

مطالعه اثر جریان رودخانه بر آبرگیری زیرسطحی بدون دیوار آب‌بند انتهایی از بستر رودخانه‌های آبرفتی

رضا رستمی جونقانی^{۱*}، علی نقی ضیائی^۲، کاظم اسماعیلی^۳، حسین انصاری^۴ و سعید رضا خدانشناس^۵

چکیده

کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ارائه شیوه‌های تأمین آب از منابع در دسترس که تاکنون کمتر بدان توجه شده است را مهم‌تر کرده است. بهره‌برداری از جریان‌های زیرسطحی رودخانه‌ها با استفاده از سدهای زیرزمینی و آبرگیری زیرسطحی از جمله مواردی است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. نمونه‌هایی از آن در عمل مورد استفاده قرار گرفته است، ولی عملکرد این نوع آبرگیری در آبدی‌های مختلف رودخانه و محیط‌های متخلخل متفاوت ارزیابی نشده است. از این‌رو برای بررسی این عوامل بر میزان جریان انحرافی از بستر رودخانه، یک مدل آزمایشگاهی ساخته شده و آزمایش‌های لازم انجام شد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش دبی ورودی میزان جریان انحرافی از محیط متخلخل در ابتدا افزایش و به تدریج به یک مقدار ثابتی می‌رسد. اندازه ذرات محیط متخلخل بر میزان جریان انحرافی تأثیر زیادی داشته به طوری که با افزایش اندازه ذرات، جریان انحرافی روند افزایشی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد بدون حضور دیوار آب‌بند راندمان آبرگیری ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. همچنین با استفاده از نتایج آنالیز ابعادی و آزمایشگاهی رابطه‌ای برای تعیین میزان جریان انحرافی ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: آبرگیری زیرسطحی، سیستم زهکشی، محیط متخلخل.

ارجاع: رستمی جونقانی ر.، ضیائی ع. ن.، اسماعیلی ک.، انصاری ح. و خدانشناس س. ر. ۱۳۹۳. مطالعه اثر جریان رودخانه بر آبرگیری زیرسطحی بدون دیوار آب‌بند انتهایی از بستر رودخانه‌های آبرفتی. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۴): ۸۷-۹۶.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۵- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

* نویسنده مسئول: rrostami1363@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۴

مقدمه

رودخانه‌ها به دلیل تأثیر زیاد که بر زندگی بشر و شکل‌گیری تمدن‌های مختلف داشته‌اند، همواره انسان را به بهره‌مندی از جنبه‌های مختلف نعمت آب فراخوانده‌اند. به تأیید تاریخ تأمین آب مهم‌ترین نقش اقتصادی رودخانه است. آبیگری از رودخانه‌ها به طور معمول به روش پمپاژ و ثقلی و با هدف‌های گوناگون پخش سیلاب، آبیاری، آب‌رسانی شهری یا تولید برق آبی انجام می‌شود. روش آبیگری بستگی به هدف طرح، شرایط رودخانه و مقدار آب مورد نیاز دارد (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۸۸). به طور کلی برای دفع رسوبات در مواجهه با آبیگرها دو روش استفاده می‌شود. این روش‌ها تحت عنوان روش‌های پیشگیرانه و درمانی آورده می‌شوند. در روش پیشگیرانه که در صورت اجرای صحیح راندمان بالاتری دارند، هدف حذف رسوبات قبل از رسیدن و وارد شدن به دهانه آبیگر است. از جمله مهم‌ترین روش‌های پیشگیرانه می‌توان به جانمایی و تعیین موقعیت مناسب آبیگر مثل احداث آبیگر در قوس خارجی رودخانه اشاره کرد. با تمام راه‌حل‌های اندیشیده شده برای مبارزه با رسوبات قبل از دهانه آبیگر باز هم رسوبات وارد دهانه آبیگر خواهند شد. در روش‌های درمانی هدف خارج کردن و حذف این رسوبات از دهانه آبیگر به بعد است (اروید و رادکیوی، ۱۹۹۵).

در بیشتر رودخانه‌های شیب‌دار رسوب به طور عمده به‌صورت بار بستر حمل شده و رسوبات معلق بخش کوچکی را شامل می‌شوند. در چنین رودخانه‌هایی استفاده از آبیگرهای دریچه‌ای به‌دلیل وجود بار رسوبات درشت‌دانه به خصوص در هنگام سیلاب توصیه نمی‌شود و آبیگری توسط آبیگرهایی با جداکننده تحتانی^۱ سفارش می‌شود. این نوع آبیگر از قدیمی‌ترین انواع آبیگرهای بستری بوده و شامل سه جزء اصلی کف مشبک، مجرای زیرین، و حوضچه ته‌نشینی است. در منطقه‌های دور افتاده بهره‌برداری از حوضچه ته‌نشینی مشکل است و هزینه زیادی دارد که در منطقه‌های کوهستانی و برای طرح‌های کم اهمیت غیرقابل توجیه است. پس جایگزینی کف مشبک با یک محیط متخلخل درشت دانه در بستر رودخانه به جای آن توصیه شده است (رضوان، ۱۹۸۹ و ولی سامانی و همکاران، ۱۳۸۶).

اگرچه ضریب گذردهی آبیگر کفی با محیط متخلخل در حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد ضریب گذردهی آبیگر کفی با کف مشبک است اما کارایی سیستم در بلندمدت از مزایای این سیستم به شمار می‌رود که می‌تواند چنین نقصی را جبران کند (نقوی و همکاران، ۱۳۸۸). با وجود این گرفتگی بسترهای نفوذپذیر با ذرات خارجی می‌تواند ظرفیت زهکشی و ذخیره آن‌ها را خیلی کاهش داده و نفوذ رواناب سطحی را به داخل بستر یا لایه نفوذپذیر با مشکل روبرو می‌کند (فیلد و همکاران، ۱۹۸۲ و بلاجسکی و سادزید، ۱۹۹۷). طبق مطالعات لپس (۱۹۷۳) کوچک‌تر شدن اندازه سنگ‌دانه‌ها در یک محیط متخلخل باعث افزایش مقاومت در برابر جریان و افزایش مقاومت اصطکاکی، کاهش سرعت سیال و بالا رفتن پروفیل سطح آب در محیط سنگ‌دانه می‌شود.

منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک دارای بارش‌های پراکنده و کم بوده در نتیجه آن رودخانه‌های این نواحی دارای جریان‌های فصلی بوده و در فصل‌های گرم بدون جریان‌های سطحی هستند. احداث سدهای زیرزمینی یکی از روش‌های ذخیره و بهره‌برداری جریان‌های زیرسطحی و زیرزمینی در بستر رودخانه‌ها است. لازم به ذکر است که این سدها موجب جدا شدن جریان بالادست و پایین‌دست رودخانه شده و می‌تواند باعث مشکلات زیست‌محیطی در پایین‌دست رودخانه شود. سازه آبیگر کفی با محیط متخلخل نیز نمی‌تواند به‌عنوان روشی مؤثر در آبیگری از جریان زیرسطحی رودخانه استفاده شود. از این‌رو استفاده از یک نوع آبیگری به نام آبیگری زیرسطحی پیشنهاد شده و نمونه‌هایی از آن‌ها نیز در استان خراسان رضوی برای آبیگری از رودخانه‌های فصلی و یا با دبی پایه کم اجرا شده است. این سیستم شامل یک سری لوله‌های زهکش و جمع‌کننده با قطر معین است که به طور کامل در زیر بستر رودخانه قرار می‌گیرد. اطراف لوله‌های زهکش با محیط متخلخل مناسب که دارای نفوذپذیری بالایی است، پوشیده می‌شود. برای جلوگیری از کم شدن ضریب نفوذپذیری محیط زهکش و افزایش عمر سازه، پتوی فیلتر را که به طور معمول مصالح ریز دانه هستند اطراف محیط زهکش اجرا می‌کنند تا از ورود رسوبات ریزدانه جلوگیری کند. آب جمع‌آوری شده با کلکتور در ابتدا وارد حوضچه ورودی که در ابتدای حوضچه جمع‌کننده است، می‌شود و در صورت همراه داشتن رسوب، رسوب‌های آن در این

1- Bottom trash rack

حوضچه ته‌نشین می‌شود. جریان پس از ته‌نشینی رسوبات وارد حوضچه خروجی و سپس وارد خط انتقال می‌شود. از مزایای عمده که این سیستم آبیگری نسبت به روش‌های دیگر دارد می‌توان به کارایی بالا برای آبیگری مختلف که بسیار مناسب برای پتانسیل آبی کم رودخانه‌های فصلی است؛ عدم نیاز به اپراتور و نگهداری در دوره بهره‌برداری؛ عدم آسیب‌پذیری در اثر سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف به دلیل اینکه سازه آبیگر در زیر بستر رودخانه قرار دارد؛ سهولت و سرعت و هزینه پایین احداث و نگهداری اشاره کرد. از عیب‌های این سازه می‌توان عدم کنترل و مهار سیلاب‌ها، رسوب‌گذاری در لوله‌ها با افزایش عمرسازه را بیان کرد (آبیگر سازه توس، ۱۳۸۸).

طراحی و احداث سازه‌های مذکور براساس مستندات علمی و آزمایشگاهی مشخصی بنا نشده و عملکرد سازه نیز در شرایط مختلف آبی رودخانه بررسی نشده است. پس در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی کارایی سازه آبیگر زیرسطحی و شناسایی پارامترهای مؤثر برای بهبود عملکرد این نوع آبیگر به‌خصوص تأثیر مقدار دبی زیرسطحی رودخانه و آبیگری محیط متخلخل پرداخته می‌شود. ارائه رابطه‌ای برای برآورد دبی انحرافی از آبیگر زیرسطحی از هدف‌های مورد نظر است. بدین منظور نخست پارامترهای هیدرولیکی مؤثر در این پدیده معرفی شده و سپس با به کارگیری آنالیز ابعادی گروه‌های بدون بعد مؤثر تعیین و با نرم‌افزار Data fit یک رابطه غیرخطی برای تخمین میزان دبی انحرافی به دست می‌آید.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها، مدلی از سازه آبیگر زیرسطحی از ورق گالوانیزه به ضخامت ۲ میلی‌متر و به ابعاد $2 \times 1 \times 1$ (ارتفاع $\times$ عرض $\times$ طول) در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد ساخته شد. برای ایجاد جریان زیرسطحی از دو طرف مدل به اندازه ۲۵ سانتی‌متر جدا کرده و با ورق گالوانیزه مشبک با قطر روزنه‌های ۲ میلی‌متر دیواره جدیدی ایجاد شد که جریان از این صفحه به راحتی عبور کند. با توجه به اینکه باید بین این دو صفحه مشبک با محیط متخلخل پر شود و جریان از بالادست وارد محیط شود برای جلوگیری از شسته شدن ذرات محیط متخلخل از یک گونی نخی سه

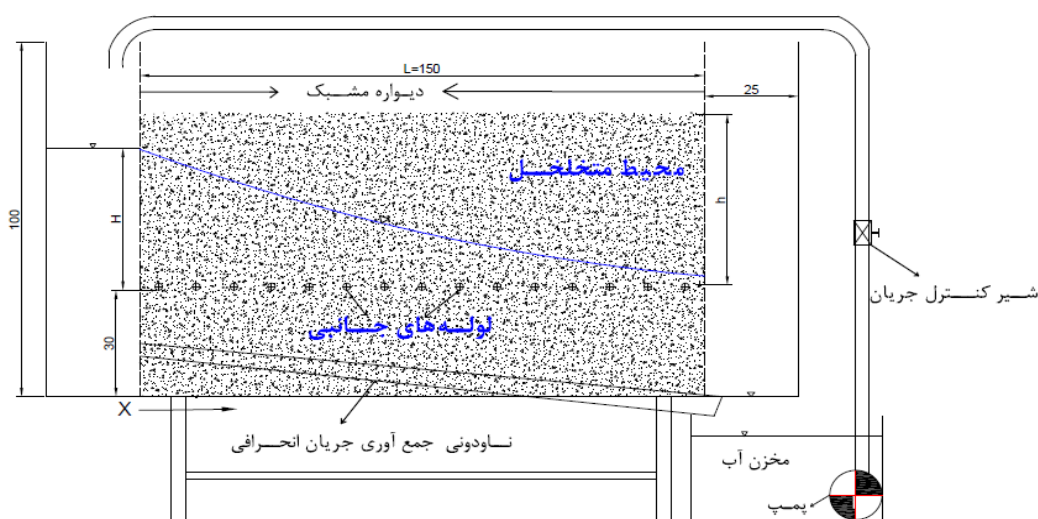
لایه به گونه‌ای که در برابر جریان ورودی مقاومتی ایجاد نکند استفاده شده است. بر روی بدنه مدل و در یک طرف آن در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری از کف سوراخ‌هایی به قطر ۱۴ میلی‌متر و فاصله ۱۰ سانتی‌متر و به تعداد ۱۵ عدد برای عبور لوله‌های جانبی و اتصالات مربوطه در عرض ایجاد شد (شکل ۱- الف). همچنین برای برداشت تراز سطح آب در محیط متخلخل پیرومترهایی به کف مدل (فاصله ۱۰ سانتی‌متر، قطر ۱۰ میلی‌متر، تعداد ۱۳ عدد)، متصل شد. برای کنترل سطح آب در بالادست و پایین‌دست محیط متخلخل از دو لوله در ابتدا و انتهای مدل برای ورود و خروج آب استفاده شده است. برای جمع‌آوری آب از محیط متخلخل از ۱۵ لوله PVC پنج لایه به طول ۱ متر و قطر خارجی ۱۶ میلی‌متر که سطح لوله براساس استانداردهای موجود به اندازه سه درصد مساحت لوله در واحد طول، سوراخ (قطر ۲ میلی‌متر) شده است (شکل ۱- ب)، برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. برای قطع و وصل جریان عبوری لوله‌ها از شیرهای پلاستیکی ۱۶ میلی‌متری مورد استفاده در آبیاری موضعی استفاده شده است. برای جلوگیری از ورود ذرات ریز به داخل لوله‌ها اطراف لوله‌ها با پشم شیشه پوشانده شد. برای تأمین جریان ورودی از یک ناودونی گالوانیزه و یک مخزن برای جمع‌آوری جریان‌های انحرافی و نیز یک دستگاه پمپ کف‌کش با حداکثر دبی پمپاژ ۱/۵۵ لیتر بر ثانیه استفاده شد. در تمامی آزمایش‌ها، مدل دارای شیب کف و شیب لوله‌های زهکش ۱ درصد بوده است. شکل ۲ شمای کلی از مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

مدل آزمایشی تا ارتفاع ۸۰ سانتی‌متری از کف دارای محیط متخلخل است. سه نمونه محیط متخلخل P1، P2 و P3 برای آزمایش‌ها استفاده شد به طوری که مصالح مورد نظر از مواد رودخانه‌ای تأمین شد. تمامی مصالح برای جداسازی ذرات خاک با دست شسته شد و به روش ASTM دانه‌بندی شد. d_{50} ذرات استفاده شده برای سه محیط P1، P2 و P3 به ترتیب ۱/۵، ۰/۷ و ۰/۳۲ میلی‌متر انتخاب شد. هدایت هیدرولیکی مصالح مورد نظر به ترتیب ۶۰/۴۸، ۱۲/۱ و ۶/۱ متر بر روز با برقراری دبی‌های مختلف و اندازه‌گیری گرادیان هیدرولیکی در طول محیط متخلخل برآورد شد. ضریب یکنواختی مواد دانه‌بندی شده به ترتیب ۵، ۴/۵۵ و ۴/۴۵ به دست آمد، که مصالح مورد نظر به طور کامل غیریکنواخت بوده و حرکت رسوب‌ها به

محیط متخلخل کاهش می‌یابد. منحنی دانه‌بندی مواد انتخابی در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۱- الف) نحوه اتصال شیرها ب) نحوه قرارگرفتن لوله‌های زهکش در محیط متخلخل

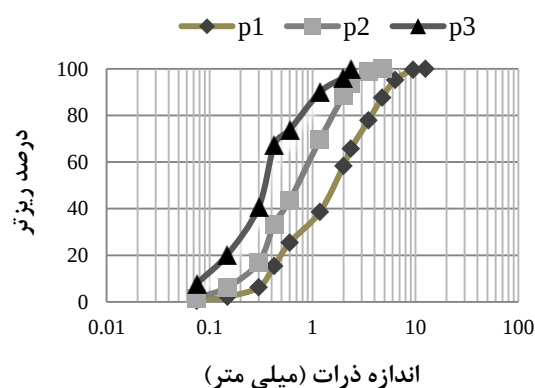


شکل ۲- نمای کلی از مدل آزمایشگاهی آگیر زیرسطحی (کلیه اعداد بر حسب سانتی‌متر)

نتایج و بحث

تأثیر جریان ورودی بر میزان جریان انحرافی

به طور کلی میزان جریان انحرافی با سیستم آگیر تابعی از جریان ورودی است. در مواردی که شرایط طبیعی رودخانه و شرایط هیدرولیکی محیط متخلخل و ظرفیت شبکه زهکشی اجازه دهد می‌توان بخش زیادی از جریان رودخانه را منحرف کرد. در این پژوهش با انجام آزمایش‌ها بر روی مدل فیزیکی نتایج مربوط به میزان جریان انحرافی از هر لوله در مقابل فاصله هر لوله از ابتدای محیط متخلخل برای سه دانه‌بندی مختلف به ازای دبی‌های ورودی بررسی شد (شکل ۴). نتایج مربوط به مصالح P1 نشان داد که با افزایش دبی ورودی به آگیر میزان دبی انحراف در ابتدا روند افزایشی داشته اما به تدریج به مقدار ثابتی می‌رسد این امر ناشی از محدودیت هدایت

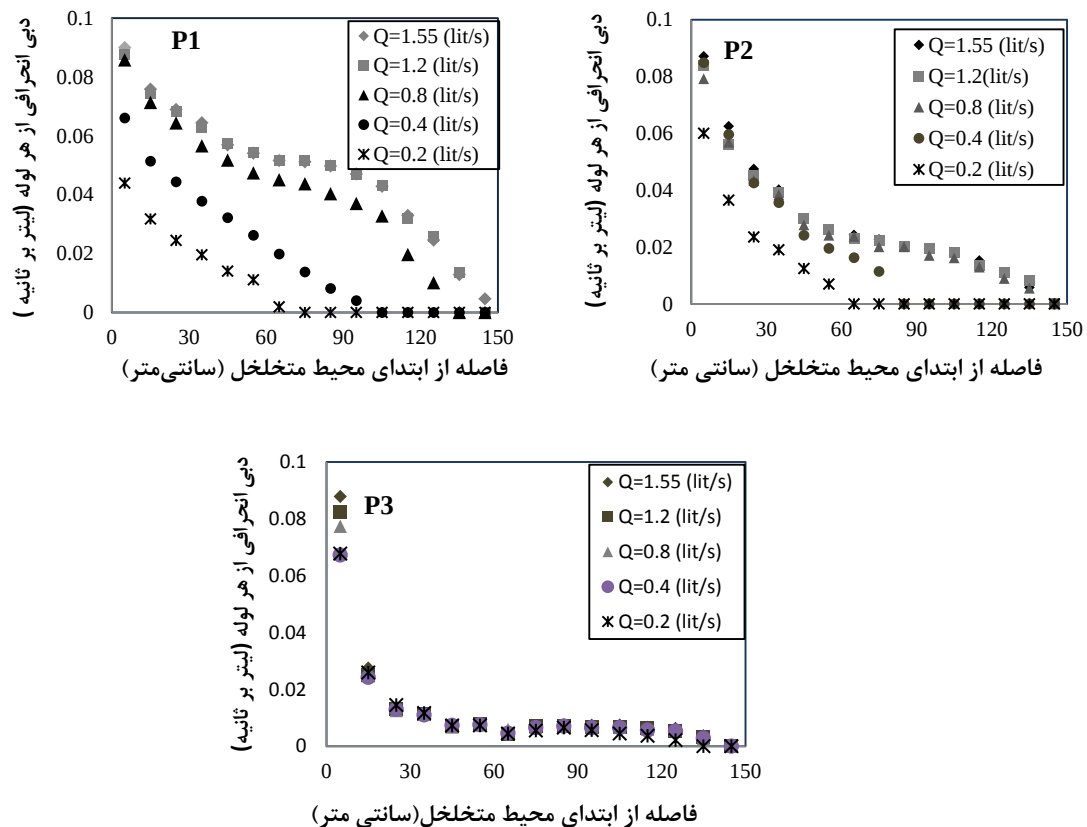


شکل ۳- منحنی دانه‌بندی مصالح استفاده شده

آزمایش‌ها براساس پنج دبی ورودی ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۵ و ۱/۵۵ لیتر بر ثانیه انجام شد و دبی‌های انحرافی از هر لوله به روش حجمی اندازه‌گیری شد. در این آزمایش‌ها هیچ کنترلی روی سطح آب پایین‌دست انجام نشده که مشابه حالت عدم استفاده از آب‌بند انتهایی در رودخانه است.

داد که در مصالح P1 به دلیل هدایت هیدرولیکی نسبتاً بالای محیط، جریان تحت تأثیر نیروی ثقل از زیر لوله‌ها نیز برقرار می‌شود و در دبی‌های ورودی کم لوله‌های انتهایی بدون جریان هستند. همچنین لوله‌های ابتدایی متأثر از بار فشاری ایجاد شده در بالادست، دبی بیشتری را منحرف می‌کند.

هیدرولیکی مصالح است. در مصالح P2 و P3 به دلیل کاهش میزان هدایت هیدرولیکی نسبت به مصالح P1، در دبی‌های ورودی کمتری میزان دبی انحرافی از لوله‌ها به یک مقدار ثابت میل می‌کند. به عنوان مثال در مصالح P1 به ازای دبی ورودی ۱/۲ لیتر بر ثانیه اما در مصالح P2 و P3 در دبی‌های ۰/۸ و ۰/۲ لیتر بر ثانیه مقدار جریان انحرافی از لوله‌ها به یک مقدار ثابتی می‌رسد. نتایج نشان



شکل ۴- روند تغییر جریان انحرافی در برابر جریان ورودی در مصالح مختلف

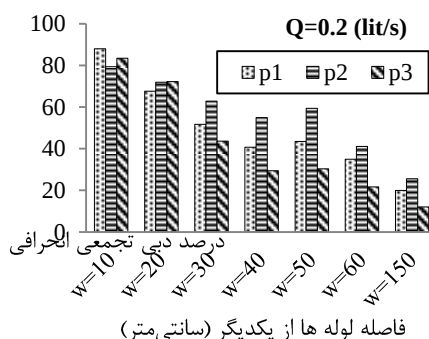
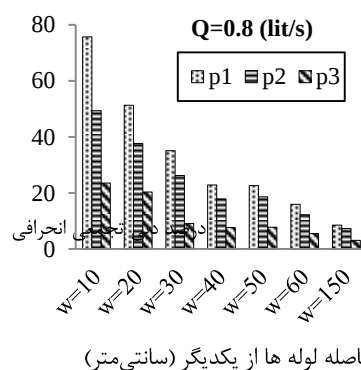
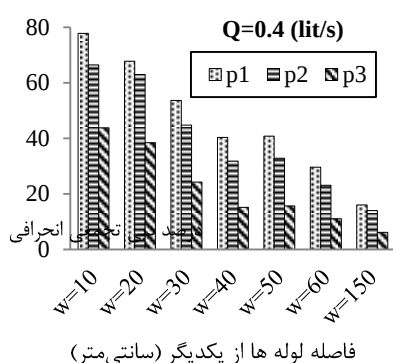
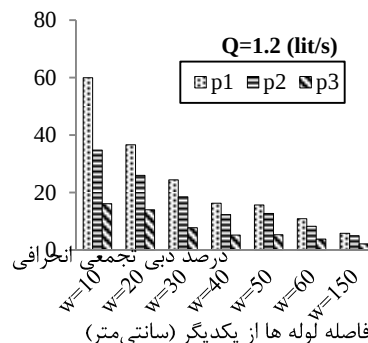
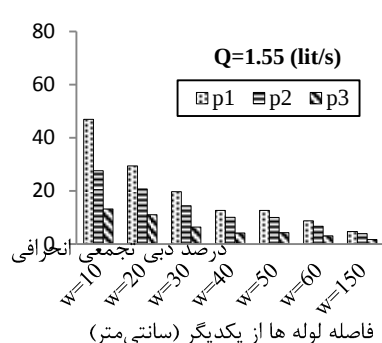
درصد می‌رسد، این حالت به طور تقریبی برای تمامی فاصله‌های مشابه یکدیگر است. همچنین مشاهده می‌شود که در فاصله‌های لوله‌های کم به دلیل افزایش تعداد لوله‌های جانبی میزان دبی انحرافی جمع می‌آید، به عنوان مثال در دبی ورودی ۱/۲ لیتر بر ثانیه میزان دبی انحرافی جمع می‌شود در مصالح P1 برای فاصله‌های لوله‌های ۱۰ سانتی‌متر به اندازه ۶۰ درصد دبی ورودی و در فاصله‌های ۲۰ سانتی‌متر این مقدار به ۳۶ درصد و برای فاصله‌های ۳۰ سانتی‌متر این مقدار به ۲۴ درصد می‌رسد. به ازای دبی ورودی ۰/۲ لیتر بر ثانیه حرکت جریان تحت تأثیر نیروی ثقل از زیر لوله‌ها در مصالح P1 موجب شده میزان دبی انحرافی جمع می‌شود در این مصالح و در فاصله‌های

تأثیر اندازه ذرات بر میزان دبی انحرافی

اندازه ذرات محیط متخلخل از عوامل مؤثر بر میزان جریان انحرافی است، شکل ۵ میزان درصد دبی جمع می‌شود در مصالح مختلف برای فاصله‌های لوله‌های متفاوت از یکدیگر را به ازای دبی‌های مختلف ورودی نشان می‌دهد. چنان‌که از نتایج مشاهده می‌شود میزان دبی انحرافی جمع می‌شود با بزرگ‌تر شدن اندازه ذرات روند افزایشی داشته و به ازای دانه‌بندی‌های خیلی ریز از این میزان به شدت کاسته می‌شود، به عنوان مثال در دبی ورودی ۱/۵۵ لیتر بر ثانیه برای مصالح P1 و فاصله‌های لوله‌های ۳۰ سانتی‌متر به طور تقریبی به اندازه ۲۰ درصد دبی ورودی و برای مصالح P2 برابر ۱۵ درصد و برای مصالح P3 به ۷

و کم، عدم وجود دیوار آببند باعث کاهش میزان آبیگری با این سیستم می‌شود.

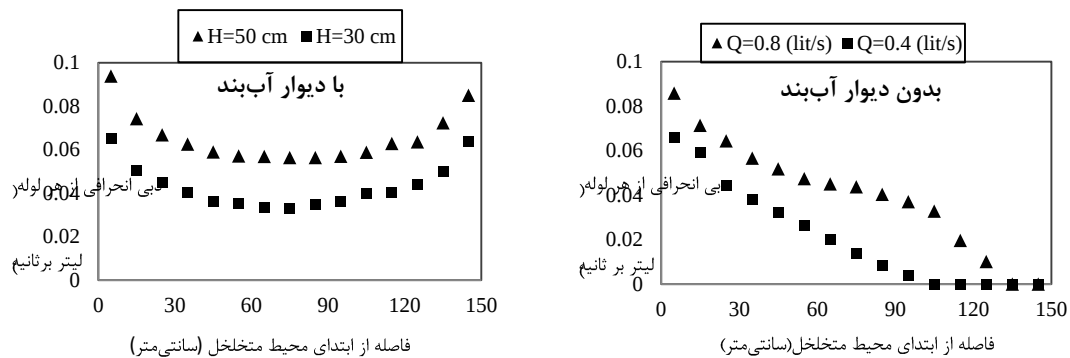
مختلف نسبت به مصالح P2 کاهش یابد. بنابراین با توجه به کاربرد این سیستم جهت انحراف جریان‌های زیرسطحی



شکل ۵- میزان جریان انحرافی تجمعی به ازای فاصله‌های مختلف لوله‌ها در مصالح و دبی‌های مختلف

جانبی در حالت وجود دیوار آببند است. راندمان آبیگری در حالت عدم وجود دیوار آببند خیلی کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال دبی انحرافی تجمعی به ازای بار آبی ۵۰ سانتی‌متر با دیوار آببند برابر ۰/۹۸ لیتر بر ثانیه می‌باشد و در حالت بدون دیوار آببند و دبی ۰/۸ لیتر بر ثانیه برابر ۰/۶ لیتر بر ثانیه است.

در شکل ۶ مقایسه میزان جریان انحرافی از آبیگر در حالت وجود و عدم وجود دیوار آببند در انتهای آبیگر در شرایط یکسان جریان ورودی در مصالح P1 که دارای آبیگری بالاتری نسبت به مصالح دیگر است انجام شده است. به گونه‌ای که در حالت بدون دیوار آببند، سطح آب به ازای دبی ورودی ۰/۸ و ۰/۴ لیتر بر ثانیه در بالادست آبیگر به ترتیب معادل بار آبی ۵۰ و ۳۰ سانتی‌متر روی لوله‌های



شکل ۶- مقایسه میزان دبی انحرافی در حالت وجود و عدم وجود دیوار آببند برای مصالح P1

با ادغام پارامترهای بی بعد معادله ۲ در نهایت رابطه بین پارامترهای بی بعد به معادله ۳ تبدیل می شود.

$$\frac{qhK^3(L^2 - w^2)}{g \nu QL^3} = f\left(\frac{x}{L}\right) \quad (3)$$

پارامترهای بی بعد فوق براساس نتایج آزمایشگاهی برای دبی های ۰/۴، ۰/۸، ۱/۲ و ۱/۵۵ لیتر بر ثانیه و مصالح P1، P2 و P3 و فاصله های لوله های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۱۵۰ سانتی متر و تمامی لوله های جانبی محاسبه شد. سپس ۷۰٪ داده ها را به نرم افزار Data fit وارد کرده و با روش برازش منحنی، بهترین و ساده ترین منحنی بر روی این مقادیر هماهنگ شد. میزان دبی انحرافی از لوله ها براساس منحنی برازش شده به دست آمد و برای ۳۰٪ بقیه داده ها مقایسه انجام شد. شکل ۷ منحنی های برازش شده بر روی پارامترهای بدون بعد را برای مصالح نوع P1، P2 و P3 در دبی های مختلف ورودی با استفاده از نرم افزار را نشان می دهد. در دبی های ورودی کم و مصالح درشت دانه به دلیل عدم وجود دیوار آببند و کنترل جریان، تعدادی از لوله های انتهایی بدون جریان بوده و در نتیجه آن در طول های نسبی بالا مقدار پارامتر $\frac{qhK^3(L^2 - w^2)}{g \nu QL^3}$ به صفر کاهش می یابد، به همین

منظور در شکل ۷ در مصالح درشت دانه به ازای $\frac{x}{L}$ های بالا منحنی قطع می شود. تمامی منحنی های شکل ۷ براساس معادله ۴ به دست آمده اند، اما ضریب های این معادله در منحنی های مختلف متفاوت است. کلیه مشخصات مربوط به این منحنی ها در جدول ۱ آورده شده است.

$$\frac{qhK^3(L^2 - w^2)}{g \nu QL^3} = a + b\left(\frac{x}{L}\right)^3 + \frac{c}{\left(\frac{x}{L}\right)^{0.5}} \quad (4)$$

آنالیز ابعادی

با به کارگیری متغیرهای هیدرولیکی و هندسی مؤثر بر میزان جریان انحرافی می توان معادله ای برای برآورد میزان جریان انحرافی از لوله ها به ازای فاصله های مختلف به دست آورد. بدین منظور ابتدا با به کارگیری آنالیز ابعادی، پارامترهای بدون بعد مؤثر بر میزان دبی انحرافی از لوله ها مشخص و سپس به بررسی چگونگی تأثیر آن ها پرداخته می شود. با صرف نظر کردن از اثرهای مربوط به کشش سطحی و تراکم پذیری مایع و برخی پارامترهای ثابت از جمله شیب کف آبگیر، شیب و قطر لوله ها، قانون فیزیکی حاکم بر جریان خروجی در طول آبگیر به صورت زیر است.

$$f(\rho, \mu, g, K, h, L, w, x, q, Q, G) = 0 \quad (1)$$

که در عبارت فوق ρ چگالی آب، μ لزجت دینامیکی آب، g شتاب جاذبه، K هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل، h عمق کارگذاری لوله ها از سطح بستر، L طول آبگیر، w فاصله لوله های جانبی از یکدیگر، x فاصله از ابتدای آبگیر، q دبی انحرافی از هر لوله، Q دبی ورودی به آبگیر، G وابستگی مربوط به خصوصیات هندسی آبگیر است که با توجه به یکسان بودن شکل آبگیر عامل G در معادله ۲ حذف شده است. با انتخاب ρ ، K و L به عنوان متغیرهای اصلی (تکرار شونده) و استفاده از تئوری Π باکینگهام داریم:

$$f\left(\frac{q}{KL^2}, \frac{h}{L}, \frac{w}{L}, \frac{\rho KL}{\mu}, \frac{K^2}{gL}, \frac{Q}{KL^2}, \frac{x}{L}\right) = 0 \quad (2)$$

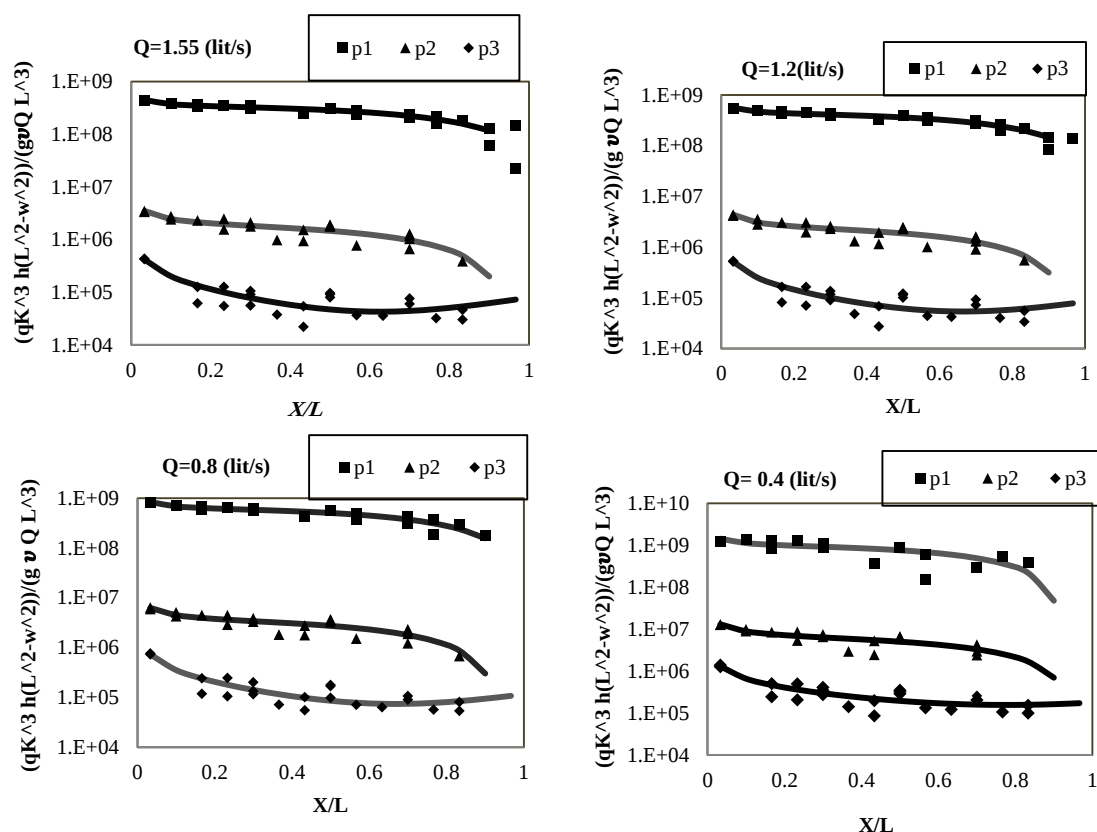
در معادله فوق $Re = \frac{\rho KL}{\mu}$ عدد رینولدز در محیط متخلخل، $Fr^2 = \frac{K^2}{gL}$ عدد فرود در محیط متخلخل و $\frac{x}{L}$ طول نسبی آبگیر است.

معادله پیشنهادی جهت به دست آوردن میزان دبی انحرافی

در معادله بالا Q و q بر حسب مترمکعب بر ثانیه، L ، w ، h و x بر حسب متر، K بر حسب متر بر روز، g بر حسب متر بر مجذور ثانیه و v بر حسب مترمربع بر ثانیه است.

جدول ۱- ضریب‌های مربوط به معادله ۴، استفاده شده در شکل ۷

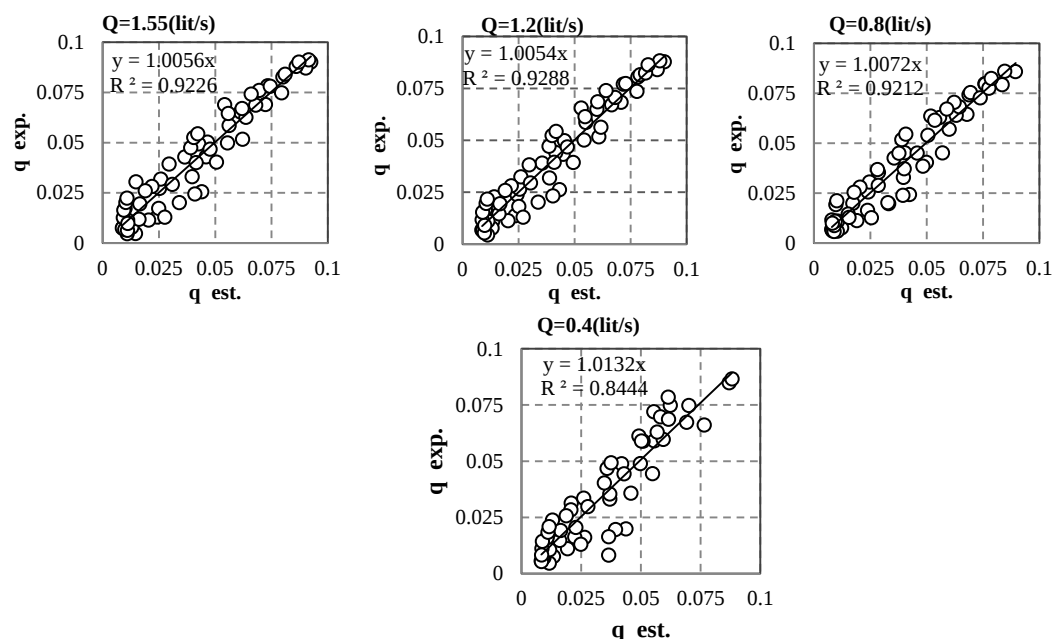
R^2	c	b	a	نوع مصالح	دبی ورودی (lit/s)
۰/۵۹	۱۳۲۲۱۰۷۶۳/۱	-۱۰۹۷۴۳۷۷۹۲/۲	۷۰۸۱۹۴۴۴۰/۱	P1	۰/۴
۰/۸۰	۱۷۸۳۲۰۶/۹	-۶۰۸۹۹۴۹/۶	۳۲۵۶۳۴۵/۵	P2	
۰/۹۱	۲۷۴۱۲۹	۱۰۹۸۸۲/۶	-۲۰۶۴۸۳/۷	P3	
۰/۸۹	۶۵۵۷۰۹۰۶/۶	-۵۳۵۹۰۹۹۲	۴۷۷۷۱۳۱۸۷	P1	۰/۸
۰/۸۰	۷۵۸۲۹۷/۸	-۳۵۶۴۱۶۵	۲۰۹۹۹۵۸	P2	
۰/۹۳	۱۶۱۱۰۹/۷	۱۱۰۰۰۵	-۱۵۵۹۸۴	P3	
۰/۹۴	۳۹۲۲۸۶۳۴/۸	-۳۳۱۹۴۲۱۶۸	۳۴۷۱۵۵۲۴۲	P1	۱/۲
۰/۸۰	۵۴۰۶۲۵	-۲۲۳۹۰۳۳/۸	۱۳۷۶۹۷۱/۸	P2	
۰/۹۳	۱۲۷۷۱۲/۷	۷۸۲۹۸/۴	-۱۰۷۴۷۳	P3	
۰/۹۲	۳۱۶۳۴۴۳/۵	-۲۵۹۴۶۵۱۷۱/۴	۲۷۳۲۳۷۷۳۸/۱	P1	۱/۵۵
۰/۸۲	۴۴۳۰۰۸/۵	-۱۸۲۴۷۹۲/۵	۱۰۶۲۱۳۱	P2	
۰/۹۳	۹۳۱۶۹/۸	۸۰۲۸۲/۵	-۹۴۸۲۲	P3	



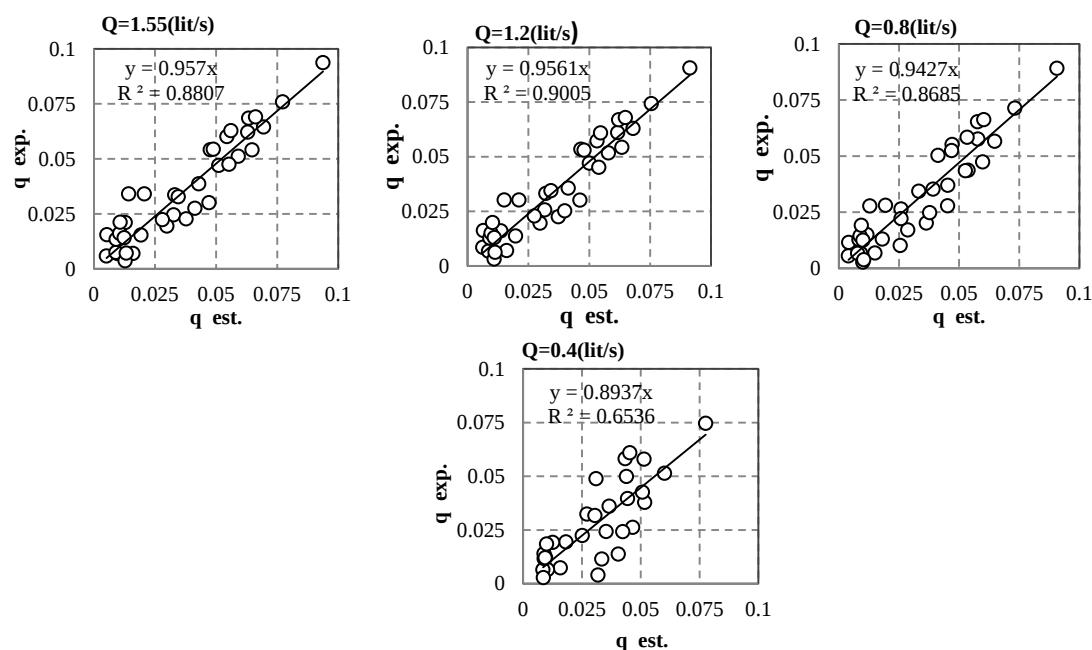
شکل ۷- منحنی‌های برازش داده شده بر مقادیر آزمایشگاهی با نرم‌افزار Data fit

مناسبتی بین مقادیر آزمایشگاهی و محاسباتی وجود دارد. همچنین مشاهده می‌شود که در دبی‌های ورودی کم به طور مثال ۰/۴ لیتر بر ثانیه میزان پراکندگی داده بیشتر است.

شکل‌های ۸ و ۹ مقادیر دبی انحرافی از لوله‌ها در حالت آزمایشگاهی و محاسباتی (با نرم‌افزار Data fit) را همراه با ضریب‌های تعیین R^2 برای ۷۰٪ و ۳۰٪ داده‌ها در مقابل یکدیگر نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که همبستگی



شکل ۸- مقایسه نتایج دبی انحرافی آزمایشگاهی و محاسباتی برای ۷۰٪ داده‌ها



شکل ۹- مقایسه نتایج دبی انحرافی در حالت آزمایشگاهی و محاسباتی برای ۳۰٪ داده‌ها

در معادله ۵، n تعداد مشاهدات، q_p مقادیر دبی تخمین از مدل، q_o مقادیر دبی مشاهداتی است. تغییرات مقدار $d(wil)$ بین یک تا صفر است. هرچه مقدار به دست آمده به یک نزدیک‌تر باشد مدل دقت و کفایت بیشتری دارد. مقادیر پایین $d(wil)$ بیانگر این مطلب است که مدل تغییرات بیشتری از آنچه در واقعیت دیده شده ایجاد می‌کند و یا به عبارتی مدل دقیق نیست. مقدار $d(wil)$ برای ۳۰٪ داده‌ها که منحنی براساس آن‌ها برازش نیافته

کفایت مدل‌های پیشنهادی

کفایت مدل‌های رگرسیونی را می‌توان از معادله ۵ به دست آورد (ویلومت، ۱۹۸۱).

$$d(wil) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_p - q_o)^2}{\sum_{i=1}^n (|p'| + |o'|)^2} \quad (5)$$

$$p' = q_p - avr(q_o) \quad (6)$$

$$o' = q_o - avr(q_o) \quad (7)$$

۲. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. ۱۳۸۸. راهنمای آبیگری از رودخانه و حفاظت آن. نشریه شماره ۵۰۹. ۱۷۴ ص.

۳. نقوی ب. فغفور مغربی م. اسماعیلی ک. خدانشناس س. ر. و کوروش وحید ف. ۱۳۸۸. مقایسه آبیگری آبیگیر کفی با محیط متخلخل در جریان‌های زلال و رسوبدار. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۳: ۱۲۲-۱۳۵.

۴. ولی‌سامانی ج. م. کشکولی ب. س. و سروریان ج. ۱۳۸۶. ارائه روشی نوین در بحث آبیگری و انتقال آب از رودخانه‌ها با استفاده از روش فیلتراسیون. ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهرکرد.

5. Arved J. and Raudkivi. 1995. Sedimentation: Exelution and removal of sediment from diverted water. Cited by Vali Samani et all.
6. Blazejeski R. and Sadzide M. B. 1997. Soil clogging phenomena in constructed wetlands with Surface flow. Water Science Technology. 35(5):183-188.
7. Field R. Masters H. and Singer M. 1982. Porous pavement: Research, development, and demonstration. Transport Engineering. ASCE. 108(3):244-258.
- Leps T. M. 1973. Flow through rockfill in embankment dam engineering. John Wiley, New York. 87-107
8. Razvan E. 1989. River intakes and diversion dams. Elsevier new York. Psical Descripton. 508 p.
9. Willmott C. J. 1981. On the validation of models. Physical Geograghy. 2:184-194.

و برای دبی‌های ۱/۵۵، ۱/۲، ۰/۸ و ۰/۴ به ترتیب برابر ۰/۹۶۸، ۰/۹۷۳، ۰/۹۶۴ و ۰/۸۹۲ به دست آمده است و بیانگر آن است که هر یک از مدل‌های حاصل دقت خوبی داشته و می‌توانند برای پیش‌بینی مقدار دبی انحرافی استفاده شوند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش دبی ورودی در بالادست، میزان دبی انحراف روند افزایشی دارد اما به تدریج از روند افزایشی آن کاسته شده و به مقدار ثابتی خواهد رسید و در مصالح ریزدانه به ازای دبی‌های مختلف ورودی مقدار دبی انحراف به مقدار ثابت می‌رسد. اندازه ذرات محیط متخلخل نیز بر روند دبی انحراف تأثیر زیادی داشته چنان‌که با افزایش اندازه ذرات، میزان دبی انحراف روند افزایشی را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که درصد دبی انحرافی تجمعی به دبی ورودی با نصف شدن فاصله لوله‌ها به عنوان مثال از ۲۰ سانتی‌متر به ۱۰ سانتی‌متر به طور تقریبی به اندازه ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین برای طراحی اقتصادی این نوع آبیگیر می‌توان با کوتاه نمودن طول آبیگیر و افزایش تعداد لوله‌های جانبی به بهره‌برداری دبی طراحی پرداخت. با توجه به اینکه میزان جریان انحرافی از لوله‌ها با میزان بار آبی انباشته شده روی لوله‌ها متناسب است پس به دلیل وجود نداشتن دیوار آب‌بند جریان در محل آبیگیر انباشته نمی‌شود و مقدار زیادی از جریان تحت نیروی ثقل از محل آبیگیر خارج می‌شود؛ به گونه‌ای که میزان جریان انحرافی از آبیگیر به اندازه ۴۰ تا ۵۰ درصد نسبت به حالت وجود دیوار آب‌بند کاهش می‌یابد، بنابراین برای افزایش راندمان آبیگری لازم است دیوار آب‌بند برای این نوع سازه‌ها در نظر گرفته شود. در این پژوهش با استفاده از آنالیز ابعادی و رگرسیون با نرم‌افزار Data fit، رابطه‌ای دو متغیره و غیرخطی بین پارامترهای مختلف مؤثر بر میزان جریان انحرافی ایجاد شد که دقت مناسبی برای محاسبه میزان جریان انحرافی از لوله‌ها دارد.

منابع

۱. آبیگیر سازه توس. ۱۳۸۸. گزارش فنی پروژه آبیگیر زیرسطحی بیابان شیر. مشهد. ۸۷ ص.