

مقایسه شاخص‌های جریان کمینه با استفاده از روش FL و منحنی تحلیل فراوانی
(مطالعه موردی: حوضه رودخانه قره‌سو)

محمد رضا گودرزی و علیرضا فرجی

دوره ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، صفحات ۲۴۷-۲۵۸

Vol. 3(3), Autumn 2017, 247 – 258

**Comparison between Low Flow Indices Using
FL Approach and Low Flow Frequency
Curve (A Case Study of Gharesou River
Catchment)**

Goodarzi M. R. and Faraji E. R.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

نحوه ارجاع: گودرزی م. ح. و فرجی ع. ر. (۱۳۹۶). مقایسه شاخص‌های جریان کمینه با استفاده از روش FL و منحنی تحلیل فراوانی (مطالعه موردی: حوضه رودخانه قره‌سو). محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۳، شماره ۳، صفحات: ۲۴۷- ۲۵۸

Citing this paper: Goodarzi M. R and Faraji E. R. (2017). Comparison between low flow indices using FL approach and low flow frequency curve (A case study of Gharesou River Catchment). J. Environ. Water Eng., 3(3), 247 - 258.

مقایسه شاخص‌های جریان کمینه با استفاده از روش FL و منحنی تحلیل فراوانی (مطالعه موردی: حوضه رودخانه قره‌سو)

محمد رضا گودرزی^{۱*}، علیرضا فرجی^۲

^۱استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران
^۲کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران
*نویسنده مسئول: Goodarzi6mr@gmail.com

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۰۵/۱۲]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۶/۰۷/۲۲]

چکیده

انتخاب جریان‌های کمینه به منظور مدیریت منابع و برنامه‌ریزی تأمین آب و همچنین مدیریت اکوسیستم حوضه ضروری است. در این مطالعه از روش FL (شاخص فراوانی-کمینه) که بر اساس دسته‌بندی کمینه جریان و شاخص Q_{80} منحنی تداوم جریان می‌باشد، استفاده شد. این روش با روش مرسوم $7Q_{10}$ که در انتخاب جریان‌های کمینه استفاده می‌شود مقایسه شد. به این منظور از داده‌های روزانه جریان حوضه رودخانه قره‌سو استفاده شد. تحلیل فراوانی جریان کمینه در روش $7Q_{10}$ بر اساس برآزش توزیع‌های مختلف و با سه نرم‌افزار HYFA، SMADA و EasyFit انجام شد. نتایج هر دو روش نشان داد که جریان‌های کمینه با گذشت زمان تشدید و احتمال بازگشت جریان کمینه افزایش می‌یابد. در حالی که دوره تکرار جریان کمینه با گذشت زمان کاهش یافت. همچنین کاهش در جریان کمینه از ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ در حدود $1/57$ مترمکعب بر ثانیه در روش $7Q_{10}$ و در حدود $2/46$ مترمکعب بر ثانیه در روش FL آشکار است. بر اساس نتایج، روش $7Q_{10}$ منجر به انتخاب جریان‌های کمینه بسیار شدید (نزدیک به صفر) شد. روش FL که در این مطالعه موردی استفاده شد، می‌تواند منجر به انتخاب جریان‌های کمینه با در نظر گرفتن نقش محیط‌زیست و کمترین جریان لازم برای حفاظت از بوم‌سازگان حوضه شود.

واژه‌های کلیدی: جریان کمینه؛ جوامع زیست‌محیطی؛ شاخص فراوانی-کمینه؛ شاخص $7Q_{10}$

۱- مقدمه

استفاده، عرضه و مدیریت آب به مشکل بحرانی در جهان تبدیل شده است. علاوه بر این در دهه‌های اخیر استفاده بیش از حد از آب‌های سطحی و زیرزمینی منجر به کاهش در منابع آب و افت کیفیت آب شده است که در آینده‌ای نزدیک به مشکل شدیدتری تبدیل خواهد شد. در سه دهه گذشته، برداشت آب‌های زیرزمینی از آبخوان‌ها به منظور آبیاری در بخش کشاورزی موجب کاهش تراز آب زیرزمینی و کاهش جریان پایه در بسیاری از رودخانه‌ها و جویبارها در نواحی مختلف جهان شده است. بنابراین نیاز اساسی برای تحقق جریان کمینه و یا سطح لازم برای ممانعت از آسیب‌های مهم به منابع آب و اکوسیستم‌ها در نتیجه برداشت آب، احساس می‌شود (Ouyang 2012). جریان‌های کمینه در بخش منابع آب جهت تعیین مقدار برداشت مجاز و عملیات آبیاری گیاهان به کار برده می‌شود. همچنین در بخش برنامه‌ریزی تأمین آب برای تعیین مقادیر مجاز استفاده از آب، و در نهایت در بخش بازسازی زیست‌محیطی برای تخمین جریان اصلی آبراهه‌ها استفاده می‌شوند. واژه‌نامه بین‌المللی هیدرولوژی، جریان کمینه را به‌عنوان جریانی از آب رودخانه که در دوره خشک آب و هوایی تداوم دارد معرفی می‌کند (WMO 1974). این تعریف تفاوت روشی بین جریان کمینه و خشکسالی قائل نمی‌شود اما می‌توان به این موضوع اشاره نمود که جریان کمینه پدیده‌ای فصلی و ترکیبی یکپارچه از رژیم جریان در هر رودخانه است. جریان کمینه همچنین از تغییرات اقلیم، توپوگرافی، زمین‌شناسی، خاک و فعالیت‌های انسانی تأثیر می‌پذیرد. معمولاً جریان‌های کمینه روزانه تحت اغتشاشات بالادست هستند لذا برای رفع این مشکل، جریان کمینه سالانه به صورت متوسط، کمترین جریان در چند روز پیاپی از قبیل ۳، ۴، ۷، ۱۰، ۳۰ و ۹۰ روز در طول یک سال تعریف می‌شود (Samiee and Teluari 2008). چندین روش برای تحلیل جریان کمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل: تحلیل منحنی تداوم جریان، منحنی فراوانی جریان کمینه، تحلیل بازگشت جریان و تحلیل آبدهی ذخیره است. طی تحقیقی Eslamian et al. (2004) برای

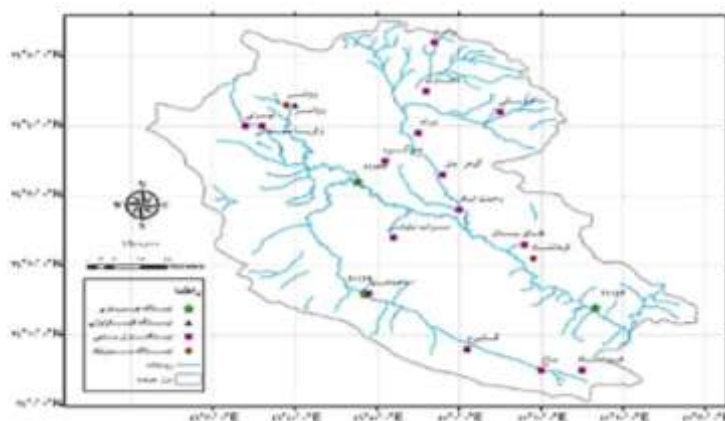
برآورد جریان کمینه هفت‌روزه با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله در حوزه آبریز مازندران از روش رگرسیون چند متغیره و عوامل فیزیوگرافی حوضه استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که این روش برای ۱۸ حوضه همگن تشخیص داده شده و برای دوره‌های بازگشت ذکر شده دارای دقت مناسبی است. (Mandal and Cunnanae 2009) با کاربرد رگرسیون‌گیری ساده بر اساس مدل تعمیم‌یافته برای منحنی تداوم جریان حوضه‌های بدون آمار از مشخصه‌های جغرافیایی و آب و هواشناسی معلوم حوضه رودخانه‌های ایرلند استفاده و تنها بر روی مدل‌سازی سه بخش کمینه از منحنی تمرکز نمودند (۲۵٪ تا ۹۹٪). Grandry et al. (2013) ناحیه‌بندی جریان کمینه در حوضه‌های بدون آمار در بلژیک را بررسی کردند. بر اساس نتایج آن‌ها، دو تابع توزیع لوگ نرمال و گاما به‌عنوان مناسب‌ترین توابع انتخاب شدند. همچنین ضریب تعیین مدل‌های رگرسیون‌بندی شده ۰/۵۱ تا ۰/۶۷ برای دوره واسنجی و ۰/۶۱ تا ۰/۸۰ برای دوره صحت‌سنجی بود و دو عامل ضریب فروکش جریان و نفوذ به‌عنوان دو متغیر مستقل انتخاب شدند. (Keshtkar 2015) تحلیل فراوانی جریان کمینه را با روش L-moments بر روی ۲۰ رودخانه فلات مرکزی ایران انجام داد. وی در این تحقیق از توابع تئوری توزیع شامل لوگ نرمال، لوگ نرمال نوع سه، گامبل، پیرسون نوع سه و لوگ پیرسون نوع سه بهره برد و همچنین از شاخص مجموع مربعات باقی‌مانده برای انتخاب بهترین تابع توزیع استفاده نمود. توزیع پیرسون نوع سه مناسب‌ترین تابع شناخته شد. جریان‌های کمینه معمولاً با دو روش متفاوت مشخص می‌شوند که یکی از آنها استفاده از تحلیل منحنی‌های فراوانی جریان کمینه و شاخص‌های آن می‌باشد. به‌طور مثال یکی از معروف‌ترین این شاخص‌ها 7Q10 می‌باشد. این شاخص به‌عنوان کمترین میانگین جریان‌هایی است که برای هفت روز متوالی در دوره بازگشت ۱۰ ساله اتفاق می‌افتد که با تحلیل فراوانی جریان کمینه به‌دست می‌آید. اگرچه این روش دید مفیدی در تحلیل جریان‌های کمینه دارد، اما برای شرایط شدت جریان کمینه‌ای از ۹۵ تا ۹۹٪ از منحنی^۱ FDC طراحی شده است

^۱ Flow Duration Curve

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

حوضه قره‌سو در شمال غربی حوضه کرخه و در غرب ایران واقع شده است. مساحت آن ۵۳۵۴ کیلومترمربع و حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب ۳۳۶۴ و ۱۱۸۰ متر می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه آن بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر متغیر است. در این تحقیق، داده‌های پایه مورد استفاده شامل داده‌های رواناب در دوره ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ از ایستگاه هیدرومتری قره باغستان که تنها ایستگاه واقع در خروجی حوضه قره سو با داده‌های کامل می‌باشد، به‌عنوان ایستگاه مبنا برای مشاهده تغییرات رواناب حوضه انتخاب گردید. شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های این زیرحوضه را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- حوضه قره‌سو

تداوم جریان می‌توان به مدیریت منابع آب، تولید و تأمین آب، طرح و برنامه‌ریزی‌های آبیاری و مدیریت کیفی و کمی آب، تولید برق و بررسی افزایش جریان‌های کمی اشاره نمود. این شاخص تعداد رخداد جریان حداقل را نشان نمی‌دهد. مهم‌ترین شاخص‌های جریان کمینه که از منحنی تداوم جریان به‌دست می‌آیند، عبارت‌اند از: Q_{80} ، Q_{90} و Q_{95} . به‌طور مثال شاخص Q_{95} دبی است که ۹۵ درصد دوره آماری دبی‌ها بزرگ‌تر از آن هستند (Eslamian et al. 2012). در این مطالعه از شاخص Q_{80} منحنی تداوم جریان استفاده شد. جزییات رسم و ایجاد

که این شدت شاید در بسیاری از حوضه‌ها اتفاق نیفتد. از این‌رو استفاده از این روش در جریان‌های کمینه با مشکل مواجه خواهد شد (Laaha and Blöschl 2007).

روش دیگر استفاده از شاخص‌های تداوم جریان می‌باشد که در گذشته از شاخص‌های این منحنی مثل Q_{95} در مطالعات گوناگون استفاده شده است، اما در واقع روش FL^1 که توسط Ouyang (2012) ارائه شده است، تفسیری متفاوت از منحنی تداوم جریان با رویکرد محیط‌زیستی و حفاظت و بازسازی اکوسیستم حوضه می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه بررسی روش FL برای تخمین شاخص Q_{80} و مقایسه آن با شاخص رایج $7Q_{10}$ برای جریان‌های کمینه می‌باشد. همچنین تعیین شاخص‌های فراوانی جریان کمینه از جمله شاخص‌های با تداوم ۳، ۴، ۱۰، ۳۰ و ۹۰ روزه با دوره بازگشت‌های مختلف از دیگر اهداف مطالعه است.

۲-۲- شاخص‌های جریان کمینه

۲-۲-۱- منحنی تداوم جریان

منحنی تداوم جریان (FDC) یکی از مفیدترین روش‌های نمایش محدوده کاملی از دبی‌های جریان کمینه تا جریان‌های سیلابی است. منحنی تداوم جریان رابطه بین مقدار دبی معین و درصد زمانی را که این دبی برابر یا از حد معینی فراتر می‌رود، نشان می‌دهد. شکل منحنی تداوم جریان، شاخصی از شرایط هیدرولوژیک حوزه آبریز است (Reilly and Kroll 2003). از کاربردهای فراوان منحنی

¹ Frequent-Low

منطقی و کمی کردن پارامترهای آن است (Smakhtin 2001). این فرآیند شامل برازش چندین تابع توزیع تئوریکی به داده‌های مشاهده‌شده جریان کمینه و تصمیم‌گیری بر اساس آزمون‌های آماری و گرافیکی می‌باشد که بهترین توزیع را به داده‌ها ارتباط دهد. مطالعات زیادی توزیع‌های متفاوت را مقایسه نموده و روش‌هایی برای حدس پارامترها ارائه کرده‌اند (Yue and Pilon 2005). در این مطالعه برای تعیین تابع توزیع مناسب از نرم‌افزارهای SMADA، HYFA و EasyFit برای داده‌های سری زمانی جریان کمینه سالانه استفاده شد. توابع توزیع شامل نرمال، لوگ نرمال نوع دو، لوگ نرمال نوع سه، گامبل، پیرسون نوع سه، لوگ پیرسون نوع سه و حدنهایی بودند. برای تعیین بهترین برازش از سه روش آزمون مجذور میانگین مربعات خطا (RSME)^۲، آزمون متوسط قدر مطلق انحرافات (MADI)^۳ و آزمون متوسط مجذور انحرافات (MSDI)^۴ بر روی خروجی‌های نرم‌افزار SMADA استفاده شد که به صورت روابط (۲) تا (۴) تعریف می‌شوند (Onoz and Bayazit 1999).

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MADI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad (3)$$

$$MSDI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{O_i - P_i}{O_i} \right)^2 \quad (4)$$

در روابط فوق O_i مقدار جریان مشاهده‌شده، P_i مقدار جریان برآورد شده و n تعداد نمونه آماری می‌باشد. همچنین سه آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۵، کای مربع^۶ و اندرسون دارلینگ^۷ به وسیله نرم‌افزار EasyFit استفاده شد. بدین منظور پارامترهای مورد نیاز آزمون‌ها برای توزیع‌های مختلف به کمک نرم‌افزارهای SMADA، HYFA و EasyFit محاسبه شد و سپس با مقایسه مقادیر این پارامترها، توزیعی که بهترین برازش را داشتند، مشخص شدند.

منحنی‌های تداوم جریان و مفاهیم و تفسیر آنها در بسیاری از منابع بیان شده است (McMahon and Mein 1986).

۲-۲-۲- سری جریان کمینه سالانه

منحنی فراوانی جریان کمینه (LFFC)^۱ برعکس منحنی تداوم جریان (که نسبت زمانی جریان فراتر رفته را نمایش می‌دهد)، نسبت سال‌هایی را که جریان فراتر می‌رود را نشان می‌دهد. در آمریکا معمول‌ترین شاخص استفاده شده، جریان کمینه هفت‌روزه ۱۰ ساله (7Q10) و جریان کمینه هفت‌روزه دوساله (7Q2) هستند. این شاخص‌ها به‌عنوان کمترین میانگین جریان‌هایی با تداوم هفت روز پی‌درپی با دوره بازگشت‌های دو و ۱۰ ساله معرفی می‌شوند، برخی مطالعات به دیگر شاخص‌هایی مثلاً 3Q20 اشاره می‌کنند (Hutson 1988). به‌منظور تعیین شاخص‌های متداول جریان کمینه شامل 7Q1، 4Q3، 3Q20، 3Q10، 3Q2، 7Q2، 7Q5، 7Q25، 10Q1، 30Q1، 30Q2، 30Q5، 30Q10 و 90Q10 ابتدا میانگین متحرک ۳، ۴، ۷، ۱۰، ۳۰ و ۹۰ روزه محاسبه شد. برای مثال رابطه (۱) میانگین متحرک با تداوم هفت‌روزه را بیان می‌کند. درنهایت برای هر سال کمترین میانگین متحرک به‌عنوان کمترین جریان سالانه در نظر گرفته می‌شود.

در رابطه (۱)، Y_i میانگین متحرک هفت‌روزه و Q جریان‌های روزانه می‌باشد.

۲-۳- انتخاب تابع توزیع مناسب

اکثر آ داده‌های جریان مشاهده شده در دسترس برای قابلیت اعتماد فراوانی رویدادهای جریان کمینه، ناکافی هستند. بنابراین از انواع مختلف توابع توزیع تئوریکی به‌منظور برون‌یابی فراتر از محدوده داده‌های مشاهده‌شده و ارتقاء صحت تخمین جریان کمینه استفاده می‌شود. توزیع‌های احتمالاتی مناسب برای جریان‌های کمینه ناشناخته و نامعلوم هستند و مشکلات معمول، تعیین تابع توزیع

² Root Square Mean Error

³ Mean Absolute Deviation Index

⁴ Mean Square Deviation Index

⁵ Kolmogorov-Smirnov

⁶ Chi-Squared

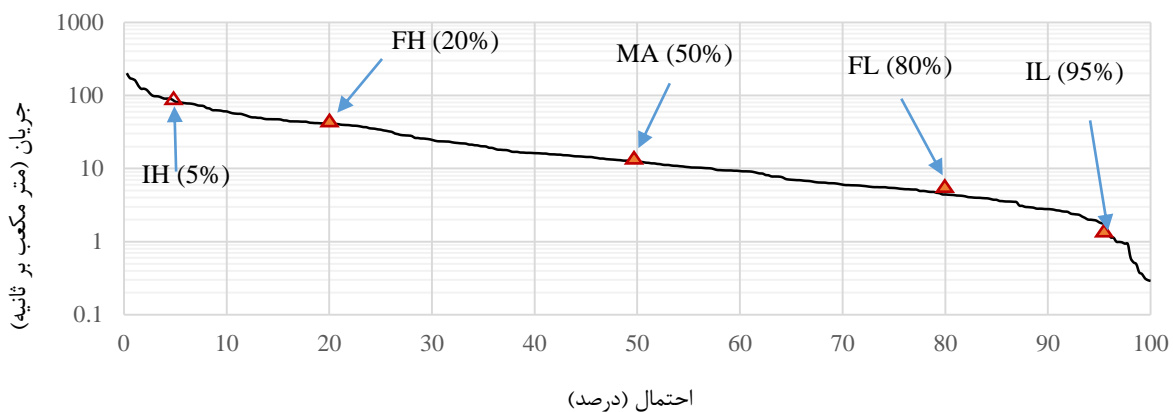
⁷ Anderson-Darling

¹ Low Flow Frequency Curve

۴-۲- انتخاب جریان کمینه

انتخاب جریان کمینه با دو روش متفاوت انجام می‌گیرد. یکی از آنها روش 7Q10 (Laaha and Bloschl 2007) و دیگری روش FL است (Ouyang 2012). در اصل روش FL یکی از پنج گروهی است که برای کمینه جریان‌ها و یا

ترازهای مدیریت رودخانه St. Johns در فلوریدا استفاده شد. در نمودار (۲) این پنج گروه، به‌طور تصویری بر روی منحنی تداوم جریان مشخص شده‌اند. MFLs حداقل جریان‌ها یا ترازهایی هستند که برای جلوگیری از آسیب‌های مهم به منابع آب و اکوسیستم‌ها در نتیجه برداشت آب لازم می‌باشند و به پنج گروه جریان تقسیم شده‌اند.

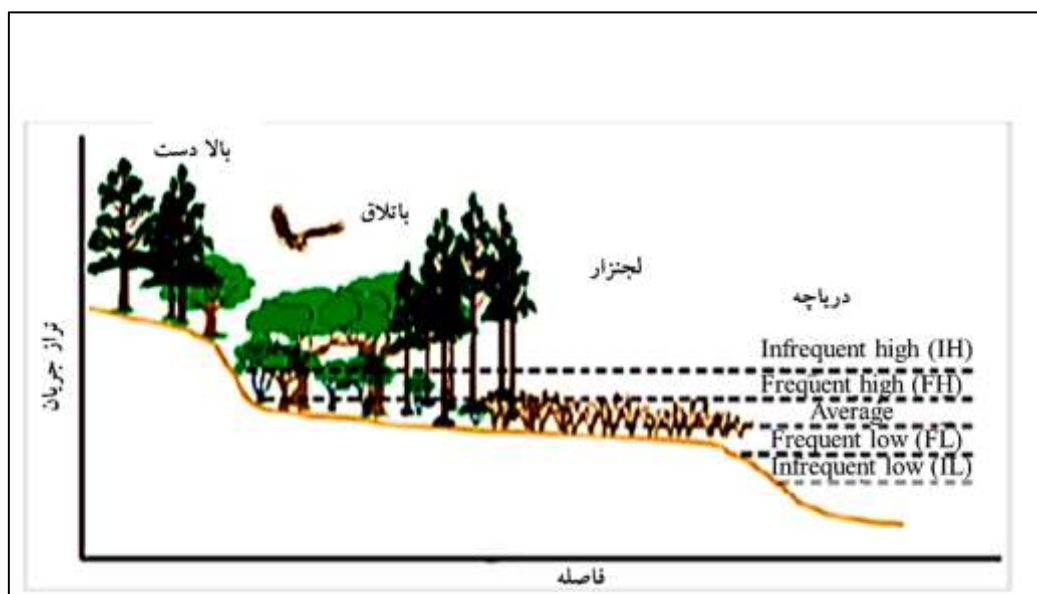


شکل ۲- منحنی تداوم جریان (FDC) مربوط به برنامه‌ریزی کمینه جریان یا ترازها (MFLs) (Ouyang 2012)

جریان کمینه به‌دست آمده از این منحنی در دامنه پیشنهادی Laaha and Bloschl (2007) است. جریان کمینه می‌تواند از منحنی FDC در محدوده ۷۰ تا ۹۹٪ انتخاب شود. در این تحقیق از گروه‌هایی MFLs روش FL به‌عنوان معیاری برای انتخاب جریان‌های کمینه بر اساس دلایل از جمله اینکه روش 7Q10 برای شرایط شدید جریان کمینه که بین ۹۵ تا ۹۹٪ زمان منحنی تداوم جریان مناسب است. این شرایط معمولاً در طی خشکسالی شدید با مدت کوتاه و دوره بازگشت بسیار زیاد اتفاق می‌افتد. همچنین روش FL در دامنه انتخاب جریان کمینه است و گروه‌های FL اثرات جریان کمینه روی دشت سیلابی، زندگی جانوری و گیاهی و اکوسیستم‌ها را به‌روشنی معین می‌کنند.

نمودار (۳) ترازهای مختلف روش FL را نمایش می‌دهد (Neubauer et al. 2008; SJRWMD, 2010). تفسیر و مفهوم این گروه‌ها توسط Ouyang (2012) ارائه شده است. به‌طور کلی FL جریان یا تراز کمی که عموماً برای دوره‌های کوتاه (دو یا سه‌ماهه) اما با دوره بازگشت طولانی‌تر (برای مثال پنج تا ۱۰ ساله) اتفاق می‌افتد (شاخص ۸۰٪ از منحنی تداوم جریان Q₈₀). جریانی که عموماً فقط طی دوره‌های کمبود بارندگی اتفاق می‌افتد و منجر به خشک شدن تالاب‌ها می‌شود. این تراز باهدف جلوگیری از اثرات زیان‌بار به ترکیبات و ساختار خاک دشت سیلابی، مسیل‌های پوشش گیاهی و به‌هم‌پیوستگی زندگی آبی و شبکه غذایی دشت سیلابی است. اولین گام در انتخاب جریان کمینه با روش FL ایجاد منحنی FDC است.

¹ Minimum Flows and/or Levels



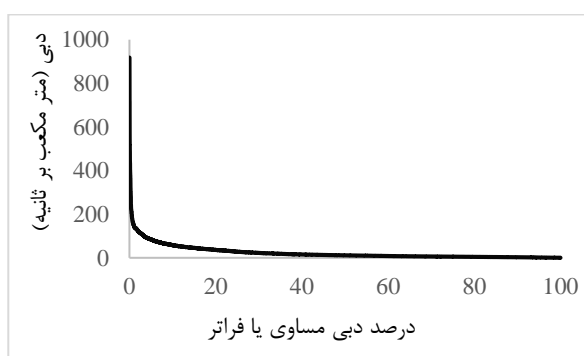
نمودار ۳- ترازهای جریان و MFLs (Neubauer et al. 2008)

تداوم جریان روزانه را ارائه می‌دهد. همانطور که اشاره شد منحنی بر پایه دبی روزانه جزییات بیشتری را فراهم می‌کند. برای رسم این منحنی از داده‌های جریان موجود از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ حوضه رودخانه قره سو استفاده شد. نمودار (۴) نشان می‌دهد که مقدار Q_{80} برابر با $۴/۲۷$ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- تعیین شاخص Q_{80}

از بین شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق شاخص Q_{80} از منحنی تداوم جریان به دست آمد. بقیه شاخص‌ها به کمک تحلیل فراوانی محاسبه شدند. نمودار (۴) منحنی



نمودار ۴- منحنی تداوم جریان روزانه

۳-۲- شاخص‌های LFFC

نرم‌افزارهای مختلف نشان می‌دهد. سه توزیع لوگ پیرسون نوع سه، حد نهایی و پیرسون نوع سه برازش مناسبی بر داده‌های جریان کمینه سالانه دارند.

در جدول (۱) خلاصه‌ای از نتایج کمترین جریان سالانه برای تداوم‌های مختلف ارائه شد. در جدول (۲) نیز خلاصه‌ای از مناسب‌ترین توابع توزیع احتمال را بر اساس

جدول ۱- کمترین جریان سالانه با تداوم‌های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)

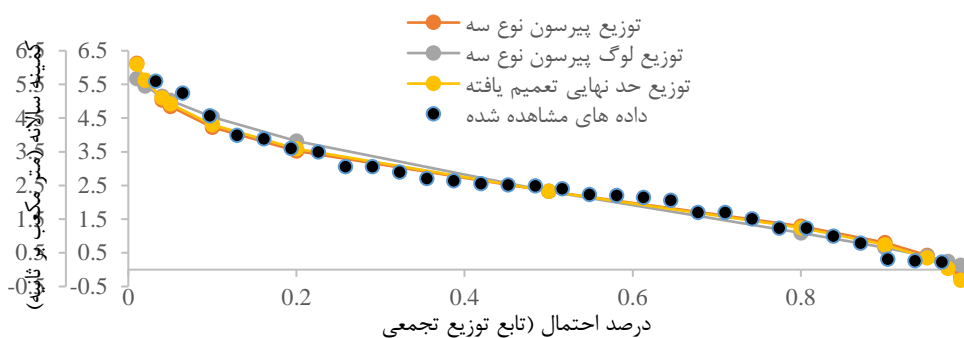
سال	D=۳	D=۴	D=۷	D=۱۰	D=۳۰	D=۹۰
۱۹۷۱	۳/۸۰	۳/۸۰	۳/۸۸	۳/۹۲	۴	۵/۹۳
۱۹۷۲	۲/۲۰	۲/۲۱	۲/۲۲	۲/۲۳	۲/۳۰	۲/۸۹
۱۹۷۳	۱/۶۵	۱/۹۳	۲/۱۵	۲/۱۵	۲/۲۶	۴/۱۴
۱۹۷۴	۳/۵۰	۳/۵۰	۳/۵۰	۳/۵۰	۳/۶۲	۵
۱۹۷۵	۳/۶۰	۳/۶۰	۳/۶۰	۳/۶۴	۳/۷۵	۴/۴۰
۱۹۷۶	۱/۱۵	۱/۱۸	۱/۲۳	۱/۲۸	۱/۳۷	۱/۹۳
۱۹۷۷	۲/۴۲	۲/۵۳	۲/۵۶	۲/۶۰	۲/۷۱	۲/۹۱
۱۹۷۸	۲/۴۳	۲/۴۶	۲/۴۹	۲/۵۱	۲/۶۳	۲/۸۸
۱۹۷۹	۳/۰۶	۳/۰۶	۳/۰۶	۳/۰۶	۳/۱۷	۴/۸۳
۱۹۸۰	۵/۶۰	۵/۶۰	۵/۶۰	۵/۶۵	۶/۲۰	۶/۴۱
۱۹۸۱	۵/۲۵	۵/۲۵	۵/۲۵	۵/۳۴	۵/۵۷	۶/۶۴
۱۹۸۲	۴/۴۴	۴/۴۴	۴/۵۶	۴/۶۶	۴/۹۰	۵/۷۵
۱۹۸۳	۱/۴۷	۱/۴۵	۱/۵۲	۱/۶۰	۱/۷۷	۲/۲۷
۱۹۸۴	۱/۵۰	۱/۵۸	۱/۷۰	۱/۸۱	۲/۳۹	۴/۶۴
۱۹۸۵	۲/۹۱	۲/۹۵	۳/۰۶	۳/۱۹	۳/۳۱	۴/۱۶
۱۹۸۶	۲/۴۰	۲/۴۰	۲/۴۰	۲/۴۰	۲/۴۸	۳/۳۶
۱۹۸۷	۲/۵۵	۲/۶۲	۲/۷۰	۲/۷۴	۳/۴۲	۴/۸۶
۱۹۸۸	۲/۸۵	۲/۸۵	۲/۹۰	۳/۱۰	۳/۵۵	۴/۳۱
۱۹۸۹	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۹۸	۴	۴/۲۹	۴/۵۲
۱۹۹۰	۱/۷۰	۱/۷۰	۱/۷۰	۱/۷۰	۱/۸۰	۲/۶۹
۱۹۹۱	۱/۹۱	۱/۹۸	۲/۲۰	۲/۲۵	۳/۲۴	۴/۲۲
۱۹۹۲	۲	۲	۲/۰۶	۲/۲۴	۲/۵۸	۴/۱۲
۱۹۹۳	۱/۱	۱/۱	۱/۲۳	۱/۲۸	۱/۵۲	۲/۷۰
۱۹۹۴	۲/۵۹	۲/۵۹	۲/۶۴	۲/۶۷	۲/۸۴	۳/۰۷
۱۹۹۵	۲/۴۱	۲/۴۴	۲/۵۲	۲/۶۱	۳/۵۲	۳/۹۴
۱۹۹۶	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۸۳	۱/۹۴
۱۹۹۷	۱	۱	۱	۱/۰۲	۱/۴۵	۳/۷۴
۱۹۹۸	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۵۵	۰/۷۸
۱۹۹۹	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳۱
۲۰۰۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۵۶

جدول (۲) نشان می‌دهد که توزیع‌های لوگ پیرسون نوع سه و حد نهایی بر اساس خروجی نرم‌افزار SMADA و نرم‌افزارهای HYFA و EasyFit، مناسب‌ترین برازش را بر داده‌های جریان دارند. نمودار (۵) برازش سه توزیع مذکور و داده‌های واقعی مشاهده‌شده جریان هفت‌روزه را

مورد مقایسه قرار داده است. با توجه به نمودار (۵) توزیع حد نهایی برازش دقیق‌تری بر داده‌ها دارد. به این ترتیب در مطالعه حاضر توزیع حد نهایی به‌عنوان مناسب‌ترین توزیع انتخاب شد.

جدول ۲- جمع‌بندی کلی مناسب‌ترین توابع توزیع

خروجی نرم‌افزار SMADA					
رتبه	۱	۲	۳	۴	۵
تابع توزیع	لوگ پیرسون نوع سه	لوگ نرمال نوع سه	پیرسون نوع سه	نرمال	گامبل
نمره کل	۳۵	۳۱	۲۸	۱۱	۳
خروجی نرم‌افزار Easy Fit و HYFA					
تابع توزیع	حد نهایی	پیرسون نوع سه	لوگ نرمال نوع سه	نرمال	گامبل ماکزیمم
نمره کل	۳۱	۳۱	۲۲	۱۴	۵



نمودار ۵- مقایسه برازش سه توزیع مختلف با داده‌های مشاهده شده برای جریان با تداوم هفت‌روزه (7Q)

بر اساس نمودار (۵)، با برازش توزیع حد نهایی بر داده‌های جریان کمینه ۳، ۴، ۷، ۱۰، ۳۰ و ۹۰ روزه و با استفاده از نرم‌افزار HYFA که قابلیت تعیین دوره بازگشت جریان این شاخص‌ها در جدول (۳) ارائه شد.

جدول ۳- شاخص‌های جریان کمینه متداول

شاخص	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	شاخص	دبی (مترمکعب بر ثانیه)
3Q2	۲/۲۲۷	7Q20	۰/۳۷۸
3Q10	۰/۶۵۲	7Q25	۰/۲۸۸
3Q20	۰/۳۲۹	10Q1	۶/۰۲۴
4Q3	۱/۶۶۸	30Q1	۶/۳۵۸
7Q1	۵/۹۷	30Q2	۲/۶۷۶
7Q2	۲/۳۳۹	30Q5	۱/۴۶۶
7Q5	۱/۲۱۸	30Q10	۰/۹۱۳
7Q10	۰/۷۲۴	90Q10	۱/۵۱

برابر ۲/۳۳۹ و شاخص 7Q20 جریان کمینه هفت‌روزه با دوره بازگشت ۲۰ ساله برابر ۰/۳۷۸ است. این نتایج تشدید جریان کمینه را با افزایش دوره بازگشت اثبات می‌کنند.

جدول (۴) ارائه شد. در صد زمان‌هایی که هر جریان کمینه مساوی یا فراتر رفته است در این جدول نمایش داده شد.

جدول (۳) شاخص‌های مختلف جریان کمینه را بر اساس تحلیل فراوانی نمایش می‌دهد. مقدار جریان کمینه برای هر تداوم با افزایش دوره بازگشت کاهش یافته است. به‌عنوان مثال مقدار شاخص 7Q2 جریان هفت‌روزه با دوره بازگشت دوساله

۳-۳- مقایسه دو روش FL و 7Q10

مقایسه جریان‌های کمینه با روش 7Q10 و روش FL برای دوره ثبت داده ۱۰ ساله، در سه دهه ۷۰، ۸۰ و ۹۰ در

جدول ۴- مقایسه جریان‌های کمینه حدس زده شده با روش 7Q10 و روش FL

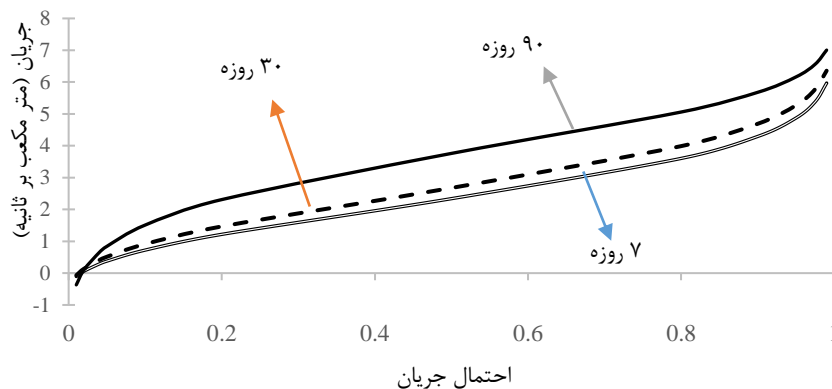
سال	7Q10		FL (Frequent-Low)	
	جریان کمینه (مترمکعب بر ثانیه)	درصد معادل بر روی منحنی تداوم جریان	جریان کمینه (مترمکعب بر ثانیه)	درصد از منحنی تداوم جریان
۱۹۸۰-۱۹۷۱	۱/۶۶۹	۹۹٪	۵	۸۰٪
۱۹۹۰-۱۹۸۱	۱/۴۶۴	۱۰۰٪	۵/۲۶	۸۰٪
۲۰۰۰-۱۹۹۱	۰/۰۹۶	۱۰۰٪	۲/۵۴	۸۰٪

بر این روش 7Q10 وقتی دوره ثبت داده‌ها کمتر از ۱۰ سال باشد قابل استفاده نیست. طبق جدول (۴) کاهش در جریان کمینه از ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ در حدود ۱/۵۷ مترمکعب بر ثانیه در روش 7Q10 و در حدود ۲/۴۶ مترمکعب بر ثانیه در روش FL آشکار است.

۳-۴- دوره بازگشت و احتمال جریان‌های کمینه

احتمال جریان کمینه برای تداوم‌های ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه جریان کمینه، در نمودار (۶) ارائه شده است. دوره بازگشت و احتمالات بازگشت جریان کمینه برای مدت جریان کمینه از نمودار (۶) می‌تواند محاسبه شود. به طوری که این دو مشخصه عکس یکدیگر هستند. برای مثال، وقتی جریان کمینه ۳/۷۶ مترمکعب بر ثانیه است، احتمال بازگشت آن ۰/۵ است و دوره تکرار برابر ۰ دو سال برای مدت ۹۰ روزه است. به همین صورت دیگر شاخص‌های تحلیل فراوانی جریان کمینه از این شکل قابل مشاهده هستند. مقدار شاخص پرکاربرد 7Q10 (جریان کمینه با تداوم هفت روزه و دوره بازگشت ۱۰ ساله، معادل احتمال ۰/۱ بر روی نمودار (۶) برابر ۰/۷۲۴ مترمکعب بر ثانیه است.

جدول (۴) نشان می‌دهد که در روش 7Q10 درصد‌های زمانی که جریان کمینه برابر یا فراتر رفته، از ۹۶٪ تا ۱۰۰٪ تغییر می‌کند. اما در روش FL این مقدار ۸۰٪ و ثابت است. این نوسانات درصد در منحنی تداوم جریان برای مدیریت آب موضوعی چالش برانگیز است. در شرایطی که در صدها نزدیک ۱۰۰ هستند جریان‌های کمینه در حدود صفر می‌باشند که با چنین جریان کمینه تحقق معیارهایی که جهت جلوگیری از آسیب‌های جدی و مهم به جوامع زیستی در حوضه‌ها لازم است، بسیار سخت می‌گردد. مهم‌ترین آسیبی که به آن اشاره شده از دست دادن موقتی کاربردهای منابع آبی در نتیجه‌ی تغییر در هیدرولوژی سطحی یا زیرزمینی است. در مقابل روش FL به اثرات زیست‌شناسی حوضه وابسته است. جریان‌های کمینه از روش FL (۸۰٪ روی منحنی FDC) غیرمحمول است که نزدیک صفر باشند و همیشه از مقادیر روش 7Q10 بیشتر هستند. در کل روش 7Q10 بر اساس شاخص جریان کمینه LFFC است در حالی که روش FL بر اساس شاخص FDC است؛ بنابراین، درصد زمانی که جریان کمینه فراتر می‌رود بر اساس 7Q10 متغیر است در حالی که بر اساس روش FL ثابت است. علاوه



نمودار ۶- احتمال بازگشت جریان کمینه با تداوم‌های ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه

جریان کمینه می‌باشد که بر اساس تحلیل فراوانی حاصل می‌گردد. در این مطالعه با استفاده از سه نرم‌افزار HYFA، SMADA و Easy Fit توابع مختلف توزیع احتمال آزموده شدند. نتایج کلی را می‌توان به موارد زیر خلاصه نمود:

- کاهش در جریان کمینه از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ در حدود ۱/۵۷ مترمکعب بر ثانیه در روش 7Q10

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، روش Frequent-Low برای انتخاب جریان کمینه استفاده و با روش 7Q10 مقایسه شد. هر دو روش 7Q10 و FL برای تعیین شاخص‌های جریان کمینه قابل استفاده می‌باشند. روش FL در اصل همان شاخص Q80 از منحنی FDC است، در حالی که 7Q10 شاخصی از

۴- روش 7Q10 برای دوره ثبت داده‌های کمتر از ۱۰ سال قابل استفاده نیست. درحالی که برای روش FL این مورد صادق نیست.

برای مطالعات آبی می‌توان اثرات عوامل مختلف مانند تغییر پوشش گیاهی و تغییر اقلیم را بر جریان کمینه آینده حوضه مورد بررسی قرارداد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که حوزه آبریز نیازمند مدیریت یکپارچه محافظت از منابع آب و مدیریت سیستم هیدرولوژیکی است تا کمترین جریان آبراهه لازم را جهت جلوگیری از آسیب‌های مهم و برجسته بر منابع آب تأمین کند.

و در حدود ۲/۴۶ مترمکعب بر ثانیه در روش FL به دست آمد.

۲- در شرایط معین جریان‌های کمینه انتخاب شده از روش 7Q10 نزدیک صفر به دست آمد. جریان کمینه شدیدی که مانع از استفاده از این روش جهت ممانعت از آسیب‌های بیولوژیکی و اکولوژیکی به آبراهه‌ها می‌شود که از نواقص این روش است.

۳- روش FL با اثرات زیست‌محیطی و اکولوژیکی سازگار بوده و جریان‌های کمینه محاسبه شده با این روش (۸۰٪ در منحنی FDC) بزرگ‌تر از صفر و همواره از مقادیر روش 7Q10 بزرگ‌تر محاسبه شد.

References

- Anonymous. (1974). WMO, World Meteorological Organization. International Glossary of Hydrology. WMO, Geneva.
- Eslamian S. S., Zarei A. and Abrishamchi A. (2004). Estimation of regional low flow in Mazandaran rivers watershed. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour.*, 8(1), 27-38 [In Persian].
- Eslamian S. S., Ghasemi M. and Soltani Gerdefaramarzi S. (2012). Computation and regionalization of low flow indices and determination of hydrological drought durations in Karkhe watershed. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour., Water Soil Sci.*, 16(59), 1-14 [In Persian].
- Grandry M., Gailliez S., Sohier C., Verstraete A. and Degré A. (2013). A method for low-flow estimation at ungauged sites: a case study in Wallonia (Belgium). *J. Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 1319-1330.
- Hutson S. S. (1988). Instream flow analysis and monitoring procedure for little river in eastern Tennessee. Proc. 1988, the AWRA Symposium on Water-Use Data for Water Research Management, Bethesda; Maryland, USA.
- Keshtkar A. R. (2015). Low flow frequency analysis by L-moments method (Case study: Iranian Central Plateau River Basin). *Desert*, 20(2), 167-175.
- Laaha G. and Blöschl G. (2007). A national low flow estimation procedure for Austria. *Hydrol. Sci. J.*, 52, 625-644.
- Mandal U. and Cunnane C. (2009). Low-flow prediction for ungauged river catchments in Ireland. 2009, Irish National Hydrology Seminar, Ireland.
- McMahon T. A. and Mein R. G. (1986). River and reservoir yield. Water Resour Publication, CO., pp. 368.
- Neubauer C. P., Hall G. B., Lowe E. F., Robison C. P., Hupalo B. R. and Keenan L. W. (2008). Minimum flows and levels method of the St. Johns River Water Management District, Florida, USA. *Environ. Manage.*, 42, 1101-1114.
- Onoz B. and Bayazit M. (1999). GEV-PWM model of distribution of minimum flows. *J. Hydraul. Eng.*, 4(3), 289 - 292.

- Ouyang Y. (2012). A potential approach for low flow selection in water resource supply and management. *J. Hydrol.*, 454-455, 56-63.
- Reilly C. F. and Kroll C. N. (2003). Estimation of 7-day, 10-year low-stream flow statistics using baseflow correlation. *Water Resour. Res.*, 39(9), 1236, doi:10.1029/2002WR001740
- Samiee M. and Teluari A. (2008). Investigation of hydrologic drought severity and duration at Tehran Fars province watersheds. *J. Pajouhesh Sazandegi*, 79, 21-27 [In Persian].
- SJRWMD, (2010) St. Johns River Water Management District, Chapter 40c-8, F.A.C. Minimum Flows and Levels. St. Johns River Water Management District, Palatka, Florida: 32178.
- Smakhtin V.U. (2001). Low flow hydrology: a review. *J. Hydrol.*, 240, 147-186.
- Yue S. and Pilon P. (2005). Probability distribution type of Canadian annual minimum streamflow. *Hydrolog. Sci. J.*, 50, 427-438.

Comparison between Low Flow Indices Using FL Approach and Low Flow Frequency Curve (A Case Study of Gharesou River Catchment)

Mohammad Reza Goodarzi^{1*} and Ali Reza Faraji²

¹Assistant Prof., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Ayatollah Borujerdi, Borujerd, Iran

²MS.c., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Ayatollah Borujerdi, Borujerd, Iran

*Corresponding author: goodarzi6mr@gmail.com

Original Paper

Received: August 3, 2017

Accepted: October 14, 2017

Abstract

Selection of low flow is necessary for water resource management, water supply planning, and watershed ecosystem restoration. In this study, FL approach was used, which is based on minimum flows and flow duration curve (Q_{80}) categories. This approach was compared with the conventional $7Q_{10}$ approach used in low flow selection. For this purpose, the daily flow series from Gharesou catchment was applied. Low flow frequency analysis related to $7Q_{10}$ approach was done by fitting various distribution functions and using three frequency software, including HYFA, SMADA, and Easy fit. The results of both approaches show that low flows increased as time elapsed and the recurrence probability of low flow increased while the recurrence interval of low flow decreased as time elapsed. In addition, a low flow decline from 1971 to 2000 observed as $1.57 \text{ m}^3/\text{s}$ and $2.46 \text{ m}^3/\text{s}$ for $7Q_{10}$ and FL approaches respectively. The $7Q_{10}$ approach lead to selecting extremely low flows (approximately zero). The FL approach used in this study, could result in selecting low flows, considering role of the environment and minimum flow to protect the ecosystem of the catchment.

Keywords: Low Flow; Environment Communities; FL Approach; $7Q_{10}$ Index