

نگرشی نو در آنالیز فراوانی جریان‌های حداقل هفت روزه (مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه)

محمد حسین نوری قیداری^{1*} و وحید حسینی تودشکی¹

تاریخ دریافت: 90/10/10 تاریخ پذیرش: 90/12/15

1 - استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان، زنجان، ایران

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: noorigheidari@gmail.com

چکیده

دبی حداقل هفت روزه یکی از مهمترین پارامترهای مورد نیاز برای مدیریت کمی و کیفی رودخانه بوده و نقش مهمی در تعیین جریان‌های حداقل و تعیین حقابه زیست محیطی دارد که به روش آنالیز فراوانی برای دوره بازگشت معین قابل برآورد است. با توجه به ماهیت پیچیده کم‌آبی‌ها، با مطالعات محدودی که بر روی توزیع احتمالاتی کم‌آبی‌ها صورت گرفته، هنوز بررسی توزیع‌های احتمالاتی مناسب برای آنالیز فراوانی کم‌آبی‌ها مورد توجه است. در این تحقیق سعی شد تا در کنار ارزیابی عملکرد توزیع‌های احتمالاتی متداول در تحلیل جریان حداقل، توزیع احتمالاتی به نام توزیع مقادیر حدی نوع سه برای توصیف نمایه‌های کم‌آبی معرفی گردد. توزیع احتمالاتی ارائه شده با بکارگیری توزیع لوگ نرمال برای متوسط جریان هفت روزه بدست آمده است. نتایج بررسی‌های بعمل آمده بر روی جریان‌های حداقل هفت روزه حوضه دریاچه ارومیه نشان می‌دهد، توزیع احتمالاتی معرفی شده یعنی توزیع مقادیر حدی نوع سه عملکرد بسیار بهتری در مدل کردن جریان حداقل هفت روزه نسبت به سایر توزیع‌های احتمالاتی متداول دارد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز فراوانی، توزیع احتمالاتی، حوضه دریاچه ارومیه، جریان حداقل، نمایه کم‌آبی

New Attitude in the Frequency Analysis of 7-day's Minimum Flows (Case study: Lake Urmia Basin)

M H Noori Gheidari^{1*} and V Hosseinitodashki¹

Received: 31 December 2011 Accepted: 23 February 2013

¹-Assist. Prof., of Civil Engin. Zanjan Branch, Islamic Azad Univ, Zanjan, Iran

*Corresponding Author Email: noorigheidari@gmail.com

Abstract

The 7-days minimum flow, which is estimated using frequency analysis for a given return period, is one of the main parameters for the quantitative and qualitative management of a river and plays an important role in determining flow rates of the environmental sector. Due to the complex nature of low flow events and limited studies on the low flow probability distribution, yet the appropriate probability distribution for the frequency analysis of such events is unclear. In this study, the performance of conventional probability distributions in low flow event analysis was evaluated and also a new probability distribution called Extreme Value Type III was introduced to describe the low flow indices. The proposed probability distribution was obtained from lognormal distribution for the 7-days average flows. The investigation of the 7-days average flows in the Lake Urmia Basin showed that performance of the proposed probability distribution using Extreme Value Type III was much better than the other traditional probability distributions to model the 7-days average minimum flows.

Keywords: Frequency analysis, Lake Urmia Basin, Low flow, Low flow Index, Probability distribution

مقدمه

نمایه‌های هفت روزه (7Q) با دوره‌های بازگشت مختلف بیشترین کاربرد را دارند. از این بین نمایه‌های کم‌آبی نمایه 7Q10، که بعنوان جریان حداقل هفت روزه با دوره بازگشت 10 سال تفسیر می‌شود، از اهمیت خاصی برخوردار بوده بطوری که اکثر ضوابط حاکم بر جریان‌های زیست محیطی و برنامه‌ریزی کیفی جریان رودخانه براساس 7Q10 می‌باشد (اسمیت و بوش 1989). بطور مثال در مباحث زیست محیطی برای تعیین حداکثر غلظت مجاز آلاینده‌ها و رسوبات از این نمایه

برآورد کم‌آبی‌ها برای مدیریت کمی و کیفی جریان رودخانه؛ برنامه‌ریزی جهت تامین نیازهای آبی شرب، کشاورزی، صنعت و برقایی؛ بررسی خصوصیات و تاثیر خشکسالی‌ها بر اکوسیستم آبی منطقه، تعیین نیازهای زیست محیطی جهت حفظ بقای اکوسیستم منطقه و غیره امری اجتناب ناپذیر است. جریان‌های کم‌آبی معمولاً به دو روش نمایه‌های کم‌آبی و صدک‌های منحنی تداوم جریان، قابل تعیین است. نمایه‌های کم آبی انواع مختلف دارد که در بین آنها

خطی، نکویی برازش توزیع لوگ نرمال سه پارامتری بر کم‌آبی‌ها را تایید کردند. تاسکر (1987) با استفاده از روش نمونه‌گیری مجدد عملکرد چهار توزیع احتمالاتی را برای برازش به کم‌آبی‌ها بررسی کرد و نتایج نشان داد که توزیع‌های احتمالاتی ویبول سه پارامتری ($W3$) و لوگ‌پیرسون سه پارامتری ($LP3$) توانایی مدل کردن جریان‌های حداقل 7 روزه سالانه را دارند. وقل و کرول (1989) به وسیله کاغذ احتمالاتی عملکرد توزیع‌های احتمالاتی مختلف را بررسی کردند و بر اساس نتایج بدست آمده از 25 ایستگاه ماساچوست دریافتند که توزیع‌های لوگ‌نرمال دو و سه پارامتری، لوگ‌پیرسون سه پارامتری و ویبول سه پارامتری جهت آنالیز فراوانی کم‌آبی‌ها مناسب است. کادری (2005) از بین توزیع‌های آماری متداول توزیع احتمالاتی پارتوی تعمیم یافته را جهت توصیف کم‌آبی‌ها پیشنهاد کردند. اونوز و بایازیت (1999) با بررسی جریان‌های حداقل در رودخانه‌های اروپا، توزیع احتمالاتی مقادیر حدی تعمیم یافته را به عنوان توزیع مناسب برای جریان‌های حداقل معرفی کردند. پیرسون (1995) با آنالیز جریان‌های حداقل در 500 ایستگاه هیدرومتری در نیوزلند، نتوانست یک توزیع احتمالاتی واحد که دارای دو و یا سه پارامتر باشد به داده‌های حداقل جریان منطقه برازش دهد. به همین علت ساندووا (2009) ترکیب دو توزیع احتمالاتی گامبل را که دارای چهار پارامتر می‌باشد، برای آنالیز فراوانی کم‌آبی‌ها جنوب مکزیک مورد استفاده قرار داد. شی و همکاران (2010) با بررسی 12 ایستگاه هیدرومتری در جنوب چین، توزیع احتمالاتی لجستیک تعمیم یافته را به عنوان توزیع فراوانی دبی حداقل هفت روزه معرفی کرد. اوردا و شو (2009) در استان کوبک کانادا برای برآورد جریان حداقل هفت روزه در ایستگاه فاقد آمار از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرد.

با توجه به دلایل ذکر شده آنالیز فراوانی کم‌آبی‌ها با توزیع‌های احتمالاتی متداول از اعتمادپذیری کم

استفاده می‌شود (اسمیت و بوش 1989، اسماختین و تولوس 1998). در کنار 7Q10 دیگر نمایه‌های هفت روزه نظیر 7Q1، 7Q2، 7Q5، 7Q20 و 7Q25 نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آنالیز فراوانی کم‌آبی‌ها تنها روش برآورد نمایه‌های کم‌آبی است. بعضی از مشکلات آنالیز فراوانی کم‌آبی‌ها عدم اندازه‌گیری دقیق کم‌آبی‌ها، روزهای بی‌آبی رودخانه (جریان‌های صفر)، طول آماری کم، داده‌های کم شده و عدم وجود ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشد و از طرف دیگر توزیع احتمالاتی مناسب برای جریان‌های حداقل مشخص نیست (اسمیت و بوش 1989، یورکلی و همکاران 2005). با مطالعات محدودی که بر روی برازش توزیع‌های احتمالاتی به کم‌آبی‌ها صورت گرفته هنوز اجماعی در مورد توزیع احتمالاتی مناسب برای کم‌آبی‌ها حادث نشده است.

گامبل (1958) برای جریان‌های کم‌آبی توزیع سه پارامتری ویبول را معرفی کرد. چاو (1954) توزیع سه پارامتری لوگ نرمال را برای برآورد چندک‌های کم‌آبی بکار گرفت. اسلامیان و همکاران (1391) نشان دادند در حوضه کرخه برای آنالیز فراوانی جریان‌های حداقل سالانه 4، 7 و 30 روزه توزیع نرمال مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی می‌باشد. خزایی و همکاران (1382) در تحلیل خشکسالی رودخانه قره‌سو استان کرمانشاه برای برآورد جریان‌های حداقل 1، 7، 15 و 30 روزه در سطح اطمینان 95 درصد توزیع لوگ پیرسون تیپ سه را انتخاب کردند. رضایی پژند (1380) بیان کرد گامبل نوع 3 برای داده‌های حداقل (مثل جریان حداقل رودخانه) مناسب می‌باشد. مساعدی و همکاران (1388) در رودخانه گرگانرود بر اساس آزمون کای اسکور برای دبی‌های کم‌آبی یک روزه توزیع لوگ نرمال، دبی‌های کم‌آبی 5، 10 و 20 روزه پارتو، دبی کم‌آبی 15 روزه توزیع ویبول سه پارامتری و دبی کم‌آبی 30 روزه نیز توزیع گاما به عنوان مناسب‌ترین توابع توزیع برگزیده شده‌اند. کرول و وقل (2002) با استفاده از گشتاورهای

در روابط فوق y_i متوسط جریان هفت روزه؛ m_y و s_y بترتیب میانگین و انحراف معیار جریان متوسط هفت روزه؛ T_j ضریب خود همبستگی مرتبه زام دبی متوسط روزانه بوده که ناشی از وابستگی جریان‌های روزانه می‌باشد. جریان‌های متوسط روزانه (Q) و متوسط هفت روزه (y) معمولاً از توزیع لوگ نرمال تبعیت می‌کنند (چاو 1954). تابع چگالی توزیع لوگ نرمال برای جریان متوسط هفت روزه بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$f_Y(y) = \frac{1}{y s_{\ln y} \sqrt{2p}} \exp \frac{-(\ln y - m_{\ln y})^2}{2s_{\ln y}^2} \quad [5]$$

در رابطه فوق پارامترهای $m_{\ln y}$ و $s_{\ln y}^2$ بترتیب میانگین و واریانس لگاریتم متغیر y می‌باشند که از روابط زیر قابل محاسبه است (چو 1954).

$$m_{\ln y} = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{m_y^2}{c v_y^2 + 1} \right] \quad [6]$$

$$s_{\ln y}^2 = \ln(c v_y^2 + 1) \quad [7]$$

در رابطه فوق $c v_y$ ضریب تغییرات دبی هفت روزه می‌باشد. با استفاده از رابطه چاو (1964) می‌توان مقدار متغیر y به ازای دوره بازگشت T_Y را از رابطه زیر بدست آورد:

$$y(T) = e^{(m_{\ln y} + K_T s_{\ln y})} \quad [8]$$

در رابطه فوق K_T مقدار تابع نرمال استاندارد به ازای احتمال تجمعی $F_Y(y) = 1 - \frac{1}{T_Y}$ می‌باشد.

اگر یک نمونه آماری (y_1, y_2, \dots, y_n) به حجم n دارای تابع چگالی $f_{Y_i}(y)$ و تابع احتمال تجمعی $F_{Y_i}(y) = f_{Y_i}(Y_i \leq y)$ باشد، آنگاه حداقل مقدار این نمونه آماری $Z = \min\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ دارای تابع احتمال تجمعی $F_z(z) = f_z(Z \leq z)$ می‌باشد که با توجه به قانون احتمال مکمل خواهیم داشت (هان 1977):

$$F_z(z) = f_z(Z \leq z) = 1 - f_z(Z \geq z) \quad [9]$$

حال اگر متغیر Z که حداقل مقدار نمونه آماری (y_1, y_2, \dots, y_n) می‌باشد، بیشتر از Z گردد، آنگاه باید

تری برخوردار است. بنابراین باید روش‌های متداول را جهت برآورد نمایه‌های کم‌آبی تغییر داد. هدف از این مطالعه استفاده از یک نوع توزیع احتمالاتی مقادیر حدی نوع سه است که با بکارگیری توزیع احتمالاتی لوگ نرمال برای متوسط جریان‌های هفت روزه بدست آمده است. این نوع توزیع احتمالاتی بطور موردی برای آنالیز فراوانی کم‌آبی‌های حوضه دریاچه ارومیه با 10 ایستگاه هیدرومتری بکار گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

توزیع احتمالاتی جدید برای کم‌آبی‌ها

توزیع احتمالاتی مقادیر حداقل و حداکثر یک متغیر توزیع مقادیر حدی نامیده می‌شود. در یکی از سه نوع توزیع مقادیر حدی، متغیر در جهت مقادیر حدی کرانه‌دار است که به آن توزیع مقادیر حدی نوع سه گفته می‌شود. از جمله این توزیع‌ها می‌توان به توزیع نمایی برای مقادیر حداکثر، توزیع یکنواخت برای مقادیر حداقل و حداکثر، توزیع بتا برای مقادیر حداقل و حداکثر و توزیع لوگ نرمال برای مقادیر حداقل اشاره کرد (هان 1977). در بررسی حاضر از توزیع لوگ نرمال برای استخراج توزیع احتمالاتی نوع سه برای آنالیز فراوانی کم‌آبی‌ها استفاده شده که در ادامه آمده است.

فرض شود سری داده‌های دبی متوسط روزانه جریان رودخانه (Q_1, Q_2, \dots) دارای میانگین m_Q و انحراف معیار s_Q باشد. آنگاه جریان متوسط هفت روزه و پارامترهای آن یعنی میانگین و انحراف معیار بصورت زیر تعریف می‌شود (کاروس 2000).

$$y_i = \frac{Q_{i-3} + Q_{i-2} + Q_{i-1} + Q_i + Q_{i+1} + Q_{i+2} + Q_{i+3}}{7} \quad [1]$$

$$m_y = E(y) = m_Q \quad [2]$$

$$s^2(y) = \frac{s_Q^2}{49} (7 + 12r_1 + 10r_2 + 8r_3 + 6r_4 + 4r_5 + 2r_2) \quad [3]$$

$$r_i = \frac{\frac{1}{n-i} \sum_{j=1}^{n-i} (Q_j - m_j)(Q_{j+i} - m_Q)}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Q_j - m_j)} \quad [4]$$

دوره بازگشت حداقل دبی هفت روزه سالانه (T_Z) رابطه زیر را بدست آورد:

$$T_Y = [1 - \frac{1}{T_Z}]^n \quad [14]$$

هدف از ارائه روابط [9] تا [13] استخراج رابطه [14] می‌باشد که در آن n برابر 365 می‌باشد. برای برآورد جریان حداقل هفت روزه (Q_{T_Z}) با دوره بازگشت T_Z ، ابتدا با استفاده از رابطه [14] دوره بازگشت متناظر با Q_{T_Z} در سری دبی متوسط هفت روزه (T_Y) محاسبه می‌شود و سپس با استفاده از رابطه [8] مقدار متوسط دبی هفت روزه با دوره بازگشت T_Y برآورد می‌گردد که این همان حداقل دبی هفت روزه با دوره بازگشت T_Z خواهد بود.

داده‌های حداقل دبی هفت روزه معمولاً در مقایسه با داده‌های متوسط هفت روزه از دقت پایین‌تری برخوردار هستند. به همین علت در نگرش معرفی شده حداقل دبی هفت روزه با دوره بازگشت معین از آنالیز فراوانی داده‌های متوسط هفت روزه برآورد می‌گردد. در این تحقیق علاوه توزیع آماری فوق توابع احتمالاتی لوگ‌نرمال دو و سه پارامتری (LN3 و LN)، لوگ‌پیرسون تیپ سه (LP3)، لجستک (LOG)، لجستیک تعمیم یافته (GLOG)، مقادیر حدی نوع اول (EVI)، مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) و پارتوی تعمیم یافته (GPA) برای آنالیز فراوانی جریان حداقل هفت روزه سالانه حوضه دریاچه ارومیه بکار گرفته شده است. پارامتر توزیع‌های آماری فوق از روش گشتاورهای خطی برآورد گردید.

گشتاورهای خطی

گشتاورهای خطی توسط هاسکینگ و والیس (1998) برای برآورد پارامترهای توزیع آماری و انتخاب توزیع آماری مناسب معرفی گردید که تا به امروز یکی از پرکاربردترین روش برآورد پارامترهای توزیع احتمالاتی می‌باشد. هاسکینگ و والیس (1998) گشتاورهای وزنی مرتبه m را برای یک توزیع آماری

تک تک اعضای نمونه آماری (y_1, y_2, \dots, y_n) از مقدار Z بیشتر باشند. بنابراین (هان 1977):

$$f_Z(Z \geq z) = f_{Y_1}(Y_1 \geq z) f_{Y_2}(Y_2 \geq z) \dots f_{Y_n}(Y_n \geq z) \quad [10]$$

از آنجا که Y_j و Y_i هر دو از یک جامعه آماری هستند بنابراین $f_{Y_i}(Y_i \geq z) = f_{Y_j}(Y_j \geq z)$ می‌باشد. اگر در رابطه [10] از قانون احتمال مکمل $f_{Y_i}(Y_i \geq z) = 1 - f_{Y_i}(Y_i < z)$ استفاده کنیم رابطه [10] به شکل زیر تبدیل خواهد شد (هان 1977):

$$f_Z(Z \geq z) = [1 - f_Y(Y < z)]^n \quad [11]$$

با استفاده از رابطه [11]، رابطه [9] به شکل زیر تبدیل خواهد شد (هان 1977):

$$F_Z(z) = 1 - [1 - f_Y(Y < z)]^n = 1 - [1 - F_Y(z)]^n \quad [12]$$

اگر از رابطه [12] مشتق بگیریم آنگاه تابع چگالی متغیر Z بصورت زیر خواهد بود (هان 1977):

$$f_Z(z) = n[1 - F_Y(z)]^{n-1} f_Y(z) \quad [13]$$

با توجه به روابط [12] و [13] می‌توان با داشتن تابع چگالی و احتمال تجمعی یک متغیر، توزیع احتمال حداقل متغیر را استخراج کرد.

در این تحقیق در روابط فوق متغیر Y سری زمانی متوسط دبی هفت روزه بوده و Z حداقل دبی هفت روزه سالانه می‌باشد و n برابر طول سری زمانی دبی هفت روزه در طول یک سال است که برابر 365 می‌باشد. روابط [12] و [13] توزیع مقادیر حدی نوع سه می‌باشد. زیرا بکارگیری توزیع لوگ نرمال بر مقادیر حدی پایین موجب ایجاد توزیع مقادیر حدی نوع سه می‌گردد (هان 1977).

از آنجا که در آنالیز فراوانی کم آبی احتمال تجمعی عکس دوره بازگشت است یعنی $F_Z(z) = 1/T_Z$ ، با استفاده از رابطه [12] می‌توان بین دوره بازگشت دبی متوسط هفت روزه T_Y (که $F_Y(y) = 1 - 1/T_Y$ است) و

ارزیابی نکویی برآزش: برای ارزیابی نکویی برآزش توزیع‌های احتمالاتی به داده‌ها از روش کلموگروف - اسمیرنوف در سطح معنی داری 5 درصد استفاده شده است. آماره این آزمون بیشترین اختلاف بین فراوانی تجمعی نسبی مورد انتظار و واقعی (بصورت قدرمطلق) اندازه‌گیری شده در دسته‌های مختلف می‌باشد. اگر حداکثر مقدار آماره این آزمون کمتر از مقدار بحرانی در سطح معنی‌داری مورد نظر باشد، آنگاه فرض تبعیت نمونه از توزیع در نظر گرفته شده پذیرفته شده و در غیر اینصورت رد می‌شود (کارآموز و عراقی نژاد 1384). همچنین برای بررسی دقت توزیع‌های احتمالاتی از نمایه‌های متوسط قدر مطلق انحرافات¹ (MADI) و متوسط مجذور انحرافات² (MSDI) استفاده شده است که بصورت زیر تعریف می‌شوند (اونوز و بایازیت 1999):

$$MADI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - z_i}{x_i} \right| \quad [23]$$

$$MSDI = \frac{1}{n} \sum \left(\frac{x_i - z_i}{x_i} \right)^2 \quad [24]$$

در روابط فوق x_i و z_i بترتیب مقدار مشاهده شده و مقدار برآورد شده از توزیع آماری مورد نظر می‌باشد. هر توزیع آماری که مقدار MADI و MSDI پایینی داشته باشد بعنوان توزیع آماری برتر شناخته می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

روش ذکر شده، بصورت مطالعه موردی، برای آنالیز فراوانی کم‌آبی‌های رودخانه‌های حوزه دریاچه ارومیه استفاده شده است. حوزه آبریز دریاچه ارومیه، منطقه‌ای کوهستانی است که در تقاطع دو رشته کوه البرز و زاگرس در شمال غربی ایران، بین طول‌های 44 درجه و 7 دقیقه تا 47 درجه و 53 دقیقه درجه شرقی و عرض‌های 35 درجه و 40 دقیقه تا 38 درجه و 30 دقیقه

مشخص با تابع تجمعی $F_X(x)$ بصورت زیر تعریف کرد:

$$b_r = E\{X[F_X(x)]^r\} \quad [15]$$

گشتاورهای خطی از روابط زیر محاسبه می‌گردد (هاسکینگ و والیس 1998).

$$I_1 = b_1 \quad [16]$$

$$I_2 = 2b_2 - b_1 \quad [17]$$

$$I_3 = 6b_3 - 6b_2 + b_1 \quad [18]$$

$$I_4 = 20b_4 - 30b_3 + 12b_2 - b_1 \quad [19]$$

برآورد گشتاور وزنی مرتبه r برای یک نمونه آماری به حجم n که بصورت صعودی مرتب شده $(x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_n)$ از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n-r} \left(\frac{n-j}{n-1} \right)^r x_j \quad [20]$$

اگر در روابط [16] تا [19] بجای b_r از برآورد آن یعنی \hat{b}_r استفاده شود آنگاه برآورد گشتاورهای خطی بدست خواهد آمد.

بررسی همگنی داده‌ها

در صورتی وجود سری زمانی طولانی دقت آنالیز فراوانی را افزایش می‌دهد که سری زمانی همگن باشد و روندی کاهشی و یا افزایشی در سری زمانی مشاهده نگردد (دسا و راجا 2007). در این تحقیق برای آزمون همگنی سری زمانی هر ایستگاه از آزمون من-کنندال استفاده شده است. در این آزمون ناپارامتری، آماره‌های آزمون از روابط زیر محاسبه می‌شود (دسا و راجا 2007).

$$t = \frac{4 \sum n_i}{N(N-1)} - 1 \quad [21]$$

$$s_t^2 = \frac{(4N+10)}{9N(N-1)} \quad [22]$$

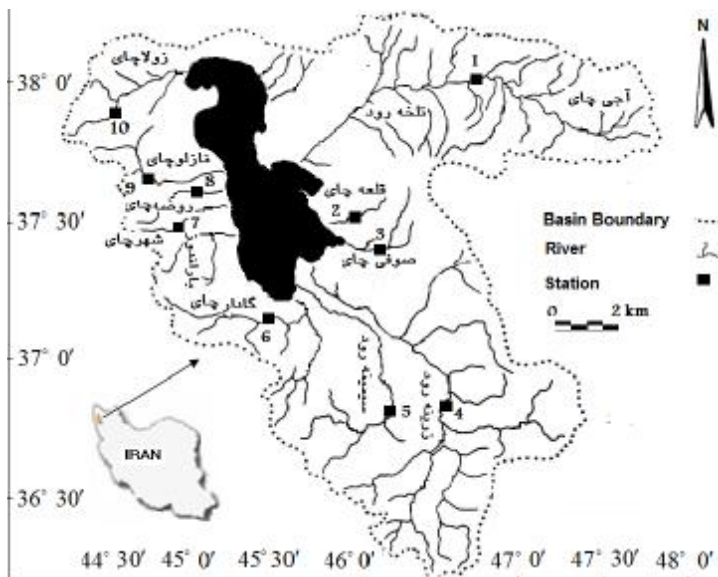
که در آن n_i تعداد داده‌های بزرگتر نامین داده و N تعداد داده‌ها می‌باشد. s_t^2 واریانس آماره t بوده و برای همگن بودن ایستگاه در سطح معنی داری 5 درصد باید نسبت t/s_t بین $+1/96$ و $-1/96$ باشد.

¹ Mean absolute deviation index

² Mean square deviation index

سدها باشند. آمار جریان روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری از شرکت مه‌اب قدس تهیه گردید که از آن آمار جهت بهنگام سازی طرح جامع آب کشور استفاده می‌گردید. در ایستگاه‌های انتخاب شده در دوره‌های معدودی داده‌های گم شده وجود داشت که توسط شرکت مه‌اب قدس از روش تعدیل نسبت‌های دبی کلاسه روزانه برآورد گردیده است (بی نام 1389). در شکل (1) موقعیت ایستگاه‌های منتخب و در جدول (1) مشخصات آنها ارائه شده است.

شمالی قرار گرفته است. وسعت کل حوزه آبریز با احتساب وسعت دریاچه 52000 کیلومتر مربع می‌باشد. جریان سطحی حوزه آبریز این دریاچه از طریق بیست رودخانه اصلی بزرگ و کوچک به دریاچه شور ارومیه، واقع در بخش شمالی حوزه می‌ریزد. در این مطالعه 10 ایستگاه هیدرومتری بر روی رودخانه‌های دائمی چنان انتخاب گردید که در آنها جریان صفر وجود نداشته و طول دوره آماری آنها حداقل 10 سال باشد. برای اطمینان از غیر تنظیمی بودن جریان ایستگاه‌های منتخب، سعی شد ایستگاه‌های انتخاب شده بالادست



شکل 1 - شبکه آبراهه و موقعیت ایستگاه‌های منتخب حوضه دریاچه ارومیه.

جدول 1- مشخصات ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه.

شماره ایستگاه	رودخانه	ایستگاه	دروه آماری سال	ارتفاع m	مساحت km^2	میانگین دبی روزانه m^3/s	انحراف دبی روزانه m^3/s
1	آجی	مرکید	1370-1389	1518	5669	6/68	1/76
2	قلعه	پنجه	1362-1389	1650	249	1/47	1/52
3	صوفی	تازه کندی	1352-1389	1600	260	3/47	1/97
4	زرینه	چراغ ویس	1374-1389	366	1535	4/98	3/19
5	سیمینه	گزل گنبد	1376-1389	787	1394	9/34	2/83
6	گادار	نقده	1372-1389	1154	1340	11/12	4/49
7	شهر	میرآباد	1352-1389	205	1525	5/02	2/99
8	روضه	پل ازیک	1361-1389	315	1285	3/25	2/70
9	نازلو	تپیک	1329-1389	1765	1450	12/41	9/36
10	زولا	چهریق	1351-1389	847	1600	3/77	4/35

نتایج و بحث

لجستیک تعمیم یافته (GLOG) در تمامی ایستگاه‌ها مورد مطالعه برآزش قابل قبولی به داده‌های حداقل هفت روزه داشتند. اما توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) بجز در 3 ایستگاه (چهریق علیا، پل ازیک و گزل گنبد) و توزیع احتمالاتی لوگ نرمال (NL) بجز در 4 ایستگاه (مرکید، پل ازیک، تپک و گزل گنبد) در بقیه ایستگاه‌ها در سطح معنی داری 5 درصد برآزش قابل قبولی به دبی‌های حداقل هفت روزه داشته‌اند. در حالی که توزیع لجستیک (LOG) در 4 ایستگاه (نقده، چراغ ویس، میرآباد و ینگجه) و توزیع مقادیر حدی نوع اول (EVI) تنها در ایستگاه میرآباد به جریان‌های حداقل هفت روزه برآزش قابل قبولی داشتند. نتایج بدست آمده نشان داد توزیع‌های احتمالاتی لوگ نرمال سه پارامتری (LN3) و لوگ پیرسون تیپ سه (LP3) در هیچ کدام از ایستگاه‌های هیدرومتری برآزش مناسبی به داده‌ها نداشتند.

نکویی برآزش یک توزیع طبق آزمون کلموگروف-اسمیرنوف یا روش‌های دیگر برای تعیین یک توزیع احتمالی می‌تواند لازم باشد ولی کافی نیست (بزرگ نیا و همکاران 1369). در این تحقیق علاوه بر آزمون نکویی برآزش، با استفاده از نمایه‌های MADI و MSDI میزان دقت و کارائی توزیع‌های آماری در مدل کردن دبی‌های حداقل هفت روزه محاسبه و نتایج آن در شکل های 2 و 3 ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نمایه‌های MADI و MSDI برای توزیع آماری استخراج شده یعنی توزیع مقادیر حدی نوع سوم (EV3) در مقایسه با بقیه توزیع‌های آماری بسیار کم می‌باشد که نشان دهنده دقت و کارائی زیاد این توزیع آماری ارائه شده است. بعد از توزیع مقادیر حدی نوع سه، ترتیب توزیع‌های آماری بر حسب دقت مدل کردن داده‌های حداقل دبی هفت روزه عبارتند از توزیع پارتوی تعمیم یافته، توزیع لوگ نرمال دو و سه پارامتری و توزیع لوگ پیرسون تیپ سه. ولی همانطور که در شکل های 2 و 3 مشاهده می‌شود میزان خطای

برای انجام آنالیز فراوانی دبی‌های حداقل هفت روزه ابتدا باید حداقل جریان‌های هفت روز سالانه استخراج گردد. برای این منظور میانگین متحرک هفت روزه دبی روزانه ایستگاه‌ها محاسبه شده و برای هر سال حداقل آن انتخاب می‌گردد که حداقل دبی هفت روزه سالانه نامیده می‌شود. در مرحله بعد باید فرض لازم آنالیز فراوانی یعنی همگن بوده داده‌های حداقل دبی هفت روزه بررسی گردد. برای این منظور از آزمون من-کندال استفاده گردید و نتایج نشان داد که در تمامی ایستگاه‌ها، جریان‌های حداقل هفت روزه سالانه در سطح معنی داری 5 درصد همگن می‌باشند یعنی روند کاهش و یا افزایشی در داده‌ها وجود ندارد. برای برآورد حداقل دبی هفت روزه (Q_{T_z}) با دوره بازگشت T_z به وسیله توزیع مقادیر حدی نوع سه معرفی شده، ابتدا از روی میانگین، انحراف معیار، ضرایب همبستگی و ضریب تغییرات جریان‌های روزانه که در جدول 2 ارائه شده، پارامترهای توزیع لوگ نرمال برای متوسط جریان‌های هفت روزه از روابط [۶] و [۷] محاسبه گردید. سپس با استفاده از رابطه [۴] دوره بازگشت متناظر با Q_{T_z} در سری دبی متوسط هفت روزه (T_y) محاسبه شده و سپس با استفاده از رابطه [۸] مقدار متوسط دبی هفت روزه با دوره بازگشت T_y برآورد می‌گردد که این همان حداقل دبی هفت روزه با دوره بازگشت T_z خواهد بود.

برای برآزش دیگر توزیع‌های احتمالاتی به دبی‌های حداقل هفت روزه، ابتدا گشتاورهای خطی داده‌های حداقل دبی هفت روزه از روابط [۱۶] تا [۲۰] برآورد شده و سپس با برابر قرار دادن آنها با گشتاورهای خطی توزیع‌های احتمالاتی، پارامترهای توزیع‌های احتمالاتی برآورد می‌گردد (راماچاندر و حامد 1999). بر اساس آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در سطح معنی داری 5 درصد، توزیع مقادیر حدی نوع سه معرفی شده (EV3)، توزیع پارتوی تعمیم یافته (GPA) و

صفر باشد ولی در توزیع‌های احتمالاتی ذکر شده عدد مثبت بزرگتر از صفر است یعنی به ازای احتمال کمتر از این اعداد دبی‌های حداقل برآورد شده از این توزیع‌های احتمالاتی عدد منفی می‌باشد. در جدول 3 این سطوح احتمالاتی برای ایستگاه‌های مختلف ارائه گردیده است. بنابراین می‌توان گفت این توزیع‌های آماری، که دارای مقادیر منفی هستند، برای آنالیز فراوانی کم‌آبی‌ها مناسب نیست (یورکلی و همکاران 2005). همانطور که قبلاً بیان شد این توزیع‌های احتمالاتی در بعضی از ایستگاه‌ها با آزمون کلموگروف - اسمیرنوف برآزش قابل قبولی به داده‌های حداقل دبی هفت روزه دارد و این نتیجه با نمایه‌های MADI و MSDI نیز تایید شد. بنابراین بهترین معیار در انتخاب یک مدل علاوه بر روش‌های آماری، بینش صحیح از فیزیک مسئله و همچنین تحلیل‌های عینی می‌باشد (مساعدی و همکاران 1388).

آنها به جز توزیع لجستیک تعمیم یافته (GLOG) بالا می‌باشد. نتایج بدست آمده از نمایه‌های MADI و MSDI تقریباً نتایج آزمون کلموگروف - اسمیرنوف تصدیق می‌کند.

یکی دیگر از معیارهای قابل قبول توزیع‌های آماری در آنالیز فراوانی جریان‌های حداقل، عدم ارائه مقادیر منفی به ازای احتمال‌های کم می‌باشد (مساعدی و همکاران 1388). توزیع احتمالاتی مقادیر حدی نوع اول (EVI)، مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV)، لجستیک (LOG) و لجستیک تعمیم یافته (GLOG) از یک سطح احتمال به پایین دارای مقادیر منفی می‌باشند یعنی در احتمالات پایین و نزدیک صفر مقادیر چندک‌های بدست آمده از این توزیع‌های احتمالاتی منفی می‌باشد که به لحاظ فیزیکی غیر ممکن می‌باشد. برای پیدا کردن این سطح احتمالاتی باید احتمال رخداد عدد صفر (به عنوان دبی حداقل) از توزیع احتمالاتی مورد نظر محاسبه گردد. بدیهی است که جواب منطقی احتمال مورد نظر باید

جدول 2- مشخصات جریان در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ضریب همبستگی						رودخانه	رودخانه
مرتبه ششم	مرتبه	مرتبه	مرتبه سوم	مرتبه	مرتبه اول		
0/16	0/21	0/28	0/34	0/42	0/84	مرکید	آجی چای
0/19	0/22	0/26	0/31	0/38	0/62	پنگجه	قلعه چای
0/25	0/24	0/38	0/46	0/53	0/89	تازه	صوفی
0/14	0/35	0/41	0/51	0/62	0/95	چراغ	زربینه رود
0/17	0/24	0/29	0/36	0/46	0/76	گزل گنبد	سیمینه رود
0/23	0/37	0/46	0/59	0/72	0/87	نقده	گادار چای
0/14	0/29	0/35	0/48	0/65	0/70	میرآباد	شهر چای
0/19	0/25	0/31	0/46	0/55	0/83	پل ازیک	روضه چای
0/16	0/19	0/23	0/35	0/45	0/62	تپیک	نازلو چای
0/15	0/28	0/32	0/59	0/74	0/80	چهریق	زولا چای

می‌باشد. رضایی پزند (1380) بیان کرد گامبل نوع سه برای داده‌های حداقل (مثل جریان حداقل رودخانه) مناسب می‌باشد. هان (1977) بیان کرد در توزیع مقادیر حدی نوع 3 (که می‌تواند توزیع مادر داده‌ها توزیع لوگ نرمال باشد) در جهت مورد نظر (که در آنالیز کم‌آبی‌ها

با توجه به نتایج فوق تنها توزیع آماری پارتوی تعمیم یافته و توزیع مقادیر حدی نوع سوم جهت برآورد حداقل جریان هفت روزه مناسب بوده که دقت توزیع مقادیر حدی نوع سه بسیار بالاتر است (شکل های 2 و 3). این یافته سازگار با تحقیقات پیشین نیز

توزیع لوگ نرمال به داده‌های متوسط دبی هفت روزه و سپس استخراج توزیع احتمالاتی کوچکترین داده یعنی جریان حداقل هفت روزه که منجر به ایجاد توزیع مقادیر حدی نوع سه می‌شود، مبنای علمی داشته و می‌تواند یک گزینه مناسب در آنالیز کم آبی‌ها باشد. لازم به ذکر است که توزیع مقادیر حدی نوع سه می‌تواند انواع حالت‌ها را داشته باشد که این بستگی به توزیع مادر داده‌ها دارد که در این تحقیق توزیع لوگ نرمال بوده و اگر توزیع مادر تغییر کند آنگاه توزیع احتمالاتی نوع سه دیگری بدست خواهد آمد (هان 1997).

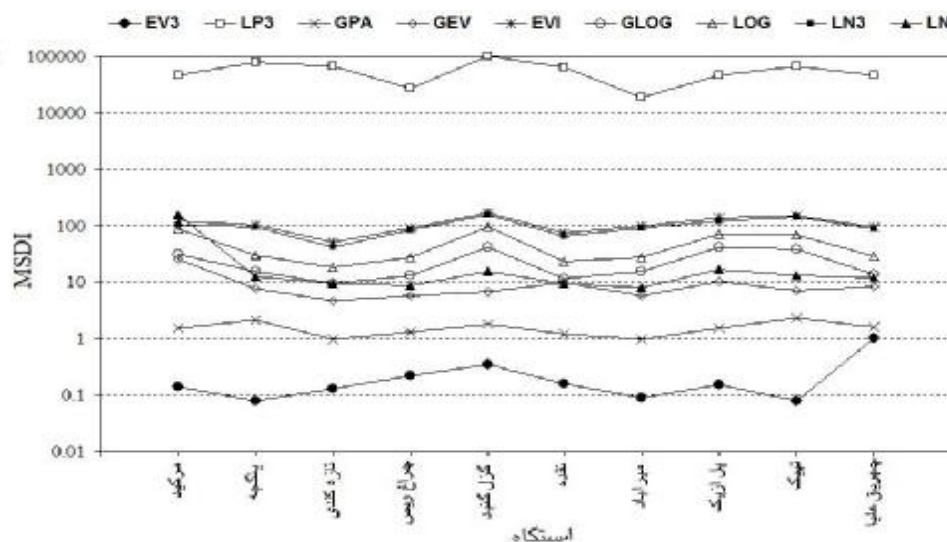
به سمت داده‌های کوچکتر) کراندار بوده و برای آنالیز فراوانی داده‌های حدی کوچک مناسب می‌باشد. کاروسو (2000) در تحقیقات خود دریافت، از آنجا که جریان‌های حداقل به علت وجود جریان صفر از پایین کراندار هستند، توزیع‌های مقادیر حدی نوع سه مناسب‌ترین توزیع برای جریان‌های حداقل می‌باشد. بسیاری از محققان دیگر نیز به برتری توزیع مقادیر حدی نوع سه در آنالیز کم آبی‌ها و سیلاب‌ها تاکید کردند (مثل پیرسون و داویس 1997).

با توجه به نتایج بدست آمده و یافته‌های دیگر محققان می‌توان گفت نگرش ارائه شده یعنی استفاده از

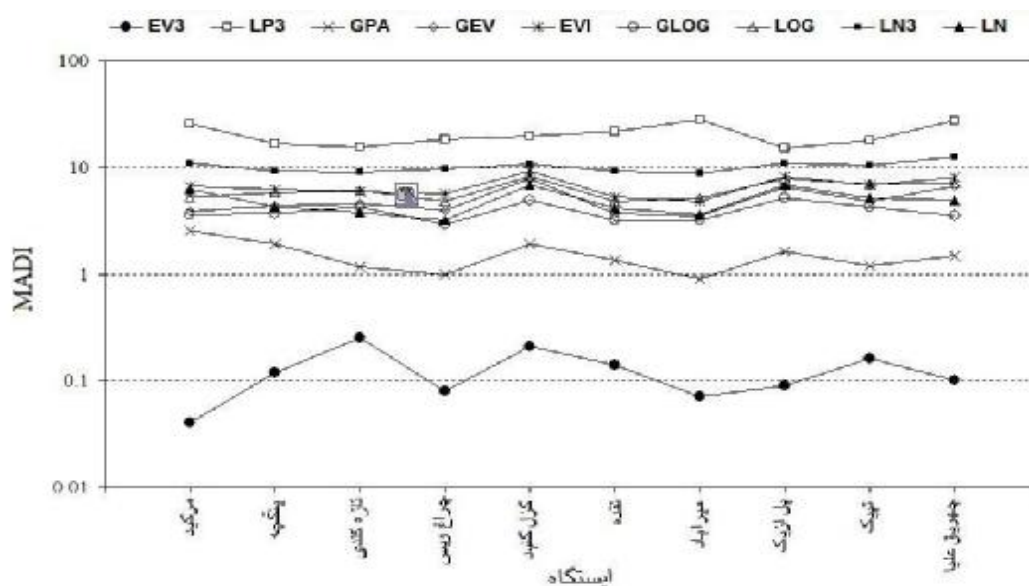
جدول 3- سطح احتمالی که پایین‌تر از آن مقادیر منفی ایجاد می‌شود.

ایستگاه توزیع	مرکید	ینگجه	تازه کندی	چراغ ویس	گزل گنبد	نقده	میرآباد	پل ازیک	تپیک	چهریق علیا
EVI	0/135	0/141	0/125	0/095	0/144	0/154	0/121	0/139	0/146	0/118
GEV	0/004	0/005	-	-	0/003	0/004	-	0/001	0/007	-
LOG	0/012	0/041	0/062	0/015	0/014	0/018	0/023	0/019	0/011	0/009
GLOG	0/092	0/120	0/085	0/068	0/076	0/062	0/081	0/101	0/061	0/079

- ایستگاه مورد نظر دارای سطح احتمالی که به ازای آن مقادیر منفی بدست آید، نمی‌باشد.



شکل 2- نمایه MSDI برای توزیع‌های آماری مختلف در ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه.



شکل 3- نمایه MADI برای توزیع‌های آماری مختلف در ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه.

نتیجه‌گیری کلی

هفت روزه بدست آمده برای بررسی جریان‌های حداقل هفت روزه حوضه دریاچه ارومیه بکار گرفته شده است. نتایج بدست آمد نشان می‌دهد توزیع‌های آماری لجستیک (LOG)، لجستیک تعمیم یافته (GLOG)، مقادیر حدی نوع اول (EVI) و مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) از یک حد احتمال به پایین دارای مقادیر منفی هستند که این نشان از عدم کارایی این توزیع‌های احتمالاتی در مدل کردن کم‌آبی‌ها می‌باشد. در توزیع‌های احتمالاتی لوگ‌نرمال دو و سه پارامتری (LN و LN3) و لوگ‌پیرسون تپ سه (LP3) خطای برآورد کم‌آبی‌ها نسبت به پارتوی تعمیم یافته (GPA) و توزیع جدید مقادیر حدی نوع سه بسیار زیاد است. دقت برآورد جریان‌های حداقل هفت روزه در توزیع معرفی شده بسیار بالاتر از توزیع پارتوی تعمیم یافته است.

مهمترین نمایه کم‌آبی حداقل دبی هفت روزه است که نسبت به سایر نمایه‌های کم‌آبی، بیشترین کاربرد را در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب دارد. روش برآورد این نمایه کم‌آبی، آنالیز فراوانی می‌باشد ولی با توجه به ماهیت جریان کم‌آبی‌ها و مطالعات محدود در این زمینه، توزیع احتمالاتی مناسب برای کم‌آبی‌ها نامشخص است. در این تحقیق علاوه بر توزیع‌های آماری متداول یعنی لوگ‌نرمال دو و سه پارامتری (LN و LN3)، لوگ‌پیرسون تپ سه (LP3)، لجستیک (LOG)، لجستیک تعمیم یافته (GLOG)، مقادیر حدی نوع اول (EVI)، مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) و پارتوی تعمیم یافته (GPA)، توزیع احتمالاتی جدیدی به نام توزیع مقادیر حدی نوع سه که با بکارگیری توزیع لوگ‌نرمال برای جریان‌های متوسط

منابع مورد استفاده

اسلامیان س، قاسمی م و سلطانی س، 1391. محاسبه و ناحیه‌بندی شاخص‌های جریان کم و تعیین دوره‌های خشک سالی هیدرولوژیک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کرخه). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد 16، شماره 59، صفحه‌های 1 تا 14.

- بزرگ نیا، ا، علیزاده، ا، نقیب زاده م و خیابانی ح، 1369. تحلیل فراوانی وقایع و ریسک در هیدرولوژی. انتشارات آستان قدس رضوی.
- بی نام، 1389. بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور در حوضه‌های ارس (تالش، تالاب انزلی)، سفیدرود بزرگ، بین سفیدرود و هراز، (هراز - قره سو)، (گرگانرود - قره سو)، اترک، ارومیه. شرکت مه‌اب قدس، تهران.
- خزایی م ر، تلوری ع و جباری ا، 1382. تحلیل توزیع فراوانی خشکسالی هیدرولوژیک (مطالعه موردی حوضه رودخانه قرسو). مجله جغرافیا و توسعه، جلد اول، شماره 2، صفحه های 45 تا 56.
- رضایی پژند ح، 1380. کاربرد آمار و احتمال در منابع آب. انتشارات سخن گستر.
- کارآموز م و عراقی نژاد ش، 1384. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه امیر کبیر.
- مساعدی ا، زنگانه م، سامان منش ح و کریمیراد ا، 1388. تعیین مناسبترین توابع توزیع آماری جریانهای حداقل 1 تا 30 روزه (مطالعه موردی ایستگاه هیدرومتری گنبد کاووس). صفحه های 52-62. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه گرگان، گرگان.
- Chow VT, 1954. The log probability law and its engineering applications. V. 80(536), Pp. 1-25, Proceedings of the ASCE, USA.
- Chow VT, 1964. Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York, USA.
- Caruso B, 2000. Evaluation of low flow frequency analysis methods. Journal of Hydrology (NZ) 39(1):19-47.
- Desa M and Rakhecha PR, 2007. Probable maximum precipitation for 24-h duration over an equatorial region. Atmospheric research 84(2): 84-90.
- Gumbel EJ, 1958. Statistics of Extremes. Columbia University Press, New York, USA.
- Haan CT, 1977. Statistical Methods in Hydrology. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Hosking JRM and Wallis JR, 1998. The effect of intersite dependence on regional flood frequency analysis. Journal of Water Resource Research 24(4):59-71.
- Kadri VY, 2005. Low flow hydrology: A review. Journal of Hydrology 240(1): 147-186.
- Kroll Ch and Vogel R, 2002. Probability distribution of low stream flow series in the United States. Journal of Hydrologic Engineering 7(2): 137-146.
- Onoz B and Bayazit M, 1999. GEV-PWM model of distribution of minimum flows. Journal of Hydraulic Engineering 4(3): 289 - 292.
- Ouarda TBMJ and Shu C, 2009. Regional low-flow frequency analysis using single and ensemble artificial neural networks. Journal of Water Resource Research 45(11):148-162.
- Pearson CP, 1995. Regional frequency analysis of low flow in New Zealand Rivers. Journal of Hydrology 30(2): 53-64.
- Pearson CP and Davies T, 1997. Stochastic Methods. New Zealand Hydrological Society, Wellington, New Zealand.
- Ramachandra R and hamed KH, 1999. Flood frequency analysis. CRC Press, India.
- Sandoval CA, 2009. Mixed distribution in low flow Frequency Analysis. Journal of Hydrology 58(1): 247-253.
- Shi P, Chen X, Qu S, Zhang Z and Ma J, 2010. Regional frequency analysis of low flow based on L Moments: Case study in karst area, Southwest China. Journal of Hydrologic Engineering 15(5): 370-377.
- Smakhtin VY and Toulouse M, 1998. Relationships between low-flow characteristics of South African streams. South African Journals 24(2): 107-112.
- Smith RE and Bosch JM, 1989. A description of the Westfalia catchment experiment to determine the effect on water yield of clearing the riparian zone and converting an indigenous forest to a eucalyptus plantation. South African Forestry Journal 151(1): 26-31.
- Tasker GD, 1987. A comparison of methods for estimating low flow characteristics of streams. Water Resources Bulletin 23(6): 1077-1083.
- Vogel RM and Kroll CN, 1989. Low flow frequency analysis using probability-plot correlation coefficients, Journal of Water Resources Planning and Management 115(3): 338-357.
- Yurekli K, Kurunc A and Gul S, 2005. Frequency analysis of low flow series from Çekerek stream basin. Tarim Bilimleri Dergisi Bilimleri 11 (1): 72-77.