



شبیه سازی عددی تعداد و موقعیت هواده ها در طول سرریز سد داریان

ایمان کاشفی^{۱*}، مهدی اژدری مقدم^۲، بهاره پیرزاده^۳

۱- دانشجو کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، iman.kashefi@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، mazhdary@eng.usb.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، b_pirzadeh@eng.usb.ac.ir

چکیده

در سال های اخیر به دلیل افزایش ارتفاع سدها و هم چنین به واسطه ی آن افزایش سرعت جریان عبوری از روی سرریز، یکی از خطراتی همواره سلامت سد راتهدید می کند کاویتاسیون می باشد که اثرات تخریبی قابل ملاحظه ی بر روی سازه می گذارد. در این پژوهش جریان بر روی سرریز سد داریان با استفاده از نرم افزار FLOW-3D و با به کارگیری مدل آشفتگی k-ε (RNG) مورد بررسی قرار گرفت که سه نقطه بحرانی بر روی سرریز که دارای سرعت بالای ۲۵ متر بر ثانیه و مقدار کاویتاسیون کمتر از شاخص کاویتاسیون بوده، شناسایی شد. با قرار گیری سه هواده در بالا دست نقاط بحرانی خطر وقوع پدیده کاویتاسیون کاهش یافت. در نهایت نتایج مدل عددی را با نتایج مدل فیزیکی مقیاس ۱:۵۰ سرریز سد داریان ساخته شده در موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، مورد مقایسه قرار گرفت که از تطابق قابل قبولی برخوردار بود.

واژگان کلیدی: کاویتاسیون، هواده، سد داریان، FLOW-3D، مدل فیزیکی،





۱- مقدمه

برای عبور آب های اضافی و سیلاب ها از سراب به پایاب سدها از سازه ای به نام سرریز استفاده می شود. یکی از سازه های مهم هر سد را سرریز تشکیل می دهد. با توجه به حساس بودن کاری که انجام می دهد، سرریز باید سازه ای قوی، مطمئن و با راندامان بالا انتخاب شود که هر لحظه بتواند برای بهره برداری آمادگی داشته باشد. رایج ترین نوع آن سرریز اوجی می باشد. ایمنی سرریز اوجی به دلیل توانایی بالا برای عبور جریان به طور موثر و هم چنین رفتار فوق العاده هیدرولیکی آن، یکی از بیشترین سازه های هیدرولیکی مورد مطالعه است. در سرعت های زیاد همراه با فشار های کم، پدیده مخرب کاویتاسیون بر روی سطح سرریز ایجاد می شود، این پدیده آسیب های جدی و جبران ناپذیری به سازه وارد می کند [۱]. در این پژوهش به بررسی جریان بر روی سرریز سد داریان با استفاده از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی پرداخته شده است. شبیه سازی جریان با نرم افزار FLOW-3D برای بررسی مشخصات هیدرولیکی نقاط بر روی سرریز صورت گرفته است.

۲- پیشینه تحقیق

پیتراکا در سال ۱۹۳۵ نتایج تحقیقات خود را درباره هوادهی و نقش آن در کاهش خطر وقوع کاویتاسیون ارائه نمود. او نیز ثابت کرد که غلظت هوای ۲ درصد کاویتاسیون را کاهش و همچنین غلظت هوای متوسط ۵ تا ۸ درصد تقریباً خطر کاویتاسیون را به طور کامل از بین می برد. این مخلوطه (وجود هوا در آب) حاصله تراکم پذیر بوده و موجب تضعیف فشار های ناشی از متلاشی شدن حباب ها می گردد. بررسی های آزمایشگاهی نشان می دهد که می توان از آسیب ها در ناحیه آب خالص در سرعت های ۱۲ تا ۱۵ متر بر ثانیه و تا سرعت ۲۰ متر بر ثانیه جلوگیری نمود و یا سطوح نهایی را با استفاده از مصالح مقاوم بهبود بخشید [۲]. کاسیدی در سال ۱۹۶۶ نشان داد در هواگیری طبیعی، اگر مقدار کافی هوا وارد جریان شود، سطح را از آسیب های ناشی از کاویتاسیون محافظت می کند. باید در نظر داشت این امر ممکن است باعث افزایش عمق و خوردگی در مقیاس ۱:۸۰ ساختند. آن ها هیچ گونه فشار کمتر از اتمسفر مشاهده نکردند، ولی فشار پایین در بعضی قسمت های سرریز را که منطبق با موقعیت خوردگی در نمونه ی اصلی است یادآور نمودند. آن ها نتیجه گرفتند که فشار های پایین برای سرعت های بیش از ۴۰ متر بر ثانیه حاصل می شوند [۴]. جانسون آزمایش ها را روی مدل سرریز سد کلاید با مقیاس ۱:۱۵ با شیب ۵۲/۳۳ درجه انجام داد. در مدل تهیه شده اعداد فرود بین ۳ تا ۲۵ و با سرعت های متوسط اولیه جریان از ۳ تا ۱۴ متر بر ثانیه بودند. با تنظیم دریچه در ورودی مجزا، عمق اولیه جریان بین ۲۰ تا ۱۲۰ میلی متر بود و ساختار اولیه هواده شامل یک رمپ با شیب ۵/۷ درجه، ارتفاع ۳۰ میلی متر، طول ۳۰۰ میلی متر و افست با ارتفاع ۳۰ میلی متر بود. وضعیت هندسی سرریز مدل مشابه مدل مورد استفاده لوی در سال ۱۹۸۶ بود. حالت دوم رمپ نداشت و دارای یک افست با ارتفاع ۳۰ میلی متری بود [۵]. آرامی فدافن و اژدری مقدم در سال ۲۰۱۱ تاثیر هوادهی در کاهش اثرات مخرب کاویتاسیون را بر روی سرریز سد شهید عباسپور با استفاده از نرم افزار FLUENT مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید در محل تحذب پروفیل سرریز فشار از فشار بخار آب کمتر می شود در نتیجه وقوع کاویتاسیون از این نقطه شروع می شود. او هم چنین





دریافت، میزان اغتشاش در امتداد طول سرریز از نیروهای کشش سطحی کمتر است و هواگیری سطحی بر روی لایه های زیرین جریان تاثیرگذار نیست [۶]. عرفانی و همکاران در سال ۲۰۱۳ با نرفازار FLOW-3D روی محل نصب هواده در سرریز گتوند کار کردند که نتایج نشان داد نرم افزار تطابق خوبی با نتایج مدل فیزیکی دارد و چهار کانال هواده راست و چپ برای پیشگیری از کاویتاسیون کافی است [۷].

۳- مدل مورد مطالعه

مدل مورد مطالعه این پژوهش سرریز اوجی سد داریان که یک سد خاکی ساخته شده بر روی رودخانه سیروان در نزدیکی شهر نودشه، ۲۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان پاوه و ۱۵۰ کیلومتری کرمانشاه و در مجاورت روستای داریان می باشد. تاج سد داریان در استان کرمانشاه و مخزن آن در استان کردستان قرار دارد. جمع آوری رودخانه سیروان به منظور استفاده انرژی برآبی، انتقال آب به حوزه های آبریز مجاور از جمله به دشت های نواحی گرمسیری از طریق تونل نوسود به منظور استفاده کشاورزی در حوزه های آبریز رودخانه های این مناطق و حبابه های پایین دست سد، از جمله اهداف ساخت این سد می باشد. از ویژگی های این سد می توان به استفاده از هسته رسی نفوذ ناپذیر مایل در سد، انجام عملیات خاکریز حدود ۱۱ میلیون متر مکعب بدنه و عملیات موفقیت آمیز نجات بخشی چشمه بل قبل از آبیگری مخزن اشاره کرد.

۴- معادلات حاکم

مدل FLOW-3D از معادلات ناویر استوکس و معادلات بقای جرم برای شبیه سازی استفاده می کند. معادلات بقای جرم برای جریان تراکم ناپذیر به صورت معادلات (۱) و (۲) که به ترتیب نشان دهنده معادله پیوستگی و معادله مومنتوم می باشد:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

که در آن ρ : دانسیته سیال؛ (u, v, w) : اجزا سرعت در جهات (x, y, z) و t : زمان؛ P : فشار و τ_{ij} : تنش رینولدز می باشد.

۴- مشخصات میدان حل

در این پژوهش برای صحت سنجی داده ها، از مدل فیزیکی مقیاس ۱:۵۰ سد داریان که در موسسه تحقیقات آب ایران از جنس پلکسی ساخته شد، استفاده شده است [۸]. سرریز آن از نوع اوجی آزاد به طول ۴۴۸ متر، عرض ۶۸ متر و تراز آستانه سرریز ۸۲۶ متر می باشد. به دلیل کمتر بودن تعداد مش های ساختار یافته نسبت به مش های بی ساخت و منظم بودن بودن هندسه سرریز سد داریان، هم چنین با توجه به سه بعدی بودن مدل از مش ساختار یافته شش وجهی با اندازه ی یکسان استفاده شده است. در این پژوهش از مش با اندازه ۰/۷۵ متر به عنوان مش بهینه برای دبی ۴۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه که تعداد سلول آن برابر با ۲۶۸۸۰۸۲ برای شبکه ی جریان بهره گرفته شده است.





۴-۱- شرایط مرزی

در کلیه مسائل دینامیک سیالات محاسباتی با توجه به آن که تمام سیستم های فیزیکی در یک فاصله معین دارای مرز می باشند، در محاسبات باید شرایط مشخصی در حدود یا مرز های سیستم فیزیکی در نظر گرفته شوند. این شرایط، شرایط مرزی نام دارد. شرایط مرزی در این پژوهش به صورت زیر ارائه می شود:

شرط مرزی ورودی شبکه: در محل ورودی جریان به دامنه شرط مرزی ورودی اعمال می شود. این به گونه ای است که برای ایجاد شرایط مشابه با آنچه که در نمونه اصلی رخ می دهد و همچنین با توجه به شرایط فیزیکی مسئله، جریان دو فازی و سرعت ناچیز در پشت سد به صورت Volume flow rate به عنوان شرط مرزی ورودی استفاده شده است.

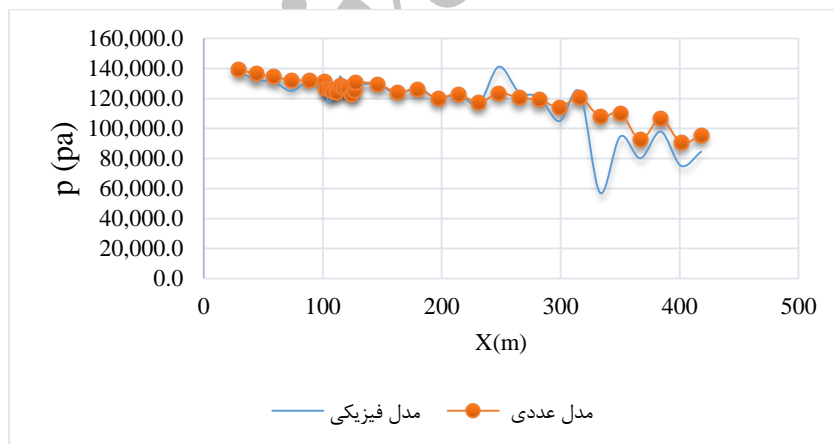
شرط مرزی خروجی شبکه: زمانی که جریان از دامنه خارج می شود از شرط مرزی خروجی استفاده می شود. با توجه به شرایط مسئله شرط Outflow برای شرط مرزی خروجی اعمال شده است. این شرط مرزی بیشتر با هدف عدم تاثیر پذیری جریان در شبکه ی حل از این شرایط مرز خروجی ایجاد شده است.

شرایط مرزی در دیواره و کف: در این پژوهش در قسمت دیواره و کف از شرط مرزی Wall استفاده شده است. این شرط مرزی دقیقا مشابه یک دیوار عمل می کند. در وجهی که از شبکه ی حل که این شرط مرزی به آن اختصاص داده شود، همانند یک دیوار مجازی عمل خواهد کرد. ضریب زبری در کف برابر ۰/۰۵ اعمال شده است.

شرط مرزی سطح آزاد و بین سطوح مشترک: شرط مرزی سطح آزاد و سطوح مشترک در این تحقیق Symmetry استفاده شده است. این نوع شرط مرزی، شرایط بیرون شبکه ی حل را دقیقا مشابه شرایط روی مرز داخلی شبکه در نظر می گیرد.

۴-۲- روش حل

در شکل (۱) مقایسه فشار مطلق در مدل عددی و مدل فیزیکی [۸] را نشان می دهد:



شکل ۱: نمودار مقایسه فشار اندازه گیری شده در مدل عددی و مدل فیزیکی [۴۳]

مقایسه عمق و سرعت مدل عددی با مدل فیزیکی [۸] به ترتیب به صورت جدول های (۱) و (۲) ارائه می شود:

جدول ۱: مقایسه مقادیر عمق مدل عددی با مدل آزمایشگاهی [۸]

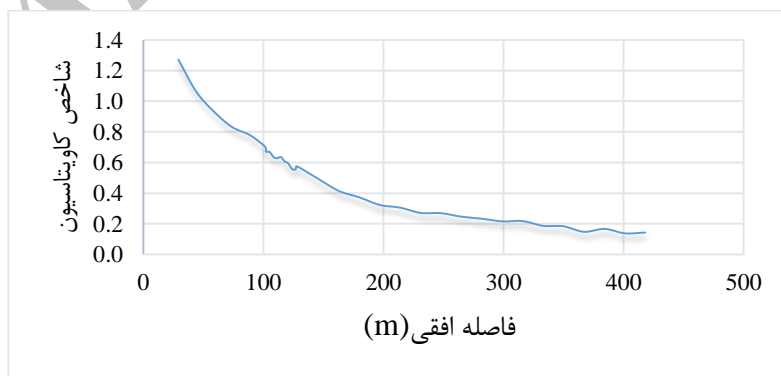


فاصله افقی (X)	ارتفاع (El)	مدل آزمایشگاهی	مدل عددی	مقدار درصد خطا %error
		y (m)	y (m)	
۵۸/۹۶	۸۱۶/۰۷	۳/۸۰	۳/۷۰	۲/۷۴
۱۰۱/۲۹	۸۱۱/۸۳	۳/۹۰	۳/۳۷	۱۳/۵۵
۱۲۷/۸۹	۸۰۷/۳۴	۳/۸۰	۳/۲۹	۱۳/۲۹
۱۷۹/۹۲	۷۹۴/۹۱	۳/۰۵	۲/۹۳	۳/۹۷
۲۳۰/۹۹	۷۸۲/۷	۳/۱۰	۲/۸۵	۸
۲۸۲/۰۵	۷۷۰/۴۹	۲/۶۵	۲/۷۶	۴/۳۲
۳۳۳/۱۱	۷۵۸/۲۹	۲/۹۰	۲/۷۰	۷/۰۵
۳۴۸/۱۷	۷۴۶/۰۸	۲/۷۵	۲/۷۹	۱/۳۸

جدول ۲: مقایسه مقادیر سرعت مدل عددی با مدل آزمایشگاهی [۸]

فاصله افقی (X)	ارتفاع (El)	مدل آزمایشگاهی	مدل عددی	مقدار درصد خطا %error
		v (m/s)	v (m/s)	
۵۸/۹۶	۸۱۶/۰۷	۱۸/۲۶	۱۶/۸۴	۷/۷۵
۱۰۱/۲۹	۸۱۱/۸۳	۲۰/۵۴	۱۹/۱۵	۶/۷۷
۱۲۷/۸۹	۸۰۷/۳۴	۲۲/۶۹	۲۱/۱۲	۶/۹۲
۱۷۹/۹۲	۷۹۴/۹۱	۲۷/۳۹	۲۷/۷۵	۶
۲۳۰/۹۹	۷۸۲/۷	۳۰/۷۵	۲۹/۰۹	۵/۴۱
۲۸۲/۰۵	۷۷۰/۴۹	۳۳	۳۱/۶۲	۴/۱۹
۳۳۳/۱۱	۷۵۸/۲۹	۳۵/۳۰	۳۳/۶۰	۴/۸۳
۳۴۸/۱۷	۷۴۶/۰۸	۳۶/۹۳	۳۵/۲۷	۴/۵۰

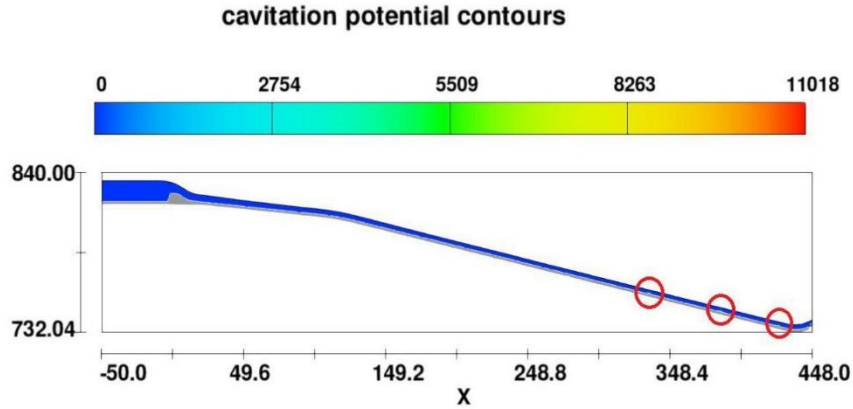
با توجه به نمودار و جدول های بالا مقدار شاخص کویتاسیون را به صورت نمودار (۲) نشان می دهد:



شکل ۲: نمودار مقادیر شاخص کویتاسیون به فاصله افقی

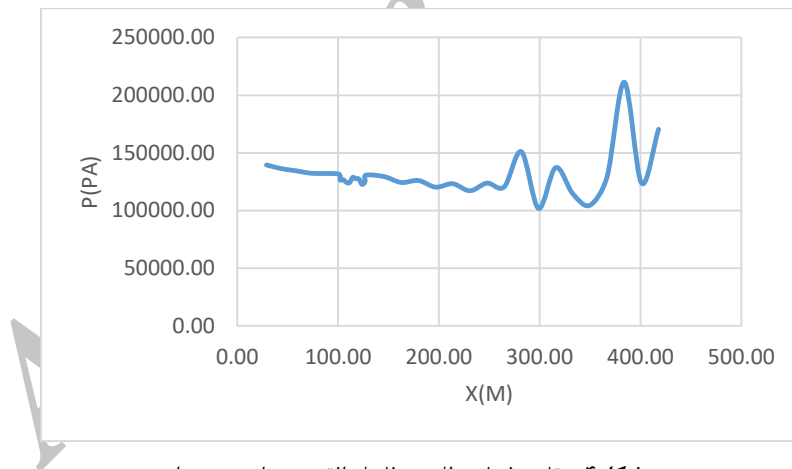


نتایج دوبعدی نرم افزار به صورت کانتور پتانسیل کاویتاسیون در شکل (۳) نشان می دهد که مقادیر کاویتاسیون در نقاط ۴۱/۳۳۱، ۴/۰۳۸۴ و ۱/۲۴۲ متر از تاج سرریز از مقدار شاخص کاویتاسیون کمتر می باشد.



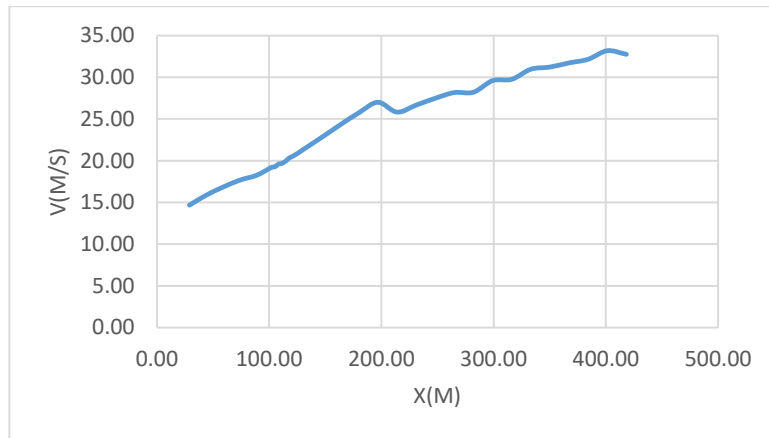
شکل ۳: کانتور پتانسیل کاویتاسیون

پس از وجود سه نقطه بحرانی که مستعد کاویتاسیون است با قرار دادن هواده در بالادست این نقاط خطر وقوع کاویتاسیون را از بین می برد. با قرار گیری هواده در محل های بحرانی مقادیر فشار، سرعت، شاخص کاویتاسیون به ترتیب به صورت نمودارهای (۴)، (۵) و (۶) ارائه می شود.



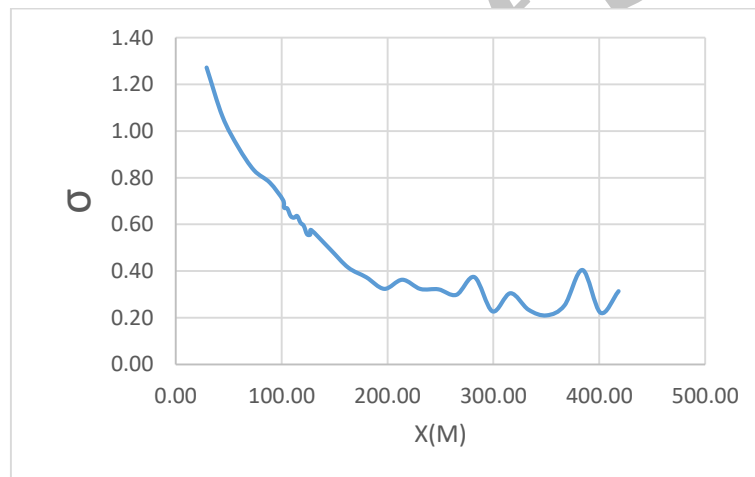
شکل ۴: مقادیر فشار مطلق به فاصله افقی پس از نصب هواده

مقادیر فشار در شکل (۴) به دلیل قرار گیری هواده روند روبه افزایشی دارد.



شکل ۵: مقادیر سرعت در راستای جریان به فاصله افقی

کاهش سرعت در مدل سرریز با هواده نسبت به بدون هواده، مقادیر کمتری را نشان می دهد که به دلیل قرار گیری هواده در بالادست نقاط بحرانی می باشد.

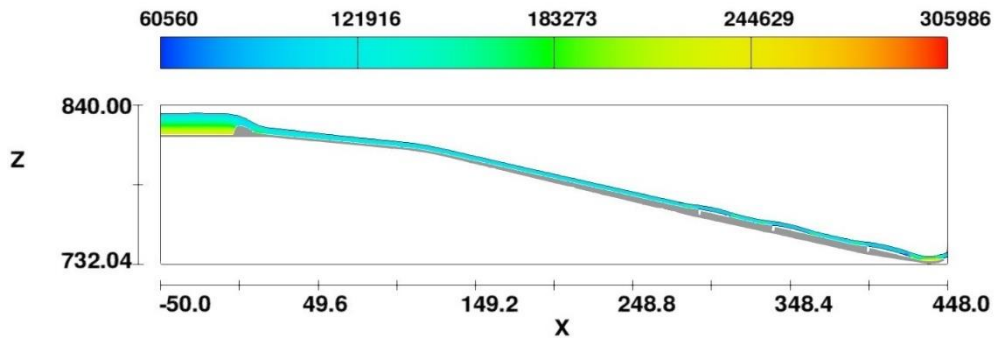


شکل ۶: مقادیر شاخص کاویتاسیون به فاصله افقی

با ارزیابی مدل سرریز با هواده با سرریز بدون هواده مشاهده می گردد که شاخص کاویتاسیون در شکل (۶) از مقدار ۰/۲۵ بیشتر می شود. لذا نمایش کانتور فشار و کاویتاسیون در شکل های (۷) و (۸) نشان دهنده این موضوع می باشد.

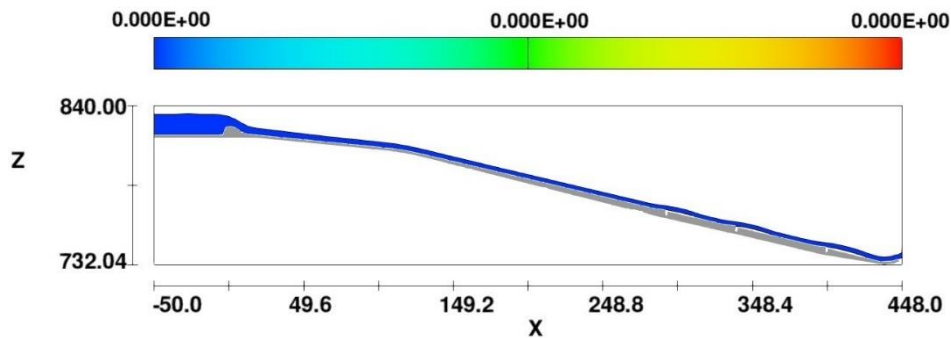


pressure contours



شکل ۷: کانتور فشار پس از نصب هواده

cavitation potential contours



شکل ۸: کانتور پتانسیل کاویتاسیون پس از نصب هواده

همان طور که در نمودارها و کانتورها نشان داده شد، به بررسی کاویتاسیون در جریان بر روی سرریز سد داریان و شناسایی نقاط بحرانی پرداخته شد. پس از شناسایی نقاط بحرانی، با قرار دادن هواده در بالادست نقاط مانع از وقوع کاویتاسیون شده است. در جدول (۳) محل قرارگیری هواده و مقایسه آن با مدل هیدرولیکی [۸] نمایش داده شده است:

جدول ۳: مقایسه محل قرارگیری هواده و درصد خطای آن

درصد خطا %	فاصله هواده ها از تاج سرریز در مدل هیدرولیکی [۸] (متر)	فاصله هواده ها از تاج سرریز در مدل عددی (متر)
۲/۵۴۱	۲۸۳/۳	۲۹۰/۵۴
۲/۴۷۷	۳۳۰	۳۳۸/۰۱
۱/۷۸۶	۳۹۰	۳۹۶/۹۶۸



۵- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی به شبیه سازی جریان روی سرریز سد داریان پرداخته، هم چنین با بررسی نقاط بحرانی کاویتاسیون که پس از شناسایی آن ها با قرار گیری هواده در بالادست نقاط بحرانی مانع وقوع پدیده مخرب کاویتاسیون شد. با توجه به نتایج مدل سازی عددی سه نقطه مستعد کاویتاسیون شناسایی شد که فاصله افقی آن ها تا تاج سرریز ۳۳۳/۴۱، ۳۸۴/۰۴، ۴۲۱/۲۰۱ متر شناسایی شد. در مدل سازی عددی سرعت در نقاط ۳۳۳/۴۱، ۳۸۴/۰۴، ۴۲۱/۲۰۱ متر به ترتیب برابر با ۳۳/۶۰، ۳۵/۲۷، ۳۶/۰۵ متر بر ثانیه که بیشتر از ۲۵ متر بر ثانیه بود. پس از نصب هواده این مقادیر برابر است با ۳۰/۹۶، ۳۲/۱۵، ۳۲/۷۵ متر بر ثانیه بوده، که این نشان دهنده کاهش سرعت پس از نصب هواده می باشد. مقادیر فشار مطلق در نقاط ۳۳۳/۴۱، ۳۸۴/۰۴، ۴۲۱/۲۰۱ متر به ترتیب برابر است با ۱۰۷۸۶۳/۹۰، ۱۰۶۴۰۲/۸۰ و ۹۵۳۹۵/۷۹ پاسکال بود که پس از نصب هواده با افزایش فشار به ترتیب ۱۱۴۴۹۹/۳۰، ۲۱۱۲۴۷/۱۰ و ۱۷۰۳۹۴/۳۰ پاسکال تغییر کرد. در این شبیه سازی عددی فروود در نقاط بحرانی ۳۳۳/۴۱، ۳۸۴/۰۴، ۴۲۱/۲۰۱ متر به ترتیب برابر با ۵/۹۴، ۶/۰۸ و ۶/۱۴ بود که پس از قرار دادن هواده این مقادیر برابر با ۵/۵۴، ۵/۵۵ و ۵/۵۹ که نشان دهنده کاهش مقادیر عدد فروود می باشد. مقادیر شاخص کاویتاسیون در نقاط بحرانی ذکر شده برابر است با ۰/۱۹، ۰/۱۷ و ۰/۱۴ بوده که پس از نصب هواده این مقادیر برابر با ۰/۲۳، ۰/۴۰ و ۰/۳۱ می باشد. افزایش شاخص کاویتاسیون احتمال وقوع کاویتاسیون را منتفی می کند.

۶- قدردانی

از اساتید راهنما جناب آقای دکتر اژدری مقدم و سرکار خانم دکتر پیرزاده برای راهنمایی ها و حمایت هایشان تشکر و قدردانی دارم.

مراجع

- [1] Kramer, K., Development of Aerated Chute Flow, PHD Thesis, Mitteilungen 183, Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie Der Eidgenössischen, Technischen Hochschule Zürich, 2004.
- [2] Chanson, H., Study of Air Entrainment and Aeration Devices on Spillway Model, PHD Thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand March 1988.
- [3] Falvey, H.T., Cavitation in Chutes and Spillways, Engineering Monograph No.42, Bureau of Reclamation, Dnever Office, Colorado, April 1990.
- [4] Foerster. K. E., Anderson. A. G., Model Study of the Karoon 1 Project Khuzestan Water and Power Authority Ministry of Water and Power - Government of Iran, University of Minnesota ST. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, May 1969.
- [5] Chanson. H., Air Entrainment in Chute and Tunnel Spillways, Lecture in Civil Engineering, Department of Civil Engineering (Research Report Serious), the University of Queensland, Australia, February 1992.





[۶] آرامی فدافن.م، بررسی هوادهی بر جریان روی شوت سرریز به روش CFD، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران-سازه های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، بهمن ماه ۱۳۹۰.

[7] Erfanain-Azmoudeh. Mohammad-Hossein., Kamanbedast. Amir Abbas., Determine the Appropriate Location of Aerator System on Gotvandoliadam's Spillway Using Flow 3D, American-Eurasian J. Agric. & Environ, 2013.

[۸] موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، گزارش نهایی مدل هیدرولیکی تخلیه سیلاب سد داریان، ۱۳۸۹.

Archive of SID

