

مدل سازی عددی جریان رسوبدار بر روی کف مشبک با میله های متقاطع



سید مهیار زمانیه شهری

1- دانشجوی کارشناسی ارشد

Za.mahyar@yahoo.com

خلاصه

تحلیل جریان بر روی آبگیر کفی مانند بسیاری از مسائل مهندسی هیدرولیک پیچیده بوده و نیاز به تحلیل سه بعدی جریان دارد. یکی از روش های رایج در شبیه سازی سازه های هیدرولیکی استفاده از روش های عددی مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) است که کاربر را قادر می سازد تا با به کارگیری معادله های حاکم بر میدان جریان، جریان سیال در محیط را بررسی کند. در تحقیق حاضر از نرم افزار Flow-3D برای مدل سازی عددی تحقیقات آزمایشگاهی بینا که بر روی آبگیر کف مشبک با میله های متقاطع در دو حالت جریان زلال و رسوبدار انجام گرفته است، استفاده گردید. تعداد ۲۷ مدل برای حالت جریان زلال و ۹ مدل برای حالت جریان رسوبدار (بار بستر)، با شرایط هیدرولیکی متفاوت و مطابق شرایط آزمایشگاهی اجرا گردید. پس از واسنجی هایی که در مورد زبری کف کانال، معادله انتقال آشفته گی، اندازه مش، معادله انتقال رسوب و ضریب بار بستر صورت گرفت، صحت نتایج مدل های عددی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش نشان دهنده عملکرد قابل قبول مدل عددی می باشد. برای هر آزمایش ضریب تخلیه کف مشبک محاسبه شد، سپس رابطه بی بعدی با استفاده از آنالیز ابعادی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل استخراج شد و رابطه مناسبی برای ضریب تخلیه کف مشبک با ویژگی های هندسی متفاوت برازش داده شد. روابط برازشی این تحقیق با روابط برازشی بینا مقایسه گردید. برآورد ضریب تخلیه کف های مشبک با روابط برازشی این تحقیق در حالت بدون رسوب منجر به ایجاد میانگین خطای ۶/۴ درصدی و در حالت رسوبدار منجر به میانگین خطای ۴/۳ درصد می شود.

کلمات کلیدی: نرم افزار Flow-3D، کف مشبک با میله های متقاطع، ضریب تخلیه، بار بستر، آشفته گی جریان.

1. مقدمه

آبگیر کفی یک سازه استاندارد هیدرولیکی می باشد که برای آبگیری از رودخانه های کوهستانی و انحراف آب به توربین ها استفاده می شود. صفحه مشبک روی آن از ورود رسوبات و اشیاء بزرگتر از بازشدگی صفحه مشبک به داخل جریان انحرافی جلوگیری می کند. مهمترین مسئله در رابطه با این آبگیرها تعیین ضریب دبی آنها می باشد. جریان در یک کانال با آبگیر کفی، یک جریان متغیر مکانی با کاهش دبی است. در حالت کلی ضریب تخلیه کف مشبک را می توان تابعی از شرایط هیدرولیکی جریان در بالادست کف مشبک و پارامترهای هندسی کف مشبک در جریان بدون رسوب و در جریان رسوبدار همچنین تابعی از ذرات در نظر گرفت. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Flow-3D که یک روش عددی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) است به شبیه سازی جریان در آبگیرهای کفی با میله های متقاطع در دو حالت جریان بدون رسوب و جریان رسوبدار پرداخته می شود. برای شبیه سازی این نوع آبگیر از مدل فیزیکی که توسط بینا و همکاران در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده، استفاده می گردد. خلاصه ای از پیشینه تحقیقات صورت گرفته در زمینه کف مشبک به شرح زیر است:

نخستین توصیف هیدرولیکی آبگیر تحتانی به وسیله اورث و همکاران در سال ۱۹۵۴ ارائه شد که به بررسی نهرهایی با ۲۰ درصد شیب و پنج نوع آرایش هندسی گوناگون آشغالگیر مربوط می شود. بینا و همکاران در سال ۱۳۸۹، تعداد ۳ کف مشبک از میله های طولی و عرضی متقاطع با درصد

بازشدگی های مختلف ایجاد و در یک فلومی با شیب های متفاوت نصب نمودند. آنها با عبور دادن دبی های مختلف آب زلال و طول های متفاوت سازه کف مشبک، دبی منحرف شده توسط کف مشبک و دبی باقیمانده در کانال را اندازه گیری نمودند. در این تحقیق نتایج کاملی از آزمایشات ارائه نشده است. جریانی که برای مدل سازی در نظر گرفته شده بدون رسوب بوده لذا در تحقیقات دیگر می توان جریان را همراه با رسوب مدل سازی کرد. خواجه و همکاران هیدرولیک جریان در آبگیرهای با کف مشبک را به صورت سه بعدی با استفاده از نرم افزار Fluent با استفاده از نتایج مدل فیزیکی ساخته شده به وسیله دوریر و همکاران، شبیه سازی کردند و طول خیس شدگی را در این آبگیر مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. طول خیس شده به پارامترهای دیگری از جمله مشخصات جریان بالادست (سرعت) و شیب شبکه آشغالگیر بستگی دارد که در این تحقیق مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته نشده است. در تحقیقات دیگر همچنین می توان روابطی را برای طول خیس شده بر حسب پارامترهای موثر توسعه داد. بینا و همکاران همچنین در سال 1390، با عبور دادن دبی های مختلف آب زلال و جریان رسوبدار (بار بستر)، ضریب تخلیه کف مشبک متقاطع را در این دو حالت محاسبه نموده، و روابطی برای آنها برازش دادند. این تحقیق جزو محدود مطالعاتی است که ضریب تخلیه را در دو حالت رسوبدار و بدون رسوب مقایسه کرده و اثر رسوب را بر روی ضریب دبی سنجیده است. در این تحقیق رسوب فقط به صورت بار بستر منتقل می شد. کمان بدست و همکاران، با استفاده از نرم افزار Flow-3D به مدل سازی آبگیر کفی پرداختند. نتایج نشان داده که برای شیب 30 درجه، جریان خروجی از آبگیر کفی بالا بوده و میزان رسوب پایین می باشد. در این تحقیق نتیجه گرفته شده که بهترین عملکرد هیدرولیکی موقعی حاصل می شود که شیب آبگیر کفی 30 درجه و میزان بازشدگی 40 درصد باشد. در این تحقیق تاثیر پارامترهای مختلف شامل شیب تخلیه کننده تحتانی و عدد فرود در دو حالت با و بدون رسوب بر روی ضریب دبی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مدل سازی های انجام شده می توان رابطه ای برای ضریب دبی جریان بر حسب متغیرهای مختلف توسعه داد. ریگتی و لانونی الگوی جریان بر روی کف مشبک با میله های طولی را با اندازه گیری پروفیل سطح آب و سرعت و با استفاده از روش اندازه گیری نقطه ای در عمق بدست آوردند. آنها گزارش کردند که مولفه های قائم بردار سرعت در فضای بین میله ها بزرگ تر از مولفه های قائم سرعت در جریان روی میله ها می باشد. همچنین مولفه قائم سرعت با حرکت به سمت پایین دست بازشدگی، کمتر شده که حاکی از تقلیل دبی انحراف است. این پژوهش جزو محدود تحقیقاتی است که الگوی جریان را مورد بررسی قرار داده است. در این تحقیق کار به صورت آزمایشگاهی صورت گرفته لذا با توجه به سختی اندازه گیری مولفه های سرعت، امکان ایجاد خطا وجود دارد.

تاکنون رفتار جریان رسوبدار بر روی کف مشبک کمتر مورد بررسی قرار گرفته است؛ از طرفی، تنها تحقیقات آزمایشگاهی که کف مشبک با میله های متقاطع را مورد بررسی قرار داده توسط بینا انجام گرفته است. در نتیجه در پژوهش پیش رو رفتار و تاثیر وجود رسوب بر جریان عبوری از کف مشبک با میله های متقاطع مورد تحقیق قرار می گیرد.

2. معادلات حاکم بر هیدرولیک کف مشبک و انتقال رسوب بستر

طول لازم برای حالت تخلیه کامل، یعنی موقعی که در نقطه ای از کف مشبک، عمق جریان مساوی صفر گردد، از رابطه ذیل می تواند محاسبه شود:

$$L = \frac{E}{\varepsilon Cd} \left(\frac{y_1}{E} \sqrt{1 - \frac{y_1}{E}} = \frac{y_1}{\varepsilon Cd} \sqrt{1 - \frac{y_1}{E}} \right) \quad (1)$$

با توجه به نحوه قرارگیری کف مشبک، زمانی که جریان آب از روی آن می گذرد مقداری و یا تمام دبی جریان در طول کف مشبک کاهش می یابد. کل دبی منحرف شده Qd در طول کف مشبک (L) عبارتست از:

$$Qd = \varepsilon CdBL\sqrt{2gE} \quad (2)$$

که در رابطه فوق E درصد بازشدگی کف مشبک، Cd ضریب تخلیه کف مشبک، B و L به ترتیب عرض و طول کف مشبک و E انرژی مخصوص جریان نزدیک شونده می باشد.

ذره رسوبی قرار گرفته در مجاورت بستر تا زمانی در حال تعادل است و حرکت نمی کند که نیروهای محرک وارد بر آن کمتر از نیروهای مقاوم باشند. نیروهای محرک که سبب جابجایی ذره میشوند، شامل نیروی دراگ و نیروی بالابرنده بوده و نیروی مقاوم نیز وزن دانه رسوب است. بر اساس نظریه شیلدز، انتقال مواد رسوبی تابع دو عدد بی بعد رینولدز و شیلدز می باشد (یانگ، 1379).

$$\tau_* = \frac{\tau}{\gamma(G_s - 1)d_s} \quad (3)$$

$$R_e^* = \frac{u_* d_s}{v} \quad (4)$$

که در این روابط τ^* عدد شیلدز، d_s اندازه دانه رسوبی، G_s چگالی نسبی دانه رسوبی، γ وزن مخصوص آب، R_e^* عدد رینولدز ذره رسوبی، v لزجت سینماتیکی آب و τ تنش برشی ناشی از جریان است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\tau = \gamma R_h S_f \quad (5)$$

$$S_f = \frac{n^2 u |u|}{R_h^{4/3}} \quad (6)$$

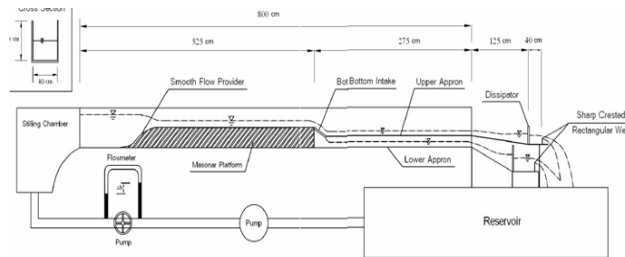
S_f شیب بستر، R_h شعاع هیدرولیکی که تقریباً برابر ارتفاع ستون آب می‌باشد، γ وزن مخصوص آب، g شتاب ثقل، n ضریب مانینگ، u سرعت جریان آب است. در ضمن سرعت برشی جریان آب برابر است با:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \quad (7)$$

که در آن ρ جرم مخصوص آب می‌باشد (یانگ، 1379).

3. مدل آزمایشگاهی مورد بررسی

بینا و همکاران (1390)، تحقیقات خود را با عبور دادن دبی‌های مختلف آب زلال و جریان رسوبدار (بار بستر) از روی سه سازه کف مشبک به ابعاد 30 در 40 سانتیمتر با میله‌های طولی و عرضی متقاطع، ضریب تخلیه کف مشبک متقاطع را برای دو حالت جریان رسوبدار و بدون رسوب محاسبه نموده و روابطی را برای آنها برآزش دادند. در این پژوهش مطابق شکل (1) آزمایشات در یک کانال مستطیلی به طول 8 متر، عرض 0.4 متر و عمق 0.5 متر انجام شده است. در کانال آزمایشگاه تعداد سه سازه کف مشبک به ابعاد 30 در 40 سانتیمتر با میله‌های طولی و عرضی متقاطع با قطرهای 6 و 8 میلیمتر ساخته شده و میزان بازشدگی آنها 0.3، 0.35 و 0.4 در نظر گرفته شده است. شیب طولی کف مشبک در آزمایشات 22، 28 و 56 درصد و طول آنها 30

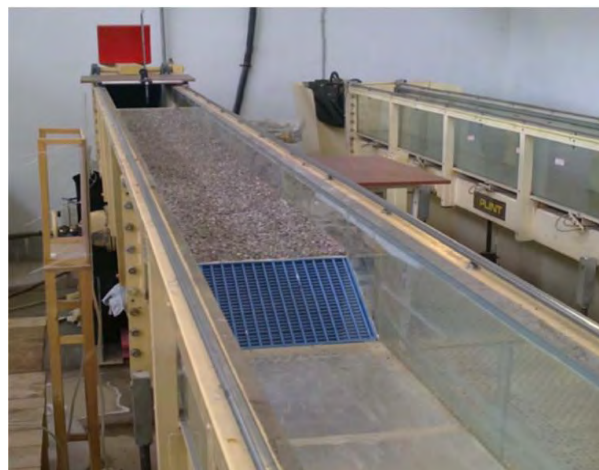


سانتیمتر می باشد.



شکل ۱: نمایی از کانال آزمایشگاهی و پلان شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی

اندازه دانه های رسوبی برای حالت رسوبدار آزمایشات برای مدل سازی طوری انتخاب شده که ذرات به صورت بار بسترانتقال یابند. رسوبات به صورت بستر فعال (Live Bed) در محفظه ای به طول ۳ متر، عرض ۴۰ سانتیمتر (تمام عرضی کانال) و عمق ۷ سانتیمتر در بالادست کف مشبک مطابق شکل (2) قرار گرفته و به صورت یکنواخت پخش شده اند.



شکل 2: نمایی از بستر رسوبی ایجاد شده

کف کانال، فلزی و هموار بوده و جداره های آن از جنس شیشه شفاف با ضخامت ۱۰ میلیمتر می باشد. این کانال دارای طول ۸ متر، عرض ۴۰ سانتیمتر، ارتفاع ۵۰ سانتی متر و شیب طولی ۰/۰۰۶۶۶۷ است. آب به وسیله یک پمپ با حداکثر دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه به ورودی کانال هدایت شده و سپس در طول کانال جاری و به انتهای کانال می رسد. آب پس از خروج از کانال به یک مخزن فلزی ریخته و از آنجا بوسیله یک لوله فلزی به طرف ورودی پمپ هدایت شده و پمپ این چرخه را ادامه می دهد.

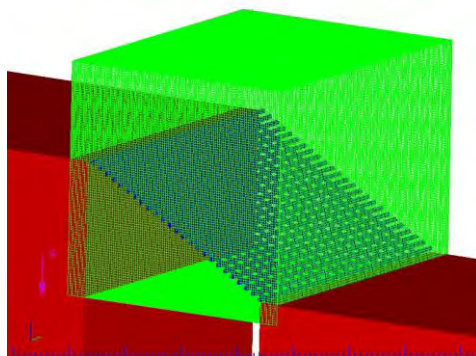
4. مدل سازی عددی

حل عددی معادلات توضیح داده شده در بخش های قبل را با استفاده از روش احجام محدود (Finite-Volume) انجام می دهد. مناطقی که جریان در آن وجود دارد توسط مش های مستطیلی ثابت شده اند. هر سلول با مقادیر متوسط متغیرهای محلی در ارتباط هستند. همه متغیرها در مرکز سلول ها واقع

شده‌اند به جز سرعت که در قسمت جلویی سلول قرار گرفته است (آرایش شبکه متناوب). مدل ساخته شده در نرم‌افزار از سه جزء کانال بالادست، کف مشبک و کانال پایین‌دست به منظور ایجاد انطباق مناسب شرایط مدل آزمایشگاهی بینا و همکاران با مدل عددی تشکیل شده است.

آب، با تمام خواص فیزیکی آن در دمای 20 درجه سلسیوس به عنوان سیال جریان یافته در کانال در نظر گرفته شد، همچنین شتاب گرانش $9.81(m/s^2)$ ، فشار اتمسفر 101300 Pa و دمای محیط 20 درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است.

مرزهای شبکه در قسمت هیدرولیک جریان به منظور کوچک‌سازی مدل و خلاصه‌سازی محاسبات مطابق شکل (3) در راستای موازی جریان از 5 سانتی‌متر بالادست کف مشبک شروع و تا 5 سانتی‌متر بعد از اتمام کف مشبک ادامه یافت و الباقی کانال بالادست و پایین‌دست در مدل‌سازی و محاسبات وارد نشد؛ بلکه عمق متناظر جریان و دبی عبوری از مرز بالادست که در مدل آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده‌اند، به عنوان ورودی‌های عمق و دبی جریان در ورودی شبکه (مرز بالادست) مقاداردهی شدند. در راستای عمود بر جریان، شبکه مش تمام عرض کانال یا کف مشبک را شامل شد (40 سانتیمتر) و برای راستای قائم، مرزهای شبکه از 5 سانتی‌متر پایین‌تر از انتهای کف مشبک تا 5 سانتی‌متر بالاتر از سطح آزاد جریان ورودی را شامل شدند. برای حالت جریان رسوبدار علاوه بر شبکه مش در حالت بدون رسوب، تمام طول کانال بالادست هم شبکه‌گذاری و در محاسبات وارد گردید؛ بدین ترتیب از شبکه‌بندی چند بلوکی استفاده شد. شبکه اول که شامل کانال بالادست، رسوبات بستر و جریان ورودی می‌باشد، نقش انتقال جریان و رسوب بستر (Live Bed) را تا بالادست کف مشبک برعهده دارد. از طرف دیگر مش بلاک دوم که کف مشبک را احاطه کرده، جریان و رسوب منتقل شده را از مش بلاک اول دریافت کرده و با عبور این جریان از روی کف مشبک، دبی عبوری از روی کف مشبک و دبی منحرف شده توسط کف مشبک با محاسبات نرم افزار بر روی این شبکه حاصل گردید. برای انتخاب اندازه مش مناسب در جالت بدون رسوب سه مدل آزمایشگاهی با درصد‌های بازشدگی متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد و مدل‌های ساخته شده منطبق بر آن‌ها تحت مش‌بندی‌های مختلف اجرا می‌گردند. آن اندازه از مش که باعث تشابه هرچه بیشتر نتایج مدل عددی (دبی منحرف شده) با نتایج آزمایشگاهی گردد به عنوان مبنای مش‌بندی تمام مدل‌های ساخته شده انتخاب می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده برای حالت جریان زلال، برای $(0/4, \varepsilon=0/35)$ ، مش 2/5 میلی‌متر نتایج مشابه و بسیار نزدیکی به مش 3 میلی‌متر داشته است؛ بنابراین، استفاده از مش 2/5 میلی‌متر توجیه نداشته و باعث افزایش چندین ساعتی زمان اجرا می‌گردد؛ لذا برای کف‌های مشبک با درصد بازشدگی 0/4 و 0/35 اندازه مش 3 میلی‌متری انتخاب گردید. برای $\varepsilon=0/3$ تفاوت محسوسی بین مش‌های 2/5 و 2 میلی‌متر حاصل نشد؛ بنابراین، برای کف‌های مشبک با درصد بازشدگی 0/3، مش 2/5 میلی‌متری به عنوان مبنای مدل‌سازی‌ها انتخاب شد. همچنین برای جریان رسوبدار، مقادیر دبی انحرافی حاصل از مدل عددی برای مش‌های کوچک‌تر از 2 میلی‌متر تغییر محسوس و منجر به نتایج آزمایشگاهی ندارند؛ بنابر این، اندازه مش 2 میلی‌متر برای حالت جریان رسوبدار انتخاب گردید.

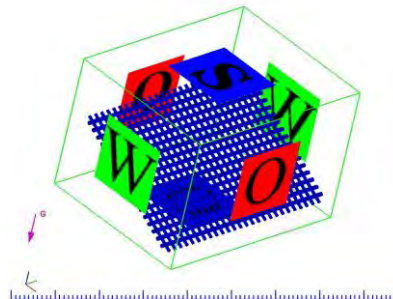


شکل 3: شبکه‌بندی کف مشبک در حالت بدون رسوب و نحوه قرار گیری کف مشبک در شبکه

5. اعمال شرایط مرزی

شرایط مرزی در ورودی شبکه مش به صورت Volume Flow Rate با دبی و عمق مشخص (مطابق شرایط آزمایشگاهی) انتخاب شد. دبی و عمق جریان ورودی هر مدل مطابق مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی وارد گردید. با توجه به اینکه دیواره‌های جانبی کانال در مدل آزمایشگاهی با پلکسی گلاس پوشانده شده بودند، شرایط مرزی به صورت wall که صلیبیت همراه با زبری صفر ایجاد میکند، انتخاب گردید. در انتهای کف مشبک

(محل عبور جریان گذرنده از روی کف مشبک) و همچنین مرز پایین کف مشبک (محل عبور جریان منحرف شده توسط کف مشبک)، شرایط مرزی به صورت outflow قرار داده شد که با توجه به آن بتوان دبی عبوری از روی کف مشبک و دبی منحرف شده تحتانی را استخراج کرد. علاوه بر مرز بالایی شبکه مش به صورت symmetry که شرایط متقارن را در دو طرف خود ایجاد می کند قرار داده شد. شکل (4) مجموعه شرایط مرزی اعمال شده به شبکه را نشان می دهد.



شکل ۴: شرایط مرزی اعمال شده برای شبکه

6. واسنجی زبری کف کانال بالادست

کانال بالادست با داده های آزمایشگاهی (دبی و عمق اولیه) یکی از آزمایشات حالت رسوبدار مدل گردید و مشخصات رسوبات مورد استفاده در بستر رسوبی نیز به کف کانال اعمال شد. مدل با اعمال زبری های متفاوت اجرا گردید و نهایتاً آن زبری که عمق آب در مقطع انتهایی کانال بالادست را با عمق نرمال اندازه گیری شده آزمایشگاهی مطابقت می دهد به عنوان زبری انتخابی سایر مدل ها انتخاب گردید. با توجه به عمق آب بدست آمده از نرم افزار ارتفاع هم ارز زبری اختصاص داده شده به کف کانال برای تمام مدل های جریان رسوبدار 0/018 انتخاب گردید.

7. تجزیه تحلیل نتایج

در مدل سازی اولیه با در نظر گرفتن ۵ معادله مختلف آشفتگی موجود در نرم افزار Flow-3D که شامل مدل تک معادله ای k-ε-RNG - اختلاط پرانتل - شبیه ساز گردابه های بزرگ می شود، مدل ها اجرا شده و خروجی های عددی (دبی انحرافی)، با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید تا بهترین و مشابه ترین نتایج نسبت به کار آزمایشگاهی مبنای مدل سازی های بعدی در این زمینه قرار گیرد. برای تعیین بهترین مدل آشفتگی سه آزمایش مورد بررسی قرار گرفت و و برای ارزیابی عملکرد بهترین مدل آشفتگی از دو معیار زیر استفاده گردید:

ضریب انطباق^۱:

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (o-p)^2}{\sum_{i=1}^N o^2 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N p^2}{N} \right)} \right) \quad (8)$$

میانگین قدر مطلق خطاها^۲:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |o - p| \quad (9)$$

در روابط فوق O مقدار واقعی متغیر وابسته، P مقدار پیش بینی شده متغیر، N تعداد متغیرها می باشد. هرچه مقدار عددی MAE به عدد صفر و مقدار عددی R^2 به عدد یک نزدیکتر باشند، جواب بهتری برای مدل حاصل شده است. لازم به ذکر است که MAE نشان دهنده میزان خطای مدل و

^۱- Correlation Coefficient

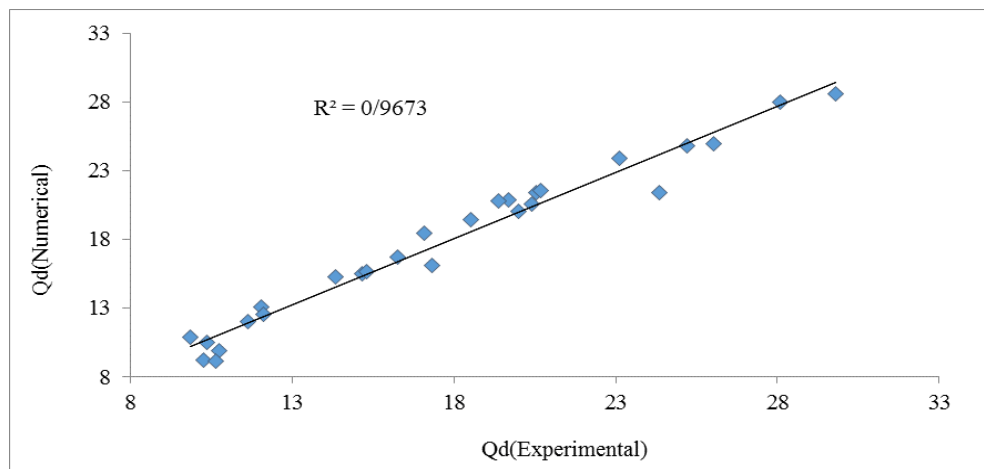
^۲ -Mean Absolute Error

نشانگر میزان بازده مدل می‌باشد. نتایج دبی های انحرافی بدست آمده در جدول (3-4) برحسب لیتر بر ثانیه ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود مدل آشفته‌گی RNG دارای بهترین پیش بینی دبی انحرافی نسبت به نتایج آزمایشگاهی می‌باشد.

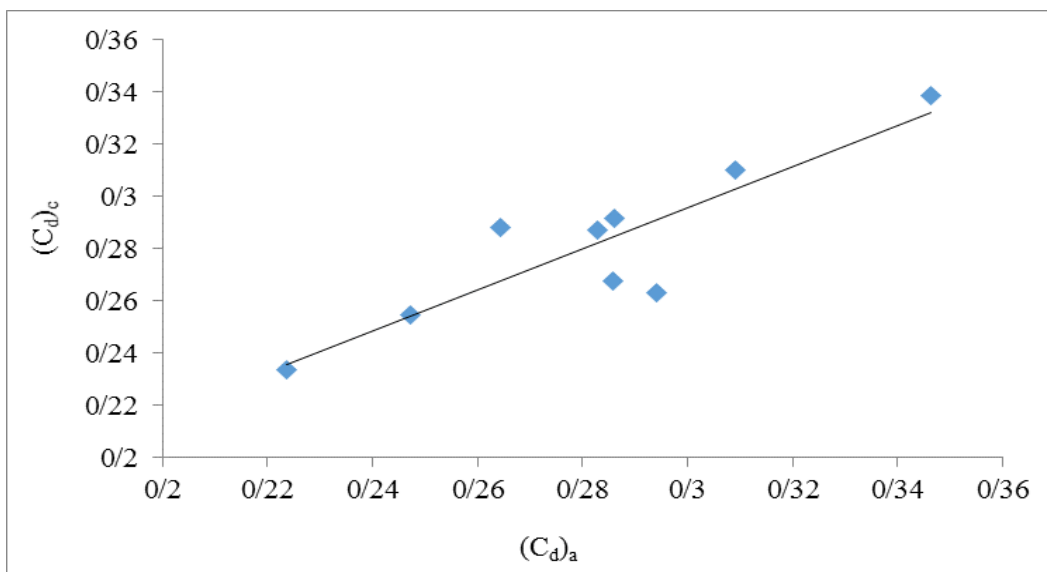
جدول 1: نتایج دبی منحرف شده توسط کف مشبک تحت مدل‌های آشفته‌گی مختلف

مدل آشفته‌گی	Test no	تجربی Qd	عددی Qd	R^2	MAE
معادله ای تک	66	19/5639	23/2153	0/973724	2/614533
	81	25/5984	26/3646		
	246	24/8094	28/2354		
k-ε	66	19/5639	22/165	0/986124	1/994413
	81	25/5984	26/42544		
	246	24/8094	27/3645		
RNG	66	19/5639	20/5582	0/998476	0/693807
	81	25/5984	25/98097		
	246	24/8094	25/51395		
اختلاط پراتل	66	19/5639	15/3657	0/965654	3/792093
	81	25/5984	21/99332		
	246	24/8094	21/2364		
شبه ساز گردابه های بزرگ	66	19/5639	13/35214	0/951809	4/300193
	81	25/5984	21/74734		
	246	24/8094	21/97164		

با اجرای 27 مدل عددی آبگیر کفی مشبک متقاطع و 9 مدل آبگیر با جریان رسوبدار با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D، به بررسی میزان دبی منحرف شده توسط کف مشبک می‌پردازیم. در اشکال 5 و 6 نتایج آزمایشگاهی، نتایج عددی و مقایسه دبی انحرافی عددی و آزمایشگاهی آورده شده است. بررسی نتایج و درصد خطاها، نشان از صحت مدل عددی و دقت مناسب برآورد دبی منحرف شده دارد.

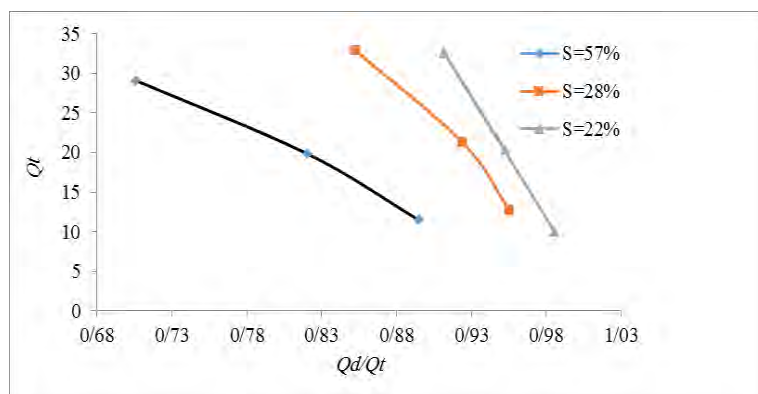


شکل 5: مقادیر دبی اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر محاسبه شده با استفاده از نرم افزار در حالت بدون رسوب

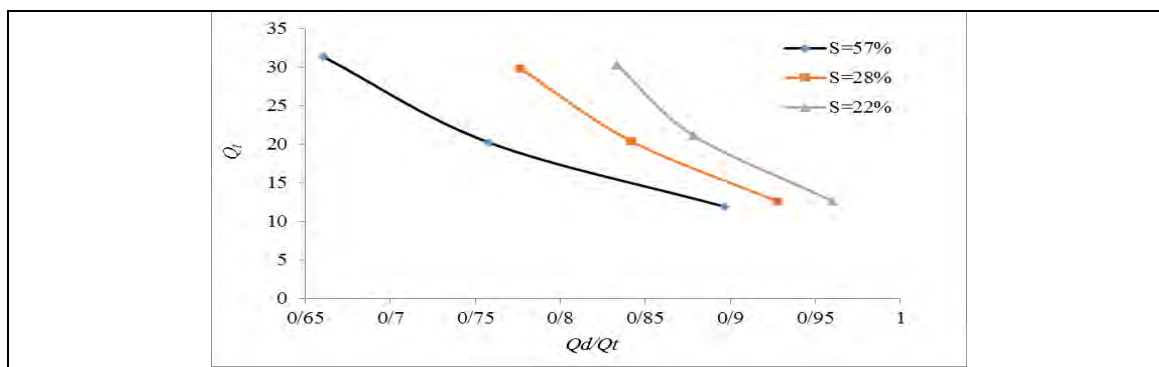


شکل 6: ضریب تخلیه اندازه گیری شده در مقابل مقادیر محاسبه شده با استفاده از نرم افزار در حالت رسوبدار

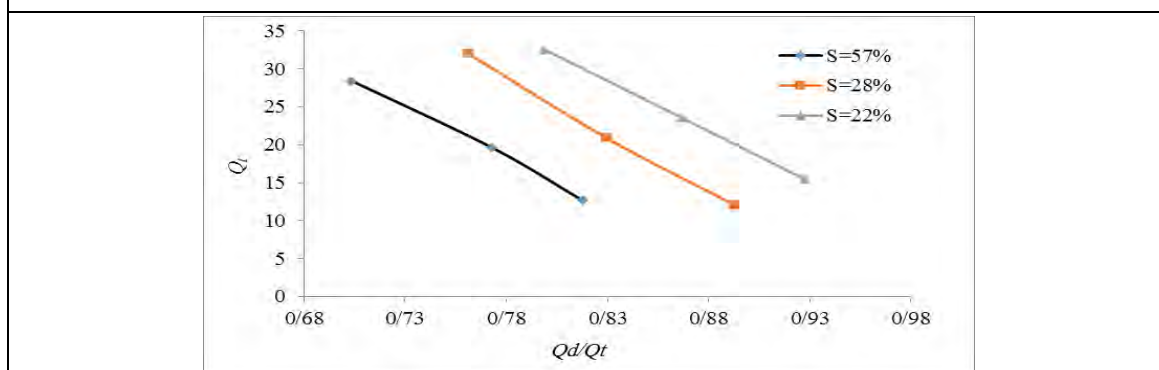
برای بررسی میزان دبی منحرف شده توسط کف مشبک و تاثیر پارامترهای مختلف بر روی آن، مطابق شکل های 7 الی 9 نسبت های دبی منحرف شده (Q_d / Q_t) که حاصل تقسیم دبی منحرف شده توسط کف مشبک (Q_d) به دبی کل جریان بالادست (Q_t) برای حالت بدون رسوب آزمایشات می باشد، برای هر سه نوع کف مشبک بکار رفته در این تحقیق در مقابل Q_t رسم گردید.



شکل 7: مقایسه نسبت دبی منحرف شده به دبی کل (Q_d / Q_t) در برابر دبی کل (Q_t) برحسب لیتر بر ثانیه برای $(\epsilon = 0.4)$



شکل 8: مقایسه نسبت دبی منحرف شده به دبی کل (Q_d/Q_t) در برابر دبی کل (Q_t) بر حسب لیتر بر ثانیه برای ($\epsilon = 0.35$)



شکل 9: مقایسه نسبت دبی منحرف شده به دبی کل (Q_d/Q_t) در برابر دبی کل (Q_t) بر حسب لیتر بر ثانیه برای ($\epsilon = 0.3$)

8. نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Flow-3D جریان بر روی آبگیر کفی به صورت عددی مدل و با استفاده از روش حجم محدود شبیه سازی گردید. برای مدل سازی کف مشبک واسنجی هایی در موارد زیری کف کانال بالادست و نوع مدل آشفتگی مورد استفاده و اندازه مش به منظور بهینه سازی دقت و زمان شبیه سازی استفاده گردید و در ادامه پروفیل شکل گرفته بر روی کف مشبک به منظور کنترل صحت کارکرد مدل عددی با اعماق اندازه گیری شده آزمایشگاهی مقایسه و صحت سنجی گردید. فیزیک مدل گام زمانی و شرایط مرزی به گونه ای انتخاب شد که انطباق کامل با شرایط آزمایشگاهی حاصل شود. در مدلسازی از معادلات ناویر-استوکس برای حل میدان جریان و برای مدل آشفتگی نیز مدل RNG که ضریب انطباق 0.998 را نسبت به نتایج آزمایشگاهی ارائه کرد استفاده شد. صحت سنجی مدل عددی برای هر دو حالت جریان رسوبدار و بدون رسوب با توجه به دبی انحراف یافته توسط کف مشبک انجام شد. از بررسی اشکال 7، 8 و 9 نتایجی در خصوص عوامل مؤثر بر دبی منحرف شده توسط کف مشبک بدست می آید که به طور خلاصه بیان میشود:

- در تمامی انواع کف های مشبک، با افزایش دبی جریان بالادست نسبت دبی منحرف شده به دبی کل کاهش می یابد.
- با افزایش شیب طولی کف مشبک نسبت دبی منحرف شده توسط کف مشبک به دبی کل کاهش می یابد.
- با افزایش درصد بازشدگی کف مشبک نسبت دبی منحرف شده توسط کف مشبک به دبی کل افزایش میابد.
- هرچه سرعت جریان ورودی بالادست در دبی ثابت بالاتر باشد یا به عبارتی عمق جریان ورودی بالادست در دبی ثابت کمتر باشد، نسبت دبی منحرف شده توسط کف مشبک به دبی کل کاهش می یابد.

نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی همبستگی و تشابه قابل قبولی داشت و ثابت کرد مدل‌سازی عددی روش مناسبی برای مدل‌سازی کف مشبک با میله‌های متقاطع است. با توجه به دقت قابل قبول نتایج حاصل نرم افزار Flow-3D، میتوان از آن در مدل‌سازی شرایط دیگر جریان بر روی آبگیرهای کف مشبک بهره برد.

9. مراجع

- [1] ابریشمی، ج.، حسینی، م. 1378. هیدرولیک کانال‌های باز. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)
- [2] بینا کیوان، 1390. بررسی رفتار هیدرولیکی کف‌های مشبک با استفاده از مدل فیزیکی و بهینه‌سازی ابعاد هندسی آن. پایان‌نامه دوره دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [3] بینا، ک.، مغربی، ف.، ابریشمی، ج. 1389. بررسی آزمایشگاهی ضریب تخلیه در آبگیرهای کفی مشبک با میله‌های متقاطع. فصل‌نامه علمی- پژوهشی آب فاضلاب، سال اول، صفحه‌های 24 تا 32.
- [4] بینا، ک.، فغفور، م.، ابریشمی، ج. 1390. مقایسه ضریب تخلیه دبی آبگیرهای کفی مشبک با میله‌های متقاطع در دو حالت جریان رسوبدار و بدون رسوب. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد 35، شماره 1.
- [5] ریخته‌گر، ش.، بینا، ک.، حسینی، خ.، کرمی، ح. 1393. بررسی تاثیر تغییرات دبی و شیب کف در عملکرد آبگیر کفی با استفاده از مدل عددی، دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، IHC12_066
- [6] Brunella, S., W. Hager and H.E. Minor. (2003). Hydraulics of bottom rack intake. J. Hydraul. Eng. ASCE 129(1): 2-10.
- [7] Bina, K., Saghi, H. (2017). Experimental Study of Discharge Coefficient and Trapping Ratio in Mesh-Panel Bottom Rack for Sediment and Non-Sediment Flow and Supercritical Approaching Conditions. Journal of Experimental Thermal and Fluid Science. Vol. 88: 171-186
- [8] Castillo, L., Garcia, J., & Carrillo, m., Qin, Q. (2016). Experimental and numerical study of bottom rack occlusion by flow with gravel-sized sediment. Application to ephemeral streams in semi-arid regions. Journal of Water, 10.3390/w8040166.
- [9] Kumar, S., Ahmad, Z. (2015). Experimental investigation on ingestion of sediment into trench weirs. ISH Journal of Hydraulic Engineering.
- [10] Naghavi, B., & Maghrebi, M. (2010). Experimental study of sediment flow discharge in new system of bottom intakes with porous media. Journal of Transport in Porous Media, 10.1007/s11242-010-9596-6
- [11] Righetti, M. & S. Lanzoni. (2008). Experimental study of the flow field over bottom intake racks. J. Hydraul. Eng. ASCE 134: 15-22.
- [12] Van Rijn, L. C., Sediment Transport part: Bed load Transport, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.10, pp1431-1456, 1984.
- [13] Wilcox D.C. Turbulence Modeling for CFD, 1993