

بررسی تأثیر خصوصیات هندسی رودخانه‌ها بر دبی طراحی در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه خشک

احسان کرابی^۱، محمد رضا مجدزاده طباطبایی^۲ و سید حسین قریشی نجف آبادی^۳

^۱ - نویسنده مسئول، کارشناس ارشد عمران، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران

^۲ - عضو هیئت علمی دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران

^۳ - عضو هیئت علمی دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۹

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲

چکیده

تخمین صحیح دبی در دوره‌های بازگشت مختلف در طراحی پل‌ها، کالورت‌ها و گوره‌ها به منظور مدیریت سیلاب‌دشت حائز اهمیت است. معمولاً دو روش برای تعیین دبی طراحی در مناطق فاقد آمار استفاده می‌شود: مدل‌های بارش - رواناب که ممکن است زمان‌بر و پرهزینه باشند و روش‌های رگرسیونی که دبی طراحی در دوره‌های بازگشت خاص را به خصوصیات حوضه آبریز از قبیل مساحت حوضه، توپوگرافی، خاک و خصوصیات آب و هوایی مرتبط می‌کنند. در تحقیق حاضر، از دو متغیر جدید خصوصیات مقطع - پر و شاخص سیلابی به عنوان متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر روابط دبی طراحی در مناطق خشک و نیمه خشک به همراه داده‌های اندازه‌گیری شده هندسه مقاطع عرضی ۴۱ ایستگاه هیدرومتری در استان خراسان رضوی استفاده شده است. نتایج مقایسه حاصل از تأثیر متغیرهای جدید بر دبی با دوره‌های بازگشت مختلف در این مطالعه، با روش‌های سنتی، نشان داد که خصوصیات مقطع پر در رودخانه‌ها و شاخص سیلابی می‌توانند به عنوان متغیرهای مناسب در روابط دبی طراحی به کار برده شوند. به طوری که با انتخاب سه ایستگاه منتخب به منظور صحت‌سنجی روابط این تحقیق در مقایسه با روش تحلیل فراوانی، در روابط هندسه هیدرولیکی مقطع پر تنها هشت درصد خطا مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: دبی طراحی، مقطع پر، هندسه رودخانه، شاخص سیلابی، مناطق فاقد آمار.

Effect of Geometric Characteristics of Rivers on Design Discharge in Arid and Semiarid Rivers

E. Karrabi^{1*}, M. R. Majdzadeh Tabatabai² and S. H. Ghoreishi Najaf Abadi³

1* - M.Sc. Student, Water and Environmental Engineering Department, Shahid Beheshti University of Tehran

2- Assistant Professor, Water and Environmental Engineering Department, Shahid Beheshti University of Tehran

3- Assistant Professor, Water and Environmental Engineering Department, Shahid Beheshti University of Tehran

Received: 22 January 2014

Accepted: 29 April 2015

Abstract

Appropriate estimates of flows for different return periods are important for floodplain management in designing canal, bridges, culverts and levees. In general, there are two common approaches to determine design flows at ungaged sites: Rainfall-runoff models, which are often costly and time consuming, and regression models, in which design flows of various return periods are related to watershed characteristics such as drainage area, topographic features, soils and climate. In the present study, bankfull-geometry data as well as flashiness index are used as effective independent variables in regression models to evaluate design flows relationships at 41 streamflow-gauging sites in Gara-Gum basin of Khorasan-Razavi province located in an arid and

semiarid region. The bankfull geometry regression is found to be useful to predict design flows and comparable with flow estimates developed by traditional approaches for ungaged sites in the same basin. As, in three stations in this study area, the error in computations, compared with the method of frequency analysis, was 8% for bankfull hydraulic geometry relationship.

Keywords: Design flow, Bankfull, River geometry, Flashiness index, Ungaged sites.

۲۲ ایستگاه هیدرومتری در حوضه آبریز رودخانه رد^{۱۱}، در شمال داکوتای آمریکا، به منظور تخمین دبی‌های طراحی استفاده کردند. آنها پس از تجزیه و تحلیل ۱۰۱ معادله همبستگی نشان دادند معادله‌هایی که در آنها از خصوصیات هندسه هیدرولیکی مقطع پر رودخانه استفاده شده است، نتایج بهتری از روابط سنتی در مناطق فاقد آمار ارائه می‌دهند. البته در معادله‌های آنها خصوصیات ذخیره، شیب رودخانه و نیز عرض مقطع پر به کار برده نشده است.

اندازه و شکل مقاطع عرضی آبراهه و الگوی آن در نتیجه‌ی جریان و رسوب حمل شده توسط رودخانه، نوع مواد تشکیل‌دهنده و پوشش گیاهی کف و کناره‌های آن می‌باشد (لئوپلد، ۱۹۹۴). ابعاد رودخانه به طور معمول در جهت پایین‌دست خود با افزایش دبی و مساحت حوضه آبریز افزایش می‌یابد (لئوپلد، ۱۹۹۴). رودخانه‌های آبرفتی عرض، عمق و شیب خود را در واکنش به تغییرات بار رسوبی و دبی جریان از حوضه آبریز تا رسیدن به شرایط تعادل دینامیک تنظیم می‌کنند. سیلاب‌دشت در رودخانه‌های آبرفتی در اثر جابجایی کانال از راستای دره رودخانه توسط رسوب‌گذاری پیوسته در بارهای نقطه‌ای در قوس داخلی و فرسایش هم‌زمان قوس خارجی شکل می‌گیرد. در کانال پایدار، تعادلی بین رسوب‌گذاری و فرسایش وجود دارد. در نتیجه، هندسه مقطع عرضی کانال در طول زمان ثابت باقی می‌ماند (لئوپلد و مداک^{۱۲}، ۱۹۵۳). با جابجایی کانال، شکل و اندازه‌ی متوسط مقاطع آن ثابت باقی می‌ماند، به شرط آنکه شرایط بالادست تغییر نکرده و کانال در حالت تعادل باقی بماند. ابعاد مقطع پر ممکن است در طول زمان با تغییر اندازه و فراوانی دبی تغییر کند. دبی مقطع پر ممکن است در پاسخ به تغییرات تکاملی طبیعت و تغییرات حوضه آبریز تغییر کند. مقاطع رودخانه‌ای با تغییرات رژیم جریان و رسوب تحمیلی سازگار می‌شوند (جانسون و پادمانابهان، ۲۰۱۰).

دول و همکاران (۲۰۰۲) با تعیین منحنی‌های منطقه‌ای هندسه هیدرولیکی در مناطق کوهپایه‌ای شهری و روستایی به این نتیجه رسیدند که این منحنی‌ها شیب یکسانی داشته، ولی عرض از مبدأ متفاوتی دارند و نشان دادند که مجاری مناطق شهری ابعاد و دبی مقطع پر بزرگ‌تری از مناطق روستایی دارند. سیلاب‌های بزرگ نرخ انتقال رسوب زیاد ولی فراوانی وقوع کمی دارند. اگرچه باید گفت که انتقال رسوب در طی جریان‌های عادی و سیلاب‌های کوچک‌تر در تخمین میزان رسوب سالیانه و ارزیابی پایداری مجرا اهمیت دارند، ولی سیلاب‌های بزرگ حجم بالایی از رسوبات را

مقدمه

تخمین درست جریان در دوره‌های بازگشت مختلف در طراحی پل‌ها، کالورت‌ها و گوره‌ها به منظور مدیریت سیلاب‌دشت حائز اهمیت است. آمارهای ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری مختلف فقط به منظور تخمین دبی طراحی در همان موقعیت مناسب بوده و برای بسیاری از موقعیت‌های احداث سازه‌های آبی مناسب نمی‌باشند (لئوپلد^۱، ۱۹۹۴ و ۱۹۹۷). بنابراین روش‌های ساده و قابل اعتماد به منظور تخمین دبی طراحی در موقعیت‌های فاقد آمار مورد نیاز می‌باشد (هاردیسون^۲، ۱۹۷۱ و ایش^۳، ۱۹۹۳). دو روش معمول برای تعیین دبی طراحی در موقعیت‌های فاقد آمار استفاده شده است: مدل‌های بارش-رواناب، که از خصوصیات حوضه آبریز و بارش به منظور تخمین جریان استفاده می‌کنند. این مدل‌ها ممکن است زمان‌بر و پرهزینه باشند. طریقه دیگر، استفاده از روش‌های رگرسیونی است، که دبی طراحی در دوره‌های بازگشت خاص را به خصوصیات حوضه آبریز از قبیل مساحت حوضه، ویژگی‌های توپوگرافی، خاک و خصوصیات آب و هوایی مرتبط می‌کنند (بنسون^۴، ۱۹۶۸). معادله‌های رگرسیونی که خصوصیات هندسه هیدرولیکی مقطع پر رودخانه را به دبی جریان مرتبط می‌کنند نیز پیشنهاد شده‌اند (دول^۵ و همکاران، ۲۰۰۲؛ پاول^۶ و همکاران، ۲۰۰۶ و جانسون و پادمانابهان^۷، ۲۰۱۰). زمانی که روابط بین جریان و خصوصیات حوضه آبریز ضعیف و ناکارآمد باشد، برای تأمین متغیرهای مستقل برای مقایسه با روابط همبستگی حوضه آبریز می‌توان از این روابط استفاده نمود. استفاده از روابط ترکیبی هندسه هیدرولیکی مقطع پر و خصوصیات حوضه برای تخمین دبی‌های طراحی مورد تأکید قرار گرفته است (ایش، ۱۹۹۳). بعضی از محققین نیز معتقدند که روابط هندسه هیدرولیکی مقطع پر نتایج مناسب‌تری ارائه می‌دهند (وال^۸، ۱۹۸۴؛ هدمن و کاستنر^۹، ۱۹۷۷ و اوسترکامپ و هدمن^{۱۰}، ۱۹۸۲). اگرچه در گذشته رویکرد استفاده از خصوصیات هندسی مقطع پر برای تعیین دبی طراحی مطرح شده، ولی به‌طور گسترده استفاده نشده است (لئوپلد، ۱۹۹۴). جانسون و پادمانابهان (۲۰۱۰) از داده‌های

- 1- Leopold
- 2- Hardison
- 3- Eash
- 4- Benson
- 5- Doll
- 6- Powell
- 7- Johnson and Padmanabhan
- 8- Wahl
- 9- Hedman and Kastner
- 10- Osterkamp and Hedman,

- 11- Red River
- 12- Leopold and Maddock

شاخص سیلابی^۲

شاخص سیلابی رودخانه مفهومی برای اندازه‌گیری سرعت پاسخ جریان رودخانه به یک رویداد سیلابی است. در واقع در این نوع مطالعات نیاز به معیاری برای انعکاس محدوده‌ی دوره بازگشت حول یک جریان مرجع از قبیل جریان مقطع پر می‌باشد. این معیار باید نشان‌دهنده‌ی این باشد که طی چه مدت زمان و با چه مقداری جریان‌های بیشتر از مقطع پر از رودخانه می‌گذرند. افزایش این شاخص، اغلب به علت تغییر در کاربری اراضی، بیان‌کننده‌ی ناپایداری مقطع رودخانه می‌باشد. عوامل مختلفی بر این شاخص تأثیرگذارند. تغییر در کاربری اراضی حوضه آبریز از قبیل شهرسازی، فشرده‌گی خاک، تغییر در مساحت‌های غیر قابل نفوذ، فعالیت‌های کشاورزی و جنگل‌داری و ظرفیت ذخیره رواناب می‌توانند شاخص سیلابی را تحت تأثیر خود قرار دهند. عامل مهم دیگری که این نسبت را تحت تأثیر قرار می‌دهد تغییرات آب و هوا است. تاکنون از چندین نمایه برای تعریف شاخص سیلابی استفاده شده است (هالورسون^۳ و همکاران، ۲۰۱۰).

عبدی و زنجانی جم (۱۳۸۲) مطالعاتی را در شمال غربی ایران به منظور دستیابی به ضریب سیلاب با استفاده از دبی ایستگاه‌های هیدرومتری موجود انجام دادند. آنها پس از معرفی ضریب سیلابی، این ضریب را برای حوضه‌های آبریز قزل اوزن و رودخانه شور تعیین کردند.

قائمی و مرید (۱۳۷۵) در یک مطالعه موردی ضمن معرفی شاخص عامل تأثیرگذار عمق بارندگی، زمان بارندگی، عمق برف انباشته، شیب و شکل حوضه، جنس زمین و پوشش گیاهی و ارزش‌گذاری کمی آن‌ها با نظر کارشناسی، شدت سیلابی زیر حوضه‌های رودخانه کرخه را تعیین نمودند. نحوه انتخاب و کمی کردن عوامل و دخالت دادن نظر کارشناسی در وزن‌های هر یک از عوامل موثر از جمله موارد متکی به قضاوت کارشناسی در این مطالعه محسوب می‌گردد.

اوسترکمپ و هدمن (۱۹۸۲) از عنوان تغییرات دبی به جای شاخص سیلابی برای طبقه‌بندی داده‌های هندسه مقطع پر استفاده کردند. بیکر^۴ و همکاران (۲۰۰۴) نسبتی بر اساس متوسط دبی روزانه ارائه کردند. نسبت آنها با تقسیم تغییرات روزانه متوسط دبی به کل دبی در بازه‌ی زمانی مورد نظر محاسبه می‌شود. جانسون و پادمانابهان (۲۰۱۰) با معرفی دبی مقطع پر به عنوان جریان مرجع، مناسب‌ترین شاخص سیلابی را نسبت دبی با دوره بازگشت ۱۰ سال به دبی با دوره بازگشت ۱/۲۵ سال عنوان کردند. در تحقیق حاضر، از شاخص سیلابی جانسون و پادمانابهان (۲۰۱۰) به عنوان متغیر مستقل در تعیین معادله‌های همبستگی دبی طراحی استفاده شده است.

انتقال می‌دهند که می‌تواند روی خصوصیات مجرا تأثیر بگذارد. به دلیل اینکه بیشترین رسوب انتقالی در طول زمان به وسیله‌ی جریان حول دبی مقطع پر اتفاق می‌افتد، بنابراین رودخانه به وسیله‌ی جریان مقطع پر شکل گرفته و نگهداری می‌شود (لئوپلد و مداک، ۱۹۵۳).

لئوپلد و مداک (۱۹۵۳) از دبی متوسط سالانه به عنوان مرجعی برای اندازه‌گیری عرض، عمق و ابعاد دیگر مقطع پر رودخانه استفاده کردند، اگرچه دبی متوسط سالانه مرجع مناسبی برای تعیین خصوصیات مقطع پر نیست زیرا علائم میدانی قابل شناسایی برای تعیین آن وجود ندارد.

ولمن^۱ (۱۹۵۵) از ارتفاع مقطع پر (یک نشانه‌ی قابل رؤیت)، به عنوان مرجع در رودخانه‌های مختلف استفاده کرد. تاکنون چندین روش دیگر جهت تعیین مرجعی برای تعیین مشخصه مقطع پر استفاده شده است، از قبیل بارهای رسوبی داخل رودخانه، اندازه‌گیری‌های مقطع فعال مرتبط با دبی متوسط سالانه و دبی‌های سیلابی در فراوانی‌های مختلف (هدمن و کاستنر، ۱۹۷۷).

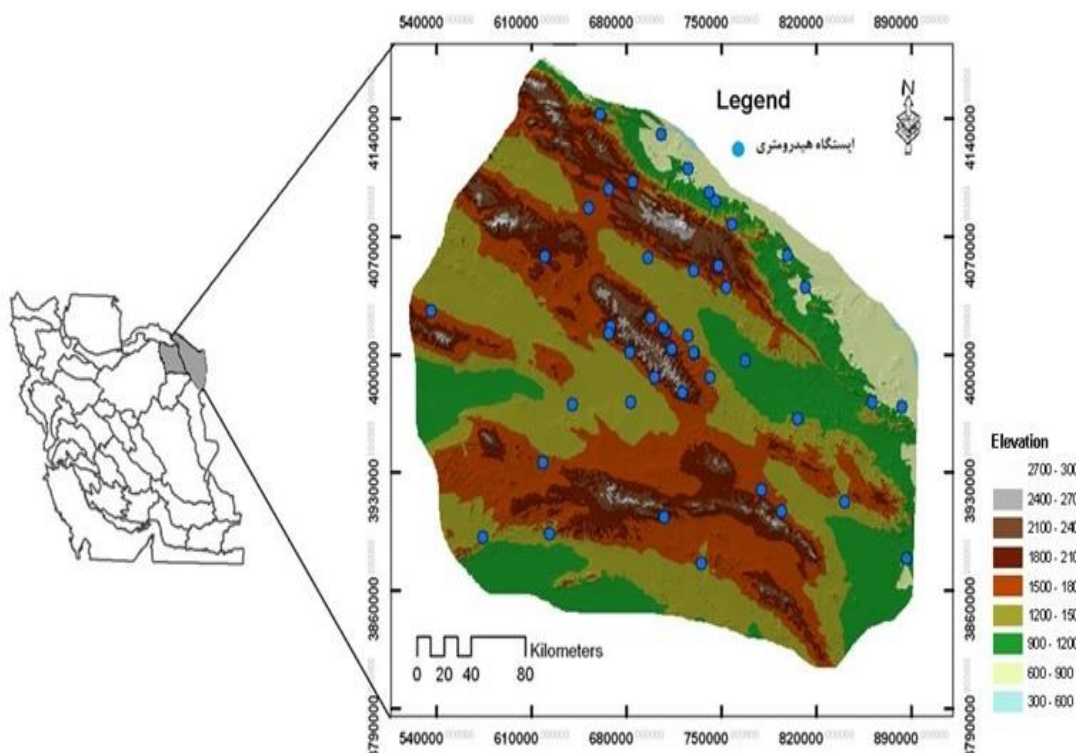
دبی و ارتفاع مقطع پر

سیلاب‌دشت‌ها در رودخانه‌ها در نتیجه‌ی تجمع مواد رسوبی تشکیل می‌شوند (لئوپلد، ۱۹۹۷). سیلاب‌دشت‌ها می‌توانند در مرحله‌ی ترازآب‌کاهی، ترازآب‌زایی و یا تعادل باشند. بیشتر رودخانه‌ها برای انتقال و هدایت همه‌ی سیلاب به اندازه‌ی کافی بزرگ نیستند. بنابراین بخشی از سیلاب بیشتر از ظرفیت آنها بوده و در سیلاب‌دشت پخش می‌شود. سیلاب‌دشت می‌تواند به عنوان اراضی فعال حاشیه رودخانه در نظر گرفته شود. تقریباً تمام رودخانه‌ها و کانال‌ها ظرفیتی شامل دبی اوج سیلاب با دوره بازگشت حدود یک سال را دارند. سیلاب‌های بزرگ‌تر در سیلاب‌دشت جریان می‌یابند. ارتفاع مقطع پر، به ارتفاعی از سطح آب گفته می‌شود که مقطع اصلی را پر کرده و شروع به پهن شدن در سیلاب‌دشت می‌کند. برای بیشتر رودخانه‌ها، دبی مقطع پر، جریان با دوره بازگشت سیلاب ۱/۵ سال می‌باشد (لئوپلد، ۱۹۹۴). اگرچه مفهوم ارتفاع مقطع پر ساده است، ولی تعیین میدانی آن می‌تواند مشکل باشد (لئوپلد، ۱۹۹۷). سازمان جنگل‌داری آمریکا مناسب‌ترین نشانه مقطع پر را سطح سیلاب‌دشت فعال می‌داند. اگرچه تعیین سطح سیلاب‌دشت فعال نیز در عمل مشکل می‌باشد ولیکن رودخانه‌های با سیلاب‌دشت توسعه یافته و به آسانی قابل تشخیص نشانه‌ی دقیق‌تری از مقطع پر می‌دهند (جانسون و پادمانابهان، ۲۰۱۰). ایده‌ی ارتفاع مقطع پر به نظر ساده می‌آید، ولی به چندین روش قابل تفسیر است، که منجر به اندازه‌گیری‌های مختلف عرض، عمق و دبی مقطع پر می‌شود (وال، ۱۹۸۴).

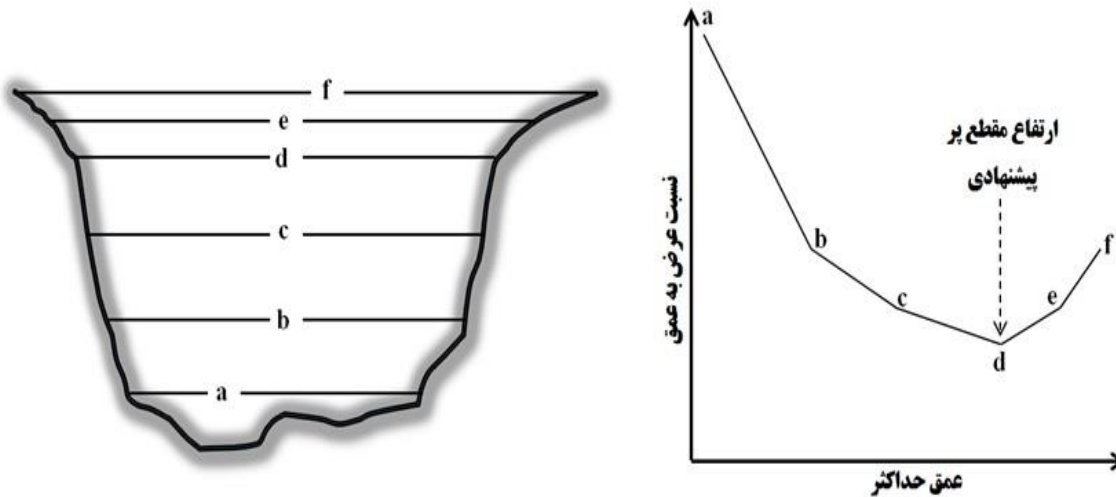
2- Flashiness
3- Halverson
4- Baker

1- Wolman

کرایبی و همکاران: بررسی تأثیر خصوصیات هندسی رودخانه‌ها بر...



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- سطح مقطع و تعیین مقطع پر در یک ایستگاه در رودخانه

عهده‌دار بوده و به رودخانه کشف‌رود می‌ریزد. همچنین دشت مشهد به عنوان مهمترین مرکز اجتماعی-سیاسی منطقه در این حوضه واقع شده است. این حوضه از سمت شمال و شمال غرب هم‌مرز با کشور ترکمنستان و از سمت شرق با افغانستان هم‌مرز می‌باشد. مهم‌ترین رشته کوه‌های حوضه، هزار مسجد در سمت شمال و شمال غربی و بینالود در غرب است (بی‌نام، ۱۳۸۸ الف). موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز قره‌قوم یکی از ۳۸ حوضه بزرگ کشور است که تماماً در استان خراسان رضوی واقع شده است. مساحت کل حوضه برابر ۴۴۴۹۱ کیلومتر مربع است. حوضه مذکور دربرگیرنده دو رودخانه اصلی بوده به طوری که زهکشی حوضه در قسمت مرکزی به وسیله رودخانه کشف‌رود انجام می‌گیرد و در حاشیه جنوب- جنوب‌شرقی هم رودخانه جام‌رود زهکشی حوضه را

$$Q_p = 10^6 (A \times 10^{-8})^{-0.1k} \quad (۱)$$

که A : مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع، k : ضریبی که به شرایط منطقه و دوره بازگشت بستگی دارد و Q_p : دبی حداکثر سیلاب در یک دوره بازگشت معین بر حسب متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. ضریب k برای حوضه‌های آبریز استان خراسان ارائه شده که به صورت زیر است:

$$K = 2.065 + 1.022 \log T - 0.08(\log T)^2 \quad (۲)$$

که در آن T : دوره بازگشت مورد نظر می‌باشد. با استفاده از روابط بالا می‌توان ابتدا k را برای دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه و سپس مقادیر دبی حداکثر سیلاب را برای این دوره‌ها محاسبه نمود.

روابط بنسون: این روابط در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک کاربرد دارد و براساس مدل ریاضی بین سطح و بارندگی سالانه و دبی حداکثر سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف در حوضه‌ها استوار است، به شرح معادله‌های زیر می‌باشد (بنسون، ۱۹۶۸):

$$Q_2 = (DA)^{0.51961} \quad (۳)$$

$$Q_5 = (DA)^{0.46057} \times (P)^{0.21007} \quad (۴)$$

$$Q_{10} = (DA)^{0.42392} \times (P)^{0.32467} \quad (۵)$$

$$Q_{20} = (DA)^{0.38303} \times (P)^{0.42920} \quad (۶)$$

$$Q_{25} = (DA)^{0.36936} \times (P)^{0.46170} \quad (۷)$$

$$Q_{50} = (DA)^{0.32554} \times (P)^{0.55947} \quad (۸)$$

$$Q_{100} = (DA)^{0.28051} \times (P)^{0.65357} \quad (۹)$$

$$Q_{200} = (DA)^{0.23459} \times (P)^{0.74487} \quad (۱۰)$$

که در آن Q_t : دبی حداکثر سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف به مترمکعب در ثانیه و A : سطح حوضه به کیلومتر مربع و P : بارندگی سالانه حوضه به میلی‌متر است.

داده های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های ۴۱ ایستگاه هیدرومتری واقع در استان خراسان رضوی شامل خصوصیات مقاطع عرضی در محل ایستگاه و همچنین خصوصیات حوضه آبریز هر ایستگاه هیدرومتری استفاده شده است. مقاطع عرضی ثبت شده در گزارش‌های هیدرومتری مربوط به آخرین برداشت‌های صحرائی در نرم‌افزار Winxpro3 که توسط هاردی^۱ و همکاران (۲۰۰۵) توسعه داده شده است، وارد و تحلیل گردید. دبی مقطع پر معمولاً به جریانی گفته می‌شود که بعد از وقوع سیلاب، رودخانه را تا بالای لبه و جداره آن پر می‌کند. در واقع حداکثر جریانی است که مجرا می‌تواند آن را انتقال دهد بدون آنکه بر روی دشت سیلابی خود جاری شود.

از نظر ریخت‌شناسی رودخانه، به حالتی از مقطع که در آن نسبت عرض به عمق حداکثر (W/d_{max}) در مقابل عمق حداکثر i (d_{max}) در ارتفاع‌های مختلف مقطع به حداقل برسد، مقطع پر اطلاق می‌شود. دبی متناظر با این مقطع نیز، دبی مقطع پر نامیده می‌شود. بنابراین با استفاده از داده‌های پروفیل مقطع عرضی، رقوم مقطع پر برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه به دست آمد. در این تحقیق، برای تعیین خصوصیات مقطع پر، از این روش استفاده گردید (شکل ۲). به دلیل اهمیت بالایی انتخاب درست دبی ۲۵ ساله برای تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها (بی‌نام، ۱۳۸۴)، و دبی ۵۰ ساله در طراحی آب‌سکن‌ها، گوره‌ها و پل‌ها (بی‌نام، ۱۳۸۸ ب)، و همچنین افزودن متغیر شاخص سیلابی به روابط منطقه‌ای از دبی‌های با دوره بازگشت ۱/۲۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال استفاده شد. کلیه داده‌ها از آخرین گزارش‌های هیدرولوژی و هواشناسی و هیدرومتری ایستگاه‌های مذکور استفاده و در جدول (۱) نشان داده شده است.

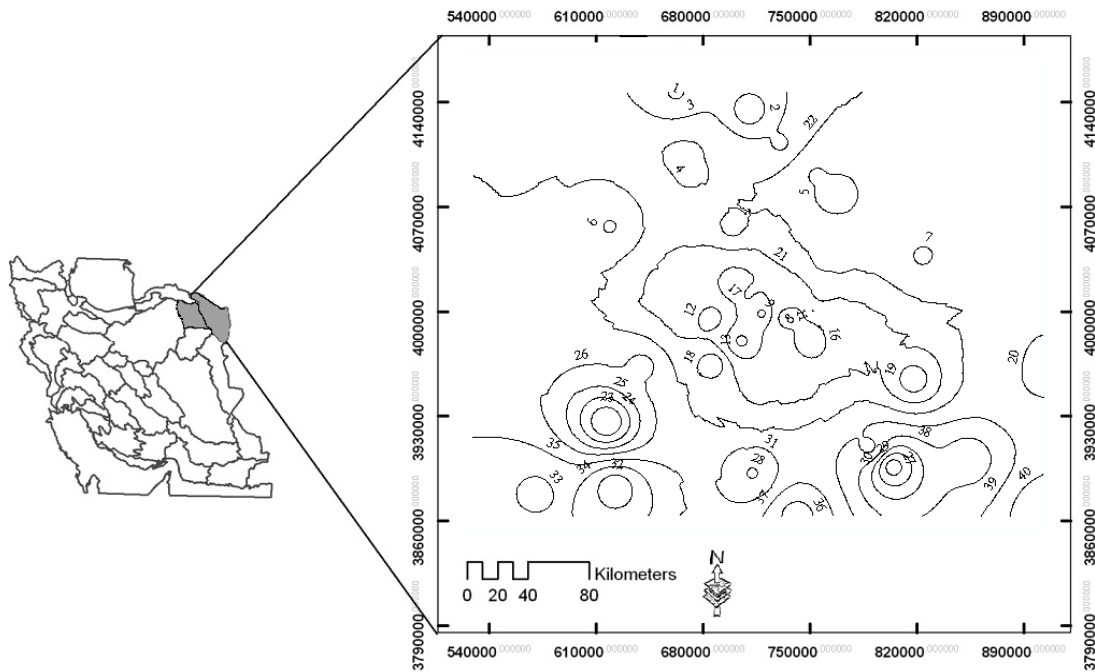
روش‌های سنتی تعیین دبی طراحی

روش‌های متعددی در تخمین دبی طراحی در مناطق خشک و نیمه‌خشک فاقد آمار استفاده می‌شود، از جمله روش‌های همبستگی، معادله دیکنز، روش منحنی پوش و روابط بنسون. در این قسمت دو روش منحنی پوش و روش بنسون که به طور گسترده در مطالعات سیلاب منطقه مورد مطالعه در این تحقیق استفاده شده است (بی‌نام، ۱۳۸۸ الف)، معرفی می‌گردد.

منحنی پوش: جلالی (۱۳۶۸) به منظور بررسی وضعیت سیل‌خیزی پاره‌ای از رودخانه‌های ایران مطالعه‌ای در هشت منطقه گیلان، فارس، کرمان، ارومیه، سفیدرود، خوزستان، مازندران و خراسان انجام داد. در این روش مقدار k به عنوان شاخص سیل‌خیزی در نظر گرفته شد. این رابطه برای رودخانه‌های استان خراسان بزرگ به صورت زیر می‌باشد:

جدول ۱- اطلاعات مورد استفاده در تعیین دبی طراحی در منطقه مورد مطالعه

کد ایستگاه	نام رودخانه	دبی ۲۵ ساله (مترمکعب بر ثانیه)	دبی ۵۰ ساله (مترمکعب بر ثانیه)	شاخص سیلابی	مساحت مقطع پر (مترمربع)	عرض مقطع پر (متر)	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	محیط حوضه (کیلومتر)	بلندترین طول (کیلومتر)
۶۶-۰۱۱	ارچنگان	۳۳۴/۱	۳۷۳/۷	۱۲/۷	۴/۸	۲۱	۳۲۵/۵	۱۱۰/۹	۳۶/۲
۴۷-۰۴۳	بار	۹۱/۴	۱۱۳	۶/۴	۲/۹	۱۲/۴	۱۱۷/۶	۶۰/۹	۲۶/۵
۶۴-۰۰۳	رادکان	۱۰۱/۷	۱۲۳/۱	۱۰/۶	۹/۹	۲۱/۳	۲۵۱	۹۱/۶	۳۵/۶
۶۴-۰۳۳	کشف رود	۳۰۳/۹	۴۰۷/۳	۶/۷	۴۰/۷	۳۹/۸	۹۰۰۵/۳	۵۰۲	۱۵۷/۹
۴۷-۰۷۳	ششطراز	۱۵۸	۲۱۵	۴/۸	۶/۱	۱۵	۷۹۷/۴	۱۸۹/۶	۶۴/۵
۶۴-۰۳۷	کشف رود	۸۰۵/۵	۱۱۳۳/۲	۱۱/۲	۴۵	۴۹	۱۴۸۱۳/۱	۷۳۹/۷	۲۷۴/۷
۶۴-۰۱۵	ارداک	۳۴۷	۴۷۱	۱۰	۱۴/۹	۲۱	۴۹۷	۱۳۱/۷	۴۵/۸
۴۷-۱۶۶	سنگرد	۷۳۴	۱۰۳۰	۱۹/۸	۱۶/۱	۳۷/۴	۱۱۸۵	۲۱۸/۴	۵۲/۵
۶۴-۰۱۷	زشک	۱۹/۶	۲۴	۳/۵	۲/۳	۴/۵	۶۹	۴۲/۱	۱۶/۶
۶۴-۰۱۹	زشک	۷۷	۱۱۵	۶/۲	۸/۵	۸/۴	۲۰۳/۶	۷۷/۲	۳۲/۷
۶۴-۰۲۳	دهبار	۴۶	۵۸/۱	۶/۳	۲/۲	۷	۸۸/۸	۵۴/۳	۲۳/۹
۶۴-۰۲۷	جاغرق	۶۹/۳	۱۱۱/۶	۱۱/۷	۷/۱	۷/۸	۷۳/۳	۶۰/۱	۲۶/۴
۶۴-۰۳۹	کشف رود	۸۵۷/۲	۱۰۷۶/۴	۹/۱	۴۵/۹	۳۳/۳	۱۶۷۸۷	۸۴۹/۹	۳۰۷/۲
۱۱-۰۰۲	اترک	۱۰۹/۶	۱۳۵/۶	۱۱/۵	۸/۲	۱۵/۳	۲۳۴/۵	۸۳/۸	۲۷/۱
۶۲-۰۰۹	تیمک	۲۰۲/۵	۲۳۹	۱۵/۲	۹/۹	۱۷	۵۰۴/۵	۱۱۲/۵	۳۴
۴۷-۰۶۹	کال سالار	۳۳۲/۷	۳۸۱/۹	۷/۲	۶/۵	۱۸/۳	۲۰۹۴/۴	۲۹۹/۶	۸۰/۵
۶۴-۰۹۵۳	کارده	۱۲۷/۲	۱۴۸/۳	۱۰/۳	۹/۸	۱۷/۶	۲۱۱/۸	۸۰/۲	۲۹/۶
۶۵-۰۰۱	چپچه	۲۰۰/۴	۲۳۱/۷	۱۲/۲	۱۰/۳	۲۲/۷	۸۴۰/۷	۱۷۶/۳	۶۹/۴
۶۷-۰۰۱	قوزقان چای	۲۹۲	۳۳۶	۷/۷	۶/۸	۲۲/۶	۱۲۳۶/۷	۲۴۳/۵	۸۰/۸
۴۷-۰۴۵	کالشور	۵۱۴	۷۰۹	۱۲/۵	۱۷/۹	۱۷/۶	۹۴۴۰/۸	۵۲۸	۱۷۰/۹
۴۷-۰۵۳	کامیستان	۱۲۵	۱۵۹	۱۰/۸	۸/۱	۱۶/۴	۹۲/۲	۴۶/۲	۱۵/۸
۴۷-۰۸۱	خرو	۹۹/۸	۱۳۶/۴	۳/۵	۱	۷	۵۹/۹	۳۵/۷	۱۲/۶
۶۶-۰۱۰	قره سو	۲۸۷/۲	۳۳۶/۹	۱۳/۷	۹/۷	۱۱/۷	۱۶۸/۴	۷۲/۸	۳۳
۶۲-۰۱۱	جامرود	۲۸۷/۷	۳۳۸/۵	۸/۲	۴۱/۷	۲۷/۷	۱۱۳۶۴/۷	۶۹۲/۵	۱۹۳/۷
۶۴-۰۱۳	خرم دره	۲۱/۱	۲۴/۲	۵/۶	۴/۱	۴/۵	۴۰/۹	۴۶/۲	۲۰/۴
۴۷-۰۷۹	دیز باد	۶۲/۴	۸۶/۸	۶/۲	۱/۲	۶	۲۸/۸	۲۳	۷/۲
۴۷-۰۳۹	کالشور	۱۹۶	۲۲۹	۱۱/۳	۱۳/۱	۳۴/۴	۴۰۷۵/۷	۳۳۳/۲	۱۱۹/۵
۶۶-۰۰۱	لایین سو	۱۹۵	۲۵۵	۱۰/۲	۷	۱۴	۲۲۲/۳	۸۲/۳	۳۱/۱
۴۷-۰۴۱	فاروب رومان	۱۷۸	۲۳۸/۷	۹/۲	۱۱/۲	۲۳/۱	۱۵۱	۶۲/۴	۲۰/۸
۴۷-۰۲۳۳	کال خالدار	۱۶۵/۲	۱۹۵/۳	۷/۷	۷/۳	۱۴/۲	۲۸۴/۶	۱۰۰/۴	۴۲/۴
۴۷-۰۷۱	شصت دره	۱۵۰	۱۹۱	۱۴/۱	۹/۹	۱۰/۵	۷۶	۴۲/۷	۱۶/۷
۶۷-۰۰۳	گرنی	۶۱/۶	۹۵/۹	۹/۸	۳/۳	۷	۸۱/۷	۵۶/۵	۲۰/۴
۶۴-۰۲۹	طرق	۱۲۵/۵	۱۷۱/۶	۹/۲	۷/۱	۲۵/۷	۱۳۹/۷	۵۹/۳	۲۴
۶۴-۰۵۹	کلاته منار	۱۴۱/۴	۱۵۹/۳	۵	۷/۸	۱۴/۹	۲۳۳/۷	۸۸/۱	۲۷/۳
۶۲-۰۰۳	قلندر آباد	۸۰/۴	۱۰۳/۹	۱۱/۷	۱۱/۶	۱۸	۱۳۰/۶	۶۱/۶	۱۸/۱
۶۲-۰۰۵	بردو	۱۴۲/۷	۲۰۴/۸	۲۰/۹	۲/۱	۱۰/۱	۸۶/۱	۴۴/۹	۱۵/۳
۶۸-۰۰۳	درونگر	۱۰۹	۱۳۰/۱	۴/۷	۱۳/۸	۱۳/۹	۲۱۷۴/۶	۲۵۷/۶	۱۱۴/۴
۶۴-۰۱۱	گلمکان	۱۶/۸	۳۷/۳	۶/۷	۱	۶/۶	۴۸/۴	۴۷/۱	۲۰
۶۸-۰۰۵	درونگر	۱۵۴/۴	۱۷۵/۷	۵/۸	۷	۱۴/۶	۹۳۷/۹	۱۷۷	۵۹/۸
۶۴-۰۰۷	فریزی	۹۴/۱	۱۰۶	۴/۲	۱۳/۴	۱۵	۲۸۳/۴	۸۵/۶	۲۹/۱
۴۷-۰۵۱	نشیب	۱۹۵	۲۸۷	۱۲/۱	۲/۳	۹/۶	۱۱۳/۲	۵۸/۴	۱۷/۷



شکل ۳- مقادیر شاخص سیلابی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۲- روابط رگرسیونی انتخابی در منطقه مورد مطالعه

دوره بازگشت (سال)	معادله‌های مربوط به خصوصیات حوضه	ضریب تعیین	ضریب تعیین اصلاح شده	شماره معادله
۲۵	$Q_{25} = 14.637.(DA)^{0.389}$	۰/۵۶۴	۰/۵۵۳	(۱۱)
	$Q_{25} = 2.876.(DA)^{0.366} .(Flashiness)^{0.819}$	۰/۷۱۹	۰/۷۰۴	(۱۲)
۵۰	$Q_{50} = 20.385.(DA)^{0.375}$	۰/۵۳۷	۰/۵۲۵	(۱۳)
	$Q_{50} = 3.646.(DA)^{0.350} .(Flashiness)^{0.866}$	۰/۷۱۴	۰/۶۹۹	(۱۴)
دوره بازگشت (سال)	معادله‌های مربوط به خصوصیات مقطع پر	ضریب تعیین	ضریب تعیین اصلاح شده	شماره معادله
۲۵	$Q_{25} = 4.915.(W_{bf})^{1.261}$	۰/۶۵۱	۰/۶۴۲	(۱۵)
	$Q_{25} = 2.719.(W_{bf})^{1.142} .(Flashiness)^{0.423}$	۰/۶۸۷	۰/۶۷۰	(۱۶)
۵۰	$Q_{50} = 7.139.(W_{bf})^{1.214}$	۰/۶۱۸	۰/۶۰۹	(۱۷)
	$Q_{50} = 3.563.(W_{bf})^{1.075} .(Flashiness)^{0.496}$	۰/۶۶۹	۰/۶۵۲	(۱۸)

ارتباط معنادار بین عرض از مبدأ و شیب روابط مختلف رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به فرض وجود رابطه خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته و پیروی باقیمانده‌ها از توزیع نرمال با واریانس ثابت (هلسل و هیرچ^۱، ۲۰۰۲)، از نمودار باقیمانده‌ها^۲ برای بررسی این فرض استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab حالت‌های مختلف وجود متغیرها بررسی گردید و در

نتایج و بحث

در این تحقیق مدل‌های رگرسیونی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. هر یک از مدل‌های رگرسیونی به منظور شناسایی مدل قابل قبول بررسی شد. برای اطمینان از وجود ارتباط بالقوه منطقی، عرض از مبدأ و شیب هر رابطه رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از آزمون‌های t -statistic، p -value و فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای عرض از مبدأ و شیب ضرایب هر رابطه استفاده شد. این اطلاعات آماری به منظور بررسی وجود

1- Helsel and Hirsch
2- Residual Plot

شدند. مساحت حوضه به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی، عرض مقطع پر با تحلیل مقطع عرضی مستخرج از گزارش‌های هیدرومتری ایستگاه و شاخص سیلابی نیز از گزارش‌های هیدرولوژی منتشر شده از ایستگاه‌های منتخب تعیین شدند (بی‌نام، ۱۳۸۸ الف).

نتایج حاصل از مقایسه روش‌های تخمین دبی طراحی در مناطق خشک و نیمه خشک با روش تحلیل فراوانی در جدول (۴) ارائه شده است. در این مقایسه از معادله‌های (۱۲) و (۱۴) برای تخمین دبی‌های ۲۵ و ۵۰ ساله از اطلاعات خصوصیات حوضه آبریز استفاده شده است. از معادله‌های (۱۶) و (۱۸) نیز برای تخمین دبی‌های ۲۵ و ۵۰ ساله از اطلاعات هندسه هیدرولیکی مقطع پر استفاده شده است. همچنین نتایج حاصل با دو روش مرسوم منحنی پوش و روش بنسون در منطقه مورد مطالعه نیز مقایسه به عمل آمده است. در ایستگاه طاغون برای دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله، نتایج حاصل از روابط رگرسیونی در مقایسه با روش تحلیل فراوانی از دو تا دوازده درصد انحراف را نشان می‌دهد. در این ایستگاه دو روش منحنی پوش و بنسون نیز از ده تا سی درصد انحراف نسبت به روش تحلیل فراوانی را نشان می‌دهد. در ایستگاه کارده برای دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله، نتایج حاصل از روابط رگرسیونی در مقایسه با روش تحلیل فراوانی از پنج تا شانزده درصد انحراف را نشان می‌دهد. در این ایستگاه دو روش منحنی پوش و بنسون نیز از هجده تا شصت و نه درصد انحراف نسبت به روش تحلیل فراوانی را نشان می‌دهد. در ایستگاه قره تیکان برای دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله، نتایج حاصل از روابط رگرسیونی در مقایسه با روش تحلیل فراوانی از هفت تا بیست و هفت درصد انحراف را نشان می‌دهد. در این ایستگاه دو روش منحنی پوش و بنسون نیز از چهارده تا یک‌صد و سی درصد انحراف نسبت به روش تحلیل فراوانی را نشان می‌دهد.

در ایستگاه‌های منتخب نتایج حاصل از روابط رگرسیونی این تحقیق درصد انحراف کمتری از روش تحلیل فراوانی نسبت به روابط منحنی پوش و روش بنسون نشان می‌دهد. همچنین روابط رگرسیونی که در آن از خصوصیات حوضه آبریز استفاده شده است به طور میانگین چهارده و نیم درصد انحراف، روابط رگرسیونی که در آن از خصوصیات هندسه هیدرولیکی مقطع پر استفاده شده است به طور متوسط هشت درصد انحراف، روش منحنی پوش به طور متوسط شصت و هفت درصد انحراف و روش بنسون شانزده درصد انحراف از روش تحلیل فراوانی را نشان می‌دهد. به طور کلی، روش رگرسیونی منطقه‌ای هندسه هیدرولیکی مقطع پر نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های تخمین دبی طراحی در سه ایستگاه منتخب در منطقه مورد مطالعه ارائه دادند.

نهایت از مجموع ۳۵ متغیر پنج متغیر مرتبط با خصوصیات هندسه هیدرولیکی مقطع پر و ۳۰ متغیر مربوط به خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز، هفت متغیر نسبت سیلابی، عرض مقطع پر، مساحت مقطع پر، مساحت حوضه آبریز، محیط حوضه آبریز، ارتفاع متوسط حوضه آبریز و بارش متوسط سالانه انتخاب شدند.

به منظور بررسی و مقایسه تأثیر خصوصیات هندسی رودخانه‌ها و حوضه آبریز در تخمین دبی‌های طراحی در نهایت متغیرها به دو دسته‌ی متغیر حوضه آبریز (مساحت حوضه) و متغیر مربوط به خصوصیات مقطع پر (عرض مقطع پر) تقسیم شدند. نتایج حاصل از تشکیل روابط رگرسیونی در جدول (۲) نشان داده شده است. همچنین از شاخص سیلابی به منظور بررسی تأثیر شدت سیلابی بر دبی طراحی نیز استفاده شد. برای تعیین شاخص سیلابی در مناطق فاقد آمار پس از تعیین دبی با دوره بازگشت ۱۰ و ۱/۲۵ سال در ایستگاه‌های دارای آمار، در محیط ArcGIS اقدام به درونبایی نقاط در منطقه مورد مطالعه به عمل آمد (شکل سوم). مطابق نقشه درون‌یابی شده، هر چقدر که به سمت جنوب و غرب حوضه می‌رویم نسبت سیلابی نیز به همان میزان افزایش می‌یابد. در واقع هرچه درجه خشکی منطقه افزایش یابد شدت سیلاب‌ها نیز افزایش می‌یابد که این نشان‌دهنده‌ی مهم‌ترین ویژگی مناطق خشک و نیمه خشک است.

روابط رگرسیونی حاصل از متغیر مقطع پر ضریب تعیین (R) بهتری نشان دادند، به طوری که برای دوره بازگشت ۲۵ سال با مساحت حوضه ضریب تعیین ۰/۵۶۴ و با عرض مقطع پر ضریب تعیین ۰/۶۵۱ و برای دوره بازگشت ۵۰ سال با مساحت حوضه ضریب تعیین ۰/۵۳۷ و با عرض مقطع پر ضریب تعیین ۰/۶۱۸ می‌باشد. همچنین استفاده از متغیر شاخص سیلابی^۱ نیز در افزایش ضریب تعیین تأثیرگذار بوده است. این افزایش در روابط رگرسیونی حوضه آبریز بیشتر از روابط رگرسیونی مقطع پر بوده است که این می‌تواند نشان دهنده اثرپذیری بیشتر شاخص سیلاب از خصوصیات حوضه باشد.

در روابط فوق Q_{25} : دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال بر حسب مترمکعب بر ثانیه، Q_{50} : دبی با دوره بازگشت ۵۰ سال بر حسب مترمکعب بر ثانیه، DA : مساحت حوضه آبریز بر حسب کیلومتر مربع، W_{bf} : عرض مقطع پر بر حسب متر و $Flashiness$: شاخص سیلابی می‌باشد.

صحت‌سنجی روابط منطقه‌ای

سه ایستگاه منتخب برای صحت‌سنجی روابط منطقه‌ای در حوضه مورد مطالعه انتخاب شدند. ایستگاه‌های طاغون، کارده و قره تیکان که بر روی رودخانه‌هایی با همین نام واقع شده‌اند. مشخصات ایستگاه‌های منتخب در جدول (۳) نشان داده شده است. مساحت حوضه، عرض مقطع پر و شاخص سیلابی ایستگاه‌های منتخب به منظور استفاده در روابط منطقه‌ای تعیین

جدول ۳- مشخصات سه ایستگاه منتخب برای مقایسه روش‌های مختلف

کد ایستگاه	نام رودخانه	شاخص سیلابی	مساحت مقطع پر (مترمربع)	عرض مقطع پر (متر)	مساحت حوضه (کیلومترمربع)	محیط حوضه (کیلومتر)	طول بلندترین آبراهه (کیلومتر)
۴۷-۰۹۳	طاغون	۷	۶/۶۴	۹/۵۰	۸۲/۸۲	۴۸/۴۰	۱۸/۶۰
۶۴-۰۴۹	کارده	۱۱/۲	۷/۳۴	۱۵/۲۱	۴۴۷/۶۰	۱۱۶	۴۶/۷۰
۶۶-۰۰۳	قره تیکان	۱۰/۸	۶/۴۳	۱۷/۸	۸۵۰/۵۰	۱۵۱	۵۵/۲۶

جدول ۴- مقایسه نتایج تخمین دبی طراحی با روش تحلیل فراوانی در سه ایستگاه منتخب

دوره بازگشت (سال)	ایستگاه		طاغون		کارده		قره تیکان	
	روش	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	درصد انحراف	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	درصد انحراف	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	درصد انحراف	
۲۵	تحلیل فراوانی	۸۰/۸	-	۱۷۸/۶	-	۱۹۷/۴	-	
	منحنی پوش	۸۸/۷	-۱۰	۲۷۳	-۵۳	۴۱۸/۶	-۱۱۲	
	بنسون	۶۶/۶	۱۸	۱۴۵/۵	۱۹	۱۶۹/۴	۱۴	
	معادله (۱۲)	۷۱/۲	۱۲	۱۹۴/۲	-۹	۲۳۸	-۲۱	
	معادله (۱۶)	۷۹/۲	۲	۱۶۹/۱۲	۵	۲۳۸/۸	-۲۱	
۵۰	تحلیل فراوانی	۹۴/۵	-	۲۱۴/۹	-	۲۳۹	-	
	منحنی پوش	۱۲۲/۹	-۳۰	۳۶۳/۷	-۶۹	۵۴۹/۶	-۱۳۰	
	بنسون	۸۱/۷	۱۴	۱۷۶/۴	۱۸	۲۰۱/۴	۱۶	
	معادله (۱۴)	۹۲/۲	۲	۲۵۰/۲	-۱۶	۳۰۳/۴	-۲۷	
	معادله (۱۸)	۱۰۵/۲	-۱۱	۲۲۰/۳	-۳	۲۵۶/۳	-۷	

نتیجه‌گیری

معادله‌های رگرسیونی برای تخمین دبی‌های ۲۵ و ۵۰ ساله در منطقه مورد مطالعه با استفاده از خصوصیات حوضه آبریز و خصوصیات مقطع پر ارائه شدند. شاخص سیلابی نیز به عنوان متغیر مناسب در معادله‌های جداگانه‌ای به کار گرفته شد. همچنین از روش منحنی پوش، روابط بنسون و روش تحلیل فراوانی به منظور مقایسه نتایج روابط رگرسیونی منطقه‌ای در سه ایستگاه منتخب استفاده شد. ضریب همبستگی معادله‌های تک متغیره‌ی وابسته به مساحت حوضه با اضافه شدن متغیر شاخص سیلابی ۳۰ درصد افزایش می‌یابد ولی شاخص سیلابی در روابط رگرسیونی مقطع پر تأثیر چندانی در افزایش دقت پیش‌بینی دبی طراحی ندارد. همچنین پس از بررسی تأثیر مساحت مقطع پر در افزایش دقت معادله‌ها، نتایج مربوطه نشان داد که عرض مقطع پر دقت بیشتری از مساحت مقطع پر در تخمین دبی طراحی دارد. این تأیید کننده‌ی این نکته است که در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک دبی مقطع پر نقش به‌سزایی در عرض رودخانه دارد.

نتایج نشان داد با توجه به درصد انحراف کمتر روابط رگرسیونی منطقه‌ای هندسه هیدرولیکی مقطع پر نسبت به روابط رگرسیونی منطقه‌ای حوضه آبریز در ایستگاه‌های منتخب، خصوصیات هندسه مقطع می‌تواند تصویر بهتری از نحوه‌ی پخش آب در سیلاب‌دشت نسبت به خصوصیات حوضه ارائه دهد. برای هر سه ایستگاه منتخب نتایج حاصل از روابط منطقه‌ای انحراف کمتری از نتایج تحلیل فراوانی داشته است، بنابراین با استفاده از نتایج به‌دست آمده و به کمک این روابط می‌توان در هر نقطه از حوضه آبریز به‌خصوص نواحی که فاقد آمار کافی برای مطالعات هیدرولوژی هستند از روابط منطقه‌ای استفاده کرد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی تحت عنوان "تحلیل منطقه‌ای هندسه هیدرولیکی در رودخانه‌های فصلی" می‌باشد که از محل اعتبارات شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی اجرا گردیده است.

منابع

- ۱- بی‌نام. ۱۳۸۴. راهنمای پهنه بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه، نشریه شماره ۳۰۷، دفتر امور فنی و تدوین استانداردها، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- ۲- بی‌نام. ۱۳۸۸ الف. مطالعات منابع آب حوضه آبریز قره‌قوم و کویر مرکزی گزارش هیدرولوژی و سیلاب، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی.
- ۳- بی‌نام. ۱۳۸۸ ب. راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن‌های رودخانه‌ای، نشریه شماره ۵۱۶، دفتر امور فنی و تدوین استانداردها، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- ۴- جلالی، ح. ۱۳۶۸. بررسی سیلاب‌های ایران، مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران، ص ۱۰۲-۳۷.
- ۵- قائمی، هب و س. مرید، ۱۳۷۵. مدل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های کرخه. مجله نیوار، (۳۰): ۲۷-۱۰.
- ۶- عبدی، پ. و م. زنجانی جم. ۱۳۸۲. محاسبه ضریب سیل‌خیزی با استفاده از GIS در سطح استان زنجان. همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور، تهران.
- 7- Baker, D. B., Richards, P. R., Loftus, T. T. and J.W. Kramer. 2004. A new flashiness index: Characteristics and applications to Midwestern rivers and streams. *Journal of the American Water Resources Association*, 40(2): 503-522.
- 8- Benson, M. A. 1968. Uniform flood frequency estimating methods for Federal Agencies. *Water Resources Research*, 4(5): 891-908.
- 9- Doll, B. A., Wise-Frederick, D. E., Buckner, C. M., Wilkerson, S. D., Harman, W. A., Smith, R. E. and J. Spooner. 2002. Hydraulic geometry relationships for urban streams throughout the Piedmont of North Carolina. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(3): 641-651.
- 10-Eash, D. A. 1993. Water-resources investigations report 93-4062, Estimating design-flood discharges for streams in Iowa using drainage-basin and channel-geometry characteristics. U.S. Geological Survey, Iowa City, IA.
- 11-Halverson, B., Nairn, R., Brunton, A. and J.P. Selegan. 2006. Analysis of altered hydrologic regime in the Clinton river. *Proceeding of the third Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference*, Reno, NV, 2-6 April.
- 12-Hardison, C. H. 1971. Prediction error of regression estimates of streamflow characteristics at ungaged sites. *U.S. Geological Survey Professional, Paper 750-C*, pp. 228-236.
- 13-Hardy, T., Palavi, P. and M. Dean. 2005. WinXSPRO, A channel cross section analyzer. User's manual, version 3.0. General technical report. RMRS-GTR-147, Fort Collins, Co., USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 94 p.
- 14-Hedman, E. R. and W.M. Kastner. 1977. Streamflow characteristics related to channel geometry in the Missouri river basin. *U.S. Geological Survey Journal of Research*, 5(3): 285-300.
- 15-Helsel, D. R. and R. M. Hirsch. 2002. Statistical methods in water resources. U.S. Geological Survey, *Techniques of Water Resources Investigations*, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation.
- 16-Johnson, B. H. and G. Padmanabhan. 2010. Regression estimates of design flows for ungaged sites using bankfull geometry and flashiness. *Journal of CATENA*, 81(2): 117-125.
- 17-Leopold, L. B. 1994. *A view of the river*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- 18-Leopold, L. B., 1997. *Water, rivers, and creeks*. University Science Books, Sausalito, CA.

- 19-Leopold, L. B. and T. Maddock. 1953. The Hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. USGS Professional, Paper 252, US Government Printing Office, Washington, DC.
- 20-Osterkamp, W. R. and E. R. Hedman. 1982. Perennial-stream flow characteristics related to channel geometry and sediment in the Missouri river basin. Geological Survey Professional, Paper 1242, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- 21-Powell, G. E., Mecklenberg, D. and A. Ward. 2006. Evaluating channel-forming discharges: A study of large rivers in Ohio. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers, 49(1): 35-46.
- 22-Wahl, K. L. 1984. Evolution of the use of channel cross-section properties for estimating stream flow characteristics. Selected papers in the hydrologic sciences, U. S. Geological Survey, Water-Supply, Paper 2262, pp. 53-66.
- 23-Wolman, M. G. 1955. The natural channel of Brandywine Creek, Pennsylvania. U. S. Geological Survey Professional, Paper 271.