشکی رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه با دوره بازگشت یک تا ۱۰۰۰۰ سال استخراج شد. نتایج حاصل از نمودارهای به روز رسانی نشان از کاهش حجم خشکی رودخانه‌های نازلوچای و باراندوزچای و افزایش حجم خشکی رودخانه شهرچای در دوره آماری به روز شده بود. به طوری که در نمودارهای به روزرسانی شده و در مدت دوام مشترک ٦٠ روزه با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال، حجم آورد خشکی در رودخانه‌های باراندوزچای و نازلوچای، به ترتیب حدود ۲۹ و ٦۲ میلیون مترمکعب کاهش و در رودخانه شهرچای حدود هفت میلیون مترمکعب افزایش خواهد داشت.**

**کلیدواژه‌ها:** آرما، شدت-مدت-فراوانی، لاگ پیرسون نوع سه، پیش‌بینی، دوره بازگشت.

# Assessment and Analysis of River Drought Volume by Using Historical and Forecasted Data (Case Study: Western Rivers of Lake Urmia)

K. Khalili[1*], M. Nazeri Tahroudi[2] and F.Ahmadi[3]

1*-Assistant Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Iran.
2-Msc Student of Water Resource Management, Urmia University, Iran.
3- Ph. D. Student, Department Of Hydrology & Water Resource Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 15 January 2014 Accepted: 26 May 2014

## Abstract

Flood and drought analysis accuracy and estimating return period of droughts depend on selecting type of distribution functions and method of estimating parameters. In this study daily river flow of Nazloochai, Barandouzchai and Shahrchai rivers in the historical and predicted series used to estimate river drought volume series up to 60 days duration in the predicted and actual series. Then using log-Pearson type III distribution function, drought volume of the historical and predicted flow series for the return period of 1 to 10,000 years estimated. Results indicated that drought intensity of Nazloochai and Barandouzchai rivers reduced while in the Shahrchai river drought volume increased in the updated statistical period of data. As updated charts showed 60 days duration drought volume of Barandouzchai and Nazloochai rivers with the 10000 year return period reduced about 29 and 62 (mcm) respectively while for Shahrchai river it is increased about 7 (mcm).

**Keywords:** ARMA, Intensity Duration Frequency, Log Pearson type III, Predict, Return period.

## مقدمه

سری زمانی اولین بار در هیدرولوژی از اوایل دهه ۱۹۶۰ توسط توماس، فیرینگ، و یوجویچ آغاز گردید و در دهه ۱۹۷۰ توسط باکس و جنکین توسعه یافت. ساده‌ترین نوع مدل‌های سری زمانی از نوع خودهمبسته[1] می‌باشند که براساس زنجیره مارکوف بنا نهاده شده‌اند. یک سری زمانی وقتی از زنجیره ماکوف تبعیت می‌کند که هر رخدادی در زمان t با زمان های قبل و بعد از خود مرتبط باشد. از دیگر مدل‌های سری زمانی می‌توان به مدل‌های خود همبسته با میانگین متحرک (آرما[2])، آریما و پریودیک آرما اشاره نمود ( صفوی، ۱۳۸۸، کارآموز و عراقی‌نژاد ۱۳۸۴). گنجی زهرایی و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از مدل‌های آرما و انفیس[3] تعداد تصادفات محور فومن–رشت را مدل‌سازی کردند با استفاده از روش‌های ناپارامتری، صحت مدل مورد استفاده، برای پیش‌بینی تعداد تصادفات از محور فومن — رشت را مورد بررسی قرار دادند و با استفاده از مدل مناسب، تعداد تصادفات برای ماه‌های آتی در این محور را پیش بینی کردند و به این نتیجه رسیدند که مزیت استفاده از روش‌های ناپارامتری برای بررسی صحت مدل، در این است که هیچ گونه پیش فرض توزیع خاص برای متغیر مورد بررسی، وجود نداشته و اصطلاحا، آزاد توزیع بوده و در مواردی که حجم نمونه کم می باشد نیز نتایج قابل قبولی ارایه می دهد. قدم بعدی در بررسی حجم خشکی رودخانه و تحلیل فراوانی سیلاب، انتخاب توزیع متناسب با داده‌هاست که در این مبحث مطالعات مختلفی صورت گرفته است. به نقل از مطالعات هاسکینگ[4] (۱۹۹۰ و ۲۰۰۵)، تحقیقاتی در رابطه با انتخاب مناسب‌ترین روش تخمین پارامترها انجام شده است. با این وجود فایرینگ[5] (۱۹۶۷) گزارش نموده است که با وجود مقادیر پرت، نتایج بیشتر روش‌های آماری تحلیل فراوانی سیلاب، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. بنابراین به نظر می‌رسد که اگر مقادیر پرت از بررسی حذف شوند نتایج آماری از دقت زیادی برخوردار خواهد بود. کشتکاران و سبزواری (۱۳۸۹) برای تخمین حداکثر سیلاب‌های لحظه‌ای رودخانه‌های قره آغاج و بختگان پل‌خان استان فارس توزیع‌های آماری تعمیم یافته‌ی جدیدی همچون پارتوی تعمیم یافته، لجستیک تعمیم یافته، گاما، جی‌ای‌وی، لگ لجستیک، جانسون اس‌بی و ویک‌بای را مورد ارزیابی قرار دادند و عملکرد هر توزیع را براساس معیارهای اندرسون دارلینک، کلموگروف اسمیرنف و خی‌دو مقایسه کردند و توزیع آماری پارتوی تعمیم یافته، ویک‌بای و جانسون اس‌بی به عنوان بهترین توزیع‌های آماری در منطقه شناخته شدند. کرول و ووگل[6] (۲۰۰۲)، جینگی و هال[7] (۲۰۰۴)، کومار و چترجی[8] (۲۰۰۵)، نگوین[9] (۲۰۰۶) و ابیدا و الوز[10] (۲۰۰۷) با استفاده از گشتاورهای خطی تحقیقاتی برای یافتن بهترین توزیع‌های آماری متناسب با داده‌های مناطق مختلف را مورد مطالعه قرار دادند. یوسفی و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از توزیع نرمال و زنجیره مارکف احتمال حالت‌های خشکسالی و ترسالی ایستگاه قزوین را بر اساس بارش‌های سالانه و فصول مختلف برآورد کردند و نتایج حاصل شده نشانگر این بود که آزمون خی– دو حکم بر برتری زنجیره مارکف نسبت به توزیع نرمال دارد. فاتحی پیکانی (۱۳۸۸) چندین توزیع آماری بر توزیع سرعت باد اندازه‌گیری شده در مقیاس گره برای ایستگاه‌های سینوپتیک داران، بافت، سرخس و مایان برازش دادند و مقایسه نتایج حاکی از آن بود که فقط تمرکز بر روی یک توزیع برای ارائه توزیع فراوانی سرعت باد مناسب نیست. مروج و خلیلی (۱۳۹۱) توزیع ویک‌بای و توزیع‌های رایج آماری را بر روی داده‌های بارش سالیانه ایستگاه‌های باران‌سنجی غرب دریاچه ارومیه برازش دادند و نتایج تحقیقات نشان داد که توزیع ویک‌بای، توزیع منتخب ۹۴ درصد ایستگاه‌ها است. خوشحال و همکاران (۱۳۸۴) کاربرد مدل گامبل در تجزیه و تحلیل فراوانی بارش‌های حداکثر حوضه کارون شمالی را مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج حاکی از آن شد که روش گامبل ترکیبی در مقابل روش گامبل تک متغیره دقت بیشتری دارد و اطلاعات بیشتری برای وقوع حداکثر بارش‌ها در آینده پیش‌بینی شده است. عبدی کردانی و فاخری‌فر (۱۳۸۷) دبی‌های حداکثر سالیانه ۳۸ رودخانه حوضه‌های آذربایجان شرقی در دوره آماری مشترک ۳۴ ساله را با استفاده از توزیع‌های ویک بای پنج پارامتری، لجستیک تعمیم یافته، مقادیر حد تعمیم یافته و پارتو تعمیم یافته و با استفاده از روش گشتاورهای خطی برازش دادند و آزمون نکویی برازش، توزیع ویکبای پنج پارامتری را تایید کرد. گریفیتس[11] (۱۹۸۹) برای برازش داده‌های سیلابی سالانه دو توزیع بتا و ویک بای را مورد آزمون قرار داد و نتایج مدل نشان دهنده‌ی دقت بالای توزیع ویک بای نسبت به توزیع بتا بود. غلامی و همکاران (۱۳۸۰) با استفاده از روش گشتاور L، توزیع-های احتمالی مناسب بر دبی حداقل، میانگین و حداکثر ۷۰ ایستگاه منطقه مازندران را برازش دادند و نتایج، توزیع گامبل و لوگ نرمال را برای دبی‌های حداکثر لحظه‌ای سالانه برای اکثر ایستگاه‌ها مورد قبول دانست. مساعدی و همکاران (۱۳۸۸) ۲۵ توزیع آماری را بر روی آمار دبی روزانه رودخانه گرگانرود در طی دوره آماری ۵۰ ساله برازش دادند و با استفاده از نرم‌افزار ایزی فیت[12] و آزمون‌های گلموگروف–اسمیرنف و کای اسکوئر، به ترتیب آزمون‌ها، توزیع لوگ نرمال سه پارامتری و پارتو تعمیم

1-Auto Regressive
2-Auto Regressive Moving Average (ARMA)
3 - ANFIS
4 - Hoskings
5 - Fiering
6 - Kroll and Vogel
7 - Jingyi and Hall
8 - Kumar and Chatterjee
9 - Nguyen
10 - Abida and Ellouze
11 - Griffiths
12 - EasyFit

یافته، توزیع‌های مناسبی برای دوره‌های مختلف کم آبی انتخاب شدند.

یو[1] (۲۰۰۴) با کاربرد تحلیل فراوانی بارندگی درمطالعه خصوصیات پراکندگی بارندگی در چیانان[2] تایوان جنوبی با استفاده از توزیع های نرمال، لوگ نرمال، پیرسون نوع سه و لگ پیرسون نوع سه در ۱۷۸ ایستگاه دارای داده‌های بارندگی سالانه برای بیش ار ۱۰ سال نشان داد که توزیع لوگ پیرسون نوع سه در میان توزیع‌های احتمالاتی بهترین شناخته شده است. هافتون[3] (۱۹۷۸) بیان کرد که تابع‌های برازش قدیمی سه پارامتری مانند لگ نرمال جواب خوبی بر داده‌های سیلابی ندارند و تابع ویکبای پنج پارامتری را معرفی کرد که بسیار انعطاف پذیر بود و اشکال مختلف داده‌ها را شامل می‌شد. بعد از آن لندویهر (۱۹۷۹)، چندر (۱۹۸۷)، رائو (۱۹۸۷)، آرورا (۱۹۸۷) ، هاکتانیر (۱۹۹۲)، ووگل (۱۹۹۳)، هاکتانیر و هارلاچر (۱۹۹۳)، زالنا (۲۰۰۲) و آزتکین (۲۰۰۷) از این توزیع برای برازش داده‌های سیلاب و باران و محاسبه دوره بازگشت آن‌ها استفاده کردند (به نقل ازآزتیکن[4]، ۲۰۱۱). هدف از این تحقیق، بررسی دوره بازگشت حجم رودخانه در طول دو دوره آماری تاریخی و پیش‌بینی شده در سطح رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه است که دوره آماری پیش‌بینی شده، دوره آماری به روز شده، به ترتیب با استفاده از داده‌های تاریخی و پیش‌بینی شده، معرفی می‌شود.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های روزانه، ماهانه و سالانه ۳۱ ساله ایستگاه هیدرومتری میرآباد از سال آبی ۱۳۵۲ الی ۱۳۸۲ واقع در بالادست حوضه رودخانه شهرچای استفاده گردیده است. از سال ۱۳۸۳ به دلیل شروع عملیات احداث سد شهرچای، این ایستگاه به مکان دیگری انتقال یافته است. برای رودخانه‌های باراندوزچای و نازلوچای از داده‌های روزانه، ماهانه و سالانه ۳۸ ساله ایستگاه‌های هیدرومتری تپیک و دیزج استفاده شده است. در جدول (۱) مشخصات هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه و در شکل (۱)، محدوده مورد مطالعه آورده شده است.

در این مطالعه ابتدا داده‌های روزانه دبی رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه، با استفاده از مدل‌های خانواده آرما مدل‌سازی و پیش-بینی شد. سپس حجم خشکی آورد رودخانه‌های مورد مطالعه در دوره آماری تاریخی و به روز شده (مجموع داده‌های تاریخی و پیش‌بینی) محاسبه گردید.

### مدل‌های خانواده آرما

با در نظرگرفتن سری زمانی نرمال و استاندارد $Z_t$ مدل میانگین متحرک خودهمبسته ARMA(p,q) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$Z_t = \sum_{i=1}^{p}(\ _i \cdot z_{t\ i}) \quad \sum_{j=1}^{q}(\theta_j \cdot \varepsilon_{t\ j}) + \varepsilon_t \qquad (۱)$$

که در آن p: مرتبه مدل AR و q: مرتبه مدل MA و $\phi_i$ و $\theta_j$: ضرایب مدل می‌باشند (ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۲الف).

در این تحقیق برای بررسی نکویی برازش مدل ARMA(p,q)، از روش پورت مانتئو استفاده گردید. در روش پورت مانتئو ابتدا سری باقیمانده مدل به دست آمده سپس برای تعداد تاخیر مشخص ضرایب خودهمبستگی سری محاسبه شد. آنگاه آماره پورت مانتئو (Q) به صورت زیر محاسبه گردید:

$$Q = n \sum_{K=1}^{L} r_k^2 \qquad (۲)$$

که در آن n: تعداد داده، L: حداکثر تعداد تأخیر بوده که در این مطالعه بنابه توصیه سالاس[5] (۲۰۰۶) برای سری ماهانه ۲۵ درصد تعداد داده‌ها در نظر گرفته شد، $r_k$: ضریب خود همبستگی مرتبه K ام و $\varepsilon_t$ : سری باقیمانده مدل می‌باشد. آماره آزمون پورت مانتئو دارای توزیع کی دو با درجه آزادی $(L - p - q)$ است و در صورتی که $Q \le \chi^2_{(1-\alpha)(L-p-q)}$ شد، مقادیر $\varepsilon_t$ ناهمبسته بوده و مدل نظیر آن کفایت لازم را دارد. در این مطالعه سطح معنی‌داری پنج درصد در نظر گرفته شد.

### استخراج مدت دوام‌های خشکی

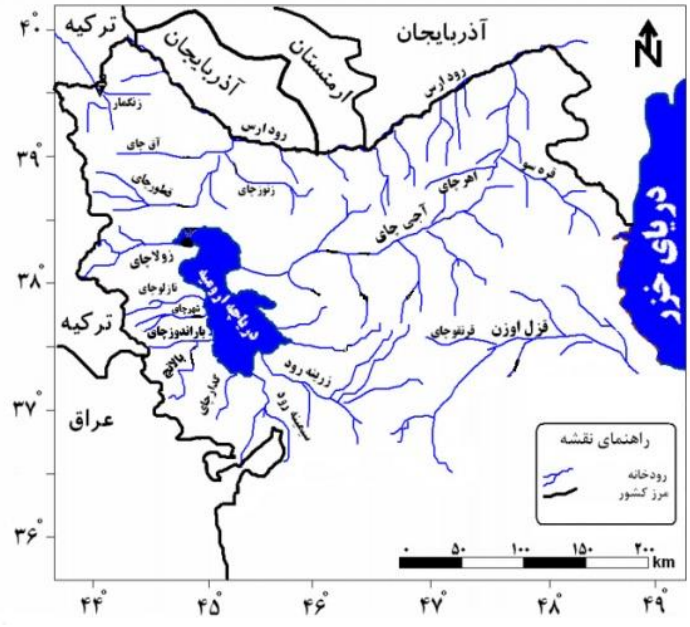
جهت استخراج داده‌های حجم خشکی رودخانه از روش سال میانگین (میانگین دبی) استفاده شده است. مدت دوام دوره‌های خشکی از سری زمانی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه استخراج گردید. ابتدا سال میانگین برای هر ۳۶۵ روز سال با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (ناظری‌تهرودی و خلیلی، ۱۳۹۲).

$$K_i = \frac{\Sigma Y_{ij}}{n} \qquad (۳)$$
$$(i=1,2,3,\ldots,365 \ \&\ j=1,2,\ldots,n)$$

که در آن $K_i$ برابر با سال میانگین روز i ام، $Y_{ij}$ برابر با دبی روز i ام در سال j ام و n برابر با تعداد سال دوره آماری است. مثلا $K_1$ برابر با میانگین دبی یکم مهرماه که در طول دوره آماری بدست می‌آید و $\Sigma Y_{1j}$ برابر با مجموع دبی‌های یکم مهرماه در تمام سال‌های دوره آماری فرض شد. به همین ترتیب میانگین دبی برای دوم مهر، سوم مهر، ... و ۲۹ اسفند محاسبه شد. سپس دبی روزانه از مقدار میانگین طولانی مدت همان روز کم شد. با انتخاب بیشترین حجم خشکی (منفی‌ترین) پیوسته ۱ تا ۶۰ روزه، دوام‌های خشکی ۶۰ ، ...، ۳، ۲، ۱ روز استخراج می‌گردد.

1 - Yu
2 - Chia-Nan
3- Houghton
4- Ozteken

5- Salas *et.al*




**شکل ۱- موقعیت رودخانه های نازلوچای، شهرچای و باراندوزچای**

**جدول۱- مشخصات آماری سری‌های جریان رودخانه های غرب دریاچه ارومیه**

| رودخانه | ایستگاه | دوره آماری | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | مقیاس زمانی | میانگین دبی ($m^3/s$) | انحراف معیار ($m^3/s$) | ضریب چولگی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شهرچای | میرآباد | ۱۳۵۲-۸۲ | ۵۳-۴۴ | ۲۶-۳۷ | روزانه | ۵/۱۵ | ۷/۵۴ | ۲/۴۵ |
| | | | | | ماهانه | ۵/۰۹ | ۶/۸۹ | ۲/۱۸ |
| | | | | | سالانه | ۵/۰۹ | ۱/۸۹ | ۰/۵۲۴ |
| باراندوزچای | دیزج | ۱۳۵۲-۸۹ | ۴۵ -۰۴ | ۳۷-۲۳ | روزانه | ۷/۸۸ | ۹/۲۸ | ۳/۲۵ |
| | | | | | ماهانه | ۷/۸۹ | ۸/۰۳ | ۱/۹۳ |
| | | | | | سالانه | ۷/۸۳ | ۳/۰۲ | ۰/۶۲۳ |
| نازلوچای | تپیک | ۱۳۵۲-۸۹ | ۴۴-۵۴ | ۳۷-۴۰ | روزانه | ۱۱/۵۹ | ۱۶/۹۹ | ۳/۱۸ |
| | | | | | ماهانه | ۱۱/۵۶ | ۱۵/۳۵ | ۲/۵۳ |
| | | | | | سالانه | ۱۱/۵۴ | ۵/۷۱ | ۱/۲۲ |

قبل از توزیع فراوانی داده‌های خشکی لازم است آزمون روند، استقلال و همگنی داده‌ها صورت گیرد که بدین منظور به ترتیب از روش من-کندال برای بررسی روند، والد- ولفوویتس برای آزمون استقلال و از روش ویلکاکسون برای آزمون همگنی داده‌های دبی روزانه استفاده شده است. برای اطلاعات بیشتر در مورد آزمون‌های آماری و روابط آن‌ها به منبع ناظری و همکاران (۱۳۹۲ب) مراجعه کنید. برای برازش داده‌های حجم خشکی رودخانه از توزیع‌های رایج هیدرولوژی استفاده شد که آزمون لاگ پیرسون نوع سه، با استفاده از آزمون آزمون کولوموگرف – اسمیرنف به عنوان توزیع برتر شناخته شد. آماره این آزمون به شرح زیر است.

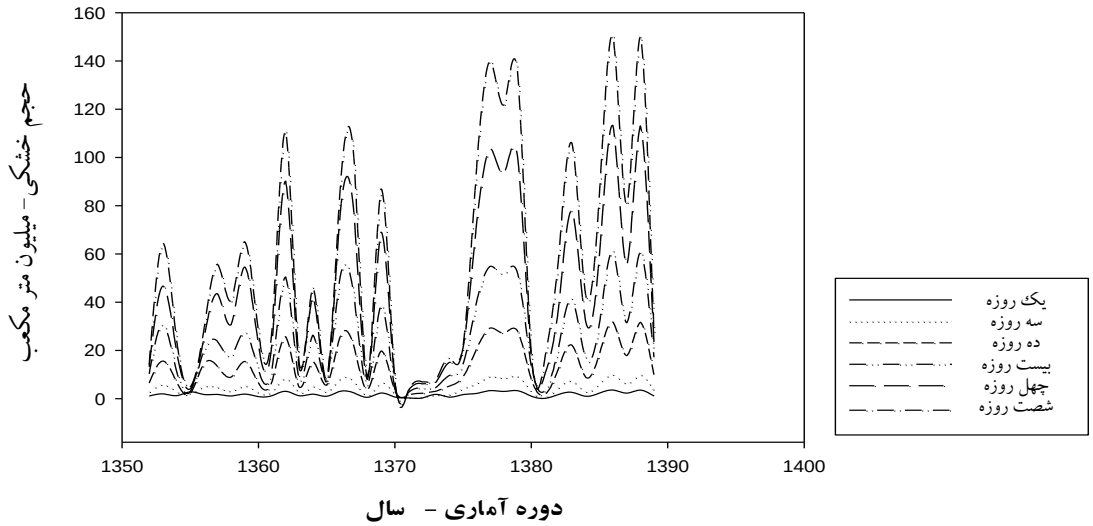
توزیع لاگ پیرسون نوع سه

$$F(x)=\frac{1}{x\beta\Gamma(\alpha)}\left(\frac{\ln(x)\ \gamma}{\beta}\right)^{\alpha\ 1}e^{\left(\frac{\ln(x)\ \gamma}{\beta}\right)} \quad (۴)$$

که در آن $a$: پارامتر شکل، $b$: انحراف معیار و $\gamma$ : یانگین داده‌ها است (یو، ۲۰۰۴).

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از محاسبه حجم خشکی‌های جریان رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه در مدت دوام‌های مختلف استخراج و تا مدت دوام ۶۰ روزه، تصحیح و تکمیل شد. به عنوان نمونه، نمودار حجم خشکی استخراج شده رودخانه نازلوچای ارومیه به صورت شکل ۲ ارائه شد. بر اساس نتایج حاصله می‌توان توزیع آماری حداکثر حجم را در مدت دوام‌های مختلف برازش داد.




**شکل ۲- نتایج خشکی استخراج شده و تکمیل شده رودخانه نازلوچای ارومیه**

**جدول ۲- نتایج آزمون‌های همگنی و استقلال داده‌های غرب دریاچه ارومیه**

| رودخانه | زمون | ۱ روزه | ۳ روزه | ۱۰ روزه | ۲۰ روزه | ۴۰ روزه | ۶۰ روزه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شهرچای | همگنی | ۰/۴۶ | ۰/۳۸ | ۰/۳۸ | ۰/۲۸ | ۰/۷۲ | ۰/۴۸ |
| | استقلال و ایستایی | ۰/۲۱ | ۰/۲۱ | ۰/۰۶ | ۰/۰۷ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ |
| نازلوچای | همگنی | ۰/۶۵ | ۰/۳۶ | ۰/۲۲ | ۰/۲۱ | ۰/۱۴ | ۰/۱۳ |
| | استقلال و ایستایی | ۰/۲۹ | ۰/۰۹۱ | ۰/۰۹ | ۰/۱۳ | ۰/۱۱ | ۰/۰۶ |
| باراندوزچای | همگنی | ۰/۳۶ | ۰/۴۱ | ۰/۴۱ | ۰/۳۱ | ۰/۱۹ | ۰/۱۳ |
| | استقلال و ایستایی | ۰/۰۶۹ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ |

**جدول ۳- نتایج آزمون من - کندال جریان متوسط سالانه رودخانه‌های مورد مطالعه**

| رودخانه | ایستگاه هیدرومتری | دوره آماری | S | P | Z | Tau |
|---|---|---|---|---|---|---|
| باراندوزچای | دیزج | ۱۳۸۹- ۱۳۵۲ | -۱۶۸ | ۰/۰۳ | -۲/۱۰ | -۰/۲۳۹ |
| شهرچای | میر آباد | ۱۳۸۲- ۱۳۵۲ | -۵۵ | ۰/۳۵ | -۰/۹۲ | -۰/۱۱۸ |
| نازلوچای | تپیک | ۱۳۸۹- ۱۳۵۲ | -۱۱۹ | ۰/۱۳ | -۱/۴۸ | -۰/۱۶۹ |

داه های استخراج شده حجم خشکی رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه، قبل از برازش با توابع توزیع برازش، مورد ارزیابی اولیه قرار گرفتند و نتایج آزمون‌های همگنی، استقلال و روند داده‌های حجم خشکی رودخانه‌های مورد نظر در سطح اعتماد پنج و یک درصد مورد قبول بود و نتایج آماره‌های ذکر شده به شرح جدول‌های (۲) و (۳) ارائه شد.

## نتایج برازش مدل‌ها

بدین منظور دو مدل خودهمبسته و خودهمبسته با میانگین متحرک بر روی سری‌های سالانه جریان برازش داده شد. مدل‌های برازش داده شده برای رودخانه های مورد مطالعه به همراه مقادیر معیار آکایکه در جدول (۴) آورده شده است. با توجه به این جدول مشاهده میگردد که مدل AR(1) با داشتن کمترین مقدار معیار آکایکه، مدل منتخب هر سه رودخانه می‌باشد.

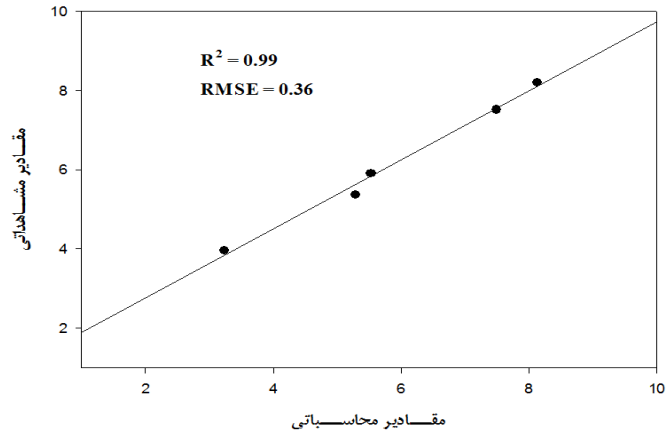
قبل از استفاده از مدل AR(1) برای برازش و پیش‌بینی جریان سالانه رودخانه‌های باراندوزچای، شهرچای و نازلوچای آزمون نکویی برازش انجام شد. جدول (۵) نتایج آزمون نکویی برازش را با استفاده از روش پورت مانتئو نشان می‌دهد. به طوری که از جدول مذکور می‌توان نتیجه گرفت مقدار آماره Q برای مدل منتخب کمتر از مقدار کای اسکور جدول در سطح معنی‌داری پنج درصد می‌باشد. بنابراین، نتایج حاصل از این روش صحت و کفایت مدل برازشی AR(1) را برای هر سه رودخانه تایید می‌نماید.

**جدول ٤- مدل‌های برازش داده شده برای رودخانه های مورد مطالعه به همراه مقادیر معیار آکایکه**

| رودخانه | دوره آماری | مدل برازشی | معیار آکائیک |
|---|---|---|---|
| باراندوزچای | ۸۹- ۱۳۵۲ | AR(1) | ۹۰/۳۱ |
| | | AR(2) | ۹۲/۵۹ |
| | | ARMA(1,1) | ۱۱۳/۸۶ |
| | | ARMA(1,2) | ۱۳۷/۵۰ |
| شهرچای | ۸۲- ۱۳۵۲ | AR(1) | ۸۸/۷۹ |
| | | AR(2) | ۸۹/۱۵ |
| | | ARMA(1,1) | ۹۲/۸۵ |
| | | ARMA(1,2) | ۹۲/۸۹ |
| نازلوچای | ۸۹- ۱۳۵۲ | AR(1) | ۹۰/۶۳ |
| | | AR(2) | ۹۲/۳۲ |
| | | ARMA(1,1) | ۱۱۳/۷۵ |
| | | ARMA(1,2) | ۱۱۳/۹۴ |

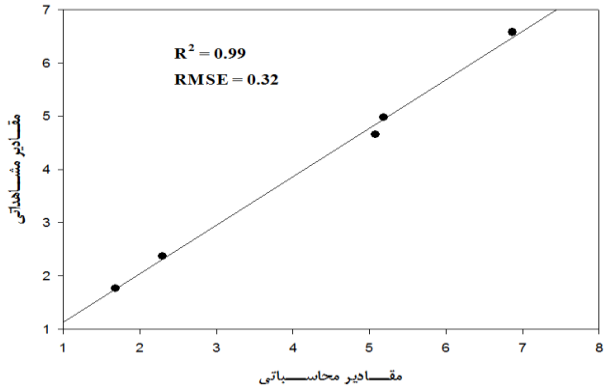
**جدول ٥- نتایج آزمون نکویی برازش مدل AR(1) برای سری سالانه جریان رودخانه‌های مورد مطالعه**

| رودخانه | تعداد داده | تاخیر | درجه آزادی | سطح داری معنی | آزمون Q | مقدار جدول | نتیجه آزمون |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| باراندوزچای | ۳۸ | ۲۹ | ۲۸ | ۹۵ درصد | /۵۸ ۲۶ | ۴۱/۳۴ | مورد قبول |
| شهرچای | ۳۱ | ۲۹ | ۲۸ | ۹۵ درصد | /۷۳ ۲۴ | ۴۱/۳۴ | مورد قبول |
| نازلوچای | ۳۸ | ۲۹ | ۲۸ | ۹۵ درصد | /۲۸ ۳۱ | ۴۱/۳۴ | مورد قبول |

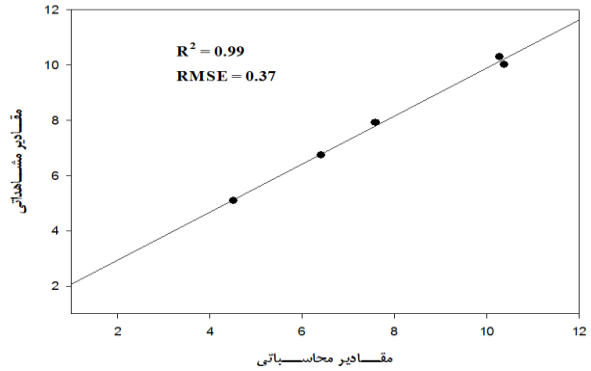



**شکل۳- نمودار پراکندگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برای جریان سالانه رودخانه باراندوزچای (۱۳۸۲- ۱۳۷۸)**

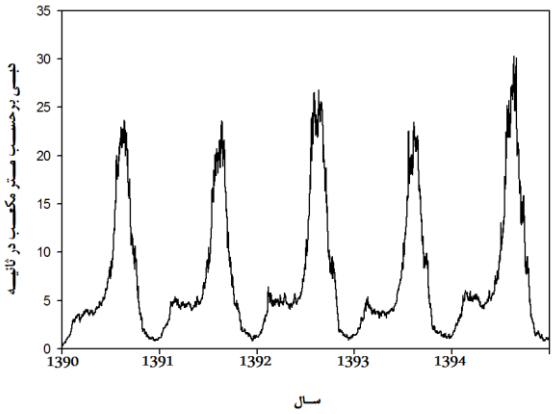
با توجه به تأیید مدل منتخب AR(1) برای سری سالانه جریان رودخانه‌های شهرچای، باراندوزچای و نازلوچای، پارامترهای مدل-های مذکور با توجه به اطلاعات ثبت شده در دوره آماری مورد مطالعه محاسبه شد. در این مطالعه داده‌های مربوط به سال‌های آبی ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ برای رودخانه شهرچای و سال‌های آبی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ برای رودخانه‌های باراندوزچای و نازلوچای (به مدت پنج سال) برای پیش‌بینی و ارزیابی مدل انتخاب شد. شکل‌های (۳) تا (۵) مقادیر مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از مدل AR(1) را برای سری سالانه جریان هر سه رودخانه نشان می‌دهد



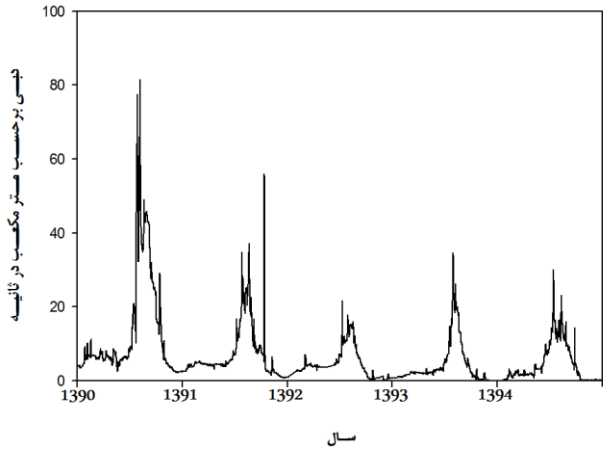

**شکل٤- نمودار پراکندگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی برای جریان سالانه رودخانه شهرچای (۱۳۸۹- ۱۳۸۵)**



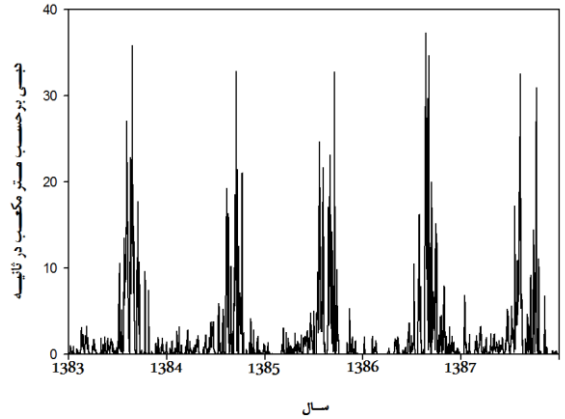

**شکل٥- نمودار پراکندگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی جریان سالانه رودخانه نازلوچای (۱۳۸۹- ۱۳۸۵)**




**شکل٦- مقادیر پیش‌بینی شده جریان روزانه رودخانه باراندوزچای از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹٤**




**شکل ۷- مقادیر پیش‌بینی شده جریان روزانه رودخانه نازلوچای از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹٤**




**شکل ۸- مقادیر پیش‌بینی شده جریان روزانه رودخانه شهرچای از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷**

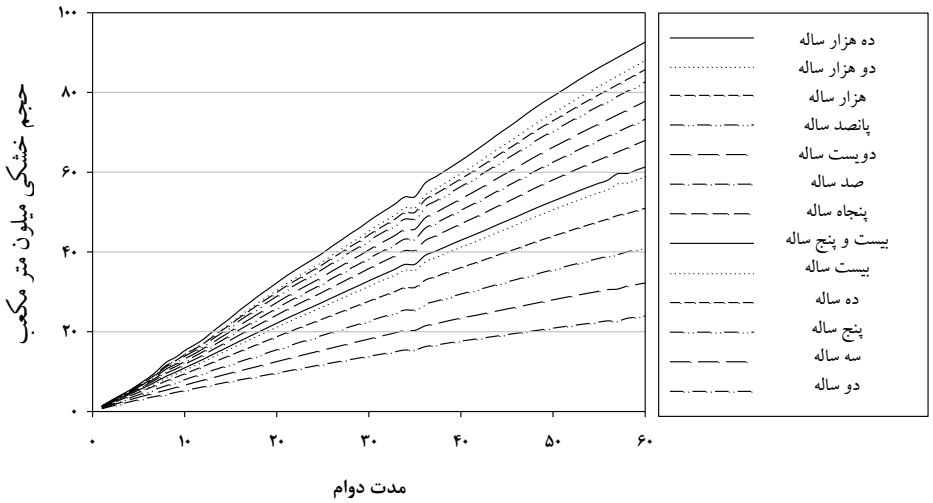
**جدول ٦- نتایج برازش داده‌های نمونه و داده‌های مدل شده‌ی توزیع‌های رایج**

| تابع | نتیجه برازش |
|---|---|
| گاما | ۰/۹۵۵ |
| لاگ پیرسون تیپ سه | ۰/۹۷۵ |
| گاما معکوس | ۰/۹۰ |
| گامبل | ۰/۹۴ |
| مقدار حدی تعمیم یافته | ۰/۴۵ |
| لاگ نرمال سه پارامتره | ۰/۹۶ |
| لاگ نرمال | ۰/۹۷۰ |

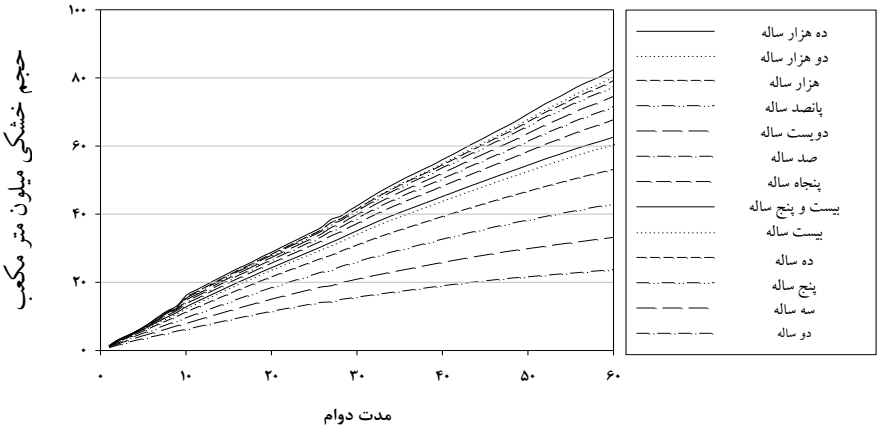
**نتایج تحلیل خشکسالی رودخانه‌های مورد مطالعه**

با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه‌های منتخب بر روی رودخانه‌های مورد مطالعه، حجم خشکی با دوام‌های مختلف براساس میانگین دراز مدت جریان محاسبه گردید. داده‌های حجم خشکی استخراج شده با استفاده از توابع توزیع آماری رایج هیدرولوژی برازش داده شد و تابع لاگ پیرسون نوع سه با توجه به آزمون کلموگروف اسمیرنف و همبستگی بیشتر بین داده‌های برازش داده شده و داده‌های تاریخی، توزیع برتر شناخته شد. نتایج همبستگی به شرح جدول (۶) است.

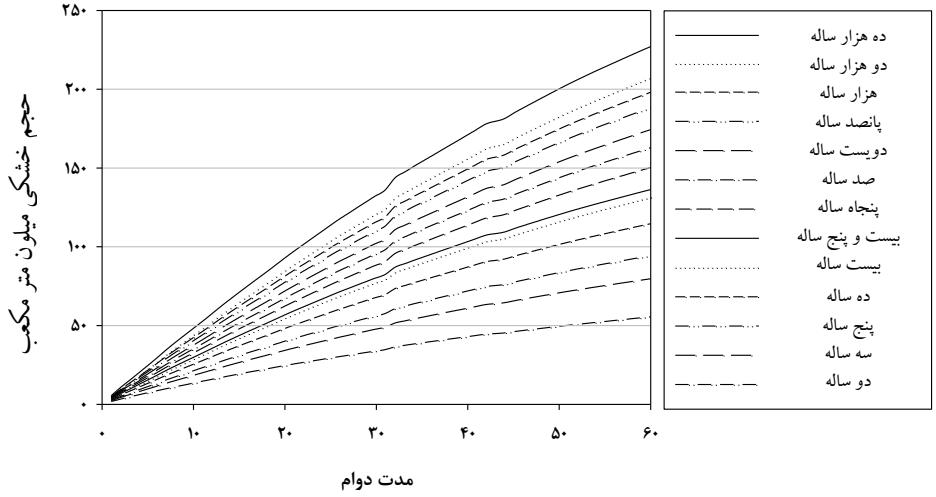
بعد از انتخاب تابع توزیع برازش متناسب با داده‌ها و برازش داده‌های حجم خشکی رودخانه با استفاده از توزیع غالب، نمودار شدت، مدت و فراوانی رودخانه‌های مورد مطالعه، با مدت دوام‌های یک تا ۱۰۰۰۰ سال استخراج و به صورت شکل‌های (۹) تا (۱۴) ارائه گردید. این شکل‌ها با استفاده از داده‌های نمونه و داده‌های پیش‌بینی شده ترسیم شده‌اند (برای اطلاع بیشتر در مورد نحوه استخراج نمودارهای شدت، مدت و فراوانی و دوره بازگشت به منبع ناظری و همکاران (۱۳۹۲ب) مراجعه کنید.



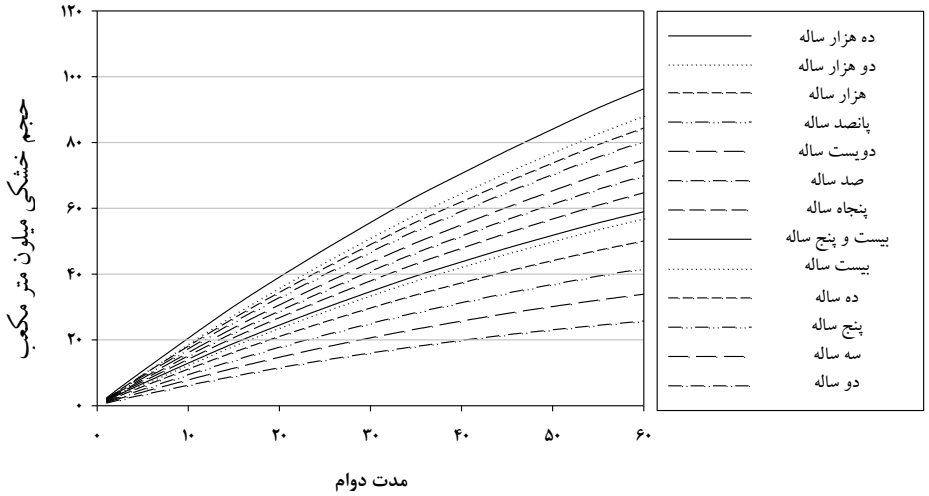

**شکل ۹- منحنی‌های شدت-مدت و فرکانس خشکی رودخانه شهرچای ارومیه**



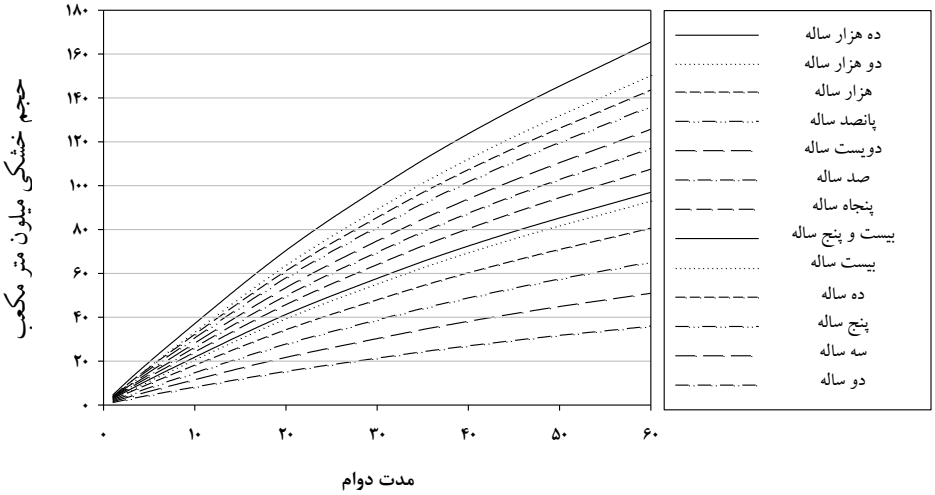

**شکل ۱۰- منحنی‌های شدت- مدت و فرکانس خشکی رودخانه باراندوزچای ارومیه**



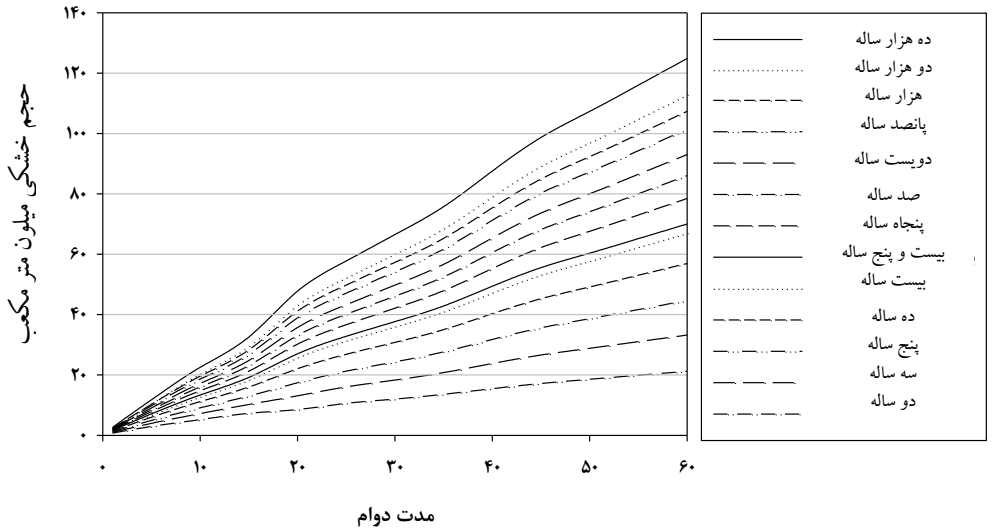

**شکل ۱۱- منحنی‌های شدت- مدت و فرکانس خشکی رودخانه نازلوچای ارومیه**



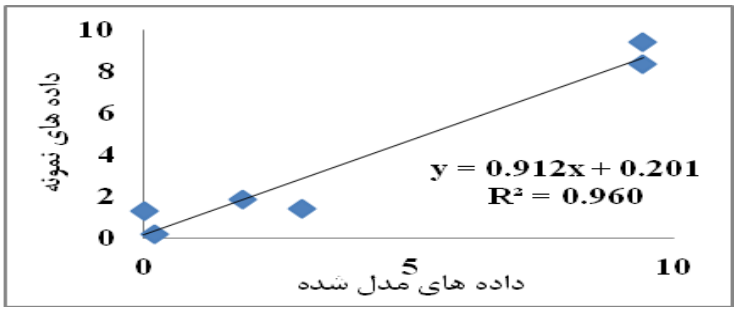

**شکل ۱۲- منحنی‌های شدت- مدت و فرکانس خشکی رودخانه باراندوزچای برای مقادیر پیش‌بینی شده (تا سال ۱۳۹٤)**




**شکل ۱۳- منحنی‌های شدت- مدت و فرکانس خشکی رودخانه نازلوچای برای مقادیر پیش‌بینی شده (تا سال ۱۳۹٤)**




**شکل ۱٤- منحنی‌های شدت- مدت و فرکانس خشکی رودخانه شهرچای برای مقادیر پیش‌بینی شده (تا سال ۱۳۸۷)**




**شکل ۱۵- نمودار داده های نمونه و داده های برازش داده شده برای برآورد حجم خشکی باراندوزچای**

**جدول ۷- نتایج بررسی همبستگی داده های نمونه و برازش داده شده برای برآورد حجم خشکی شهرچای و نازلوچای**

| رودخانه | ضریب همبستگی | معادله برازش |
|---|---|---|
| شهرچای | ۰/۹۵۰۰ | Y=1.05X + 0.02 |
| نازلوچای | ۰/۹۵۰۱ | Y=0.91x + 0.17 |

برای اطمینان از محاسبات حجم خشکی و دوره بازگشت آن، خصوصیات آمار توصیفی داده‌های نمونه تاریخی و داده‌های برازش داده شده با استفاده از توزیع برازش منتخب، مورد آزمون همبستگی قرار گرفت و همبستگی داده‌های حجم خشکی برازش داده شده و داده‌های حجم خشکی نمونه تاریخی محاسبه شد. نتیجه همبستگی مربوط به داده‌های رودخانه باراندوزچای به صورت شکل (۱۵) و نتایج مربوط به دو رودخانه شهرچای و نازلوچای به شرح جدول (۷)می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

داده‌های دبی روزانه رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل‌های خانواده آرما مدل شده برای رودخانه به مدت پنج سال پیش‌بینی شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل مذکور مقادیر دبی جریان روزانه رودخانه‌های مورد مطالعه را به خوبی پیش‌بینی کرده است. داده‌های خشکی رودخانه به کمک مدل میانگین، از داده‌های دبی روزانه استخراج و خشکی‌های مربوطه تا دوام ۶۰ روز، تصحیح و تکمیل شدند. قبل از مدل‌سازی داده‌های خشکی منطقه، بهترین تابع توزیع برازش متناسب با داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار ایزی فیت به‌دست آمد و با توجه به آزمون نکویی برازش کلموگروف-اسمیرنف، تابع لگ پیرسون نوع سه، بهترین تابع توزیع برازش متناسب با داده‌های استفاده شده انتخاب شد. توزیع‌های مختلف در دوره‌های خشکی متفاوت برازش خوبی بر داده‌ها دارند ولی از آنجا که توزیع منتخب باید توزیع غالب باشد، توزیع لاگ پیرسون نوع سه انتخاب شد. توزیع‌های لوگ نرمال سه، گاما، ویک‌بای و جی ای‌وی نیز برازش خوبی بر داده‌های دبی رودخانه دارند و اختلاف زیادی در آزمون ارزیابی مدل‌ها مشاهده نشد که این موضوع با نتایج تحقیق مساعدی و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد. نتایج تحقیقات گریفیتس (۱۹۸۹) نیز توزیع ویک‌بای را برتر از توزیع بتا برای برازش داده‌های سیلاب معرفی کرد. یو (۲۰۰۴) نیز با کاربرد تحلیل فراوانی بارندگی درمطالعه خصوصیات پراکندگی بارندگی در چیا-نان تایوان، توزیع لوگ پیرسون تیپ سه را از میان توزیع‌های احتمالاتی رایج، بهترین تابع معرفی کرد. نتایج حاصل آماره خی دو در روش‌های تخمین پارامترها نشان داد که تمام روش‌ها تقریبا قابل قبول است. ناظری تهرودی و خلیلی (۱۳۹۲) نیز در برآورد دوره بازگشت خشکی رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه، تابع توزیع برازش لاگ پیرسون نوع سه را از بین ۶۵ تابع توزیع، انتخاب و استفاده کردند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. برای بررسی دقت بیشتر در تخمین پارامترهای توزیع مربوطه، لازم است علاوه بر آماره خی دو، همبستگی بین داده‌های تاریخی و داده‌های مدل شده نیز به دست آید تا محاسبات مربوط به دوره بازگشت داده‌های حجم خشکی رودخانه، دقیق‌تر و با اطمینان بیشتری حاصل شود. با استفاده از توزیع غالب، حجم خشکی رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه در مدت دوام‌های مختلف استخراج و نمودار شدت، مدت و فرکانس خشکی رودخانه برای هر رودخانه به صورت مجزا رسم شد. بعد از استخراج خشکی‌ها، دبی روزانه رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه به اندازه چهار سال و به صورت روزانه پیش‌بینی شد. با استفاده از داده‌های تاریخی و پیش‌بینی، نمودارهای شدت، مدت و فراوانی حجم خشکی رودخانه به روز رسانی شد. نتایج حاصل از نمودارهای به روز رسانی نشان از کاهش حجم خشکی رودخانه‌های نازلوچای و باراندوزچای و افزایش حجم خشکی رودخانه شهرچای بود. به طور مثال در نمودارهای به روزرسانی شده و در مدت دوام مشترک ۶۰ روزه با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال، حجم آورد خشکی در رودخانه‌های باراندوزچای و نازلوچای، به ترتیب حدود ۲۹ و ۶۲ میلیون مترمکعب کاهش و در رودخانه شهرچای حدود هفت میلیون مترمکعب افزایش خواهد داشت که این نتایج دلالت بر افزایش دبی رودخانه‌های باراندوزچای و ازلوچای در سال‌های پیش‌بینی شده دارد که این مهم احتمالاً با افزایش ریزش نزولات جوی، افزایش حقابه زیست محیطی و پایین دست رودخانه و عوامل مساعد دیگر امکان‌پذیر خواهد بود. افزایش حجم خشکی در سال‌های پیش‌بینی شده رودخانه شهرچای حاکی از کاهش دبی رودخانه شهرچای در سال‌های پیش‌بینی شده دارد. با توجه به کاهش حجم خشکی رودخانه‌های باراندوزچای و نازلوچای می‌توان تقریباً نتیجه گرفت که در سال‌های پیش‌بینی شده با افزایش نزولات جوی روبه‌رو هستیم.

## منابع

۱- خوشحال، ج.، غیور ح. و د. رحیمی. ۱۳۸۴. کاربرد مدل ترکیبی گامبل در تجزیه و تحلیل فراوانی بارش‌های حداکثر حوضه کارون شمالی. مجله جغرافیا و توسعه، (۵):۸۴-۷۳.

۲- صفوی، ح. ۱۳۸۸. هیدرولوژی مهندسی. انتشارات ارکان دانش،۷۰۶ صفحه.

۳- عبدی کردانی، ا. و ا. فاخری فر. ۱۳۸۷. تحلیل توزیع‌های فراوانی دبی‌های حداکثر رودخانه‌ای با استفاده از گشتاورهای خطی. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

۴- غلامی، ع.، مهدوی، م.، قنادها، م. و م. وفاخواه. ۱۳۸۰. بررسی توزیع‌های احتمالی مناسب برای دبی‌های حداقل، میانگین و حداکثر با استفاده از روش گشتاور L (مطالعه موردی: استان مازندران). مجله منابع طبیعی ایران، ۵۴(۴): ۳۵۴-۳۴۵.

۵- فاتحی پیکانی، ح. ۱۳۸۸. یک رویکرد آماری برای برازش توزیع سرعت باد. هفتمین همایش ملی انرژی، مرکز همایش‌های صدا و سیما، تهران.

۶- کشتکاران، پ. و ب. سبزواى. ۱۳۸۹. برازش داده های حداکثر دبی لحظه‌ای با استفاده از نرم‌افزار EasyFit 5. همایش ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار، تهران.

۷- کارآموز، م. و ش. عراقی نژاد. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، ۴۶۴ صفحه.

۸- گنجی زهرایی، ه.، رضایی ارجرودی، ع. و ف. زاهد. ۱۳۸۴. اعتبار سنجی مدل‌های پیش بینی تصادفات با استفاده از روش‌های ناپارامتری (محور مورد مطالعه: فومن – رشت). اولین کنفرانس بین المللی حوادث رانندگی و جاده‌ای، تهران.

۹- مروج، م. و ک. خلیلی. ۱۳۹۱. مقایسه توزیع‌های آماری رایج هیدرولوژی و توزیع ویک‌بای ۵ پارامتره مطالعه موردی: غرب دریاچه ارومیه. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه ساری.

۱۰- مساعدی، ا.، زنگانه، م.، سامان منش، ح. و ا. کریمی راد. ۱۳۸۸. تعیین مناسب‌ترین توابع توزیع آماری جریان‌های حداقل ۱ تا ۳۰ روزه، مطالعه موردی: ایستگاه هیدرومتری گنبد کاووس. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، کرج.

۱۱- ناظری تهرودی، ز.، ناظری تهرودی، م.، شهنازی، م. و ک. خلیلی. ۱۳۹۲الف. بررسی و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل‌سازی سری‌های زمانی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک شهرستان بم). نهمین همایش ملی و علوم مهندسی آبخیزداری ایران، میبد، یزد.

۱۲- ناظری تهرودی، م.، غلام‌زاده بازارباش، ر.، ناظری تهرودی، ز. و ک. خلیلی. ۱۳۹۲ب. ارزیابی مدل‌های توزیع برازش در برآورد دوره بازگشت دبی حداکثر لحظه‌ای با استفاده از مدل‌های Hyfran (مطالعه موردی: رودخانه بابلرود). همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در علوم و مهندسی، تاکستان، اردیبهشت ماه.

۱۳- ناظری تهرودی، م. و ک. خلیلی. ۱۳۹۲. معرفی روش گشتاورهای پیشرفته در برآورد دوره بازگشت خشکی رودخانه (مطالعه موردی: حوضه‌های دریاچه ارومیه). اولین همایش ملی تأثیر پسروی دریاچه ارومیه بر منابع آب و خاک، تبریز.

۱۴- یوسفی، ن.، حجام، س. و پ. ایران‌نژاد. ۱۳۸۵. برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از زنجیره مارکوف و توزیع نرمال، مطالعه موردی: قزوین. پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۰: ۱۲۸-۱۲۱.

15- Abida, H. and M. Ellouze. 2007. Probability distribution of flood flow in Tunisia. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 4:957-981.

16- Fiering, M. B. 1967. Stream flow synthesis, Harvard University Press, Cambridge, MA.

17- Griffiths, G. A. 1989. A theoretically based Wakeby distribution for annual flood series. Hydrological Sciences, Journal, Des Sciences Hidrologiques, 34:231-248

18- Hosking, J. R. M. 2005. Fortran routines for use with the method of L-moments. Version 3.05, Research Report, IBM Research Division, Yorktown Heights, New York 10598.

19- Hosking, J. R. M. 1990. L-moments: Analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics, Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 52:105-124.

20- Houghton, J. C. 1978. Birth of a parent: the Wakeby distribution for modeling flood flow. Water Resources Research, 14(6): 1105-1109.

21- Jingyi, Z. and M. J. Hall. 2004. Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming river basin in China, Journal of Hydrology, 296(1-4): 98-117.

22- Kroll, CN. And R. M. Vogel. 2002. Probability distribution of low stream flow series in the United states. Journal of Hydrologic Engineering, 7(2): 137-146.

23- Kumar, R. and C. Chatterjee. 2005. Regional flood frequency analysis using L-moments for North Bahmaputra region of India. Journal of Hydrologic Engineering, 10(1): 1-7.

24- Nguyen, V. T. 2006. On regional estimation of floods for ungagged sites, Asia Oceania Geosciences Society, McGill University, Singapore.

25- Ozteken, T. 2011. Estimation of the Parameters of Wakeby distribution by a numerical least squares method and applying it to the annual peak flow of turkish rivers. Water Resources Management 25:1299-1313. DOI 10.1007/s11269-010-9745-2.

26- Salas, J. D., Sveinsson, O. G., Lane, WL. and D. K. Frevert. 2006. Stochastic stream flow simulation using SAMS-2003. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 132(2): 112-122.

27- Yu L. C. 2005. Application of rainfall frequency analysis on studying rainfall distribution characteristics of Chia-Nan plain area in southern Taiwan. Journal of Crop, Environment & Bioinformatics, 2: 31-38.