



دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران
گروه مهندسی آبیاری و آبادانی
پردیس کشاورزی و منابع طبیعی
۷ و ۸ آبان ماه ۱۳۹۲



کاربرد روابط رگرسیونی در برآورد تلفات انتقال و مقایسه آن‌ها در مناطق مختلف

ساناز بمبئی چی

دکتری عمران (هیدرولیک)، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

سید محمود حسینی

استاد گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در رودخانه‌های مناطق خشک جریان آب سطحی محدود به دوره‌های زمانی کوتاه مدت می‌شود که پس از آن مجدداً 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. روش‌های متفاوتی برای برآورد تلفات انتقال وجود دارد که یکی از آن‌ها توسعه روابط رگرسیونی برای منطقه مورد مطالعه است که در این تحقیق کاربرد آن مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور روابط رگرسیونی توسعه یافته در حوضه آبریز قره‌قوم در خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفتند و با روابط متناظرشان در مناطق خشک سایر کشورها مقایسه شدند. در تحلیل‌های رگرسیونی مورد استفاده، تلفات انتقال در کیلومتر اول از ابتدای هر بازه به عنوان متغیر وابسته رگرسیون در نظر گرفته شده 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 گرفته و از اطلاعات موجود در ایستگاه‌های هیدرومتری و مشخصات فیزیکی رودخانه‌های حوضه‌های مربوطه استفاده شده است. در مجموع، سه دسته رابطه رگرسیون (خطی و غیرخطی) برای پیش‌بینی تلفات انتقال بر حسب حجم جریان بالادست و عرض رودخانه، مورد بررسی قرار گرفتند. با استفاده از این روابط می‌توان تلفات انتقال را در انتهای هر کیلومتر از مسیر رودخانه با داشتن حجم جریان در آغاز آن کیلومتر تخمین زد، حتی روشی در این تحقیق ارائه شد که وجود جریان‌های عرضی میانی نیز کاربرد آن‌ها را محدود نمی‌کند. چنین روابطی توسط بهره‌برداران منابع آب و طراحان سازه هیدرولیکی استفاده می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تلفات انتقال، رودخانه‌های مناطق خشک، روابط رگرسیون، حوضه آبریز قره‌قوم، جریان‌های عرضی میانی.

مقدمه

در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه خشک جریان آب سطحی به‌طور دائمی برقرار نمی‌باشد و اغلب به دنبال بارندگی‌های فصلی، جریان سیلابی رخ می‌دهد. لذا بستر رودخانه پیش از سیلاب خشک و خاک ناحیه زیرین آن غیراشباع است. بنابراین، هنگام وقوع سیلاب 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. 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 تخمین مناسبی از میزان نفوذ و پتانسیل 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 (Lange, 2005). به‌علاوه، 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. Cataldo et al. (2004) در جمع‌بندی مناسبی روش‌های برآورد تلفات انتقال را به شش گروه تقسیم نموده‌اند که در ادامه مختصراً به آنها اشاره می‌گردد.

- معادلات رگرسیون ساده: در این روش حجم تلفات انتقال بر اساس یک معادله رگرسیون بر حسب متغیرهای مستقل مؤثر بر تلفات انتقال بیان می‌گردد. 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 مشخصات فیزیکی هر یک از این بازه‌ها، در یک مدل آماری ضرایب معادله رگرسیون تخمین زده می‌شوند. (Cataldo et al. (2010), Lane et al. (1971), Sharma and Murthy و Walters (1990) و (1994a) با استفاده از رگرسیون روابط قابل توجهی بین تلفات انتقال و حجم جریان ورودی به دست آورده‌اند.

- معادلات دیفرانسیل ساده شده: این معادلات برای توصیف تغییرات در ذخیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. (Jordan (1977) 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 تخمین زند. (Peebles et al. (1981) 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.

- روش ترکیب معادلات دیفرانسیل و رگرسیون: این روش فرآیندهای فیزیکی مربوط به تلفات انتقال را در نظر می‌گیرد تا به مطالعه شکل کلی معادلات بپردازد و سپس با استفاده از رگرسیون (یا بهینه‌سازی) معادلات مخصوص به منطقه مورد مطالعه را به دست می‌آورد. محققینی که این روش را به کار برده‌اند در واقع تحقیق خود را بر پایه کار Lane et al. (1980) بنا نهاده‌اند، که از این بین علاوه بر کارهای انجام شده توسط Lane در دهه ۱۹۸۰ می‌توان به تحقیق‌های انجام شده توسط Sharma and Murthy (1994b) و Rao and Maurer (1996) نیز اشاره نمود.

- روش مشاهدات و آزمایش‌های میدانی: در این روش با انجام آزمایش‌های میدانی تلفات انتقال تخمین زده 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 تحقیقات انجام شده توسط این روش در تشخیص منابع تلفات انتقال می‌باشد که نیاز به مدلسازی دقیق‌تر تلفات انتقال را مشخص می‌نماید. از جمله مطالعات انجام شده توسط این روش می‌توان به کارهای انجام شده توسط Hughes and Sami (1992)، Keppel and Renard (1962) و Sharp and Saxton (1962) اشاره نمود.

- روش روندیابی جریان: در این روش، روش‌های مرسوم روندیابی جریان (هیدرولوژیکی ویا 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 هیدروگراف‌های حاصل در نقاط مختلف پایین‌دست، میزان تلفات انتقال مشخص می‌گردد. (Sharma and El-Hamas and Richard (1998) و Murthy (1995) و Knighton and Nanson (1994) از روش روندیابی برای برآورد تلفات انتقال استفاده نموده‌اند.

- روش بیلان هیدرولوژیکی: 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 تخمین هر یک از این اجزاء به‌طور جداگانه، میزان تلفات انتقال از معادله بیلان مشخص می‌گردد. (Abdulrazzak and Sorman, Abdulrazzak (1994) و (1994)، Jothiprakash (2003) و Shentsis et al. (1999) با استفاده از این روش به برآورد تلفات انتقال پرداخته‌اند.

اما هدف از این تحقیق ارائه نحوه کاربرد و بررسی روابط رگرسیونی برای برآورد تلفات انتقال و مقایسه این روابط در مناطق مختلف می‌باشد. در این راستا ابتدا روابط رگرسیونی استخراج شده در حوضه آبریز قره‌قوم (بمبئی‌چی و دیگران، ۱۳۸۹) و نحوه کاربرد آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند و سپس با روابط مشابه‌شان در سایر مناطق خشک مقایسه می‌گردند. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که از بین محققین مختلفی که از روش معادلات رگرسیون استفاده نموده‌اند، Walters (1990) و Sharma and Murthy (1994a) به روابط رگرسیونی مشابهی دست یافته‌اند.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق روش معادلات رگرسیون در برآورد تلفات انتقال مورد بررسی قرار می‌گیرد، لذا ابتدا مختصراً نحوه استخراج این معادلات در حوضه آبریز قره‌قوم (بمبئی‌چی و دیگران، ۱۳۸۹) توضیح داده می‌شود؛ که روش مورد استفاده در سایر مناطق به طور مشابه است. در تحلیل رگرسیونی، حجم تلفات انتقال (V_{loss}) به عنوان متغیر وابسته؛ و حجم جریان بالادست (V_{up})، شاخص رطوبت پیشین

(AncI)، زمان تدوام جریان (D)، هدایت هیدرولیکی بستر (K)، عرض (W) و شیب رودخانه (S) به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌اند و معادلات رگرسیون با دو ساختار خطی و غیرخطی زیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند:

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

و

$$V_{loss} = a_1x_1^{b_1}x_2^{b_2}\dots x_n^{b_n} \quad (2)$$

که در آن‌ها V_{loss} حجم تلفات انتقال، x_n ها ($n = 1, 2, \dots$) متغیرهای مستقلی هستند که انتظار می‌رود در تخمین تلفات انتقال مؤثر باشند و a, a_1 و b_i ها ضرایب رگرسیون می‌باشند.

از آنجا که داده‌های تلفات انتقال از تعدادی بازه رودخانه با طول‌های متفاوت جمع‌آوری می‌شوند، نمی‌توان داده‌های تلفات را پیش از استاندارد کردن وارد یک تحلیل رگرسیونی نمود. لذا باید به گونه‌ای داده‌های تلفات را از طول بازه مستقل نمود. به علاوه کاهش حجم جریان در طول بازه رودخانه نیز غیرخطی 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 (Jordan, 1977):

$$V_1 = V_{up} \left[1 - \left(\frac{V_x}{V_{up}} \right)^{1/x} \right] \quad (3)$$

که در آن 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، تخمین زد. بنابراین در تحلیل رگرسیون، به جای V_{loss} در روابط (۱) و (۲) از V_1 به عنوان متغیر وابسته استفاده می‌شود.

پیش از انجام تحلیل رگرسیونی ابتدا لازم است متغیرهای مستقل و وابسته را تخمین زد. برای این منظور اطلاعات ثبت شده مربوط به بارندگی و سیلاب در حوضه‌های مورد مطالعه به منظور دستیابی به رخدادهای رواناب مناسب برای تخمین تلفات انتقال، تحلیل گردیده‌اند. رخدادهایی انتخاب شده‌اند که در هر دو ایستگاه هیدرومتری بالادست و پایین دست جریان داشته باشند، داده‌های ثبت شده مربوط به آن‌ها برای رسم کامل هیدروگراف‌های ورودی و خروجی بازه کافی باشند و تحت تأثیر جریان‌های عرضی و انشعابات رودخانه در آن بازه نباشند.

متغیرهای مستقل حجم جریان بالادست (V_{up})، زمان تدوام جریان (D) و نیز متغیر وابسته‌ی حجم تلفات انتقال در کیلومتر اول (V_1) با استفاده از هیدروگراف‌های رسم شده به ازای هر رخداد محاسبه شده‌اند. شاخص رطوبت پیشین کانال ($AncI$) نیز با توجه به تعداد روزهای گذشته از سیلاب قبلی برای هر رخداد و در تمام ایستگاه‌های موجود در دو انتهای بازه‌ها محاسبه شده است. سایر متغیرهای مستقل یعنی هدایت هیدرولیکی بستر (K)، عرض (W) و شیب رودخانه (S) در بازه مورد نظر مربوط به مشخصات فیزیکی رودخانه‌ها می‌باشند که از طریق بازدید و اندازه‌گیری‌های میدانی و انجام آزمایش‌های لازم به دست آمده‌اند.

پس از تخمین تمام متغیرهای مستقل و وابسته، اقدام به توسعه روابط رگرسیونی با دو ساختار خطی و غیرخطی (روابط ۱ و ۲) با استفاده از نرم‌افزار SYSTAT گردیده است. در تحلیل رگرسیونی متغیر وابسته، یعنی تلفات انتقال در کیلومتر اول (V_1)، بر حسب متغیرهای مستقل یاد شده مورد آزمایش قرار گرفته است. ابتدا تحلیل رگرسیونی با استفاده از کلیه متغیرهای مستقل انجام شده و سپس با حذف هر یک از متغیرها تغییرات ضریب تبیین یا تعیین (R^2) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین ترتیب روابط رگرسیونی متعددی توسعه یافته و ضریب تبیین در این روابط با یکدیگر مقایسه شده است. از مقایسه این روابط نتیجه شده است که مهم‌ترین عامل در پیش‌بینی تلفات انتقال، حجم جریان بالادست می‌باشد و حذف سایر متغیرها از روابط رگرسیون، خطای چندانی در پیش‌بینی نتایج به وجود نمی‌آورد. لذا سه رابطه پیشنهادی برای رودخانه‌های حوضه آبریز قره‌قوم عبارتند از:

$$V_1 = 0.0212V_{up} \quad (4)$$

$$V_1 = 0.241 W^{-0.699} V_{up}^{0.992} \quad (5)$$

$$V_1 = 0.063 V_{up}^{0.932} \quad (6)$$

که در آن‌ها V_1 : تلفات انتقال کیلومتر اول بر حسب مترمکعب، V_{up} : حجم جریان بالادست بر حسب مترمکعب و W : عرض فعال رودخانه بر حسب متر می‌باشند. ضریب تبیین در این معادلات به ترتیب برابر $0/817$ ، $0/836$ و $0/820$ می‌باشد.

۱. نحوه کاربرد و بررسی روابط رگرسیونی توسعه یافته در حوضه آبریز قره‌قوم

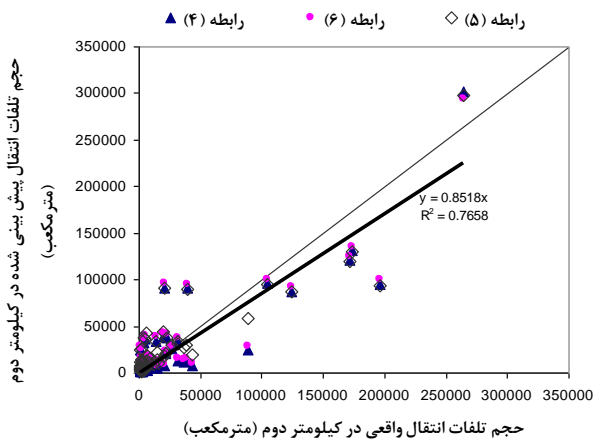
با استفاده از این روابط می‌توان تلفات انتقال را در انتهای هر کیلومتر از مسیر رودخانه با داشتن حجم جریان در آغاز آن کیلومتر تخمین زد. لذا به منظور کاربرد این روابط در برآورد حجم تلفات انتقال در طول کل بازه موردنظر از رودخانه، باید ابتدا با حرکت از بالادست به سمت پایین دست بازه، تلفات انتقال و حجم جریان را در انتهای بازه‌های یک کیلومتری محاسبه نمود. سپس از مجموع حجم تلفات انتقال در بازه‌های یک کیلومتری حجم کل تلفات انتقال در بازه موردنظر را به دست آورد. در واقع با استفاده از این روابط هم می‌توان حجم تلفات انتقال در کیلومترهای مختلف بازه را به دست آورد و هم می‌توان حجم تلفات انتقال در طول مشخصی از بازه را محاسبه نمود. به عنوان مثال اگر هدف محاسبه میزان تلفات انتقال در فاصله ۲۰ کیلومتری از ایستگاه بالادست می‌باشد، کافی است حجم تلفات انتقال را در بازه‌های یک کیلومتری از ابتدای بالادست تا نقطه ۲۰ کیلومتری محاسبه نمود و سپس مجموع آن‌ها را به دست آورد. بدین ترتیب توزیع تلفات انتقال در طول بازه به صورت غیرخطی به دست خواهد آمد. برای روشن تر شدن موضوع در جدول (۱) مقادیر محاسبه شده‌ی حجم تلفات انتقال به ازای ۸ رخداد در کیلومترهای زوج بازه $32/2$ کیلومتری، به همراه حجم تلفات کل بازه که از مجموع مقادیر تلفات در بازه‌های یک کیلومتری به دست آمده و نیز حجم تلفات واقعی در بازه آمده‌اند.

جدول ۱- مقادیر محاسبه شده تلفات انتقال در کیلومترهای زوج بازه $32/2$ کیلومتری (بازه آق در بند- پل خاتون)

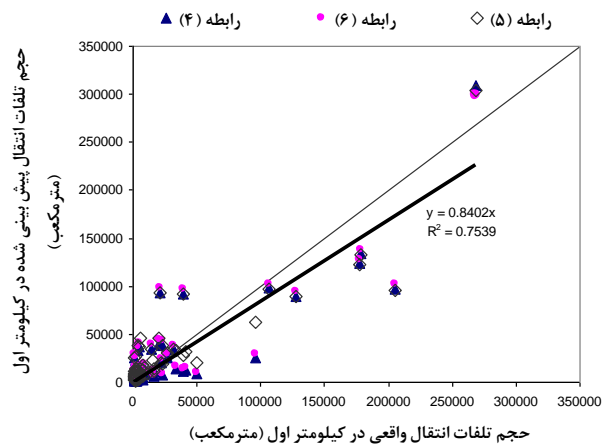
8	7	6	5	4	3	2	1	رخداد کیلومتر
11201.62	100656.78	12906.76	125228.65	5261.63	23571.72	134840.61	92560.31	2
10662.75	96524.89	12292.18	120168.65	4994.32	22497.09	129421.30	88737.67	4
10147.97	92550.58	11704.80	115298.61	4739.64	21467.98	124204.34	85061.70	6
9656.29	88728.30	11143.51	110611.93	4497.03	20482.62	119182.75	81527.21	8
9186.76	85052.70	10607.24	106102.24	4265.97	19539.30	114349.78	78129.18	10
8738.45	81518.56	10094.95	101763.38	4045.94	18636.35	109698.89	74862.74	12
8310.47	78120.86	9605.66	97589.36	3836.46	17772.17	105223.75	71723.19	14
7901.97	74854.74	9138.41	93574.41	3637.07	16945.24	100918.22	68705.97	16
7512.14	71715.50	8692.28	89712.93	3447.31	16154.07	96776.37	65806.68	18
7140.18	68698.58	8266.40	85999.49	3266.75	15397.23	92792.46	63021.07	20
6785.35	65799.58	7859.92	82428.87	3094.99	14673.35	88960.92	60345.02	22
6446.90	63014.25	7472.01	78995.99	2931.62	13981.09	85276.37	57774.56	24
6124.15	60338.47	7101.90	75695.95	2776.27	13319.19	81733.61	55305.83	26
5816.41	57768.27	6748.83	72523.99	2628.57	12686.41	78327.60	52935.12	28
5523.05	55299.79	6412.07	69475.53	2488.17	12081.57	75053.47	50658.83	30
5243.45	52929.32	6090.94	66546.13	2354.75	11503.53	71906.49	48473.50	32
261235.39	2465596.07	302022.03	3081352.93	120448.93	559387.95	3322885.03	2263310.53	تلفات کل
257508.00	2441801.83	328140.00	3680222.34	104532.47	508500.00	3808726.00	2656840.85	تلفات واقعی

در شکل‌های (۲) تا (۵) به منظور ارزیابی عملکرد روابط (۴) تا (۶) در فضای مستقل و نیز ارائه‌ای از کاربرد جامع‌تر آن‌ها، تلفات انتقال پیش‌بینی شده توسط این روابط با تلفات انتقال واقعی مقایسه می‌گردد. گرچه تلفات واقعی در کل بازه از تفاضل حجم هیدروگراف‌های ورودی و خروجی مشاهداتی به دست می‌آید، اما منظور از تلفات واقعی در هر بازه (کیلومتر) میانی، تلفاتی است که از توزیع غیریکنواخت تلفات با توجه به رابطه (۳) محاسبه می‌شود. تلفات در بازه (کیلومتر) اول، که در فرآیند توسعه روابط رگرسیونی 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 (۲) تا (۵) ترسیم شده‌اند. در این نمودارها خطوط برازش برای رابطه (۵) رسم شده‌اند تا عملکرد این رابطه در مقایسه با خط برازش کامل ۴۵ درجه روشن تر گردد. با توجه به شکل‌های (۲) تا (۵) مشاهده می‌گردد که با پیشروی محاسبات از کیلومتر اول به سمت کیلومترهای بعدی بازه، روابط توسعه یافته رگرسیونی تلفات انتقال را بهتر تخمین می‌زنند. 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

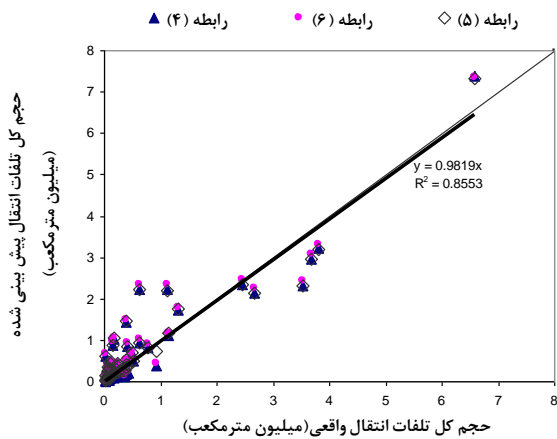
مجموع تلفات انتقال بر روی کل بازه، انطباق بیشتری بین روابط توسعه یافته وجود دارد (شکل ۵). لازم به تأکید است که در شکل (۵) تلفات بر روی کل بازه از مجموع تلفات تک-تک کیلومترهای مربوط به آن بازه به دست آمده و در محاسبه تلفات هر کیلومتر نیز از روابط رگرسیونی استفاده شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که محاسبه تلفات انتقال بر روی کل بازه از کمترین خطا برخوردار است که این امر می‌تواند به علت عدم انطباق کامل توزیع غیرخطی پیش‌بینی شده بر توزیع واقعی تلفات انتقال در بازه‌های یک کیلومتری باشد. اما در مجموع می‌توان گفت که روابط رگرسیونی هدف پیش‌بینی تلفات انتقال در طول بازه را به خوبی برآورده می‌نمایند.



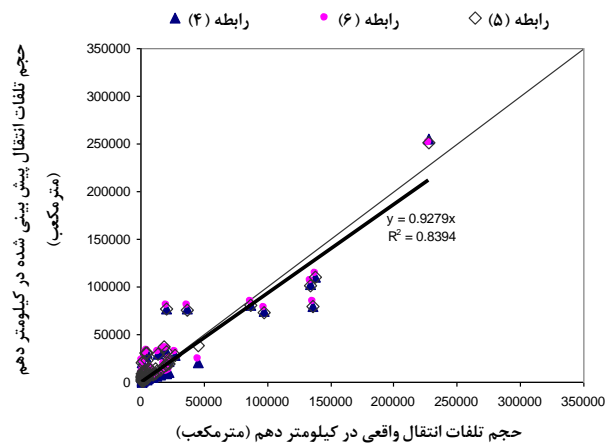
شکل ۳- بررسی روابط (۴)، (۵) و (۶) در کیلومتر دوم بازه



شکل ۲- بررسی روابط (۴)، (۵) و (۶) در کیلومتر اول بازه
خط برازش داده شده مربوط به رابطه (۵) است



شکل ۵- بررسی روابط (۴)، (۵) و (۶) در برآورد حجم تلفات انتقال در کل بازه



شکل ۴- بررسی روابط (۴)، (۵) و (۶) در کیلومتر دهم بازه

۲. مقایسه روابط رگرسیونی توسعه یافته در حوزه آبریز قره‌قوم با روابط موجود در سایر مناطق خشک

یکی از محدودیت‌های روابط رگرسیونی این است که این روابط خاص منطقه مورد مطالعه‌شان می‌باشند. اما به طور کلی مقایسه‌ی روابط به دست آمده در این تحقیق با روابط سایر مناطق نشان می‌دهد که آن‌ها نیز به روابط مشابهی به لحاظ ساختاری و متغیرهای مؤثر رسیده‌اند، اما ضرایب معادلات آن‌ها مربوط به منطقه خاص مورد مطالعه‌شان می‌باشد. به عنوان مثال Walters (1990) روابط زیر را برای یک منطقه خشک در جنوب غربی عربستان سعودی برای تلفات انتقال مایل اول بر حسب *acre - feet* ارائه نموده است:

$$V_1 = 0.0500 V_{up} \quad (7)$$

$$V_1 = 0.0006225 W^{1.216} V_{up}^{0.507} \quad (8)$$

$$V_1 = 0.103 V_{up}^{0.872} \quad (9)$$

که در آن‌ها V_1 : تلفات انتقال مایل اول بر حسب *acre - feet* و V_{up} : حجم جریان بالادست بر حسب *acre - feet* و W : عرض فعال رودخانه بر حسب *ft* می‌باشند. همچنین Sharma and Murthy (1994a) روابط زیر را برای حوزه آبریز Luni واقع در نواحی خشک شمال غربی هند ارائه نموده‌اند:

$$V_1 = 0.029 V_{up} \quad (10)$$

$$V_1 = 6.338 W^{-0.793} V_{up}^{0.913} \quad (11)$$

$$V_1 = 1.983 V_{up}^{0.730} \quad (12)$$

که در آن‌ها V_1 : تلفات انتقال کیلومتر اول بر حسب مترمکعب، V_{up} : حجم جریان بالادست بر حسب مترمکعب و W : عرض فعال رودخانه بر حسب متر می‌باشند. همان طور که مشاهده می‌شود، پارامترهای مؤثر در این روابط و نیز ساختار آن‌ها مانند روابط به‌دست آمده برای حوضه آبریز قره‌قوم در شمال شرقی ایران می‌باشد. در شکل‌های (۶) تا (۱۳) به منظور ارزیابی عملکرد روابط (۷) تا (۱۲) در فضای مستقل و مقایسه آن‌ها با روابط حوضه آبریز قره‌قوم، تلفات انتقال پیش‌بینی شده توسط این روابط با تلفات انتقال واقعی مقایسه می‌گردد. لازم به ذکر است که رابطه (۱۲) تلفات انتقال را به میزان زیادی بالاتر از دو رابطه پیشنهادی دیگر (Sharma and Murthy 1994a) پیش‌بینی می‌کند به طوری که در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) مقدار آن بیشتر از حجم جریان بالادست و لذا غیرقابل محاسبه گردید.

۳. وجود جریان‌های عرضی و انشعابات رودخانه‌ها

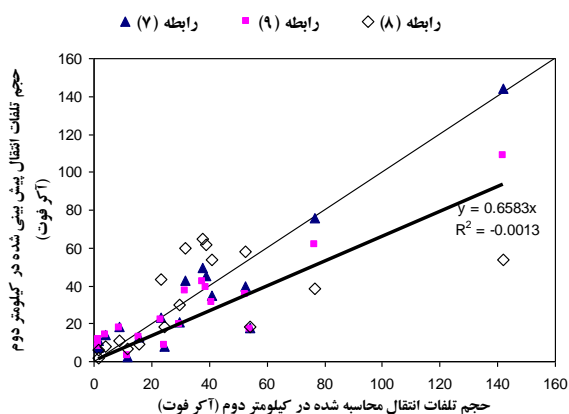
یکی از نکات قابل توجه در توسعه روابط رگرسیونی برای برآورد تلفات انتقال در یک بازه، بررسی جریان‌های عرضی و انشعابات رودخانه در فاصله بین ایستگاه‌های هیدرومتری در دو انتهای بازه می‌باشد. باید بازه‌هایی برای تحلیل رگرسیونی انتخاب گردند که حتی-الامکان انشعابی نداشته باشند؛ و یا در صورت وجود، سهم ناچیزی از جریان را در برگیرند. بنابراین با بررسی توزیع بارندگی و رواناب‌های ثبت شده در فاصله بین ایستگاه‌های هیدرومتری، رخدادهایی که میزان تلفات انتقال در آن‌ها به میزان قابل توجهی تحت تأثیر رواناب حاصل از سطح زهکشی بین دو انتهای بازه قرار داشتند، از مجموعه رخدادهای مورد استفاده در رگرسیون حذف شده‌اند. اگر چه در هنگام استخراج روابط رگرسیونی از اطلاعات رخدادهای بدون جریان‌های عرضی قابل توجه استفاده شد، اما هنگام کاربرد این روابط وجود جریان‌های عرضی میانی محدودیتی را به وجود نمی‌آورد. به عبارت دیگر، پس از به‌دست آوردن روابط رگرسیونی با توجه به اطلاعات رخدادهای بدون جریان عرضی، از این روابط می‌توان برای پیش‌بینی تلفات انتقال در رخدادهای با جریان عرضی نیز استفاده نمود. برای این منظور ابتدا تلفات انتقال و حجم جریان در انتهای بازه‌های یک کیلومتری تا ابتدای محل ورود جریان عرضی با استفاده از یکی از روابط پیش‌بینی (۴)، (۵) یا (۶) محاسبه می‌شود، سپس با افزودن حجم جریان عرضی میانی به حجم جریان در آن محل، مجدداً محاسبات تلفات به سمت انتهای بازه ادامه داده می‌شود. بدین ترتیب حجم تلفات انتقال در کل بازه به‌دست می‌آید. به عنوان مثال سه رخداد که در مجموعه رخدادهای مورد استفاده در رگرسیون وجود ندارند و در میانه بازه جریان عرضی مشخصی به آنها وارد می‌شود، در نظر گرفته شدند. با استفاده از روشی که شرح داده شد و رابطه خطی (۴) حجم تلفات انتقال در کل بازه $333306/92$ ، $276436/83$ و $116043/4$ مترمکعب به‌دست آمد که مقادیر تلفات واقعی در این رخدادهای به ترتیب عبارت از $326577/2$ ، $266321/7$ و $181480/9$ می‌باشند. نزدیکی قابل توجه مقادیر تلفات پیش‌بینی شده با مقادیر تلفات واقعی در این سه رخداد حاکی از صحت روش مورد استفاده در برآورد تلفات انتقال در صورت وجود جریان‌های عرضی میانی است.

نتایج و بحث

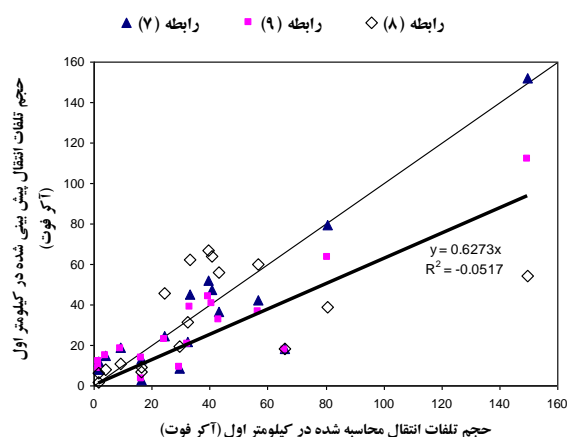
همان طور که گفته شد روابط (۴) تا (۶) از میان روابط رگرسیونی متعددی با توجه به میزان اثربخشی پارامترهای مؤثر بر روی ضریب تبیین انتخاب شده‌اند. مقایسه کلیه این روابط نشان می‌دهد که مؤثرترین پارامتر در پیش‌بینی تلفات انتقال، حجم جریان بالادست می‌باشد به طوری که افزودن سایر متغیرها به معادله رگرسیون، ضریب تبیین را تنها به میزان اندکی بهبود می‌بخشد. تحقیقات 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 می‌شود که معادلات غیرخطی نیز تا حدودی نتایج را بهتر پیش‌بینی می‌کنند.

بررسی روابط ارائه شده در مناطق خشک سایر کشورها برای برآورد حجم تلفات انتقال در کیلومتر اول نشان می‌دهد که علیرغم تفاوت جغرافیایی این مناطق با منطقه خشک مورد مطالعه در این تحقیق، آنها نیز به لحاظ ساختاری و متغیرهای مؤثر به روابط مشابهی دست یافته‌اند. اما ضرایب هر یک از این روابط مربوط به منطقه خاص مورد مطالعه‌شان می‌باشد. همان طور که در روابط (۷) تا (۱۲) مشاهده می‌شود، در عربستان سعودی و هند نیز روابط خطی و توانی مشابهی بر حسب پارامترهای مستقل حجم جریان بالادست و عرض رودخانه به‌دست آمده‌اند. اما ضرایب این معادلات بیانگر متوسط رفتاری رودخانه‌های مورد مطالعه‌شان می‌باشد. ضریب رابطه خطی به‌دست آمده توسط Sharma and Murthy (1994a)، یعنی رابطه (۱۰)، نزدیکی قابل توجهی با رابطه مشابه در تحقیق حاضر، یعنی رابطه (۴)، دارد. اما

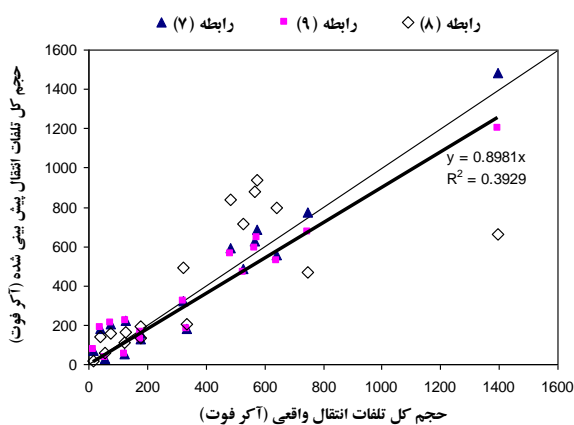
مقایسه ضرایب روابط غیرخطی به علت اثر توأم این ضرایب بر هم و بر روی نتایج حاصل از رابطه به این سادگی نمی‌باشد. محاسبه مقادیر



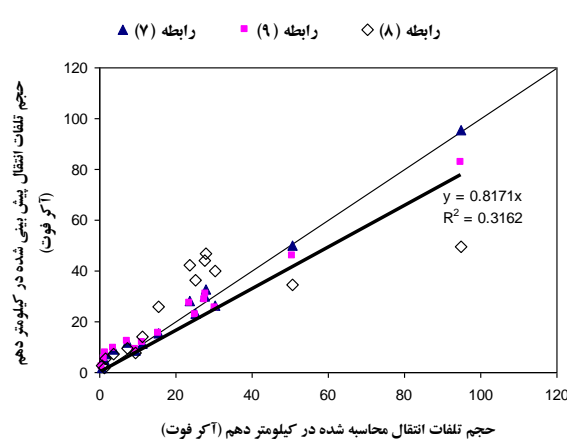
شکل ۷- بررسی روابط (۷)، (۹) و (۸) در کیلومتر دوم بازه



شکل ۶- بررسی روابط (۷)، (۹) و (۸) در کیلومتر اول بازه (خط برازش داده شده مربوط به رابطه (۵) است)



شکل ۹- بررسی روابط (۷)، (۹) و (۸) در برآورد حجم تلفات انتقال در کل بازه



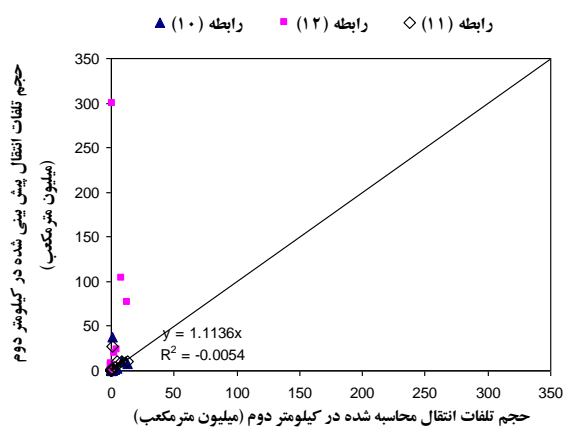
شکل ۸- بررسی روابط (۷)، (۹) و (۸) در کیلومتر دهم بازه

عددی نشان می‌دهد که روابط توانی (Walters (1990) مشابهت بیشتری با روابط متناظر در این تحقیق دارند. البته به طور کلی روابط توانی (Sharma and Murthy (1994a) به میزان زیادی تلفات انتقال را بیش تر از سایر روابط توانی برآورد می‌کند که حتی با مقدار به دست آمده از رابطه خطی ارائه شده توسط خود آن‌ها نیز تفاوت زیادی دارد. در حالی که بین مقادیر پیش بینی شده توسط روابط خطی و توانی در میان روابط ارائه شده توسط این تحقیق و نیز (Walters (1990) چنین تفاوتی مشاهده نمی‌شود. بنابراین با توجه به موارد بحث شده، مقایسه روابط خطی و توانی (Walters (1990) با تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تلفات انتقال در منطقه مورد مطالعه او بیش تر از تحقیق حاضر است. اما در مورد روابط (Sharma and Murthy (1994a) همان طور که گفته شد تنها رابطه خطی قابل مقایسه است، لذا اگر تنها بر اساس این رابطه قضاوت شود، خصوصیات منطقه مورد مطالعه آن‌ها مشابه تحقیق حاضر است.

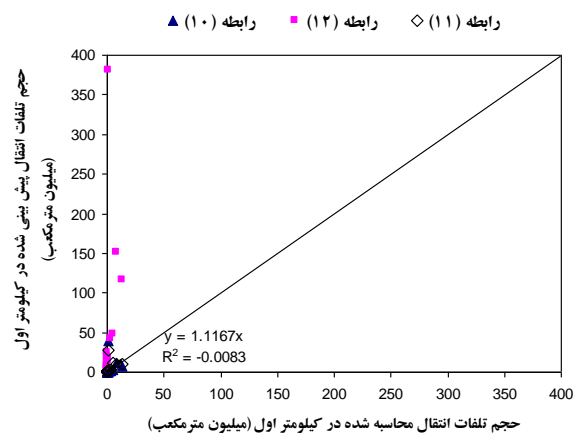
با مطالعه شکل‌های (۶) تا (۱۳) نیز مشابه شکل‌های (۲) تا (۵) مشاهده می‌گردد که با پیشروی محاسبات از کیلومتر اول به سمت کیلومترهای بعدی بازه، روابط توسعه یافته رگرسیونی تلفات انتقال را بهتر تخمین می‌زنند. همچنین، در محاسبه مجموع تلفات انتقال بر روی کل بازه، انطباق بیشتری بین روابط توسعه یافته وجود دارد. از سوی دیگر مقایسه خطوط برازش رسم شده برای رابطه غیرخطی که بر حسب حجم جریان بالادست و عرض رودخانه است، در شکل‌های (۲) تا (۱۳) نشان می‌دهد که بیشترین نزدیکی با خط برازش ۴۵ درجه مربوط به حوضه قره‌قوم در شمال-شرقی ایران است. تلفات انتقال پیش‌بینی شده در عربستان نیز نزدیکی قابل قبولی با تلفات انتقال واقعی دارند (شکل‌های ۶ تا ۹)، اما همان طور که در شکل‌های (۱۰) تا (۱۳) مشاهده می‌گردد، تلفات انتقال پیش‌بینی شده در هندوستان عموماً حدود ده برابر تلفات انتقال واقعی می‌باشند.

نتیجه‌گیری

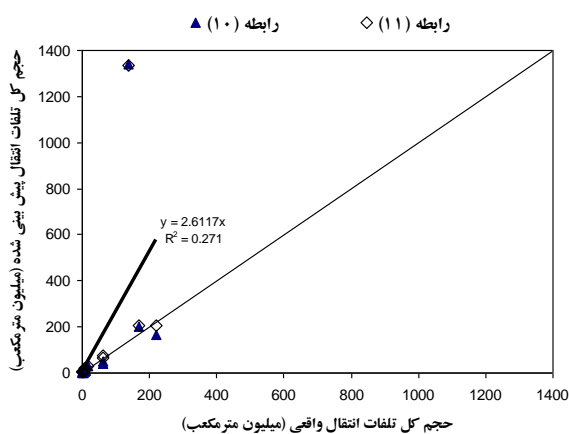
در این تحقیق برآورد تلفات انتقال با استفاده از روابط رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا نحوه کاربرد سه دسته رابطه رگرسیونی خطی و غیرخطی بررسی شد و این روابط در خشک کشورهای مختلف با هم مقایسه گردید. از میان این سه دسته رابطه غیرخطی که بر حسب حجم جریان بالادست و عرض رودخانه تلفات انتقال را تخمین می‌زند از بیشترین ضریب تبیین برخوردار است. نکته قابل توجه دیگر آن است که



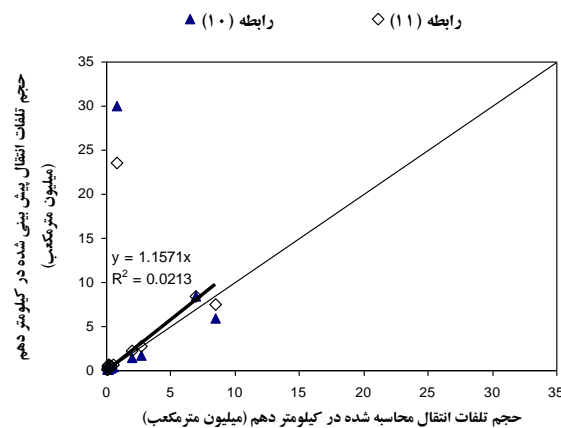
شکل ۱۱- بررسی روابط (۱۰)، (۱۲) و (۱۱) در کیلومتر دوم بازه



شکل ۱۰- بررسی روابط (۱۰)، (۱۲) و (۱۱) در کیلومتر اول بازه
(خط برازش داده شده مربوط به رابطه (۵) است)



شکل ۱۳- بررسی روابط (۱۰) و (۱۱) در برآورد حجم تلفات انتقال در کل بازه



شکل ۱۲- بررسی روابط (۱۰) و (۱۱) در کیلومتر دهم بازه

دو رابطه (خطی و غیرخطی) می‌توانند تنها بر اساس حجم جریان بالادست، تلفات انتقال را پیش‌بینی کنند. لذا با استفاده از این دو رابطه می‌توان در غیاب مشخصات فیزیکی رودخانه و تنها توسط حجم جریان بالادست و طول بازه رودخانه، تلفات انتقال را با دقت مناسبی تخمین زد. با استفاده از این روابط، تخمین 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 می‌آید، امکان‌پذیر می‌باشد. یعنی هم می‌توان حجم تلفات انتقال در کیلومترهای مختلف بازه را به دست آورد و هم می‌توان حجم تلفات انتقال در طول مشخصی از بازه را محاسبه نمود. بدین ترتیب توزیع تلفات انتقال در طول بازه به صورت غیرخطی خواهد آمد. اما مقایسه نتایج پیش‌بینی شده با تلفات واقعی حاکی از آن است که محاسبه تلفات انتقال بر روی کل بازه از کمترین خطا برخوردار است. از سوی دیگر، با وجود آن که روابط بر اساس اطلاعات رخدادهای بدون جریان-های عرضی قابل توجه به دست آمدند، با استفاده از روش ارائه شده در این تحقیق می‌توان تلفات انتقال را با وجود جریان‌های عرضی مشخص، محاسبه نمود. چنین روابطی می‌توانند مورد کاربرد بهره‌برداران منابع آب و طراحان سازه هیدرولیکی قرار گیرند. مقایسه روابط ارائه شده برآورد تلفات انتقال در مناطق خشک سایر کشورها با منطقه خشک مورد مطالعه در این تحقیق نشان می‌دهد که علیرغم تفاوت جغرافیایی، روابط مناطق مختلف به لحاظ ساختاری و متغیرهای مؤثر مشابه هم می‌باشند. اما ضرایب هر یک از این روابط خاص منطقه مورد مطالعه و بیانگر متوسط رفتاری رودخانه‌های مورد مطالعه‌شان می‌باشد. ضریب رابطه خطی به دست آمده توسط Sharma and Murthy (1994a) نزدیکی قابل توجهی با رابطه مشابه در این تحقیق دارد. به طور کلی مقایسه مقادیر عددی حاصل از روابط خطی و توانی Walters (1990) با تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تلفات انتقال در منطقه مورد مطالعه او بیش‌تر از تحقیق حاضر است. اما بر اساس رابطه خطی Sharma and Murthy (1994a) خصوصیات منطقه مورد مطالعه آن‌ها مشابه تحقیق حاضر است.

مراجع

- بمبئی چی، س.، حسینی، س.م. و قهرمان، ب. (۱۳۸۹). توسعه معادله‌های همبستگی برای برآورد تلفات انتقال در رودخانه‌های فصلی حوزه آبخیز قره‌قوم. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال چهارم، شماره یازدهم، ۱۳-۲۴.
- علیزاده، ا. (۱۳۸۷). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع) مشهد، ۴۳۸ صفحه.
- Abdulrazzak, M. J. (1994). Losses of floodwater from alluvial channels. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 9, 15-24.
- Abdulrazzak, M. J. and Sorman, A. U. (1994). Transmission losses from ephemeral stream in arid region. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(3), 669-675.
- 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.
- 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.
- El-Hames, A.S. and Richards, K.S. (1998). An integrated, physically based model for arid region flash prediction capable of simulating dynamic transmission loss. *Hydrological Processes*, 12: 1219-1232.
- 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.
- Jordan, P.R. (1977). Streamflow transmission losses in Western Kansas. *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, 105:905-919.
- Jothiprakash, V. (2003). Water balance model to assess the water loss/gain in a river system. *Journal of Institution of Engineers India Part Civil Engineering Division*, 84, 196-200.
- Keppel, R.V. and Renard, K.G. (1962). Transmission losses in ephemeral stream beds. *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, 88(HY3), 59-68.
- Knighton, A. D. and Nanson, G. C. (1994). Flow transmission along an arid zone anastomosing river, Cooper Creek, Australia. *Hydrological Processes*, 8, 137-154.
- Lane, L.J., Diskin, M.H. and Renard, K.G. (1971). Input-output relationships for an ephemeral stream channel system. *Journal of Hydrology*, 13: 22-40.
- 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.
- Lange, J. (2005). Dynamics of transmission losses in a large arid stream channel. *Journal of Hydrology*, 306: 112-126.
- Peebles, R. W., Smith, R. E. and Yakowitz S. J. (1981). A leaky reservoir model for ephemeral flow recession. *Water Resources Research*, 17(3), 628-636.
- Rao, C. X. and Maurer, E. P. (1996). A simplified model for predicting daily transmission losses in a stream channel. *Water Resources Bulletin*, 32(6), 1139-1146.
- Sharma, K.D. and Murthy, J.S.R. (1994). Estimating transmission losses in an arid region- A realistic approach. *Journal of Arid Environments*, 27: 107-112.
- Sharma, K.D. and Murthy, J.S.R. (1994). Estimating transmission losses in an arid region. *Journal of Arid Environments*, 26: 209-219.
- 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.
- Sharp, A.L. and Saxton, K.E. (1962). Transmission losses in natural stream valleys. *Journal of the Hydraulics Division. A.S.C.E.* 88(HY5), 121-142.
- Shentsis, I., Meirovich, L., Ben-Zvi A. and Rosenthal E. (1999). Assessment of transmission losses and groundwater recharge from runoff events in a wadi under shortage of data on lateral inflow, Negev, Israel. *Hydrological Processes*, 13, 1649-1663.

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