

تحلیل فراوانی منطقه‌ای جریان‌های حداقل با استفاده از گشتاورهای خطی و روش‌های چندمتغیره

اسماعیل دودانگه^{۱*}، سعید سلطانی^۲ و علی رضایی^۳

چکیده

بررسی جریان‌های حداقل برای برنامه‌ریزی و کنترل میزان بهره‌برداری از منابع آبی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مهم است. در این بررسی داده‌های هیدرومتری مربوط به ۲۶ ایستگاه در حوزه سد سفیدرود انتخاب شد و کمترین جریان ۷ روزه در هر سال به عنوان شاخص جریان کم در هر یک از ایستگاه‌های مزبور محاسبه شد. متغیرهای فیزیوگرافی و کاربری اراضی حوزه نیز در محیط نرم‌افزار GIS محاسبه شد. با استفاده از آزمون نکوئی برازش گشتاورهای خطی، توابع توزیع پیرسون نوع سه و لجستیک تعمیم یافته به عنوان بهترین تابع توزیع در دو بخش همگن هیدرولوژیک (حوضه قزل اوزن و شاهرود) در منطقه مشخص شد سپس مقدار جریان حداقل در دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از تحلیل فراوانی محاسبه شد. نتایج مدل‌سازی جریان کم با استفاده از رگرسیون چندمتغیره نشان داد مساحت حوضه، نوع کاربری اراضی، شیب متوسط حوضه و ضریب گردی حوضه از عوامل اصلی تأثیرگذار بر میزان جریان حداقل در حوضه هستند.

واژه‌های کلیدی: پیرسون نوع سه، تحلیل فراوانی، جریان حداقل، رگرسیون چندمتغیره، لجستیک تعمیم یافته.

ارجاع: دودانگه ا. سلطانی س. و رضایی ع. ۱۳۹۵. تحلیل فراوانی منطقه‌ای جریان‌های حداقل با استفاده از گشتاورهای خطی و روش‌های چندمتغیره. مجله پژوهش آب ایران. ۲۰: ۱۷۱-۱۷۴.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

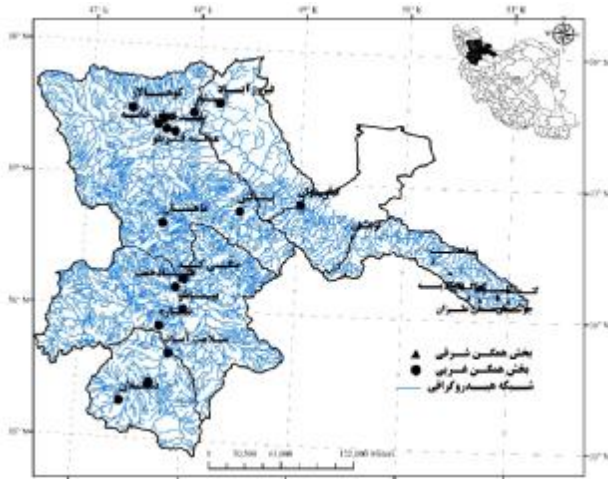
۲- دانشیار گروه آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زنجان.

* نویسنده مسئول: smaeel.dodangeh@gmail.com

مقدمه

قزل‌اوزن از غرب به طول ۸۰۰ کیلومتر و شاهرود از شرق به طول ۱۸۰ کیلومتر تشکیل شده است (شکل ۱). در حال حاضر کل مساحتی که با سد سفیدرود آبیاری می‌شود ۲۴۰ هزار هکتار است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در منطقه مورد بررسی گشتاورهای خطی

گرین وود و همکاران (۱۹۷۹) گشتاورهای وزنی احتمال (PWMS^۱) را به شکل زیر تعریف کردند:

$$\beta_r = E\{X[F(X)]^r\} \quad (1)$$

که در آن $F(X)$ تابع توزیع تجمعی مربوط به مقدار X و β_r ، α امین مرتبه گشتاور وزنی احتمال است. هاسکینگ و والیس (۱۹۹۷)، گشتاورهای خطی را به عنوان ترکیبات خطی از PWMS معرفی کردند. گشتاورهای خطی نسبت به گشتاورهای معمولی حساسیت کمتری نسبت به مشاهدات بزرگ دارند و بنابراین نمایش بهتری از توابع توزیع تئوری مربوط به نمونه مشاهده شده از یک متغیر تصادفی (X) دارند (اسلامیان و سلطانی، ۲۰۰۲). با توجه به اینکه β_r مربوط به جامعه است ولی در عمل از معادل نمونه‌ای آن استخراج می‌شود بنابراین برآورد نمونه‌ای β_r به شکل b_r نشان داده می‌شود و به شکل زیر محاسبه می‌شود.

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_{jn} \quad (2)$$

$$\beta_r = E\{X[F(X)]^r\} \quad (1)$$

محاسبه جریان کم در بررسی‌های مختلف هیدرولوژیک از جمله مدیریت کیفیت آب، تعیین حداقل جریان آبی مورد نیاز در پایین‌دست برای تولید برق، سیستم‌های خنک‌کننده، طراحی سیستم‌های آبیاری و ارزیابی تأثیر خشکسالی‌های طولانی مدت روی اکوسیستم‌های آبی ضروری است. برآورد نقطه‌ای جریان کم در حوضه‌هایی که آمار موجود است برای هیدرولوژیست‌ها کار دشواری نیست (مدرس، ۲۰۰۸) با این وجود در بعضی از ایستگاه‌ها امکان انجام تحلیل فراوانی به دلیل عدم وجود آمار هیدرومتری و یا داده‌های هیدرومتری با طول دوره آماری کم میسر نیست (اسلامیان و همکاران، ۲۰۱۰). برای رفع این مشکل تحلیل منطقه‌ای به کار گرفته می‌شود. در تحلیل منطقه‌ای ابتدا حوضه‌های همگن تعیین شده و سپس مدل‌های منطقه‌ای برای مناطق همگن به کار گرفته می‌شود. یکی از روش‌هایی که به تازگی در بررسی‌های مربوط به تحلیل منطقه‌ای بارش، سیلاب و جریان‌های حداقل به کار گرفته می‌شود استفاده از تئوری گشتاورهای خطی (هاسکینگ و والیس، ۱۹۹۳) است. راتو و اسرینیواس (۲۰۰۶) از روش گشتاورهای خطی برای بررسی همگنی هیدرولوژیک از نظر وقوع سیلاب در مناطقی از هند استفاده کردند. مدرس و سرحدی (۲۰۱۰) از روش گشتاورهای خطی و رگرسیون چندمتغیره در تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک از نظر طول دوره‌های خشکسالی و عوامل مؤثر بر وقوع این دوره‌ها در جنوب شرق کشور بهره گرفتند. پس از تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک بر اساس روش گشتاورهای خطی، معادلات منطقه‌ای با به کارگیری عوامل مؤثر بر میزان متغیر پاسخ در هر بخش بسط داده می‌شود. ووگل و کرول (۱۹۹۲) با ایجاد یک مدل مفهومی برای جریان‌های حداقل در حوضه آبخیز، نشان دادند مساحت و شیب متوسط حوضه‌ها و ضریب ثابت رکود جریان پایه از عوامل اصلی مؤثر بر آماره‌های جریان کم هستند.

مواد و روش‌ها

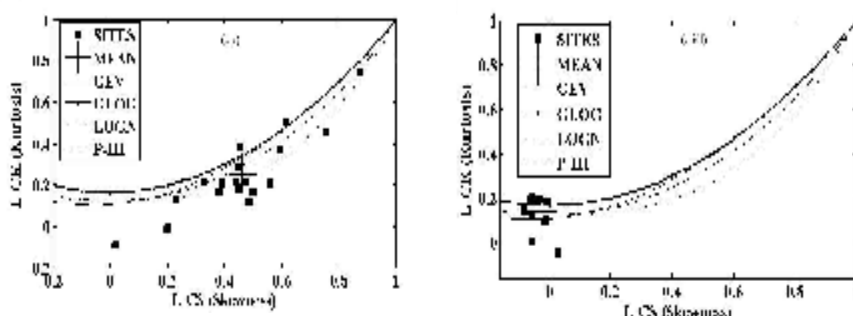
حوضه آبخیز سد سفیدرود، با بارش متوسط سالانه در حدود ۴۱۵ میلی‌متر، به عنوان یکی از مهم‌ترین حوضه‌های کشور است که از نظر تقسیمات سیاسی کشور در برگیرنده ۹ استان است و از دو شاخه رودخانه اصلی،

نمونه (L_{CV}) ، ضریب چولگی خطی نمونه (L_{CS}) و τ_4 ضریب کشیدگی خطی نمونه (L_{CK}) هستند.

نتایج و بحث

در این بررسی ابتدا با روش تحلیل خوشه‌ای (کافمن و روسیو، ۱۹۹۰) کل منطقه مورد بررسی به دو بخش شرقی و غربی تقسیم شد (شکل ۲).

b_r برآورد نمونه‌ای از β_r است. N اندازه نمونه و $x_{j:n}$ نشان دهنده نمونه رتبه‌بندی شده $x_{1:n} \leq x_{2:n} \leq \dots \leq x_{n:n}$ از توزیع متغیر X است. گشتاورهای خطی نمونه (l_r) ترکیبات خطی از گشتاورهای وزنی احتمال نمونه هستند: $l_1 = b_0$ ، $l_2 = 2b_1 - b_0$ ، $l_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0$ ، $l_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0$ نسبت گشتاورهای خطی نمونه (τ_r) بر اساس گشتاورهای خطی نمونه به شکل $\tau_2 = l_2/l_1$ ، $L_{CS} = \tau_3 = l_3/l_2$ ، $L_{CK} = \tau_4 = l_4/l_3$ محاسبه می‌شود که τ_2 ضریب تغییرات خطی



شکل ۲- نسبت گشتاورهای خطی L_{CK} - L_{CS} برای (الف) بخش شرقی و (ب) غربی منطقه مورد بررسی

بررسی مدل‌های به دست آمده در دو بخش شرقی و غربی منطقه مورد بررسی مشخص شد که مساحت، شیب، شکل حوضه و نیز نوع پوشش اراضی بالادست ایستگاه هیدرومتری از عوامل مؤثر بر مکانیزم تولید جریان حداقل در حوضه هستند که تأییدی بر یافته‌های وگل و کرال (۱۹۹۲)، شمعی‌زاده (۱۳۸۷) و سرحدی (۱۳۸۶) است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله برای بررسی خشکسالی هیدرولوژیک در حوضه آبخیز سد سفیدرود، به عنوان یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبخیز کشور، داده‌های هیدرومتری مربوط به ۲۶ ایستگاه در حوضه استفاده شد. با استفاده از نمودار نسبت گشتاورهای خطی، توابع توزیع پیرسون نوع سه و لجستیک تعمیم یافته به عنوان بهترین تابع توزیع منطقه‌ای در دو بخش قزل‌اوزن و شاهرود مشخص شد. همچنین نتایج نشان داد که مساحت، شیب، شکل حوضه و نیز نوع پوشش اراضی بالادست ایستگاه هیدرومتری از عوامل مؤثر بر مکانیزم تولید جریان حداقل در حوضه هستند.

سپس با به کارگیری دیاگرام نسبت گشتاورهای خطی نمونه (شکل ۲)، توابع توزیع پیرسون نوع سه (P3) و توزیع لجستیک تعمیم یافته (GLOG) به ترتیب، به عنوان بهترین توابع توزیع منطقه‌ای در بخش همگن غربی و شرقی مشخص شدند پس برای دستیابی به مقدار جریان‌های حداقل در دوره‌های بازگشت مختلف از توابع توزیع مذکور در دو بخش همگن غربی و شرقی استفاده شد و مقدار برآورد شده به عنوان متغیر وابسته و ترکیبات مختلفی از مشخصات فیزیوگرافیک، اقلیمی، زمین‌شناسی و طرح‌های کاربری اراضی مربوط به حوضه بالادست این ایستگاه‌ها به عنوان متغیر مستقل استفاده شدند. مشخصات آماری مدل‌های برازش داده شده در جدول ۱ نشان داده شده است. A نشان دهنده مساحت حوضه (km^2) ، BS شیب متوسط حوضه $(\%)$ ، BC ضریب گردی حوضه، BL طول متوسط حوضه (km) ، Brs مساحت اراضی بایر (km^2) و Rg مساحت اراضی مرتعی (km^2) است. تمامی مدل‌ها با ضریب تعیین بالای $0/8$ مشخص شده‌اند. آماره دوربین-واتسون (۱۹۵۰) نشان‌دهنده تصادفی بودن باقیمانده‌ها (میزان آماره برابر و نزدیک به ۲) و آزمون ناپارامتریک کلوموگروف-اسمیرنوف (یوجویچ، ۱۹۷۲) نشان دهنده نرمال بودن باقیمانده‌های مدل است. از

جدول ۱- مشخصات آماری مدل‌های منطقه‌ای برازش داده شده در دو بخش غربی و شرقی

منطقه	دوره بازگشت	مدل‌های رگرسیون	BIAS	RMSE (m ³ /s)	R ²	D-W	K-S
شاهرود	۲	$Q_2 = 2.68 + 1.05 (A) - 0.824 (BS)$	۰/۲۲	۰/۸۳	۰/۹۴	۲/۰۲	۰/۹۱
	۵	$Q_5 = 1.66 + 0.472 (A) - 0.672 (BS)$	۰/۱۹	۰/۶۳	۰/۹۱	۲/۹	۰/۸۴
	۱۰	$Q_{10} = 1.46 - 1.14 (BS) - 0.463 (BC)$	۰/۰۴	۰/۳۴	۰/۹۶	۲/۶	۰/۹۸
	۲۰	$Q_{20} = 0.966 - 0.797 (A) - 1.54 (BS) - 0.764 (BC)$	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۹۷	۲	۰/۸۱
	۵۰	$Q_{50} = 0.743 - 1.04 (A) - 1.58 (BS) - 0.810 (BC)$	۰/۰۱	۰/۲۸	۰/۹۲	۲/۴	۰/۷۵
	۱۰۰	$Q_{100} = 0.589 - 1.19 (A) - 1.63 (BS) - 0.854 (BC)$	۰/۰۰۸	۰/۳۷	۰/۸۸	۲/۳	۰/۹۹
قزل‌اوزن	۲	$Q_2 = 0.28 + 0.30 (BL)$	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۸۹	۲/۵۸	۰/۷۲
	۵	$Q_5 = 0.124 + 0.13 (Brs) + 0.13 (BL) + 0.079 (BC)$	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۸۸	۲/۳	۰/۸۸
	۱۰	$Q_{10} = 0.069 + 0.088 (Brs) + 0.1(Rg)$	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۹۱	۱/۷۷	۰/۸۳
	۲۰	$Q_{20} = 0.066 + 0.09 (Brs) + 0.1(Rg) + 0.04 (BC)$	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۹۱	۱/۸۷	۰/۹۳
	۵۰	$Q_{50} = 0.057 + 0.095 (Brs) + 0.1(Rg) + 0.04 (BC)$	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۹۳	۱/۸۳	۰/۷۸
	۱۰۰	$Q_{100} = 0.051 + 0.095 (Brs) + 0.1(Rg) + 0.045 (BC)$	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۹۴	۱/۷۴	۰/۶۶

- Kaufman L. and Rousseuw P. J. 1990. Finding groups in data: An introduction to cluster analysis. Wiley, New York. 342 p.
- Modarres R. 2008. Regional frequency distribution type of low flow in north of Iran by l-moments. Water Resources Management 22 (7): 823-841.
- Modarres R. and Sarhadi A. 2010. Frequency distribution of extrem hydrologic drought of Southeastern semi-arid region Iran. Journal of Hydraulic Engineering. 15 (4): 255-264.
- Rao A. R. and Srinivas V. V. 2006. Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis. Journal of Hydrology. 318(1-4): 57-79.
- Vogel R. M. and Kroll C. N. 1992. Regional geohydrologic-geomorphic relationships for the estimation of low flow statistics. Water Resources Research. 28(9): 2451-2458.
- Yevjevich V. 1972. Probability and statistics in hydrology. Water Resources publications, Highlands Ranch. 312 p.

منابع

- سرحدی ع. ۱۳۸۶. تلفیق تکنیک GIS و RS و مدل‌های تحلیل فراوانی در مطالعه خطر سیل گرفتگی منطقه جیرفت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابانزدایی. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۹۲ ص.
- شماعی‌زاده م. ۱۳۸۷. تحلیل فراوانی منطقه‌ای جریان کم در حوضه آبخیز کارون شمالی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابانزدایی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان. ۲۱۱ ص.
- Durbin J. and Watson G. S. 1950. Testing for serial correlation in least squares regression. Biometrika. 37(3-4): 409-428.
- Eslamian S. S. and Soltani S. 2002. Flood Frequency Analysis, Arkan Publishing, Isfahan, Iran. 332 p.
- Eslamian S.S. Ghasemizadeh M. Biabanaki M. and Talebizadeh M. 2010. A principal component regression method for estimating low flow index, Water Resources Management. 24(11): 2553-2566.
- Greenwood J. A. Landwehr J. M. Matalas N. C. and Wallis J. R. 1979. Probanility weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. Water Resources Research. 15(5): 1049-1054.
- Hosking J. R. M. and Wallis J. R. 1993. Some statistics useful in regional flood frequency analysis. Water Resources Research. 23(29): 271-281.
- Hoskins J. R. M. and Wallis J. R. 1997. Regional frequency analysis: An approach based on l-moments. Cambridge, Angletterre. 244 p.