

تجزیه و تحلیل پروفیل‌های جریان درون محیط‌های متخلخل درشت دانه

محمد صدقی اصل^{۱*}، حسن رحیمی^۲، جواد فرهودی^۳ و جمال محمد ولی سامانی^۴

چکیده

در این مقاله پروفیل‌های جریان‌های زیرسطحی درون مصالح سنگریز با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. مدل آزمایشگاهی یک زهکش سنگریز به طول ۶/۴ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۱ متر ساخته و از مصالح سنگریز گوشه‌دار شکسته به‌عنوان محیط متخلخل استفاده شد. برای حالت‌های مختلف دبی جریان و سه شیب افقی، ۴ درصد و ۲۰/۳ درصد آزمایشها اجرا و پروفیل جریان، اعماق بالادست و خروجی از درون مصالح سنگریز ثبت شد. در پایان پروفیل‌های مختلف جریان، عمق خروجی جریان و روابط ریاضی برای محاسبه آن تجزیه و تحلیل شد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که در شیب‌های افقی و ۴ درصد پروفیل جریان درون زهکش‌های سنگریز از تئوری جریان متغیر تدریجی پیروی می‌کند و پروفیل‌های فرو آب (پایین افتادگی) به‌خوبی تشکیل می‌شوند. درحالی‌که در شیب ۲۰/۳ درصد تئوری جریان متغیر تدریجی کمتر صادق می‌باشد و پروفیل جریان تقریباً یکنواختی تشکیل می‌شود. همچنین بحرانی فرض کردن عمق خروجی از انتهای زهکش سنگریز قابل اثبات نیست و استفاده از آن بیش از ۲۰۰ درصد خطا وارد محاسبات جریان متغیر تدریجی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مصالح سنگریز، جریان متلاطم، پروفیل جریان و مدل آزمایشگاهی.

ارجاع: صدقی اصل م. رحیمی ج. فرهودی ج. و محمدولی سامانی ج. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل پروفیل‌های جریان درون محیط‌های متخلخل درشت دانه. مجله پژوهش آب ایران. ۴(۷): ۸۱-۸۸.

۱- دانش آموخته‌ی دکتری سازه‌های آبی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرج. دانشگاه تهران و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۲- استاد گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

۳- استاد گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

۴- استاد گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

* نویسنده مسئول: m_sedghiasl@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۷/۱۷

مقدمه

جریان آب در خاک و مسائل وابسته، توسط دانشمندان علوم خاک، نفت، محیط زیست و هیدروژئولوژی از دیرباز تاکنون مورد توجه بوده است. رابطه داری یک رابطه تجربی-تحلیلی است و تا به حال به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته و رابطه اساسی و ساختاری جریان در محیط‌های متخلخل به‌شمار می‌رود. فرضیات دویوئی در خروجی‌ها و جاهایی که پایین افتادگی وجود دارد، نتایج خوبی ارائه نمی‌دهد. در واقع در مواردی که مؤلفه قائم نشت قابل توجه است نمی‌توان فرضیات دویوئی را به‌کار برد. در مواردی که جریان به‌صورت پیوسته به سامانه آب زیرزمینی وارد می‌شود نیز کاربرد فرضیه دویوئی با محدودیت همراه است، زیرا شیب خط نشت قابل چشم‌پوشی نمی‌باشد. به‌طور کلی فرضیه دویوئی در مواردی قابل کاربرد است که طول مسیر جریان قابل توجه بوده و در حدود ۲ برابر ضخامت لایه اشباع باشد (بی‌یر، ۱۹۷۲).

پروفیل خط نشت در مصالح سنگریز به دو دلیل مورد توجه است:

۱- سطح نشت خروجی در پایین‌دست سازه‌های سنگریز و زهکش‌های معادن در یک دبی خاص مستغرق می‌شود. چنانچه به‌ازای حداکثر دبی طراحی، تراز آب خروجی محاسبه شده کم باشد، قابلیت فرسایش سنگدانه‌ها در وجه پایین‌دست کاهش می‌یابد.

۲- سطح نشت مشاهده شده در پایین‌دست سازه‌های سنگریز یکی از شرایط مرزی مسئله نشت برای مدل‌سازی فشار منفذی است. آگاهی از موقعیت سطح نشت در وجه پایین‌دست سدهای خاکی، محاسبات فشار منفذی را تسهیل می‌کند. آگاهی از توزیع فشار منفذی در بدنه سدهای سنگریز در محاسبات مربوط به هدایت هیدرولیکی بسیار مهم است (هانسن، ۱۹۹۲).

اگرچه محاسبات مربوط به جریان‌های متغیر تدریجی عمدتاً مربوط به مسائل کانال‌های باز می‌شود، به‌نظر می‌رسد اولین مطالعه جدی و مستند در مورد کاربرد این‌گونه جریان‌ها به‌عنوان یک ابزار مدل‌سازی پروفیل خط نشت در سدهای سنگریز، توسط ویلکینز (۱۹۵۶) انجام شده است. این روش برای تعیین موقعیت خط نشت در سدهای سنگریز بعداً توسط پارکین (۱۹۶۳) استفاده شد (هانسن، ۱۹۹۲).

استفنسون (۱۹۷۹) با استفاده از انتگرال‌گیری تحلیلی از معادله دیفرانسیل معمولی مربوط به جریان متغیر تدریجی ماندگار در کانال‌های مستطیلی به یک جواب از معادله رسید که با مقایسه نتایج آن با مشاهدات مربوط به فلوم آزمایشگاهی، همبستگی خوبی را گزارش کرد. معادله تحلیلی استفنسون فقط برای حالتی که جریان آشفته کاملاً توسعه یافته باشد قابل کاربرد است. استفنسون فرض نمود که در محل عمق بحرانی سطح نشت ظاهر می‌شود. وی رابطه عمق بحرانی را به‌صورت زیر تعریف کرد.

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{n^2 g}} \quad (1)$$

که در آن: q دبی در واحد عرض از درون سنگریز، n تخلخل مصالح، y_c عمق بحرانی و g شتاب ثقل است. بسیاری از فرضیات مربوط به جریان‌های متغیر تدریجی برای جریان درون محیط‌های متخلخل قابل کاربرد است (بری و هانسن، ۲۰۰۲). یکی از فرضیات مهم در این زمینه توزیع فشار هیدرواستاتیک در راستای قائم می‌باشد. البته این فرض در همه جا صادق نیست، مثلاً در خروجی سدهای سنگریز که انحناى خطوط جریان زیاد است، توزیع فشار هیدرواستاتیک نمی‌باشد. به‌دلیل شیب تند این پروفیل در محل خروجی، تخمین سطح نشت بسیار حساس بوده و کوچکترین نوسان سبب بروز خطای زیادی در تخمین سطح نشت می‌شود.

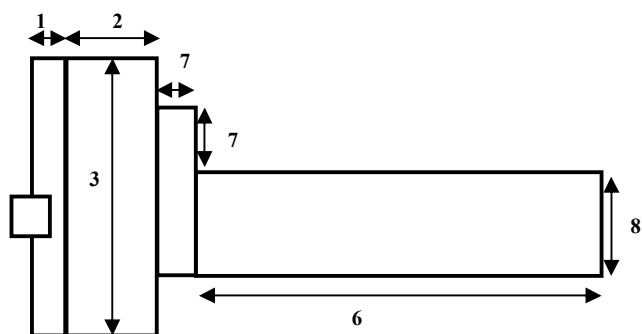
در به‌کارگیری تئوری جریان متغیر تدریجی ماندگار در سدهای سنگریز ویلکینز (۱۹۵۶) از معادله توانی $i = a V_v^N$ به‌جای رابطه مانینگ برای محاسبه شیب اصطکاکی استفاده کرد. به‌رحال پارکین (۱۹۶۳) تئوری جریان متغیر تدریجی را در سدهای سنگریز به‌کار برد و همبستگی خوبی را بین پروفیل خط نشت محاسباتی و اندازه‌گیری شده مشاهده کرد. استفنسون (۱۹۷۹) نیز همبستگی خوبی را بین نتایج تحلیلی خویش و نتایج مشاهداتی گزارش کرد. شیب اصطکاکی در مباحث هیدرولیک کانال‌های باز معمولاً از روابط شزی یا مانینگ به‌دست می‌آید درحالی‌که در محیط‌های متخلخل برای ارزیابی شیب اصطکاکی از یک معادله توانی سرعت-گرادیان

صحت و سقم روابط تئوری برای تخمین عمق خروجی با داده‌های آزمایشگاهی سنجیده می‌شود.

مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی

برای اجرای آزمایش روی زهکش سنگریز، از یک کانال آزمایشگاهی به طول مؤثر ۷ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۱ متر استفاده شد. از دانه‌های سنگی شکسته گوشه‌دار به‌عنوان مصالح تشکیل‌دهنده زهکش سنگریز استفاده شد. دبی جریان عبوری از کانال آزمایشگاهی بین ۸ تا ۴۷ لیتر بر ثانیه متغیر بود. شکل ۱ تصویر و شماتیک مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. کانال آزمایشگاهی شیب‌پذیر، قابلیت تنظیم شیب‌های افقی، ملایم و تند را داشت. تنظیم شیب دلخواه به‌وسیله یک جک هیدرولیکی که در میانه فلوم قرار داشت صورت می‌گرفت. در دوران ابتدایی احداث زهکش‌های سنگریز، از مصالح درشت دانه شکسته و گوشه‌دار حاصل از حفر معادن استفاده می‌شود، این درحالی است با گذشت زمان و اندرکنش بین آب و ذرات سنگی قطعات سنگی سائیده شده و به‌حالت گردگوشه و رودخانه‌ای نزدیک می‌شوند.



شکل ۱- الف- نمای جانبی و ب- طرح پلان کانال آزمایشگاهی

استفاده می‌شود، این فرض را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد (استفنسون ۱۹۷۹):

$$S_f = i = a V_V^N \quad (2)$$

که در آن: V_V سرعت منفذی یا سرعت نشت، i گرادیان هیدرولیکی (بدون بعد)، a ضریبی است که به روش تجربی تعیین می‌شود و N توانی است که به‌صورت تجربی تعیین می‌شود و معمولاً مقدار آن ۲ تا ۳ برای جریان آشفته کاملاً توسعه یافته تغییر می‌کند.

هانسن و همکاران (۲۰۰۶) به تحلیل نظری روابطی برای محاسبه عمق خروجی از سازه‌های سنگریز پرداختند و تأیید کردند که پروفیل $M2$ در سازه‌های سنگریز تشکیل می‌شود. بری و هانسن (۲۰۰۲) به مطالعه آزمایشگاهی جریان متغیر تدریجی درون مصالح سنگریز پرداختند. ایشان دریافتند در شرایطی که گرادیان هیدرولیکی کوچک است، تطابق بسیار خوبی بین نتایج جریان متغیر تدریجی و نتایج آزمایشگاهی وجود دارد. حسینی (۱۹۹۷) به توسعه یک مدل غیرخطی غیرماندگار برای جریان درون سدهای سنگریز پرداخت و نتایج مدل خویش را با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه و همبستگی خوبی را مشاهده کرد. وی معادلات سنت و نانت اصلاح شده را به‌همراه رابطه فرشه‌ایمر و یک شمای عددی تفاضل محدود ۴ نقطه‌ای با تلفیق روش تکراری نیوتن-رافسون برای مدل‌سازی ریاضی سیستم جریان و حل معادلات غیرخطی، به‌کار برد. سامانی و همکاران (۲۰۰۴) با ارائه یک تعریف جدید از مفاهیم شعاع و افت هیدرولیکی و تلفیق آن با رابطه پیوستگی به نتایج جدیدی دست یافتند. سامانی و همکاران (۲۰۰۳) نیز با استفاده از مفهوم حجم کنترل و تلفیق آن با معادلات روندیابی مخزن، الگوریتم جدیدی برای روندیابی سیلاب درون سدهای سنگریز ارائه کردند. بازرگان و بیات (۱۳۸۱) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی ضرایب معادله فرشه‌ایمر را واسنجی کردند و برای پی‌های آبرفتی درشت دانه در شرایط صحرائی معادلات واسنجی شده را پیشنهاد نمودند. همچنین بازرگان و شعاعی (۲۰۰۶) پژوهش بری و هانسن (۲۰۰۶) را نقد کردند. ایشان معتقد بودند که روابط افت-فشار استفنسون (۱۹۷۹) و ویلکینز (۱۹۵۶) برای مدل‌سازی پروفیل جریان درون زهکش‌های سنگریز جواب‌های درستی ارائه نمی‌کنند.

هدف اصلی این تحقیق بررسی رفتار پروفیل سطح آب درون سازه‌های سنگریز به همراه عمق خروجی است. همچنین

نگار طوری تنظیم شده بود که قادر به ثبت ۱۰ قرائت در ثانیه بود.

نتایج و بحث

همزمان با اجرای آزمایش عملیات اندازه‌گیری عمق سطح آب درون سنگریز، دبی جریان و عمق خروجی صورت می‌پذیرفت. اعماق اندازه‌گیری شده با دقت میلی‌متر برداشت می‌شدند. فاصله طولی نقاط برداشت در پایین دست فلوم به دلیل پایین افتادگی سطح آب نسبت به بالادست بهم نزدیکتر بود. آزمایش‌ها به‌ازای دبی‌های مختلف و سه شیب متفاوت اجرا شدند. در این پژوهش طول کانال آزمایش نسبت به کارهای انجام شده در مراجع بیشتر بود تا از این رهگذر بتوان رفتار جریان درون یک سازه زهکش سنگریز را به‌خوبی مدل‌سازی کرد. برای طول ۶/۴ متر به‌خوبی می‌توان جریان متغیر تدریجی را شبیه‌سازی کرد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد طول زهکش در مدل آزمایشگاهی ۶/۴۰ متر، عرض آن ۰/۸۰ متر و ارتفاع آن برابر با ۰/۶۰ متر است. چگونگی رفتار پروفیل‌های جریان در ابتدا، میانه و فاصله منتهی به خروجی برای سه شیب افقی، ۴ درصد و ۲۰/۳ درصد به همراه دو نوع مصالح به‌دقت بررسی می‌شود.

پروفیل‌های جریان

شکل‌های ۲ و ۳ پروفیل‌های جریان برای شیب افقی و برای دو نوع مصالح گوشه‌دار و گردگوشه را نشان می‌دهند. با مقایسه شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود که همه پروفیل‌ها با عمق تقریباً یکنواخت شروع می‌شوند و این عمق تا ربع اول طول زهکش ادامه دارد. دلیل تشکیل عمق تقریباً یکنواخت، نزدیکی به مخزن بالادست است. از آنجاکه سرعت جریان درون مخزن بالادست کم بوده و در اثر برخورد با محیط سنگریز، مقداری از انرژی جریان گرفته می‌شود لذا سرعت در این ربع طول ابتدایی ثابت باقی می‌ماند. با افزایش طول مسیر و زیاد شدن افت، سرعت جریان افزایش می‌یابد و متقابلاً عمق جریان تمایل به کاهش دارد. این رفتار به‌صورت تدریجی ادامه می‌یابد تا اینکه جریان به ربع چهارم انتهایی زهکش می‌رسد. در ربع چهارم، نزدیکی به خروجی زهکش تأثیر معنی‌داری بر پروفیل جریان می‌گذارد. بدین‌صورت که موجب شتاب گرفتن جریان برای خروج از

تعداد ۱۲۰ دانه سنگی به‌طور تصادفی از مصالح شکسته و گردگوشه انتخاب و قطرهای سه محوری (a, b, c) آنها به‌وسیله کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری، سپس با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری قطرهای متوسط، حداقل و حداکثر، انحراف معیار و ضریب تغییرات محاسبه شد. متوسط قطر ذرات شکسته و گردگوشه به‌ترتیب ۷۸ و ۷۷/۵ میلی‌متر و ضریب تغییرات برای سنگدانه‌های گردگوشه و گوشه‌دار به‌ترتیب ۱۵/۰۲ و ۲۰/۶۶ درصد به‌دست آمد. نمودار فراوانی سنگدانه‌ها دارای شکل تقریباً نرمالی بود. تخلخل مصالح سنگریز با استفاده از روش اندازه‌گیری مستقیم تعیین شد. بدین ترتیب یک مخزن به ابعاد ۰/۴۸ در ۰/۶۹ در ۰/۶۹ متر از مصالح سنگریز پر شد و سپس مقداری آب به آن اضافه شد تا حجم منافذ پر شود، سپس با استفاده از معادله زیر تخلخل محاسبه گردید.

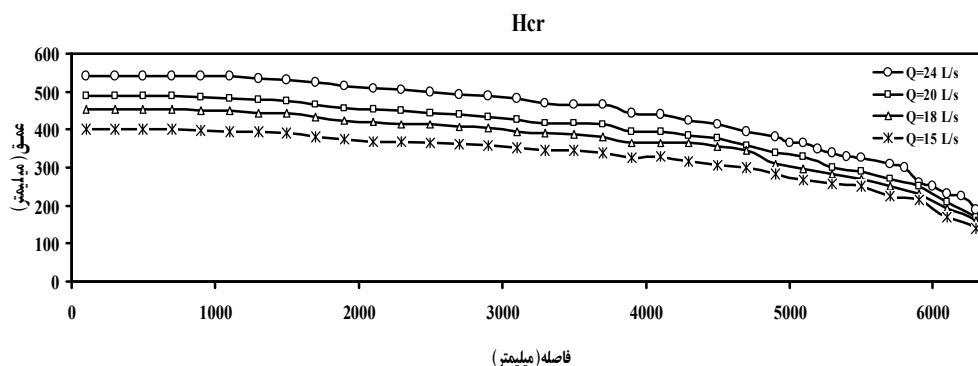
$$n = \frac{\nabla_v}{\nabla_B} \quad (3)$$

که در آن: n : تخلخل مصالح سنگریز، ∇_v : حجم منافذ و ∇_B : حجم کل (ذرات و منافذ) است. مقدار تخلخل مصالح سنگریز شکسته و گردگوشه مورد استفاده به‌ترتیب برابر ۵۲ و ۴۴ درصد تعیین شد. شایان ذکر است برای هر کدام از مصالح عملیات تعیین تخلخل سه بار تکرار و با متوسط‌گیری حسابی تخلخل میانگین تعیین شد.

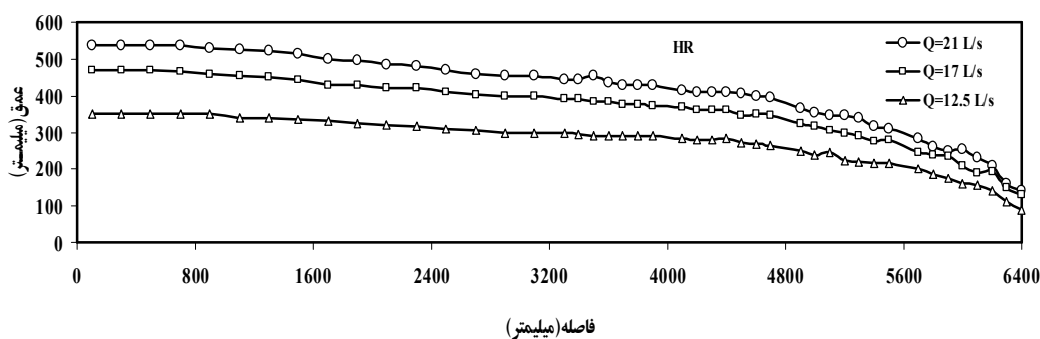
روش اجرای آزمایش

ابتدا مصالح سنگریز شسته و تمیز شدند تا در حین آزمایش ردیابی اختلالی در اندازه‌گیری غلظت ردیاب صورت نگیرد، سپس با استفاده از روش دستی مصالح مجزا و توسط جرثقیل به مخزن بالادست حمل و سپس به درون فلوم آزمایشگاهی منتقل شدند. پمپ تأمین آب روشن و در دبی موردنظر تنظیم شد و بعد از گذشت نیم ساعت که جریان به‌حالت ماندگار می‌رسید، قرائت مشخصه‌های جریان صورت می‌گرفت. دبی جریان با استفاده از جریان‌سنج الکترونیکی مستقر بر لوله تأمین آب اندازه‌گیری می‌شد. دبی‌سنج الکترونیکی به سیستم داده نگار متصل و داده‌ها با دقت ۱۰ قرائت در ثانیه برداشت می‌شد و سپس با روش میانگین‌گیری دبی جریان عبوری تعیین می‌شد. سامانه داده

محیط و منحنی‌الخط شدن پروفیل در انتهای زهکش می‌شود.



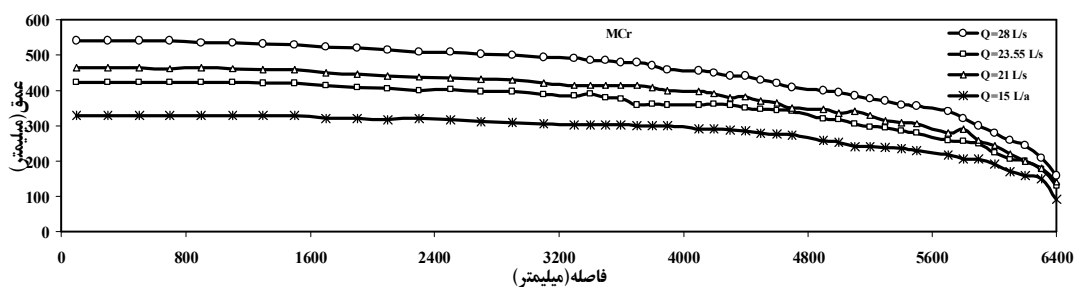
شکل ۲- پروفیل‌های جریان درون زهکش سنگریز با مصالح گوشه‌دار و شیب افقی



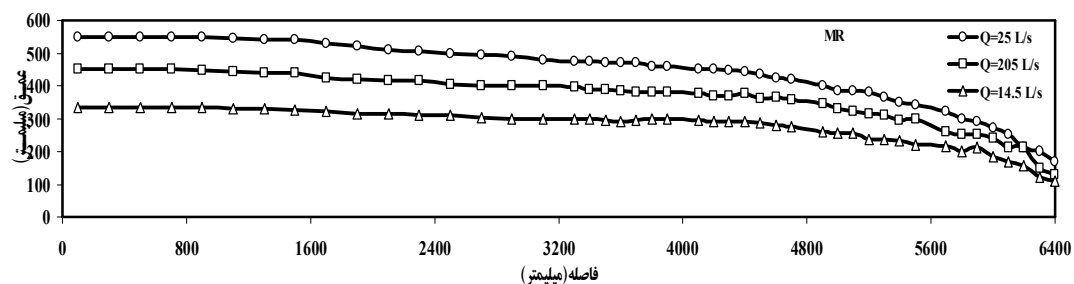
شکل ۳- پروفیل‌های جریان درون زهکش سنگریز با مصالح گردگوشه و شیب افقی

شکل‌های مذکور پروفیل‌های جریان را درحالتی نشان می‌دهند که شیب کف کانال ۴ درصد و مصالح شامل هر دو نوع گردگوشه و گوشه‌دار شکسته هستند. در این حالت رفتار کلی مشابه رفتار شیب افقی است با این تفاوت که با افزایش شیب به ۴ درصد، مقدار وزن جریان در راستای شیب افزایش یافته و در اثر همین افزایش وزن، دبی جریان افزایشی حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد داشته است. مشابه شیب افقی، در ابتدای کانال جریان یکنواخت تشکیل شده و در فواصل میانی پروفیل به صورت تدریجی کاهش می‌یابد تا اینکه در ربع چهارم پروفیل منحنی‌الخطی تشکیل می‌شود. تفاوتی که بین پروفیل‌های دو نوع مصالح وجود دارد این است که دبی جریان برای مصالح شکسته گوشه‌دار به مراتب بیشتر از دبی جریان در مصالح گردگوشه است که این امر به دلیل زیاد بودن تخلخل مصالح گوشه‌دار است. شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب پروفیل‌های جریان را برای شیب ۲۰/۳ درصد و دو نوع مصالح گردگوشه و گوشه‌دار نشان می‌دهند.

نکته مهمی که از مقایسه شکل‌های ۲ و ۳ مشهود است این است که در مصالح گوشه‌دار به دلیل اینکه تخلخل بیشتر از نوع گردگوشه است، بنابراین محیط ظرفیت بیشتری برای انتقال جریان دارد و براساس همین نکته دبی جریان برای مصالح گوشه‌دار بیشتر از مصالح گردگوشه است. پروفیل‌های جریان برای دبی‌های مختلف، متحدالشکل‌اند. قابل ذکر است وقتی که دبی جریان کم است پروفیل جریان یکنواخت در طول بیشتری از زهکش تشکیل می‌شود. بی‌تردید نیروی وزن جریان برای شیب افقی در راستای شیب ناچیز است و عامل اصلی حرکت اختلاف بار یا همان گرادیان هیدرولیکی است. به عبارت دیگر، برای یک طول ثابت برای دبی‌های بالاتر، گرادیان جریان بیشتر است و متعاقباً سرعت جریان افزایش می‌یابد. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب پروفیل‌های جریان را برای شیب ۴ درصد و دو نوع مصالح گردگوشه و گوشه‌دار نشان می‌دهند.



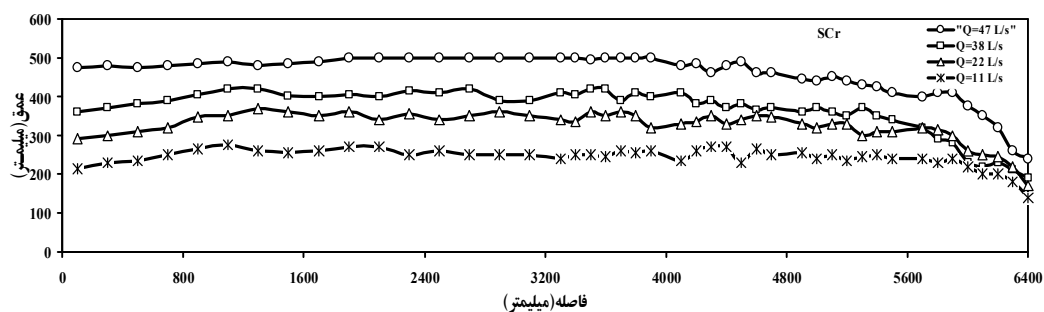
شکل ۴- پروفیل‌های جریان درون زهکش سنگریز با مصالح گوشه‌دار و شیب ۴ درصد



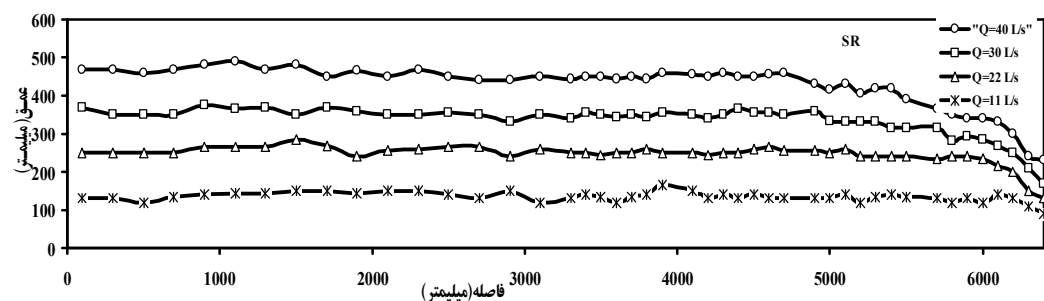
شکل ۵- پروفیل‌های جریان درون زهکش سنگریز با مصالح گردگوشه و شیب ۴ درصد

شیب بستر کانال زیاد است نیروی وزن جریان در راستای شیب قابل ملاحظه است و سینوس زاویه کف برای شیب ۲۰/۳ درصد (زاویه ۱۱/۳۰ درجه) در حدود ۰/۱۹۶ می‌باشد که رقمی قابل توجه است و در واقع با افزایش شیب، جریان مشابه جریان روی تنداب سرریزهای شیب‌دار عمل می‌کند.

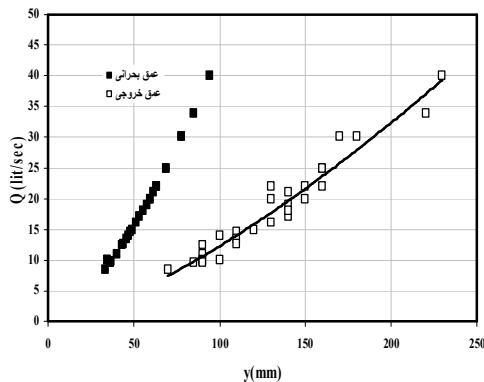
بررسی پروفیل جریان در شیب ۲۰/۳ درصد که شیبی قابل توجه است کمی مشکل‌تر از حالت‌های افقی و ۴ درصد است. با اندکی دقت در اشکال مذکور مشاهده می‌شود که پروفیل جریان تقریباً یکنواختی (با نوسانات سطحی) در هر دو مصالح گردگوشه و شکسته تشکیل شده است. وقتی که



شکل ۶- پروفیل‌های جریان درون زهکش سنگریز با مصالح گوشه‌دار و شیب ۲۰/۳ درصد



شکل ۷- پروفیل‌های جریان درون زهکش سنگریز با مصالح گردگوشه و شیب ۲۰/۳ درصد



شکل ۹- نتایج مشاهداتی و محاسباتی عمق خروجی از زهکش سنگریز برای مصالح گردگوشه

همان‌طور که شکل‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهند، اختلاف معنی‌داری بین نتایج حاصل از رابطه عمق بحرانی و عمق خروجی اندازه‌گیری شده وجود دارد، به طوری که نسبت عمق خروجی به عمق بحرانی محاسبه شده برای مصالح گوشه‌دار و گردگوشه به ترتیب ۲/۳ و ۲/۴ می‌باشد. بنابراین مشاهده می‌شود که عمق خروجی زهکش سنگریز معادل عمق بحرانی نیست و فرض استفنسون (۱۹۷۹) در این باره قابل اثبات نیست. برای تخمین عمق خروجی زهکش سنگریز با مقطع مستطیلی، رابطه زیر براساس مفهوم عمق بحرانی ارائه می‌شود:

$$y_c = \Gamma \sqrt[3]{\frac{q^2}{n^2 g}} \quad (۴)$$

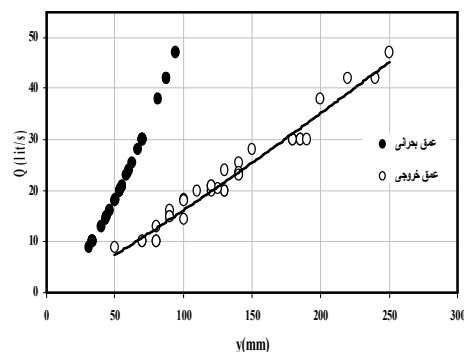
که در آن: Γ پارامتر واسنجی عمق خروجی نام‌گذاری می‌شود که مقدار آن به نوع مصالح بستگی دارد. بدین ترتیب که مقدار آن برای مصالح گوشه‌دار برابر با ۲/۳ و برای مصالح گردگوشه برابر با ۲/۴ است. در واقع از تقسیم مقادیر مشاهداتی عمق خروجی به مقادیر محاسباتی آن، مقدار Γ تعریف و تعیین شده است. مقدار Γ برای کانال‌های باز که فاقد مواد سنگریزند، برابر با یک است. دلیل تفاوت مقادیر Γ برای دو نوع مصالح این است که در مصالح گوشه‌دار، تخلخل محیط بیشتر بوده (۰/۵۲) و به مقدار واحد برای کانال‌های باز (تخلخل ۱۰۰ درصد) نزدیکتر است.

روش دیگر برای تخمین عمق خروجی از زهکش استفاده از روابط دبی-اشل است که در این رابطه برای دو نوع مصالح گوشه‌دار و گردگوشه به صورت به‌دست آمد:

با افزایش شیب، ظرفیت انتقال جریان افزایش می‌یابد که این امر در نتیجه شتاب گرفتن جریان و افزایش وزن در راستای شیب است. پدیده مهمی که در پروفیل جریان مربوط به این شیب مشاهده شد موجدار شدن سطح آب بود که به صورت ریز موجهای سینوسی و نوسانات قابل ملاحظه سطح آب بود. دلیل اصلی موجدار شدن سطح آب، برخورد جهت جریان با سرعت زیاد به سنگدانه‌ها بود. نکته مهم دیگر در مورد پروفیل شیب ۲۰/۳ درصد این بود که در ابتدای زهکش یک مقدار بالاروندگی در پروفیل مشاهده شد که بعداً به یک مقدار تقریباً ثابت می‌رسید. دلیل این رفتار این است که به علت شیب زیاد کانال، جریان تمایل دارد با حداکثر ظرفیت وارد محیط شود اما با مانعی به نام توده سنگریز برخورد می‌کند و سبب برآمدگی موضعی در پروفیل می‌شود.

عمق خروجی از زهکش سنگریز

عمق خروجی از زهکش یکی از مهمترین پارامترهای لازم برای مدل‌سازی عددی جریان درون نهشته‌های سنگریز است. اهمیت این عمق به این دلیل است که به عنوان شرط مرزی پایین دست به کار گرفته می‌شود. استفنسون (۱۹۷۹) معتقد است که عمق خروجی از زهکش معادل عمق بحرانی در محیط سنگریز است. صحت فرضیه استفنسون (۱۹۷۹) ارزیابی شد. به همین دلیل در تمامی حالات آزمایش عمق خروجی از زهکش با دقت هرچه تمامتر اندازه‌گیری و ثبت شده است. شکل‌های ۸ و ۹ نتایج حاصل از مشاهدات و محاسبات عمق خروجی از زهکش سنگریز به ترتیب برای مصالح گوشه‌دار و گردگوشه را نشان می‌دهند.



شکل ۸- نتایج مشاهداتی و محاسباتی عمق خروجی از زهکش سنگریز برای مصالح گوشه‌دار

- 2- Bari M. R. 1997. The Hydraulics of Buried Streams. M.Sc thesis, Department of Civil Engineering, Technical University of Nova Scotia, Halifax, NS, Canada.
- 3- Bari R. Hansen D. 2002. Application of gradually-varied Flow algorithms to simulate buried streams. Journal of Hydra. Res. (IAHR) 40(6):673-683
- 4- Bazargan J. Shoaie. S.M. 2006. Discussion on application of gradually-varied flow algorithms to simulate buried streams. Journal of Hydraulic Res. (IAHR) 44(1):138-141
- 5- Bear J. 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media. Elsevier Science, New York.
- 6- Hansen D. 1992. The behavior of flowthrough rockfill dams. Ph.D. thesis, Department of Civil Engineering, University of Ottawa, Ottawa, Ontario.
- 7- Hansen D., et al. 2006. Hydraulic performance and stability of coarse rockfill deposits. Water Management VOL. 158 Issue WM4:163-175
- 8- Henderson, F. M. 1966. Open Channel Flow. Macmillan Book Co. New York
- 9- Hosseini S.M. and Joy D.M. 2006. Calibration of Hydraulic Parameters for Flows Through Rockfill Structures. Dam Engineering, 17(2):85-111.
- 10- Hosseini S.M. 1997. Development of an Unsteady Non-Linear Model for Flow Through Coarse Porous Media. PhD Dissertation, University of Guelph, Canada.
- 11- Samani J.M.V. Samani H.M.V. and Shaiannejad M. 2004. Reservoir Routing with outflow through rockfill dams. IAHR Journal of Hydraulic Research. 42(4): 435-439.
- 12- Samani. HMV., Jamal M. V. Samani., and M Shaiannejad 2003. Reservoir Routing using Steady and Unsteady Flow through Rockfill Dams. Journal of Hydra. Eng (ASCE) Vol. 129(6):448-454
- 13- Stephenson D. 1979. rockfill in hydraulic Engineering. Elsevier Scientific, Amsterdam.
- 14- Wilkins J.K. 1956. Flow of water through rockfill and its application to the design of dams. Proceedings of the 2nd Australia-New Zealand Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Canterbury University College, Christchurch, New Zealand.

$$Q=0.093y_e^{1.121} \quad R^2=0.95 \quad (5)$$

$$Q=0.0195y_e^{1.4} \quad R^2=0.94 \quad (6)$$

که در آن: Q دبی خروجی (لیتر بر ثانیه) و y_e عمق خروجی از زهکش (میلیمتر) است. خاطر نشان می‌شود که روش دبی-اشل برای تحقیقات دیگر توصیه نمی‌شود، زیرا دارای بنیان تجربی است.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشگاهی حاصل از این پژوهش نشان داد که:

- در شیب‌های افقی و ملایم پروفیل جریان درون زهکش‌های سنگریز از تئوری جریان متغیر تدریجی پیروی می‌کند و پروفیل‌های فروآب (پایین افتادگی) به خوبی تشکیل می‌شوند. دلیل این امر برقراری تعادل بین نیروهای ثقل و مقاومت جریان است.
- در شیب‌های نسبتاً تند به علت زیاد بودن نیروی ثقل در راستای جریان، تئوری جریان متغیر تدریجی کمتر صادق است و پروفیل جریان تقریباً یکنواختی تشکیل می‌شود.
- بحرانی فرض کردن عمق خروجی از انتهای زهکش سنگریز قابل اثبات نبوده و استفاده از آن بیش از ۲۰۰ درصد خطا وارد محاسبات جریان متغیر تدریجی وارد می‌کند.
- به دلیل وجود خطای فاحش در محاسبه عمق بحرانی به عنوان شرط مرزی پایین دست، بهتر این است که از رابطه پیشنهادی مقاله یا روابط دبی - اشل همان آبراهه یا مجرا برای محاسبه عمق خروجی به عنوان شرط مرزی پایین دست استفاده شود.

منابع

- ۱- بازرگان ج. و بیات ح. ۱۳۸۶. تعیین ضرایب معادله غیر خطی جریان در پی‌های آبرفتی درشت دانه. مجله علمی پژوهشی استقلال. ۲۱: (۱): ۱۰۱-۱۱۲.