نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۸، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۳، ص. ۴۱-۲۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 18, Apr.-May. 2024, p. 27-41

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تاثیر تنه‌های درخت افتاده در مسیر جریان رودخانه بر مشخصات ناحیه هایپریک با استفاده از نرم افزار کامسول(مطالعه موردی رودخانه گرمابدشت گرگان)

محسن برزعلی[۱]، محسن مسعودیان*[۲]، رامین فضل‌اولی[۳]، امیر احمد دهقانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲

چکیده

جریان هایپریک در رودخانه‌ها زمانی شکل می‌گیرد که اختلاط جریان سطحی و جریان زیر سطحی در محیط متخلخل زیر و اطراف رودخانه رخ دهد. برای محاسبه میزان تبادل جریان‌سطحی و زیرسطحی، نیاز به تخمین هدایت هیدرولیکی بین دو منبع جریان‌سطحی و زیرسطحی است. در این تحقیق برای برآورد شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی رسوب‌های کف رودخانه، از مینی پیزومتر و مانومتر استفاده شد. سپس آزمایش‌های فیزیکی در سال ۱۴۰۱ در رودخانه توسکستان گرگان جهت بررسی اثر تنه درختان در مسیر رودخانه به‌عنوان مانع طبیعی جریان در حالت‌های مختلف ارتفاع تنه درخت (۳۰-۶۰-۹۰ سانتی‌متر) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، پیزومترهایی در بالادست و پایین‌دست تنه درخت تعبیه شد و سپس با استفاده از مدل عددی در محیط نرم‌افزار کامسول جهت شبیه‌سازی جریان هایپریک، اختلاف هد هیدرولیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد بین داده های مشاهداتی پیزومتر و نتایج شبیه‌سازی، ۹۱ درصد همبستگی وجود دارد. بر این اساس، دبی‌های تبادلی محاسباتی از مدل عددی نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود بیشترین مقدار دبی تعادلی در حالتی که ارتفاع تنه درخت ۳۰ سانتی‌متر(دبی تبادلی ۳/۹۶برابر بدون تنه درخت می‌باشد)، اتفاق می‌افتد.

واژه‌های کلیدی: تبادلات سطحی و زیر سطحی، جریان هایپریک، کامسول

مقدمه

رودخانه‌ها سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که انواع فرآیندهای شیمیائی، بیولوژیکی و فیزیکی در آن‌ها اتفاق افتاده و تحت تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف از نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در تغییر هستند. با توجه به اینکه غالباً رودخانه‌ها در بسترهای آبرفتی خود در حال حرکت هستند، در اثر وجود تنش برشی در کف بستر انواع مختلفی از شکل‌های بستر در کف رودخانه ها شکل می‌گیرد که باعث می‌شود قسمتی از جریان آب سطحی در رودخانه به محیط متخلخل زیر آن وارد شده و پس از اکسیژن‌رسانی و تغذیه جانداران کف‌زی دوباره به جریان آب سطحی باز گردد. به این نوع جریان‌ها که از اختلاط جریان سطحی و جریان زیرسطحی در محیط متخلخل زیر و اطراف رودخانه بوجود می‌آیند، جریان هایپریک گفته می‌شود. این تبادل جریان تحت تاثیر خصوصیاتی مانند فشار در کف، حرکت بستر، حجم آبرفت و هدایت هیدرولیکی به‌طور زمانی و مکانی تغییر می‌کند. واژه هایپریک از کلمه یونانی 'hypo-' و 'rhe-" به معنای آب زیر سطحی کم‌عمق در زیر رودخانه و دشت‌های سیلابی تعریف می‌شود. در دهه‌های اخیر اهمیت تبادلات جریان هایپریک در رابطه با تأثیر آن در مباحث ژئومورفولوژی آبرفت‌ها، آب‌های زیرزمینی و زیست‌بوم موجودات آبزی در بقا، مدیریت و احیای رودخانه‌ها بسیار پررنگ شده است. کاربرد اصلی این اصطلاح را می‌توان در تحقیق اورگیدان یافت(Orghidan, 1959). ایشان منطقه هایپریک را به عنوان یک محیط جدید آب زیرزمینی توصیف کردند که دارای یک زیست‌بوم ویژه است. خصوصیات جریان هایپریک شامل دبی تبادلی، زمان

۱- دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و کارشناس شبکه‌های آبیاری و زهکشی شرکت آب منطقه‌ای گلستان، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آب،دانشکده مهندسی زراعی،دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی آب،دانشکده مهندسی زراعی،دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،ایران
۴- استاد گروه مهندسی آب،دانشکده مهندسی زراعی،دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: masoudian@sanru.ac.ir)

ماندگاری و عمق یا عرض نفوذ این جریان است. دبی تبادلی در واقع مقدار جریانی است که به صورت جریان روبه‌پایین و روبه‌بالا، بین بستر و جریان سطحی مبادله می‌شود. زمان تبادل جریان هایپریک یا زمان ماندگاری، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا بخشی از جریان سطحی که به دلیل گرادیان فشار به داخل بستر رسوبی وارد شده است دوباره به سطح برگردد. تحولات بیوشیمیایی و اکولوژیکی در منطقه هایپریک به زمان تبادل جریان هایپریک بستگی دارد(Cardenas, 2015). عمق جریان هایپریک، ارتفاع نفوذ آب سطحی به داخل بستر را نشان می‌دهد. این عمق از نظر موقعیت تداخل آب سطحی و جریان‌های زیرزمینی و نیز عمق زیست‌بوم رودخانه حائز اهمیت است.

تبادل هایپریک تأثیر چندگانه‌ای بر روی زیست بوم رودخانه دارد. جریانهای رو به پایین، مواد محلول و آب را به داخل رسوبات بستر انتقال داده و باعث اصلاح غلظت مواد محلول در رسوبات می‌شود، در نتیجه بر روی محیط زیست موجودات مختلفی که در محیط بستر رودخانه زندگی می‌کنند تأثیر می‌گذارد. این موجودات نیز به نوبه خود غلظت مواد محلول را تغییر داده، قسمتی از مواد محلول انتقال یافته را مصرف کرده و پسماند بیولوژیکی خود را به آب باز می‌گردانند که توسط جریان دوباره به جریان سطحی برمی‌گردد. (Woessner, 2017)

مهم‌ترین روش‌های اندازه‌گیری میدانی برای تشخیص منطقه هایپریک و تبادل آن با جریان زیرزمینی شامل: استفاده از چاه، استفاده از پیزومتر، روش اندازه‌گیری رسوب، روش اندازه‌گیری جریان، روش تجزیه و تحلیل هیدروگرافی، عکس‌های مادون قرمز، ردیاب مصنوعی و محیطی، روش دما، روش ژئوفیزیک، روش‌های هیدروشیمی، روش‌های نمونه‌برداری بیولوژیکی از جانداران زیرسطحی می‌باشد (Buss et al., 2009).

در رودخانه معمولاً تنه درختان بصورت طبیعی مانع ایجاد می‌کنند. یکی از عوامل مؤثر بر تبادلات هایپریک، گرادیان‌های فشار در بالادست و پایین‌دست تنه درخت در مسیر رودخانه می‌باشد که باعث شکل‌گیری جریان‌های رو به پایین و رو به بالا در محیط هایپریک می‌شوند.

تبادل هایپریک تأثیر چندگانه‌ای بر روی زیست‌بوم رودخانه دارد. جریان‌های رو به پایین، مواد محلول و آب را به داخل رسوبات بستر انتقال داده و باعث اصلاح غلظت مواد محلول در رسوبات می‌شود، در نتیجه بر روی محیط زیست موجودات مختلفی که در محیط بستر رودخانه زندگی می‌کنند تأثیر می‌گذارد. این موجودات خود غلظت مواد محلول را تغییر داده، قسمتی از مواد محلول انتقال یافته را مصرف کرده و پسماند بیولوژیکی خود را به آب باز می‌گردانند که توسط جریان دوباره به جریان سطحی برمی‌گردد. همچنین جریان‌های هایپریک، اگر شامل آب تمیز باشند، به دلیل داشتن اکسیژن بالا باعث حفظ تکامل دوره جنینی موجودات آبزی شده ضایعات سوخت و ساز این موجودات را حذف می‌کند(Bjornn et al. 1998). مارشال و همکاران با استفاده از مدل آزمایشگاهی و عددی اثر مشخصات آواره‌های چوبی را به‌عنوان محرک جریان بالادست آبگیرها بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که آواره‌های چوبی و توالی آنها تاثیر قابل توجهی بر میزان جریان هایپریک دارد (Marshall et al., 2023). لیو و همکاران با استفاده از مدل عددی، اثر طراحی سازه‌های بهینه را بر حذف نیتروژن توسط ناحیه هایپریک بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند؛ استفاده همزمان از شبیه‌ساز HEC-RAS و شبیه‌ساز COMSOL کمک زیادی در شبیه‌سازی جریان سطحی، زیرسطحی و جریان هایپریک دارد. همچنین تجریه و تحلیل حساسیت صورت گرفته، نشان از حساسیت زیاد ارتفاع بهینه سازه با دبی جریان را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، مدل‌سازی و نتایج ارائه‌شده از تحقیق محقق و همکاران ، مطالعات آینده را برای طراحی سازه‌های بهینه به‌منظور حذف نیتروژن توسط ناحیه هایپریک را که هدف مهم پروژه‌های احیای رودخانه است، تسهیل می‌کند (Liu et al., 2020).دوتی و همکاران با استفاده از روش مقاومت الکتریکی [1] اثرانسداد جریان ایجاد شده توسط آواره‌های چوبی را بر تبادلات هایپریک بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند، روش چاهک کنترلی به‌عنوان متداول‌ترین روش اندازه‌گیری ویژگی‌های منطقه هایپریک در مقایسه با روش مقاومت الکتریکی که داده‌ها را در مقیاس زمانی و مکانی اندازه‌گیری می‌نماید، نمی‌تواند نسبت به ثبت داده‌ها در مقیاس زمانی و مکانی عمل نماید (Doughty et al., 2020). ساویر و همکاران طی مقاله ای اثر انسداد ایجاد شده توسط کنده‌های چوبی بر تبادلات هایپریک را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنها نشان داد، جریان آب رودخانه در اطراف آوارهای بزرگ چوبی گرادیان فشار را در امتداد بستر رودخانه ایجاد می‌کند که منطقه بزرگی از اختلاط آب‌های زیرزمینی رودخانه و تبادلات هایپریک را سبب می‌شود. مدل آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی آن‌ها نشان می‌دهد که در بالادست مانع چوبی در مجرا، جریان آب رو به پایین و در پایین دست آن جریان رو به بالا خواهیم داشت. میزان تبادلات هایپریک در نزدیکی کنده چوبی بزرگتر است و به صورت تصاعدی با فاصله از بالادست به سمت پایین‌دست کمتر می شود (Sawyer et al., 2011).

شهسواری و همکاران (۱۳۹۴) با تحقیق بر روی طراحی و ساخت مینی‌پیزومتر برای اندازه‌گیری میزان تبادل آب سطحی و زیرزمینی نشان دادند، می‌توان با تهیه و ساخت آن با استفاده از مواد ارزان و در دسترس با قیمت تمام شده بسیار پایین، نسبت به تعیین میزان تبادل آب سطحی و زیرزمینی اقدام نمود. همچنین ایشان نتیجه گرفتند: با ایجاد تغییراتی در ساختار مینی‌پیزومتر ساخته شده، می‌توان نسبت به

1 ER Line

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی رسوب کف رودخانه اقدام نمود. ووندزل و همکاران با استفاده از یکسری مدل‌های آب زیرزمینی، اثر حذف آواره‌های چوبی بر تبادلات هایپریک جریان را به صورت میدانی در جنوب آلاسکا در رودخانه‌ایی با شیب ملایم و بستر شنی در طول بازه زمانی ۲ و۴ و۱۶ ساله مورد بررسی قرار دادند. ایشان در آزمایش خود از مدل‌های آب زیرزمینی، چون MODFLOW و MODPATH استفاده کردند. با استفاده از نرم‌افزارهای مذکور میزان تبادلات هایپریک جریان، زمان ماند جریان و الگوی طولی و پلان بالادست و پایین دست منطقه هایپریک را شناسایی کردند. نتایج آنها حاکی از این بود که در سال‌های اولیه، آبشستگی بستر جریان به همراه ته نشینی رسوب، باعث ملایم شدن پروفیل سطح آب شده که صاف شدن بستر جریان و کاهش تبادلات هایپریک جریان را به همراه داشته است. همچنین زمانی‌که جریان با حذف آواره‌های چوبی به تعادل رسید، این روند برعکس خواهد شد. با ادامه روند فوق، توسعه ساختار ریپل- پول[1] را خواهیم داشت. نتایج دیگر تحقیق نشان داد که منطقه هایپریک به تغییرات بارچوب حساس می‌باشد و تغییرات ابتدائی متاثر از حذف توده چوب در تقابل با تاثیرات بلندمدت بارگذاری چوب می‌باشد (Wondzell et al., 2009). هستر و همکاران اثر سازه‌های در مسیر جریان را بر تبادلات هایپریک با استفاده از مطالعات میدانی و شبیه‌سازی عددی مورد بررسی قرار داد. مطابق مطالعات قبلی، از بین سازه‌های ژئومورفیک در مسیر جریان، سدهای باقیمانده و پله های موجود در مسیر جریان به‌عنوان یکی از موانعی می‌باشند که می‌توانند تبادلات هایپریک جریان را به وجود آورند. ایشان در مطالعات خود اثر هیدرولیک جریان سطحی و زیرزمینی را در یک مجرای طبیعی حاوی سازه‌های ژئومورفیک را درکریک کرایگ[2] در پارک ملی جفرسون ایالت ویرجینیا با استفاده از مطالعات میدانی و شبیه‌سازی عددی مورد بررسی قرار دادند. نتایج مدل بکار رفته نشان می‌دهد که اندازه سازه، میزان دبی جریان و هدایت هیدرولیکی رسوبات نقش مهمی در تبادلات هایپریک دارد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد: سازه‌هایی که در دهنه کانال قرار گرفته‌اند نسبت به سازه‌های با انسداد جزئی و سرریزها بسیار موثرتر از پله‌ها می‌باشند. در این بین در بیشتر سازه‌ها، نرخ جریان روبه پایین در محیط هایپریک رابطه خطی با اندازه سازه دارد در حالیکه زمان ماند رابطه غیر خطی با آن دارد (Hester et al., 2008).

در این تحقیق سعی بر این است با توجه به افزایش روزافزون آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای، راهکاری ساده، ارزان قیمت و سازگار با طبیعت از قبیل قراردادن درختان افتاده در اثر باد و رعد و برق در مسیر رودخانه، جهت علاج‌بخشی و کاهش بار آلودگی آب، با احیای منطقه هایپریک جریان که نقش کلیدی در کاهش بار آلودگی آب دارد، پیشنهاد شود. در این راستا، پیش‌بینی میزان تبادلات هایپریک جریان، نیازمند مدل نمودن منطقه مورد بررسی می‌باشد. لذا به‌این منظور کل منطقه مورد بررسی در قالب یک سیستم تعریف می‌شود. بنابراین، با توجه به اهمیت منطقه هایپریک در تبادلات آب سطحی و زیرسطحی و به منظور اندازه‌گیری میزان تبادلات به روش میدانی، نسبت به اندازه‌گیری میزان تبادلات در لایه زیر بستر با استفاده از نفوذپذیری رسوبات بستر و نرم افزار کامسول اقدام شد.

مواد و روش‌ها

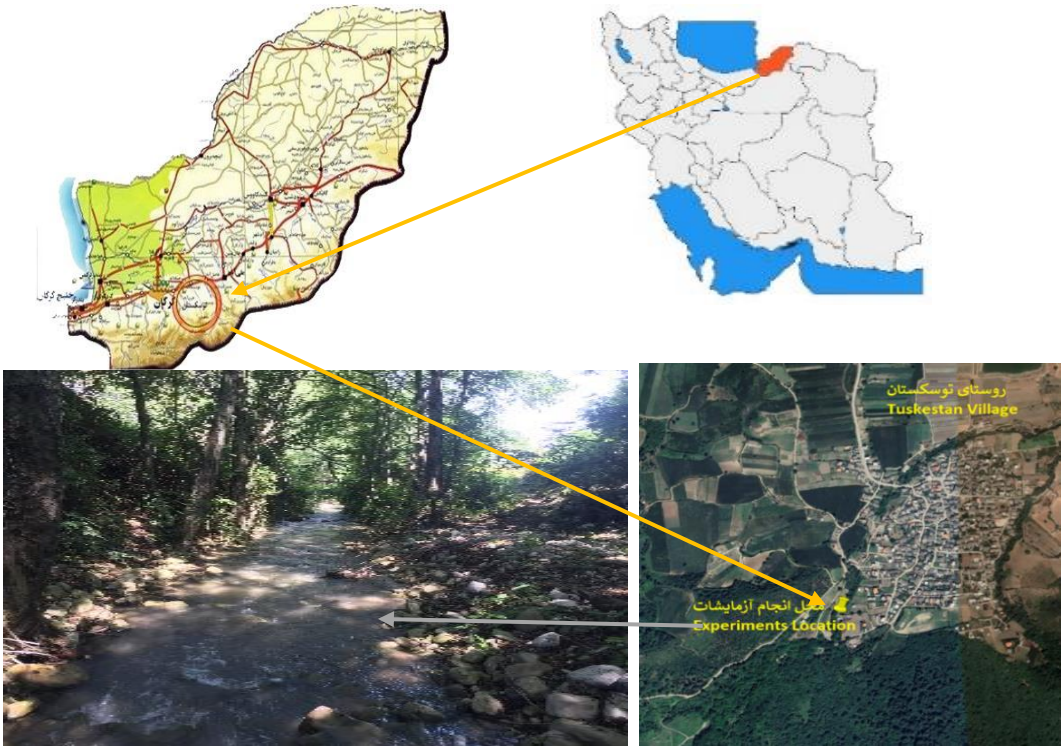
موقعیت منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در رودخانه گرمابدشت گرگان انجام گرفت. این رودخانه از دامنه‌های کوه بلند یزدکی در نقطه‌ای به‌فاصله ۲۷ کیلومتری جنوب شرقی گرگان سرچشمه می‌گیرد و در جهت شمال جاری می‌شود. از میان ارتفاعات بلند و به‌هم‌پیچیده می‌گذرد و وارد دشتهای شرقی گرگان می‌شود. رودخانه گرمابدشت در شمال شرقی شهرگرگان، با زه‌آب‌های دیگری برخورد کرده و رودخانه قره‌سو را تشکیل می‌دهد (شکل۱).

شبیه‌سازی جریان رودخانه: در مدل کردن رژیم جریان از متداولترین نرم‌افزار شبیه‌ساز جریان دوبعدی که HEC-RAS می‌باشد، استفاده شد. با توجه به تغییرات جریان رودخانه (رودخانه گرمابدشت) و داده‌های آماری ایستگاه لیمنوگراف (ایستگاه لیمینوگراف در فاصله ۴۰۰ متری محل آزمایش قرار داشت)، طی بازه زمانی مورد بررسی(۴۸ ساعت)، رودخانه نوسانات ناچیزی نشان داده است، لذا جریان به‌صورت ماندگار در نرم‌افزار درنظر گرفته شد.

پارامتر مهم دیگر برای شبیه‌سازی جریان هایپریک، دبی جریان در رودخانه می‌باشد. برای این منظور، میزان سرعت، عمق جریان و دبی جریان در محل، با استفاده از میکرو مولینه (مدل ۱۶۵۱۶۰ شرکت OTT آلمان) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. براساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته شده توسط مولینه، مقدار دبی جریان در تابستان ۱۳۰ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است (شکل۲).

روش انجام مطالعه میدانی: به‌منظور انجام آزمایش‌های میدانی، درگام اول نیاز به ساخت وسایل مورد نیاز تحقیق از قبیل مینی پیزومتر و مانومتر می‌باشد. برای شبیه‌سازی اثر تنه‌های درختان افتاده در مسیر جریان، نسبت به تهیه لوله پلی‌اتیلن (بدلیل عدم همکاری اداره منابع طبیعی استان گلستان با درخواست محقق در خصوص در اختیار گذاشتن تنه درختان افتاده در مسیر جریان آب) با قطر ۳۰ سانتیمتر و طول ۶ متر اقدام شد.

1 Ripple-pool
2 Creek-Craig



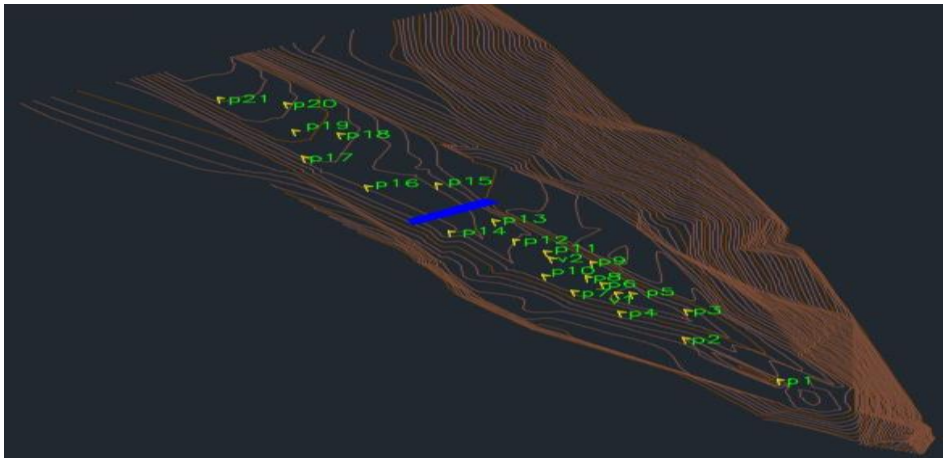
شکل ۱- موقعیت مکانی انجام آزمایش

شکل ۲- اندازه گیری جریان با استفاده از میکرو مولینه

بعد از ساخت وسایل آزمایش، نیاز هست تا در این مرحله قبل از شروع آزمایش، نسبت به اندازه‌گیری دبی رودخانه اقدام شود. در این تحقیق برای اندازه‌گیری دبی رودخانه از میکرومولینه استفاده شد. با اندازه‌گیری سرعت جریان و دبی رودخانه، قبل از اینکه نسبت به شناسایی لایه زیر بستر اقدام شود، نیاز به انحراف مسیر جریان آب می‌باشد. برای این منظور، با استفاده از لوله‌های تهیه شده با قطر ۳۰ سانتی‌متر، نسبت به انحراف آب اقدام شد. با انحراف جریان آب و خشک شدن بخشی از بستر رودخانه، نسبت به نمونه‌برداری از بستر تا عمق ۷۰ سانتی‌متر اقدام گردید (شکل-۳). در گام بعدی، جهت نصب مینی‌پیزومتر، ابتدا با استفاده از لوله، چکش و یک میله فولادی نسبت به ضربه زدن میله فولادی اقدام شد. بدین ترتیب تعداد ۲۱ عدد مینی پیزومتر در عمق ۵۰ سانتیمتر از بستر رودخانه نصب گردید (شکل-۴).

با توجه به ماهیت پژوهش و به‌منظور شناخت دقیق‌تر از میزان نفوذپذیری لایه زیر بستر جهت استفاده در مدل شبیه‌سازی، نسبت به اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی رسوب‌های بستر اقدام شد. با توجه به اینکه نصب مینی پیزومتر سبب گرفتگی شبکه مشبک پیرامون لوله مینی‌پیزومتر می‌شود لذا در این مرحله نسبت به توسعه مینی پیزومتر اقدام گردید، برای این منظور عملیات پمپاژ آب به داخل مینی پیزومتر و سپس تخلیه مجدد آب از مینی پیزومتر به بیرون انجام شد. به‌عبارتی هدف از این فرآیند، ایجاد ارتباط هیدرولیکی بین مینی‌پیزومتر با رسوبات اطراف آن می‌باشد.

شکل۳- نمودار دانه‌بندی ذرات بستر و زیربستر از عمق ۰ تا ۷۰ سانتیمتر



شکل ٤- موقعیت نصب مینی پیزومترها

بعد از نصب مینی‌پیزومتر، نوبت به قراردادن اولین شاخه لوله (لوله‌ها در فاصله ۴۰ متری از ابتدای بازه مورد بررسی) در مسیر مقطع رودخانه می‌باشد (طول بازه مورد بررسی در این تحقیق ۷۰ متر می‌باشد). برای این منظور از لوله‌های ۶ متری با قطر ۳۰ سانتیمتری که نقش تنه درخت را در این پژوهش ایفا می‌کند مورد استفاده قرار گرفت. با نصب اولین شاخه از لوله و بالا آمدن سطح آب در پشت آن، بعد از ۴۸ ساعت نسبت به اندازه‌گیری اختلاف هد هیدرولیکی بین آب جاری و سطح آب در مینی‌پیزومتر با استفاده از مانومتر ساخته شده اندازه‌گیری گردید. در این مرحله با اندازه‌گیری سری اول آزمایش، دو شاخه لوله در کف و یک شاخه روی آن قرار داده شد، این روند را برای حالت سوم، سه لوله در کف، دو عدد روی قبلی و یک شاخه روی دو شاخه‌ی قبلی ادامه داده شد و در هر مرحله اختلاف هد هیدرولیکی در مانومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (شکل۵) .

بر حسب اینکه اندازه‌گیری سرعت جریان آب در خاک در زیر سطح ایستابی یا در بالای سطح ایستابی صورت گیرد، روش‌های تعین هدایت هیدرولیکی نیز متفاوت خواهد بود. برای اندازه‌گیری در شرایط زیر سطح ایستابی، دو روش بیش از سایر روش‌ها، متداول و معمول است، یکی به روش چاهک اندازه‌گیری و دیگری روش پیزومتری معروف است. در این تحقیق با استفاده از روش پیزومتری، مقدار هدایت هیدرولیکی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در گام بعدی، بعد از اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی رسوب‌های بستر و تهیه‌ی خروجی مدل HEC-RAS (شکل-۶) شامل هد کل جریان سطحی، ارتفاع سطح آب و ... نسبت به ورود داده‌ها در شبیه‌ساز جریان آب زیرزمینی که در این تحقیق، نرم افزار کامسول می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت.

شبیه‌سازی جریان با استفاده از کامسول: اساس کار مدل عددی کامسول، بر مبنای رابطه براینکینگ-دارسی[1] می‌باشد که در رابطه (۱) نشان داده شده است.

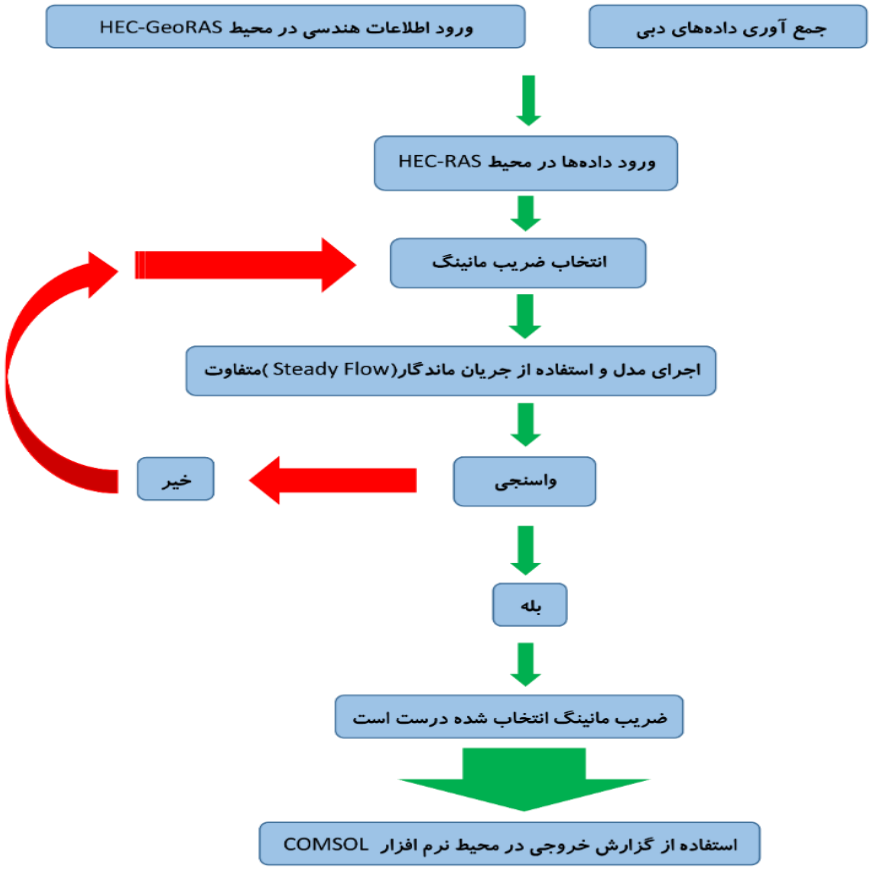
$$\rho\left(\frac{1}{\varepsilon}\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{1}{\varepsilon^2}(u.\nabla u)\right)+\nabla p-\mu_e\nabla^2 u+\frac{\mu}{k}u=0) \qquad (۱)$$

که در آن ρ = دانسیته سیال ،u = سرعت جریان،t= زمان،p =

1 Brainking-Darcy

فشار،μ = ویسکوزیته دینامیکی،μ_e= ویسکوزیته موثر یـا ویسـکوزیته سینماتیکی،k = نفوذپذیری موثر،ε = ضریب تخلخل بـراینکین،u، $= \frac{\mu}{k}$ ترم دارسی می باشد.

شکل ۵- مجموعه تصاویر مربوط به آزمایش‌های میدانی



شکل ٦- مراحل شبیه‌سازی جریان سطحی با استفاده از شبیه‌ساز HEC-RAS

نرم افزار کامسول مولتی‌فیزیکس[1] یک مجموعه مدل‌سازی برای شبیه‌سازی فرآیندهای فیزیکی است که می‌تواند معادلات دیفرانسـیل جزئیPDE را توصیف کند. در نرم‌افزار کامسول، ماژول‌های مختلفـی در اختیار کاربر قرار داده شده است که مـاژول مـورد اسـتفاده در ایـن تحقیق، ماژول جریان زیرسطحی می‌باشد. ماژول جریـان زیرسـطحی برای مهندسین و دانشمندانی که می‌خواهند جریـان سـیال را در زیـر

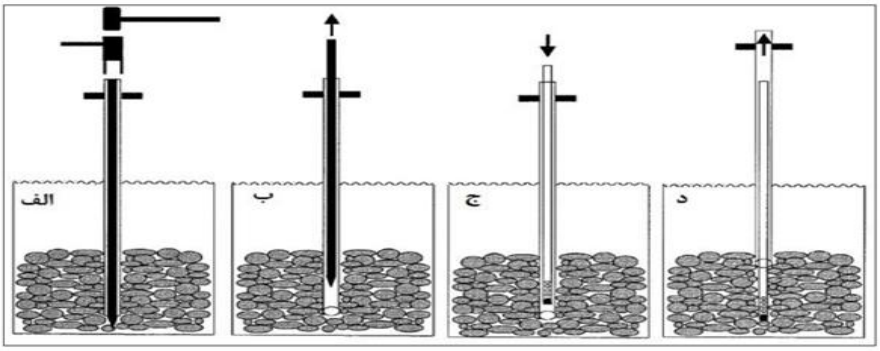
1 COMSOL Multiphysics

زمین یا سایر محیط‌های متخلخل شبیه‌سازی کنند مورد استفاده قرار می‌گیرد. مراحل شبیه‌سازی جریان در محیط کامسول در شکل۷ نشان داده شده است.

شکل ۷- مراحل شبیه سازی جریان زیرزمینی در ناحیه هایپریک با استفاده از شبیه ساز کامسول

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی عمودی: هدایت هیدرولیکی، یکی از مهمترین مشخصه‌های هیدرودینامیک خاک است که در محاسبه جریانات زیرسطحی مورد نیاز می‌باشد. روشهای متعددی برای اندازه‌گیری صحرایی هدایت هیدرولیکی در محیط اشباع وجود دارد که اساس کلیه آن‌ها بر اندازه‌گیری سرعت جریان افقی آب در خاک استوار است. بر حسب اینکه اندازه‌گیری سرعت جریان آب در خاک در زیر سطح ایستابی یا در بالای سطح ایستابی صورت گیرد، روش‌های تعیین هدایت هیدرولیکی نیز متفاوت خواهد بود. برای اندازه‌گیری در شرایط زیر سطح ایستابی، دو روش بیش از سایر روش‌های متداول و معمول است، یکی به روش چاهک اندازه‌گیری و دیگری به روش پیزومتری معروف است.

در این تحقیق با استفاده از روش پیزومتری و اضافه نمودن اجزایی به مینی‌پیزومتر نسبت به اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی رسوب لایه زیر بستر اقدام شد. مینی پیزومترها را می‌توان با مواد متنوعی شامل فولاد، لوله‌های انعطاف پذیر، شلنگ و لوله پلی اتیلن ساخت. انتخاب هریک از مواد فوق بستگی به اهداف طرح، بودجه و امکانات موجود دارد. مینی پیزومتر استفاده شده در این تحقیق از جنس پلی‌اتیلن با طول ۲ متر و قطر ۲۴ میلی‌متر می‌باشد که در عمق ۵۰ سانتی‌متری از بستر رودخانه نصب شده‌است. مراحل نصب مینی پیزومتر در(شکل-۸) ارائه شده است.



شکل ۸- مراحل نصب مینی‌پیزومتر

شکل ۹- مخزن به همراه مینی‌پیزومتر جهت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی رسوب

نتایج اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی رسوب بستر:

هدایت هیدرولیکی رسوبات کف بستر را می‌توان با استفاده از روش آزمون اسلاگ[1] محاسبه کرد. دو روش معمول در این محاسبه عبارتند از: روش هورسلو[2] و روش باور و رایس[3] که اساس و مبنای آن‌ها، جمع‌آوری داده‌های صحرایی می‌باشد. روش مورد استفاده در این پژوهش، روش هورسلو می‌باشد (شکل-۹). اساس این روش بر مبنای اختلاف ارتفاع سطح آب بین مخزن و لایه‌ی زیربستر می‌باشد. با ورود آب به رسوبات، سطح آب پایین می‌آید و اختلاف ارتفاع کم می‌شود. با جمع‌آوری اندازه‌گیری‌های صورت گرفته، میزان اختلاف ارتفاع سطح آب در هر نقطه نسبت به زمان ثبت و این روند تا تخلیه کامل مخزن ادامه می‌یابد. مطابق بررسی‌های صورت گرفته مقدار هدایت هیدرولیکی رسوبات بستر ۰/۰۳۳۴ سانتی‌متر بر ثانیه محاسبه گردید.

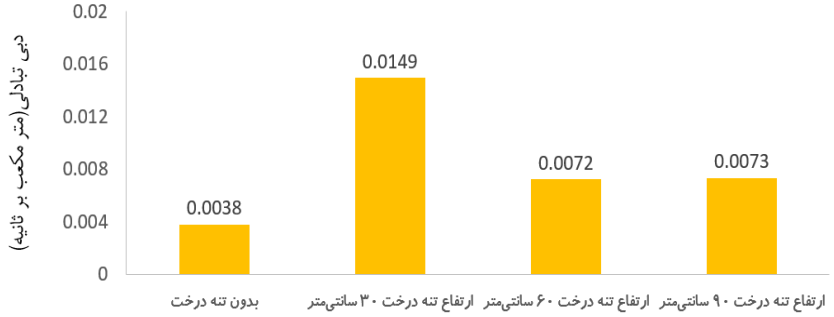
فرضیات بکارگرفته شده در این تحقیق و براساس تحقیقات صورت گرفته توسط محققان دیگر بر مبنای: ۱- هد هیدرولیکی به‌عنوان شرایط مرزی بالای سیستم برای شبیه‌سازی جریان سطحی و زیرسطحی در نظرگرفته شده است.۲- برای بالادست تنه‌های درخت (در این تحقیق لوله با قطر ۳۰ سانتی‌متر) جایی‌که عمق جریان به عمق بحرانی افزایش یافت به‌عنوان شرایط مرزی بالادست و جایی‌که عمق جریان در پایین‌دست به عمق نرمال جریان افزایش یافت به‌عنوان شرایط مرزی پایین‌دست در نظر گرفته شده است. ۳- جریان بصورت ماندگار در مدل HEC-RAS در نظر گرفته شده است. ۴- روندیابی از روی تنه درخت که مثل یک سرریز می‌باشد و ارتباط مشخصی بین دبی و ارتفاع جریان وجود دارد تا عمق بحرانی در بالادست صورت می‌گیرد. ۵- شرایط مرزی پایین دست، درست در پایین دست تنه درخت، جائی‌که که عمق جریان به عمق نرمال تبدیل می‌شود ادامه دارد.۶- برای شبیه‌سازی جریان زیرزمینی، هد هیدرولیکی در طول بستر جریان به عنوان شرایط مرزی بالای سیستم در نظر گرفته شده است. در این قسمت فرض بر این است که جریانی از بستر به داخل بستر جریان وارد نمی‌شود و نفوذ آب از لایه زیر بستر به داخل جریان نادیده گرفته شده است. همچنین در سیستم، فرض بر این است که جریانی از طرفین ساحل چپ و راست وارد سیستم تعریف شده نمی‌شود و جریانی از بین تنه‌های درخت صورت نمی‌گیرد.

نتایج و بحث

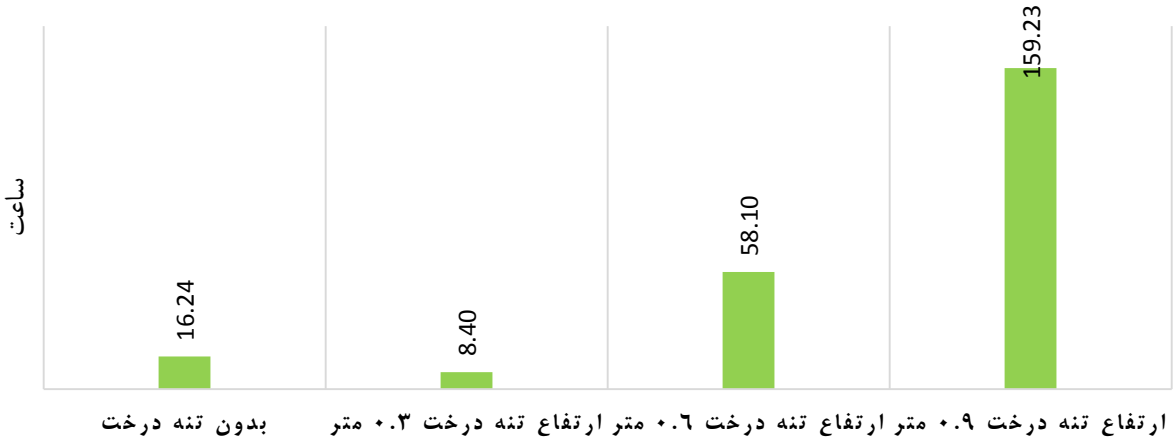
یکی از عوامل ایجاد تبادل هایپریک، وجود گرادیان فشار در مرز جریان سطحی و محیط متخلخل است. گرادیان فشار در اثر عوامل مختلفی مانند: موانع موجود در سر راه جریان و یا فرم‌های بستر شکل می‌گیرد که بسته به بزرگی این عوامل، بر روی مقدار تبادل و عمق گستردگی تبادل‌های هایپریک تأثیر خواهد گذاشت (Elliott & Brooks ,1997). عامل بعدی در ایجاد تبادل هایپریک مربوط به تغییرات سطح مقطع در محیط متخلخل است. کاهش سطح مقطع محیط متخلخل، ظرفیت نگهداشت محیط را کاهش داده و باعث ایجاد جریان‌های رو به بالا خواهد شد، به عکس افزایش سطح مقطع باعث افزایش ظرفیت نگهداشت شده و جریان رو به پایین را در پی خواهد داشت. آخرین عامل، هدایت هیدرولیکی بستر رسوبی است. در واقع تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی باعث ایجاد جریان هایپریک خواهد شد. کاهش هدایت هیدرولیکی مانع از ورود آسان

1 Slug Test
2 Hvorslev
3 Bouwer & Rice

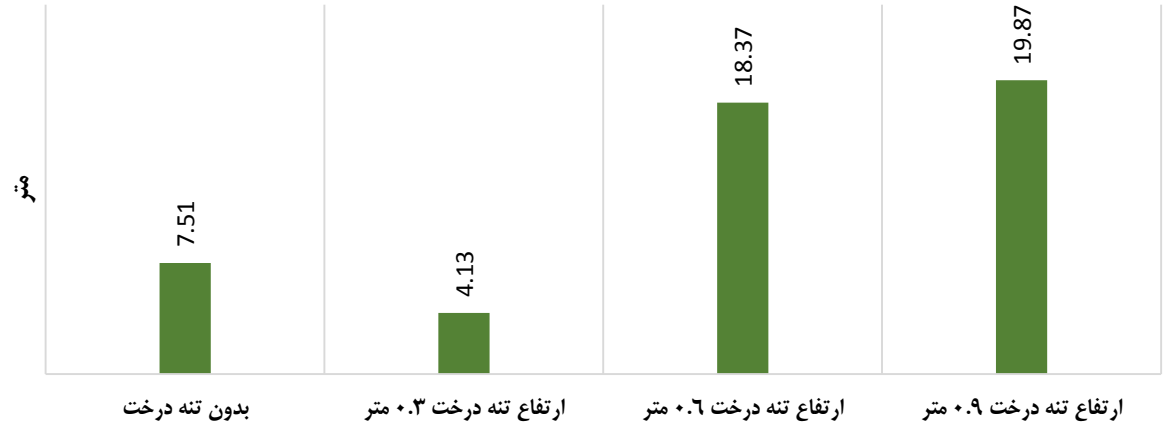
جریان می‌شود و در بستر رسوبی باعث انحراف جریان و ایجاد جریان‌های روبه بالا خواهد شد و به‌عکس افزایش هدایت هیدرولیکی منجر به کشش جریان بیشتر درون بستر رسوبی خواهد شد.



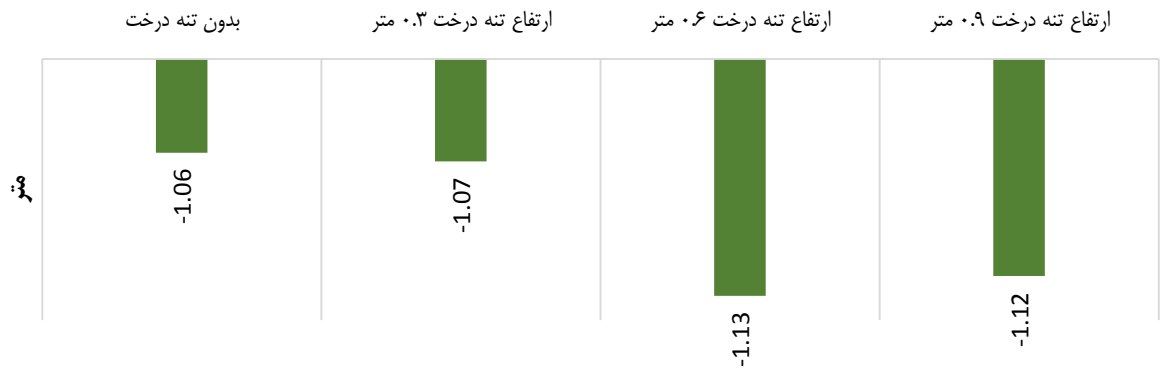
شکل ۱۰. اثر افزایش تنه‌های درخت افتاده در مسیر جریان بر میزان دبی تبادلی



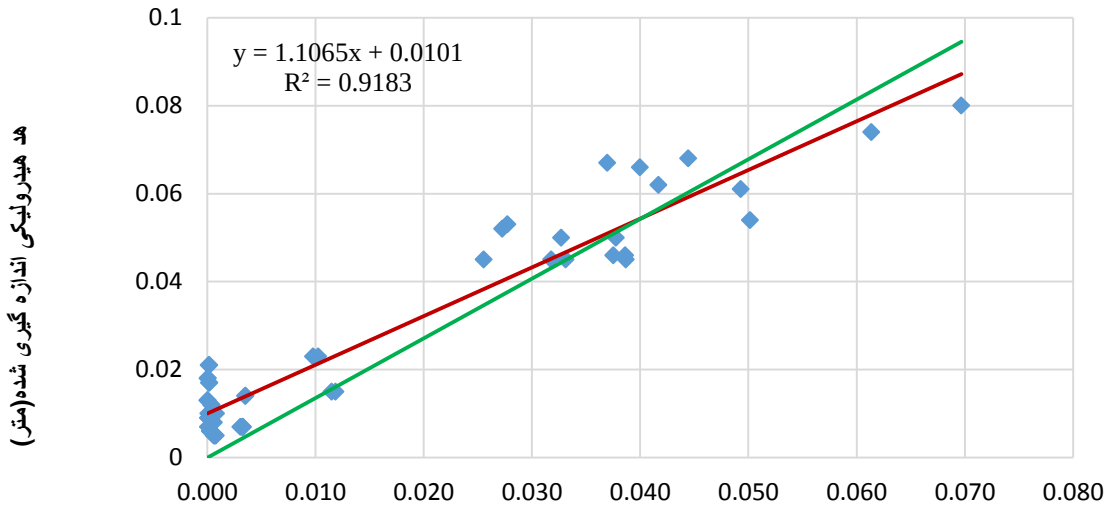
شکل ۱۱- زمان ماندگاری خطوط جریان هایپریک برای ارتفاع های مختلف تنه درخت



شکل۱۲ - میانه طول خطوط جریان جریان هایپریک برای ارتفاع های مختلف تنه درخت



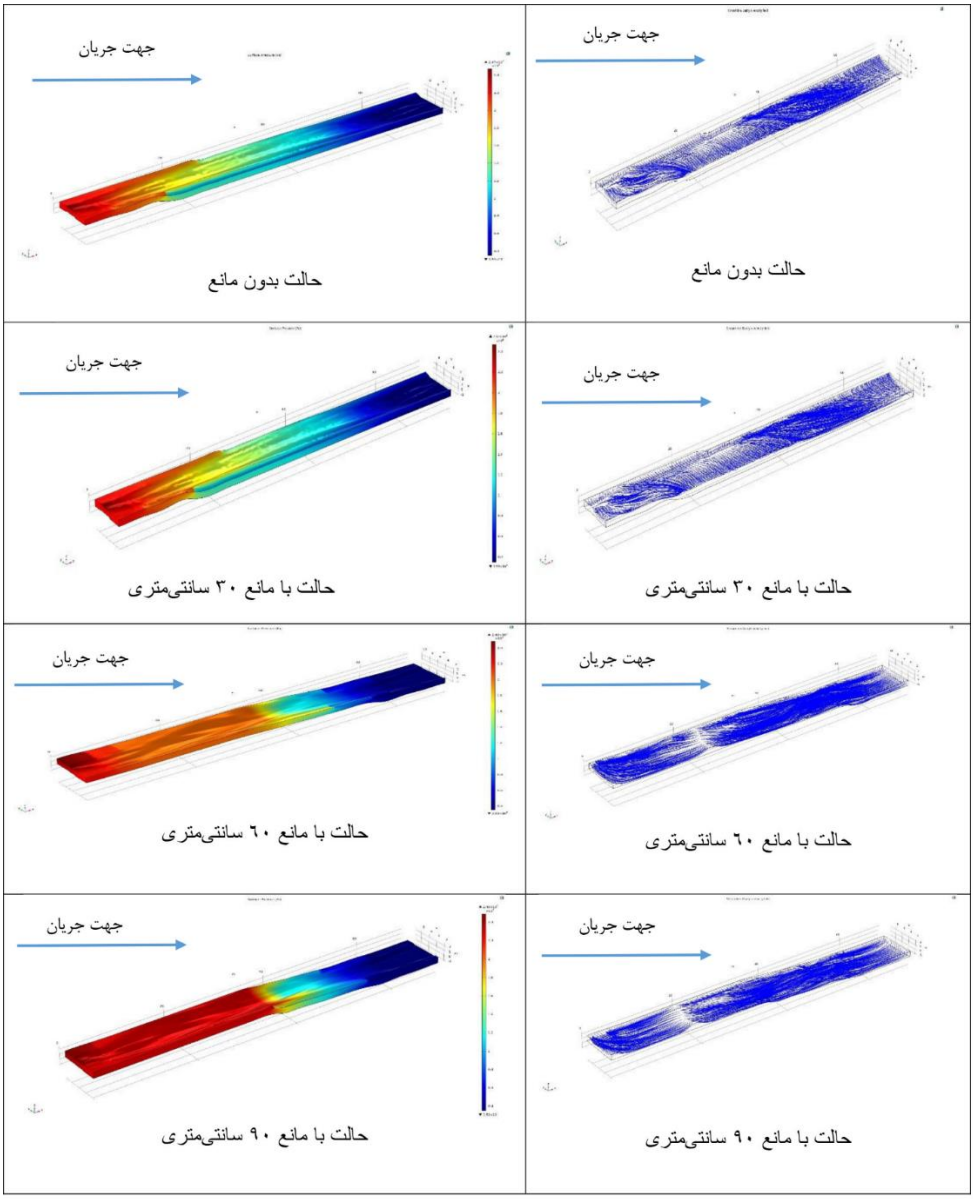
شکل۱۳- بیشترین نفوذ خطوط جریان جریان هایپریک برای ارتفاع های مختلف تنه درخت



شکل ١٤- مقایسه مقدار هد هیدرولیکی اندازه‌گیری شده با مقدار هد هیدرولیکی محاسبه شد

مهمترین ویژگی جریان‌های هایپریک، شامل: دبی تبادلی، زمان ماندگاری و عمق یا عرض نفوذ است. نتایج شبیه سازی و محاسبات دبی تبادلی نشان می‌دهد، برای ارتفاع ۳۰ سانتیمتری تنه درخت، بیشترین مقدار دبی تبادلی مشاهده شده است (شکل-۱۰). دلیل این مساله می‌تواند به دلیل وجود تعدد هسته‌های هایپریک بیشتر نسبت به دو ارتفاع بیشتر و طول کمتر خطوط جریان است(شکل -۱۲). زیرا با افزایش ارتفاع تنه درخت، نفوذ خطوط جریان عمیق‌تر شده (شکل-۱۳) و در نتیجه طول خطوط جریان افزایش داشته و بنابراین افت هیدرولیکی آن بیشتر شده و لذا سرعت خروج جریان از بستر کم خواهد شد و در نهایت دبی خروجی از بستر کاهش می‌یابد. بنابراین در ارتفاع ۳۰ سانتی متری تنه درخت، بیشترین مقدار تبادلات هایپریک اتفاق می‌افتد. دلیل دیگر این است که در حالت بدون مانع، جریان تمایل دارد در مسیر رودخانه بیشتر به‌صورت سطحی طی شود. اما با ایجاد مانع کوتاه‌تر (۳۰ سانتی‌متری) در مسیر جریان، ناگهان حالت انسداد رخ داده و جریان بیشتری به منطقه هایپریک نفوذ می‌کند. در صورتیکه در حالت موانع بلندتر (۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری)

جریان به اطراف منحرف شده و در نتیجه میزان دبی تبادلی کمتری نسبت به حالت مانع کوتاه (۳۰ سانتی‌متری) دارد. چنین پدیده‌ای نیاز به تحقیقات بیشتری جهت پیداکردن آستانه رفتار دوگانه وجود دارد و بهتر است در تحقیقات آتی بصورت دوبعدی جریان در حالت مسیر جریان و بصورت عمود بر جریان مورد بررسی قرار گیرد.

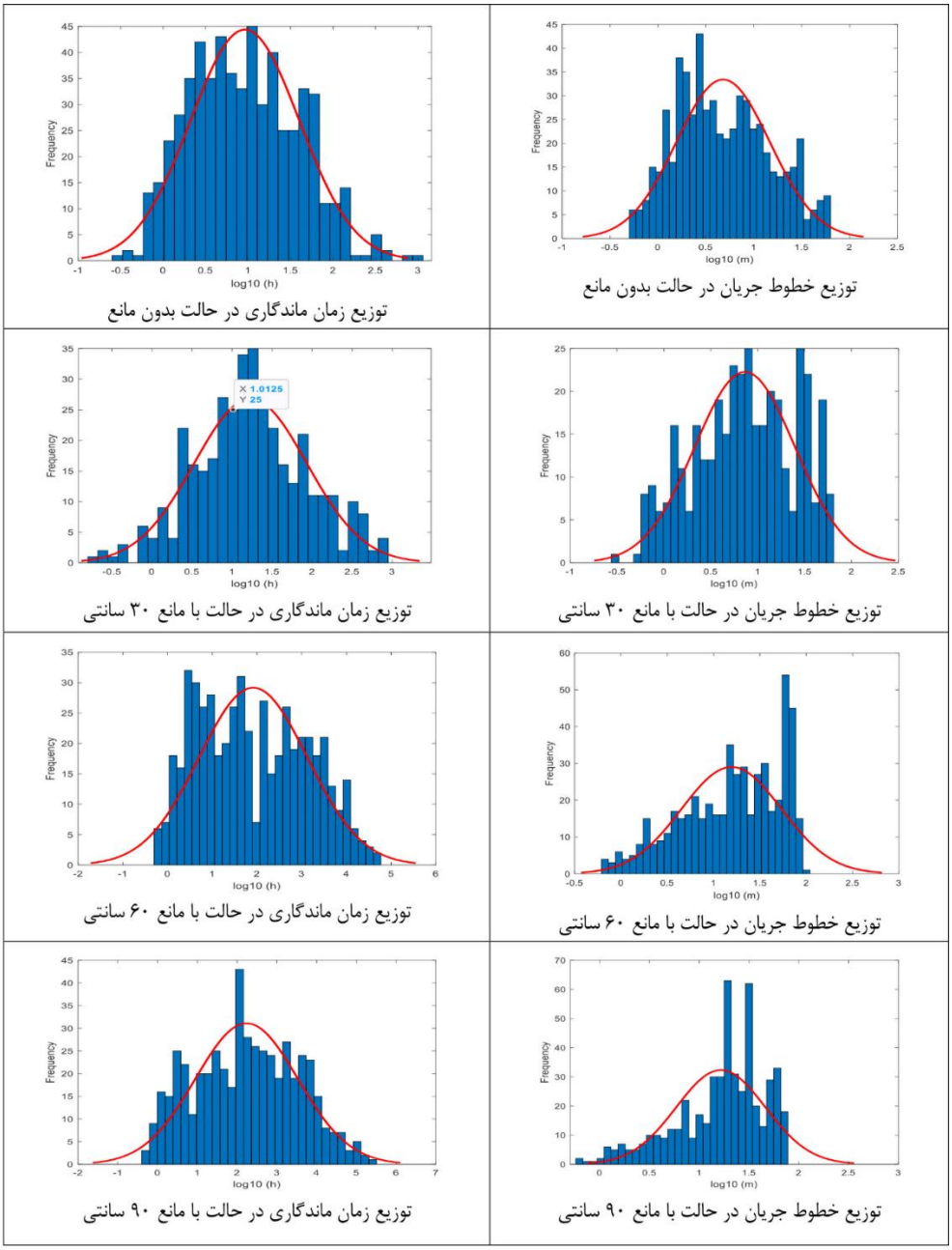


شکل ۱۵- نمونه شبیه سازی توزیع فشار در شبیه‌ساز کامسول، شکل سمت چپ توزیع فشار (واحد- پاسکال)، شکل سمت راست، خطوط جریان **- در تمام شکل‌ها، تنه درختان در فاصله ۴۰ متری از ابتدای بازه مورد بررسی (۷۰ متر طول بازه) نصب شده‌اند.

خطوط جریان: توجه به نقاط شروع و خروج جریان نشان می‌دهد که خطوط جریان از نقاط پر فشار شروع شده و در نقاط کم فشار خاتمه یافته‌اند، در واقع جریان از منطقه پرفشار وارد محیط متخلخل بستر شده و در نقاط کم فشار از آن خارج می‌شود. همچنین با توجه به شرایط بستر رودخانه، بدلیل وجود ناهمواری‌های طبیعی کوچکی که در مسیر رودخانه شکل می‌گیرد، جریان در بلندی‌های کوچک بستر دچار کاهش فشار محلی شده(وجود ریپل و دون موجود در بستر طبیعی رودخانه) سبب هدایت جریان به داخل بستر می‌شود (شکل-۱۵).

با استفاده از خروجی خطوط جریان شبیه ساز کامسول، اطلاعات

خطوط جریان از مسیر حرکت و زمان طی شده ذرات در هـر نقطـه از مسیر در اختیار کاربر قرارمی‌گیرد. بررسی توزیع زمانی و طول خطـوط جریان نشان می‌دهد؛ توزیع فراوانی زمان مانـدگاری و طـول خطـوط جریان از الگوی لوگ نرمال پیروی می‌کند، مشاهدات محققـان قبلـی نیز مطابقت الگوی لوگ نرمال بر روی توزیع خطوط جریان را گزارش کرده‌انـد (Cardenas, Wilson et al. 2004, Marzadri, Tonina et al. 2010, Tonina and Buffington 2011, Trauth, Schmidt et al. 2013, Trauth, Schmidt et al. 2015).



شکل ۱۶- نمودار توزیع خطوط جریان(نمودارهای سمت راست) و نمودارهای توزیع زمان ماندگاری (نمودارهای سمت چپ)

با ایجاد مانع در برابر جریان، توزیع لوگ نرمال زمـان مانـدگاری نیز تحت تاثیر قرار گرفته است. در (شکل-۱۶) توزیع فراوانی- زمان ماندگاری، نشان می‌دهدکه ایجاد مانع ۳۰ سانتی‌متری باعث افزایش تعداد خطوط جریان‌های کوتاهتر شده و لذا میانه داده‌هـا بـه سـمت

زمان کمتر متمایل شده است (شکل-۱۱). در نمودار شکل۱۲، میانه طول خطوط جریان نشان از کاهش میانه طول خطوط جریان در ارتفاع ۳۰ سانتیمتری نسبت به حالت بدون درخت است. اما بررسی توزیع زمان ماندگاری خطوط جریان در سه حالت مانع‌دار نشان می‌دهدکه با افزایش مانع، میانه زمان ماندگاری افزایش داشته است زیرا با افزایش ارتفاع مانع، خطوط جریان عمیق‌تر شده (شکل-۱۳)، لذا طول آنها افزایش داشته است، بنابراین زمان ماندگاری نیز افزایش پیدا کرده است. از طرفی دیگر با افزایش طول خطوط جریان، افت هیدرولیکی افزایش می‌یابد و این بدلیل این است که، جریان در خروج از بستر متخلل به دلیل افت زیاد همچنین با فشار و سرعت کمتر مواجع شده و لذا دبی کمتری از سطح مقطع خارج می‌شود. نتایج بررسی دبی تبادلی نیز نشان داده است که با افزایش ارتفاع مانع از ۳۰ به ۶۰ و ۹۰ مقدار دبی تبادلی کاهش یافته است (شکل-۱۰).

با توجه به اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در محل و مقایسه آن با خروجی شبیه‌ساز کامسول، ارتباط بین برداشت‌های میدانی با شبیه‌سازی صورت گرفته توسط شبیه‌ساز کامسول در (شکل-۱۴) نشان داده شده است. در نمودار شکل۱۴ ،از رابطه رگرسیون خطی درجه یک استفاده شده است که ضریب عرض از مبدا آن ۰/۰۱ و شیب آن ۱/۱می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تعیین میزان تبادل آب سطحی و زیرسطحی در چرخه رودخانه، نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند، لذا استفاده از مینی‌پیزومتر ها به‌عنوان ابزار مناسب جهت اندازه‌گیری میزان تبادلات در زیر بستر می‌باشند با توجه به اندازه‌گیری صورت گرفته، مقدار هدایت هیدرولیکی رسوب ۰/۰۳۳۴ سانتی‌متر بر ثانیه محاسبه شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی عمودی رسوبات بستر و مقایسه آن با جداول ارائه‌شده در منابع مختلف علمی براساس مشخصات جنس و دانه‌بندی بستر، نشان از نتایج قابل‌قبول پژوهش دارد. همچنین نتایج نشان داد، بیشترین مقدار دبی تعادلی در حالتی که ارتفاع تنه درخت ۳۰ سانتی‌متر باشد اتفاق می‌افتد.

منابع

شهسواری، ع.ا.، خدایی، ک.، دلخواهی، ب.، هاتفی، ر.، اسدیان، ف. و نجیبی، س.م.ا. ۱۳۹۴. طراحی و ساخت مینی پیزومتر برای اندازه‌گیری میزان تبادل آب سطحی و زیرزمینی. مجله زمین شناسی ایران. ۹(۳۵): ۷۳-۶۱.

Bjornn, T. and Reiser, D. W. 1991. Habitat requirements of salmonids in streams. American Fisheries Society Special Publication. 19(837): 138.

Buss, S., Cai, Z., Cardenas, B., Fleckenstein, J., Hannah, D., Heppell, K. and Wood, P. 2009. The Hyporheic Handbook: a handbook on the groundwater-surface water interface and hyporheic zone for environment managers.

Cardenas, M. B. 2015. Hyporheic zone hydrologic science: A historical account of its emergence and a prospectus. Water Resources Research. 51(5): 3601-3616.

Doughty, M., Sawyer, A. H., Wohl, E. and Singha, K. 2020. Mapping increases in hyporheic exchange from channel-spanning logjams. Journal of Hydrology. 587(1): 124931

Elliott, A. H. and Brooks, N. H. 1997. Transfer of nonsorbing solutes to a streambed with bed forms: Theory. Water Resources Research. 33(1): 123-136.

Hester, E. T. and Doyle, M. W. 2008. Instream geomorphic structures as drivers of hyporheic exchange. Water Resources Research: 44-47

Liu, S. and Chui, T. F. M. 2020. Optimal In-Stream Structure Design through Considering Nitrogen Removal in Hyporheic Zone. Water. 12(5). http://dx.doi.org/10.3390/w12051399.

Marshall, A., Zhang, X., Sawyer, A. H., Wohl, E. and Singha, K. 2023. Logjam Characteristics as Drivers of Transient Storage in Headwater Streams. Water Resources Research. 59(3): e2022WR033139. https://doi.org/10.1029/2022WR033139.

Orghidan, T. 1959. A new Lebensraum of unterirdischen Waters: der hyporheische Biotop. Arch. Hydrobiol. 55(3): 392-414.

Packman, A. I., Salehin, M. and Zaramella, M. 2004. Hyporheic exchange with gravel beds: basic hydrodynamic interactions and bedform-induced advective flows. Journal of Hydraulic Engineering. 130(7): 647-656.

Sawyer, A. H., Bayani Cardenas, M. and Buttles, J. 2011. Hyporheic exchange due to channel-spanning logs. Water Resources Research. 471: 47-53.

Tonina, D. and Buffington, J. M. 2009. Hyporheic exchange in Mountain Rivers I: Mechanics and environmental effects. Geography Compass. 3(3): 1063-1086.

Tonina, D. 2005. Interaction between river morphology and intra-gravel flow paths within the hyporheic zone. (Ph.D Dissertation), University of Idaho, Boise. United States.

Vaux, W. G. 1968, Intragravel flow and interchange of water in a streambed, Fish. Bull. 66(3): 479-489.

Wondzell, S. M., LaNier, J., Haggerty, R., Woodsmith, R. D. and Edwards, R. T. 2009. Changes in

Tonina, D. and Buffington, J. M. 2011. "Effects of stream discharge, alluvial depth and bar amplitude on hyporheic flow in pool-riffle channels." Water resources research 47(8). 1-13.

Trauth, N., C. Schmidt, U. Maier, M. Vieweg and Fleckenstein, J. H. 2013. Coupled 3-D stream flow and hyporheic flow model under varying stream and ambient groundwater flow conditions in a pool-riffle system. 49(9): 5834-5850.

Trauth, N., C. Schmidt, M. Vieweg, S. E. Oswald and Fleckenstein, J. H. 2015. Hydraulic controls of in-stream gravel bar hyporheic exchange and reactions. 51(4): 2243-2263.

hyporheic exchange flow following experimental wood removal in a small, low-gradient stream. Water Resources Research. 451:45-50

Woessner, W. W. 2017. Hyporheic zones. In Methods in Stream Ecology. 81: 129-157.

Cardenas, M. B., J. Wilson. and Zlotnik, V. A. 2004. Impact of heterogeneity, bed forms, and stream curvature on subchannel hyporheic exchange. 40(8).1-13.

Marzadri, A., D. Tonina, A. Bellin, G. Vignoli and Tubino, M. 2010. "Semianalytical analysis of hyporheic flow induced by alternate bars." Water Resources Research 46(7). 1-14.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 18, Apr.-May. 2024, p. 27-41

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۸، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۳، ص. ۴۱-۲۷

Investigating the Impact of Fallen Tree Trunks on the River Flow Path on the Characteristics of the Hyporheic Area using Comsol Software (Case Study of Garmabdasht River, Gorgan)

M. Barzali[1], M. Masoudian[2], R. Fazloula[3], A.A. Dehghani[4]
Recived: Sep.17, 2023 Accepted: Dec.23, 2023

ABSTRACT

In rivers, the combination of surface flow and subsurface flow generates Hyporheic flow in the porous environment beneath and surrounding the river. To quantify exchange rate between surface and subsurface water, it is crucial to estimate hydraulic conductivity between the two sources of water. In this study, hydraulic slope and hydraulic conductivity of river bottom sediments were estimated using a mini-piezometer and manometer. Physical experiments were conducted to investigate the impact of natural obstacles on the river path, specifically tree trunks at varying heights (30-60-90 cm), in the year 2022 and Tuskestan River in Gorgan. Piezometers were placed upstream and downstream of the tree trunks, and the resulting hydraulic head difference was assessed through numerical modeling using COMSOL software to simulate hyporheic flow. The study found a 91% correlation between piezometer observation data and numerical solution results, which facilitated further investigation into computational exchange flows. Based on this, the computational exchange flows from the numerical model were also investigated. The results indicated that the highest amount of equilibrium flow occurs in the case where the height of the tree trunk is 30 cm (the exchange flow is 3.96 times without the tree trunk).

Keywords: Comsol, Hyporheic flow, Surface and Subsurface Exchanges

1- Ph.D. student of hydraulic structures, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University and expert in irrigation and drainage networks of Golestan Regional Water Company, Iran
2- Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Gorgan, Iran
(*- Corresponding Author Email: masoudian@sanru.ac.ir)