ارزیابی هیدرولیک جریان در سازه راه ماهی سد انحرافی آسک با استفاده از مدل ریاضی سی‌سی‌اچ‌ای دو بعدی[1]

فریده کرم‌زاده[1]، امیرعباس کمان‌بدست[2]، محمدحسین پورمحمدی[3]
۱- دانشجوی ارشد سازه‌های آبی، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران
۲و۳- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز و شوشتر، ایران

چکیده

سد انحرافی آسک در ۱۶۵ کیلومتری جنوب شرقی اهواز روی رودخانه زهره بوده، بمنظور حفظ محیط زیست ماهیان و سایر آبزیان جهت تخم ریزی و مهاجرت در رودخانه هندیجان، پلکان ماهی‌رو ساخته شد. در این تحقیق ما با تغییر شیب در سازه راه ماهی سد انحرافی آسک با استفاده از مدل دو بعدی سی‌سی‌اچ‌ای به بررسی پارامترهای هیدرولیکی و تاثیر آن بر سرعت آب در راه ماهی پرداختیم. نتایج نشان داد که مدل بدرستی الگوی جریان راه ماهی را شبیه سازی و شیب ۰,۱ و دبی ۰,۳ مترمکعب برثانیه سرعت مناسب برای عبور ماهیان منطقه را فراهم می‌نماید.

واژه‌های کلیدی : آسک، هندیجان، راه ماهی، سد انحرافی، پارامترهای هیدرولیکی، مدل سی‌سی‌اچ‌ای دو بعدی

مقدمه

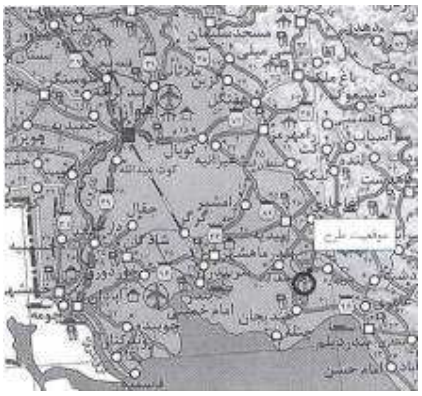
در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و نهرها، ماهی‌ها در فصل تخم‌ریزی بطور غریزی در خلاف جهت جریان آب شنا می‌کنند و به بالادست رودخانه مهاجرت می‌کنند. با احداث سدها، ارتباط بالادست و پایین دست سد محدود می‌شود. برای حل این مشکل، از یک سازه هیدرولیکی تحت عنوان راه ماهی استفاده می‌کنند. از نظر هیدرولیکی راه ماهی‌ها سازه‌های مستهلک کننده انرژی هستند که از یک کانال روباز شیبدار با سرریزهایی به فواصل معین تشکیل می‌شوند که در آن جریان آب برای جذب ماهی به درون سازه آبی راه می‌یابد و سپس ماهی بدرون سازه وارد می‌شود و بوسیله‌ی شنا و جهش از روی یک سری پلکان کوتاه عبور می‌کند. سرعت آب در راه ماهی باید بگونه‌ای باشد که ماهی را بطرف خود جذب کند. عمده‌ترین تحقیقاتی که با استفاده از مدل ریاضی سی‌سی‌اچ‌ای دو بعدی در دنیا انجام شده در زمینه‌ی شبیه سازی جریان در آبراهه‌ها بوده است. در سال ۱۹۰۸جی‌دنیل مدلی را که بنام خود او راه ماهی دنیل خوانده می‌شود را ارائه داد. در سال ۱۹۹۱ بهلک و همکاران محتوای انرژی جریان را در سازه راه ماهی بررسی کردند. زورکفلی و همکاران (۲۰۰۷)، در پروژه‌ای کاربردی بنام مدل‌سازی دو بعدی برای رودخانه‌ی مودا در مالزی از مدل سی‌سی‌اچ‌ای دو بعدی استفاده شد. دراین تحقیق، رودخانه به‌دو قسمت طولی تقسیم شده و مدل سازی به‌طور جداگانه برروی آنها انجام شد. نتایج مطالعات نشان داد که این مدل توانایی شبیه سازی جریان در رودخانه و دشت‌های سیلابی را با استفاده از معیارهای هیدرولیکی دارا می‌باشد. بینا و همکاران (۱۳۸۹)، به‌بررسی مشخصه‌های هیدرولیکی سازه راه ماهی سد انحرافی آسک و عملکرد آن پرداختند. دراین تحقیق باندازه‌گیری سرعت موضعی جریان درون استخرها و تعیین سرعت در ورودی و خروجی روزنه‌ها، با استفاده از دستگاه مولینه پرداختند. مهدی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱)، در پروژه‌ای شبیه سازی عددی جریان در راه ماهی از نوع سرریز و روزنه در سد انحرافی کرخه_حمیدیه را انجام دادند. دراین تحقیق معادلات حاکم بر آبهای کم عمق در حالت سه بعدی در راه ماهی از نوع سرریز و روزنه در سد انحرافی کرخه حمیدیه استان خوزستان با استفاده از مدلهای آشفتگی مناسب حل گردید. در این

[1] -CCHE2D

تحقیق هیدرولیک جریان عبوری از راه ماهی با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و بهره‌گیری از مدل فلوتری‌دی[1] مورد ارزیابی قرار گرفته است. جهت صحت سنجی نتایج حاصله، از نتایج آزمایشگاهی را جاراتنام و کاتوپودیس (۱۹۸۴) بهره‌گیری شده است.
دراین مقاله برای بررسی کارایی مدل عددی سی‌سی‌اچ‌ای دو بعدی در طراحی راه ماهی و متناسب با تغییر درشیب و تغییر در پهنای سریز-های میانی به بررسی شرایط هیدرولیکی جریان و سرعت جریان روی سرریزها پرداخته می‌شود. در نهایت نتایج خروجی حاصل از مدل با داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده مقایسه می‌شود.

مواد و روشها

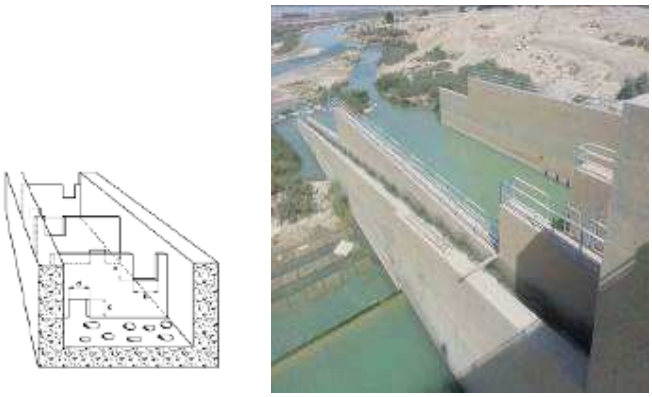
آسک شهری قدیمی و متروکه است که در جنوب شرقی هندیجان وکیان‌کوه واقع شده است. سد هندیجان (آسک) در ۱۶۵ کیلومتری جنوب شرقی اهواز و در حد فاصل شهرهای امیدیه و هندیجان برروی رودخانه زهره هندیجان بنا شده است. شکل (۱) موقعیت طرح سد آسک را نشان می دهد.



شکل (۱) موقعیت طرح سد آسک

بمنظور حفظ محیط زیست ماهیان و سایر آبزیان جهت تخم ریزی و مهاجرت در رودخانه هندیجان، پلکان ماهی رو در بدنه سد انحرافی آسک ساخته شد. این سازه در مجاورت مجاری تخلیه رسوبات ساحل راست طراحی گردید [۱] . راه ماهی سد آسک به‌صورت پلکانی با تعداد ۳۰ پلکان ساخته شد. سه حوضچه ابتدایی و نیمی از حوضچه چهارم در زیر پل قرار دارند. اولین حوضچه دارای طول ۲ متر و حوضچه دوم ۲,۵۱ متر و از حوضچه سوم تا بیست و سوم دارای طول ۲,۷۹ متر می‌باشند. حوضچه‌های بیست و چهارم تا بیست و نهم ۲,۵۶ متر و حوضچه آخری ۲,۵۴ متر می‌باشد. تراز ارتفاعی کف حوضچه اول ۲۲,۲ متر از سطح زمین شروع و تا انتهای حوضچه سی‌ام به تراز ۱۳,۲ متر از سطح زمین می‌رسد. عرض حوضچه ها ۱,۵ متر وفاصله هر بلوک از بلوک قبلی ۳ متر می‌باشد. در انتهای هر حوضچه یک دیواره میانی از نوع سرریز –روزنه به ارتفاع ۱,۳ متر از کف هر حوضچه قراردارد. ضخامت دیواره میانی ۰,۳ متر می‌باشد و طولی معادل عرض پلکان را دارا می‌باشد. هر سرریز دارای دو روزنه یکی به ابعاد ۱۵×۱۵ سانتی مترمربع در بالای سرریز و سمت راست راه ماهی و یک روزنه دیگر که در پایین سرریز و بطور متناوب در سمت چپ و راست سرریز به ابعاد ۴۰×۴۰ سانتیمترمربع قرار دارد. دیواره‌های کناری راه ماهی به ارتفاع ۱,۳ متر از ارتفاع سرریز میانی و از تراز ارتفاعی ۲۳,۵ متر با شیب ۱ به ۱۰ تا تراز ارتفاعی ۱۵,۸۸ متر کاهش می‌یابد. شیب کف راه ماهی ۱ به ۱۰ نشان داده شده و کف راه ماهی از تراز ۲۲,۲ متر با شیب ۱ به ۱۰ تا تراز ارتفاعی ۱۳,۲ متر کاهش می‌یابد [۲]. شکل (۲) تصویر راه ماهی سد آسک را نشان می‌دهد.

[1] Flow 3D



شکل(۲) نمایش راه ماهی از نوع سرریز روزنه در سد آسک

سی‌سی‌اچ‌ای دو بعدی یک مدل دو بعدی برای شبیه سازی جریان غیردائم در حالت آشفته همراه با انتقال رسوب می‌باشد. نسخه‌ی اولیه این نرم افزار در سال ۱۹۹۷ توسط مرکز ملی مطالعات هیدرولیکی در دانشگاه می‌سی‌سی‌پی منتشر شده است. نرم افزار سی‌سی‌اچ‌ای دو بعدی از دو نرم افزار جداگانه‌ی تشکیل شبکه سی‌سی‌اچ ای و مدل سی‌سی‌اچ‌ای دو بعدی تشکیل شده است. نرم افزار تشکیل شبکه سی‌سی‌اچ‌ای قابلیت ایجاد شبکه بندی در ساختارهای پیچیده را به وسیله‌ی ابزارهای خود مهیا نموده است. همچنین نرم افزار سی‌سی‌اچ‌ای دو بعدی بعنوان رابط گرافیکی نرم افزار واسطه کاربر و موتور شبیه‌سازی عددی می‌باشد. روش عددی که در مدل سی‌سی‌اچ‌ای دو بعدی برای حل معادلات حاکم بر میدان جریان بکار گرفته شده‌است یک نوع روش المان محدود معروف به روش المان موثر می‌باشد که توسط وانگ و هوو در سال ۱۹۹۲ ارائه شده است.

یک تابع درون یاب درجه دو برای منفصل نمودن معادلات مومنتوم در یک المان نه گره‌ای بکار می‌رود. معادله مومنتم دو بعدی متوسط در عمق برای جریانهای آشفته به‌صورت ۲ فرمول زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial \eta}{\partial x}+\frac{1}{h}\left(\frac{\partial h\tau_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial h\tau_{xy}}{\partial y}\right)-\frac{\tau_{bx}}{\rho h}+f_{Cor}v \qquad (۱)$$

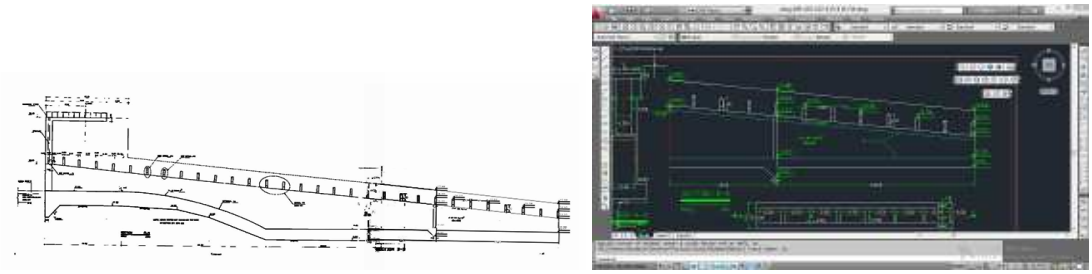
$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-g\frac{\partial \eta}{\partial x}+\frac{1}{h}\left(\frac{\partial h\tau_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial h\tau_{yy}}{\partial y}\right)-\frac{\tau_{bx}}{\rho h}+f_{Cor}u \qquad (۲)$$

در این معادلات، u وv سرعتهای متوسط در عمق در جهتهای x،y، g شتاب ثقل، η تراز سطح آب، t زمان، ρ جرم مخصوص آب، h عمق آب در هر نقطه، f_{cor} پارامتر کوریلیوس، τ_{xy}، τ_{yx}، τ_{xx} و τ_{yy} تنشهای برشی رینولدزی و τ_{bx} و τ_{by} تنش‌های برشی در کف حوضچه می‌باشند. براساس این فرض، تنشهای رینولدزی بمقدار سرعت در میدان جریان با ضریب لزجت گردابه‌ای (لزجت جریان متلاطم) وابسته هستند. ضریب لزجت گردابه‌ای تابعی از جریان است و به خصوصیات جریان مرتبط می‌شود.

شبکه مورد استفاده شامل یک شبکه ساختار یافته غیر یکنواخت از نوع تطبیق یافته[1] بوده که توسط نرم افزار تشکیل شبکه سی‌سی‌اچ‌ای تولید و ارتقا یافته است. این شبکه بر مبنای نقشه برداری میدانی با مقیاس۱:۱۰۰ انجام گرفته است. شرایط توپوگرافی سازه بصورت یک فایل حاوی مختصات سازه و تراز نقاط استخر ها و سریزها که با فرمت خاص مدل آماده شده استفاده گردید. دراین قسمت سازه راه ماهی

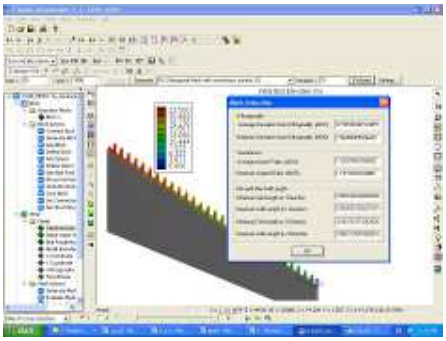
[1] Adaptive

با سه شیب ۰,۱ و ۰,۰۸ و ۰,۱۲۵ و هر کدام در دو حالت سریز با پهنای ۰,۳ سانتیمتر و۰,۴ متر در هر پلکان در نظر گرفته شد. شکل (۳) پلان راه ماهی سد آسک در نرم افزار اتوکد را نشان می‌دهد.



شکل (۳) پلان راه ماهی سد آسک

پس از وارد کردن نقاط به نرم افزار و پیش از ایجاد شبکه، اولین گام در تشکیل شبکه تعیین کردن لایه‌های مرزی است [۳]. برای بدست آوردن شبکه‌ی محاسباتی مناسب و دقیق، پس از چند بار سعی و خطا و سنجش کیفیت شبکه که نرم افزار در اختیار کاربر قرار داده است، ایجاد می‌گردد. برای این منظور تعداد گره‌ها در طول و عرض شبکه به شکلی مشخص می‌شود که ابعاد سلول‌های شبکه از یکنواختی تقریبی برخوردار بوده و خطوط شبکه کمترین میزان انحراف از حالت عمود بر هم[1] را داشته باشند. در این مرحله برای شروع از شبکه‌ای با ۱۸۰۰ گره در طول و ۳۰ گره در عرض استفاده شده است. کیفیت شبکه با استفاده از چندین شاخص از جمله حداکثر انحراف عمودی[2] که برابر ۲,۱۴ و متوسط انحراف عمودی[3] برابر ۰,۱۶۷، برای راست گوشه بودن شبکه ارزیابی شد. شرایط اولیه‌ی جریان شامل تراز اولیه‌ی سطح آب، ضریب زبری مانینگ کف و تراز اولیه‌ی بستر می‌باشد. تراز نرمال سطح آب ورودی به سازه راه ماهی به عنوان شرایط اولیه‌ی سطح آب در نظر گرفته شده که برابر با ۲۳,۷ متر از کف رودخانه است. پارامترهای و خصوصیات آب مانند جرم مخصوص، لزجت سینماتیک، ثابت ون‌کارمن و خصوصیات زبری کف می‌باشد. خصوصیات آب می‌تواند توسط کاربر انتخاب شود، مقادیر پیش فرض مناسب بوده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل (۴) راه ماهی شبیه سازی شده در نرم افزار تشکیل شبکه سی‌سی‌اچ ای را نمایش می‌دهد.



شکل (۴) شبیه سازی راه ماهی نرم افزار تشکیل شبکه سی سی اچ ای

مقدار ضریب مانینگ با توجه به اینکه سطح مورد نظر از بتن ساخته شده است در حالتهای ۰/۰۱۱ ، ۰/۰۱۳ ، ۰/۰۱۴ ، ۰/۰۱۷ ، و ۰/۰۲۵ برای تمام محدوده در نظر گرفته شده است. جهت حساسیت سنجی با مقدار ۰/۰۲۵ (پیش فرض) مدل مقایسه می شود. جدول (۱) با توجه به ضریب زبری، سرعت درون استخرها را نمایش می‌دهد. شرایط مرزی جزء جدایی ناپذیر روشهای عددی حل معادلات دیفرانسیل

[1] Deviation from Orthogonality

[2] Maximum Deviation from Orthogonality(MDO)

[3] Avrageed Deviation from Orthogonality(ADO)

می‌باشند. این مدل قابلیت استفاده از شرایط مرزی ماندگار و نیمه ماندگار را دارا می‌باشد. شرایط مرزی در مرز ورودی از ۰/۳ تا ۱/۵ مکعب برثانیه به عنوان شرط مرزی ورودی استفاده شده است. تراز سطح آب ۱۵متر بعنوان شرایط مرزی در مرز خروجی در نظر گرفته شده است. پس از تعیین شرایط اولیه و مرزی جریان، زمان شبیه سازی ۳۶۰۰ ثانیه و گامهای زمانی ۱۰ ثانیه و مدل آشفتگی مخالف لزجت سهمی شکل[۱] در نظر گرفته شده است، پس از آن مدل اجرا می‌شود.

جدول (۱) اندازه سرعت در استخرها با ضریب زبری های متغیر

ردیف	ضریب زبری (n)	سرعت در استخرها
۱	0.011	0.75
۲	0.013	0.73
۳	0.014	0.67
۴	0.017	0.53
۵	0.025	0.47

در یک پله با هندسه پهن، جریانهای کم بصورت یک سری جت در شرایط سقوط آزاد که تیغه آنها با پله پایین دست برخورد می‌نماید عمل می‌کنند [۴]. انرژی جریان در اثر برخورد جت روی استخرها و اختلاط آن و یا تشکیل جهش هیدرولیکی روی سرریز مستهلک می‌گردد. لذا با تغییر در پارامترهای راه ماهی به بررسی میزان استهلاک انرژی و افت و تاثیر آن بر عبور ماهی از راه ماهی می‌پردازیم. سرعت حاصل از مدل نبایستی از سرعت انتحاری عبور ماهی بیشتر باشد. سرعت انتحاری یک سرعت شنای خیلی بالاست که ماهی می‌تواند در کمتر از پانزده ثانیه ادامه دهد. این مقدار برای ماهی‌های آزاد بالغ ۲/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است [۵] .

$$E_1 = y_1 + (\frac{V_1^2}{2g}) \quad (۱)$$

$$E_2 = E_{dam} + (\frac{3}{2}) y_c \quad (۲)$$

عمق بحرانی جریان و در مقطع مستطیلی و E_{dam} معادل ارتفاع سرریز می باشد.

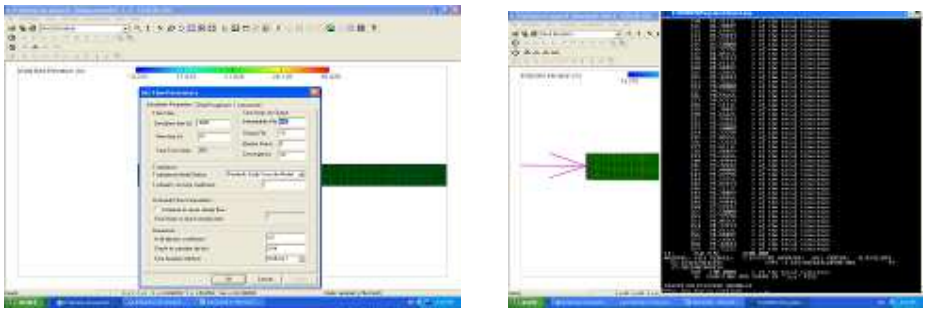
$$\frac{\Delta E}{E_1} = \frac{E_2 - E_1}{E_1} \quad (۳)$$

ΔE میزان افت نسبی انرژی هنگام عبور جریان از سرریز و E_1 و E_2 که انرژی جریان قبل و بعد از پرش هیدرولیکی می‌باشد.

نتایج و پیشنهادت

در روند تولید شبکه مورد نیاز، ابتدا ساده‌ترین نوع شبکه قابل تولید در نرم افزار که با عنوان شبکه‌ی جبری شناخته شد، سپس با روشهای تکمیلی اصلاح شود. با تغییر تعداد گره‌ها، ابعاد شبکه و در نتیجه‌ی آن نتایج حاصل از مدل تغییر کرد. شش حالت با تغییر شیب و سریز مش بندی و ارزیابی شد. این شش حالت سازه را با شیب های ۰,۱ و ۰,۰۸ و ۰,۱۲۵ با دو نوع سریز با عرض ۰,۳ متر و ۰,۴ متر داده کاوی شد. شکل (۵) تنظیم پارامترهای جریان و اجرای مدل را نشان می‌دهد. جدول (۲) با استفاده از داده‌هایی که از قسمت نرم افزار گرفته شده محاسبه شده‌اند.

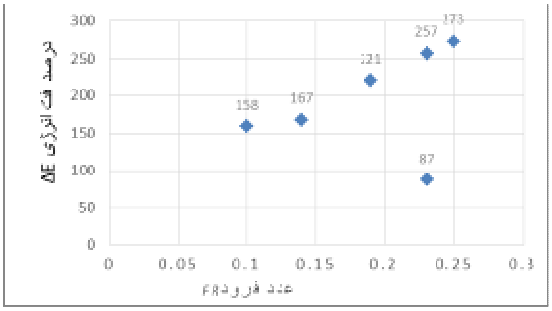
[۱]- Parabolic Eddy Viscosity Model



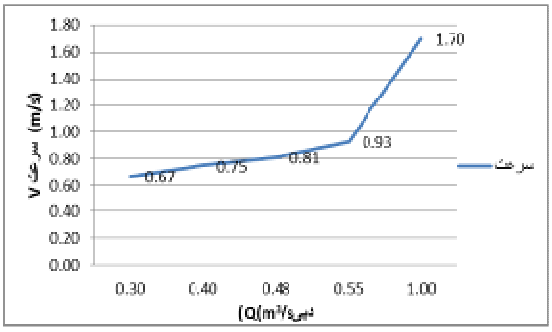
شکل (۵) نظیم پارامترهای جریان و اجرای مدل

جدول (۲) نتایج حاصل از خروجی مدل دوبعدی سی‌سی‌اچ‌ای

نوع سازه	شیب	عرض سرریز	تعداد پلکان	طول سازه	متوسط سرعت استخر	متوسط عدد فرود استخر	متوسط عدد فرود سرریز	متوسط سرعت روی سرریز	درصد افت نسبی انرژی
راه ماهی۱	0.1	0.3	30	90	0.67	0.23	1.4	2.07	87
راه ماهی۲	0.1	0.4	31	93	0.34	0.1	2.3	3.4	158
راه ماهی۳	0.08	0.3	36	112	0.43	0.19	3.66	3.03	221
راه ماهی۴	0.08	0.4	37	116	0.5	0.25	4.7	2.8	273
راه ماهی۵	0.125	0.3	26	82.4	0.35	0.14	2.38	3.34	167
راه ماهی۶	0.125	0.4	26	84	0.47	0.23	2.36	2.87	257



نمودار(۱) مقایسه پارامتر بی بعدFr در مقابل افت نسبی انرژی

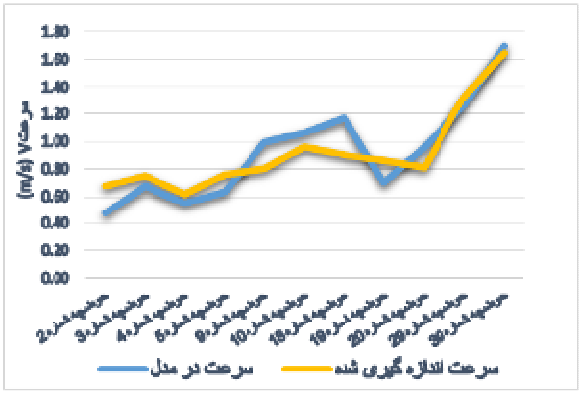


نمودار (۲) مقایسه دبی با سرعت روی سرریز

جهت صحت سنجی درصد خطای نسبی حاصل از مقایسه سرعت بدست آمده، مطابق فرمول (۴)، کمتر از ۱٪ می‌باشد.

$$\left|\frac{v_2 - v_1}{v_1}\right| \times 100 \leq \%1 \qquad (۴)$$

v_1 سرعت اندازه‌گیری شده با دستگاه مولینه توسط آسان و v_2 سرعت در مدل دو بعدی سی‌سی‌اچ‌ای است.



نمودار (۳) مقایسه سرعت در مدل با سرعت اندازه گیری شده با دستگاه مولینه توسط آسان (۱۳۸۷)

نتیجه گیری

۱–دبی مورد نظر برای طراحی دبی بین ۰,۳ مترمکعب برثانیه که باعث ایجاد جریانهای گردابی کامل در استخرها شده تا ۱,۵ مترمکعب برثانیه که باعث شناوری آب روی سرریزها و بالارفتن سرعت آب روی سرریزها می‌شود. نمودار (۲) نشان می‌دهد که با افزایش دبی جریان و در نتیجه افزایش سرعت و عدد فرود در جریان، ضخامت جریان برروی سرریزهای راه ماهی افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت میزان افت انرژی نیز کاسته می‌شود و جریانهای چرخشی کمتری نیز در بستر استخرها ایجاد می‌شود. جدول (۲) بیشترین میزان افت نسبی انرژی مربوط به راه ماهی با شیب ۰,۱۲۵ با سرریز ۰,۴ متر می‌باشد وکمترین افت مربوط به راه ماهی با شیب ۰,۱ و سرریز ۰,۳ متر می‌باشد.

۲– شیب راه ماهی در سه حالت ۰,۱ و ۰,۰۸ و ۰,۱۲۵ با سرریزهای ۰,۳ متر و ۰,۴ متر بررسی شد و مشاهده گردید با افزایش شیب بر افت انرژی نسبی افزوده می‌گردد و عمق آب در استخرها کاهش یافته است و سرعت و عدد فرود در سرریزها افزایش یافته است. با افزایش سرعت روی سرریز با توجه به اینکه سرعت آب از سرعت انتحاری ماهی (۲,۵متر برثانیه) بیشتر شده است شرایط هیدرولیکی در طراحی این راه ماهی شامل منظور نمودن حداکثر سرعت جریان از میان روزنه ها است .

در مقایسه شیب ۰,۱ با شیب ۰,۰۸ چون شیب ۰,۰۸ کمتر از شیب ۰,۱ می‌باشد یعنی ارتفاع پله‌ها و سرریزها کمتر است وتعداد استخرها بیشتر می‌شود. یعنی با افزایش تعداد استخرها تا حد معینی، افت انرژی نسبی در سرریزها افزایش می‌یابد، اما اگر این تعداد از حد معینی تجاوز کند. با افزایش تعداد استخرها استخرها ها زودتر در زیر آب مستغرق شده و در نتیجه اثر زبری آنها کاهش می‌یابد، در ضمن جریانهای چرخشی کوچکتری نیز در زیر بستر کاذب ایجاد می‌شود. در واقع با افزایش تعداد پلکان در شیبهای مختلف از راه ماهی، میزان افت انرژی نسبی ابتدا سیر نزولی داشته و پس از رسیدن به تعدادی استخر، به‌حداقل مقدار خود رسیده و پس از این، سیر صعودی پیدا می کند. نتیجتاً شیب ۰,۱ با سرریزهایی به پهنای ۰,۳ متر و دبی بین ۰,۳ تا ۰,۴۵ مترمکعب برثانیه برای عبور ماهی مناسب می باشد.

قدردانی

از همکاری دفتر پژوهشهای کاربردی سازمان آب و برق خوزستان با اینجانب، کمال تشکر را دارم.

منابع

[۱] شرکت مهندسی و مشاور دز آب، (۱۳۸۵). "گزارش عملکرد راه ماهی سد انحرافی آسک"، سازمان آب و برق خوزستان.

[۲] آسان، پویان (۱۳۸۹). "بررسی مشخصه‌های هیدرولیکی سازه راه ماهی سد انحرافی آسک و ارزیابی عملکرد آن"

[۳] کمان بدست، امیرعباس (۱۳۹۱). "آموزش نرم افزار سی سی اچ ای دو بعدی"، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.

[۴] موسوی جهرمی، حبیب (۱۳۸۷). "بهینه سازی تعداد پلکان در سرریزهای پلکانی با استفاده از مدل فیزیکی"

[۵] Chris Katopodis, P. (۱۹۹۲). "Introduction to Fishway Design", Freshwater Institute Central and Arctic Region Department of Fisheries and Oceans, 501 University Crescent Winnipeg, Manitoba Canada, R3T 2N6.