

شبیه سازی جریان در آبیگرهای کفی با استفاده از نرم افزار FLOW 3D

امیر عباس کمان بدست^{1*} و بهرنگ فرج پور²

(1) استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، گروه مهندسی آب، اهواز، ایران.

(2) کارشناس ارشد سازه های آبی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

* نویسنده مسئول مکاتبات : Ka57_amir@yahoo.com

تاریخ پذیرش: 90/06/01

تاریخ دریافت: 90/03/18

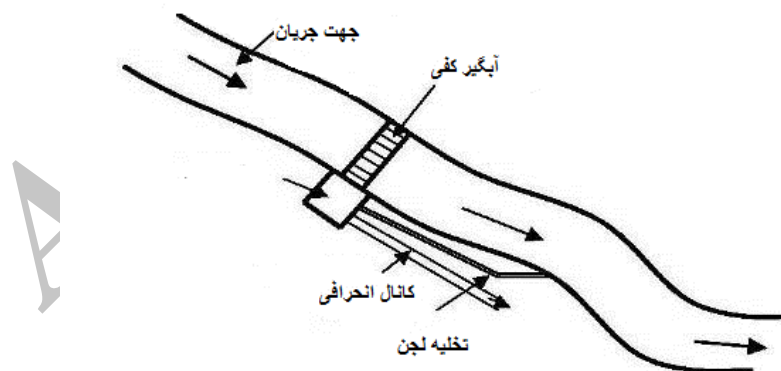
چکیده

آبیگرهای کفی از جمله سازه هایی هستند که معمولاً در مناطق کوهستانی ساخته می شوند. در بحث آبیگری از رودخانه ها، روش های متعددی وجود دارد که هر یک ویژگی ها و محدودیت های خاص خود را دارند. آبیگری از جریان آب در رودخانه ها معمولاً به دو روش پمپاژ و ثقلی صورت می گیرد. روش ثقلی به دلیل پیوسته بودن و عدم نیاز به صرف انرژی بر روش پمپاژ ارجحیت دارد. روش های مختلفی به طریق ثقلی امکان پذیر می باشد که معمولاً به سه دسته آبیگرهای جانبی، جلویی و کفی تقسیم بندی می شوند. با توجه به تجربیات بدست آمده در کشورهای اروپایی برای مناطق کوهستانی و کوهپایه ای با شیب طولی رودخانه بیش از یک درصد در حالی که 75 درصد بار بستر دارای ابعاد بزرگتر از 6 میلی متر باشد، آبیگر کفی توصیه گردیده است. با توجه به اینکه تحلیل هیدرولیکی جریان در آبیگر کفی چندان توسط مدل های ریاضی مورد بحث قرار نگرفته و از طرفی بررسی و ساخت مدل های فیزیکی زمان بر و پرهزینه است، بنابراین در این پژوهش، شبیه سازی هیدرولیک جریان در آبیگر کفی، توسط نرم افزار Flow3D مورد نظر قرار گرفت. در این پژوهش مشاهده گردید که بهترین شیب شبکه آبیگر، برای آبیگری شیب 20 درجه می باشد. از طرفی هر قدر درصد بازشدگی شبکه آبیگر افزایش یابد، نسبت دبی انحرافی نیز افزایش می یابد. همچنین تغییرات ضریب شدت جریان در حالت های مختلف نسبت به عدد فرود، شیب و درصد بازشدگی بررسی شد که با توجه به نمودارهای بدست آمده مشخص شد که افزایش عدد فرود و درصد بازشدگی شبکه آبیگر، باعث کاهش ضریب تخلیه جریان می گردد.

واژه های کلیدی: آبیگر کفی، نرم افزار Flow3D، ضریب تخلیه جریان.

مقدمه

در بحث آبیگری از رودخانه‌ها، روش‌های متعددی وجود دارد که هر یک ویژگی‌ها و محدودیت‌های خاص خود را دارند. روش‌های مختلف، عملکردهای گوناگونی را از خود نشان داده و دارای معایب و محاسنی می‌باشند. آبیگری از جریان آب در رودخانه‌ها معمولاً به دو روش پمپاژ و ثقلی و با اهداف گوناگون پخش سیلاب، آبیاری، آبرسانی شهری یا تولید برق آبی صورت می‌گیرد. روش آبیگری بستگی به هدف طرح، شرایط رودخانه و مقدار آب مورد نیاز دارد. روش ثقلی به دلیل پیوسته بودن و عدم نیاز به صرف انرژی بر روش پمپاژ ارجحیت دارد. روش‌های مختلفی به طریق ثقلی امکان پذیر می‌باشد که معمولاً به سه دسته آبیگری‌های جانبی، جلویی و کفی تقسیم بندی می‌شوند. در انتخاب نوع آبیگر باید به رژیم جریان رودخانه، بار رسوبات معلق و بار بستر، نیز به هیدرولوژی جریان، و جنس خاک بستر رودخانه و شرایط زمین شناسی و غیره توجه نمود. در رودخانه‌های کوهستانی با شیب بسیار تند و با رسوبات درشت دانه، آبیگری‌های جانبی و جلویی جواب گو نخواهند بود. زیرا به سرعت از رسوب پر خواهند شد. همچنین به علت شیب زیاد منطقه و پتانسیل بالای رانش و لرزه خیزی، پایداری آن‌ها به شدت در معرض خطر خواهد بود. با توجه به تجربیات بدست آمده در کشورهای اروپایی، برای مناطق کوهستانی و کوهپایه ای با شیب طولی رودخانه بیش از یک درصد، در حالی که 75 درصد بار بستر دارای ابعاد بزرگتر از 6 میلی متر باشد، آبیگر کفی توصیه گردیده است. آبیگرهای کفی، سازه‌هایی هستند که دارای سرریز با ارتفاع کم بوده و در عرض رودخانه ساخته شده و در بدنه پایین دست سرریز کانالی، جهت انحراف آب رودخانه در نظر گرفته می‌شود. در این روش پس از حفر ترانشه ای با مقطع مناسب در جهت عمود بر امتداد جریان، در قسمتی یا تمامی عرض رودخانه اقدام به جمع آوری و انحراف جریان می‌نمایند. معمولاً از یک شبکه فلزی، برای پوشش روی کانال انحراف و جهت جلوگیری از ورود ذرات درشت بستر، استفاده می‌گردد. شیبدار بودن این میله‌ها موجب تسهیل رانده شدن رسوبات حمل شده توسط رودخانه می‌گردد. شکل (1) نشان دهنده طرح ساده ای از یک آبیگر کفی است.



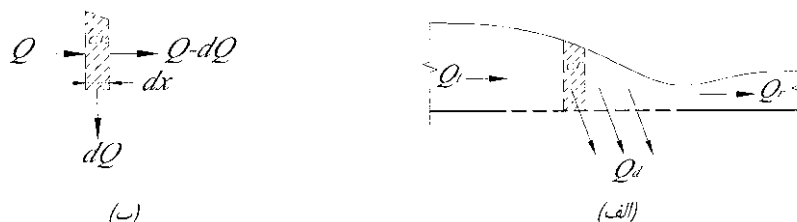
شکل 1: نمایی کلی از یک آبیگر کفی با میله‌های موازی جریان

با توجه به اینکه تحلیل هیدرولیکی جریان در آبیگر کفی چندان توسط مدل‌های ریاضی مورد بحث قرار نگرفته و از طرفی بررسی و ساخت مدل‌های فیزیکی، زمانبر و پرهزینه است، بنابراین در این پژوهش شبیه سازی هیدرولیک جریان در آبیگر کفی، توسط نرم افزار Flow3D مورد نظر قرار گرفت. تحقیق صورت گرفته اهداف زیر را شامل می‌شود: 1- ساخت مدل ریاضی جریان در آبیگر کفی 2- مطالعه

نیم رخ‌های شکل گرفته بر روی کف مشبک 3- بررسی تغییرات شیب کف بر دبی انحرافی 4- تعیین ضریب تخلیه در رژیم‌های گوناگون جریان. در این ارتباط - اورت Orth در سال 1954 با استفاده از کانالی با شیب 20% و 5 مقطع (T شکل، T شکل با مثلثی در بالا، نیم دایره، دایره و تخم‌مرغی) و با استفاده از میله‌های موازی، تحقیقاتی را بر روی آبیگر کفی انجام داد. نتایج این مطالعات نشان داد که کمترین طول آبیگر در مقطع تخم‌مرغی است و کمترین دبی عبوری در هنگام بکارگیری مقاطع T شکل است. کوتزمان و بووارد (Kutzmann and Bouvad) در سال 1954 اولین روش محاسباتی را برای بدست آوردن نیم رخ سطح آب بر روی کف مشبک با فرض انرژی ثابت و معادلات معمول اوریفیس ارائه دادند. Escande در سال 1955 مدلی ساخت که در آن، کف مشبک با سه شکاف و شیب 25% در پایین دست یک سرریز دایره‌ای قرار گرفته بود. دبی منحرف شده به صورت تابعی از هد آب، روی سرریز می‌باشد. (Ract-Madoux) و همکاران در سال 1955 تجربیات خود را در پروژه‌های مختلف در ناحیه (Savoy) در کوه‌های آلپ فرانسه منتشر کرد. مهمترین نتایج این گزارش عبارت بود از این که: برای داشتن کمترین ریسک بسته شدن آبیگر توسط رسوبات، شیب کف باید حداقل 20% باشد. فاصله کمتر از 0/1 متر بین میله‌ها برای مناطق کوهستانی قابل قبول است. (Noseda) در سال 1955 با انتخاب شیب‌های کف 0، 10 و 20% و میله‌های با مقطع T و L شکل آزمایشاتی انجام داد. نوسدا با تعمیم معادلات دمارچی (De Marchi) در مورد سرریزهای جانبی و فرض، هد ثابت انرژی در طول کف مشبک او توانست پروفیل سطح آزاد آب را پیش‌بینی کند. (Mostkow) در سال 1957 اثر توزیع غیر هیدرواستاتیک فشار بر روی کف مشبک را مورد توجه قرار داد. او دبی بین شکافها را با استفاده از عمق‌های حدی در دو انتهای هر شکاف بدست آورد. موستکو همچنین توزیع فشار روی هر میله را با در نظر گرفتن اثرات انحنای جریان بدست آورد. راز و همکاران (1385) با احداث یک کانال دو طبقه به نتایجی کاربردی در مورد پروفیل سطح آب و ضریب تخلیه در رژیم‌های گوناگون جریان، دست یافتند. کمان بدست و شفافی بجزستان (2008) در یک مدل آزمایشگاهی به بررسی تغییرات شیب کف بر دبی انحرافی پرداخته و ضریب تخلیه جریان را در مدل آزمایشگاهی بر روی کف‌های مشبک بصورت یک فرمول تخمین زدند.

معادلات حاکم

جریان عبوری از روی سرریز مشبک، از نوع جریان متغیر مکانی کاهنده است. مقدار کاهش دبی را در طول سرریز و با فرض خروج جریان از روزنه، به صورت شکل (2) می‌توان نوشت:



شکل 2: (الف) جریان بر روی یک آبیگر کفی، (ب) جریان در یک المان

$$\left(-\frac{dQ}{dx}\right) = C_d \varepsilon B \sqrt{2gE} \quad (1)$$

که در این رابطه Q : دبی در جهت جریان C_d : ضریب تخلیه، ε : درصد گرفتگی شبکه، B : عرض سرریز، g : شتاب ثقل و E انرژی مخصوص می‌باشد. با بکار بردن فرضیه دی مارچی که مقدار E را در طول شبکه ثابت در نظر گرفت، می‌توان نوشت:

$$Q = B y \sqrt{2g(E - y)} \quad (2)$$

و با بکار بردن معادله انرژی برای جریان متغیر مکانی کاهنده، رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Qy \left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{gB^2 y^3 - Q^2} \quad (3)$$

با جای گذاری معادلات 1 و 2 در معادله 3 خواهیم داشت:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2\varepsilon C_d \sqrt{E(E - y)}}{3y - 2E} \quad (4)$$

که با انتگرال گیری و بکارگیری شرایط مرزی $y = y_1$ در $x=0$ و اختیار کردن $y/E = \eta$

$$x = \frac{E}{\varepsilon C_d} \left(\eta_1 \sqrt{1 - \eta_1} - \eta \sqrt{1 - \eta} \right) \quad (5)$$

مقدار دبی انحرافی یا دبی ورودی به شبکه برابر است با مقدار کاهش دبی در طول شبکه یعنی: $Q_d = -\frac{dQ}{dx}$ و در نتیجه با توجه به

رابطه (1) می‌توان نوشت:

$$Q_d = C_d \varepsilon B L \sqrt{2gE} \quad (6)$$

مطالعات نشان داده که وقتی شبکه آشغالگیر، متشکل از میله‌های موازی باشند، می‌توان از افت انرژی صرف نظر کرد و در نتیجه در معادله فوق بجای E مقدار y (عمق جریان) را جایگزین کرد.

C_d ضریب تخلیه نیز تابعی از پارامترهای زیر می‌باشد:

$$C_d = f(Fr_1, \varepsilon, x/L, K, S) \quad (7)$$

S : شیب کف مشبک، ε : درصد بازشدگی، x/L : فاصله بین آرماتورها به طول آبگیر، k : پارامتری از جریان برابر $V_0^2/2gE$ و Fr_1 : عدد فرود روی سرریز در ابتدای آبگیر، C_d ضریب تخلیه در اینجا به کمک رابطه (5) تعیین شده است.

برای محاسبه مقدار دبی انحرافی می‌توان از رابطه (2) نیز استفاده کرد، در اینصورت با توجه به شکل (2) می‌توان نوشت:

$$Q_l = B y_l \sqrt{2g(H_o - y_l)} \quad (8)$$

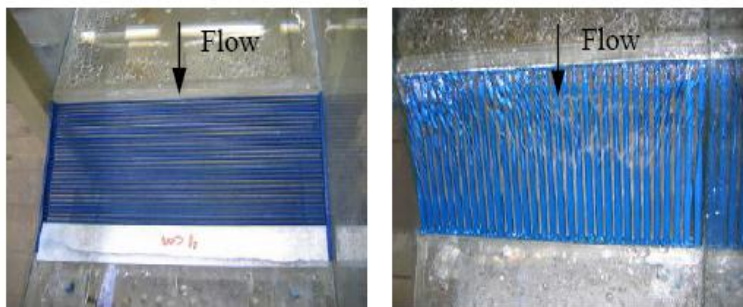
$$Q_r = B y_x \sqrt{2g(H_o - y_x)} \quad (9)$$

$$Q_d = B \sqrt{2g} \left(y_l \sqrt{H_o - y_l} - y_x \sqrt{H_o - y_x} \right) \quad (10)$$

در روابط فوق $Q_t = Q_d$ دبی کل، $Q_t = Q_d$ دبی رد شده از روی آبنگير و $Q_d = Q_t$ دبی انحرافی می باشد.

مواد و روشها

در این تحقیق در ابتدا از فلومی به عرض 60 سانتی متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران جهت کالیبراسیون وصحت نرم افزار استفاده گردید. به این منظور یک کانال به ابعاد گفته شده از جنس فلز (که کف و دیوارها با ضخامت 20mm از جنس پلی گلاس آبند شده است) ساخته شد (عرض داخلی کانال 56cm بود) برای شبکه توری از میله هایی به قطر 6 و 8 میلی متر با درصد بازشدگی $\epsilon = 30-40\%$ (سطح مقطع مؤثر در آرماتورهای موازی) استفاده شد. آزمایشهای هیدرولیک صورت گرفته برای هر کدام از موارد گفته شده برای 4 شیب 10، 20، 30 و 40 درجه انجام گرفت. طول لازم آبنگير برای برداشتها، 30 سانتی متر محاسبه شده (با توجه به رابطه سوبرامانیا و مستکو) که البته برای بررسی بیشتر نقش طول آبنگير در دبی منحرف شده، این طول 10 سانتی متر در نظر گرفته شد. با توجه به محدودیت های موجود در آزمایشگاه، آزمایشها حداکثر با دبی ورودی به کانال اصلی برای 30 LPS برای حالت های زیر بحرانی و فوق بحرانی بالادست انجام گرفته است. سپس شکل هندسی سازه در نرم افزار AUTO CAD به صورت سه بعدی ساخته شد. قابل ذکر است که نرم افزار Flow3D قابلیت ساخت اشیاء با هندسه مشخص و وارد کردن اشیاء از پیش طراحی شده در نرم افزارهای مختلف از قبیل Auto CAD و Solid work را دارا می باشد. اما از آنجا که طراحی شکل هندسی شبکه های آبنگير در نرم افزار Flow3D مقدور نبود در نتیجه ساخت شکل سه بعدی سازه در AutoCAD انجام گرفت. پس از وارد کردن شکل هندسی ساخته شده در Flow3D (شکل شماره 3) مراحل بعدی نرم افزار که بعضی از اشکال آن آورده شده است اجرا شده و سپس شروع به ران کردن برنامه کرده و نتایج استخراج می گردد.

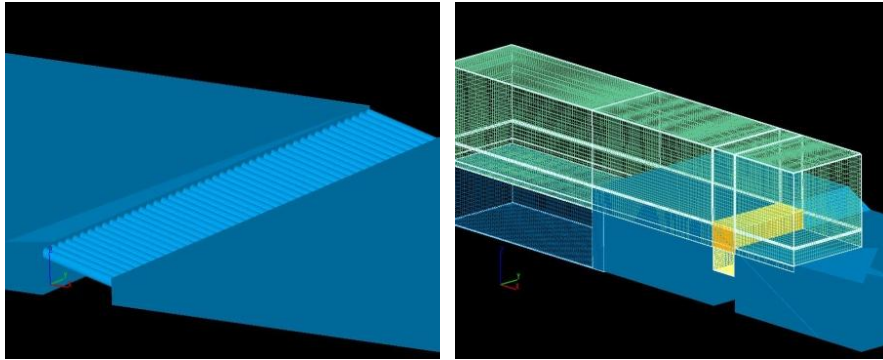


(ب)

(الف)

شکل 3: نمایی از شکل هندسی مدل فیزیکی

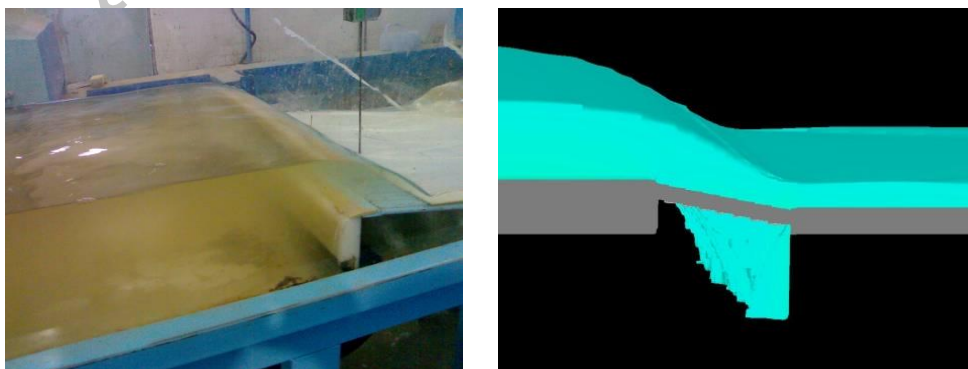
نکته قابل توجه دیگر در این نرم افزار، نوع شبکه بندی قابل تعریف است. بطوریکه این نرم افزار قابلیت شبکه بندی از نوع چهاروجهی متعامد را داراست. بخش Meshing and Geometry وظیفه تعیین ابعاد، جنس، حالت، زبری و قابلیت های دیگری از اجسام را بر عهده دارد. همچنین وظیفه کنترل و تنظیم ابعاد شبکه مورد استفاده در مدل را نیز بر عهده دارد.



شکل 4: مش بندی و ژئومتری سازه

در خصوص نحوه ورود شرایط مرزی، پس از ساخت هندسه میدان و مش بندی آن لازم است تا شرایط مرزی مورد نظر به مرزهای میدان اعمال شود. نرم افزار، توانایی قبول شرایط مرزی را در حالت‌های متفاوت از قبیل معرفی فشار، سرعت، دیواره، سطح آزاد، سرریز، جریان پیوسته و... دارد. نوع مدل تلاطم مورد استفاده در مدل-همانگونه که پیشتر اشاره شد، نرم افزار Flow3D قابلیت بکارگیری پنج مدل آشفتگی به روش‌های طول اختلاط پراندل، مدل تک معادله ای، دو معادله ای $k-\epsilon$ ، دو معادله ای $k-\epsilon$ RNG و شبیه سازی گردابه‌های بزرگ (LES) را برای مدلسازی جریان دارا می‌باشد. در این تحقیق، آزمایشاتی جهت تعیین مدل آشفتگی نیز انجام شد. در نتایج بدست آمده در این تحقیق، نتایج حاصل از مدل RNG به نتایج آزمایشگاه نزدیک تر بود. در نتیجه در تمام طول شبیه سازی از مدل تلاطم RNG استفاده گردید.

خروجی‌های نرم افزار: نرم افزار Flow3D توانایی نمایش تغییرات لحظه ای پارامترهای هیدرولیکی مختلف مانند: عمق و سرعت در جهات مختلف و هر مقطع دلخواه از سازه را به صورت فایل متنی (TEXT) یا گرافیکی داراست. یکی دیگر از خروجی‌های برنامه، نمایش دو بعدی تغییرات پارامترهای هیدرولیکی می‌باشد. بدین معنی که امکان بررسی تغییرات پارامترهای هیدرولیکی در طول، عرض و پلان سازه به سهولت، امکان پذیر است. نمایش سه بعدی تغییرات پارامترهای هیدرولیکی مختلف در هر لحظه، از جمله توانایی‌های دیگر این نرم افزار می‌باشد. شکل 5 اجرای آب در مدل فیزیکی و شکل 6 نمونه ای از خروجی‌های نرم افزار بصورت نمایش سه بعدی را نشان می‌دهند.



شکل 5 و 6: نمونه ای از خروجی‌های مدل و نرم افزار به صورت سه بعدی (شیب شبکه 10درجه)

نتایج

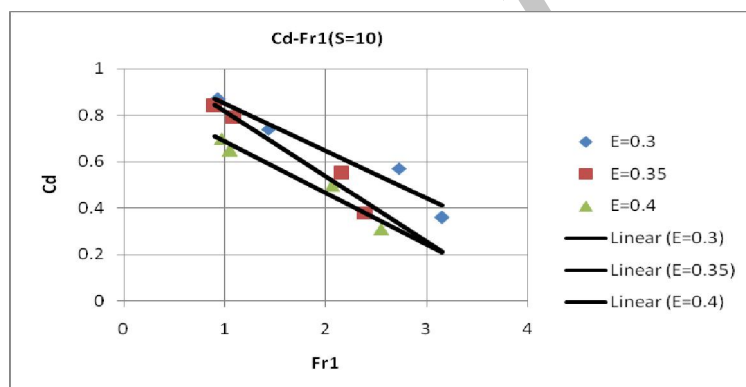
مقدار ضریب جریان را می توان به طریق زیر محاسبه کرد: ضریب تخلیه با فرض افت انرژی ناچیز و با استفاده از مقادیر عمق آب در ابتدای شبکه y_1 و عمق آب y_x در فاصله x از ابتدای کف مشبک و قرار دادن در رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$C_d = \frac{H_o}{\varepsilon \cdot x} \left(\frac{y_1}{H_o} \sqrt{1 - \frac{y_1}{H_o}} - \frac{y_x}{H_o} \sqrt{1 - \frac{y_x}{H_o}} \right) \quad (11)$$

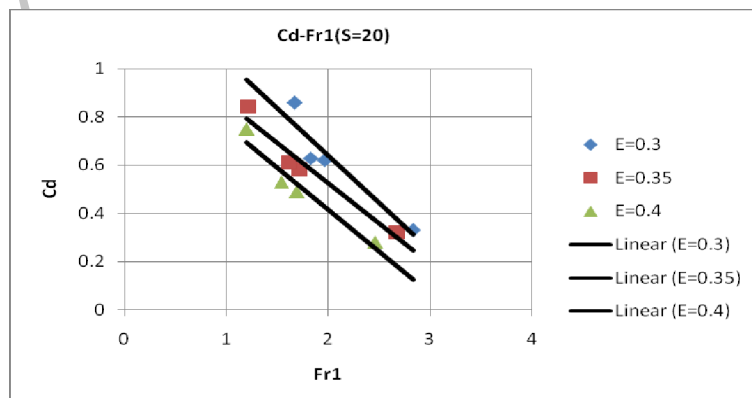
همانگونه که قبلاً اشاره شد ضریب تخلیه به عوامل متعددی بستگی دارد که با اندازه گیری خصوصیات جریان، قابل بررسی است. از جمله این پارامترها، می توان به Fr_1 (عدد فرود در ابتدای شبکه آبگیر)، ε (درصد بازشدگی شبکه) و S (شیب آبگیر) اشاره کرد.

بررسی تغییرات C_d نسبت به Fr_1

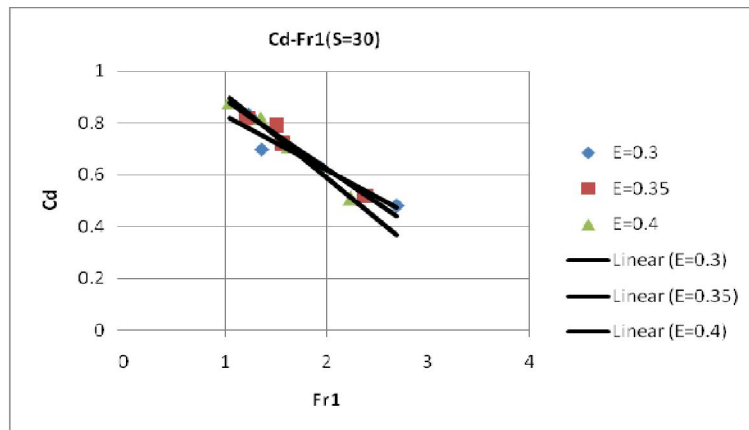
- بر حسب عدد فرود، نمودارهای $C_d = f(Fr_1)$ به دست آمده است. نمودارهای 7 تا 9 این مقایسه را نشان می دهند. همانگونه که ملاحظه می گردد با افزایش درصد بازشدگی، ضریب جریان، کاهش می یابد.



شکل 7: مقایسه ضریب C_d نسبت به عدد فرود به ازاء شیب 10 درجه

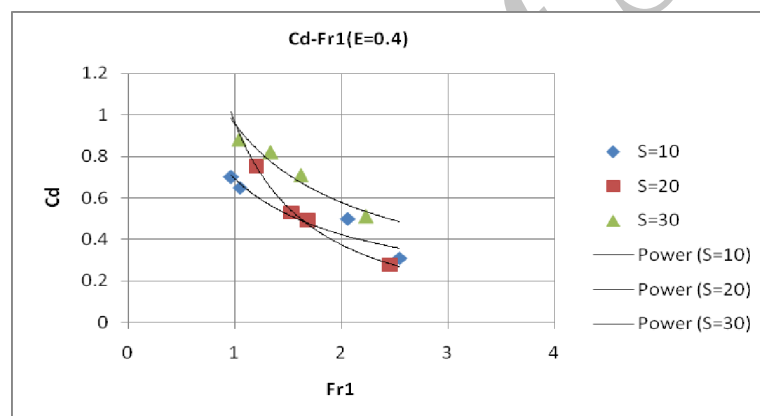


شکل 8: مقایسه ضریب C_d نسبت به عدد فرود به ازاء شیب 20 درجه

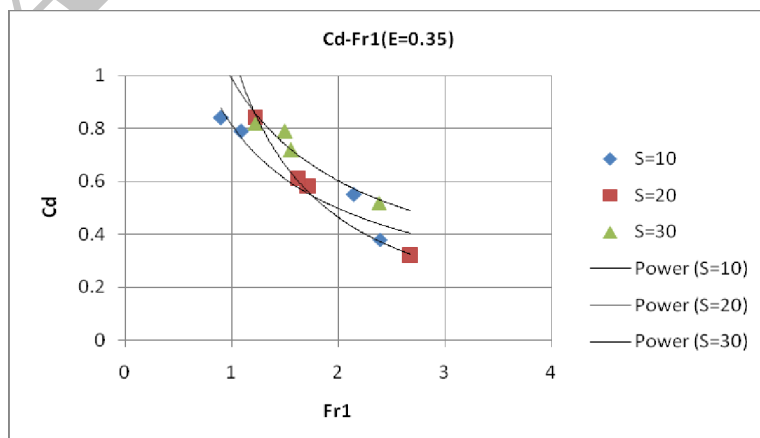


شکل 9: مقایسه ضریب C_d نسبت به عدد فرود به ازاء شیب 30 درجه

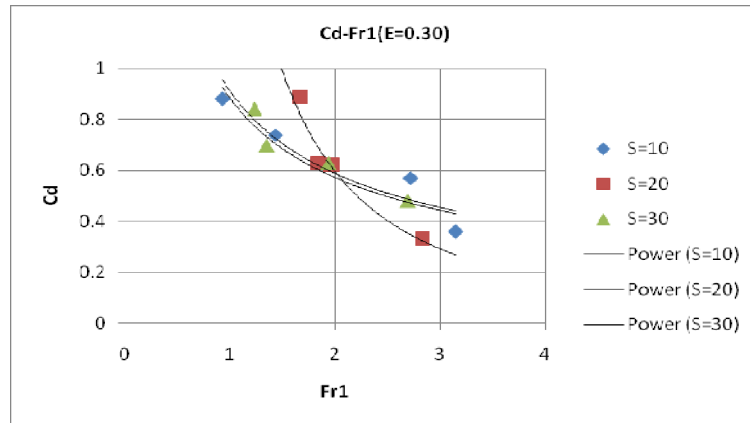
همان گونه که ملاحظه می‌گردد در محدوده عدد فرود مشخص شده، با افزایش درصدبازشدگی کف مشبک، ضریب جریان کاهش می‌یابد. با توجه به اعداد بدست آمده، درصد تغییرات ضریب جریان از 30 تا 40% بازشدگی، حدود 25 درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که این گراف‌ها برحسب شیب متغیر نیز از 10 تا 30 درجه و مطابق نمودارهای 10 تا 12 مقایسه شده‌اند.



شکل 10: مقایسه ضریب تخلیه با عدد فرود بالادست در شیب متغیر (شبکه 40%)



شکل 11: مقایسه ضریب تخلیه با عدد فرود بالادست در شیب متغیر (شبکه 35%)

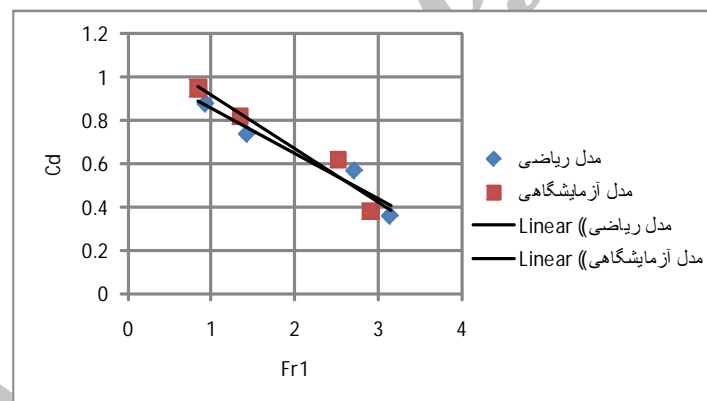


شکل 12: مقایسه ضریب تخلیه با عدد فرود بالادست در شیب متغیر (شبکه 30%)

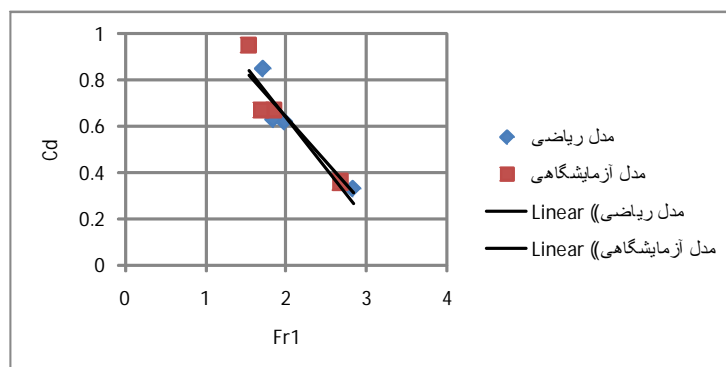
همان گونه که در نمودارها ملاحظه می گردد با افزایش شیب (در اینجا 3 شیب 10، 20 و 30 درجه)، ضریب جریان نیز افزایش می یابد.

مقایسه با نتایج آزمایشگاه

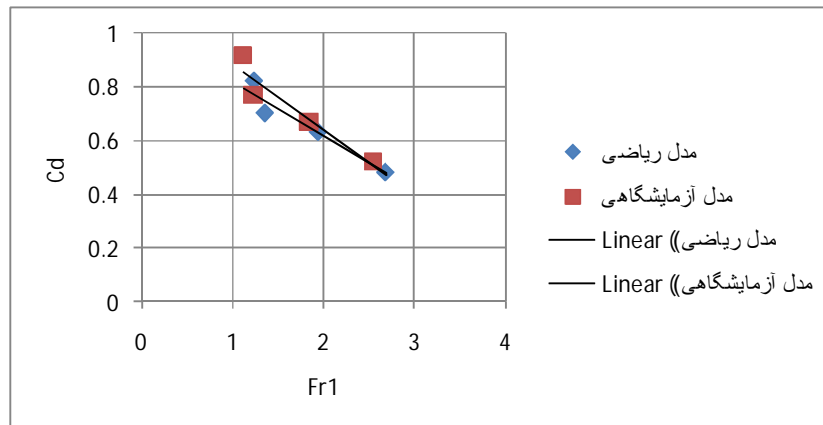
در این قسمت، ضرایب تخلیه محاسبه شده توسط نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی، مقایسه شده است. نمودارهای 13 تا 15 این مقایسه را نشان می دهند.



شکل 13: مقایسه ضریب C_d نسبت به عدد فرود شیب 10 درجه و درصد بازشدگی 30 درصد



شکل 14: مقایسه ضریب C_d نسبت به عدد فرود شیب 20 درجه و درصد بازشدگی 30 درصد



شکل 15: مقایسه ضریب C_d نسبت به عدد فرود شیب 30 درجه و درصد بازشدگی 30 درصد

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که حدود 8 درصد خطا، بین نتایج این مطالعه با نتایج آزمایشگاهی در خصوص محاسبه ضریب تخلیه در آبگیر وجود دارد. از دلایل احتمالی این خطا می‌توان به خطای کاربر، هنگام برداشت داده‌ها در آزمایشگاه و یا خطای نرم افزار به هنگام ران کردن و محاسبات اشاره کرد.

بحث و نتیجه گیری

- 1- نرم افزار Flow3D قابلیت ریز نمودن شبکه‌ها در همه محدوده‌های دامنه را دارا می‌باشد.
- 2- با افزایش شیب شبکه آبگیر، عمق آب ابتدای شبکه، کمتر خواهد شد.
- 3- ضریب شدت جریان در حالت‌های مختلف نسبت به Fr_1 ، S و \mathcal{E} (درصد بازشدگی) بررسی شده است. با توجه به نمودارهای بدست آمده، افزایش \mathcal{E} و افزایش عدد فرود، باعث کاهش C_d می‌گردد (با توجه به نمودارهای 7 تا 9).
- 4- با بررسی تغییرات شیب بر دی انحرافی، مشخص گردید بهترین شیب برای آبگیری، شیب 20 درجه می‌باشد. از طرفی هر قدر درصد بازشدگی افزایش می‌یابد نسبت انحراف دی نیز افزایش خواهد یافت. (نمودارهای 10 تا 12).
- 5- مقایسه نتایج نشان می‌دهد که بین نتایج این مطالعه با نتایج آزمایشگاهی در خصوص محاسبه ضریب تخلیه در آبگیر، انطباق نسبتاً خوبی وجود دارد.

منابع

- رزاز، م. (1385). بررسی عددی و آزمایشگاهی رفتار هیدرولیکی آبگیرهای کفی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه
- Escande, L. (1955). "Prise d'eau a' Travers une Grille", Nouveau Complements d'hydraulique 2 :59-68. Publications Scientifiques et Techniques du Ministe' re de L'Air 302 : Paris(in French).

- **Kamanbedast, A.A and Shafai-Bejestan, M. (2008).** "Effects of Slope and area opening on the discharge ratio in bottom intake structures". Journal of Applied sciences, 8 (14) ,pp. 2631-2635.
- **Kuntzmann, J. and Bouvard, M. (1954).** Etude Theorique des Grilles de Prises d'eau du Type", en-dessous, La Houille Blanche, 9(9/10) ,pp. 569-574 (in French).
- **Mostkow, M.A. (1957).** A Theoretical Study of Bottom Type water Intakes", La Houille Blanche, No.4, Sep.
- **Noseda, G. (1955).** Operation and Design of Bottom Intake Racks", 6th International Association of Hydraulic Research Congress, La Haye, C17, 1-11.
- **Orth, J., Chardonnet, E., Meynard, G. (1954).** Etude de Grilles pour Prises d'eau du Type", en-dessous, La Houille Blanche, 9(6) :pp. 343-351 (in French).
- **Ract-Madoux, X., Bouvard, M. Molbert, J. and Zumstein, J. (1955)** "Quelques Realisations Recentes de Prises en-dessous a Haute Altitude en savoie, La Houille Blanche, 10(6) ,pp.852-878 (in French).

Archive of SID