

## بررسی و توسعه مدل‌های برآورد تلفات انتقال در رودخانه‌های منتخب استان خراسان رضوی

رضا غفوریان<sup>۱\*</sup> - علی باقریان کلات<sup>۲</sup> - امیر گُرد نوشهری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱۵

### چکیده

بخشی از آب رودخانه‌ها در حین حرکت به بستر رودخانه نفوذ می‌نماید. میزان آب نفوذ یافته به بستر، به ویژگی‌های مختلف رودخانه بستگی دارد. همواره این سوال مطرح بوده که از میزان آب در حال جریان در یک رودخانه، چه مقدار آن به بستر رودخانه نفوذ کرده و در صورت فراهم بودن سایر شرایط، آبهای زیرزمینی را تغذیه می‌کند؟ در این ارتباط تعدادی از رودخانه‌های بخش جنوبی حوضه آبریز کشف رود شامل فریزی، زشک (شاندیز) و گلستان، واقع در شمال ارتفاعات بینالود، انتخاب شده و با اندازه‌گیری مستقیم جریان در دبی‌های مختلف با دستگاه سرعت‌سنج (مولینه) در طول بهار سالهای ۸۸، ۸۹ و ۹۰ در ابتدا و انتهای بازه‌ای از رودخانه، واقع در ابتدای مخروط‌افکنه پایین دست حوضه آبریز هر رودخانه، میزان نفوذ آب به بستر رودخانه‌ها با استفاده از تفاضل مقادیر دبی در ابتدا و انتهای بازه، محاسبه گردید. با برداشت پروفیل طولی و مقاطع عرضی و اجرای مدل Hec-Ras، مقادیر سطح نشست و محیط خیس شده در هر یک از بازه‌ها تعیین گردید. رابطه‌نمایی معنی‌داری بین مقادیر درصد نفوذ و متغیرهای دبی در ابتدای بازه و متوسط محیط خیس شده بازه در هر کیلومتر طول بستر برای رودخانه‌های تحت بررسی بدست آمد. نتایج نشان داد با افزایش دبی، میزان درصد نفوذ در هر کیلومتر طول بستر کاهش می‌یابد. همچنین میزان شدت نفوذپذیری از غرب به شرق به ترتیب در رودخانه فریزی بیشترین و در رودخانه گلستان، کمترین مقدار است. با توجه به مقادیر نفوذ بدست آمده برای هر کیلومتر بستر، توسعه مدلی نمایی و مستقل از محیط خیس شده بستر، به فرم  $Q_x = Q_{UP}(1 - \frac{a}{b})^x$  برای برآورد میزان دبی کاهش یافته در هر نقطه از مسیر هریک از رودخانه‌های یادشده، از نتایج دیگر این تحقیق است.

واژه‌های کلیدی: نفوذپذیری، مدل، کشف‌رود، Hec-Ras

### مقدمه

تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تلفات انتقال به مدت زمان و خصوصیات هیدرولیکی جریان، خصوصیات هندسی و رطوبت پیشین بستر رودخانه، مدت زمان سپری شده از جریان قبلی (در خصوص رودخانه‌های فصلی)، ضخامت و خصوصیات آبرفت بستر رودخانه و مقدار رسوبات معلق جریان بستگی دارد (۴). بطور کلی دو روش برای اندازه‌گیری تلفات انتقال وجود دارد: الف- اندازه‌گیری مستقیم تلفات انتقال برای بازه‌ای خاص از رودخانه و ب- اندازه‌گیری غیر مستقیم تلفات انتقال با بررسی وضعیت تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد نظر (۳). در تحلیل جریان و برآورد تلفات انتقال در رودخانه‌های مناطق خشک، روش‌های مختلفی وجود دارد. این روش‌ها را می‌توان تحت عناوین ایجاد روابط رگرسیونی ساده بین احجام ورودی و خروجی یک بازه، معادله‌های دیفرانسیلی ساده، روابط ترکیبی متشکل از معادله‌های دیفرانسیلی ساده و روابط رگرسیونی، اندازه‌گیری میدانی، مدل‌های روندیابی و بیلان هیدرولوژیکی،

در طول بازه‌ای مشخص از رودخانه، اگر جریانی به رودخانه اضافه نشود، عموماً مقدار جریان به سمت پائین دست کاهش می‌یابد. این کاهش در جریان، تلفات انتقال<sup>۴</sup> نامیده می‌شود. بطور کلی تلفات انتقال مربوط به تلفات ناشی از نفوذ<sup>۵</sup> آب به بستر رودخانه و تبخیر از سطح آب است که عموماً تلفات ناشی از نفوذ، قسمت اعظم تلفات انتقال را تشکیل داده و تلفات ناشی از تبخیر بسیار ناچیز می‌باشد. تمام یا بخشی از آب نفوذ یافته به بستر رودخانه، در نهایت منجر به

۱ و ۲- به ترتیب مربی پژوهشی و کارشناس ارشد پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

(Email: rghafour@gmail.com)

(\*) نویسنده مسئول:

۳- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه تهران

4- Transmission losses

5- Infiltration

طبقه‌بندی کرد.

به منظور اجرای دقیق پروژه‌های منابع آب، خصوصاً پروژه‌های بیلان آب دشته‌ها و حوضه‌های آبریز یک منطقه، لازم است مؤلفه‌های مؤثر در این زمینه، حتی الامکان به‌طور دقیق محاسبه یا برآورد شود. یکی از این پارامترها، مؤلفه مهم میزان نفوذ آب یا تلفات انتقال از طریق بستر رودخانه‌هاست. متأسفانه اطلاعات دقیقی از مقدار این پارامتر برای رودخانه‌های کشور وجود ندارد. لذا با هدف دستیابی به این مهم، در این تحقیق میزان نفوذ آب به بستر رودخانه‌های فریزی، زشک (شاندیز) و گلستان، که از سرشاخه‌های اصلی بخش جنوبی حوضه آبریز رودخانه کشف رود خراسان رضوی می‌باشند، با استفاده از روش اندازه‌گیری مستقیم مورد بررسی قرار گرفته و به عنوان نتیجه، مدل‌های برآورد تلفات انتقال این رودخانه‌ها ارائه شده است.

مرور منابع نشان داد که تمامی مطالعات انجام شده در زمینه تلفات انتقال در نقاط مختلف دنیا، برای دستیابی به میزان نفوذ به بستر رودخانه‌ها، در خشکه رودها و برای جریان‌های سیلابی انجام شده و تاکنون تحقیقی در این زمینه برای جریانهای دائمی (غیر سیلابی) صورت نگرفته است. در ایران نیز در جهت اندازه‌گیری و تعیین میزان نفوذ آب به بستر رودخانه‌ها، فعالیت‌های محدود و انگشت‌شماری انجام شده است. تعدادی از پروژه‌های شاخص انجام شده در زمینه برآورد تلفات انتقال در زیر مورد اشاره قرار می‌گیرند.

اسفندیاری بیات و رهبر (۵) مقدار جریان ورودی به و خروجی از شبکه و سیستم پخش سیلاب ۷۰ هکتاری کفتاری واقع در جنوب شرق ایران را توسط فلوم برای ۹ واقعه سیلاب اندازه‌گیری کرده و به این نتیجه رسیده که در کل سطح شبکه پخش سیلاب، به‌طور متوسط حدود ۸۳ درصد از جریان ورودی به داخل خاک نفوذ کرده و آب‌های زیرزمینی را تغذیه کرده است. بمبئی‌چی و همکاران (۱) با استفاده از داده‌های موجود ایستگاه‌های آب‌سنجی و ویژگی‌های فیزیکی سه رودخانه کشف رود، کارده و زشک، میزان تلفات انتقال را در بازه‌ای از این رودخانه‌ها و در حد فاصل دو ایستگاه هیدرومتری، مورد بررسی و تحلیل قرار داده‌اند. آنها نتیجه گرفته‌اند حجم جریان بالادست بازه، موثرترین متغیر مستقل در برآورد تلفات انتقال بوده و سه معادله همبستگی خطی و غیر خطی را برای پیش‌بینی تلفات انتقال برحسب جریان بالادست و عرض رودخانه توصیه نموده‌اند. جردن (۶) مقادیر افت بین دو ایستگاه هیدرومتری موجود در تعدادی از رودخانه‌های فصلی کانزاس غربی آمریکا مربوط به سیلاب‌های 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 رودخانه‌ها، مقدار افت رودخانه‌های مورد اشاره را برای هر بازه یک مایلی به‌طور متوسط حدود ۲ درصد جریان ایستگاه هیدرومتری بالادست، بدست آورد. شارما و مورتی (۸) به بررسی تلفات انتقال نواحی خشک شمال

غربی هندوستان پرداختند. در این مطالعه از ۷۸ هیدروگراف مربوط به ۱۴ بازه و همچنین داده‌های ماهواره‌ای برای تعیین عرض مقطع و محیط خیس شده استفاده شد. آنها مدل رگرسیونی ساده شده‌ای برای برآورد تلفات انتقال رودخانه‌های مناطق خشک ارائه دادند. نتایج نشان داد که تلفات انتقال متناسب با پارامتر عرض از مبدا معادله رگرسیونی است. عبدالرزاق و سرمن (۲) به بررسی تلفات انتقال در یکی از رودخانه‌های فصلی منطقه خشک واقع در جنوب غربی عربستان سعودی، پرداختند. آنها تلفات انتقال مربوط به ۲۷ رخداد بارندگی برای دو ایستگاه هیدرومتری به فاصله ۲۴ کیلومتر از یکدیگر را، در فاصله زمانی سالهای ۱۹۸۵ تا ۱۹۸۷ محاسبه و برآورد کرده و معادلات رگرسیونی برای تخمین میزان تلفات انتقال ارائه دادند. این مطالعه نشان داد که شرایط اولیه رطوبتی، نوع مواد بستر و ضخامت و عرض بستر می‌تواند در میزان تلفات انتقال نقش داشته باشد. کاستللو و همکاران (۴) با بکارگیری یک مدل هیدرولوژیکی در یک بازه ۳۳۰ کیلومتری از رودخانه دیامانتینا در جنوب غرب کوئینلند استرالیا و آنالیز داده‌های ایستگاه هیدرومتری در انتهای بازه یادشده، مقدار افت را ۷۰ تا ۹۸ درصد مقادیر سیل‌ها بدست آوردند. کاتالدو و همکاران (۳) اقدام به محاسبه و برآورد افت جریان در تعدادی از رودخانه‌های فصلی حوضه آبریز معرف والنات گالچ<sup>۱</sup> واقع در جنوب شرقی اریزونای آمریکا، نمودند. آنها مقادیر افت جریان و میزان نفوذ به بستر رودخانه‌های تحت بررسی را برای تعدادی رگبار از طریق اختلاف مقادیر ثبت‌شده در دو ایستگاه هیدرومتری متوالی از حدود ۴ تا ۱۰۰ درصد بدست آوردند. لین و همکاران (۷) روابطی را برای جریان ورودی-خروجی رودخانه‌های فصلی ارائه کردند. این تحقیق نیز در حوضه آبریز معرف والنات گالچ انجام گرفت. آنها علاوه بر ارائه رابطه ساده‌ای برای برآورد تلفات انتقال با استفاده از دبی بالادست، در نهایت روشی برای تخمین هیدروگراف خروجی از طریق حجم هیدروگراف جریان ورودی و با استفاده از توزیع گامای سه پارامتری ارائه دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که رابطه معنی‌داری بین تلفات انتقال و حجم جریان ورودی وجود دارد. ویترو و همکاران (۱۰) با استفاده از داده‌های دو ایستگاه هیدرومتری متوالی، مقادیر افت در دو رودخانه فصلی واقع در حوضه آبریز معرف والنات گالچ را در طی ۱۰ سال اندازه‌گیری کرده و رابطه‌ای نمایی را بین مقادیر نسبت جریان در پایین دست به مقدار جریان در بالادست به ازای مقدار جریان در بالادست، بدست آوردند. والتز (۹) نیز به بررسی مقدار تلفات انتقال در نواحی خشک جنوب غربی عربستان سعودی پرداخت. دو مدل رگرسیونی با استفاده از داده‌ها و لگاریتم داده‌ها، برای ارزیابی تلفات انتقال تهیه شد. در نهایت سه معادله رگرسیونی برای تخمین تلفات انتقال ارائه شد که بهترین آنها فقط از جریان بالادست به عنوان متغیر

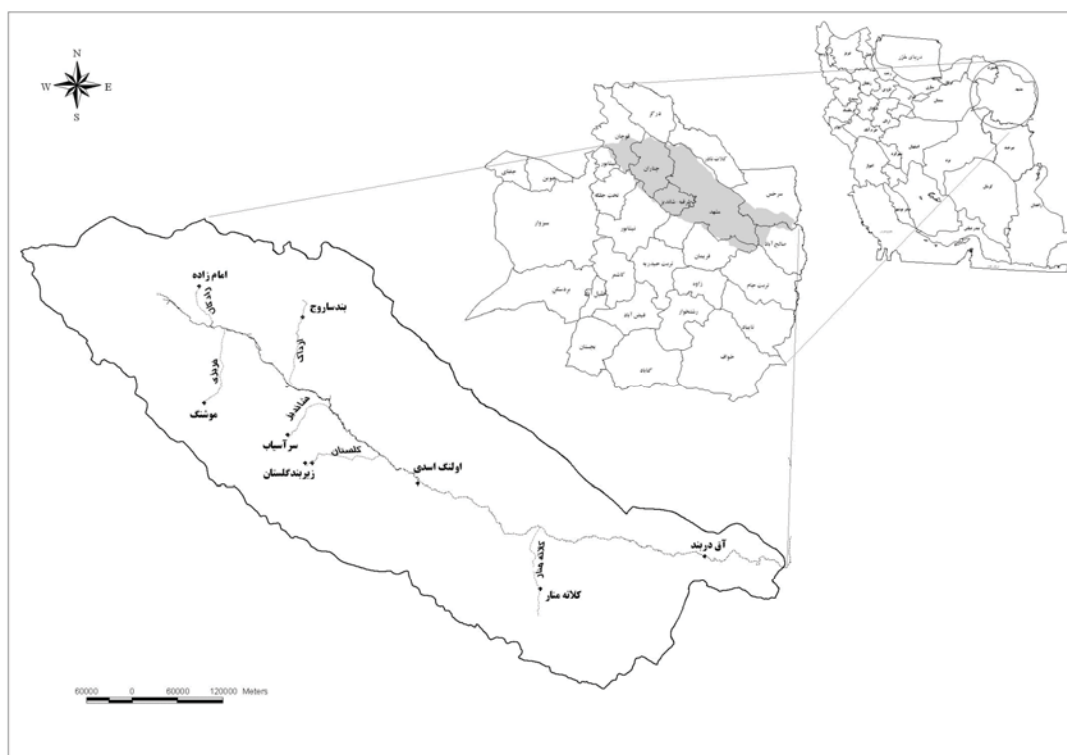
دامنه‌های شمالی کوه‌های بینالود به این رودخانه تخلیه می‌شود، پس از طی مسیری حدود ۳۰۰ کیلومتر به رودخانه هریرود، در مرز ایران با ترکمنستان، اتصال می‌یابد. سرشاخه‌های رودخانه کشف رود، خصوصاً بخش جنوبی آن که رودخانه‌های تحت بررسی فریزی، شاندیز و گلستان در این ناحیه قرار گرفته‌اند، نقش کلیدی در تغذیه آبهای زیرزمینی این حوضه آبریز، خصوصاً دشت مشهد، دارند. موقعیت رودخانه‌های فریزی، زشک (شاندیز) و گلستان نسبت به حوضه آبریز کشف رود در شکل ۱ نشان داده شده است. مشخصات حوضه‌های آبریز رودخانه‌های یاد شده به همراه مقادیر رواناب متوسط سالانه آنها در دوره مشاهده، در جدول ۱ ارائه شده است.

مستقل استفاده می‌کرد. نتایج هر دو مدل داده‌های معمولی و لگاریتمی، یکسان بودند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کشف رود با وسعت حدود ۱۶۵۰۰ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز قره‌قوم است. این حوضه آبریز در شمال شرق کشور و در استان خراسان رضوی قرار گرفته است. بلندترین نقطه ارتفاعی حوضه آبریز در ارتفاعات بینالود برابر ۳۲۴۹ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. رودخانه کشف رود که رواناب مازاد تعدادی از رودخانه‌ها و مسیل‌های دامنه‌های جنوبی کوه‌های هزارمسجد و



شکل ۱- موقعیت رودخانه‌های تحت بررسی و تحقیق نسبت به حوضه آبریز کشف رود و استان خراسان

جدول ۱- مشخصات و مقادیر رواناب متوسط سالانه حوضه‌های آبریز رودخانه‌های تحت بررسی

ردیف	نام رودخانه	نام ایستگاه هیدرومتری	کد ایستگاه	مساحت حوضه آبریز (کیلومتر مربع)	دوره مشاهده آماری (سال)	آبدهی متوسط سالانه (میلیون متر مکعب)
۱	فریزی	موشنگ	۶۴۰۰۷	۲۷۷	۳۵	۵۶/۶
۲	زشک (شاندیز)	سرآسیاب شاندیز	۶۴۰۱۹	۲۰۳	۳۶	۱۸/۷
۳	جاغرق	زیر بند گلستان	۶۴۰۴۷	۳۱۰	۱۸	۱۹/۲

## انتخاب بازه

شده، عمق جریان و سایر پارامترهای مورد نیاز در طول بازه انتخابی رودخانه‌های تحت تحقیق، نرم‌افزار شبیه‌سازی رودخانه‌ی Hec-Ras مورد استفاده قرار گرفت. این نرم‌افزار توسط انجمن مهندسی ارتش آمریکا تهیه شده و به کاربر امکان انجام محاسبات هیدرولیکی جریان‌های یک بعدی ماندگار و غیرماندگار را می‌دهد. برای محاسبه دقیق پارامترهای هیدرولیکی بازه انتخابی، خصوصاً سطح نشت بازه، در اجرای مدل به ترتیب زیر عمل شد.

در مرحله اول با معلوم بودن دبی ورودی و به خروجی از کل بازه و داشتن طول کل بازه و زیربازه‌ها (فواصل بین مقاطع عرضی در طول بازه انتخابی)، مقدار تلفات نشت یا نفوذ در هر زیربازه بصورت وزنی و بر اساس نسبت طول هر زیربازه به کل بازه در هر یک از رودخانه‌ها محاسبه گردید. سپس مقدار نفوذ محاسبه‌شده برای هر زیربازه از مقدار دبی ورودی به زیربازه کسر و به عنوان دبی در ابتدای زیربازه بعدی اعمال گردید. بدین ترتیب رودخانه تحت شرایط جریان ماندگار و رژیم زیربحرانی مدل شد. در مرحله دوم با توجه به اینکه مقطع عرضی رودخانه در طول بازه انتخابی ممکن است غیر یکنواخت بوده و تغییر کند، جهت تعیین دقیق‌تر میزان تلفات نشت در هر زیربازه، با استفاده از مقادیر سطح نشت برآورد شده زیربازه‌ها و کل بازه در مرحله اول اجرای مدل Hec-Ras مجدداً مقدار دبی در ابتدای هر زیربازه بر اساس نسبت سطح نشت زیربازه مورد نظر به کل سطح نشت بازه انتخابی هر رودخانه، تعیین و مجدداً مدل Hec-Ras اجرا گردید. بر اساس مقادیر جدید بدست آمده برای سطح نشت هر زیربازه و تعیین مقادیر دبی در ابتدای مقاطع عرضی همانند مرحله دوم، اجرای مدل تا جایی تکرار شد که مقادیر سطح نشت به‌دست آمده برای دو مرحله متوالی اختلاف ناچیزی نسبت به هم داشته باشند.

## نتایج و بحث

طول بازه‌های انتخاب‌شده در رودخانه‌های فریزی، شاندیز و گلستان به ترتیب در حدود ۱۶۵۰، ۱۴۰۰ و ۱۷۰۰ متر اندازه‌گیری و شیب طولی رودخانه‌های یادشده پس از نقشه برداری به ترتیب ۱، ۱/۳ و ۱ درصد محاسبه گردید. با توجه به شرایط و موقعیت رودخانه‌ها و نیز وضعیت بارش‌ها از نظر الگوی زمانی و مکانی، تعداد اندازه‌گیری‌ها در رودخانه‌های سه‌گانه متفاوت بوده است. با توجه به وضعیت خوب بارش‌ها در طول بهار سال ۸۸، بیشترین اندازه‌گیری‌ها مربوط به سال آبی ۸۸-۸۷ می‌باشد. در اغلب اندازه‌گیری‌ها در انتهای بازه انتخابی، آب در دو یا سه مجرا و مسیر در حال جریان بوده که در این صورت، اندازه‌گیری در همه مسیرها انجام شده و مجموع آن‌ها به عنوان دبی مقطع پایین‌دست بازه انتخابی، منظور گردید. دامنه اندازه‌گیری‌ها از حداقل ۶۰ لیتر در ثانیه تا حداکثر ۴/۲۱ متر مکعب در ثانیه متغیر بوده

در داخل حوضه آبریز رودخانه‌های فریزی، شاندیز و گلستان و در محدوده ایستگاه‌های هیدرومتری این رودخانه‌ها، به علت کوهستانی بودن و عمق کم آبرفت رودخانه، میزان نفوذ ناچیز بوده و یا حتی ممکن است آب رودخانه در طول بازه‌ای در این قسمت حوضه آبریز نیز افزایش یابد. لذا برای نیل به هدف تحقیق جهت انتخاب بازه‌ای مناسب در پائین‌دست خروجی حوضه آبریز، به‌طوری که جریان جانبی ورودی و خروجی وجود نداشته باشد، پیمایش صحرایی انجام و بازه مورد نظر در ابتدای سردشت و مخروط‌افکنه پائین‌دست هر یک از حوضه‌های آبریز سه‌گانه، انتخاب گردید. برای تعیین مقادیر طول و شیب طولی بازه انتخاب شده، عملیات نقشه‌برداری پروفیل طولی بازه‌های تحت بررسی، انجام شد. علاوه بر این، در طول بازه‌های انتخابی، تعدادی مقطع عرضی نیز در هریک از رودخانه‌های سه‌گانه برداشت گردید.

## اندازه‌گیری جریان و نفوذ

عملیات اندازه‌گیری دبی رودخانه‌ها در ابتدا و انتهای بازه‌های انتخابی هر یک از رودخانه‌های فریزی، شاندیز و گلستان با استفاده از دستگاه سرعت سنج آب (مولینه) در بهار سالهای ۱۳۸۸، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در تاریخ‌های مختلف انجام شد. برنامه‌ریزی به گونه‌ای صورت گرفت که روز بعد از هر واقعه بارندگی اعزام به محل بازه‌های انتخابی، انجام تا اندازه‌گیری‌ها در دبی‌های متفاوت حاصل شود. در اندازه‌گیری‌ها، مقطع رودخانه به مقاطع جزئی ۵۰ سانتیمتری تقسیم و در ابتدا و انتهای هر مقطع، تعداد دور مولینه دو بار اندازه‌گیری و میانگین آن برای محاسبه سرعت، مورد استفاده قرار گرفت.

## نمونه‌برداری از بستر رودخانه‌ها

به منظور تعیین دانه‌بندی مواد بستر رودخانه‌های تحت تحقیق، نمونه‌برداری از بستر رودخانه‌های سه‌گانه از عمق حدود ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتری و در زمان خشک‌بودن رودخانه (فصل تابستان)، صورت گرفت. از هر رودخانه دو یا سه نمونه در طول بازه انتخابی و در حد فاصل مقاطع بالادست و پایین دست بازه مربوط به هر رودخانه، برداشت گردید. این نمونه‌ها برای هر رودخانه با هم مخلوط شده و نمونه حاصل به عنوان نمونه معرف بستر رودخانه مورد نظر، مورد تجزیه و تحلیل دانه‌بندی قرار گرفت.

## استفاده از مدل Hec-Ras

با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری جریان در رودخانه‌های تحت بررسی و همچنین نتایج برداشت پروفیل‌های طولی و مقاطع عرضی بازه‌ها، به منظور دستیابی به تعیین سطح نشت، متوسط محیط خیس

اندازه‌گیری برای رودخانه‌های فریزی، شاندیز و گلستان نیز در جداول ۲ تا ۴ ارائه شده است. مقادیر  $D_{50}$ ،  $D_{65}$  و  $D_{90}$  حاصل از آنالیز دانه‌بندی مواد بستر رودخانه‌های فریزی، شاندیز و گلستان در جدول ۵ ارائه شده است. مشاهده می‌شود رودخانه فریزی با  $D_{50}=20$  میلی‌متر دارای درشت‌ترین و رودخانه گلستان با  $D_{50}=3.6$  میلی‌متر دارای ریزترین دانه‌بندی مواد بستر می‌باشند.

### برآورد تلفات انتقال در واحد طول بستر

هرچه طول بازه بیشتر باشد به طور طبیعی میزان تلفات انتقال بیشتر خواهد بود. لذا باید به گونه‌ای داده‌های تلفات را با استانداردها در کردن از طول بازه مستقل کرده و سپس اقدام به تحلیل همبستگی نمود.

است. مقادیر اندازه‌گیری شده دبی در ابتدا و انتهای بازه انتخابی رودخانه‌های فریزی، شاندیز و گلستان به ترتیب در جداول ۲ تا ۴ ارائه شده است.

در تعدادی از اندازه‌گیری‌ها مقدار دبی در مقطع پایین دست بازه انتخابی بیشتر از دبی اندازه‌گیری شده در مقطع بالادست بازه بوده و یا اینکه تفاضل دو مقدار بسیار ناچیز و دور از انتظار و واقعیت بدست آمده است. این امر می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری بوده باشد و یا اینکه مقداری آب در طول بازه به رودخانه اضافه شده است. این قبیل داده‌ها برای دستیابی به نتایج واقعی تحقیق، در تجزیه و تحلیل‌ها مورد استفاده قرار نگرفتند.

نتایج حاصل از اجرای مدل Hec-Ras نشان داد اختلاف بین محاسبات در مرحله اول و دوم برای اکثر اندازه‌گیری‌ها برای رودخانه‌های تحت تحقیق ناچیز بودند. مقادیر متوسط محیط خیس شده حاصل از اجرای مدل Hec-Ras به ازای دبی‌های مختلف

جدول ۲- مقادیر اندازه‌گیری یا محاسبه شده پارامترهای بازه انتخابی رودخانه فریزی

ردیف	تاریخ	دبی ابتدای بازه (متر مکعب در ثانیه)	دبی انتهای بازه (متر مکعب در ثانیه)	میزان نفوذ (متر مکعب در ثانیه)	متوسط محیط خیس شده (متر)
۱	۸۸/۰۲/۰۱	۳/۴۱۳	۳/۳۴۲	۰/۰۷۱	—
۲	۸۸/۰۲/۰۹	۴/۲۱۴	۳/۹۶۹	۰/۲۴۵	۱۷/۱۱
۳	۸۸/۰۲/۱۵	۳/۷۷۸	۳/۱۹۹	۰/۵۷۹	۱۶/۳۵
۴	۸۸/۰۲/۲۲	۳/۳۴۹	۲/۸۱۸	۰/۵۳۱	۱۶/۳۵
۵	۸۸/۰۲/۳۰	۲/۲۱۴	۱/۴۶۹	۰/۷۴۵	۱۰/۷۰
۶	۸۸/۰۳/۰۵	۰/۳۷۲	۰/۲۷۰	۰/۱۰۲	۳/۶۱
۷	۹۰/۰۱/۰۸	۰/۲۶۰	۰/۰۶۰	۰/۲۰۰	۳/۶۱
۸	۹۰/۰۲/۱۴	۰/۸۸۸	۰/۵۵۲	۰/۳۳۶	۵/۴۴

جدول ۳- مقادیر اندازه‌گیری یا محاسبه شده پارامترهای بازه انتخابی رودخانه شاندیز

ردیف	تاریخ	دبی ابتدای بازه (متر مکعب در ثانیه)	دبی انتهای بازه (متر مکعب در ثانیه)	میزان نفوذ (متر مکعب در ثانیه)	متوسط محیط خیس شده (متر)
۱	۸۸/۰۱/۱۸	۱/۹۸۱	۱/۹۷۶	۰/۰۰۵	۱۰/۲۴
۲	۸۸/۰۲/۰۱	۳/۵۹۰	۳/۲۷۹	۰/۳۱۱	۱۱/۲۷
۳	۸۸/۰۲/۰۹	۳/۱۸۴	۲/۵۹۶	۰/۵۸۸	۱۱/۰۸
۴	۸۸/۰۲/۱۶	۲/۹۷۳	۲/۴۵۵	۰/۵۱۸	۹/۶۱
۵	۸۸/۰۲/۲۲	۲/۴۸۸	۲/۲۰۳	۰/۲۸۵	۹/۷۶
۶	۸۸/۰۲/۳۱	۱/۶۶۸	۱/۲۸۰	۰/۳۸۸	۸/۶۱
۷	۸۸/۰۳/۰۵	۰/۶۵۰	۰/۴۰۵	۰/۲۴۵	۶/۹۴
۸	۸۸/۰۳/۱۰	۲/۱۶۵	۱/۳۶۱	۰/۸۰۴	۹/۷۴
۹	۸۹/۰۱/۱۱	۰/۵۷۴	۰/۳۱۸	۰/۲۵۶	۶/۶۵
۱۰	۸۹/۰۱/۱۸	۰/۳۹۴	۰/۲۰۴	۰/۱۹۰	۵/۲۲
۱۱	۸۹/۰۱/۲۳	۱/۶۲۱	۱/۳۴۱	۰/۲۶۵	۸/۵۷

جدول ۴- مقادیر اندازه‌گیری یا محاسبه شده پارامترهای بازه انتخابی رودخانه گلستان

ردیف	تاریخ	دبی ابتدای بازه (متر مکعب در ثانیه)	دبی انتهایی بازه (متر مکعب در ثانیه)	میزان نفوذ (متر مکعب در ثانیه)	متوسط محیط خیس شده (متر)
۱	۸۸/۰۱/۱۸	۰/۲۳۹	۰/۲۶۷	-۰/۰۲۸	--
۲	۸۸/۰۲/۰۲	۳/۷۰۸	۳/۱۷۴	۰/۵۳۴	۱۲/۶۱
۳	۸۸/۰۲/۰۷	۲/۹۲۲	۲/۷۶۶	۰/۱۵۶	۱۱/۵۷
۴	۸۸/۰۲/۰۹	۲/۵۲۰	۲/۵۸۰	-۰/۰۶۰	--
۵	۸۸/۰۲/۱۶	۲/۸۱۱	۲/۶۴۵	۰/۱۶۶	۱۱/۳۱
۶	۸۸/۰۲/۲۳	۱/۷۲۱	۱/۷۴۱	-۰/۰۲۰	--
۷	۸۸/۰۲/۳۱	۰/۸۰۱	۰/۶۳۸	۰/۱۶۳	۸/۰۲
۸	۸۸/۰۳/۱۰	۰/۵۵۶	۰/۳۵۰	۰/۲۰۶	۸/۲۴
۹	۸۸/۰۳/۲۷	۰/۱۷۷	۰/۱۱۲	۰/۰۶۵	۵/۸۲

جدول ۵- مقادیر  $D_{50}$ ،  $D_{65}$  و  $D_{90}$  مواد بستر رودخانه‌های تحت تحقیق (میلیمتر)

ردیف	نام رودخانه	$D_{50}$	$D_{65}$	$D_{90}$
۱	فریزی	۲۰	۳۸	۷۷
۲	شان‌دیز	۱۲	۲۱	۵۰
۳	گلستان	۳/۶	۶/۵	۱۸

تحلیل همبستگی مربوط به هر رودخانه، قابل استفاده نیستند. عامل رطوبت پیشین نیز با توجه به اینکه این تحقیق برای جریانهای دائمی رودخانه‌ها انجام شده است، نقش و اثری در میزان تلفات انتقال ندارد. لذا عواملی که می‌توانند نقش اصلی و کلیدی در میزان نفوذ آب به بستر رودخانه‌ها در این تحقیق داشته باشند، دو عامل مقادیر دبی در بالادست و محیط خیس شده می‌باشد.

امکان وجود همبستگی و ارتباط معنی‌دار بین درصد تلفات انتقال، به عنوان متغیر وابسته، و پارامترهای مقادیر دبی‌های اندازه‌گیری شده در ابتدای بازه انتخابی و متوسط محیط خیس شده بازه، به عنوان متغیرهای مستقل، برای هر کیلومتر طول رودخانه، در هر یک از رودخانه‌ها مورد آزمون قرار گرفت. مقادیر متوسط محیط خیس شده هر رودخانه، از نتایج و خروجی اجرای مدل Hec-Ras استفاده شد. در نهایت مدلی نمایی به فرم  $TL = a * (Q_{up})^b (W)^c$  با ضریب همبستگی بالا برای رودخانه‌های فریزی، شان‌دیز و گلستان بدست آمد. روابط حاصله به همراه ضریب همبستگی و خطای استاندارد برآورد آنها در جدول ۶ ارائه شده است. در این مدل‌ها،  $TL$  تلفات انتقال یا نفوذ به بستر رودخانه به درصد،  $Q_{up}$  دبی رودخانه به متر مکعب در ثانیه و  $W$  متوسط محیط خیس شده بستر رودخانه به متر می‌باشد. با استفاده از روابط بدست آمده، مقدار درصد تلفات انتقال جریان در هر یک از رودخانه‌های فریزی، شان‌دیز و گلستان در هر بازه یک کیلومتری طول بستر به ازای مقدار دبی جریان در ابتدای بازه و متوسط محیط خیس شده بازه، قابل برآورد و محاسبه است.

علاوه بر این، کاهش حجم جریان در طول یک بازه رودخانه نیز غیرخطی است؛ یعنی نرخ تلفات در اوایل بازه بیشتر از اواخر آن خواهد بود. بنابراین نمی‌توان با تقسیم کل تلفات بر طول بازه، میزان تلفات را در واحد طول به صورت یکنواخت بیان نمود. یک روش برای استاندارد نمودن داده‌ها، محاسبه تلفات انتقال برای کیلومتر اول بازه رودخانه می‌باشد. جردن (۶) رابطه ۱ را در این خصوص ارائه داده است.

$$Q_1 = Q_{up} \left(1 - \left(\frac{Q_d}{Q_{up}}\right)^{1/X}\right) \quad (1)$$

که در آن،  $Q_1$  تلفات انتقال در کیلومتر اول،  $Q_{up}$  حجم یا دبی جریان در بالادست بازه و  $Q_d$  حجم یا دبی جریان در فاصله  $X$  از بالادست بازه می‌باشد. از این رابطه مقدار تلفات انتقال برای هر کیلومتر از رودخانه، قابل برآورد است.

#### توسعه مدل‌های برآورد تلفات انتقال

در این تحقیق با استفاده از رابطه (۱) ابتدا مقدار و درصد افت یا تلفات انتقال به ازای هر کیلومتر طول بستر برای تمامی اندازه‌گیری‌های انجام شده در هر یک از رودخانه‌های فریزی، شان‌دیز و گلستان محاسبه شد. برای دستیابی به مدل‌های برآورد میزان نفوذ آب به بستر رودخانه‌های تحت تحقیق، بررسی‌های متعدد بر روی ارتباط بین تلفات انتقال با عوامل موثر در آن انجام شد. از میان عوامل موثر و اصلی، شیب و دانه‌بندی مواد بستر برای هر رودخانه ثابت بوده و در

جدول ۶- مدل‌های برآورد درصد تلفات انتقال دبی در هر بازه یک کیلومتری بستر

ردیف	نام رودخانه	مدل حاصله	ضریب همبستگی	خطای استاندارد برآورد
۱	فریزی	$TL = 402.609 * (Q_{up})^{0.11} (W)^{-1.382}$	۰/۹۹	۳/۹۸
۲	شاندیز	$TL = 3.564 * (Q_{up})^{-0.953} (W)^{0.89}$	۰/۹۷	۲/۹۶
۳	گلستان	$TL = .0011 * (Q_{up})^{-1.489} (W)^{4.23}$	۰/۹۴	۳/۵۶

نقطه‌ای معین، مقدار متوسط محیط خیس شده رودخانه نیز در اختیار باشد، برآورد تلفات انتقال از مدل‌های ارائه شده در جدول ۶ از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود. در غیر این صورت می‌توان مقدار تلفات انتقال را از مدل‌های ارائه شده در جدول ۷ برآورد نمود. مقدار تلفات انتقال یا نفوذ آب به بستر رودخانه‌های فریزی، شاندیز و گلستان به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار می‌باشد. به عنوان مثال مقدار تلفات انتقال به ازای دبی یک مترمکعب در ثانیه در یک بازه یک کیلومتری در رودخانه‌های یاد شده به ترتیب ۳۱، ۲۴ و ۱۲/۵ درصد می‌باشد. این ویژگی کاملاً متناسب با وضعیت دانه‌بندی بستر رودخانه‌های یادشده است (جدول ۵).

از ویژگی‌های شاخص و منحصر به فرد این تحقیق، توسعه مدل‌های برآورد تلفات انتقال با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده مستقیم در صحرا و برای جریان‌های غیر سیلابی رودخانه‌ها، می‌باشد. اکثر کارها و تحقیقات انجام شده توسط محققین شاخص مقوله تلفات انتقال در نقاط مناطق خشک و نیمه خشک دنیا، که جنبه کاربردی داشته و منجر به توسعه مدل‌های برآورد تلفات انتقال شده است (۲، ۶، ۸، ۹ و ۱۰)، با استفاده از داده‌های سیلاب موجود ایستگاه‌های هیدرومتری متوالی رودخانه‌ها انجام شده است. فاصله این ایستگاه‌ها در بعضی کارها، گاهی تا بیش از صد کیلومتر بوده است. در مطالعه و تحقیق انجام شده توسط بمبئی چی و همکاران (۱) نیز از همین شیوه و روش مطالعه استفاده شده است. در توسعه مدل‌های ارائه شده توسط افراد یاد شده برای تعدادی از عوامل یا پارامترهای موثر در برآورد تلفات انتقال، نظیر جریان‌های ورودی یا خروجی در طول بازه تحقیق، مقداری فرض شده یا از آن صرف‌نظر شده است. در حالیکه در تحقیق حاضر تعیین دقیق این عوامل و پارامترها، جهت دستیابی به مدل‌های دقیق، مد نظر بوده‌اند. از جمله اینکه برای تعیین مقدار محیط خیس شده، از نرم‌افزار Hec-Ras استفاده شد. این امر باعث گردید برای هر رودخانه به ازای دبی‌های مختلف، مقدار محیط خیس شده متناسب با آن بدست آید. در مجموع مشابهت کلی بین بهترین مدل‌های منطقه‌ای توسعه داده و ارائه شده توسط محققین شاخص (۱، ۸، ۹ و ۱۰)، که در جدول ۸ ارائه شده است، و نتایج حاصل از این تحقیق، وجود دارد. در همه این مدل‌ها، برآورد تلفات انتقال برای یک کیلومتر طول بستر رودخانه یا رودخانه‌های مورد نظر

جهت برآورد میزان تلفات انتقال یا مقدار نفوذ آب به بستر رودخانه در هر نقطه دلخواه و در هر فاصله‌ای در پایین دست نقطه‌ای با مقدار معلوم دبی (مثلاً ایستگاه هیدرومتری)، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده جریان در رودخانه‌های فریزی، شاندیز و گلستان، و مقدار تلفات انتقال محاسبه شده در هر کیلومتر بستر، برازش مدل‌های مختلف خطی و غیرخطی به داده‌ها مورد آزمون قرار گرفت. در نهایت مدلی به فرم  $Q_x = Q_{UP} (1 - \frac{a}{Q_{UP}^b})^x$  با ضریب همبستگی بالا برای هر سه رودخانه بدست آمد. در این مدل،  $Q_x$  مقدار دبی برآورد شده به متر مکعب در ثانیه در فاصله  $x$  به کیلومتر از نقطه‌ای با دبی معین ( $Q_{UP}$ ) به متر مکعب در ثانیه و  $a$  و  $b$  ضرایب ثابت معادله هستند. مدل‌های بدست آمده برای رودخانه‌های فریزی، شاندیز و گلستان به همراه ضریب همبستگی و خطای برآورد استاندارد مدل‌ها در جدول ۷ ارائه شده است.

مشاهده می‌شود این مدل‌ها مستقل از محیط خیس شده بستر رودخانه می‌باشند. به عبارت دیگر فرض بر این گرفته شده که وضعیت و تغییرات محیط خیس شده بستر رودخانه‌های یادشده، به طور کلی مشابه بازه انتخابی رودخانه مربوطه است. با استفاده از مدل‌های حاصله می‌توان با معلوم بودن مقدار دبی در هر نقطه از رودخانه، مقدار دبی کاهش یافته در حال جریان در فاصله‌ای در پایین دست آن نقطه را در هر یک از رودخانه‌های فریزی، شاندیز و گلستان برآورد نمود. شایان ذکر است همان‌طور که اشاره شد، بایستی در طول بازه مورد نظر دبی ورودی به یا خروجی از آن وجود نداشته باشد.

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق مشخص شد همبستگی بالا و معنی‌داری بین تلفات انتقال و متغیرهای مستقل دبی در بالادست و محیط خیس شده رودخانه‌ها وجود دارد. با استفاده از داده‌های برداشت و اندازه‌گیری شده در صحرا و تجزیه و تحلیل آنها، مدل‌های نمایی برای برآورد تلفات انتقال رودخانه‌های فریزی، شاندیز (زشک) و گلستان، توسعه داده شده و توصیه گردید (جدول ۶ و ۷). اگر علاوه بر دبی در

منطقه‌ای خراسان رضوی انجام شده است. در همین رابطه لازم می‌داند از تمامی اعضاء کمیته تحقیقات یاد شده، خصوصاً دبیران قبلی و فعلی آن، تشکر و قدردانی نماید.

می‌باشد.

## قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی کمیته تحقیقات کاربردی شرکت آب

جدول ۷- مدل‌های بدست آمده برای برآورد دبی در هر فاصله از نقطه‌ای با دبی معین

ردیف	نام رودخانه	مدل حاصله	ضریب همبستگی	خطای استاندارد برآورد
۱	فریزی	$Q_X = Q_{UP} \left(1 - \frac{0.3126}{Q_{UP}^{0.7864}}\right)^X$	۰/۹۹	۰/۰۲۸
۲	شاندیز	$Q_X = Q_{UP} \left(1 - \frac{0.2384}{Q_{UP}^{0.7096}}\right)^X$	۰/۹۹	۰/۰۱۸
۳	گلستان	$Q_X = Q_{UP} \left(1 - \frac{0.1246}{Q_{UP}^{0.4698}}\right)^X$	۰/۹۹	۰/۰۰۶

جدول ۸- مدل‌های منطقه‌ای ارائه شده برآورد تلفات انتقال توسط محققین مختلف

شماره و مورثی برای تعدادی از مسیلهای هندوستان:	
$TL = 6.338 * (V_{up})^{0.913} (W)^{-0.793}$	تلفات انتقال و دبی یا جریان بالا دست بر حسب متر مکعب.
$TL = 1.983 * (V_{up})^{0.730}$	عرض موثر رودخانه بر حسب متر.
والترز برای تعدادی از مسیلهای عربستان سعودی:	
$TL = 0.0006225 * (V_{up})^{0.507} (W)^{1.216}$	تلفات انتقال و دبی یا جریان بالا دست بر حسب ایکرفوت.
$TL = 0.103 * (V_{up})^{0.872}$	عرض موثر رودخانه بر حسب فوت.
ویترز برای حوضه آبریز معرف والنات گالچ آریزونای آمریکا:	
$\frac{V_X}{V_{up}} = 118.80 * (V_{up})^{-0.71}$	دبی یا جریان بالا دست و پایین دست بر حسب متر مکعب.
بمبئی چی و همکاران برای حوضه آبریز کشف رود خراسان:	
$TL = 0.241 * (V_{up})^{0.992} (W)^{-0.699}$	تلفات انتقال و دبی یا جریان بالا دست بر حسب متر مکعب.
$TL = 0.063 * (V_{up})^{0.932}$	عرض موثر رودخانه بر حسب متر
$TL = 0.0212 * (V_{up})$	

## منابع

- ۱- بمبئی چی س.، حسینی س. م. و قهرمان ب. ۱۳۸۹. توسعه مدل‌های همبستگی برای برآورد تلفات انتقال در رودخانه‌های فصلی حوزه آبریز قره‌قوم. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال چهارم، شماره ۱۱، ص ۲۴-۱۳.
- 2- Abdulrazzak M. J. and Sorman A. U. 1994. Transmission losses from ephemeral stream in arid region. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 20(3): 669-675.
- 3 -Cataldo J., Behr C., Montalto F. and Pierce R. J. 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 the Environment.
- 4 - Costelloe J.F., Grayson R.B., McMahon T.A. and Argent R.M. 2003(a). Modelling the flow regime of an arid zone, floodplain river, Diamantina River, Australia. Environ. Mod. Soft. 18: 693-703.
- 5 - Esfandiari Baiat, M. and Rahbar G. 2004. Monitoring of Inflow and Outflow Rate From Kaftari Artificial Recharge of Groundwater System In Dorz-Sayban Region In Southeastern of Iran. Proceeding of Regional Workshop on Management of Aquifer Recharge and Water Harvesting in Arid and Semi-arid Regions of Asia. Yazd, I. R. of Iran.
- 6- Jordan P. R. 1977. Streamflow transmission losses in Western Kansas. Journal of the Hydraulics Division, Proc. ASCE., 103 (HY8): 905-919.



- 7- Lane L. J., Diskin M. H. and Reynard K. G. 1971. Input-output relationships for an ephemeral stream channel system. *Journal of Hydrology*, 13: 2-40.
- 8- Sharma K. D. and Murthy J. S. R. 1994a. Estimating transmission losses in an arid region. *Journal of Arid Environments*, 26: 209-219.
- 9 - Walters M. O. 1990. Transmission losses in arid region. *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(1): 129-138.
- 10- Wheeler H. S., Woods Ballard B. and Jolley T.J. 1997. 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. 240: 395-405.

## Investigating and Developing Transmission Losses Models for Selected Rivers of Razavi Khorasan Province

R. Ghafourian<sup>1\*</sup> - A. Bagherian kalat<sup>2</sup> - A. Gord Noushahri<sup>3</sup>

Received: 12-03-2012

Accepted: 05-08-2012

### Abstract

Part of water flowing downstream in rivers, infiltrates into the bed river. Infiltrated water depends on morphologic and hydraulic characteristic of the rivers. Planners and managers want to know the amount of water infiltrates into the bed and consequently recharges ground water. In this study three rivers of Kashaf rud river basin, namely Ferizi, shandiz (Zoshk) and Golestan, were selected and their discharges were measured during period of 2009-2011 at the beginning and the end of a selected reach in each of the mentioned rivers by a current meter. Then transmission losses (TL) of the reaches were computed by subtracting the measured discharges. By surveying longitudinal profile and cross sections of the reaches and running the Hec-Ras model, wetted perimeter was determined for every discharge measurement for three selected reaches. Analysis of data showed that there is a significant exponential relationship between TL and the measured discharge at the beginning of the reach and wetted perimeter for one kilometer of the reach. The results showed that the percentage of TL decreases with increasing of the discharge in each river. As well as TL rate decreases from west to east; on the other hands in Ferizi river is the most and in Golestsn river is least. Developing an exponential model which is independent of the wetted perimeter, is one of the other results of the research.

**Keywords:** Infiltration, Transmission Losses, Model, Khorasan, Kashaf Rud and Hec-Ras

---

1,2- Scientific Member and Researcher of Agriculture and Natural Resources Research Center of Razavi Khorasan Province, Mashhad, I.R. of Iran

(\*-Corresponding Author Email: rghafour@gmail.com)

3- Ph.D Student of Hydraulic Structures Engineering, Tehran University