

مطالعه آزمایشگاهی خصوصیات هیدرولیکی آبیگری از بستر رودخانه با وجود دیوار آببند انتهایی

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

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌توان از جریان‌های زیرسطحی رودخانه‌ای به‌عنوان پتانسیل‌های موجود برای تأمین بخشی از آب مورد نیاز استفاده کرد. شیوه‌های مختلفی برای برداشت آب زیرسطحی رودخانه‌ها تاکنون به کار گرفته شده است، در این پژوهش مدل آزمایشگاهی سازه جمع‌آوری و شبکه زهکشی جریان زیرسطحی آب در رودخانه در محل آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد ساخته شد و عوامل مؤثر بر میزان جریان زیرسطحی انحرافی بررسی شد. نتایج نشان داد مقدار جریان انحرافی رابطه مستقیم با تراز سطح آب بر روی زهکش‌ها داشته و با افزایش فاصله بین زهکش‌ها دبی هر زهکش افزایش می‌یابد. دبی زهکش‌ها در طول محیط متخلخل روند متغیری داشته به نحوی که در ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. در ضمن کمترین مقدار دبی مربوط به زهکش میانی بود. در بررسی نحوه آرایش زهکش‌ها نیز مشخص شد که استفاده از زهکش‌های کار گذاشته شده در دو عمق، با کوتاه‌تر کردن محیط متخلخل نتایج مناسب‌تری را به دست می‌دهد. در نهایت مدل رگرسیونی ساده، برای طراحی سازه آبیگر زیرسطحی با محیط متخلخل و شبکه زهکشی ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: آبیگری زیرسطحی، جریان زیرسطحی، دیوار آببند، شبکه زهکشی، محیط متخلخل.

ارجاع: منصوری ر. ضیائی ع. ن. اسماعیلی ک. انصاری ح. و خدانشناس س. ر. ۱۳۹۳. مطالعه آزمایشگاهی خصوصیات هیدرولیکی آبیگری از بستر رودخانه با وجود دیوار آببند انتهایی. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۵): ۷۳-۸۲.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳- استادیار 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: Ramin_Mansouri@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۱/۰۵

مقدمه

آبیگری از رودخانه یکی از قدیمی‌ترین مسائل مطرح در زمینه مهندسی هیدرولیک است. نحوه آبیگری از رودخانه با توجه به شرایط جریان، اقلیم و توپوگرافی منطقه مشخص شده و طراحی سازه مناسب مهم است. تقسیم‌بندی‌های متفاوتی برای سازه‌های انحراف جریان رودخانه ارائه شده است. در تقسیم‌بندی از دیدگاه موقعیت قرارگیری سازه، انواع روش‌های آبیگری به دو گروه آبیگر سطحی و آبیگر زیرسطحی تقسیم می‌شوند. سدهای زیرزمینی جز آبیگرهای زیرسطحی طبقه‌بندی می‌شود (نیلسون، ۱۹۸۸). از آبیگر سطحی می‌توان به آبیگر مستقیم در مسیر جریان، آبیگر جانبی، و آبیگر کفی اشاره کرد.

در رودخانه‌های کوهستانی با شیب بسیار تند و بار رسوبات درشت دانه، آبیگرهای جانبی و جلویی مناسب نیستند زیرا در مدت زمان کوتاهی از رسوب پر خواهند شد و همچنین به دلیل شیب زیاد منطقه و پتانسیل بالای رانش و لرزه خیزی، پایداری آن‌ها به شدت در معرض خطر خواهد بود. با توجه به تجربه‌های به دست آمده در کشورهای اروپایی برای مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای با شیب طولی رودخانه بیش از یک درصد و در حالتی که ۷۵ درصد بار بستر داری ابعاد بزرگ‌تر از ۶ میلی‌متر باشد آبیگر کفی بسیار مفید و مؤثر است (مغربی و رزاز، ۱۳۸۵). این نوع آبیگر در زیر سطح بستر رودخانه ایجاد می‌شود و می‌تواند بخشی از جریان را دریافت و به مسیر مورد نظر انتقال دهد. طول آبیگر در امتداد عمود بر جریان قرار دارد و ممکن است هم عرض رودخانه یا کمتر از آن باشد. عرض آبیگر در امتداد جریان نیز بستگی به شرایط طراحی آن انتخاب می‌شود. پژوهش‌هایی در مورد خصوصیات هیدرولیکی آبیگر کفی با کف مشبک برای اولین بار توسط گروت (۱۹۳۹) شروع شد. وی با انجام آزمایش‌هایی بر روی آبیگر کفی با میله‌های طولی رابطه‌ای برای مقدار جریان منحرف شده ارائه کرد. همچنین می‌توان به پژوهش‌های دی مارچی (۱۹۴۷)، بووارد (۱۹۵۳)، کانتزمن و بووارد (۱۹۵۴)، اورث و همکاران (۱۹۵۴)، نوسدا (۱۹۵۵)، مستکو (۱۹۵۷)، برونلا و همکاران (۲۰۰۳)، ریگتی و لازونی (۲۰۰۸) و مغربی و رزاز (۱۳۸۵) که در مورد آبیگر کفی با کف مشبک انجام شده، اشاره کرد. این

پژوهش‌ها باعث ارائه توصیه‌ها و رابطه‌هایی برای طراحی و مقدار جریان انحرافی شده است.

از آنجایی که استفاده از شبکه میله‌ای مشکلاتی مانند گرفتگی، پوسیدگی، یخ زدگی، نگهداری سیستم و تخلیه رسوب به همراه دارد، با جایگزینی یک محیط متخلخل به جای یک شبکه میله‌ای می‌توان تا حد زیادی مشکلات بالا را برطرف کرد. در این زمینه پژوهش‌هایی توسط نقوی و همکاران (۱۳۸۸ و ۲۰۰۹) بر روی جریان رسوبدار در این سازه صورت گرفت در ادامه کوروش وحید و همکاران (۲۰۱۱ و ۱۳۸۸) پژوهش‌هایی را در زمینه هیدرولیک جریان و مقدار جریان انحرافی انجام داده‌اند و نشان دادند که با افزایش جریان ورودی، میزان دبی انحراف در ابتدا زیاد و سپس به تدریج به مقدار ثابتی می‌رسد. همچنین با افزایش شیب سطح بالایی آبیگر، میزان انحراف جریان کاهش می‌یابد. اندازه ذرات محیط متخلخل نیز بر میزان دبی انحراف تأثیر زیادی داشته چنان که با افزایش اندازه ذرات، میزان دبی انحرافی روند افزایشی را نشان می‌دهد. ارائه یک مدل ریاضی برای برآورد میزان جریان انحرافی از دیگر نتایج پژوهشی مذکور است. استفاده از محیط متخلخل به این صورت نیز با محدودیت‌ها و مشکلاتی همراه است که از جمله می‌توان به عدم کارایی آن برای انحراف جریان‌های زیرسطحی در فصل‌هایی که رودخانه بدون جریان سطحی است، اشاره کرد. دیگر مشکلات این سازه ناپایداری جریان در کانال انحراف آب، نشست رسوب بر روی محیط متخلخل بعد از سیلاب در رودخانه و شسته شدن محیط متخلخل به کانال انحراف است. بنابراین برای پیروز شدن بر برخی از این مشکلات روش جدیدی در آبیگری از جریان‌های سطحی و زیرسطحی در رودخانه مطرح شد. از آنجا که رودخانه‌های مناطق کم باران به طور معمول خشک بوده و یا جریان پایه بسیار کمی دارند، لذا استفاده از پتانسیل برداشت جریان زیرسطحی ضروری به نظر می‌رسد. به خصوص این که در این نوع رودخانه‌ها، معمولاً جریان زیرسطحی در فصل‌های گرم که آب سطحی به طور کامل خشک شده است نیز وجود دارد. از این رو برای دستیابی به هدف‌های بالا، نظر جایگزینی یک محیط متخلخل به همراه یک سیستم زهکشی درون آن در بخشی از طول رودخانه مطرح و مدنظر قرار گرفت. این نوع آبیگری با الگوگیری از روش زهکشی بستر رودخانه‌ها با آبروهای زیرزمینی ایجاد شد (عصاره و همیلتون، ۲۰۰۴).

لوله‌های زهکش، H ارتفاع آب روی زهکش، x فاصله از بالادست محیط متخلخل، d_p قطر لوله‌های زهکش، S_0 شیب کلی کانال (محیط متخلخل)، S_1 شیب لوله‌های زهکش، O_a درصد باز شدگی سطح لوله‌های زهکش، n_f پارامتر مربوط به فیلتر و در نهایت shape پارامتر مربوط به خصوصیات هندسی آبگیر است.

با استفاده از یک نوع فیلتر، یک نوع لوله زهکش و شیب‌های ثابت در تمام آزمایش‌ها متغیرهای مربوط به فیلتر (n_f)، لوله زهکش (S_1 ، O_a ، d_p) و شیب (S_0)، از پارامترهای بالا حذف می‌شوند. با استفاده از تئوری Π باکینگهام و با انتخاب ρ ، k ، w به عنوان متغیرهای تکراری داریم:

$$\phi\left(\frac{q}{kw^2}, \frac{\mu}{\rho kw}, \frac{gw}{k^2}, \frac{H}{w}, \frac{d_{50}}{w}, \frac{L}{w}, \frac{x}{w}, n, shape\right) = 0 \quad (2)$$

که دو پارامتر gw/k^2 و $\mu/\rho kw$ به ترتیب بیانگر عدد فرود و عدد رینولدز هستند. همان‌طور که گروه‌های بدون بعد معادله ۲ نشان می‌دهند، علاوه بر مشخصات هیدرولیکی، مشخصات هندسی آبگیر و محیط متخلخل نیز در نحوه کارکرد این نوع آبگیر مؤثر هستند.

مدل آزمایشگاهی

در این پژوهش مدلی آزمایشگاهی با توجه به نمونه اصلی اجرا شده آبگیر زیرسطحی در روستای بیابان شیر، از توابع شهرستان تربت حیدریه تهیه شد (طول واقعی آبگیر ۱۵۰ متر از رودخانه با دیوار آب‌بند انتهایی و تعداد ۱۰۰ عدد زهکش) (گزارش فنی، ۱۳۸۸). مدل به صورت یک مکعب مستطیل به ابعاد $2 \times 1 \times 1$ (ارتفاع $\times$ عرض $\times$ طول) از جنس ورق گالوانیزه است (شکل ۱). برای کنترل سطح آب در دو سمت این مکعب مستطیل به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از هر طرف ورق‌های مشبک قرار گرفته است. برای جلوگیری از شسته شدن محیط متخلخل به مخزن‌های کنترل سطح آب در دو طرف سطح این صفحه مشبک با دو لایه گونی پوشیده شد. در این پژوهش از لوله‌های سه لایه با قطر خارجی ۱۶ و قطر داخلی ۱۰ میلی‌متر استفاده شده است. با توجه به استانداردهای ارائه شده توسط سازمان خواروبار جهانی، سوراخ‌های ایجاد شده در چهار ردیف و مجموع کل مساحت سوراخ‌ها (مساحت باز شدگی) ۱ تا ۳ درصد کل سطح لوله انتخاب شد و براساس استانداردهای اروپا مجموع این مساحت‌ها نباید از ۱۲۰۰ میلی‌متر مربع بیشتر باشد. در این استاندارد قطر سوراخ‌ها باید بین ۰/۶ تا ۲

در این روش، خاک بخشی از بستر رودخانه به صورت یک ترانше طولی تخلیه و پس از نصب یک شبکه زهکشی درون آن از مواد درشت دانه پر می‌شود. احداث یک دیوار آب‌بند در انتهای پایین دست ترانше مخزنی (مشابه سد زیرزمینی) ایجاد می‌کند که قابلیت جذب جریان‌های زیرسطحی و نیز بخشی از جریان‌های سطحی را خواهد داشت، که از طریق شبکه زهکشی ایجاد شده می‌توان جریان جمع‌آوری شده را به محل مورد نظر انتقال داد. طرح‌هایی از این دست در چند نقطه کشور اجرا شده است که به نظر می‌رسد نتایج پژوهش‌های علمی پشتوانه اجرایی آن‌ها نبوده است. بنابراین هدف اصلی از انجام این پژوهش بررسی کارایی مدل جدید آبگیر کفی با محیط متخلخل و شناسایی پارامترهای مؤثر بر میزان دبی انحرافی جهت بهبود عملکرد این سازه است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها بر روی مدل فیزیکی ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در ابتدا برای بررسی عوامل مؤثر بر آبگیر زیرسطحی آنالیز ابعادی انجام شد.

آنالیز ابعادی

معادلات حاکم بر بسیاری از پدیده‌های هیدرولیکی را نمی‌توان به طور مستقیم از قانون‌های حاکم بر سیالات و تئوری‌های موجود مانند قانون‌های بقای جرم و انرژی به دست آورد. در چنین مواردی سعی می‌شود تا برای استخراج معادله ریاضی حاکم بر چنین پدیده‌هایی، ابتدا کلیه پارامترهای لازم که در به وجود آوردن آن پدیده نقش دارند مشخص شده و با تحلیل ابعادی عوامل مؤثر بر پدیده برگزیده می‌شوند.

پارامترهای مؤثر در این نوع آبگیری به سه گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از: پارامترهای مربوط به جریان، پارامترهای مربوط به سیستم زهکشی، پارامترهای مربوط به محیط متخلخل. متغیر گروه‌های سه گانه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$f(\rho, g, \mu, q, n, d_{50}, k, L, w, H, x, d_p, S_0, S_1, O_a, n_f, shape) = 0 \quad (1)$$

که ρ چگالی آب، g شتاب ثقل، μ لزجت دینامیکی آب، q دبی جریان، n تخلخل، d_{50} قطر متوسط محیط متخلخل، k هدایت هیدرولیکی خاک، L طول آبگیر، w فاصله بین

دبی هر لوله زهکش تراز سطح آب در پیژومترها در هر سری از آزمایش‌ها برداشت شد. برای صحت‌سنجی مدل‌های برازش شده بر نتایج آزمایشگاهی از سنج‌های آماری ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب تبیین تعدیل شده (Ra^2) و در نهایت پارامتر d ویلموت (ویلموت، ۱۹۸۱) استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی فیلتر

برای انتخاب مناسب‌ترین نوع مواد (گونی با تراکم بافت کم، گونی با تراکم بافت متوسط، گونی با تراکم بافت زیاد، و پشم شیشه) به‌عنوان فیلتر آزمایش‌هایی در دو نوع محیط متخلخل با خاک درشت‌دانه و ریزدانه و نیز حالت بدون خاک و در ترازهای مختلف سطح آب انجام شد. نتایج به دست آمده در مورد درصد کاهش دبی یا شرایط انسدادی با مواد ذکر شده در جدول ۱ ارائه شده است.

شده ایجاد شد. آب با پمپ از مخزن اصلی در پایین‌دست به محفظه‌های بالادست و پایین‌دست محیط متخلخل هدایت می‌شد. از لوله‌های موج‌دار (خرطومی) برای کنترل تراز سطح آب در محفظه‌های اشاره شده استفاده شد. شکل ۱ مسیر حرکت آب را از محل پمپ و دوباره برگشت آن به مخزن اصلی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که خروجی زهکش‌ها بر روی یک ناودان تخلیه شده و سپس به مخزن اصلی هدایت می‌شد.

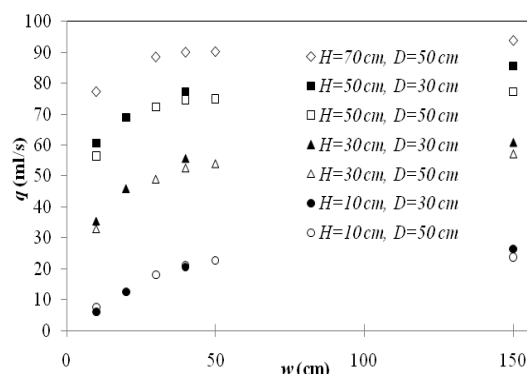
در آزمایش‌ها این پژوهش پارامترهایی مانند فاصله بین زهکشی‌ها (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ سانتی‌متر)، عمق کارگذاری زهکش‌ها (۵۰ و ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک)، طول محیط متخلخل (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ سانتی‌متر)، نحوه آرایش زهکش‌ها (عمق اول، عمق دوم و زیگزآگی دو عمق) در حالت با سطح آب ثابت (۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر از کف) بررسی شد و در نهایت براساس اعداد بی‌بعد به دست آمده رابطه‌ای برای طراحی این سازه ارائه شد. در هر سری از آزمایش‌ها دبی هر یک از زهکش‌ها به‌صورت حجمی در سه تکرار اندازه‌گیری و با متوسط‌گیری دبی نهایی با کمترین خطا به‌عنوان داده مربوطه ذخیره شد. علاوه بر

جدول ۱- نتایج بررسی فیلتر برای تراز آب ۶۰ سانتی‌متر

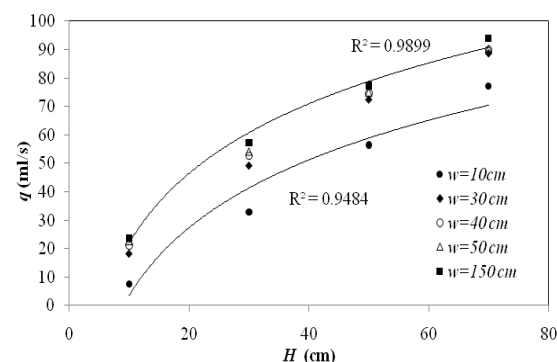
درصد افت دبی	دبی خروجی (l/s)	نوع فیلتر	محیط متخلخل
۰	۰/۰۷۳	بدون فیلتر	محیط متخلخل
۲/۸۹۶	۰/۰۷۱	فیلتر گونی تراکم کم	بدون محیط متخلخل
۴/۳۸۰	۰/۰۷	فیلتر گونی تراکم متوسط	
۴/۵۹۳	۰/۰۶۹	فیلتر گونی تراکم بالا	
۸/۴۹۰	۰/۰۶۷	فیلتر پشم شیشه	
۷۹/۴۶۰	۰/۰۱۵	فیلتر گونی تراکم کم	محیط متخلخل ریز دانه $d_{50}=0/2 \text{ mm}$
۷۴/۰۴۵	۰/۰۱۹	فیلتر گونی تراکم متوسط	
۴۲/۴۹۱	۰/۰۴۲	فیلتر پشم شیشه	
۱۳/۲۶۵	۰/۰۶۳	بدون فیلتر	محیط متخلخل درشت دانه $d_{50}=2 \text{ mm}$
۹/۰۰۴	۰/۰۶۶	فیلتر گونی تراکم کم	
۱۲/۳۷۶	۰/۰۶۴	فیلتر گونی تراکم متوسط	
۹/۹۴۴	۰/۰۶۵	فیلتر پشم شیشه	

جریان مربوط به فیلتر گونی با تراکم کم است. در همین محیط متخلخل، بهترین فیلتر از نظر کارایی فیلتر پشم شیشه است. زیرا کمترین افت دبی را نسبت به فیلترهای دیگر دارد. با توجه به نتایج موجود در جدول ۱ می‌توان نتیجه گرفت که با ریز شدن محیط متخلخل ذرات ریز از فیلتر گونی عبور کرده و باعث گرفتگی سوراخ‌های زهکش

میزان جریان خروجی از زهکش‌ها در حالت بدون محیط متخلخل روند کاهشی تقریباً ثابتی بر حسب تراکم فیلتر را نشان می‌دهد. پشم شیشه به دلیل نوع بافت خود بیشترین افت جریان را در حالتی که محیط متخلخل وجود نداشته باشد را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که در محیط متخلخل ریزدانه بیشترین افت



شکل ۲- تغییرات دبی زهکش میانی در فاصله‌های مختلف بین زهکش‌ها در مقابل تراز سطح آب



شکل ۳- اثر تغییر بار آبی روی زهکش بر دبی زهکش میانی

اثر فاصله از بالادست محیط متخلخل

تغییرات دبی در طول محیط متخلخل برای ترازهای مختلف سطح آب (فاصله بین زهکش‌ها ۱۰ سانتی‌متر) ابتدا با کاهش دبی و سپس افزایش دبی همراه است (شکل ۴). روند کاهشی دبی در نیمه ابتدایی محیط متخلخل، به دلیل پایین آمدن سطح آب با نزدیک شدن به وسط محیط متخلخل است. پس از آن با افزایش سطح آب به دلیل مخزن انتهایی، دبی خروجی روند افزایشی را طی می‌کند. همچنین در یک فاصله یکسان از بالادست مقدار دبی زهکش با نزول بار آبی (H) کاهش می‌یابد. از سوی دیگر در شرایط یکسان بودن بار آبی روی زهکش (H) با افزایش عمق کارگذاری (D)، دبی زهکش به دلیل نزدیک شدن به بستر نفوذناپذیر و کاهش محیط زهکشی که باعث کاهش تأثیر منطقه جریان‌های شعاعی در زهکش‌ها می‌شود، کاهش می‌یابد. این کاهش در تراز ۵۰ سانتی‌متر سطح آب به طور تقریبی ۸ درصد است. با کاهش تراز سطح آب از این اختلاف نیز کاسته شده به طوری که در تراز ۱۰ سانتی‌متر به طور تقریبی اختلاف به صفر می‌رسد.

می‌شود در حالی که فیلتر پشم شیشه اجازه عبور به ذرات ریز را نمی‌دهد، در نتیجه افت دبی در این حالت با ریزتر شدن خاک نسبت به فیلتر گونی به طور تقریبی ۴۰ درصد کمتر می‌شود.

اثر فاصله زهکش‌ها و تراز سطح آب

در مرحله اول برای مشخص کردن تأثیر فاصله زهکش‌ها بر دبی خروجی، فقط یک زهکش بررسی شد. از این رو زهکش میانی (شماره ۸ برای ردیف پایین و شماره ۷ برای ردیف بالا) که از نظر تعداد، دارای داده اندازه‌گیری بیشتری بود انتخاب و تغییرات دبی در آن برای دو عمق کارگذاری ۵۰ و ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک ارزیابی شد. شیوه برداشت دبی بدین صورت است که در فاصله‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر زهکش‌ها از یکدیگر، فقط دبی زهکش وسط بررسی شد. این نتایج در شکل ۲ ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش فاصله بین زهکش‌ها، دبی خروجی از زهکش میانی افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش، کاهش تعداد زهکش‌ها و در نتیجه افزایش سطح آب روی زهکش است. همچنین با افزایش فاصله، میدان تأثیر زهکش وسیع‌تر می‌شود. نکته قابل توجه این که در ترازهای مختلف سطح آب الگوی تغییرات دبی نسبت به فاصله بین زهکش‌ها مشابه است.

برای بررسی اثر تراز سطح آب بر جریان خروجی از زهکش‌ها، تغییرات تراز سطح آب در برابر دبی خروجی، برای فاصله‌های مختلف زهکش‌ها در شکل ۳ ترسیم شده است. مشاهده می‌شود با افزایش تراز آب بر روی زهکش‌ها بر میزان دبی افزوده شده اما این شرایط روند خطی ندارد و به تدریج شیب منحنی کاهش می‌یابد که دلیل آن محدودیت ظرفیت تخلیه لوله است. به این شکل که در ترازهای کم سطح آب، جریان در لوله زهکش به صورت نیمه‌پر بوده و با افزایش تراز سطح آب، لوله به تدریج به صورت پر عمل می‌کند. پس از پر شدن مقطع لوله، افزایش تراز سطح آب فقط باعث افزایش سرعت در جریان شده که این افزایش نسبت به تغییرات اولیه کم است.

از این بررسی می‌توان عمق کارگذاری بهینه نصب زهکش را مشخص کرد، زیرا با افزایش بار آبی از یک حد مشخص مقدار دبی چندان تغییر نمی‌کند ولی افزایش عمق کارگذاری نیاز به افزایش هزینه دارد.

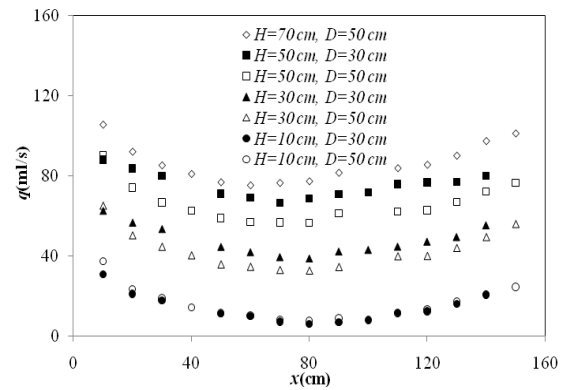
تغییرات دبی در مقابل طول محیط متخلخل از یک رابطه غیرخطی پیروی کرده و بر شیب منحنی با افزایش طول، افزوده می‌شود.

از دیدگاه دیگر می‌توان اثر طول را بررسی کرد. با انتخاب سه طول ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر محیط متخلخل با ۵ عدد زهکش در هر طول آزمایش‌هایی انجام شد. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش طول محیط متخلخل با یک تعداد زهکش یکسان، دبی افزایش پیدا می‌کند. اما افزایش طول به ۱۰۰ سانتی‌متر موجب افزایش دبی کل به میزان ۵ درصد نسبت به طول ۵۰ سانتی‌متر است و در طول ۱۵۰ سانتی‌متر این افزایش به ۱۱ درصد رسیده است. از این‌رو استنباط می‌شود تأثیر طول بر دبی خروجی کم بوده و دبی کل به طور تقریبی یکسان باقی‌مانده است.

اثر نحوه آرایش زهکش‌ها

در این بررسی برای بالا بردن راندمان و کاهش هزینه‌های اجرا سازه مقایسه‌هایی برای تعداد زهکش یکسان و طول متفاوت محیط متخلخل انجام شده است. این بررسی به این شکل است که در مرحله اول برای ۱۰ عدد زهکش در طول ۱۰۰ سانتی‌متر و فاصله ۱۰ سانتی‌متر و همان ۱۰ عدد زهکش در طول ۵۰ سانتی‌متر با فاصله ۱۰ سانتی‌متر به‌صورت زیگزاگی برای یک تراز سطح آب ثابت بررسی شد. از این بررسی مشخص شد که طول ۵۰ سانتی‌متر با دو ردیف زهکش از نظر اقتصادی بهتر از طول ۱۰۰ سانتی‌متر با یک ردیف زهکش است چون با یک تعداد زهکش یکسان و نصف کردن طول محیط متخلخل خروجی جریان ۵ درصد کاهش پیدا کرده است که چندان محسوس نیست. نکته مهم در طراحی به‌صورت دو عمق که باید مدنظر قرار بگیرد این است که تراز سطح آب به اندازه کافی باشد تا دو ردیف زهکش توانایی خروج جریان را داشته باشند. در مناطقی که سطح آب نوسان زیادی دارد این شیوه طراحی جواب‌گو نخواهد بود.

در آخر تحلیل حساسیت برای پارامترهای تراز سطح آب، فاصله بین زهکش و طول محیط متخلخل انجام شد. نتایج نشان داد افزایش ۴۰ درصدی در تراز سطح آب با ثابت نگه داشتن دیگر شرایط باعث افزایش ۳۰ درصدی در جریان منحرف شده با سازه می‌شود. افزایش ۵۰ درصدی در فاصله بین زهکش که تأثیر مستقیم روی تعداد زهکش دارد، باعث افزایش ۵۵ درصدی در جریان خروجی



شکل ۴- مقادیر دبی زهکش‌ها در طول محیط متخلخل برای ترازهای مختلف سطح آب

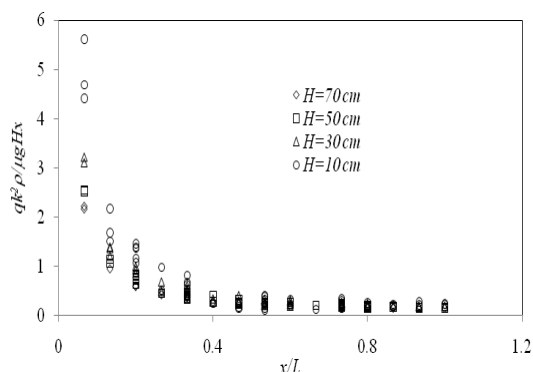
برای بررسی بیشتر نحوه کارکرد این سیستم، تغییرات دبی و ارتفاع سطح آب در طول محیط متخلخل نسبت به فاصله بین زهکش‌ها برای بارآبی ۷۰ سانتی‌متر و عمق کارگذاری ۵۰ سانتی‌متر در شکل ۵ آورده شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود تغییرات دبی در زهکش‌های با فاصله کمتر نسبت به زهکش‌هایی که فاصله آن‌ها زیاده‌تر است، بیشتر است. روشن است که فاصله کم بین زهکش‌ها باعث کاهش بیشتر هد هیدرولیکی روی زهکش‌ها شده و به دنبال آن افت دبی بیشتری در طول محیط متخلخل بروز کرده است. با افزایش فاصله بین زهکش‌ها کاهش هد هیدرولیکی کمتر و تغییرات دبی کمتری نیز مشاهده شده است. اما باید توجه داشت که با کاهش تعداد زهکش‌ها کل دبی انحرافی کاهش پیدا می‌کند. نتایج حاصل از بررسی فوق برای سایر ترازها حاکی از مشابه بودن روند تغییرات دبی تحت تأثیر عواملی چون فاصله‌های زهکش‌ها، عمق کارگذاری و تراز آب است.

اثر طول محیط متخلخل

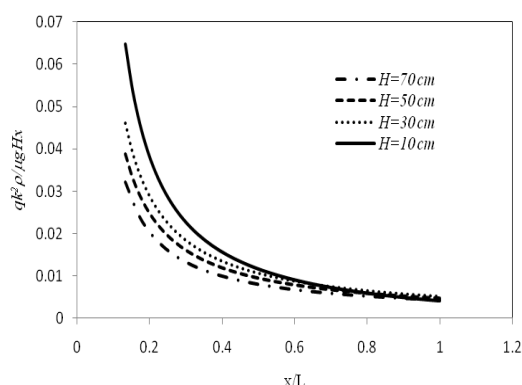
در این بخش مجموع دبی خروجی مربوط به زهکش‌های قرارگرفته با فاصله ۱۰ سانتی‌متری در سه طول ۵۰ و ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر محیط متخلخل با تراز آب ۷۰ سانتی‌متر به طور جداگانه بررسی شده تا تأثیرپذیری طول محیط متخلخل بر جریان خروجی مشخص شود. نتایج نشان داد که با افزایش طول محیط متخلخل دبی خروجی از مجموعه زهکش‌ها افزایش می‌یابد اما روند افزایش به نسبت فاصله تغییر نمی‌کند چنانچه اگر دبی در طول ۵۰ سانتی‌متر به‌عنوان واحد در نظر گرفته شود دبی در طول ۱۰۰ سانتی‌متر $1/63$ برابر واحد و دبی در طول ۱۵۰ سانتی‌متر $2/74$ واحد است. از این‌رو می‌توان بیان کرد که

$$\frac{qk^2\rho}{\mu gHx} = a + \frac{b}{x} + \frac{c}{(\frac{x}{L})^2} \quad (5)$$



شکل ۶- روند تغییرات عدد بی بعد معرف دبی در برابر طول نسبی (رابطه ۵)

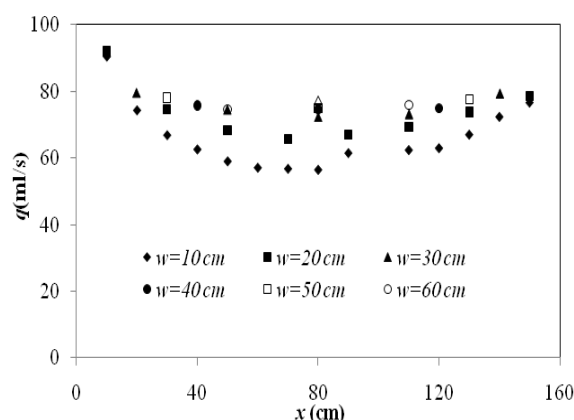
شکل ۷ منحنی‌های مربوط به این مدل را برای ترازهای مختلف سطح آب نشان می‌دهد. برای صحت‌سنجی، از مدل حاصل شده برای برآورد ۳۰ درصد دیگر استفاده شد. خلاصه نتایج و بررسی‌های انجام شده در جدول ۳ آورده شده است.



شکل ۷- مدل ارائه شده برای ترازهای مختلف سطح آب

جدول ۳ بیانگر درستی نتایج مدل بوده و مدل به خوبی توانسته است با مقادیر اندازه‌گیری شده هماهنگی پیدا کند به طوری که خطای متوسط مدل در همه حالت‌ها کمتر از ۱۴ درصد است. از بررسی داده‌ها همچنین دیده می‌شود که بیشترین اختلاف بین نتایج مدل ارائه شده و داده‌های آزمایشگاهی مربوط به تراز سطح آب ۱۰ سانتی‌متر و دبی بسیار کم زهکش‌ها است. این اختلاف در برخی حالت‌ها به ۳۰ درصد نیز رسیده که دلیل آن بیش برآورد مدل در زهکش‌های با دبی بسیار کم است. مقدار اندک دبی در این حالت باعث می‌شود که مقدار خطای نسبی افزایش

می‌شود و همین افزایش در طول محیط متخلخل (با تعداد زهکش یکسان) باعث افزایش ۶ درصدی در جریان خروجی می‌شود.



شکل ۸- تغییرات دبی در طول محیط متخلخل در فاصله‌های مختلف بین زهکش‌ها

رابطه‌های پیشنهادی برای طراحی

با استفاده از پارامترهای مؤثر که اطلاعات آن‌ها در آزمایشگاه برداشت شده است و به کارگیری روش تحلیل ابعادی امکان ارائه رابطه‌هایی برای محاسبه دبی هر زهکش وجود دارد. از این‌رو با استفاده از قانون‌های حاکم بر تحلیل ابعادی، بی‌بعدسازی انجام شد. در این بی‌بعدسازی می‌توان پارامترهای بی‌بعد از رابطه ۲ را به‌صورت زیر تبدیل کرد.

$$\frac{qk^2\rho(L-x)}{\mu gHxL} = \phi\left(\frac{x}{L}\right) \quad (3)$$

در طراحی این سازه مقدار عددی پارامتر بی‌بعد (L-x)/x با توجه به زیاد بودن طول محیط متخلخل نسبت به فاصله بین زهکش‌ها به طور تقریبی برابر واحد است. بنابراین می‌توان از این پارامتر بی‌بعد صرف‌نظر کرد. در نتیجه رابطه نهایی به‌صورت زیر در می‌آید.

براساس رابطه ۴ داده‌های آزمایشگاهی مقیاس شده و با یک رابطه واحد بر طبق شکل ۶ قابل تبیین می‌شود.

$$\frac{qk^2\rho}{\mu gHx} = \phi\left(\frac{x}{L}\right) \quad (4)$$

با توجه به رابطه ۴ و با کمک نرم‌افزار Datafit بر روی ۷۰ درصد از داده‌های برداشت شده از آزمایشگاه در ترازهای مختلف آب، توابع زیادی بررسی شد. نتایج حاصل از بهترین مدل برآوردی (رابطه ۵) در جدول ۲ ارائه شده است.

ها در پارامتر بی بعد است. در نتیجه زمانی که اثر X از نتایج مدل حذف می‌شود تا دبی زهکش‌ها به دست آید، خطای مدل در برآورد دبی زهکش‌ها بیشتر نمایان می‌شود.

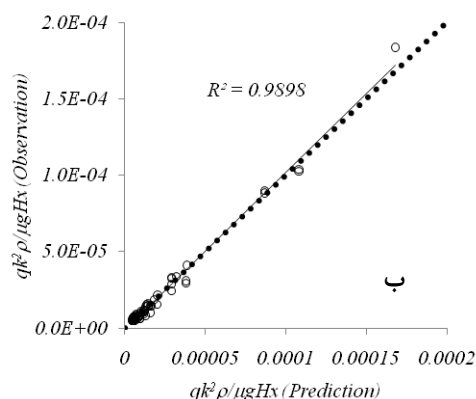
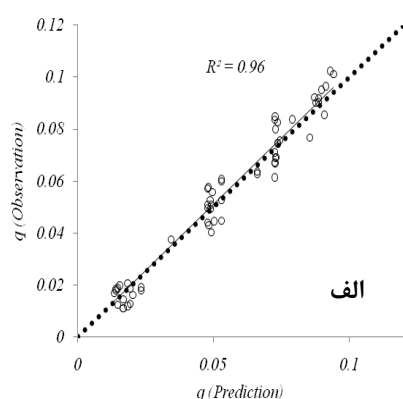
یابد. مقایسه انجام شده بین نتایج آزمایشگاهی و مدل به دست آمده در شکل ۸ (الف، ب) در دو حالت با و بدون بعد ارائه شده است. مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مدل در این دو حالت حاکی از تأثیر X بر کاهش اثر دبی زهکش

جدول ۲- ضرایب مدل‌های به دست آمده برای ۷۰ درصد داده‌های آزمایشگاهی

مقادیر	ضرایب	Ra ²	R ²	تراز سطح آب (H)	مدل
۹/۳۰×۱۰ ^{-۴}	a	۰/۹۹۸	۰/۹۹	۷۰ cm	$\frac{qk^2\rho}{\mu gHx} = a + \frac{b}{\frac{x}{L}} + \frac{c}{(\frac{x}{L})^2}$
۳/۳۶×۱۰ ^{-۳}	b				
۱/۰۴×۱۰ ^{-۴}	c				
۱/۹۰×۱۰ ^{-۴}	a	۰/۹۹۲	۰/۹۹	۵۰ cm	
۴/۴۸×۱۰ ^{-۳}	b				
۸/۶۵×۱۰ ^{-۵}	c				
-۸/۵۹×۱۰ ^{-۶}	a	۰/۹۸۹	۰/۹۹	۳۰ cm	
۵/۰۴×۱۰ ^{-۳}	b				
۱/۴۴×۱۰ ^{-۴}	c				
-۲/۶۹×۱۰ ^{-۳}	a	۰/۹۶۸	۰/۹۷	۱۰ cm	
۶/۵۴×۱۰ ^{-۳}	b				
۳/۲۲×۱۰ ^{-۴}	c				

جدول ۳- صحت‌سنجی رابطه‌های حاصل در جدول ۲ براساس ۳۰ درصد باقیمانده داده‌های آزمایشگاهی

تراز سطح آب (H)	d (Wilmot)	RMSE	MAE	Relative Error	Mean Relative Error
۷۰ cm	۰/۵۶۸	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۲۶	٪۶/۵۸	٪۱۳/۵۸
۵۰ cm	۰/۷۷۷	۰/۰۰۶۴	-۰/۰۰۱۴	٪۶/۹۹	
۳۰ cm	۰/۷۶۳	۰/۰۰۵۷	-۰/۰۰۰۷	٪۹/۶۳	
۱۰ cm	۰/۸۱۸	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۱۱	٪۲۷/۲۶	



شکل ۴- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با مدل ارائه تولید شده (رابطه ۵) (الف) دبی زهکش (ب) عدد بی‌بعد

دبی مجموع زهکش‌ها کاهش می‌یابد. افزایش تراز سطح آب باعث افزایش دبی زهکش‌ها می‌شود ولی این تغییرات به‌صورت خطی نبوده و دارای یک پوش است. همچنین در ترازهای پایین سطح آب عملکرد سازه مطلوب نبوده و در طول کوتاهی پس از مخزن دبی زهکش‌ها به صفر میل می‌کند. روند تغییرات دبی در طول محیط متخلخل

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای نخستین بار مدل آزمایشگاهی یک نوع آگیر زیرسطحی که در مناطق خشک و رودخانه‌های فصلی کارایی دارد و در عمل نیز استفاده شده است بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله بین زهکش‌ها، دبی هر زهکش افزایش پیدا کرده در صورتی که

۴. نقوی ب. مغربی م. ف. اسماعیلی ک. خدانشناس س. ر. کوروش وحید ف. ۱۳۸۸. مقایسه آبیگری با محیط متخلخل در جریان زلال و رسوبدار. نشریه آب و خاک. ۲۳(۳):۱۲۲-۱۳۵.

5. Asare E. B. and Bosque-Hamilton E. K. 2004. The performance of an infiltration gallery used as a simple water treatment option for a small rural community. Water Research Commission. 30(2):22-32.
6. Bouvard M. 1953. Discharge passing through a bottom grid. Houille Blanche. 3:290-291.
7. Brunella S. Hager W. and Minor H. E. 2003. Hydraulics of bottom rack intake. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 129(1):2-10.
8. De Marchi G. 1947. Profili longitudinali della superficie libera delle correnti permanenti lineari con portata progressivamente crescente o progressivamente decrescente entro canali di sezione costante. Ricerca scientifica e ricostruzione. 84-100.
9. Garot F. 1939. De Watervang met liggend rooster. Ingenieur in Nederlandsch-Indie Journal. 7:9-21.
10. Kooroshvahid F. Esmaili K. and Naghavi B. 2011. Experimental study on hydraulic characteristics of bottom intake with granular porous media. Special Topics and Reviews in Porous Media. 2(4):301-311.
11. Kuntzmann J. and Bouvard M. 1954. Theoretical studies of bottom type water intake grids. Houille Blanche. 5:569-574.
12. Mostkow M. 1957. Theoretical study of bottom type water intake. Houille Blanche. 4:570-580.
13. Naghavi B. and Maghrebi M. F. 2009. Experimental study of sediment flow discharge in new system of bottom intakes with porous media. Transport in Porous Media. 85(3):867-884.
14. Nilsson A. 1988. Groundwater dams for small-scale water supply, IT Publications. 64 p.
15. Nosedá G. 1955. Operation and design of bottom intake racks, Proc. VI General Meeting IAHR. 3(17):1-11.
16. Orth J. Chardonnet E. and Meynardi G. 1954. Study of bottom type water intake grids. Houille Blanche. 3:343-351. Righetti M. and Lanzoni S. 2008. Experimental study of the flow field over bottom intake racks, Journal of Hydraulic Engineering. 134:1-15.
17. Willmott C. J. 1981. On the validation of models. Physical Geography Journal. 2:184-194.

به صورت سهموی بوده و افزایش طول محیط متخلخل باعث افزایش جریان زهکش ها می شود اما تغییرات دبی با طول محیط متخلخل غیرخطی است. در پژوهش بر روی نحوه آرایش زهکش ها در دو عمق مشخص شد که در تعداد زهکش یکسان مقدار جریان خروجی در دو حالت یک ردیف و دو ردیف تفاوت چندانی نشان نمی دهد در نتیجه از نظر اقتصادی بهتر است طراحی با دو عمق انجام شود این نکته را نباید فراموش کرد که تراز سطح آب در حدی باشد تا زهکش ها در دو عمق کارایی لازم را داشته باشند. در مدل ارائه شده براساس تحلیل ابعادی، عدد بی بعد تولید شده به دلیل تأثیر بالای X دارای دقت بالایی است اما با حذف اثر X دبی های حاصل از مدل با نتایج آزمایشگاهی، نزدیک به ۱۴ درصد اختلاف را نشان می دهد. همچنین باید ذکر کرد تحلیل حساسیت نشان داد که حساسیت پارامتر فاصله بین زهکش که تأثیر مستقیم بر تعداد زهکش دارد، نسبت به دیگر پارامترها بیشتر است. هرچند هزینه این سازه نسبت به سازه آبیگر کمی با محیط متخلخل و مشبک کمی بیشتر است اما با توجه به کارایی سیستم در بلند مدت، عدم نیاز به نیروی انسانی برای نگهداری، در دسترس بودن مصالح و اقتصادی بودن طرح نسبت به سازه هایی که این مقدار جریان را منحرف می کنند، می توان این گزینه را به عنوان جایگزین مناسبی برای آبیگری در مسیل ها و رودخانه های فصلی منطقه های خشک و نیمه خشک معرفی کرد.

منابع

۱. کوروش وحید ف. نقوی ب. اسماعیلی ک. و مغربی م. ف. ۱۳۸۸. ضریب دبی جریان در روش جدید آبیگری از رودخانه از طریق آبیگر کفی با محیط متخلخل. سومین کنفرانس ملی تجربه های ساخت تأسیسات آبی و شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران. ۲۴۰-۲۴۶.
۲. گزارش فنی. ۱۳۸۸. مطالعات مرحله اول آبیگر زیرسطحی روستای بیابان شیر در تربت حیدریه. سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی. ۱۰-۱۱۲.
۳. مغربی م. ف. و رزاز م. ۱۳۸۵. بررسی عددی و آزمایشگاهی رفتار هیدرولیکی آبیگرهای کفی. هفتمین کنفرانس بین المللی عمران، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۴-۱۴۲.