

بررسی آزمایشگاهی ضریب زبری جریان در پروفیل‌های طولی تشکیل شده درون محیط پاره‌سنگی

جعفر چابک‌پور*، امیر صمدی و مهرنوش مریخی**

*نگارنده مسئول: دانشکده فنی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران، تلفن: ۰۴۱)۳۷۲۷۶۰۶۸، پیام‌نگار: j.chabokpour@matragheh.ac.ir

**به‌ترتیب: استادیار دانشکده فنی، دانشگاه مراغه؛ استادیار؛ و دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده فنی، دانشگاه

بین‌المللی امام‌خمنی، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۹

چکیده

مصالح سنگریزه‌ای به‌وفور در ساخت سازه‌های آبی کاربرد دارند. رژیم جریان عبوری اغلب غیرداریسی است و درباره نحوه محاسبه ضریب‌های زبری جریان قبلاً پژوهش شده است. بیشتر محققان پیشین با استفاده از ایجاد ارتباط بین عدد رینولدز و ضریب زبری در دو فرم توانی و دو جمله‌ای این مسئله را ارزیابی کرده‌اند. در این تحقیق آزمایشگاهی، با استفاده از دو نوع سنگ‌دانه با قطرهای $d_{50} = 1.6\text{cm}$ و $d_{50} = 1.1\text{cm}$ و سه دبی در واحد عرض و همچنین سه گرادیان هیدرولیکی، پارامترهای موثر در ضریب زبری جریان عبوری بررسی گردید. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که برخلاف آنچه محققان پیشین گفته‌اند در جریان‌های عبوری از محیط‌های سنگریزه‌ای دارای سطح آزاد با هوا، پارامتر عدد فرود، نسبت به پارامتر عدد رینولدز، ارتباط بهتری با ضریب‌های زبری برقرار می‌کند. همچنین، مشاهده گردید که به‌دلیل تشکیل پروفیل (M2) درون محیط متخلخل درشت‌دانه، مساحت درگیر جریان در طول پروفیل به‌سمت خروجی محیط متخلخل کاهش پیدا می‌کند و ضریب زبری اعمالی از سوی سنگدانه‌ها نیز عملاً کاهش می‌یابد. مقادیر عددی محاسبه شده برای ضریب‌های زبری جریان‌های کاملاً درون‌گذر، در قیاس با جریان‌های با سطح آزاد، بسیار بیشتر است و سرانجام روابطی به فرم توانی بین اعداد بدون بعد فرود، نسبت هندسی عمق به قطر محیط، و ضریب‌های زبری در دو فرم زبری مانینگ و داریسی-ویسباخ برقرار گردید. با استفاده از روابط پارامترهای ابعادی و ترکیب اعداد بدون بعد فرود و نسبت هندسی عمق جریان به قطر محیط متخلخل، روابطی نیز برای تخمین ضرایب زبری ارائه شد که برای تخمین ضریب‌های مانینگ و داریسی-ویسباخ به ترتیب دارای خطای نسبی ۱۴ و ۲۶ درصد است.

واژه‌های کلیدی

پروفیل طولی جریان، جریان غیرداریسی، ضریب زبری جریان، محیط پاره‌سنگی

مقدمه

می‌کاهد. در هیدرولیک مجاری روباز به‌طور متداول سه ضریب وجود دارد که میزان مقاومت در برابر جریان با آنها بیان می‌شود: الف) ضریب زبری داریسی ویسباخ، ب) ضریب زبری مانینگ و پ) ضریب زبری شزی. محققان مختلف میزان مقاومت در مقابل جریان را معمولاً به چندین بخش از جمله مقاومت بستر، مقاومت مقطع کانال، مقاومت

یکی از موضوع‌های مهم در زمینه جریان داخل محیط‌های متخلخل درشت‌دانه، نحوه ارتباط ضریب اصطکاک جریان با مشخصات جریان است که در گذشته محققانی آن را بررسی کرده‌اند. در مجاری روباز، زبری کانال را مشخصه‌ای می‌شناسند که از سرعت عمومی جریان

محیط‌های متخلخل درشت‌دانه است (Sedghi-Asl & Rahimi, 2011).

$$f = aRe^b \quad (۲)$$

$$f = \frac{a_1}{Re} + b_1 \quad (۳)$$

که در آن،

a ، b ، a_1 و b_1 ضریب‌های رگرسیون روابط هستند که وابسته‌اند به شرایط جریان و مشخصات محیط متخلخل.

تعدادی از محققان با برقراری تشابه بین جریان عبوری از درون لوله‌ها و جریان عبوری از منافذ محیط‌های متخلخل درشت‌دانه و مطابق با آنچه در سابقه تحقیقات جریان در لوله‌ها وجود دارد، بین فاکتور اصطکاک داری-ویسباخ و عدد رینولدز رابطه‌ای برقرار کرده‌اند. احمد و سونادا (Ahmed & Sunada, 1969) از طریق بی‌بعد کردن معادله ناویر-استوکس، به‌عنوان رابطه‌ی اساسی جریان، به گروه‌های بدون بعد فاکتور اصطکاک و عدد رینولدز دست یافتند.

در نظر گرفتن فقط یک مقدار برای قطر متوسط سنگدانه‌های محیط متخلخل، تخمینی درست از محدوده اندازه سنگدانه‌های محیط ارائه نمی‌دهد، از این‌رو هررا و فلتون (Herrera & Felton, 1991) مفهوم انحراف معیار هندسی اندازه سنگدانه‌ها (σ) را نیز (مطابق با رابطه ۶) وارد تعریف عدد رینولدز کردند و با استفاده از $(d - \sigma)$ به‌جای d در روابط داری-ویسباخ، روابط ۴ تا ۷ را ارائه دادند.

$$Re = \frac{d - \sigma}{g} \left(\frac{V}{n}\right) \quad (۴)$$

$$\frac{\Delta h}{L} = \frac{f}{g(d - \sigma)} \left(\frac{V}{n}\right)^2 \xrightarrow{\text{yields}} f = \frac{igd}{\left(\frac{V}{n}\right)^2} \quad (۵)$$

پوشش گیاهی و مقاومت ذرات رسوبی تقسیم می‌کنند ولی در حالت کلی از یک ضریب برای بیان مقاومت کل جریان استفاده می‌شود که بیانگر ارزیابی کلی از تمامی فاکتورهای گفته شده باشد. روابط ضریب‌های زبری از طریق معادلات مختلف سرعت متوسط به هم ارتباط دارند و به‌صورت رابطه ۱ بیان می‌شوند (Julien, 2008).

$$\frac{V}{u_*} = \frac{V_n}{(gRs_f)^{0.5}} = \frac{C}{\sqrt{g}} = \sqrt{\frac{8g}{f}} = \frac{R^{1/6}}{n_m \sqrt{g}} \quad (۱)$$

که در آن،

V = سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)؛ u_* = سرعت برشی (متر بر ثانیه)؛ g = گشتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)؛ C = ضریب شزی (متر به توان نیم بر ثانیه)؛ f = ضریب داریسی ویسباخ (بدون بعد)؛ R = شعاع هیدرولیکی (متر)؛ n_m = ضریب زبری مانینگ (ثانیه بر متر به توان یک سوم)؛ h = عمق جریان در طول پروفیل (متر)؛ و S_f = شیب خط انرژی (بدون بعد).

جریان‌های عبوری از محیط‌های سنگریزه‌ای، به‌دلیل بزرگ بودن اندازه منافذ و تولید اعداد رینولدز بالا و نیز به‌دلیل اعمال زبری‌های ناشی از جدار و اعوجاج سنگدانه‌ها، در محدوده جریان‌های متلاطم زبر واقع شده‌اند. یکی از مهمترین مباحث در هیدرولیک جریان‌های درون‌گذر از مصالح سنگریزه‌ای درشت‌دانه، محاسبه میزان زبری اعمال شده از طرف محیط متخلخل به جریان است و به‌همین دلیل تعدادی از محققان به بررسی ضریب زبری چنین محیط‌هایی پرداخته‌اند (Chabokpour et al., 2013).

جریان درون محیط‌های متخلخل درشت‌دانه به دو صورت بررسی می‌شوند: جریان مجاری روباز و جریان تحت فشار؛ و اکثر ضریب‌های زبری تولید شده توسط محققان مختلف به دو فرم متداول توانی و درجه دوم و بین ضریب داریسی ویسباخ و عدد رینولدز جریان (روابط ۲ و ۳) هستند که این خود ناشی از نگاه تحت فشار به جریان درون

بررسی آزمایشگاهی ضریب زبری جریان در پروفیل‌های...

$$f = \frac{98}{Re} + 3 \quad (10)$$

$$f = 8.7 \times Re^{-0.017} \quad (11)$$

شایان‌نژاد (Shayannejad, 2000) به بررسی عددی یک و دو بعدی شرایط جریان درون محیط‌های سنگدانه‌ای پرداخت و با ایجاد یک شبکه پیزومتر در زیر محیط متخلخل داده‌ای فشاری را در نقاط مختلف برداشت و با روش‌های حل عددی معادلات استخراجی خود را تحلیل کرد. این محقق دو رابطه بین ضریب زبری داری-ویسباخ و عدد رینولدز برای جریان‌های یک و دوبعدی به ترتیب مطابق با روابط ۱۲ و ۱۳ ارائه داد.

$$f = 54 \times Re^{-0.077} \quad (12)$$

$$f = 80 \times Re^{-0.034} \quad (13)$$

حسینی (Hosseini, 1997) معادلات تجربی مورد استفاده برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی جریان غیرخطی از محیط‌های متخلخل درشت‌دانه را ارزیابی کرد و با استفاده از سه نوع مصالح آزمایشگاهی و ارزیابی آماری مشخصات هندسی سنگدانه‌ها این‌طور نتیجه گرفت که معادلاتی که در آنها اطلاعات مرتبط با زبری و شکل سنگدانه‌ها لحاظ شده‌اند به نتایج خوبی در تخمین پارامترهای جریان درون محیط متخلخل می‌انجامند.

صدقی‌اصل و رحیمی (Sedghi-Asl & Rahimi, 2011) رابطه ۱۴ را برای ارتباط فاکتور اصطکاکی-عدد رینولدز سنگدانه‌های گرد گوشه رودخانه‌ای پیشنهاد کردند.

$$f = \frac{189}{Re} + 0.64 \quad (14)$$

این محققان با کاربرد رابطه مانینگ برای جریان درون محیط‌های متخلخل دریافتند که ضریب زبری مانینگ برای

$$\sigma = \left[\frac{\sum (d - d_i)^2 P_i}{\sum P_i} \right]^{0.5} \quad (6)$$

$$d = \frac{\sum d_i P_i}{\sum P_i} \quad (7)$$

که در آن‌ها،

σ = انحراف معیار هندسی سنگدانه‌ها؛ d = میانگین وزنی قطر سنگدانه‌ها؛ Δh = بار آبی موجود روی محیط متخلخل؛ L = طول محیط؛ P_i = درصد وزنی ذرات با قطر d_i ؛ و f = فاکتور اصطکاک داری-ویسباخ.

قاضی‌مرادی و معصومی (Ghazi-Moradi & Masumi, 1995) روی محیط‌های متخلخل درشت‌دانه با سنگدانه‌های شکسته شده و گوشه‌دار با قطرهای ۴/۲ تا ۱۰/۵ سانتی‌متر به آزمایش‌هایی دست زدند و رابطه ۸ را بین ضریب زبری داری-ویسباخ و عدد رینولدز ارائه دادند.

$$f = \frac{4670}{Re} + 14.4 \quad (8)$$

کرکی (Korki, 1997) برای تعیین رابطه بین ضریب زبری داری-ویسباخ و عدد رینولدز جریان‌های عبوری از محیط‌های پاره‌سنگی به آزمایش پرداخت. قطرهای سنگدانه مورد استفاده در این آزمایش‌ها در محدوده ۵/۶۲۵-۹/۳۷۵ سانتی‌متر و دارای انحراف معیارهای صفر تا ۱/۸ سانتی‌متر بود. این محقق سرانجام رابطه ۹ را برای ضریب زبری جریان‌های صاف عبوری ارائه داد.

$$f = \frac{15000}{Re} + 7.855 \quad (9)$$

لی و همکاران (Li et al., 1998) با استفاده از داده‌های آزمایشی هنسن (Hansen, 1992) و هنسن و همکاران (Hansen et al., 1995) در دانشگاه اوتاوا^۱ روی سنگدانه‌هایی با قطرهایی در محدوده ۱/۶ تا ۴ سانتی‌متر، روابط ۱۰ و ۱۱ را بین فاکتور اصطکاکی و عدد رینولدز ارائه دادند.

$$f = \frac{204}{Re \times \lambda^{0.001}} \quad (17)$$

که در آن‌ها،

$\lambda = \frac{d}{d_s}$ = نسبت قطرهای محیط متخلخل (d) به قطر متوسط رسوبات (d_s).

چابک‌پور و همکاران (Chabokpour *et al.*, 2013) با جمع‌آوری تعدادی از داده‌های در دسترس محققان قبلی برای جریان‌های درون‌گذر از مصالح درشت‌دانه در دو حالت جریان صاف و حاوی رسوب و همچنین با استفاده از روابط اساسی زبری جریان و مشخصات سنگدانه‌ها چندین رابطه برای تخمین ضریب زبری ارائه دادند و پس از مقایسه آنها با یکدیگر نتیجه گرفتند که رابطه‌های ۱۸ و ۱۹ به‌ترتیب برای جریان‌های صاف درون‌گذر و جریان‌های حاوی رسوب درون‌گذر خطای کمتری در تخمین ضریب زبری دارند.

$$n_m = 0.0057n \left(\frac{n}{1-n} \right)^{-0.181} d^{-0.181} i^{-0.259} \quad (18)$$

$$n_m = 0.1926n \left(\frac{n}{1-n} \right)^{-0.1064} d^{-0.1064} i^{0.187} \quad (19)$$

که در آن‌ها،

n_m = ضریب زبری مانینگ؛ n = تخلخل محیط پاره‌سنگی؛
 d = قطر میانه سنگدانه‌های محیط متخلخل؛ و i = گرادیان هیدرولیکی روی محیط.

صالحی و همکاران (Salahi *et al.*, 2015) با اجرای یک سری آزمایش در ستون‌های تحت فشاری از محیط‌های سنگدانه‌ای با ۶ قطر مختلف و در دو حالت سنگدانه‌های گردشده و شکسته‌شده، به بررسی روابط مختلف ارائه شده در زمینه گرادیان هیدرولیکی جریان‌های غیرداریسی پرداختند و نتیجه‌گیری کردند که بین گرادیان هیدرولیکی و سرعت منفذی جریان رابطه‌ای غیرخطی برقرار می‌شود. این محققان بین گرادیان هیدرولیکی و سرعت منفذی رابطه‌ای تجربی نیز ارائه دادند و آن را با روابط تعدادی از

جریان متلاطم کاملاً توسعه یافته به مقداری ثابت می‌رسد. آنها همچنین رابطه ۱۵ را به‌صورت کلی پیشنهاد کردند که با آزمایش می‌توان ضریب‌های آن را واسنجی کرد. مزیت این رابطه، سهولت و قابلیت تبدیل آن به روابط توانی و درجه دوم است.

$$n_m^2 = d + \frac{b'}{Re} \quad (15)$$

که در آن،

Re = عدد رینولدز جریان؛ n_m = ضریب زبری مانینگ محیط متخلخل؛ و d و b' = ضریب‌های رگرسیونی معادله‌اند.

ملک‌نژاد یزدی (Maleknejad-Yazdi, 2011) با استفاده از چهار قطر سنگدانه و سه قطر رسوبات به بررسی ضریب زبری جریان حاوی رسوبات از محیط‌های متخلخل درشت‌دانه پرداخت و نتیجه‌گرفت که روابطی که پژوهشگران پیشین برای جریان‌های صاف خروجی از محیط‌های پاره‌سنگی ارائه داده‌اند در جریان‌های حاوی رسوبات کارایی لازم را ندارند و وجود این رسوبات در حالت کلی ضریب‌های زبری را افزایش می‌دهد. وی همچنین اشاره می‌کند که مقدار ضریب زبری دارسی ویسباخ برای جریان‌های عبوری از محیط‌های پاره سنگی بسیار بیشتر از مقدار ضریب زبری دارسی ویسباخ برای جریان‌های با سطح آزاد است. این محقق سرانجام برای تخمین ضریب زبری دارسی-ویسباخ جریان‌های حاوی رسوبات و عبوری از محیط‌های پاره‌سنگی، دو رابطه ۱۶ و ۱۷ را ارائه داد که رابطه ۱۶ برای قطرهای کوچک سنگدانه (قطر متوسط ۵ سانتی‌متر و انحراف از معیارهای ۱ و ۲ سانتی‌متر) و رابطه ۱۷ برای قطرهای بزرگتر (قطر متوسط ۱۲ سانتی‌متر و انحراف از معیارهای ۱ و ۲ سانتی‌متر) کاربرد دارد.

$$f = \frac{66000}{Re^{0.9} \times \lambda^{0.1}} \quad (16)$$

مشخصات هیدرولیکی وابسته‌تر باشد فرآیند محاسبه ضریب‌های زبری ساده‌تر خواهد بود. از این رو سعی گردید تا با تحقیق آزمایشگاهی، داده‌های پروفیل جریان برداشت و ضریب‌های زبری در فرم‌های ضریب‌های زبری مانینگ و داری - ویسباخ در طول پروفیل بررسی شود.

مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی و روش اجرای آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۸۰ سانتی‌متر، عرض ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر اجرا شد. در این آزمایش از سنگدانه‌هایی با دو قطر متوسط ۱/۱ و ۱/۶ سانتی‌متر استفاده شد. برای اندازه‌گیری تخلخل نمونه‌های سنگدانه‌ای به کار رفته در آزمایش‌ها، یک بشر دو لیتری از مصالح سنگریز پر شده و سپس با آب اشباع گردیده و حجم آب لازم برای اشباع نمودن آن اندازه‌گیری گشته و در نهایت با استفاده از رابطه ۲۰ تخلخل سنگدانه‌ها محاسبه شد.

$$n = \frac{v_v}{v_t} \quad (20)$$

که در آن،

n = تخلخل سنگدانه‌ها؛ V_v = حجم منافذ؛ و V_t = حجم کل.

تخلخل برای سنگدانه‌های با قطر ۱/۱ سانتی‌متر برابر با ۴۲ درصد و برای سنگدانه‌های با قطر متوسط ۱/۶ سانتی‌متر ۴۴ درصد تعیین شد. یادآوری می‌شود که حجم منافذ بین سنگدانه‌ها متأثر از فرآیندهای اتفاقاتی در زمان ریزش سنگدانه‌هاست، از این رو آزمایش‌های تعیین تخلخل سنگدانه‌ها برای هر قطر سنگدانه ۵ بار تکرار و میانگین اعداد به‌دست آمده به‌عنوان تخلخل در نظر گرفته شد. فلوم به‌کار گرفته شده در این آزمایش‌ها دارای کف افقی است و با تغییر دبی ورودی و ایجاد سرریز در انتهای محیط متخلخل (شکل ۳)، گرادیان‌های هیدرولیکی متفاوتی روی

محققان مقایسه و کارایی رابطه خود را اثبات و با برقراری رابطه بین عدد رینولدز و ضریب زبری مشاهده کردند که ضریب زبری با افزایش عدد رینولدز برای هر دو نوع مصالح کاهش می‌یابد و به مقداری ثابت میل می‌کند.

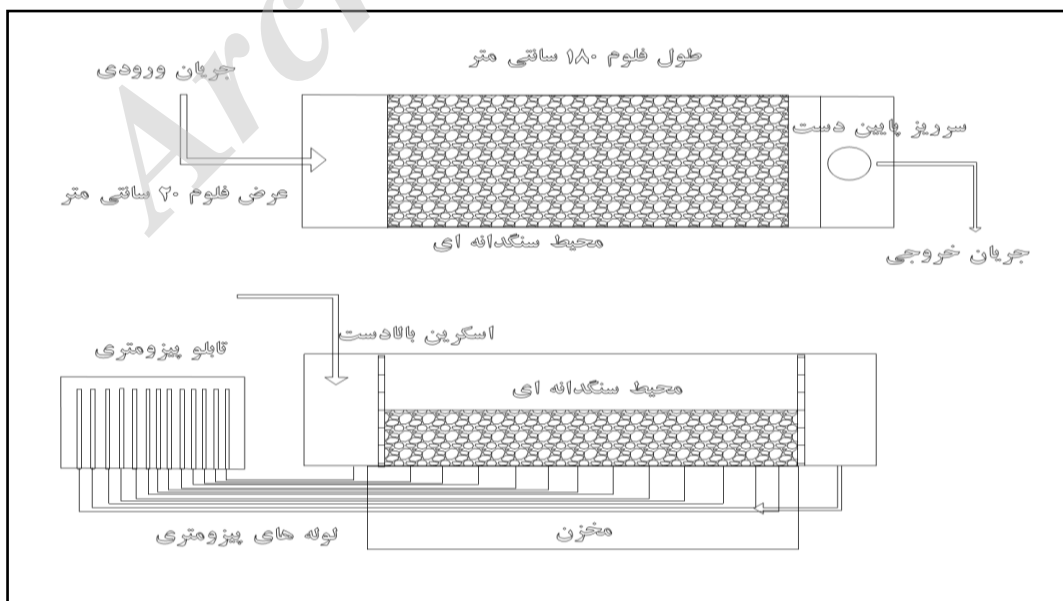
صدقی اصل و انصاری (Sedghi-Asl and Ansari, 2016) یک حل تحلیلی برای جریان‌های آزاد با فرضیات دوپوئی - فرشهایمر انجام دادند و نتایج به‌دست آمده را به‌صورت بدون بعد ارائه دادند. این دو محقق پس از آن برای آزمون دقت حل انجام شده نتایج را با یک سری داده آزمایشگاهی مقایسه و سرانجام نتیجه‌گیری کردند که حل تحلیلی انجام شده قابلیت محاسبه پروفیل جریان درون محیط‌های سنگدانه‌ای را دارد.

با نگاهی به تحقیقات پیشین در خصوص ضریب‌های زبری جریان درون‌گذر عبوری از محیط متخلخل نتیجه‌گیری می‌شود که بسیاری از محققان به بررسی ضریب زبری جریان‌های عبوری از محیط‌های متخلخل درشت‌دانه پرداخته‌اند ولی اکثر منابع بررسی شده در این تحقیق به استخراج یک ضریب کلی بسنده کرده اما تغییرات این ضریب را در طول پروفیل جریان عبوری بررسی نکرده‌اند. در حالت کلی می‌توان گفت که در جریان‌های درون‌گذر دارای سطح آزاد مقدار ضریب زبری جریان تابعی از مساحت سطح درگیر سنگدانه‌ها در یک مقطع عرضی است و این سطح با حرکت به سمت خروجی جریان پیوسته در حال کاهش است و به‌همین دلیل می‌توان گفت که مقدار ضریب‌های زبری در طول پروفیل می‌تواند کاهش یابد (Chabokpour & Amiri-Tokaldany, 2016). همچنین، در تحقیقات قبلی، بیشتر شرایط و خصوصیات هندسی سنگدانه‌ها برای استخراج ضریب‌های زبری به‌کار گرفته شده‌اند که این امر وابستگی رابطه استخراجی را به مشخصات سنگدانه‌ها بیشتر و روند مجاسبات را سخت‌تر کرده‌است. می‌توان گفت که روابط استخراج شده به‌جای مشخصات سنگدانه‌ها هرچه به

محیط متخلخل اعمال گردید. سه دبی ۰/۲۱، ۰/۲۸ و ۰/۳۷ لیتر بر ثانیه بر محیط‌های سنگدانه‌ای اعمال و از سرریزهای مستطیلی به ارتفاع‌های ۶، ۱۰ و ۱۴ سانتی‌متر (شکل ۳) به‌منظور ایجاد گرادیان‌های مختلف هیدرولیکی استفاده شد. در خلال آزمایش‌ها نیز همواره حالت درون‌گذر جریان حفظ گردید. برای حفظ حالت درون‌گذر، دبی تا مقداری افزایش یافت که ارتفاع آب در بالادست محیط متخلخل از ارتفاع محیط متخلخل بیشتر نشود. داده‌های برداشت شده شامل داده‌های پروفیل طولی هستند که با اعمال دبی‌ها و گرادیان‌های هیدرولیکی مختلف روی محیط متخلخل، درون آن شکل می‌گیرند و با شبکه پیزوتری موجود در زیر محیط متخلخل برداشت می‌گردند. در حین اجرای آزمایش‌ها، از تابلو پیزومتری مربوط به محیط متخلخل عکس‌برداری شده است؛ عکس‌ها با استفاده از نرم‌افزار Plot Digitizer رقومی و داده‌های پروفیل استخراج گردیده است. در شکل ۱ نمای کلی فلوم و محیط متخلخل مورد استفاده نشان داده شده و در شکل ۲ نمای شماتیک فلوم آزمایشگاهی ارائه شده است.



شکل ۱- فلوم و محیط متخلخل مورد استفاده در آزمایش



شکل ۲- نمای شماتیک فلوم آزمایشگاهی

جریان داخل محیط متخلخل، با استفاده از شبکه پیزومتری که در زیر فلوم ایجاد شده بود پروفیل طولی جریان برداشت شد. شبکه پیزومتری ایجاد شده، به طول ۱/۳ متر، هم‌اندازه با طول محیط متخلخل بود و فواصل طولی پیزومترها نیز ۱۰ سانتی‌متر تنظیم گردید.



شکل ۳- قرارگیری سرریز در انتهای محیط پاره‌سنگی به منظور اعمال گرادیان

در این آزمایش، سنگدانه‌ها پس از دانه‌بندی با الک و شستشو، به داخل فلوم آزمایشگاهی ریخته شد که از دو طرف با دیوارهای قائم توری مهار شده بود. پس از آن، با تنظیم شیر ورودی جریان که از قبل کالیبره شده بود دبی مورد نظر از هر یک از محیط‌های متخلخل به صورت جداگانه عبور داده شد. پس از پایدار شدن پروفیل

جریان را بر اساس این عمق متوسط محاسبه می‌کردند. ولی در این تحقیق به دلیل لحاظ کردن اعماق و سرعت‌های جریان در مقاطع مختلف محیط پاره‌سنگی در طول پروفیل (M2) تشکیل شده درون آن از رابطه ۱ که رابطه کلی مربوط کننده پارامترهای جریان به همدیگر است، استفاده گردید با این تفاوت که سرعت لحاظ شده در محاسبات، سرعت واقعی یا سرعت منفذی عبوری جریان است و عبارت است از حاصل تقسیم سرعت ظاهری در مقطع عرضی بر تخلخل محیط پاره‌سنگی (رابطه ۲۱).

$$V_n = \frac{V}{n} \quad (21)$$

از رابطه ۱ برای هر مقطع عرضی و در دبی‌های مختلف ضریب‌های زبری محاسبه و سپس سعی شد تا بین این ضریب و اعداد بدون بعد جریان یا محیط متخلخل روابطی ارائه گردد تا مشخص شود کدام یک از این پارامترهای

مبنای تئوری و اعداد بدون بعد مورد استفاده در تحقیق در اکثر رابطه‌های ارائه شده در تحقیقات پیشین، برای ضریب‌های زبری محیط متخلخل، ضریب زبری با عدد رینولدز مرتبط شده و به صورت تابعی از آن نمایش داده شده است. از این رو یکی از هدف‌های این تحقیق، آزمون ارتباط ضریب زبری با پارامترهای بدون بعد جریان یا محیط متخلخل در طول یک پروفیل است تا روشن شود آیا، همانند آنچه محققان قبلی اشاره کرده‌اند، در طول پروفیل جریان درون‌گذر نیز ضریب زبری با همبستگی بالا تابعی از عدد رینولدز هست یا نه. همچنین، سعی گردیده است تا هر دو ضریب زبری مانینگ و دارسی-ویسباخ مورد مطالعه قرار گیرند. محققان قبلی از جمله هررا و فلتون (Herrea & Felton, 1991) و قاضی‌مرادی و معصومی (Ghazi-Moradi & Masumi, 1995) همواره بدون لحاظ کردن پروفیل جریان درون محیط متخلخل از عمق متوسط تشکیل شده درون محیط متخلخل استفاده و ضریب زبری

مانینگ، دارسی-ویسباخ و عدد فرود به ترتیب در روابط ۲۲ و ۲۳ ارائه شده است.

$$n_m = \frac{0.126}{Fr^{0.528}} \quad (22)$$

$$f = \frac{1.184}{Fr^{0.96}} \quad (23)$$

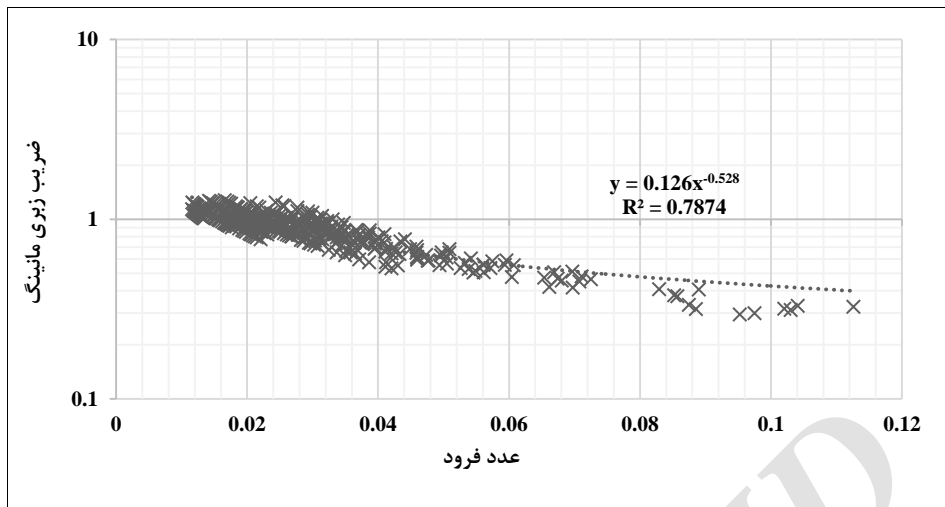
نکته مهم و اساسی برای محاسبه ضریب زبری درون محیط‌های متخلخل درشت‌دانه، داشتن روشی برای محاسبه دقیق پروفیل سطح آب است. گفتنی است که محاسبه پروفیل سطح آب و ضریب زبری، هر دو، به هم وابسته‌اند و این موضوع مهم روند آزمون و خطا را طلب می‌نماید. با توجه به تحقیقات نگارنده در خصوص پروفیل‌های جریان درون محیط‌های متخلخل درشت‌دانه که به صورت جریان با سطح آزاد عمل می‌کنند، می‌توان گفت که رابطه جریان متغیر تدریجی برای این پروفیل‌ها قابل اعمال خواهد بود و برای حل آن هم می‌توان از تکنیک‌های مختلف عددی و تحلیلی استفاده کرد. اما با توجه به یافته‌های اخیر، روش عددی رانگ‌کوتا مرتبه ۴ تقریباً برای تمامی نقاط پروفیل، به جز نقاط ابتدایی آن که شیب پروفیل سطح آب زیاد است، قابل اعمال خواهد بود و دقت مطلوبی را ارائه می‌کند. برای ابتدای پروفیل نیز می‌توان از روش اویلر اصلاح شده استفاده کرد که تعداد نقاط درگیر در آن کمتر است. این عمل باعث می‌شود که خطای اعمال شده در محاسبات به واسطه شیب زیاد پروفیل در ابتدای پروفیل (نقطه خروجی جریان) به بقیه نقاط پروفیل تسری نیابد (Chabokpour & Amiri-Tokaldany, 2016).

بدون بعد ارتباط مناسبی با ضرایب زبری برقرار می‌کند. اعداد بدون بعد هندسی و هیدرولیکی استفاده شده شامل $(\frac{h}{d_{50}})$ ، (Re) ، (Fr) و $\frac{V_n}{u_*} = \frac{V_n}{(gh_{sf})^{0.5}}$ هستند که جزئیات آنها قبلاً در رابطه ۱ معرفی شده است. این اعداد با استفاده از روابط اساسی هیدرولیک برای جریان‌های ماندگار و یکنواخت استخراج شده‌اند که برای جریان‌های ماندگار متغیر تدریجی نیز کاربرد دارند. روابطی که از طریق آنها این اعداد بدون بعد استخراج شده‌اند شامل روابط سرعت مانینگ، افت طولی دارسی ویسباخ و رابطه تنش کل هستند. همچنین، پارامتر $(\frac{h}{d_{50}})$ در اکثر روابط هیدرولیکی برای محاسبه پروفیل‌های طولی به کار گرفته شده است.

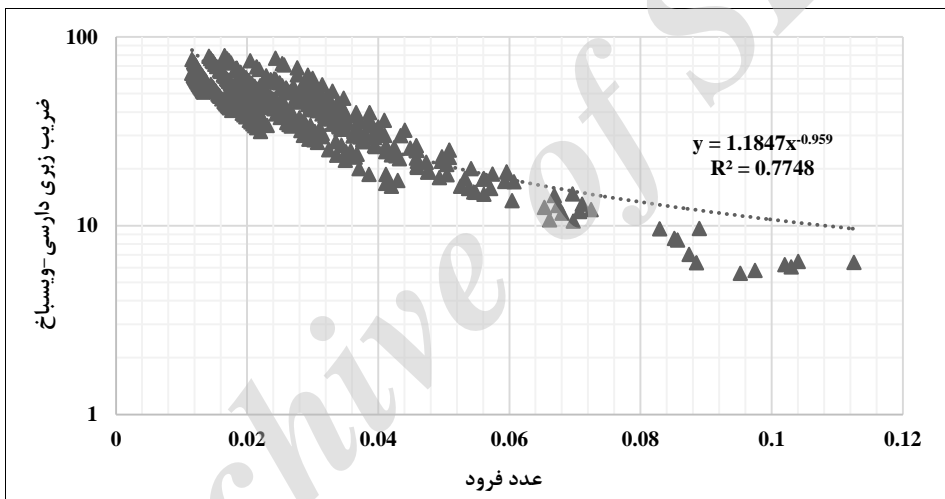
نتایج و بحث

با توجه به موارد گفته شده در بخش قبلی، ابتدا سعی گردید تا مشخص شود که در طول پروفیل (M2) عبوری از درون محیط پاره‌سنگی کدامیک از اعداد بدون بعد Fr و Re ارتباط مناسب‌تری با ضریب‌های زبری برقرار می‌کند؛ به همین دلیل دیاگرام‌های (۴، ۵ و ۶) رسم و روابط توانی و دوجمله‌ای مرتبط‌کننده ضریب‌های زبری و اعداد فرود و رینولدز استخراج گردید. مشخص شد که برخلاف آنچه پیشتر اشاره گردیده است در جریان‌های درون‌گذر عبوری از محیط پاره‌سنگی که سطح آزاد دارند، عدد فرود همبستگی بهتری با ضریب‌های زبری مانینگ و دارسی-ویسباخ برقرار می‌کند همچنین، عدد رینولدز در طول هر پروفیل به طور مجزا ارتباط خوبی با ضریب زبری برقرار می‌کند ولی به صورت کلی و در تمامی پروفیل‌ها این ارتباط خوب دیده نمی‌شود (شکل ۶). روابط توانی استخراج شده (حاصل از برقراری رگرسیون) بین ضریب‌های زبری

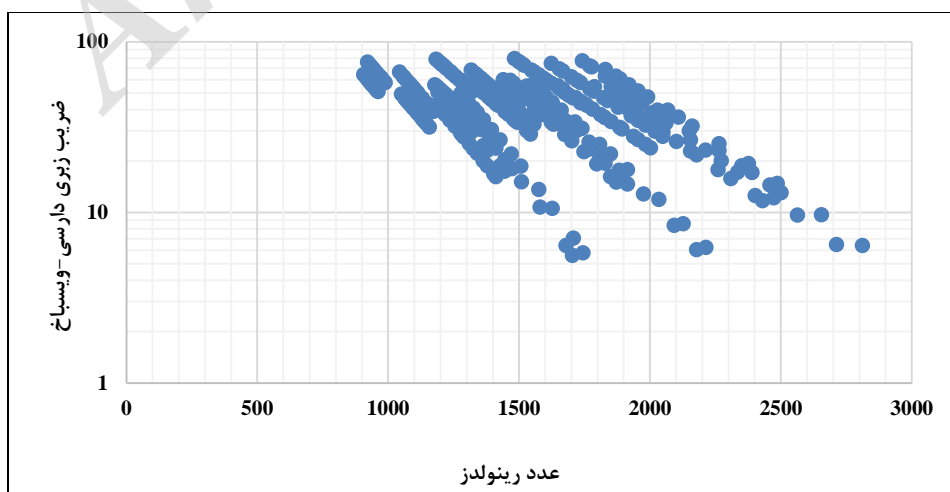
بررسی آزمایشگاهی ضریب زبری جریان در پروفیل‌های...



شکل ۴- عدد فرود جریان در مقابل ضریب مانینگ



شکل ۵- عدد فرود جریان در مقابل ضریب زبری دارسی-ویسباخ



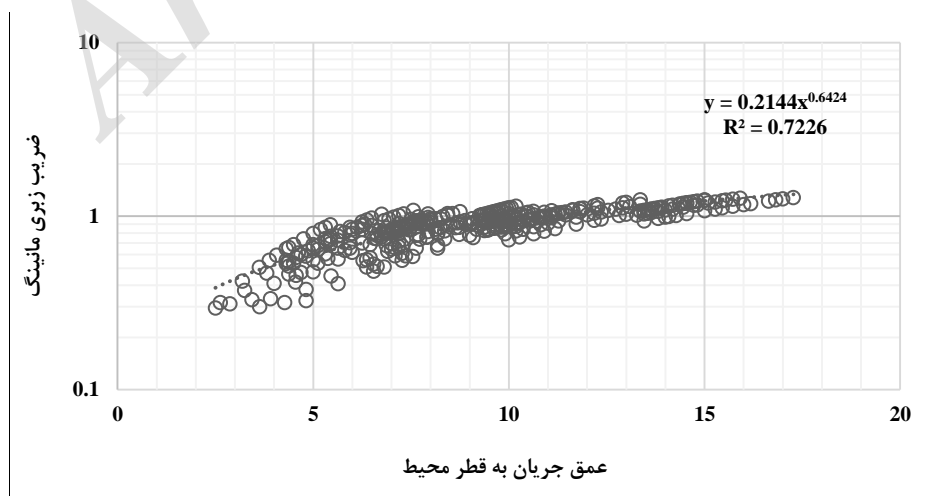
شکل ۶- عدد رینولدز جریان در مقابل ضریب دارسی-ویسباخ

حالات اجرای آزمایش‌ها (طول‌های مختلف، دبی‌های متغییر، اندازه‌های مختلف سنگدانه‌ها و گرادیان‌های متفاوت) رسم شده است می‌توان رابطه استخراج شده را با اطمینان بیشتری به کار برد. روابط توانی استخراج شده برای این نمودار به صورت روابط ۲۴ و ۲۵ با ضریب تعیین ۰/۷۲ هستند و مقدار عددی ضریب مانینگ مشاهده شده در طول پروفیل‌های مختلف از ۰/۰۳ تا ۳ و محدوده تغییرات ضریب دارسی- ویسباخ از ۵ تا ۹۰ در طول پروفیل‌های مختلف متغییر است که این قضیه به مقدار زیادی به تغییرات عمق جریان در مسیر پروفیل‌های طولی و همچنین درگیر شدن مساحت مختلفی از سنگدانه‌ها در مقابل جریان ارتباط دارد. همان‌طور که مشخص شده است مقدار عددی این ضریب بسیار بیشتر از ضریب‌های استخراج شده برای جریان‌های مجاری روباز است.

$$n_m = 0.2144 \times \left(\frac{h}{d_{50}}\right)^{0.6424} \quad (24)$$

$$f = 3.1287 \times \left(\frac{h}{d_{50}}\right)^{1.163} \quad (25)$$

مطابق با آنچه برای تعیین پروفیل‌های سرعت در مجاری رسوبی به کار می‌رود، سعی شد تا وابستگی پارامتر هندسی $\left(\frac{h}{d_{50}}\right)$ نیز به ضریب‌های زبری بررسی شود و از این‌رو در شکل‌های ۷ و ۸ دیاگرام مربوط به تغییرات نسبت عمق به قطر متوسط محیط متخلخل در مقابل ضریب‌های زبری مانینگ و دارسی- ویسباخ رسم شده است. پارامتر عمق به قطر محیط متخلخل حاصل تقسیم عمق جریان (استخراج شده از پروفیل‌های بدون بعد آزمایشگاهی) بر قطر محیط متخلخل (پس از سرند کردن سنگدانه‌ها) است. همانند آنچه در شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود، روند این تغییرات در طول پروفیل به صورت توانی است؛ کمترین ضریب زبری جریان مربوط به محل خروجی محیط و بیشترین آن مربوط به ابتدای پروفیل (M2) است. همان‌طور که از مقادیر ضریب زبری مشخص می‌شود، مقدار این ضریب نسبت به جریان‌های متداول مجاری روباز بسیار بیشتر و روشن است که در این خصوص عوامل زیادی تأثیرگذار هستند از جمله مشخصات فیزیکی سنگدانه‌ها، رژیم جریان، میزان دبی عبوری، مقدار تخلخل محیط و حتی زبری سطح سنگدانه‌ها. به دلیل اینکه این نمودار تمامی مقاطع عرضی داده‌های آزمایشگاهی و در تمامی

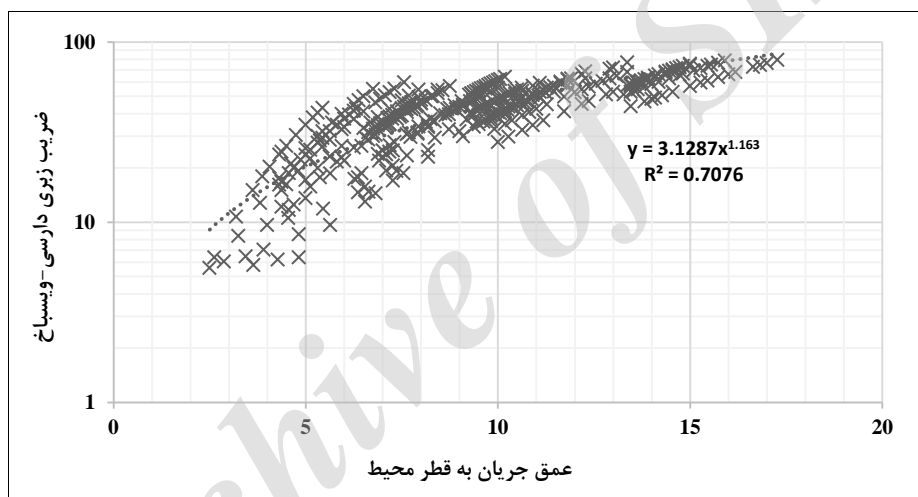


شکل ۷- نسبت عمق جریان به قطر محیط متخلخل در مقابل ضریب زبری مانینگ

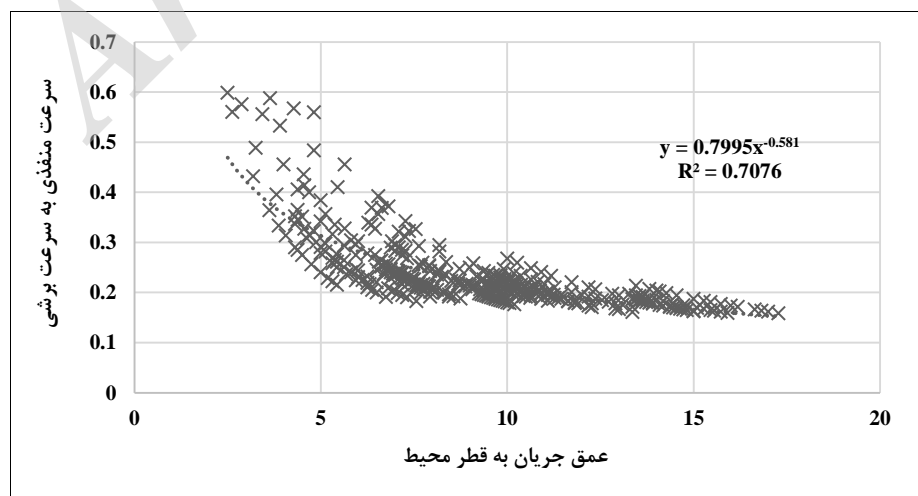
می‌یابد. رابطه لگاریتمی و نمایی بین پارامتر هندسی مذکور و نسبت سرعت‌ها قبلاً به‌طور متداول ایجاد شده است (Julien, 2008) در این تحقیق مشاهده شد که برای جریان درون‌گذر عبوری از محیط‌های پاره‌سنگی برآزش نمایی بین این پارامترها بهتر از برآزش لگاریتمی است و رابطه نمایی مربوط هم مطابق با رابطه ۲۶ ارائه شده است.

$$\frac{V_n}{(ghs_f)^{0.5}} = \frac{V_n}{u_*} = 0.7995 \left(\frac{h}{d_{50}}\right)^{-0.581} \quad (26)$$

در شکل ۹ ارتباط پارامترهای $\frac{V_n}{(ghs_f)^{0.5}} = \frac{V_n}{u_*}$ و نسبت هندسی $\left(\frac{h}{d_{50}}\right)$ مورد آزمون قرار گرفته است. پارامتر s_f اشاره شده در رابطه فوق نیز گرادیان کلی مشاهداتی روی محیط متخلخل در نظر گرفته شده و به‌صورت اختلاف هد مشاهداتی در دو طرف محیط پاره‌سنگی تقسیم بر طول محیط متخلخل محاسبه شده است. روند تغییرات مشاهده شده در این منحنی نشان می‌دهد که با افزایش نسبت عمق به قطر محیط پاره‌سنگی، نسبت سرعت منفذی به سرعت برشی جریان کاهش



شکل ۸- نسبت عمق جریان به قطر متوسط محیط متخلخل در مقابل ضریب زبری دارسی-ویسباخ



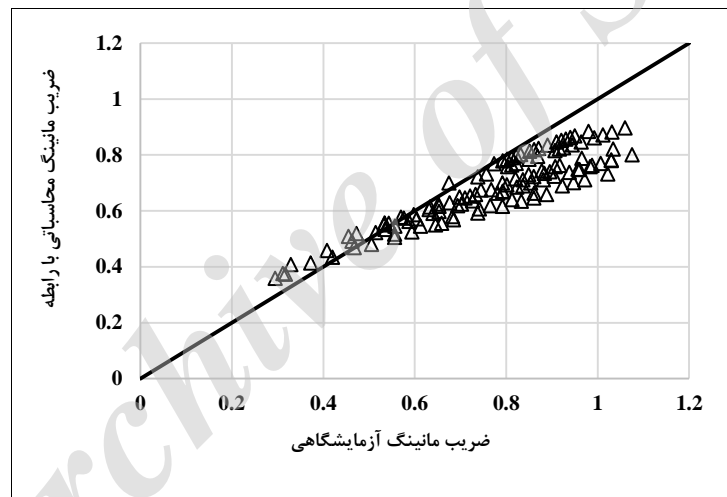
شکل ۹- فاکتور سرعت منفذی به سرعت برشی در مقابل نسبت هندسی عمق جریان به قطر متوسط سنگ‌دانه‌ها

میزان ضریب تعیین برای شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب برابر با ۰/۸۴ و ۰/۸۱ به دست آمده است. یادآوری می‌شود که این روابط از ۷۰ درصد داده‌های آزمایشگاهی استخراج شده‌اند و میزان خطای آنها نیز از ۳۰ درصد باقیمانده محاسبه شده که در استخراج رابطه استفاده نشده بود.

$$f = 2 \times \left(\frac{h}{d_{50}}\right)^{0.8} \times (Fr)^{-0.33} \quad (27)$$

$$n_m = 0.142 \times \left(\frac{h}{d_{50}}\right)^{0.457} \times (Fr)^{-0.215} \quad (28)$$

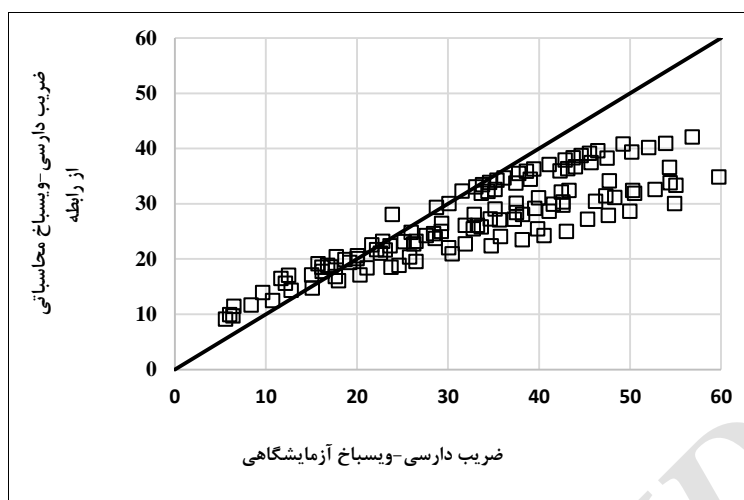
با استفاده از ترکیب پارامترهای بدون بعد $\left(\frac{h}{d_{50}}\right)$ و (Fr) رابطه‌ای برای ضریب‌های زبری جریان در هر دو فرم ضریب زبری دارسی-ویسباخ و مانینگ به صورت روابط ۲۷ و ۲۸ استخراج شد. مقدار خطای نسبی^۱ برای روابط مانینگ و دارسی ویسباخ به ترتیب برابر با ۱۴ و ۲۶ درصد و مقدار جذر میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) نیز به ترتیب برابر با ۰/۱۰۴ و ۰/۱۸۱ است. RMSE برای ضریب دارسی-ویسباخ بدون بعد است ولی مقدار این پارامتر برای ضریب مانینگ دارای بعد $\left(\frac{T}{L^{1/3}}\right)$ است. مقادیر آزمایشگاهی و محاسباتی ضریب‌های زبری از روابط ۲۷ و ۲۸ در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ حول خط ۴۵ درجه



شکل ۱۰- ضریب مانینگ آزمایشگاهی در مقابل ضریب مانینگ محاسباتی از رابطه

به ترتیب برای ۶ رابطه ارائه شده محاسبه گردید و مقادیر مربوط در جدول ۱ ارائه شد. روابط اعلامی، همان‌طور که پیداست، هم برای محاسبه ضریب زبری از نوع دارسی-ویسباخ هستند و هم برای محاسبه ضریب مانینگ و از این رو سعی شد تا در دو گروه یاد شده بهترین روابط انتخاب شوند.

برای بررسی بیشتر میزان دقت و بهینه بودن روابط ارائه شده در این مقاله، نیاز به ارزیابی آنها با استفاده از شاخص‌های آماری نیز احساس می‌شود. به همین جهت ۵ نمایه آماری مهم در این زمینه شامل ضریب تعیین، ریشه میانگین مربعات خطا، حداکثر خطا، میانگین قدرمطلق خطا، و ضریب باقیمانده جرمی انتخاب و



شکل ۱۱- ضریب دارسی-ویسباخ آزمایشگاهی در مقابل ضریب دارسی-ویسباخ محاسباتی از رابطه

جدول ۱- شاخص‌های آماری بررسی شده برای رابطه‌های ارائه شده

شماره رابطه	شاخص ضریب تعیین (R^2)	شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	شاخص حداکثر خطا (ME)	شاخص میانگین قدرمطلق خطا (MAE)	شاخص ضریب باقی‌مانده جرمی (CRM)
رابطه ۲۲ (مانینگ)	۰/۷۸	۰/۱۳۰	۰/۳۴	۰/۰۹۳	۰/۰۰۵۹
رابطه ۲۳ (دارسی-ویسباخ)	۰/۷۷	۰/۲۵۷	۳۵	۸/۳۹	۰/۰۰۶۵
رابطه ۲۴ (مانینگ)	۰/۷۲	۰/۱۲۵	۰/۲۹	۰/۰۸۹	۰/۰۰۷۶
رابطه ۲۵ (دارسی-ویسباخ)	۰/۷	۰/۲۱۸	۲۶	۷/۴۱	۰/۰۱۹۰
رابطه ۲۷ (دارسی-ویسباخ)	۰/۸۱	۰/۱۰۴	۰/۲۹	۰/۰۷۱	۰/۰۳۶۱
رابطه ۲۸ (مانینگ)	۰/۸۴	۰/۱۸۱	۲۵	۵/۹	۰/۰۵۴۲

محاسبه ضریب زبری مانینگ خواهد بود. مقدار شاخص ضریب باقیمانده جرمی آن نیز همانند رابطه ۲۷ مثبت است که مبین تخمین مقداری کمتر از مقدار واقعی است. به همین دلیل رابطه ۲۸ مناسب‌ترین رابطه برای تعیین ضریب زبری مانینگ تشخیص داده شد. داده‌های آزمایشگاهی برداشت شده در این پژوهش با رابطه‌های ارائه شده توسط قاضی مرادی و معصومی (Ghazi-Moradi & Masumi, 1995)، کرکی (Korki, 1997)، لی و همکاران (Li et al., 1998)، شایان‌نژاد (Shayannejad, 2000) و صدقی‌اصل و رحیمی (Sedghi-Asl & Rahimi, 2011) نیز

سرانجام اینکه از میان رابطه‌های ارائه شده رابطه ۲۷، نسبت به رابطه‌های ۲۳ و ۲۵، به دلیل داشتن حداکثر ضریب تبیین و حداقل مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین قدرمطلق خطا رابطه بهتری برای تعیین ضریب زبری دارسی-ویسباخ است و مقدار ضریب باقیمانده جرمی آن نیز مقداری مثبت است که مبین تخمین کمتر از مقدار واقعی توسط رابطه است؛ رابطه ۲۸ نیز، نسبت به رابطه‌های ۲۲ و ۲۴، به دلیل دارا بودن مقادیر ضریب تبیین بیشتر و همچنین مقادیر کمتر شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین قدرمطلق خطا، رابطه‌ای مناسب‌تر برای

باشد، ضریب‌های زبری از هر دو نوع آن (مانینگ و داریسی- ویسباخ) ارتباط بهتری با عدد فرود برقرار می‌کنند تا با عدد رینولدز. همچنین، به دلیل پایین بودن سرعت حرکت جریان درون منافذ محیط پاره‌سنگی و متنوع بودن پارامترهای ایجاد زبری در جریان عبوری اعم از خود سنگ‌دانه‌ها، اعوجاج مسیرهای جریان، زبری سطحی سنگ‌دانه‌ها، و مانند اینها، مقدار ضریب زبری نسبت به جریان‌های با سطح آزاد معمولی بسیار زیادتر است.

روابط توانی مربوط بین ضریب‌های زبری جریان و پارامتر عدد فرود نیز استخراج و به صورت مجزا ارائه شد. با استفاده از پارامترهای بدون بعد عدد فرود و نسبت هندسی عمق جریان به قطر سنگ‌دانه‌ها رابطه‌هایی نیز برای ضریب‌های زبری مانینگ و داریسی- ویسباخ ارائه شد که به ترتیب دارای خطای تخمین ۱۴ و ۲۶ درصد هستند. با مقایسه داده‌های آزمایشگاهی برداشت شده در این تحقیق با رابطه‌هایی که تعدادی از محققان ارائه داده‌اند مشاهده شده که رابطه‌های قبلی در طول پروفیل‌های جریان عبوری تخمین‌هایی نادرست (کمتر یا بیشتر از مقدار واقعی) ارائه می‌دهند.

ارزیابی و مشاهده گردید که رابطه‌های ارائه شده توسط قاضی‌مرادی و معصومی و همچنین کرکی مقدار ضریب زبری را بیش از مقدار واقعی و روابط ارائه شده توسط لی و همکاران، شایان‌نژاد و صدقی‌اصل و رحیمی مقدار ضریب زبری را کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زنند.

نتیجه‌گیری

با توجه به تشکیل پروفیل (M2) برای جریان‌های درون‌گذر عبوری از محیط‌های پاره‌سنگی، به علت درگیر شدن مساحت متفاوتی از سنگ‌دانه‌ها در هر مقطع عرضی در طول پروفیل، زبری اعمال شده از سوی محیط روی جریان متفاوت است. در این تحقیق با برداشت داده‌های آزمایشگاهی و استخراج ضریب‌های زبری مانینگ برای پروفیل‌های جریان، به بررسی ارتباط روابط پارامترهای مختلف هندسی و هیدرولیکی با ضریب‌های زبری مانینگ و داریسی- ویسباخ پرداخته شد و این نتیجه به دست آمد که برخلاف روند معمول در جریان‌های عبوری از محیط‌های متخلخل درشت‌دانه (برقراری رابطه بین ضریب زبری و عدد رینولدز)، اگر جریان عبوری دارای سطح آزاد با هوا

تشکر و قدرانی

این مقاله مستخرج از نتایج طرح پژوهشی با شماره ۹۴/د/۳۶۹ می‌باشد و بدین طریق از معاونت پژوهشی دانشگاه مراغه برای تائید اعتبارات آن تشکر و قدرانی می‌نمائیم.

مراجع

- Ahmed, N. and Sunada, D. K. 1969. Non-linear flow in porous media. J. Hydraul. Div. 95(6): 1840-1857.
- Chabokpour, J. and Amiri-Tokaldany, E. 2016. Experimental numerical simulation of longitudinal water surface profile through large porous media. Iranian Water Res. J. In press. (in Persian)
- Chabokpour, J., Amiri-Tokaldany E. and Sedghiasl. M. 2013. Estimation of friction coefficient in sediment contained flow through rockfill. Int. J. Eng. 26(1): 443-452.
- Ghazi-Moradi, A. and Masumi, S. A. 1995. Investigation of flow in porous media of rockfill. 1st National Seminar of Hydraulic. Khaje-Nasir Toosi University of Technology. Iran. (in Persian)

- Hansen, D. 1992. The behavior of flow through rockfill dams. Ph. D. Thesis. Department of Civil Engineering. University of Ottawa. Ottawa, Ontario.
- Hansen, D., Garga, V. K. and Townsend, D. R. 1995. Selection and application of one-dimensional flow through rockfill embankments. *Can. Geotech. J.* 32(1): 223-232.
- Herrera, N. M. and Felton, G. K. 1991. Hydraulic of flow through a rockfill dam using sediment-free water. *T- ASAE.* 34(3): 871-875.
- Hosseini, S. M. 1997. Development of an unsteady non-linear model for flow through coarse porous media. Ph. D. Thesis. Dissertation University of Guelph. Canada.
- Julien, P. Y. 2008. *Erosion and Sedimentation.* Second Ed. Cambridge University Press. UK.
- Korki, J. A. 1997. Hydraulic investigation of flow in rockfill porous media. M. Sc. Thesis. Azad Islamic University of South Tehran. (in Persian)
- Li, B., Garga, V. K. and Davis, M. H. 1998. Relationship for non-darcy flow in rock-fill. *J. Hydraul. Eng.* 124(2): 206-212.
- Maleknejad-Yazdi, M. 2011. Experimental investigation of effective parameters on sediment trapped in porous media of rockfill Dam. M. Sc. Thesis. Water Engineering Department. Gorgan University of Agricultural and Natural Resources. (in Persian)
- Salehi, M. B., Sedghi-Asl, M. and Parvizi, M. 2015. None linear flow through packed column experiments. *J. Hydrol. Eng.* 20(9): 04015003.
- Sedghi-Asl, M. and Rahimi, H. 2011. Adoption of Manning's equation to 1D non-Darcy flow problems. *J. Hydraul. Res.* 49(6):814-817.
- Sedghi-Asl, M. and Ansari, I. 2016. Adoption of extended dupuit-forchheimer assumptions to non-Darcy flow problems. *Transport Porous Med.* 113(3):459-463.
- Shayannejad, M. 2000. Investigation and modeling of flow in rockfill dams and its application in flood control. Ph. D. Thesis. Irrigation Department. Tarbiat Modarres University. (in Persian)

Experimental investigation on friction coefficient along longitudinal water surface profile through rockfill porous media

J. Chabokpour*, A. Samadi and M. Merikhi

*Corresponding Author: Associated Professor, Faculty of Engineering, Maragheh University, Maragheh, Iran.
Email: j.chabokpour@maragheh.ac.ir

Received: 26 November 2016, Accepted: 27 February 2014

Rockfill material is frequently used in construction of hydraulic structures. The cross flow regime which is mostly None-Darcy regime and estimation of friction coefficients have been investigated frequently. Many researchers have studied the relationship between Reynolds number and friction coefficient in both power and fractional forms. In this research, by using two types of rock material namely with: median diameters of $d_{50} = 1.1\text{cm}$, $d_{50} = 1.6\text{cm}$, three entrance discharges and three hydraulic gradients the important factors in estimation of friction coefficients was investigate. Results showed that against results of previous studies, in flow through rockfill media, having free water surface, the Froude Number demonstrated a better relationship with friction coefficient rather than Reynolds Number. Also it was observed that due to the formation of M2 longitudinal profile through the rackfill media, the active cross section along the profile decreases and consequently the friction coefficient towards exit of media decreases. Further it can be concluded that the computed friction coefficients for completely flow through the medias are much higher than friction coefficients of channel free surface flows. Finally an attempt was made to draw the relationships in power form between effective none-dimensional parameters like Froude number, geometric ratio of flow depth and rock diameter and friction coefficients in two form of Manning and darcy-weisbach. Using combination of two none-dimensional parameters (Froude number and geometric ratio of flow depth and media diameter) two applicable relationships for darcy-weisbach and manning coefficients have been presented which have estimation accuracies of 14 and 26 percent respectively.

Key words: Friction coefficient, longitudinal water surface profile, None Darcy flow, Rockfill media