

بررسی آزمایشگاهی اثر شیب آبراهه و قطر میله روی ضریب تخلیه آبگیر با کف مشبک

علیرضا مسجدی^{۱*} و امیر تائیدی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱۳)

چکیده

یکی از گزینه‌های مناسب برای انحراف جریان در رودخانه‌های کوهستانی، به کارگیری آبگیر کفی است. از مهم‌ترین اهداف در جریان بر روی یک آبگیر با کف مشبک، تعیین مقدار دبی منحرف شده در شرایط مختلف جریان در کانال اصلی است. شیب و شکل میله کف‌های مشبک بر میزان دبی منحرف شده تأثیر دارد. در این مقاله به بررسی شیب و نحوه قرارگیری میله مشبک آبگیر و اثر آن بر پارامترهای هیدرولیکی و ضریب تخلیه پرداخته شده است. به منظور انجام آزمایش در این تحقیق از یک مدل فیزیکی کانال اصلی با شیب متغیر و بدنه شیشه‌ای استفاده شد. به منظور هدایت و اندازه‌گیری دبی منحرف شده، یک کانال فرعی به فاصله ۸ متری از ورودی کانال اصلی، در زیر کانال اصلی نصب گردید. دهانه آبگیر ورودی با طول ۱۰ و عرض ۵۰ سانتی‌متر ساخته شد. در مدخل ورودی آبگیر از شبکه مشبک طولی با چهار قطر مختلف میلگرد با فضای عبوری ثابت و چهار شیب متفاوت استفاده شد. همچنین به منظور بررسی اثر شدت جریان در میزان آبگیری از چهار دبی استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد افزایش قطر میلگردهای کف مشبک، کاهش شیب کف آبراهه و افزایش عمق جریان در بالادست شبکه در یک فضای عبوری ثابت باعث افزایش در ضریب تخلیه آبگیر کفی می‌گردد. همچنین در تمام حالات افزایش عدد فرود در بالادست شبکه مشبک طولی، باعث کاهش ضریب تخلیه آبگیر می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آبگیر کفی، قطر میلگرد، ضریب تخلیه، فضای عبوری، شیب کف مشبک

۱. گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

۲. گروه مهندسی علوم آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: drmasjedi.2007@yahoo.com

مقدمه

مشبک با میله‌های موازی، تحقیقاتی در زمینه آبیگرهای کفی انجام داد. نتایج این مطالعه نشان داد کمترین طول آبیگر در مقطع تخم مرغی است و کمترین دبی عبوری در مقطع T شکل اتفاق می‌افتد (۶).

ونکاتارامن و همکاران یک آبیگر کفی را با استفاده از یک کانال کوچک با عرض ۰/۳ متر و حداکثر دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه مورد بررسی قرار دادند. در بررسی‌های جداگانه که با شیب صفر کانال و میله‌های با مقطع نوک تیز انجام گرفت معلوم شد که ضریب جریان به عدد فرود بستگی نداشته اما با کاهش عمق این ضریب افزایش می‌یابد (۷).

سوبرامانیا و شوکلا تحقیقاتی در مورد آبیگر کفی انجام دادند. آنها جریان بر روی آبیگر کفی را به ۵ دسته تقسیم کردند. نتایج به دست آمده نشان داد برای کانال افقی جریان زیر بحرانی در بالادست و فوق بحرانی در پایین دست آبیگر، نسبت جریان منحرف شده به جریان بالادست با افزایش نسبت‌های طول آبیگر به عمق بحرانی و فاصله خالص بین میله‌ها به قطر میله‌ها به طور مؤثری افزایش می‌یابد (۵).

برونلا و همکاران تحقیقاتی را با استفاده از کانال مستطیلی انجام داده‌اند و رابطه‌ای بر اساس پارامترهای موثر از قبیل ضریب تخلیه و نسبت بازشدگی به کل سطح برای طراحی مناسب کف مشبک به دست آوردند (۳).

شفاعی بجستان و همکاران تحقیقاتی را با استفاده از کانال مستطیلی انجام دادند. اهداف اصلی مطالعه آنان، تعیین رابطه‌ای به منظور تخمین ضریب شدت جریان و دبی انحرافی از آبیگرهای کفی و بررسی مشکلات به وجود آمده در اثر حرکت رسوبات روی این نوع آبیگر بود. نتایج این تحقیق نشان داد پارامتر مهم و مؤثر در تعیین ضریب شدت جریان نسبت منافذ و یا ترکیباتی از این پارامتر است. همچنین با افزایش مقدار نسبت بازشدگی مقدار ضریب شدت جریان به شدت کاهش می‌یابد، ولی افزایش عدد فرود باعث کاهش کمی در مقدار این ضریب می‌شود (۱).

آبیگرهای کفی سازه‌هایی هستند که کاربرد وسیعی در انحراف آب در رودخانه‌های شیبدار و کوهستانی دارند. این سازه‌ها از تعدادی میله، معمولاً از جنس فولاد تشکیل شده و در تراز بستر رودخانه قرار می‌گیرند. شیبدار بودن این میله‌ها موجب تسهیل رانده شدن رسوبات حمل شده توسط رودخانه می‌شود. با توجه به نحوه قرارگیری کف مشبک در مقطع رودخانه، زمانی که جریان آب از روی آن عبور می‌کند، مقداری و یا قسمتی از دبی رودخانه در طول کف مشبک کاهش می‌یابد. در صورت پایدار بودن جریان رودخانه، یک جریان متغیر مکانی با کاهش دبی بر هیدرولیک آبیگر کفی حاکم است. تغییرات دبی و سطح آب در محل آبیگر، تابعی از شیب طولی آبیگر، طول آبیگر، دبی جریان و دبی منحرف شده است. معادله کلی حاکم بر جریان‌های متغیر مکانی با کاهش دبی به صورت زیر است:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S - S_f - (\alpha Q/gA)(dQ/dx)}{1 - (\alpha Q/gAD)} \quad [1]$$

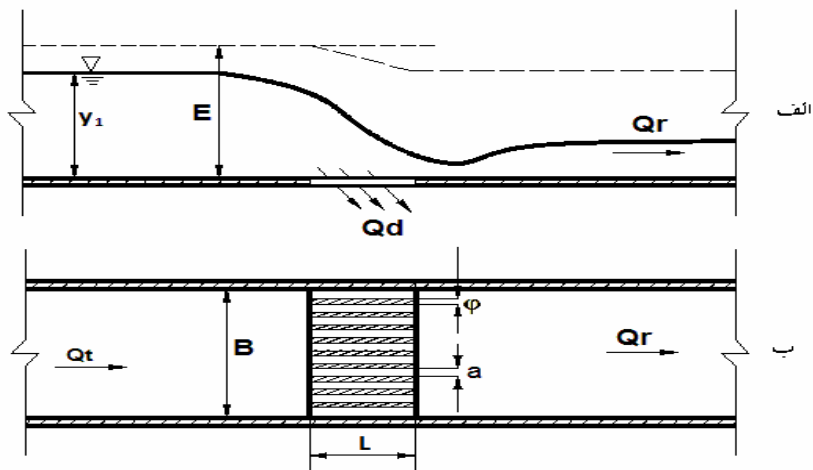
که در آن y عمق جریان در طول کف مشبک، S_f شیب طولی کف مشبک، S شیب طولی دبی جریان عرض کف، A سطح مقطع جریان در طول آبیگر، g شتاب ثقل، α ضریب تصحیح سرعت در معادله انرژی، D عمق هیدرولیکی و dQ/dx میزان کاهش دبی در طول کف مشبک می‌باشد.

در صورتی که ارتفاع موثر آب روی کف مشبک تقریباً با انرژی مخصوص (E) معادل باشد و افت انرژی قابل اعماض باشد، در این صورت مقدار شدت جریان خروجی از واحد طول کف مشبک با فرض $(S_0 = S_f = 0)$ برابر است با:

$$-\frac{dQ}{dx} = \varepsilon C_d B \sqrt{2gE} \quad [2]$$

که در آن ε نسبت سطح باز به کل سطح کف مشبک (نسبت منفذها) و C_d ضریب شدت جریان برای کف مشبک با میله‌های موازی می‌باشند (شکل ۱).

اورث با استفاده از کانالی با شیب ۲۰ و ۵ درصد و با مقاطع T شکل، مثلثی، نیم دایره، دایره و تخم مرغی و یک شبکه



شکل ۱. جریان روی کف مشبک

در رابطه ۳، ρ جرم مخصوص سیال، μ لزجت سیال، g شتاب ثقل، y_1 عمق جریان در بالادست شبکه، S شیب طولی آبراهه در جهت جریان، V_1 سرعت جریان در بالادست شبکه، L طول شبکه آبگیر، B عرض شبکه آبگیر، ϕ قطر میله‌های شبکه، a فاصله بین میله‌ها، ψ تابع شکل سطح مقطع میله‌ها تعریف شده است. با استفاده از تئوری باکینگهام رابطه ۳ به صورت زیر بدون بعد می‌شود:

$$Cd = f\left(\frac{\mu}{V_1 L \rho}, \frac{g y_1}{V_1^2}, \frac{y_1}{L}, \psi, \frac{\phi}{L}, \frac{B}{L}, \frac{a}{L}, S\right) \quad [4]$$

با صرف نظر کردن از پارامترهای ثابت $\left(\frac{\mu}{V_1 L \rho}, \psi, \frac{\phi}{L}, \frac{B}{L}\right)$ رابطه ۴ به صورت زیر برای بررسی ضریب تخلیه آبگیرهای کفی ساده می‌شود.

$$Cd = f\left(\frac{1}{Fr}, \frac{y_1}{L}, \frac{a}{L}, S\right) \quad [5]$$

مواد و روش‌ها

به منظور انجام آزمایش‌ها در این تحقیق از یک مدل فیزیکی استفاده شد. این مدل از یک فلوم آزمایشگاهی با طول ۱۳ متر، عرض ۵۰ سانتیمتر و عمق ۶۰ سانتی‌متر با شیب متغیر و بدنه شیشه‌ای به منظور مشاهده شرایط هیدرولیکی است. به منظور

فغفور مغربی و همکاران تحقیقاتی در خصوص پارامترهای هیدرولیکی آبگیرهایی با کف مشبک انجام دادند. در این تحقیق با انجام مطالعات آماری روی ضرایب تخلیه به دست آمده از آزمایش‌ها، رابطه غیر خطی برای محاسبه ضریب تخلیه یک کف تخلیه مشبک بر اساس نوع چیدمان میله‌ها و پارامترهای مؤثری چون نسبت قطر به فضای خالی بین میله‌ها و عدد رینولدز کف مشبک ارائه شد (۲).

مطالعات گذشته بیانگر فقدان تحقیقات کافی در مورد خصوصیات جریان روی ضریب تخلیه آبگیرهای کفی است. در این مقاله به بررسی پارامترهایی نظیر قطر میله گردهای کف مشبک، شیب کف آبراهه، عمق جریان و عدد فرود در بالادست شبکه در یک فضای عبوری ثابت پرداخته شده است.

آنالیز ابعادی

در مدل سازی جریان روی یک آبگیر با کف مشبک، مهم‌ترین هدف تعیین مقدار دبی منحرف شده در شرایط مختلف جریان در کانال اصلی است. یکی از پارامترهای هیدرولیکی آبگیرهای کفی ضریب تخلیه است. با در نظر گرفتن جریان دائمی و ثابت بودن خصوصیات سیال رابطه ذیل بین پارامترهای مؤثر بر ضریب تخلیه آبگیر کفی در حالت تعادل برقرار است:

$$Cd = f(\rho, \mu, g, y_1, S, V_1, L, B, \phi, a, \psi) \quad [3]$$

تنظیم دقیق و همزمان شیرفلکه، دبی مورد نظر حاصل شد. پس از گذشت زمان لازم و تعادل سیستم، مقادیر دبی منحرف شده (Q_d) و دبی عبوری (Q_r) را توسط سرریزهای مورد نظر قرائت شد. هم‌چنین مقدار عمق جریان در بالادست شبکه در کلیه آزمایش‌ها توسط عمق سنج برداشت شد. به منظور محاسبه مقدار ضریب تخلیه از رابطه زیر استفاده شد:

$$Cd = \frac{Q_d}{B \times L \times \varepsilon \sqrt{2gE}} \quad [6]$$

که در آن E انرژی مخصوص در بالادست شبکه است که از رابطه زیر به دست آمد:

$$E = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad [7]$$

نتایج و بحث

در کلیه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله جریان آب از کف مشبک خارج و وارد کانال فرعی گردید. پس از مدتی از شروع آزمایش، پروفیل سطح آب در طول کف مشبک تشکیل و جریان آب از روی سرریزها جاری شد. (شکل ۳).

تأثیر شیب کف آبراهه در ضریب تخلیه آبگیر

شکل ۴ تأثیر شیب کف آبراهه را در ضریب تخلیه آبگیر در چهار شیب صفر، ۵، ۹ و ۱۵ درصد برای چهار دبی ورودی ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه با قطر ثابت $a/L = 0.07$ را نشان می‌دهد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در کلیه دبی‌ها، با افزایش شیب کف شبکه آبگیر، ضریب تخلیه آبگیر کاهش می‌یابد. با افزایش شیب کف آبراهه، سرعت جریان در مسیر آبراهه افزایش یافته و در نتیجه دبی کمتری از کف مشبک خارج می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج محققان دیگر نظیر ریقتی و لنزونی در مورد مطالعه خصوصیات جریان در آبگیرهای کفی در مسیر مستقیم مقایسه شد. نتایج حاصل

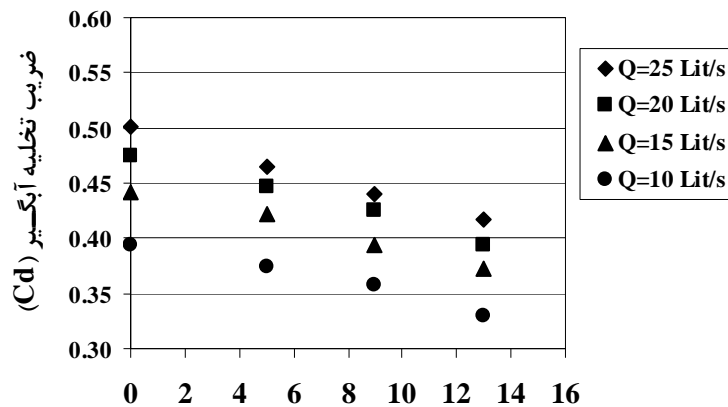
اندازه‌گیری دبی در فلوم اصلی از یک سرریز لبه تیز مثلثی کالیبره شده در انتهای فلوم (Q_r) استفاده شد.

به منظور هدایت و اندازه‌گیری دبی منحرف شده از دهانه آبگیر کفی نصب شده در کف کانال اصلی، یک کانال با چهارچوب فلزی، کف گالوانیزه و بدنه شیشه‌ای در فاصله ۸ متری و زیر کانال ۱۳ اصلی تهیه و به صورت متقاطع با فلوم اصلی نصب شد که در انتهای فلوم دوم نیز یک سرریز لبه تیز مثلثی جهت اندازه‌گیری دبی انحرافی (Q_d) طراحی و نصب شد. دهانه آبگیر ورودی در این تحقیق با توجه به میزان آبدهی پمپ سانتریفوژ موجود و نیز شرایط و محدودیت‌های مدل، به طول ۱۰ و عرض ۵۰ سانتی‌متر ساخته شد (شکل ۲).

بر اساس توصیه‌های طراحی، نسبت سطح باز به کل سطح کف مشبک (ε) بین ۳۰ تا ۴۰ درصد در کف‌های مشبک در نظر گرفته می‌شوند که در این تحقیق در مدخل ورودی از شبکه مشبک طولی با میله‌گردهای با قطر ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ میلی‌متر با فضای بازشدگی خالص ۳۵ درصد استفاده شد. این پارامترها طوری انتخاب شده‌اند که با تغییر آنها، آبگیر کاملاً مستغرق ایجاد گردد.

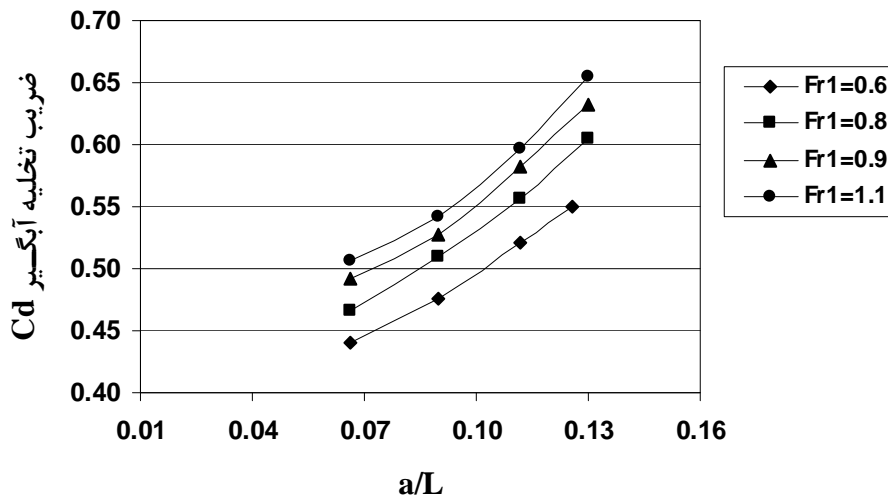
به منظور بررسی اثر شیب مجرا در میزان آبگیری، در کلیه آزمایش‌ها از شیب‌های افقی، ۵، ۹ و ۱۵ درصد با توجه به محدودیت‌های فلوم آزمایشگاهی برای کف مشبک انتخاب شد. کلیه آزمایش‌ها در چهار دبی ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه برای جریان فوق بحرانی و زیر بحرانی در بالادست، انجام شد. هم‌چنین برای اندازه‌گیری عمق جریان در کانال از عمق سنج با دقت یک میلی‌متر استفاده گردید. کالیبراسیون سرریزها با استفاده از روش حجمی انجام پذیرفت.

در ابتدای هر آزمایش، پیش از راه‌اندازی پمپ، دریچه انتهایی کانال اصلی کاملاً باز و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت گردید. پس از بالا آمدن سطح آب، دبی به آرامی توسط شیر فلکه اصلی روی لوله ورودی در قسمت ورودی کانال اصلی به میزان مورد نظر تنظیم شد. سپس با



شیب کف آبراهه (S)

شکل ۴. تأثیر شیب کف مشبک در ضرب تخلیه آبگیر



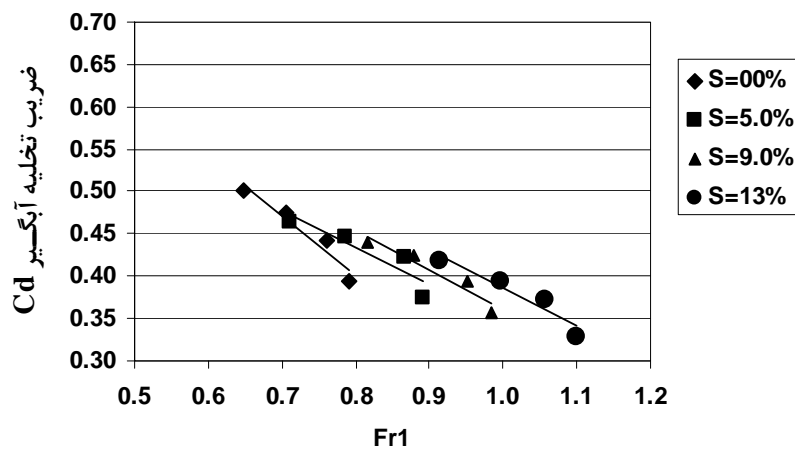
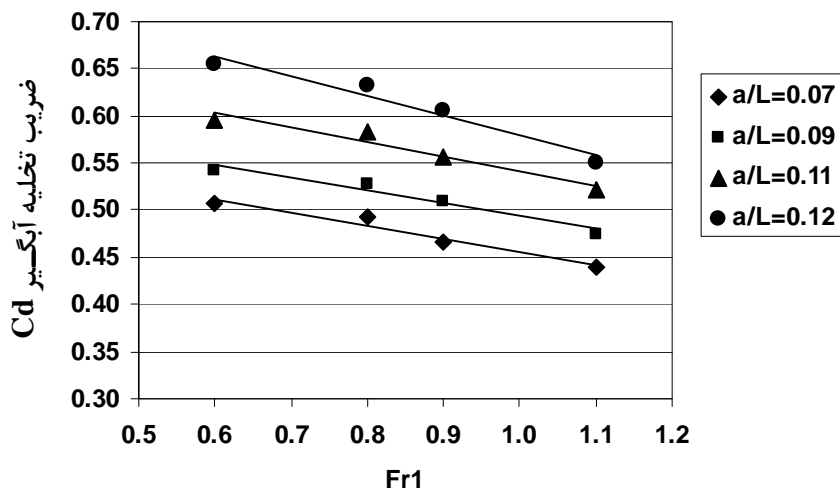
شکل ۵. تأثیر قطر میلگرد کف مشبک در ضرب تخلیه آبگیر

می‌دهد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در کلیه قطر میله گرد بدون بعد و شیب‌ها، با افزایش عدد فرود در بالادست شبکه، ضرب تخلیه آبگیر کاهش می‌یابد. با افزایش عدد فرود در عمق ثابت، سرعت جریان عبوری از روی شبکه آبگیر افزایش و تخلیه جریان به آبگیر کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج محققان دیگر نظیر شفاعی بجزستان و همکاران و فغفور مغربی و همکاران در مورد مطالعه تأثیر عدد فرود در آبگیرهای کفی در مسیر مستقیم مقایسه شد. نتایج حاصل تطابق مناسب این تحقیق با تحقیقات محققان دیگر را نشان می‌دهد (۱ و ۲).

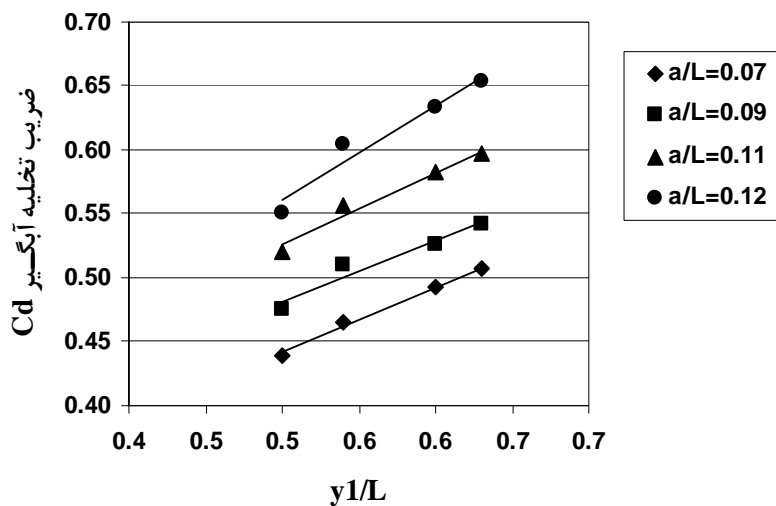
همکاران در مورد مطالعه تأثیر قطر میله‌های طولی بر مقدار ضرب تخلیه در شبکه‌های طولی آبگیرهای کفی در مسیر مستقیم مقایسه شد. نتایج حاصل تطابق مناسب این تحقیق با تحقیقات محققان دیگر را نشان می‌دهد (۲ و ۳).

تأثیر عدد فرود در بالادست شبکه در ضرب تخلیه آبگیر

شکل ۶ تأثیر عدد فرود در بالادست شبکه ($Fr1$) را در ضرب تخلیه آبگیر برای چهار قطر میله گرد بدون (a/L) ۰/۰۷، ۰/۰۹، ۰/۱۱ و ۰/۱۲ در چهار شیب صفر، ۵، ۹ و ۱۵ درصد را نشان



شکل ۶. تأثیر عدد فرود در بالادست شبکه در ضریب تخلیه آبگیر



شکل ۷. تأثیر عمق جریان در بالادست شبکه در ضریب تخلیه آبگیر

تأثیر عمق جریان در بالادست شبکه در ضریب تخلیه آبگیر
 شکل ۷ تأثیر عمق جریان در بالادست شبکه آبگیر بدون بعد (y/L) روی ضریب تخلیه آبگیر در چهار قطر بدون بعد $(0/07, 0/09, 0/11, 0/12)$ در شیب افقی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد در کلیه قطرها، با افزایش عمق جریان در بالادست شبکه، ضریب تخلیه آبگیر افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر افزایش عمق جریان در بالادست شبکه باعث می‌شود دبی بیشتری از شبکه آبگیر تخلیه شود.

نتیجه گیری

در این تحقیق آزمایش‌ها به منظور بررسی تأثیر خصوصیات جریان بر روی ضریب تخلیه آبگیرهای کفی انجام گرفت. متغیرهای موثر در این تحقیق شیب کف آبراهه، قطر میله گرد، عمق جریان در بالادست شبکه و عدد فرود بود. نتایج این تحقیق به صورت زیر بیان می‌شود:
 ۱- با کاهش شیب کف آبراهه در یک فضای عبوری ثابت،

ضریب تخلیه آبگیر به صورت خطی افزایش می‌یابد.
 ۲- با افزایش قطر میله گرد کف مشبک در یک فضای عبوری ثابت، ضریب تخلیه آبگیر بصورت غیر خطی افزایش می‌یابد.
 ۳- در قطر میله گرد $a/L = 0/07$ کمترین و در $a/L = 0/13$ بیشترین ضریب تخلیه آبگیر اتفاق می‌افتد.
 ۴- ضریب تخلیه آبگیر در کلیه قطر میله گرد بدون بعد و شیب ها، با افزایش عدد فرود در بالادست شبکه، کاهش می‌یابد.
 ۵- افزایش در عمق جریان در بالادست شبکه مشبک طولی باعث افزایش در ضریب تخلیه آبگیر می‌شود.

سپاسگزاری

از مساعدت مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به منظور قرار دادن امکانات، تسهیلات و کمک‌های مالی در این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. شفاعی بجستانی، م. و غ. شکوهی راد. ۱۳۷۶. بررسی آزمایشگاهی ضوابط هیدرولیکی و رسوب در آبگیرهای کفی. مجله بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران ۸(۱): ۴۱-۵۳.
۲. فغفور مغربی، م. و م. رزاز. ۱۳۸۷. بررسی آزمایشگاهی پارامترهای هیدرولیکی آبگیرهای با کف مشبک. مجله دانشکده فنی ۳۶(۳): ۲۳-۳۵.
3. Brunella, S., W. Hager and H.E. Minor. 2003. Hydraulics of bottom rack intake. J. Hydraul. Eng. ASCE 129(1): 2-10.
4. Righetti, M. and S. Lanzoni. 2008. Experimental study of the flow field over bottom intake racks. J. Hydraul. Eng. ASCE 134: 15-22.
5. Subramanya, K. and S.K. Shukla. 1988. Discharge diversion characteristics of trench weirs. Inst. Eng. India J. 69(3): 163-168.
6. Orth, J., E. Chardonnet, G. Meynardi. 1954. Etude de Grilles pour Prises d'eau du Type, en- dessous, La Houille Blanche 9(6): 343-351 (in French)
7. Venkatamaran, P., M. Nasser and A.S. Ramamurthy. 1979. Flow Behavior in Power Channels with Bottom Diversion" 18th Int. Association of Hydraulic Research Congress, Calgary 2: 115-122.