

منابع آب و طراحان سازه هیدرولیکی استفاده شوند. واژه‌های کلیدی: تلفات انتقال، رودخانه‌های فصلی، معادله‌های همبستگی، حوزه آبخیز قره‌قوم و حجم جریان بالادست.

مقدمه

کشور ما از لحاظ شرایط آب و هوایی در زمره مناطق خشک طبقه بندی می‌شود. در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه خشک، جریان آب سطحی به طور دائمی برقرار نمی‌باشد و اغلب به دنبال بارندگی‌های فصلی، جریان سیلابی رخ می‌دهد. به همین علت، بستر رودخانه پیش از سیلاب خشک است و خاک ناحیه زیرین آن در شرایط غیراشباع قرار دارد. بنابراین، زمانی که در رودخانه‌های مناطق خشک، سیلابی رخ می‌دهد، حجم جریان با حرکت به سمت پایین دست رودخانه در اثر نفوذ به ناحیه غیراشباع کاهش می‌یابد، که این کاهش حجم، تلفات انتقال نامیده می‌شود. بخشی از این تلفات صرف اشباع نمودن سواحل رودخانه می‌گردد، مقداری از آن نیز به رطوبت خاک اضافه می‌شود و قسمتی از آن منجر به تغذیه آب زیرزمینی می‌گردد. بخش کوچکی از تلفات انتقال نیز شامل تبخیر از سطح رودخانه است. از آنجا که تلفات انتقال باعث کاهش حجم سیلاب می‌گردد، لازم است تا روابط مناسبی برای محاسبه تلفات انتقال توسعه یابد. همچنین، برآورد تلفات انتقال منجر به برآورد مناسبی از میزان نفوذ و توانمندی تغذیه آب‌های زیرزمینی از طریق رودخانه‌ها می‌گردد.

اگر چه اهمیت تلفات انتقال در مناطق خشک از سالیان دور مورد توجه بوده است، اما اطلاعات چندانی از فرآیند حاکم بر شکل‌گیری این تلفات در دست نیست [۱۱]. به علاوه، وجود این رودخانه‌ها در مناطق خشک و محروم که اغلب فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری می‌باشند، برآورد تلفات انتقال در این مناطق را دشوار می‌نماید. در هر حال دیدگاه‌های متعدد و متفاوتی در تحلیل جریان و برآورد تلفات انتقال در رودخانه‌های خشک وجود دارد. کاتالدو و همکاران [۵]، جمع بندی مناسبی از این روش‌ها ارائه داده‌اند و آنها را در قالب شش روش مختلف طبقه بندی نموده‌اند که در ادامه به طور خلاصه به آنها اشاره می‌گردد.

- معادلات همبستگی ساده: در این روش حجم تلفات انتقال بر اساس یک معادله همبستگی بر حسب متغیرهای مستقل مؤثر بر تلفات انتقال بیان می‌گردد. سپس با استفاده از حجم جریان‌های

توسعه معادله‌های همبستگی برای برآورد تلفات انتقال در رودخانه‌های فصلی حوزه آبخیز قره‌قوم

ساناز بمبئی چی^۱، سید محمود حسینی^۲ و بیژن قهرمان^۳
تاریخ دریافت: ۸۹/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۸۹/۰۸/۰۵

چکیده

در رودخانه‌های مناطق خشک، جریان آب سطحی به طور دائمی برقرار نمی‌باشد و محدود به دوره‌های زمانی کوتاه مدت می‌شود که پس از آن دوباره رودخانه خشک می‌گردد. لذا هنگام وقوع سیلاب، حجم جریان در پایین دست، به علت نفوذ به بستر رودخانه، کاهش می‌یابد، که این کاهش حجم، تلفات انتقال نامیده می‌شود. در این پژوهش سعی می‌شود تا با توسعه معادله‌های همبستگی برای حوزه آبخیز قره‌قوم در خراسان رضوی، تلفات انتقال در رودخانه‌های این حوزه را برآورد نمود. برای این منظور، اطلاعات موجود در ایستگاه‌های آب‌سنجی و ویژگی‌های فیزیکی رودخانه‌های کشف رود، کارده و زشک در این حوزه استخراج، تحلیل و مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور تولید معادله‌های همبستگی، تلفات انتقال در کیلومتر اول از ابتدای هر بازه به عنوان متغیر وابسته معادله در نظر گرفته شد و چگونگی وابستگی آن به متغیرهای مستقل حجم جریان بالادست، زمان تداوم جریان، شاخص رطوبت پیشین، هدایت هیدرولیکی، شیب و عرض رودخانه مورد آزمایش قرار گرفت. در نتیجه این پژوهش مشخص شد که مؤثرترین متغیر مستقل در برآورد تلفات انتقال، حجم جریان بالادست می‌باشد. سه معادله همبستگی (خطی و غیر خطی) برای پیش‌بینی تلفات انتقال بر حسب حجم جریان بالادست و عرض رودخانه، از میان روابط موجود توصیه می‌شوند. با استفاده از این روابط می‌توان تلفات انتقال را در انتهای هر کیلومتر از مسیر رودخانه، با داشتن حجم جریان در آغاز آن کیلومتر، برآورد نمود. چنین روابطی می‌توانند توسط بهره‌برداران

۱- دانشجوی دکتری عمران (هیدرولیک)، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد shossein@Ferdowsi.um.ac.ir
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

آبمودهای حاصل در نقاط مختلف پایین دست، میزان تلفات انتقال مشخص می‌گردد. ال-هامس و ریچاردز [۶]، و شارما و مورتی [۱۴] از روش روندیابی برای برآورد تلفات انتقال استفاده نموده‌اند. - روش بیلان آب‌شناختی: در این روش با استفاده از معادله بیلان، تغییرات در ذخیره یک بازه به صورت جمع جبری جریان ورودی، جریان خروجی، تبخیر، جریان عرضی، ذخیره سواحل و... در نظر گرفته می‌شود و پس از برآورد هر یک از این اجزاء به طور جداگانه، میزان تلفات انتقال از معادله بیلان مشخص می‌گردد. گودریچ و همکاران (۲۰۰۴)، و عبدالرزاق و سورمن (۱۹۹۴) با استفاده از این روش به برآورد تلفات انتقال پرداخته‌اند [به نقل از ۵]. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌های انجام شده در زمینه تلفات انتقال در نواحی خشک کشورهای استرالیا، امریکا، آفریقا، عربستان و هندوستان انجام شده است. بنابراین انجام چنین پژوهش‌هایی در ایران ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش، یافتن روشی ساده و قابل کاربرد برای برآورد تلفات انتقال در رودخانه‌های فصلی حوزه آبخیز قره‌قوم در خراسان رضوی از طریق توسعه مدل‌های همبستگی بر پایه مشاهدات میدانی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱. روش مطالعه

در این پژوهش از روش معادلات همبستگی ساده برای برآورد تلفات انتقال استفاده می‌شود. در این روش، تأثیر یک یا چند متغیر مستقل بر روی یک متغیر وابسته مورد بررسی قرار می‌گیرد. به طور کلی تلفات انتقال و گاهی حجم جریان خروجی به عنوان متغیر وابسته مدلسازی می‌شوند و متغیرهایی که به نظر می‌رسد بر روی تلفات انتقال مؤثر هستند به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته می‌شوند. سپس با استفاده از حجم جریان‌های ورودی و خروجی مربوط به تعدادی از رخدادهای پیشین (که متعلق به تعدادی از بازه‌های رودخانه‌ها می‌باشند)، به همراه ویژگی‌های فیزیکی هر یک از این بازه‌ها، در یک مدل آماری ضرایب معادله همبستگی برآورد می‌شوند.

در پژوهش حاضر، حجم تلفات انتقال (V_{loss}) به عنوان متغیر وابسته؛ و حجم جریان بالادست (V_{up})، شاخص رطوبت پیشین ($AncI$)، زمان تداوم جریان (D)، هدایت هیدرولیکی بستر (K)، عرض (W) و شیب رودخانه (S) به عنوان متغیرهای مستقل در تحلیل همبستگی در نظر گرفته شدند و معادلات همبستگی با دو ساختار خطی و غیرخطی زیر مورد استفاده قرار گرفتند:

$$V_{loss} = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (1)$$

و

$$V_{loss} = a_1 x_1^{b_1} x_2^{b_2} \dots x_n^{b_n} \quad (2)$$

که در این روابط، V_{loss} حجم تلفات انتقال، x_n ها ($n=1,2,\dots$) متغیرهای مستقلی هستند که انتظار می‌رود در برآورد تلفات انتقال

ورودی و خروجی مربوط به تعدادی از رخدادهای پیشین (که متعلق به تعدادی از بازه‌های رودخانه‌ها می‌باشند)، به همراه ویژگی‌های فیزیکی هر یک از این بازه‌ها، در یک مدل آماری ضرایب معادله همبستگی برآورد می‌شوند. کاتالدو و همکاران [۴]، لین و همکاران [۹]، والترز [۱۵]، شارما و مورتی [۱۲]، با استفاده از تحلیل همبستگی روابط قابل توجهی بین تلفات انتقال و حجم جریان ورودی به دست آورده‌اند.

- معادله‌های دیفرانسیل ساده شده: این معادلات برای توصیف تغییرات در ذخیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. جوردن [۸]، یک معادله دیفرانسیل مرتبه اول برای توصیف تلفات انتقال ارائه نموده که قادر است تلفات انتقال در مایل اول بازه موردنظر از رودخانه را به صورت تابعی از جریان در ایستگاه بالادست آن برآورد نماید. پیپلز (۱۹۸۱) از معادلات دیفرانسیل بر اساس معادله پیوستگی (تغییر در ذخیره در واحد زمان برابر است با اختلاف بین جریان ورودی و خروجی) استفاده نموده است [به نقل از ۵].

- روش ترکیب معادلات دیفرانسیل و همبستگی: این روش فرآیندهای فیزیکی مربوط به تلفات انتقال را در نظر می‌گیرد تا به مطالعه شکل کلی معادلات پردازد و سپس با استفاده از همبستگی (یا بهینه‌سازی)، معادلات مخصوص به منطقه مورد مطالعه را به دست می‌آورد. پژوهشگرانی که این روش را به کار برده‌اند در واقع پژوهش خود را بر پایه کار لین و همکاران [۱۰] بنا نهاده‌اند، که از این بین علاوه بر کارهای انجام شده توسط لین در دهه ۱۹۸۰ می‌توان به پژوهش انجام شده توسط شارما و مورتی [۱۳] نیز اشاره نمود.

- روش مشاهدات و آزمایش‌های میدانی: در این روش با انجام آزمایش‌های میدانی، تلفات انتقال برآورد می‌شود. لذا به تجهیزات آزمایش میدانی نیاز دارد و به نواحی کوچک محدود می‌شود. روابط به دست آمده از این روش، خاص ناحیه مورد آزمایش است. ارزش پژوهش‌های انجام شده توسط این روش در تشخیص منابع تلفات انتقال می‌باشد که نیاز به مدلسازی دقیق تر تلفات انتقال را مشخص می‌نماید. از جمله مطالعات انجام شده توسط این روش می‌توان به کار انجام شده توسط هوگز و سامی [۷] اشاره نمود. آنها مدل خاصی برای تلفات انتقال ارائه نداده‌اند و تنها با تفاضل حجم‌های جریان ورودی و خروجی اندازه‌گیری شده، تلفات انتقال را برآورد نموده‌اند. همچنین، اذعان داشتند که تلفات انتقال از بستر رودخانه‌های فصلی در نواحی خشک و نیمه خشک می‌تواند بخش بزرگی از مقدار کل رواناب تولید شده در بالادست به شمار آید، به طوری که ۷۵٪ جریان بالادست در اولین رخداد و ۲۲٪ در رخداد دوم به درون مصالح رسوبی نفوذ می‌کند.

- روش روندیابی جریان: در این روش، روش‌های مرسوم روندیابی جریان (آب‌شناختی و یا هیدرولیکی) با معادله‌ای برای منظور نمودن تلفات نفوذ به بستر رودخانه ترکیب می‌شوند. سپس با روندیابی یک سیلاب در طول بازه‌ای از رودخانه و بررسی

شیب رودخانه (S) می‌تواند بر روی عمق، دوام و سطح آب گرفتگی جریان تأثیر گذارد. همچنین می‌تواند بیانگر اندازه مصالح بستر کانال باشد، به این صورت که به طور عام در شیب‌های تند مصالح درشت‌تر و در شیب‌های ملایم مصالح ریزتر وجود دارند. از آن جا که داده‌های تلفات انتقال از تعدادی بازه رودخانه با طول‌های متفاوت جمع‌آوری می‌شوند، نمی‌توان داده‌های تلفات را پیش از استاندارد کردن وارد یک تحلیل همبستگی نمود زیرا هر چه طول بازه بیشتر باشد، به طور طبیعی میزان تلفات انتقال بیشتر خواهد بود. لذا باید به گونه‌ای داده‌های تلفات را از طول بازه مستقل نمود. به علاوه کاهش حجم جریان در طول بازه رودخانه نیز غیر خطی است، یعنی نرخ تلفات در اوایل طول بازه بیشتر از اواخر آن خواهد بود. بنابراین نمی‌توان با تقسیم حجم کل تلفات بر طول بازه، آن را در واحد طول به صورت یکنواخت بیان نمود. یک روش برای استاندارد نمودن داده‌ها، محاسبه تلفات انتقال برای کیلومتر اول بازه رودخانه می‌باشد که با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۸]:

$$V_1 = V_{up} \left[1 - \left(\frac{V_x}{V_{up}} \right)^{1/x} \right] \quad (4)$$

که در این رابطه، V_1 تلفات انتقال در کیلومتر اول، V_{up} حجم جریان در ایستگاه بالادست و V_x حجم جریان در فاصله x از ایستگاه بالادست می‌باشند. با استفاده از این رابطه می‌توان تلفات انتقال برای هر کیلومتر از کانال را با محاسبه حجم جریان در ابتدای آن کیلومتر، که از تفاضل تلفات انتقال از حجم جریان در کیلومتر قبلی به دست می‌آید، برآورد نمود. بنابراین در تحلیل همبستگی، به جای V_{loss} در روابط (۱) و (۲) از V_1 به عنوان متغیر وابسته استفاده می‌شود.

رابطه (۴) بر اساس معادله دیفرانسیل زیر به دست آمده است که نرخ تلفات در هر نقطه بین دو ایستگاه اندازه‌گیری را بر حسب حجم جریان در آن نقطه بیان می‌کند.

$$\frac{dV_x}{dx} = -kV_x \quad (5)$$

در این رابطه، x محور مسافت بین دو بازه است، که در جهت پایین دست مثبت می‌باشد، V_x حجم جریان در فاصله x و k یک عدد ثابت مثبت می‌باشند. از حل معادله (۵)، یک تابع توانی برای حجم جریان به دست می‌آید که جوردن [۸] با توسعه آن رابطه (۴) را به دست آورده است.

پیش از انجام تحلیل همبستگی لازم است تا ابتدا متغیرهای مستقل و وابسته را برآورد نمود. لذا در ادامه ابتدا به منطقه مورد مطالعه و اطلاعات جمع‌آوری شده برای این منظور اشاره می‌گردد و سپس نحوه انجام تحلیل همبستگی شرح داده می‌شود.

۲. ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قره‌قوم با وسعت ۴۴۱۶۵ کیلومتر مربع بین طول

مؤثر باشند و a ، a_1 و b_1 ضرایب همبستگی می‌باشند. در ادامه نحوه برآورد هر یک از این متغیرها توصیف می‌گردد.

حجم جریان بالادست (V_{up}) عبارت از حجم جریان در ایستگاه بالادست بازه موردنظر از رودخانه می‌باشد که با انتگرال‌گیری عددی از آنمودهای ورودی بازه به ازای هر رخداد محاسبه گردید. حجم جریان بالادست در واقع منبع تغذیه‌کننده برای تلفات انتقال می‌باشد، لذا به عنوان یکی از متغیرهای اصلی تأثیرگذار بر تلفات انتقال محسوب می‌شود.

شاخص رطوبت پیشین (AncI) ^۱ به عنوان شاخصی از رطوبت پیشین بستر رودخانه به کار می‌رود. رطوبت پیشین رودخانه به ویژه در ابتدای سیلاب بر نرخ نفوذ تأثیر می‌گذارد که می‌تواند توسط شاخص زیر بیان گردد [۱۵]:

$$AncI = 1 - 0.9^t \quad (3)$$

در این رابطه، t تعداد روزهای گذشته از سیلاب قبلی در ایستگاه بالادست می‌باشد. شاخص AncI بدون بعد بوده و در واقع بیانگر میزان توانایی خاک برای جذب آب می‌باشد. بدین صورت که هر چه مقدار AncI از صفر به یک نزدیک‌تر شود، توانایی خاک برای جذب آب بیشتر می‌گردد.

زمان تدوام جریان (D) در واقع بیانگر مدت زمانی است که سیلاب در بازه موردنظر جریان دارد و در این فرصت تلفات انتقال رخ می‌دهد. در پژوهش حاضر، زمان پایه آنمود جریان در ایستگاه بالادست هر بازه به عنوان تدوام جریان در آن بازه منظور گردید. اگرچه دوام جریان در نقاط پایین دست متفاوت خواهد بود اما در هر صورت دوام جریان در هر یک از نقاط پایین دست تابعی از دوام جریان در ایستگاه بالادست می‌باشد، لذا پیش‌بینی‌کننده مناسبی برای تحلیل همبستگی خواهد بود.

جنس مصالح بستر به طور مستقیم بر روی نرخ نفوذ و در نتیجه تلفات انتقال تأثیر می‌گذارد، پس باید به گونه‌ای در تحلیل همبستگی وارد شود. در این پژوهش برای وارد نمودن تأثیر جنس بستر از مفهوم هدایت هیدرولیکی اشباع مصالح بستر رودخانه (K)، که ارتباط مستقیمی با دانه بندی خاک و نرخ نفوذ آب به داخل خاک دارد، استفاده شد. گرچه این موضوع نیز قابل بحث است که در زمان شکل‌گیری سیلاب به طور عملی یک هدایت هیدرولیکی مؤثر متفاوت با هدایت هیدرولیکی ساکن بستر شکل می‌گیرد.

عرض رودخانه (W) نیز مانند طول بازه رودخانه بر روی میزان تلفات انتقال تأثیر می‌گذارد. اما عرضی از رودخانه که در برگیرنده جریان است به ازای سیلاب‌های مختلف و نیز در یک سیلاب مشخص، در زمان‌های متفاوت از عبور سیلاب متغیر خواهد بود. لذا برآورد عرض مرطوب کانال به طور کلی امکان‌پذیر نمی‌باشد. هدمن و اوسترکمپ (۱۹۸۲) عرض فعال کانال در شرایط متوسط را به عنوان شاخصی از عرض مرطوب کانال استفاده نموده‌اند [به نقل از ۱۵].

1- Antecedent Condition Index

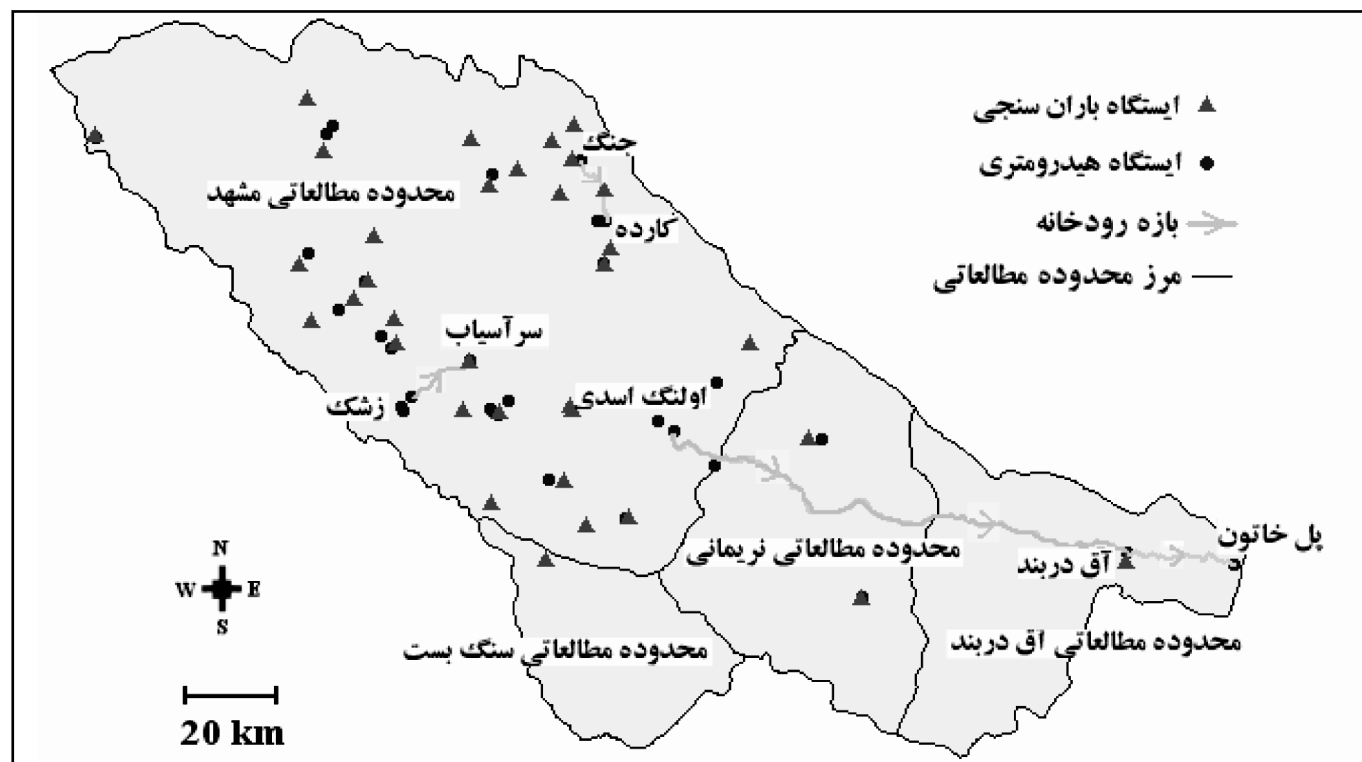
۳. اطلاعات جمع آوری شده

اطلاعات ثبت شده مربوط به بارندگی و سیلاب در زیرحوزه های قره قوم، به منظور دستیابی به رخدادهای رواناب مناسب برای تخمین تلفات انتقال، تحلیل گردید. رخدادهایی انتخاب شدند که در هر دو ایستگاه آب سنجی بالادست و پایین دست جریان داشته باشند و نیز داده های ثبت شده مربوط به آنها برای رسم کامل آنموده های ورودی و خروجی بازه کافی باشند. با توجه به این شرایط، ۸۰ رخداد انتخاب شدند. اما نکته مهم دیگری که در برآورد تلفات انتقال در یک بازه باید مورد توجه قرار گیرد، جریان های عرضی و انشعابات رودخانه در آن بازه می باشند. بنابراین رخدادهایی که از بررسی توزیع بارندگی و رواناب های ثبت شده، مشخص شد که میزان تلفات انتقال در آنها به میزان قابل توجهی تحت تأثیر رواناب حاصل از سطح زهکشی بین ایستگاه های آب سنجی قرار دارند، از مجموعه رخدادهای حذف شدند (در بخش ۴ به این موضوع پرداخته شده است). بدین ترتیب تعداد رخدادهای مورد استفاده در تحلیل همبستگی به ۶۰ رخداد رسید. در شکل (۲) چند نمونه از آنموده های ورودی و خروجی مربوط به رخدادهای مورد استفاده در همبستگی ارائه شده اند.

به منظور محاسبه حجم جریان بالادست و پایین دست برای هر رخداد، از آنموده های جریان، انتگرال گیری شد. حجم تلفات انتقال نیز از تفاضل حجم جریان بالادست و پایین دست به دست آمد و توسط رابطه (۴) حجم تلفات انتقال برای کیلومتر اول محاسبه شد.

جغرافیایی ۵۷°۴۹' تا ۶۱°۱۷' و عرض شمالی ۳۴°۲۳' تا ۳۷°۵۲' واقع شده است. این حوزه توسط رودخانه های کشف رود، جام رود، روس رود (که تقریباً به موازات هم از شمال غرب به طرف جنوب شرق امتداد داشته، به پایاب رودخانه هریرود که از کشور افغانستان در مرز پیش رباط وارد ایران می شود، می ریزند.) و تعدادی رودخانه های کوچک تر (که در جهت جنوب غرب-شمال شرق جریان داشته، مستقیماً از مرز گذشته وارد دشت قره قوم در کشور ترکمنستان می شوند)، زهکشی می شود. اقلیم اغلب نواحی حوزه قره قوم از نوع نیمه خشک تا خشک می باشد و میزان بارندگی حوزه از شمال غرب به جنوب شرق کاهش می یابد. این حوزه مطابق شکل (۱) شامل محدوده های مطالعاتی مشهد، سنگ بست، نریمانی و آق دربند بر مبنای طبقه بندی شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی می باشد [۲].

رودخانه های مورد مطالعه در این پژوهش، رودخانه های کشف رود، کارده و زشک از حوزه آبخیز قره قوم می باشند. علت انتخاب این رودخانه ها وجود دو ایستگاه آب سنجی بر روی هر یک از این رودخانه ها می باشد، زیرا برای انجام یک تحلیل همبستگی لازم است تا آنموده های مشاهداتی ورودی و خروجی بر روی یک بازه از رودخانه، مشخص باشند. با توجه به این محدودیت، تنها چهار بازه در حوزه آبخیز قره قوم قابل بررسی می باشند که عبارت از بازه های اولنگ اسدی- آق دربند و آق دربند- پل خاتون از رودخانه کشف رود، بازه جنگ-کارده از رودخانه کارده و بازه زشک- سرآسیاب از رودخانه زشک می باشند. موقعیت این بازه ها در حوزه

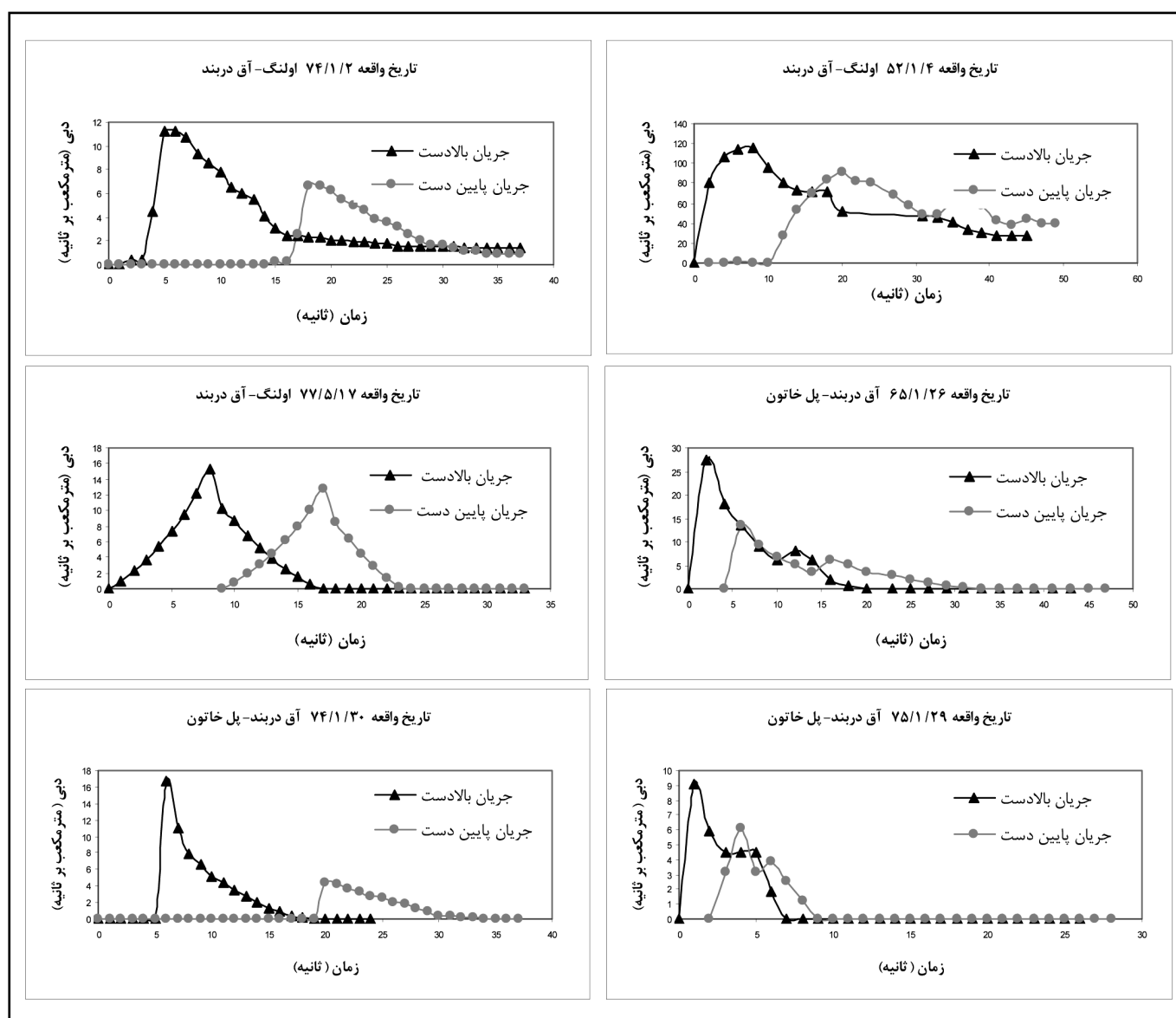


شکل ۱- موقعیت محدوده های مطالعاتی و بازه رودخانه های مورد پژوهش در حوزه آبخیز قره قوم

می باشند که از طریق بازدید و اندازه گیری های میدانی و انجام آزمایش های لازم به دست آمده اند. از هر بازه از رودخانه ها با توجه به طول و تغییر ویژگی های آن چند نمونه (در رودخانه زشک ۷ نمونه، کارده ۹ و کشف رود ۱۲ نمونه) از مصالح بستر رودخانه برداشت گردید که در مجموع ۲۸ نمونه شدند. در آزمایشگاه با استفاده از آزمایش هدایت هیدرولیکی، به دو روش بار ثابت و بار افتان، هدایت هیدرولیکی برای تمام نمونه ها اندازه گیری شد و در نهایت متغیر هدایت هیدرولیکی هر بازه از میانگین مقادیر مربوط به نمونه های آن بازه به دست آمد. لازم به توضیح است که آزمایش بار ثابت برای نمونه های درشت دانه (بزرگتر از ۰/۰۷۵ میلی متر) و آزمایش بار افتان برای نمونه های ریزدانه (کوچکتر از ۰/۰۷۵ میلی متر) انجام شد، نمونه ها در استوانه های فلزی به قطر ۱۰ و ارتفاع ۱۶/۵ سانتی متر با درصد تراکم محلی ساخته شدند. نحوه انجام این آزمایش ها مطابق مرجع [۱] می باشد. در اندازه گیری های

زمان تداوم جریان نیز متغیر دیگری است که با بررسی آبنمودهای جریان محاسبه می گردد. همانطور که بیان شد در این پژوهش زمان پایه آبنمود در ایستگاه بالادست هر بازه به عنوان زمان تداوم جریان در نظر گرفته شد و به ازای هر رخداد ثبت گردید. همچنین، رطوبت پیشین کانال با توجه به تعداد روزهای گذشته از سیلاب قبلی بر اساس رابطه (۳) برای هر رخداد و در تمام ایستگاه های موجود در دو انتهای بازه ها محاسبه شد. به طور قطع در انتخاب و تعریف این عامل عدم قطعیت هایی چون تأثیر شرایط آب و هوایی در فاصله زمانی بین دو بارش وجود دارد ولی منظور نمودن این عوامل و معرفی متغیرهای جدید (در برخی موارد غیر قابل دسترس) از نقطه نظر کاربردی چندان ضروری به نظر نمی رسد.

سایر اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل همبستگی عبارت از هدایت هیدرولیکی، شیب و عرض کانال رودخانه در بازه موردنظر می باشند. این متغیرها مربوط به ویژگی های فیزیکی رودخانه ها



شکل ۲- نمونه هایی از آبنمودهای سیل مشاهداتی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی بازه‌های مورد استفاده در معادله

مشخصات نام بازه	طول کیلومتر	شیب متوسط	عرض متوسط متر	هدایت هیدرولیکی متوسط متر/ ثانیه
زشک-سرآسیاب	۱۶/۴	۰/۰۲۲۵	۴/۶۹	۱/۳۴۴×۱۰-۵
جنگ-کارده	۱۷/۲	۰/۰۱۹۱	۷/۸	۳/۵۵۱×۱۰-۵
اولنگ-آق دربند	۱۱۴/۵	۰/۰۰۳۴	۲۲/۴۴	۴/۶۲۳×۱۰-۵
آق دربند-پل خاتون	۳۲/۲	۰/۰۰۵۱	۲۷/۵	۱/۰۲۰×۱۰-۴

جدول ۲- مقدار متغیرهای مورد استفاده در همبستگی در برخی رخدادهای (به عنوان نمونه)

بازه رخداد	t*	AncI (-)	D ساعت	V _{up} مترمکعب	V _{down} مترمکعب	V _{down} / V _{up} (-)	V _{loss} کل بازه مترمکعب	V _{loss} متوسط خطی مترمکعب/ کیلومتر	V ₁ غیر خطی مترمکعب/ کیلومتر
آق-پل*	۱۲	۰/۷۱۸	۱۲	۱۹۶۳۳۲/۵	۹۱۸۰۰	۰/۴۶۸	۱۰۴۵۳۲/۵	۳۲۴۶/۴	۴۵۸۰/۹
آق-پل	۶	۰/۴۶۹	۳۵	۱۴۵۸۲۷۴۳/۷	۸۰۱۲۱۲۴	۰/۵۴۹	۶۵۷۰۶۱۹/۷	۲۰۴۰۵۶/۵	۲۶۸۷۱۵/۶
آق-پل	۲۵	۰/۹۲۸	۳۱	۵۸۵۴۴۷۸/۳	۲۱۷۴۲۵۶	۰/۳۷۱	۳۶۸۰۲۲۲/۳	۱۱۴۲۹۲/۶	۱۷۷۳۵۰/۸
آق-پل	۴۳	۰/۹۸۹	۳۵	۹۷۸۳۹۰	۴۶۹۸۹۰	۰/۴۸	۵۰۸۵۰۰	۱۵۷۹۱/۹	۲۲۰۳۲/۶
آق-پل	۳۹	۰/۹۸۴	۸	۵۱۳۲۷۰	۱۸۵۱۳۰	۰/۳۶۱	۳۲۸۱۴۰	۱۰۱۹۰/۷	۱۶۰۰۰/۱
آق-پل	۱۸	۰/۸۵	۲۲	۴۴۱۰۰۰	۱۸۳۴۹۲	۰/۴۱۶	۲۵۷۵۰۸	۷۹۹۷/۱	۱۱۸۴۷/۳
آق-پل	۱	۰/۱	۲۱	۱۶۵۵۵۸۶	۱۲۵۵۹۳۲	۰/۷۵۹	۳۹۹۶۵۴	۱۲۴۱۱/۶	۱۴۱۴۴/۲
او-آق*	۳۱۸	۱	۳۱	۱۲۳۰۷۵۴/۵	۹۶۴۰۸	۰/۰۷۸	۱۱۳۴۳۴۶/۵	۹۹۰۷	۲۷۰۷۳/۱
او-آق	۱۶	۰/۸۱۵	۲۳	۱۸۷۸۱۵۴/۷	۵۶۰۳۲۲	۰/۲۹۸	۱۳۱۷۸۳۲/۷	۱۱۵۰۹/۵	۱۹۷۳۵/۷
او-آق	۷	۰/۵۲۲	۱۶	۴۸۱۷۹۹/۶	۳۴۴۵۲۰	۰/۷۱۵	۱۳۷۲۷۹/۶	۱۱۹۹	۱۴۰۹/۲
او-آق	۲۴	۰/۹۲	۲۹	۴۶۰۰۲۹	۲۲۶۷۱۰	۰/۴۹۳	۲۳۳۳۱۹	۲۰۳۷/۷	۲۸۳۴/۲
او-آق	۶	۰/۴۶۹	۲۲	۵۵۱۲۸۴	۱۶۲۱۲۶	۰/۲۹۴	۳۸۹۱۵۸	۳۳۹۸/۸	۵۸۶۱/۲
ج-ک*	۷	۰/۵۲۲	۵	۵۵۸۲۱/۶	۴۴۰۸۲	۰/۷۹	۱۱۷۳۹/۶	۶۸۲/۵	۷۶۱
ج-ک	۵	۰/۴۱	۱۳	۲۳۵۱۲۸/۱	۱۳۱۶۵۲	۰/۵۶	۱۰۳۴۷۶/۱	۶۰۱۶/۱	۷۷۹۶/۱
ج-ک	۲۴	۰/۹۲	۵	۱۳۲۲۱۳/۳	۴۸۷۲۶	۰/۳۶۹	۸۳۴۸۷/۳	۴۸۵۳/۹	۷۴۵۴/۶
ج-ک	۵۳	۰/۹۹۶	۶	۶۵۰۴۰۷/۱	۲۶۰۲۸۰	۰/۴	۳۹۰۱۲۷/۱	۲۲۶۸۱/۸	۳۳۷۲۶/۱
ج-ک	۹۶	۰/۹۹۹	۵	۴۵۲۱۷۱/۳	۲۴۶۰۲۴	۰/۵۴۴	۲۰۶۱۴۷/۳	۱۱۹۸۵/۳	۱۵۷۲۰/۶
ز-س*	۸۷	۰/۹۹۹	۱۶	۶۲۷۲۷۲/۷	۵۴۰۹۰۰	۰/۸۶۲	۸۶۳۷۲/۷	۵۲۶۶/۶	۵۶۴۰/۹

*t: تعداد روزهای گذشته از سیلاب قبلی

x منظور از آق-پل: بازه آق دربند-پل خاتون، او-آق: بازه اولنگ اسدی-آق دربند، ج-ک: بازه جنگ-کارده و ز-س: بازه زشک-سرآسیاب می باشند.

تغییرات آنها از V_{up} کمتر است. S ، K و W در هر بازه ثابت هستند و انتظار می‌رود ضریب تغییرات کمتری داشته باشند. به عنوان مثال هدایت هیدرولیکی در یک منطقه ممکن است تغییرات چندانی نداشته باشد اما زیاد بودن نسبی ضریب تغییرات S به دلیل تغییر قابل ملاحظه شیب از دو رودخانه زشک و کارده در مناطق کوهستانی نسبت به دو بازه رودخانه کشف رود، که در دشت واقع شده‌اند، می‌باشد. به طوری که مطابق جدول (۱) حداکثر شیب (مربوط به زشک) حدوداً $6/5$ برابر شیب حداقل (مربوط به بازه اولنگ-آق دربند از کشف رود) است.

۴. بررسی چگونگی جریان‌های عرضی و انشعابات رودخانه‌ها یکی از نکات قابل توجه در توسعه روابط همبستگی برای برآورد تلفات انتقال در یک بازه، بررسی جریان‌های عرضی و انشعابات رودخانه در فاصله بین ایستگاه‌های آب‌سنجی در دو انتهای بازه می‌باشد. باید بازه‌هایی برای تحلیل همبستگی انتخاب گردند که حتی‌الامکان انشعابی نداشته باشند؛ و یا در صورت وجود، سهم ناچیزی از جریان را در برگیرند. بنابراین با بررسی توزیع بارندگی و رواناب‌های ثبت شده در فاصله بین ایستگاه‌های آب‌سنجی، رخدادهایی که میزان تلفات انتقال در آنها به میزان قابل توجهی تحت تأثیر رواناب حاصل از سطح زهکشی بین دو انتهای بازه قرار دارند، از مجموعه رخدادهای مورد استفاده در معادله حذف شدند. برای این منظور لازم بود تا میزان جریان ورودی توسط انشعاب‌ها و رواناب سطحی حاصل از بارندگی در طول بازه مورد نظر به ازای رخدادهای مختلف تعیین گردد. در صورت وجود ایستگاه‌های آب‌سنجی بر روی انشعاب‌ها، با استفاده از اطلاعات سیلاب ثبت شده در ایستگاه‌ها، میزان جریان ورودی توسط آنها برداشت گردید. در غیر این صورت ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، ویژگی‌های حوزه آبخیز انشعاب مربوطه (مانند مرز حوزه و مساحت آن) تعیین گردید. سپس با استفاده از ایستگاه‌های باران‌سنجی اطراف این حوزه و یکی از روش‌های برآورد بارندگی در سطح حوزه [۳]، که در این پژوهش از روش چندضلعی‌های تیسسن استفاده شد، متوسط بارندگی حوزه برآورد شد و با در نظر گرفتن ضریب رواناب، ارتفاع رواناب محاسبه و در نهایت با ضرب نمودن آن در سطح حوزه، حجم رواناب حاصل محاسبه گردید.

پس از بررسی بازه‌های مورد مطالعه در این پژوهش و محاسبه میزان جریان‌های عرضی ورودی و گاهی خروجی از این بازه‌ها، تعدادی از رخدادهای که حجم جریان‌های عرضی در آنها قابل توجه بود از مجموعه رخدادهای حذف گردیدند. منظور از خروجی، انشعابات محدود خروجی و آب اندک برداشت شده توسط

ایستگاه‌ها نیز برآورد گردیدند. شیب اندازه‌گیری شده و شیب محاسباتی به طور متوسط ۱۵٪ و حداکثر ۱۹٪ با هم اختلاف داشتند، لذا میانگین آنها مورد استفاده قرار گرفت. مجموعه این اطلاعات به همراه طول بازه‌ها در جدول (۱) آمده‌اند.

متغیرهای مورد استفاده در معادله همبستگی شامل هدایت هیدرولیکی بستر (K)، عرض (W) و شیب رودخانه (S)، در طول هر بازه ثابت می‌باشند که در جدول (۲) مشخص شدند. سایر متغیرهای مستقل که عبارتند از حجم جریان بالادست (V_{up})، شاخص رطوبت پیشین کانال ($AncI$) و زمان تداوم جریان (D) و نیز متغیر وابسته یعنی تلفات انتقال در کیلومتر اول (V_1) به ازای هر رخداد محاسبه شدند، که تعدادی از آنها به عنوان نمونه در جدول (۲) آمده‌اند.

لازم به ذکر است که در جدول (۲)، V_{loss} متوسط از تقسیم نمودن حجم کل تلفات بر طول بازه به دست آمده است و همانطور که در جدول مشاهده می‌شود با تلفات انتقال در کیلومتر اول (V_1) متفاوت است. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که با استفاده از V_1 ، تلفات انتقال به طور غیر خطی در طول بازه تقسیم می‌شود و مقایسه مقادیر آن با V_{loss} متوسط نشان می‌دهد که مقدار آن در کیلومتر اول بازه از متوسط خطی تلفات انتقال بیشتر است. به عنوان مثال برای اولین رخداد جدول (۲) اگر حجم تلفات انتقال کل بازه بر طول بازه (۳۲/۲ کیلومتر) تقسیم گردد، حجم تلفات انتقال متوسط در هر کیلومتر $3246/4$ مترمکعب می‌شود. اما اگر از رابطه (۴) تلفات انتقال به طور غیرخطی محاسبه شود، در کیلومتر اول بازه $4580/85$ مترمکعب، در کیلومتر دوم $4473/97$ مترمکعب، در کیلومتر سوم $4369/58$ مترمکعب، ... در کیلومتر دهم $3703/98$ مترمکعب، در کیلومتر بیستم $2925/08$ مترمکعب، در کیلومتر سی‌ام $2309/97$ مترمکعب و در کیلومتر آخر $2203/44$ مترمکعب می‌گردد (این محاسبات تا ۱۰ رقم اعشار انجام شده است).

برای مشخص نمودن میزان تغییرات متغیرهای مستقل در تمام رخدادهای مورد استفاده در تحلیل همبستگی، ضریب تغییرات آنها در جدول (۳) برای کل رخدادهای ارائه شده است. مقایسه ضریب تغییرات این متغیرها نشان می‌دهد که حجم جریان بالادست دامنه‌ی تغییرات زیادی نسبت به سایر متغیرها دارد. این امر به این دلیل است که V_{up} با بارندگی تغییر می‌کند و حتی ممکن است که میزان تغییرات حجم جریان بالادست، به ازای رخدادهای مختلف در یک بازه خاص، بسیار بیشتر از تغییرات آن از یک بازه به بازه دیگر باشد. متغیرهای $AncI$ و D نیز به ازای هر بارندگی تغییر می‌کنند، اما میزان

جدول ۳- ضریب تغییرات متغیرهای مستقل مورد استفاده در تحلیل همبستگی در کل رخدادهای

متغیر مستقل	V_{up}	$AncI$	D	S	K	W
ضریب تغییرات در کل رخدادهای	۱/۶۴۸	۰/۷۲۹	۰/۵۷۹	۰/۷۷۶	۰/۴۳۸	۰/۳۹۶

ابتدا تحلیل همبستگی با ساختار خطی انجام شد که نتایج آن در روابط (۶) تا (۱۳) از جدول (۴) مشاهده می شود. رابطه (۶) با استفاده از هر شش متغیر مستقل به دست آمد. در روابط (۷) و (۸) از متغیرهای حجم جریان بالادست، دوام جریان، هدایت هیدرولیکی و عرض کانال که بالاترین ضرایب همبستگی را دارند، استفاده شد. بار دیگر با استفاده از سه متغیر حجم جریان بالادست، دوام جریان و شاخص رطوبت پیشین کانال که بر اساس جدول (۳) ضریب تغییرات بالایی دارند، تحلیل همبستگی انجام شد. نتیجه این تحلیل نیز در رابطه (۹) از جدول (۴) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود ضریب تبیین یا تعیین (R^2) با کاهش متغیرها از شش به سه عدد تنها ۰/۰۲۱ کاهش می یابد. در روابط (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) حالت های دیگری نیز مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت به دلیل همبستگی زیاد بین V_1 ، V_{up} و همچنین نتایج موجود در پژوهش های پیشین که روابط معنی داری بین این دو متغیر به دست آورده اند، تنها از حجم جریان بالادست در رابطه (۱۳) استفاده شد. با مراجعه به جدول (۴) مشاهده می شود که ضریب تبیین در رابطه (۱۳) تنها به میزان ۰/۰۲۲ از رابطه (۶) که تمام متغیرها را در برمی گیرد، کمتر است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که بهترین

کشاورزان در بازه اولنگ- آق دربند می باشد که اولی بر اساس ایستگاه های آب سنجی موجود و دومی بر اساس بازده های محلی برآورد شده اند. بدین ترتیب ۶۰ رخدادهای باقی ماندند که متوسط و حداکثر نسبت حجم جریان های عرضی به حجم جریان بالادست بازه در این رخدادهای به ترتیب عبارت از ۴ و ۱۹ درصد برای جریان های ورودی و ۰/۰۵٪ و ۰/۱٪ برای جریان های خروجی می باشند.

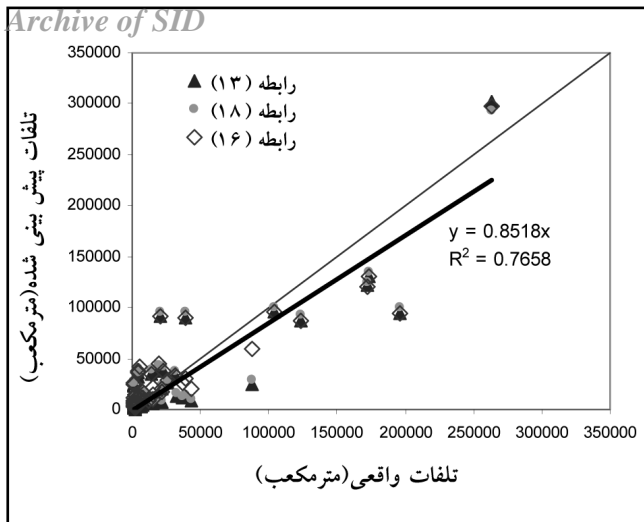
بحث و نتیجه گیری

پس از برآورد تمام متغیرهای مستقل و وابسته، اقدام به توسعه معادله های همبستگی با دو ساختار خطی و غیرخطی (روابط ۱ و ۲) با استفاده از نرم افزار SYSTAT گردید. در تحلیل همبستگی متغیر وابسته، یعنی تلفات انتقال در کیلومتر اول (V_1)، بر حسب متغیرهای مستقل یاد شده مورد آزمایش قرار گرفت، که نتایج این تحلیل در جدول (۴) ارائه شده است. بررسی ضرایب همبستگی خطی (r) بین V_1 و متغیرهای مستقل نشان می دهد که تلفات انتقال بیشترین همبستگی را به ترتیب با حجم جریان بالادست ($r=0/87$)، دوام جریان ($r=0/45$)، هدایت هیدرولیکی ($r=0/23$) و عرض کانال ($r=0/13$) دارد و سایر متغیرها از

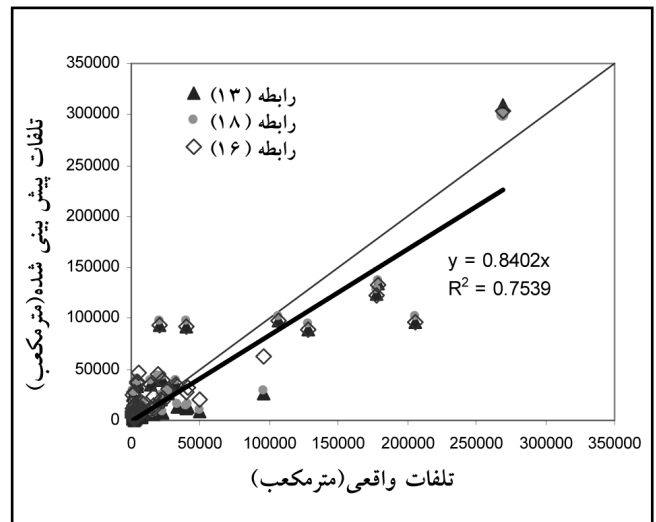
جدول ۴- روابط همبستگی توسعه یافته برای پیش بینی تلفات انتقال

شماره رابطه	روابط همبستگی	R^2	R^2 تنظیمی*
۶	$V_1=0.0212V_{up}+110.21D+3775.56AncI+3166527K+653345.4S-1497.64W$	۰/۸۳۹	۰/۸۰۲
۷	$V_1=0.0203V_{up}+426.85D+4565653K-1944.59W$	۰/۸۳۱	۰/۸۰۱
۸	$V_1=0.0213V_{up}+35.21D-206772.3K$	۰/۸۱۸	۰/۷۹۱
۹	$V_1=0.0214V_{up}-129.97D+4457.88AncI$	۰/۸۱۸	۰/۷۹۲
۱۰	$V_1=0.0212V_{up}+246.83D-299.02W$	۰/۸۲۰	۰/۷۹۴
۱۱	$V_1=0.0218V_{up}-129.23W$	۰/۸۱۹	۰/۷۹۶
۱۲	$V_1=0.0213V_{up}-24.18D$	۰/۸۱۷	۰/۷۹۵
۱۳	$V_1=0.0212V_{up}$	۰/۸۱۷	۰/۷۹۹
۱۴	$V_1=0.052V_{up}^{0.971}D^{-0.142}AncI^{-0.087}$	۰/۸۲۴	۰/۷۷۰
۱۵	$V_1=0.239V_{up}D^{-0.054}W^{-0.678}$	۰/۸۳۶	۰/۷۸۶
۱۶	$V_1=0.241V_{up}^{0.992}W^{-0.699}$	۰/۸۳۶	۰/۷۸۵
۱۷	$V_1=0.073V_{up}^{0.971}D^{-0.220}$	۰/۸۲۲	۰/۷۶۷
۱۸	$V_1=0.063V_{up}^{0.932}$	۰/۸۲۰	۰/۷۶۴

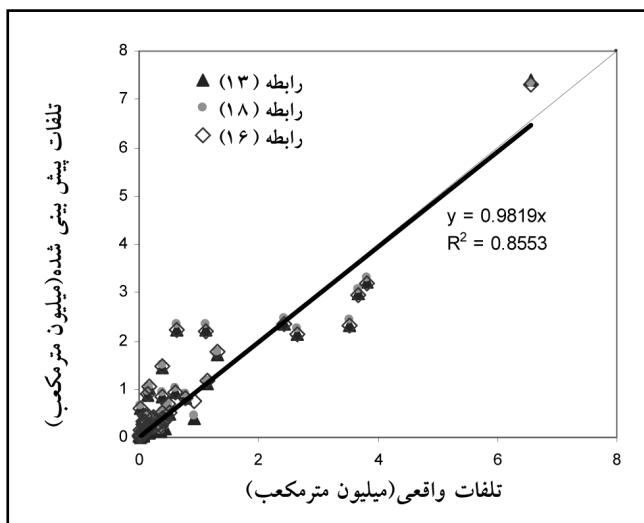
R^2_{adj}



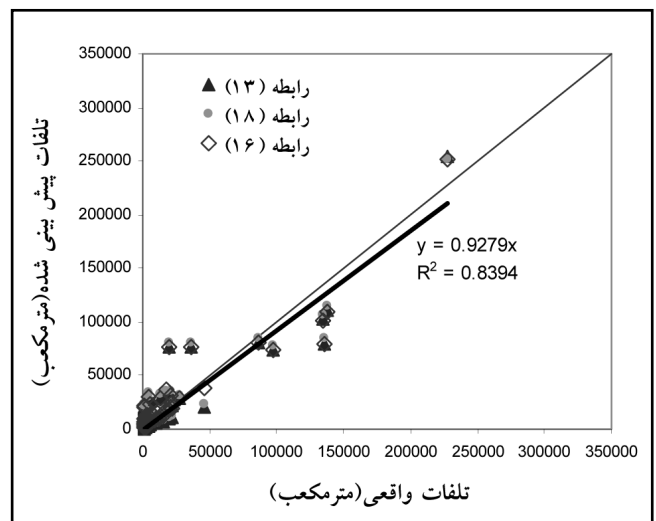
شکل ۴- بررسی روابط (۱۳)، (۱۸) و (۱۶) در کیلومتر دوم بازه



شکل ۳- بررسی روابط (۱۳)، (۱۸) و (۱۶) در کیلومتر اول بازه (خط پرازش داده شده مربوط به رابطه (۱۶) است)



شکل ۶- بررسی روابط (۱۳)، (۱۸) و (۱۶) در برآورد حجم تلفات انتقال در کل بازه



شکل ۵- بررسی روابط (۱۳)، (۱۸) و (۱۶) در کیلومتر دهم بازه

به طوری که افزودن سایر متغیرها به معادله همبستگی، ضریب تبیین را تنها به میزان اندکی بهبود می بخشد. پژوهش های انجام شده در مناطق دیگر نیز حکایت از همبستگی زیاد بین حجم تلفات انتقال و حجم جریان بالادست دارد. همچنین از مقایسه معادلات خطی و غیرخطی ملاحظه می شود که معادلات غیرخطی نیز تا حدودی نتایج را بهتر پیش بینی می کنند. با توجه به مطالب بحث شده روابط (۱۳)، (۱۶) و (۱۸) از کاربرد بیشتری برخوردار می باشند، لذا در شکل های (۳) تا (۶) به منظور ارزیابی عملکرد این روابط در فضای مستقل و نیز ارایه ای از کاربرد جامع تر آنها، تلفات انتقال پیش بینی شده توسط این روابط با تلفات انتقال واقعی مقایسه می گردد. گرچه تلفات واقعی در کل بازه از تفاضل حجم آبنمودهای ورودی و خروجی مشاهداتی به دست می آید، اما منظور از تلفات واقعی در هر بازه (کیلومتر) میانی، تلفاتی است که از توزیع غیریکنواخت تلفات با توجه به رابطه (۴) حاصل می شود

عامل در پیش بینی تلفات انتقال، حجم جریان بالادست می باشد و حذف سایر متغیرها از روابط همبستگی، خطای چندانی در پیش بینی نتایج به وجود نمی آورد. این امر با توجه به ضریب تغییرات بالای V_{up} ، مطابق جدول (۳)، نیز قابل توجیه است.

در ادامه با استفاده از ساختار غیرخطی، تحلیل همبستگی انجام شد که نتایج آن در روابط (۱۴) تا (۱۸) ارائه شده اند. متغیرهای مورد استفاده در این روابط به ترتیب متناظر با روابط خطی (۹) تا (۱۳) می باشند. با توجه به جدول (۴) مشاهده می شود که ضریب تبیین در روابط (۱۴)، (۱۵)، (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) به ترتیب به میزان $0/006$ ، $0/016$ ، $0/017$ ، $0/005$ و $0/003$ نسبت به حالت خطی متناظر خود افزایش یافته است. در مورد R^2 تنظیمی هم روند مشابهی ملاحظه می گردد.

مقایسه روابط جدول (۴) نشان می دهد که مؤثرترین عامل در پیش بینی تلفات انتقال، حجم جریان بالادست می باشد

در فضای ارزیابی متقاطع		در فضای مدل همبستگی اصلی		رابطه
واریانس باقیمانده‌های استاندارد	میانگین باقیمانده‌های استاندارد	واریانس باقیمانده‌های استاندارد	میانگین باقیمانده‌های استاندارد	
۱/۰۱۷۸۲	۳/۰۶×۱۰ ^{-۱۳}	۱/۰۱۷۷۹	۱۷-۱۰×۱۳-۱	۱۳
۱/۰۱۸۵	۱۲-۱۰×۷۲-۱	۱/۰۱۵۸	۷/۵۰×۱۰ ^{-۱۲}	۱۸
۱/۰۰۹	۱۱-۱۰×۶۵-۱	۱/۰۰۶	۱۱-۱۰×۶۳-۱	۱۶

باقیمانده استاندارد در هر نقطه عبارت از تفاضل مقدار باقیمانده در هر نقطه و میانگین باقیمانده‌ها، تقسیم بر جذر میانگین مربع باقیمانده‌ها (RMSE) می‌باشد. مقادیر مرتبط با باقیمانده‌های استاندارد هم در فضای مدل همبستگی اصلی و هم در فضای ارزیابی متقاطع در جدول (۵) ارائه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر، نزدیکی لازم به مقدار صفر و یک را در هر دو حالت دارا می‌باشند که حکایت از نا اریب بودن مدل‌ها دارد.

گرچه روابط بر اساس اطلاعات بازه‌های بدون جریان‌های عرضی قابل توجه به دست آمدند، ولی وجود جریان‌های عرضی میانی کاربرد روابط را محدود نمی‌کند. به عنوان مثال سه رخداد که در مجموعه رخدادهای مورد استفاده در تحلیل همبستگی وجود ندارند و در میانه بازه جریان عرضی مشخصی به آنها وارد می‌شود، در نظر گرفته شدند. ابتدا تلفات انتقال و حجم جریان در انتهای بازه‌های یک کیلومتری تا ابتدای محل ورود جریان عرضی با استفاده از رابطه خطی (۱۳) محاسبه گردید و سپس با افزودن حجم جریان عرضی میانی به حجم جریان در آن محل، دوباره محاسبات تلفات به سمت انتهای بازه ادامه داده شد. بدین ترتیب حجم تلفات انتقال در کل بازه ۳۳۳۳۰۶/۹۲، ۲۷۶۴۳۶/۸۳ و ۱۱۶۰۴۳/۴ مترمکعب به دست آمد که مقادیر تلفات واقعی در این رخدادهای به ترتیب عبارت از ۳۲۶۵۷۷/۲، ۲۶۶۳۲۱/۷ و ۱۸۱۴۸۰/۹ می‌باشند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر گزارشی از یک مجموعه فعالیت میدانی، آزمایشگاهی و مطالعاتی گسترده برای توسعه روابط همبستگی کاربردی به منظور برآورد تلفات انتقال در رودخانه‌های مناطق خشک می‌باشد. در این راستا، روابط همبستگی متعددی برای برآورد تلفات انتقال با توجه به اطلاعات میدانی توسعه داده شدند و مورد بررسی قرار گرفتند که از بین آنها سه رابطه (۱۳)، (۱۶) و (۱۸) برای برآورد تلفات انتقال در حوزه آبخیز قره‌قوم توصیه می‌گردند. از میان این روابط، رابطه (۱۶) بیشترین ضریب تبیین را دارا می‌باشد و پس از آن به ترتیب روابط (۱۸) و (۱۳) قرار دارند.

که مفهوم آن در قالب روابط (۴) و (۵) پیش‌تر توضیح داده شده است. شرح چگونگی این محاسبات نیز در بخش ۳ آمده است. تلفات در بازه (کیلومتر) اول، که در فرآیند توسعه روابط همبستگی مورد استفاده قرار گرفت، نیز از این رابطه محاسبه شده است. برای این منظور حجم تلفات انتقال در کیلومترهای اول، دوم و دهم بازه و نیز بر روی کل بازه در شکل‌های (۳) تا (۶) ترسیم شده‌اند. در این نمودارها خطوط برازش برای رابطه (۱۶) رسم شده‌اند تا عملکرد این رابطه در مقایسه با خط برازش کامل ۴۵ درجه روشن‌تر گردد. با توجه به شکل‌های (۳) تا (۶) مشاهده می‌گردد که با پیشروی محاسبات از کیلومتر اول به سمت کیلومترهای بعدی بازه، روابط توسعه یافته همبستگی، تلفات انتقال را بهتر برآورد می‌نمایند. این بهبود در مقایسه شکل‌های (۴) و (۵) به طور کامل قابل ملاحظه است. به عبارت دیگر خطای این روابط در کیلومترهای اول بازه (با توجه به بیشتر بودن حجم تلفات انتقال) از سایر کیلومترها در طول بازه بیشتر است. همچنین، در محاسبه مجموع تلفات انتقال بر روی کل بازه، انطباق بیشتری بین روابط توسعه یافته وجود دارد (شکل ۶). لازم به تأکید است که در شکل (۶) تلفات بر روی کل بازه از مجموع تلفات تک تک کیلومترهای مربوط به آن بازه به دست آمده و در محاسبه تلفات هر کیلومتر نیز از روابط همبستگی استفاده شده است.

به منظور ارزیابی مدل‌های همبستگی ارائه شده ارزیابی متقاطع نیز انجام پذیرفت. ارزیابی متقاطع^۱ می‌تواند به روش‌های مختلف چون انتخاب درصدی از داده‌ها به منظور آزمایش مدل، و یا به صورت حذف نوبتی و تک تک داده‌ها، تولید مدل همبستگی جدید بدون این داده و محاسبه باقیمانده در نقطه حذف شده انجام پذیرد. اگرچه روش دوم حجم محاسباتی زیادی دارد ولی مزیت آن این است که به طور عملی کل داده‌های موجود در تولید مدل همبستگی اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مقاله از روش دوم استفاده گردید. در صورت نا اریب بودن مدل تولید شده، می‌بایست میانگین باقیمانده‌های استاندارد آن برابر صفر و واریانس آنها برابر یک باشد.

1- Cross Validation

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از همکاری کمیته محترم تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی که حمایت مالی بخشی از این پروژه تحقیقاتی را بر عهده داشتند و نیز کارشناسان محترم آن شرکت که در انجام بعضی امور مربوط به بازدیدها و جمع آوری اطلاعات میدانی همکاری نمودند، کمال تشکر را دارند.

منابع

- ۱- اطمینانی، ا. (مترجم) ۱۳۸۴. اصول مهندسی ژئوتکنیک: مکانیک خاک، نوشته داس، ب.م.، چاپ سوم، نشر کتاب دانشگاهی تهران، ۶۳۶ صفحه.
- ۲- شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان، معاونت مطالعات پایه، ۱۳۸۴. گزارش به هنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبخیز قره قوم، جلد ۲ (بررسی ها و مشخصات عمومی)، ۲۵۲ صفحه.
- ۳- علیزاده، ا. ۱۳۸۷. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع) مشهد، ۴۳۸ صفحه.
4. Cataldo, J.C., Behr, C., Montalto, F.A. and Pierce, R.J. 2010. Prediction of transmission losses in ephemeral streams, Western U.S.A., Journal of Open Hydrology. 4:19-34.
5. Cataldo, J.C., Behr, C. and Montalto, F.A. 2004. A summary of published reports of transmission losses in ephemeral streams in the U.S., A report to the National Center for Housing and Environment. 38pp.
6. El-Hames, A.S. and Richards, K.S. 1998. An integrated, physically based model for arid region flash flood prediction capable of simulating dynamic transmission loss. Hydrological Processes. 12: 1219-1232.
7. Hughes, D.A. and Sami, K. 1992. Transmission losses to alluvium and associated moisture dynamics in a semiarid ephemeral channel system in Southern Africa. Hydrological Processes. 6: 45-53.
8. Jordan, P.R. 1977. Streamflow transmission losses in Western Kansas. Journal of Hydraulics Division. ASCE. 105:905-919.
9. Lane, L.J., Diskin, M.H. and Renard, K.G. 1971. Input-output relationships for an ephemeral stream channel system. Journal of Hydrology. 13:

بررسی مقادیر برآورد شده توسط این روابط نشان می دهد که رابطه (۱۳) برای حجم های کوچک تر و رابطه (۱۸) برای حجم های بزرگ تر نتایج بهتری را ارائه می دهند. نکته قابل توجه دیگر آن است که روابط (۱۳) و (۱۸) می توانند تنها بر اساس حجم جریان بالادست، تلفات انتقال را پیش بینی کنند. لذا با استفاده از این دو رابطه می توان در غیاب ویژگی های فیزیکی رودخانه و تنها توسط حجم جریان بالادست و طول بازه رودخانه، تلفات انتقال را با دقت مناسبی برآورد نمود. اما برای کاربرد رابطه (۱۶) علاوه بر این دو متغیر، لازم است تا عرض رودخانه نیز تعیین گردد.

با استفاده از این روابط، برآورد تلفات انتقال برای هر کیلومتر از کانال با محاسبه حجم جریان در ابتدای آن کیلومتر، که از تفاضل تلفات انتقال از حجم جریان در کیلومتر قبلی به دست می آید، امکان پذیر می باشد. گرچه روابط بر اساس اطلاعات بازه های بدون جریان های عرضی قابل توجه به دست آمدند، ولی وجود جریان های عرضی میانی کاربرد روابط را محدود نمی کند چرا که می توان تلفات را تا ابتدای محل ورود جریان عرضی محاسبه نمود و سپس با افزودن حجم جریان عرضی میانی، دوباره محاسبات را به سمت انتهای بازه ادامه داد.

مقایسه روابط توسعه یافته همبستگی نشان می دهد که مؤثرترین عامل در پیش بینی تلفات انتقال، حجم جریان بالادست می باشد به طوری که افزودن سایر متغیرها به معادله همبستگی، ضریب تبیین را تنها به میزان اندکی بهبود می بخشد. پژوهش های انجام شده در مناطق دیگر نیز حکایت از همبستگی زیاد بین حجم تلفات انتقال و حجم جریان بالادست دارد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که تنها با توجه به حجم جریان بالادست می توان تلفات انتقال را برآورد نمود، بدون آنکه دقت نتایج به میزان معنی داری تحت تأثیر قرار گیرد. اگرچه به نظر می رسد که استفاده از روابطی که بر اساس ویژگی های فیزیکی کانال باشند، معقول تر است؛ اما نتایج حاصل از مجموعه داده های موجود، حاکی از آن است که متقبل شدن هزینه اضافی برای اندازه گیری ویژگی های فیزیکی رودخانه قابل توجیه نمی باشد.

پیش بینی تلفات انتقال با استفاده از روابط همبستگی مربوط به منطقه مورد مطالعه می باشد، زیرا مدل ها تنها برای یک سری از رخدادهای در یک محل یکسان تولید و استفاده شده اند. لذا از آنجا که این روابط، ویژه رودخانه های همان منطقه می باشند، تلفات انتقال در مناطق دیگر را نمی توانند پیش بینی کنند. در این پژوهش نیز به علت کمبود اطلاعات، تنها داده های مربوط به چهار بازه از سه رودخانه کشف رود، کارده و زشک در حوزه آبخیز قره قوم در یک تحلیل همبستگی مورد استفاده قرار گرفتند. بنابراین روابط همبستگی توسعه یافته در این پژوهش، خاص رودخانه های حوزه آبخیز قره قوم می باشند. اما در صورت تکمیل اطلاعات در آینده، می توان روابط همبستگی مشابهی را برای سایر حوزه های منطقه خراسان رضوی توسعه داد که دامنه تغییرات وسیع تری از عامل ها را مدنظر قرار دهند.

Environments. 27: 107-112.

13. Sharma, K.D. and Murthy, J.S.R. 1994. Estimating transmission losses in an arid region. Journal of Arid Environments. 26: 209-219.

14. Sharma, K.D. and Murthy, J.S.R. 1995. Hydrologic routing of flow in arid ephemeral channels. Journal of Hydraulic Engineering. 121(6):466-471.

15. Walters, M.O. 1990. Transmission losses in arid region. Journal of Hydraulic Engineering. 116(1): 129-138.

22-40.

10. Lane, L.J., Ferreira V.J. and Shirley, E.D. 1980. Estimating transmission losses in ephemeral stream channels. Hydrology and Water Resources in Arizona and the South West, Proc. 1980 meeting Arizona Section, A. W. R. A and Hydrology Section Arizona Nevada Academy of Science. 193-202.

11. Lange, J. 2005. Dynamics of transmission losses in a large arid stream channel. Journal of Hydrology. 306: 112-126.

12. Sharma, K.D. and Murthy, J.S.R. 1994. Estimating transmission losses in an arid region- A realistic approach. Journal of Arid