

## مدل سازی فیزیکی و بررسی تاثیر مشخصه های هیدرولیکی سیلاب سریع بر تلفات انتقال در آبراهه نفوذپذیر (رودخانه های فصلی)

پروین جعفری

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

[p.jafari21@yahoo.com](mailto:p.jafari21@yahoo.com)

کاظم اسماعیلی

دانشیار و عضو هیات علمی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)

[esmaili@um.ac.ir](mailto:esmaili@um.ac.ir)

بیژن قهرمان

استاد و عضو هیات علمی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

[bijangh@um.ac.ir](mailto:bijangh@um.ac.ir)

چکیده

رگبارهای سریع در مناطق خشک در مدتی کوتاه به سیلاب سریع تبدیل شده و به علت نفوذ جریان به بستر اوج سیلاب در پایین دست کاهش می یابد. اطلاع از میزان تلفات انتقال<sup>۱</sup> در طول آبراهه در برنامه ریزی های منابع آب اهمیت قابل ملاحظه ای دارد. برآورد مقدار جریان تلف شده در شرایط طبیعی بدلیل کمبود یا عدم وجود آمار و اطلاعات لازم کاری مشکل بوده که این امر نیاز مطالعات آزمایشگاهی را افزایش می دهد. مجموعه ای از آزمایشهای انجام شده در زمینه بررسی ارتباط بین تلفات نفوذ در مسیر آبراهه با جریان ورودی به آبراهه در شرایط مختلف سیلاب ورودی از نظر دبی اوج و زمان پایه متفاوت صورت گرفته است. با مدلسازی هیدرولیکی آبنمودهایی با شمای مثلثی و دوزنقه ای تولید میزان تلفات نفوذ براساس شکل آبنمود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آنست با افزایش زمان پایه و نیز دبی اوج سیلاب (متعاقبا افزایش حجم ورودی)، درصد تلفات نسبی نفوذ (حجم ورودی به حجم تلفات) در طول مسیر کاهش می یابد. در مورد اثر شکل آبنمود نتایج بدست آمده نشان می دهند، با تغییر شکل آبنمود از مثلثی متقارن به دوزنقه متقارن با زمان پایه و دبی اوج یکسان، اختلاف دبی اوج آبنمود ورودی و خروجی از ۱۸/۹٪ به ۹/۶٪ کاهش یافت.

**واژگان کلیدی:** تلفات انتقال، رودخانه فصلی، سیلاب سریع، مشخصات هیدرولیکی جریان

<sup>۱</sup>-transmission losses

## مقدمه

چالش‌های مورد توجه کنفرانس جهانی آب در شروع قرن ۲۱ نشان می‌دهد کمبود آب قابل استفاده در سطح کره زمین یکی از مهمترین موضوعات درگیر کننده جوامع بشری است. ارائه راهکارهای متعدد برای رویارویی با این معضل عظیم سمت و سوی تحقیقات و فعالیتهای بشر را در نقاط مختلف به یک مسیر تقریباً یکسان هدایت کرده است. دستیابی به منابع آبی جدید، حفظ و حراست از منابع در حال بهره برداری، اصلاح روشهای مدیریتی و اهمیت دادن به منابعی که پیش از این چندان مورد توجه نبوده است از جمله رویکردهای در حال مطالعه و یا اجرا می‌باشد. تغییرات اقلیمی بروز کرده در دهه های اخیر نشان از کاهش منابع آبی در آینده نه چندان دور می‌کند. از آنجا که میزان جریانهای سطحی در رودخانه ها نقش غیرقابل انکاری در تامین آب مورد نیاز دارند و از سوی دیگر میزان آب ناشی از جریانهای سیلابی در رودخانه ها ی خشک و نیمه خشک که تعداد بسیار زیادی از آبراهه های کشور ما را تشکیل می‌دهند می‌تواند بعنوان یک پتانسیل غیر قابل انکار مد نظر باشد لذا اطلاع از میزان تلفات جریانهای سیلابی در این رودخانه ها در امر مدیریت و برنامه ریزی منابع آب بسیار مهم خواهد بود. پیوند مستقیم رودخانه ها با مسایل اجتماعی، اقتصادی و معیشتی جوامع، عامل اصلی حساسیت نگاه بشری به این منبع آبی مهم است. مهار و کنترل آب‌های سطحی کشور و استفاده بهینه از آن‌ها مستلزم شناخت کمیت آن از نظر مقدار و توزیع زمانی و مکانی آن‌ها می‌باشد. جریان آب سطحی در رودخانه های مناطق خشک و نیمه خشک در یک دوره زمانی کوتاه اتفاق می‌افتد و به شدت متغیر است. و گاه ممکن است منجر به خسارت جانی و مالی زیاد شود که نمونه قابل ذکر آن طغیان رودخانه های فصلی در ۲۷ شهریور ۹۴ است که در بخش‌هایی از کشور رخ داد و خساراتی را نیز بوجود آورد. هنگامی که سیلاب در رودخانه های این مناطق اتفاق می‌افتد، حجم آن در پایین دست به دلیل نفوذ آب به بستر، سواحل و دشتهای سیلابی کاهش می‌یابد. این کاهش حجم تلفات انتقال نامیده می‌شوند. چنین تلفاتی به عنوان یک منبع بزرگ تغذیه آب زیرزمینی و قنات‌ها در مناطق خشک نیز محسوب می‌شوند. روند یابی جریان در رودخانه های فصلی بدلیل تلفات انتقال و نبود جریان پایه قبل از وقوع سیلاب با روش های مرسوم روند یابی امکان پذیر نمی‌باشد و لازم است روشهای روند یابی برای این رودخانه ها توسعه داده شوند. به طور کلی دو روش برای اندازه گیری تلفات انتقال وجود دارد: اندازه گیری مستقیم تلفات انتقال برای بازه ای خاص از رودخانه و اندازه گیری غیر مستقیم تلفات انتقال با بررسی وضعیت تغییرات سطح آب زیر زمینی منطقه مورد نظر. در این زمینه تحقیقات مختلفی چه در داخل و یا خارج کشور انجام شده است که می‌توان به برخی از آنها بصورت مختصر اشاره کرد.

گردن (۱۹۷۷) مقادیر افت بین دو ایستگاه هیدرومتری موجود در تعدادی از رودخانه های فصلی کانزاس غربی آمریکا مربوط به سیلاب های ناشی از چند واقعه رگباری در فاصله زمانی سالهای ۱۹۵۱ تا ۱۹۷۴ را مورد بررسی قرار داده و ضمن نشان دادن و ارائه تغییرات مقدار تلفات انتقال در مقابل حجم جریان ایستگاه هیدرومتری بالادست رودخانه ها، مقدار افت رودخانه های مورد اشاره را برای هر بازه یک مایلی به طور متوسط حدود ۲ درصد جریان ایستگاه هیدرومتری بالادست، بدست آورد. لین و همکاران (۱۹۷۱ و ۱۹۸۰) روابطی را برای جریان ورودی - خروجی رودخانه های فصلی ارائه کردند، این تحقیق نیز در حوضه آبریز معرف والنات گالچ انجام گرفت. آنها علاوه بر ارائه رابطه ساده ای برای برآورد تلفات انتقال با استفاده از دبی بالادست، در نهایت روشی برای تخمین آبنمود خروجی از طریق حجم هیدروگراف جریان ورودی و با استفاده از توزیع گامای سه پارامتری ارائه دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که رابطه معنا داری بین تلفات انتقال و حجم جریان ورودی وجود دارد. والترز (۱۹۹۰) نیز به بررسی مقدار تلفات انتقال در نواحی خشک جنوب غربی عربستان سعودی پرداخت. دو مدل رگرسیونی با استفاده از داده ها و لگاریتم داده ها، برای ارزیابی تلفات انتقال تهیه شد. در نهایت سه مدل رگرسیونی برای تخمین تلفات انتقال ارائه شد که بهترین آنها فقط از جریان بالادست به عنوان متغیر استفاده می‌کرد. نتایج هر دو مدل داده های معمولی و لگاریتمی یکسان بودند. شارما و مورتی (۱۹۹۴) به بررسی تلفات انتقال نواحی خشک شمال غربی هندوستان پرداختند. در این مطالعه ۷۸ هیدروگراف مربوط به ۱۴ بازه و همچنین داده های ماهواره ای برای تعیین عرض مقطع و تعیین محیط خیس شده استفاده شد. آنها مدل رگرسیونی ساده شده ای برای برآورد تلفات انتقال رودخانه های مناطق خشک ارائه دادند. نتایج نشان داد که تلفات انتقال متناسب

با پارامتر عرض از مبدا معادله رگرسیون (حجم ورودی) است. ویترو و همکاران (۱۹۹۷) با استفاده از داده های دو ایستگاه هیدرومتری متوالی، مقادیر افت در دو رودخانه فصلی واقع در حوضه آبریز والنات گالچ را در طی ۱۰ سال اندازه گیری کرده و رابطه نمایی را بین مقادیر نسبت جریان در پایین دست به مقدار جریان در بالادست به ازای مقدار جریان در بالادست، به دست آورد. لانگ (۲۰۰۵) به بررسی تلفات نشت در طی ۱۴ رخدادهای هیدرولوژیکی در رودخانه کویسب در صحرای نامیبیا<sup>۱</sup>، به طول ۱۵۰ کیلومتر پرداخت. مطالعات وی نشان داد تلفات نشت وقتی که هیدروگراف ورودی با دبی اوج بالاتری اتفاق می افتد، بیشتر است. وی خاطر نشان کرد که هرچند درصد کمی تغذیه سفره آب زیر زمینی را نمی توان حساب نمود ولی مقدار تغذیه آب زیر زمینی در اثر وقوع یک سیلاب بزرگ منحصر بفرد بیشتر از مقدار تغذیه توسط چند سیلاب کوچک متوالی می باشد. فتوحی و حسینی (۲۰۰۷) روش های مختلف برآورد دبی نشت از رودخانه ها را مورد بررسی قرار داده و بعد معادله های حاکم بر حرکت موج سیلاب (معادله سنت-ونان) را با وارد کردن عبارت مربوط به تلفات انتقال اصلاح شده و با استفاده از نرم افزار Matlab یک برنامه کامپیوتری برای حل این معادله ها تهیه نمود و در شرایط میدانی با استفاده از آنمود Lane و مشخصات رودخانه Hughes Wash آن را ارزیابی نمودند. انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای ورودی مدل نشان داد که نتایج خروجی مدل (دبی اوج آنمود خروجی، حجم سیلاب و حجم نشت) حساسیت بیشتری نسبت به پارامترهای ورودی (نظیر طول و هدایت هیدرولیکی بازه تحت مطالعه و دبی اوج آنمود ورودی به بازه) دارند. آنها مدل را برای بازه ای از رودخانه زشک در خراسان رضوی اجرا نمودند که نتایج نشان داد با افزایش پارامترهای ورودی از جمله طول رودخانه، عرض رودخانه، زبری، هدایت هیدرولیکی، میزان نشت نیز افزایش می یابد و افزایش دبی اوج آنمود و شیب باعث کاهش میزان نشت می شود. غفوریان و همکاران (۲۰۱۲) میزان نفوذ آب به بستر رودخانه های فریزی، زشک (شاندیز) و گلستان، از سرشاخه های اصلی بخش جنوبی حوضه آبریز کشف رود به روش مستقیم اندازه گیری و با نتایج مدل Hec-Ras مقایسه کرده و رابطه نمایی معنی داری بین مقادیر درصد نفوذ و متغیرهای دبی در ابتدای بازه و متوسط محیط خیس شده بازه در هر کیلومتر طول بستر برای رودخانه های تحت بررسی به دست آوردند. بمبئی چی و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از داده های موجود در ایستگاههای آسنجی و ویژگی های فیزیکی سه رودخانه کشف رود، کارده و زشک، میزان تلفات انتقال در بازه ای از این رودخانه ها و در حد فاصل دو ایستگاه هیدرومتری، مورد بررسی و تحلیل قرار داده اند. آنها نتیجه گرفته اند حجم جریان بالا دست بازه، موثرترین متغیر مستقل در برآورد انتقال بوده و سه معادله همبستگی خطی و غیر خطی را برای پیش بینی تلفات انتقال بر حسب جریان بالادست و عرض رودخانه توصیه نموده اند. مطالعه پیشینه تحقیقات صورت گرفته نشان می دهد که پژوهش های انجام شده در این زمینه به طور عمده مطالعات میدانی بوده و نتایج حاصله منحصر به همان منطقه است. از آنجا که مطالعات انجام شده گویای اثرات واقعی هر یک از عوامل موثر بر تلفات نفوذ نبوده اند، هدف از این پژوهش، تفسیر و تشریح تاثیر حجم ورودی به آبراهه بر فرآیند تلفات نفوذ و اثرات آن بر تداوم جریان در یک آبراهه فصلی و ارائه معیارهای قابل کاربرد برای برآورد آن می باشد. که در تحقیق پیش رو تاثیر مستقیم تداوم جریان، دبی اوج و شکل آنمود ورودی به آبراهه بر تلفات انتقال مفروض است.

## روش تحقیق

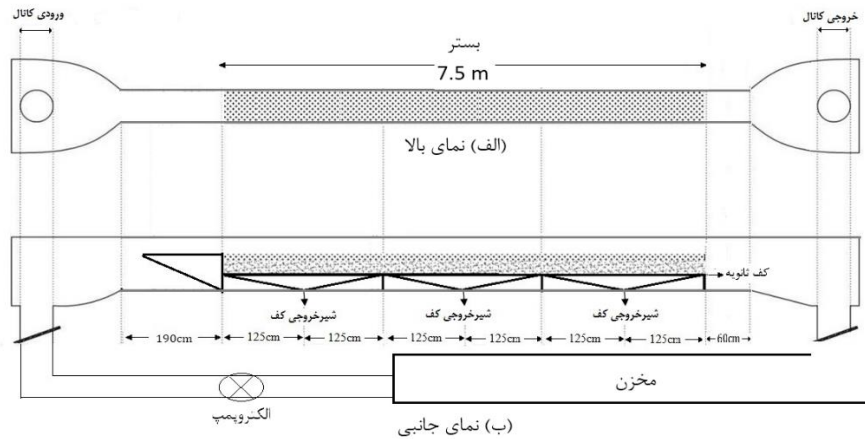
آزمایش های این تحقیق در مجموعه آزمایشگاهی گروه علوم ومهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد و در کانال آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر، عرض و ارتفاع به ترتیب ۳۰ و ۵۰ سانتی متر با دیواره های شیشه ای و قابلیت شیب پذیری انجام گرفت.

## مدل سازی هندسی آبراهه نفوذپذیر

برای مطالعه میزان تلفات نفوذ، مدل هندسی یک آبراهه فصلی در کانال آزمایشگاهی ایجاد شد. بدین منظور کف ثانویه ای به کمک توری آهنی روی پایه هایی به ارتفاع ۱۵ سانتی متر در طول ۷/۵ متر از کانال ایجاد شد، سپس پارچه نازک با مقاومت کم در برابر عبور آب بر روی آن قرار داده شد تا خاک بستر بر روی آن ریخته و شرایط زهکشی فراهم باشد. به این ترتیب آب نفوذ کرده از خاک در هر آزمایش به کمک شیر های موجود در کف اصلی کانال به ظروف مدرج منتقل و اندازه گیری شوند. بر روی کف جدید لایه ای ماسه نرم

<sup>۱</sup> Kuisieb River, Namib, Desert, Namibia

(کاملاً شسته شده) با قطر متوسط ۰/۲۵ میلی متر و به ضخامت ۹ سانتیمتر ریخته و بعنوان بستر نفوذپذیر در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از حرکت ذرات ریز بستر در حین عبور جریان سیلابی یک لایه درشت دانه شنی با قطر متوسط ۱۰ میلی متر بر روی ماسه نرم ریخته شد. بنابراین کل ضخامت بستر به حدود ۱۲ سانتیمتر رسید. شکل (۱) کانال آزمایشگاهی شبیه سازی شده را نشان می دهد.



شکل (۱). شماتیک مقطع و پلان کانال آزمایشگاهی

## مدل سازی هیدرولیکی جریان

از آنجا که آزمایش های این تحقیق در شرایط غیردائمی صورت می گرفت طراحی سیستمی که بتوان جریان سیلاب سریع را با حفظ ویژگی های آن در ورودی بستر آزمایشی در اختیار قرار دهد اهمیت داشت لذا از یک شیر یکسویه در مسیر جریان از پمپ به ورودی کانال استفاده شد تا در قسمت بالادست بستر آزمایشی همواره تراز سطح آب قبل از جریان با تراز کف کانال یکسان باشد و با خاموش شدن موتور سطح آب افت نکند. جریان غیر دائمی به کمک یک سیستم کنترل دور (اینورتر) با قابلیت تنظیم زمان شاخه بالارونده و پایین رونده متصل به الکترو پمپ انجام شد و بدین ترتیب جریان متغیری با دبی اوج و زمان تداوم مشخصی را به وسیله تغییر خطی فرکانس نسبت به زمان ایجاد می نمود. به منظور بررسی تاثیر هر یک از ویژگی های آبنمود های ورودی بر تلفات انتقال، با بررسی سیلاب های رخ داده در طبیعت و مقایسه ابعاد بستر های طبیعی با ابعاد کانال آزمایشی و نیز با توجه به محدودیت های آزمایشگاهی، سه مجموعه آزمایش  $Q$ ،  $D$  و  $SH$  به ترتیب برای زمان پایه، دبی حداکثر و شکل آبنمود با مشخصات ارائه شده در جدول (۱) انتخاب و اجرا شدند.

جدول ۱- مشخصات آبنمود های مورد استفاده در آزمایشات

شکل آبنمود	مشخصات زمانی آبنمود های ورودی			نماد آبنمود
	زمان پایه (ثانیه)	زمان شاخه صعودی (ثانیه)	زمان شاخه نزولی (ثانیه)	
مثلی مقارن	۶۰	۳۰	۳۰	$D(1)$
	۸۰	۴۰	۴۰	$D(2)$
	۱۰۰	۵۰	۵۰	$Qp(1)$
		۵۰	۵۰	$BH^*(Base hydrograph)$
	۵۰	۵۰	۵۰	$Qp(2)$
	۵۰	۵۰	۵۰	$Qp(4)$



Qp(۵)	۴۵/۳	۵۰	۵۰	
D(۴)	۳۸/۳	۶۰	۶۰	۱۲۰
D(۵)	۳۸/۳	۷۰	۷۰	۱۴۰
SH(۲)	۳۸/۳	۴۰	۴۰	۱۰۰

\* مشخصات و نتایج آبنمود BH به عنوان مقادیر پایه در نظر گرفته شده و آزمایشات دیگر با آن مقایسه می شوند.

برای حذف اثر دیگر عوامل موثر بر تلفات انتقال شرایط و فرضهای زیر در تمامی آزمایشات یکسان و ثابت نگه داشته شده است:

- ۱- شیب کف کانال به صورت افقی تنظیم شد.
- ۲- رطوبت اولیه خاک در هر آزمایش، رطوبت باقی مانده از گذشت دو ساعت از جریان قبلی بوده است.
- ۳- سرعت جریان تنها در راستای طولی کانال تغییر می کند.
- ۴- مسیر جریان مستقیم بوده و جریان انشعابی نه به آن وارد و نه از آن خارج می شود.
- ۵- دمای محیط و دیگر شرایط محیطی آزمایشگاهی ثابت فرض می شود.

به منظور ثبت آبنمودهای ورودی و خروجی از بستر، در ابتدای کانال سرریز مستطیلی لبه تیز با فشردگی جانبی با طول تاج ۲۵ سانتیمتر و در انتهای کانال سرریز مستطیلی لبه تیز هم عرض با کانال (طول تاج ۳۰ سانتیمتر) که قبلاً "واسنجی شده بودند استفاده شد. دوربین های فیلم برداری دیجیتال با وضوح بالا در موقعیتی با دید عمود، روبروی اشل های مدرج با دقت  $\pm 1$  میلیمتر چسبانده شده بر دیواره کانال در پشت سرریزها برای قرائت ارتفاع آب نصب شدند. مقادیر قرائت شده ی ارتفاع آب با استفاده از رابطه (۱) به دبی جریان تبدیل و آبنمودهای متناظر ترسیم شدند.

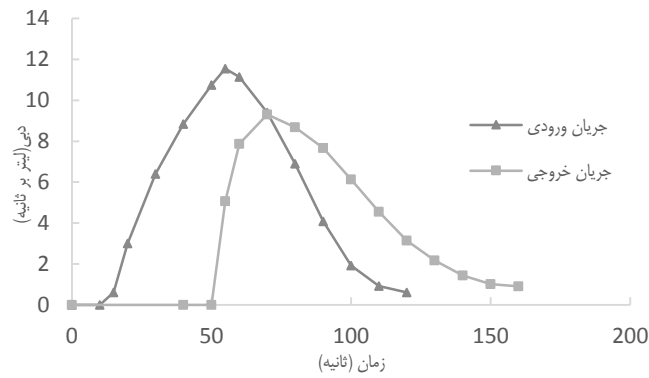
فرمول محاسبه دبی در سرریز لبه تیز مستطیلی به صورت زیر است:

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot b \cdot H^{3/2} \quad (1)$$

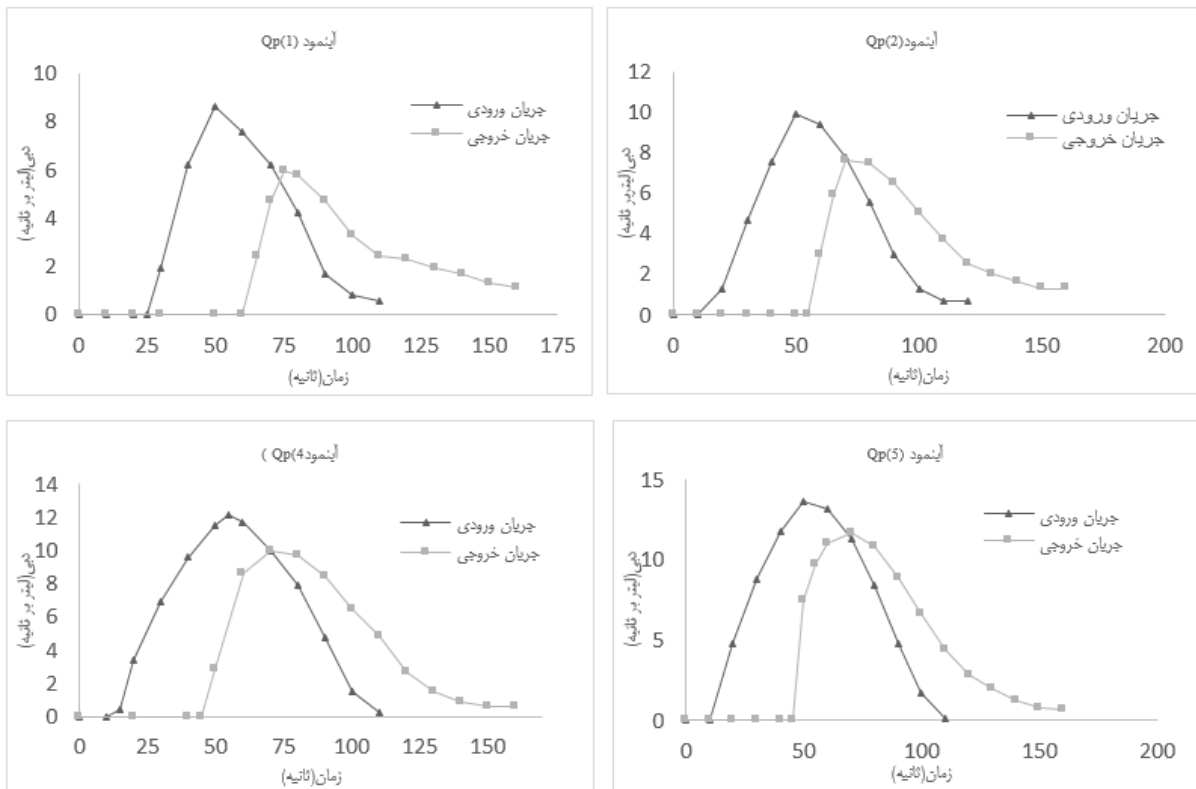
که در آن:

b: طول تاج (cm)، H: تفاوت تراز آب در بالادست سرریز و تراز تاج (cm)، Q: شدت جریان (liter/sec)،  $C_d$ : ضریب تخلیه و g: شتاب ثقل است (cm/s<sup>2</sup>).

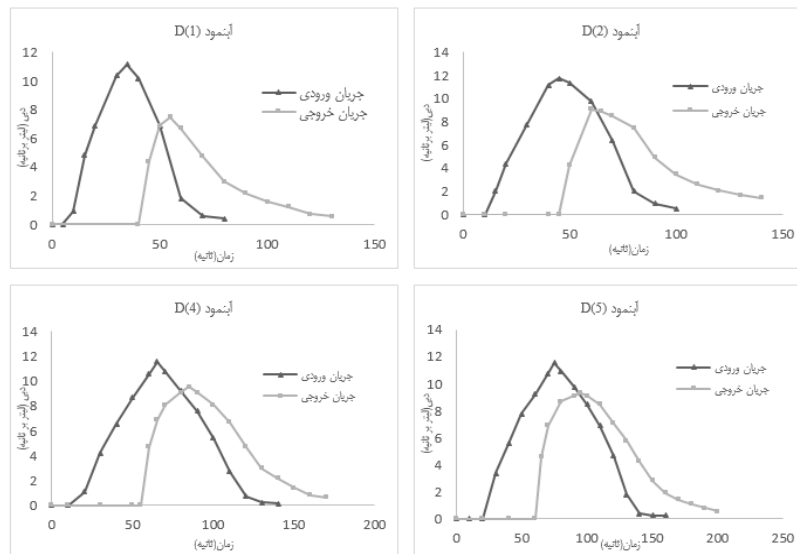
در شکل های (۲) تا (۵)، آبنمودهای ورودی و خروجی اندازه گیری شده در هر آزمایش، ترسیم شده اند.



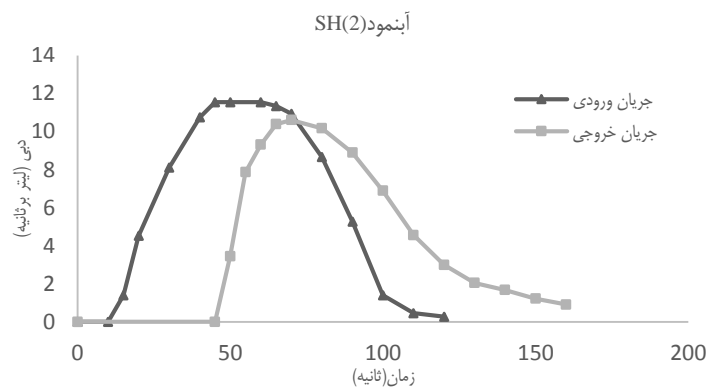
شکل (۲). آنمود های مشاهداتی آزمایش BH



شکل (۳). مجموعه مشاهدات در بررسی تاثیر دبی اوج آنمود ورودی



شکل (۴). آبنمود های مشاهداتی مجموعه آزمایشات بررسی تاثیر زمان پایه آبنمود ورودی



شکل (۵). آبنمود های مشاهداتی آزمایش SH(۲)

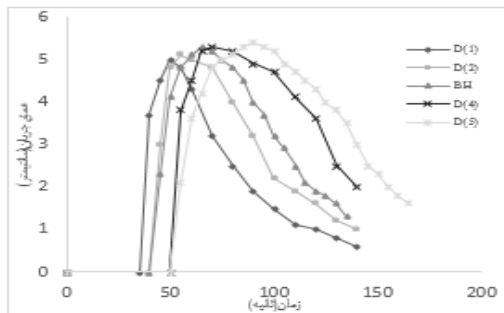
همانگونه که مشاهده می شود، در آزمایشات انجام شده نه تنها حجم آبنمود در انتهای مسیر نسبت به حجم آبنمود ورودی کاهش می یابد، بلکه حداکثر دبی آن نیز تنزل قابل توجهی را نشان می دهد که با توجه به غیرقابل نفوذ بودن دیواره ها، این کاهش تنها به دلیل نفوذ آب از بستر است. مقادیر اندازه گیری شده آب خروجی از کف توسط ظروف مدرج در جدول ۲ ذکر شده اند که مقایسه آنها حاکی از افزایش مقدار تلفات با افزایش حجم آبنمود ورودی است.

جدول ۲- حجم تلفات اندازه گیری شده در آزمایشات

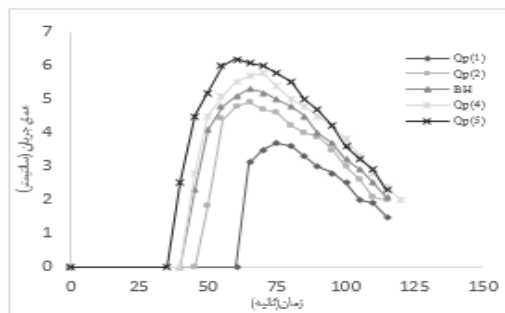
نماد آزمایش	حجم تلفات (لیتر)	نماد آزمایش	حجم تلفات (لیتر)	نماد آزمایش	حجم تلفات (لیتر)
Qp(۱)	۷۶/۷	D(۱)	۸۲/۹	BH	۸۸/۲

۹۶/۶	sh(۲)	۸۴/۷	D(۲)	۸۰/۵	Qp(۲)
		۹۰/۲	D(۴)	۹۳/۲	Qp(۴)
		۹۴/۵	D(۵)	۹۷/۴	Qp(۵)

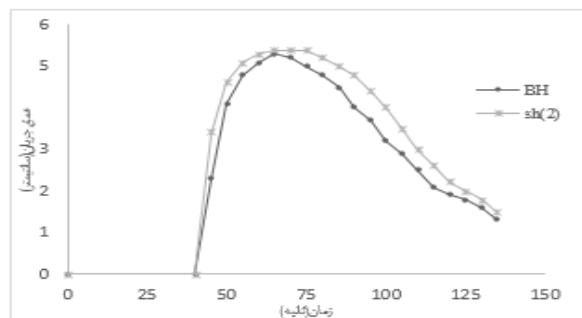
تغییرات زمانی عمق جریان نیز در فاصله ۸۵ درصدی از ابتدای بستر کانال توسط اشل نصب شده بر روی جداره کانال و زمان جریان توسط زمانسنج موجود، بطریق تصویر برداری ثبت شد شکل(۶). با جاری شدن آب بستر و اشباع شدن آن، لایه ای از جریان بین مواد درشت دانه تشکیل می گردد که از زبری بستر خواهد کاست و بر سرعت جریان تاثیر گذار خواهد بود. با افزایش دبی اوج آب نمود در زمان پایه مشابه سرعت جریان بیشتر شده و زمان رسیدن جریان به حداکثر عمق خود کاهش می یابد، در همین حال عمق جریان افزایش می یابد(شکل ۶-الف) و در نتیجه میزان تلفات با افزایش عمق جریان افزایش می یابد. همانطور که در شکل ۶-ب دیده می شود با طولانی شدن زمان رسیدن به دبی اوج یکسان از شرایط دبی صفر، سرعت جریان کمتر شده و عمق جریان با شیب کمتری نسبت به زمان افزایش می یابد اما به دلیل یکسان بودن دبی اوج تغییر محسوسی در عمق حداکثر دیده نمی شود و به این ترتیب جریان زمان بیشتری برای نفوذ دارد که باعث افزایش تلفات می گردد. این تغییرات در آبنمودهایی با زمان پایه و دبی اوج یکسان که تنها در زمان شاخه صعودی و نزولی با یکدیگر متفاوت اند نیز دارای همین روند هستند(شکل ۶-ج).



شکل (ب)



شکل (الف)



شکل (ج)

شکل (۶). مقایسه تغییرات زمانی عمق جریان برای آبنمود های مختلف

(الف) مقایسه عمق در مجموعه آزمایشات گروه Q، (ب) مقایسه عمق در مجموعه آزمایشات گروه D و (ج) مقایسه عمق در مجموعه آزمایشات گروه SH



به کمک انترگرال گیری از آبنمود های برداشت شده حجم ورودی و خروجی جریان در هر آزمایش محاسبه و به همراه اطلاعات هیدرولیکی ثبت شده از جریان در جدول ۳ آورده شده اند.

جدول ۳- مقادیر اندازه گیری یا محاسبه شده مشخصات هیدرولیکی جریان های اجرا شده

نماد آبنمود	حجم جریان ورودی (لیتر)	حجم جریان خروجی (لیتر)	اختلاف دبی اوج ورودی و خروجی (%)	زمان پیمایش* (ثانیه)	حداکثر عمق جریان (سانتیمتر)	سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)
BH	۶۳۴/۶	۵۲۹/۹	۱۸/۹	۲۹	۵/۳	۰/۹۰
Qp(۱)	۳۷۷	۲۹۱/۰	۳۰/۷	۳۳	۳/۷	۰/۶۸
Qp(۲)	۵۲۳/۴	۴۱۲/۹	۲۳/۰	۳۲	۴/۹	۰/۷۱
Qp(۴)	۶۷۱/۱	۵۲۹/۹	۱۷/۷	۲۷	۵/۸	۰/۷۷
Qp(۵)	۷۸۵/۲	۵۶۵/۰	۱۶/۷	۲۷	۶/۲	۰/۸۴
D(۱)	۳۸۷/۱	۲۹۰/۶	۲۹/۷	۲۶	۴/۸	۰/۹۰
D(۲)	۵۴۶/۴	۴۳۶/۷	۲۰/۸	۲۹	۵/۱	۰/۸۹
D(۴)	۶۸۳/۵	۵۲۹/۹	۱۷/۱	۳۲	۵/۳	۰/۷۲
D(۵)	۸۰۳/۸	۵۷۴/۹	۱۵/۲	۳۴	۵/۳	۰/۷۲
SH(۲)	۷۳۱	۶۲۳/۳	۹/۸	۲۷	۵/۵	۰/۸۹

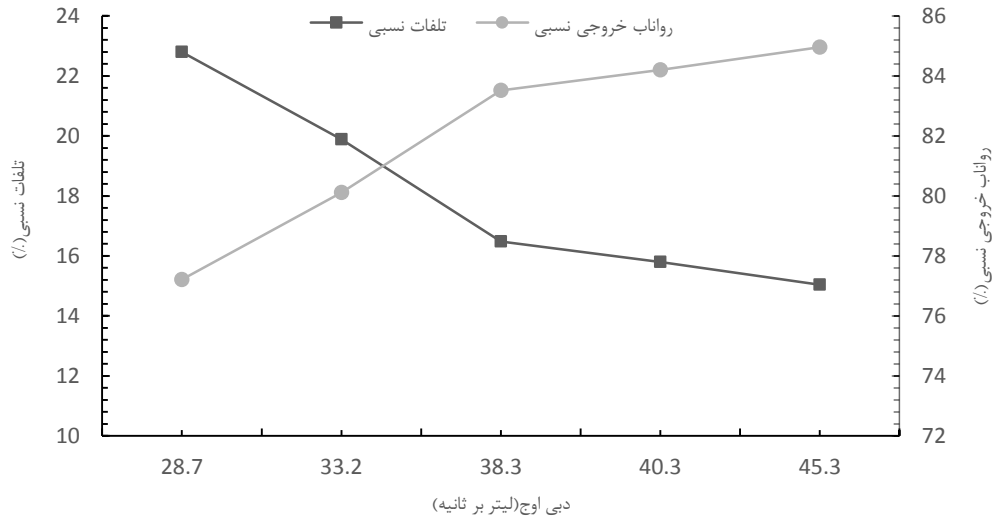
\*زمانی که جریان پس از ورود به بستر طول بازه مورد مطالعه را طی کرده و خارج می شود.

## یافته ها

آنچه در موضوع تلفات انتقال در آبراهه های نفوذ پذیر اهمیت می یابد روشن شدن اثر عوامل مختلف بر میزان تلفات است. چنانکه اشاره شد میزان حجم جریان ورودی به عنوان مهمترین عامل موثر در این پدیده بوده که خود وابسته به مشخصات هیدرولیکی آبنمود ورودی است. مجموعه آزمایش های انجام شده با شرایط مورد نظر تا حدودی به روشن نمودن ناشناخته های این موضوع پرداخته است. بنابراین با توجه به هدف این تحقیق اثر هریک از عوامل مذکور در این آزمایش ها بر تلفات نفوذ مورد بررسی قرار گرفت.

### - اثر دبی حداکثر بر تلفات نفوذ

دبی اوج در آبنمودهای ورودی در طبیعت براساس میزان شدت بارندگی و همچنین مشخصه های فیزیکی حوضه، تحت تاثیر واقع شده و این امر می تواند بدلیل تغییر در مشخصه های هیدرولیکی جریان بر میزان تلفات عمقی اثر گذارد. بدلیل بالا بودن توان فرسایشی جریان در سیلاب های ناگهانی خسارت های قابل توجهی به مناطق پایین دست وارد می کند که در بسترهای نفوذ پذیر اثر تخریبی چنین سیلاب هایی بدلیل تلفات انتقال کاهش می یابد. با افزایش دبی اوج آبنمود در زمان پایه مشابه زمان رسیدن جریان به حداکثر مقدار خود کاهش داشته و در همین حال عمق جریان افزایش یافته که با توجه به رابطه مستقیم ارتفاع فشار آب با نفوذ، بدین ترتیب مقدار تلفات افزایش می یابد، از طرفی همانطور که در شکل (۶-الف) و جدول (۳) دیده می شود جریان با دبی اوج بیشتر مسیر را سریعتر پیموده و با اشباع کردن خاک سرعت نفوذ را بالا برده و همچنین مدت زمان بیشتری روی بستر جریان داشته و بدین ترتیب فرصت بیشتری برای نفوذ وجود دارد. اما نکته قابل توجه آنست که به دلیل توانایی محدود خاک در عبور آب این افزایش نفوذ با اختلاف کمی رخ می دهد. شکل ۷ نتایج بدست آمده از اجرای پنج دبی اوج مختلف را روی بستر نفوذپذیر در حالی که دو ساعت از جریان قبلی گذشته است را نشان می دهد، برای مقایسه بهتر نتایج بدست آمده و یکسان سازی اطلاعات، میزان حجم تلفات انتقال و رواناب خروجی را به ازای هر لیتر حجم ورودی به صورت نسبی، بیان شده و با یکدیگر مقایسه شده اند.

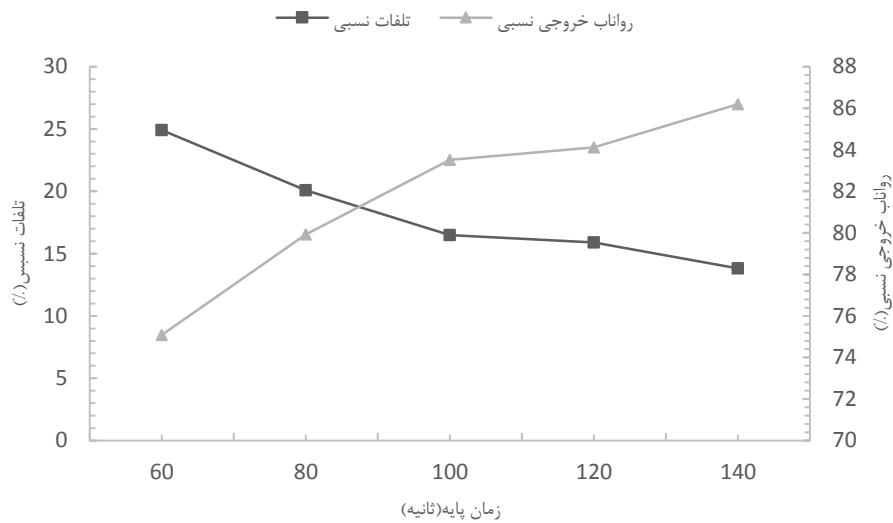


شکل (۷). تغییرات تلفات و رواناب نسبی بر اساس دبی اوج آب‌نمود ورودی

نتایج نشان می‌دهد که سیلاب‌های با دبی اوج بیشتر، رواناب خروجی با حجم نسبی بیشتر و دبی اوجی با اختلاف کمتر با دبی اوج سیلاب ورودی خواهند داشت، به طوری با افزایش ۵۷/۸ درصدی دبی اوج آب‌نمود ورودی دبی اوج آب‌نمود خروجی و ورودی از ۳۰/۷ به ۱۶/۷ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به آنکه در مناطق کم باران، بیشتر بارندگی‌ها به صورت سیل آسا و در مدت زمان کوتاهی (سیلاب‌هایی با دوره بازگشت بیشتر) صورت گرفته و به دلیل کم بودن پوشش گیاهی و نبود هیچ گونه مانعی بر سر راه آب‌های جاری در این مناطق سیلاب‌هایی با قدرت تخریب بالا جاری می‌شود اما از طرفی دیگر به دلیل در دسترس بودن آب سطحی، با کنترل آن می‌توان نیاز منطقه را تامین نمود.

#### - اثر زمان پایه آب‌نمود ورودی بر روی تلفات نفوذ

بیشترین (تاثیرگذارترین) میزان نفوذ در ابتدای برقراری جریان بوده و سپس از سرعت نفوذ کاسته می‌شود (Reeder et al. ۱۹۸۰; Crerar et al. ۱۹۸۸; Rawlse al. ۲۰۰۰). زمان پیمایش جریان در مسیر در زمان‌های اولیه و زمان تداوم جریان در هنگام برقراری جریان است، اما ثبت این زمان‌ها در جریان‌های موجود در طبیعت به آسانی امکان‌پذیر نبوده، بنابراین زمان پایه می‌تواند نماینده خوبی برای آن‌ها باشد. نتایج پنج آزمایش از مجموعه آزمایشات D که تنها در زمان پایه آب‌نمود ورودی با یکدیگر متفاوت بوده‌اند، به صورت شکل ۸ بدست آمد:



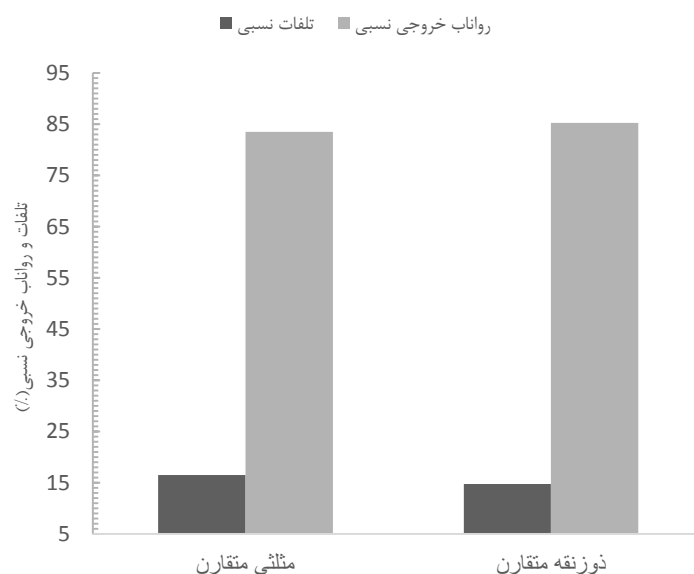
شکل (۷). تغییرات تلفات و رواناب نسبی بر اساس زمان پایه آبنمود ورودی

با افزایش زمان پایه و ثابت بودن دبی اوج، در شروع جریان، به دلیل کم بودن سرعت جریان، و در ادامه به دلیل طولانی تر شدن وجود جریان روی بستر، میزان نفوذ بیشتر می شود. اما نسبت حجم تلفات به حجم ورودی، با افزایش زمان پایه از ۶۰ به ۱۴۰ ثانیه، از ۲۴ / ۹ درصد به ۱۳ / ۸ درصد کاهش نموده است. با توجه به کوتاه بودن زمان سیلاب در مناطق خشک و نیمه خشک این امر باعث تلفات بیشتر جریان و متعاقباً تغذیه آب های زیرزمینی این مناطق خواهد شد.

#### - شکل آبنمود ورودی

در آبنمود هایی با زمان پایه یکسان و دبی اوج یکسان، با کاستن از زمان رسیدن به دبی اوج آبنمود (افزایش شیب بازوی بالارونده) و ماندگاری در آن دبی می توان شکل آبنمود را به صورت مثلثی و دوزنقه های مختلف و بدین ترتیب با شرایطی مشابه حجم جریان ورودی

را تغییر داد. به منظور بررسی تاثیر شکل آبنمود ورودی بر میزان تلفات، نتایج حاصل از اجرای دو آبنمود (BH) به صورت مثلثی متقارن و ((SH(۲))، دوزنقه ای متقارن که خصوصیات آنها در جدول ۱ آمده است، با یکدیگر مقایسه شده اند (شکل(۸)).



شکل (۸). تغییرات تلفات و رواناب نسبی بر اساس دو شکل متفاوت آبنمود ورودی

با تغییر شکل آبنمود ورودی و با کاهش زمان بازوی بالا رونده آبنمود، عمق جریان به میزان ناچیزی افزایش یافت و آنچه که در افزایش تلفات موثر واقع شد افزایش زمان ماندگاری جریان در این عمق است. در مناطق خشک و نیمه خشک سیلاب ها عموماً به صورت سیلاب سریع رخ داده و آنچنان که نتایج دیده می شود، همین امر باعث تلفات عمقی بیشتر در این مناطق نسبت به مناطق معتدل با جریان های یکنواخت تر می شود.

#### نمایه حساسیت

به منظور تحلیل حساسیت، از رابطه ۲ برای تعیین میزان حساسیت نتایج پارامترهای خروجی نسبت به تغییر در پارامترهای ورودی مورد استفاده قرار گرفت.

$$S = \frac{(O_2 - O_1)}{O_{ave}} / \frac{(I_2 - I_1)}{I_{ave}} \quad (2)$$

که در آن:

S: نمایه حساسیت،  $I_2$  و  $I_1$ : کمترین و بیشترین مقدار پارامتر آبنمود ورودی،  $I_{ave}$ : مقدار متوسط  $I_1$  و  $I_2$ ،  $O_1$  و  $O_2$ : کمترین و بیشترین مقدار پارامتر آبنمود خروجی و  $O_{ave}$ : مقدار متوسط  $O_1$  و  $O_2$

با توجه به اطلاعات جدول ۳، نمایه حساسیت برای هر یک از پارامترهای آبنمود ورودی محاسبه شدند که در جدول ۴ ارائه شده اند.

جدول ۲- مقادیر نمایه حساسیت حجم و دبی اوج آبنمود خروجی

پارامتر	دبی اوج آبنمود ورودی	زمان پایه آبنمود ورودی	زمان شاخه صعودی
حجم خروجی	۱/۴۲	۰/۷۴	۰/۷۲
دبی اوج خروجی	۱/۳۲	۰/۷۷	۰/۴۹

تحلیل حساسیت نسبی هر یک از پارامترهای آبنمود ورودی بر روی پارامترهای آبنمود خروجی نشان می‌دهد، تغییر در دبی اوج آبنمود ورودی بیشترین تأثیر و زمان شاخه صعودی آن کمترین تأثیر را بر روی پارامترهای آبنمود خروجی دارند.

### بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش پیش رو تأثیر هر یک از مشخصه‌های آبنمود ورودی بر میزان تلفات انتقال بررسی و مشخص شد با افزایش ۵۷/۸ درصدی دبی اوج و ۲/۳ برابر نمودن زمان پایه آبنمود ورودی، درصد تلفات نسبی (نسبت حجم تلف شده به حجم ورودی) به ترتیب از ۲۲/۷٪ به ۱۵٪ و از ۲۴/۹٪ به ۱۳٪ کاهش می‌یابد. همچنین مقایسه دو آبنمود با دبی اوج و زمان پایه یکسان و شکل‌های متفاوت مثلثی متقارن و دوزنقه متقارن نشان داد درصد تلفات در جریان‌هایی با آبنمودهای ورودی به شکل مثلثی متقارن در مقابل آبنمودهای دوزنقه‌ای (یکنواخت تر) کمتر است. در مطالعه و تحقیق انجام شده توسط لانگ (۲۰۰۵)، بر روی رودخانه کویسب در صحرای نامیب نامیبیا، نیز مشخص شد تلفات نشت وقتی که هیدروگراف ورودی با دبی اوج بالاتری اتفاق می‌افتد، بیشتر است. همچنین فتوحی و حسینی (۲۰۰۷) با استفاده از نرم افزار Matlab مدل روندیابی دینامیکی را برای حل معادله سنت و نانت، با وارد کردن عبارت مربوط به تلفات انتقال ارائه دادند و به منظور شناسایی رفتار جریان و پیش بینی تلفات انتقال، مدل را برای بازه‌ای از رودخانه زشک در خراسان رضوی اجرا نمودند و درصد تلفات انتقال را برای آبنمود با دوره بازگشت ۵ سال ۷۱/۳ درصد، آبنمود با دوره بازگشت ۵۰ سال ۴۷/۶ درصد و برای آبنمود با دوره بازگشت ۵۰۰ سال ۳۷/۵ درصد بدست آوردند. غفویان و بمبئی چی نیز هر یک به طور جداگانه و با بررسی مشاهدات میدانی و ارائه مدل‌هایی به نتایج مشابه‌ای در این زمینه رسیده و دریافتند با افزایش حجم ورودی میزان تلفات انتقال نیز افزایش می‌یابد. در نتایج آنها نیز مشخص شد، هرچه دبی اوج آبنمود ورودی بیشتر باشد، مدل درصد نشت کمتری را برای آن محاسبه می‌کند. به دلیل نقش آبنمود و ویژگی‌های آن در مباحث مهندسی رودخانه از جمله کنترل سیلاب و طراحی سازه‌های آبی در مسیر رودخانه‌ها توصیه می‌شود در ادامه تحقیقات به بررسی تغییرات ویژگی‌های جریان در طول مسیر رودخانه‌ها از جمله سرعت، عمق، حجم و غیره در آبراهه‌ها با ویژگی‌های متفاوت بستر و در مناطق مختلف پرداخته شود.



- ۱) بمبئی چی س.، حسینی.م. و قهرمان ب.۱۳۸۹. توسعه مدل های همبستگی برای برآورد تلفات انتقال در رودخانه های فصلی حوزه آبریز قره قوم . مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ، سال چهارم ، شماره ۱۱، ص ۲۴-۱۳
- ۲) عزیزاده، ا. ۱۳۸۷. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ چهارم، دانشگاه امام رضا (ع).
- ۳) غفوریان ر.، باقریان کلات ع.، گرد نوشهری الف. ۱۳۹۱، بررسی و توسعه مدل های برآورد تلفات انتقال در رودخانه های منتخب خراسان رضوی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۵، ص ۱۲۹۸-۱۲۸۹
- ۴) فتوحی م.، حسینی م. ۱۳۸۶، تحلیل حساسیت پارامترهای روندیابی سیلاب و تلفات انتقال در رودخانه های مناطق خشک ، مجله علمی پژوهشی آبخیزداری ایران ، سال اول ، شماره ۱، ص ۲۳-۱۲
- ۵) قبادیان ر. ۱۳۹۰. روندیابی سیلاب و تخمین تلفات نشت در رودخانه های فصلی با حل همزمان معادلات جریان غیر ماندگار و نشت، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۲، ص ۳۰۴-۲۹۶
- ۶) Jordan P.R. (۱۹۷۷). Stream flow transmission losses in Western Kansas. *Journal of Hydraulics Division, Proc. ASCE*. ۱۰۳(HY8): ۹۰۵-۹۱۹.
- ۷) Joseph, C., Christopher, B., Franco, M. and Robert J. P. (۲۰۰۴). A Summary of Published Reports of transmission losses in ephemeral streams in the U.S., A Report to the National Center for Housing and the Environment, ۴۲ pp.
- ۸) Lane L. J., Diskin M. H. and Reynard K. G. (۱۹۷۱). Input-output relationships for an ephemeral stream channel system. *Journal of Hydrology* ۱۳:۲-۴۰
- ۹) Lange J. ۲۰۰۵. Dynamics of transmission losses in a large arid stream channel. *Journal of Hydrology*, ۳۰۶, ۱۱۲-۱۲۶.
- ۱۰) Rivaz, N., Musavi-Jahrom, S.H. (۲۰۱۲) Effect of Bridges on the River Hydrograph Characteristics along the Ephemeral Rivers System (case study: Khoshk River, Shiraz, Iran). *World Applied Sciences Journal*. ۱۹ (۲): ۲۴۸-۲۵۶
- ۱۱) Walters M. O. (۱۹۹۰). Transmission losses in arid region *Journal of Hydraulic Engineering*, ۱۱۶(۱):۱۲۹-۱۳۸.
- ۱۲) Wheeler H. S., Wood Ballard B. and Jolley T.J. (۱۹۹۷). An integrated model of arid zone water resources: evaluation of rainfall-runoff simulation performance. In Sustainability of Water resources under increasing uncertainty, IAHS Pubn. No. ۲۴۰: ۳۹۵-۴۰۵.
- ۱۳) Sharma K. D. and Murthy J. S. R. (۱۹۹۴a) Estimating transmission losses in an arid region. *Journal of Arid Environments*, ۲۶: ۲۰۹-۲۱۹