

یادداشت فنی

بررسی پدیده کاویتاسیون روی سرریز سد و نیار با استفاده از مدل عددی FLUENT

وحید حسن‌زاده و ایقان^۱، یوسف حسن‌زاده^۲، علی حسین‌زاده دلیر^۳ و امین عبدی کردانی^{۴*}

چکیده

در طراحی سازه‌های هیدرولیکی دارای جریان سریع، معمولاً احتمال رخداد پدیده کاویتاسیون وجود دارد. برای جلوگیری از وقوع پدیده کاویتاسیون، باید موقعیت نقاطی که در آن‌ها ممکن است با افزایش سرعت جریان، فشار تا حد فشار بخار مایع کاهش یابد را شناسایی کرد. در این راستا برای دستیابی به یک معیار کمی، از شاخص کاویتاسیون استفاده می‌شود. در این پژوهش ابتدا با روش عددی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، دو گزینه برای جریان بر روی سرریز سد و نیار طرح و شبیه‌سازی شد، سپس شاخص کاویتاسیون برای هر یک از گزینه‌ها محاسبه و در نهایت برای صحت‌سنجی نتایج، از نتایج مدل آزمایشگاهی استفاده شد. برای حل عددی معادلات سه بعدی ناور- استوکس بر روی سرریز از نرم‌افزار Fluent و برای شبکه‌بندی سه‌بعدی سرریز از نرم‌افزار Gambit استفاده می‌شد. برای تعیین پارامترهای آشفتگی میدان جریان، تعیین سطح آزاد جریان و مجزاسازی معادلات ممنتم، به ترتیب از مدل آشفتگی $k - \epsilon$ (RNG)، روش VOF و روش بالادست مرتبه دوم استفاده شد. در انتها با بررسی نتایج حاصل از پژوهش، هماهنگی مناسبی بین نتایج حاصل از Fluent و مدل آزمایشگاهی به دست آمد. همچنین مشخص شد که در هیچیک از گزینه‌های مطالعه شده کاویتاسیون رخ نداده و سرریز احداث شده در مقابل این پدیده ایمن است.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای هیدرولیکی، شاخص کاویتاسیون، مدل آزمایشگاهی، CFD.

ارجاع: حسن‌زاده و. حسن‌زاده ی. حسین‌زاده دلیر ع. و عبدی کردانی ا. ۱۳۹۴. بررسی پدیده کاویتاسیون روی سرریز سد و نیار با استفاده از مدل عددی FLUENT. مجله پژوهش آب ایران. ۱۸: ۱۷۷-۱۸۰.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ارومیه.

۲- استاد گروه مهندسی عمران- آب، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۴- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- آب، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: aabdi@tabrizu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۷/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۱۳

مقدمه

این حباب‌ها با بستر سازه بسیار کوچک است، نیروی فوق‌العاده زیادی در اثر انفجار حباب‌ها به بستر سرریز وارد می‌شود (شفاعی بجستان، ۱۳۷۰). پارامتری که برای توصیف ترکیب بحرانی میان سرعت جریان، فشار جریان و فشار بخار آب به کار می‌رود شاخص کاویتاسیون (σ_i) نامیده شده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\sigma_i = \frac{\frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} + Y \cos\theta \pm \left(\frac{YV^2}{gR}\right)}{\frac{V^2}{2g}} \quad (1)$$

که در آن P_v فشار بخار اشباع، P_a فشار اتمسفر، R شعاع انحناء، Y ارتفاع جریان و V سرعت جریان است. وقوع خرابی در اثر کاویتاسیون، ناشی از علل متنوعی است، ولی ترکیبی از عوامل هندسی و هیدرودینامیکی ممکن است ایجاد خرابی کنند (فالوی، ۱۹۹۰).

چنانچه σ_i بیشتر از ۰/۲ باشد، کاویتاسیون به وجود نمی‌آید ولی در نقاطی که این شاخص کمتر از ۰/۲ شود، احتمال وقوع کاویتاسیون زیاد بوده و باید روش‌هایی برای جلوگیری از پیدایش آن طراحی شود (کاتسوریا، ۲۰۰۵). معادله‌های اساسی پیوستگی و سه معادله مومنتم برای محورهای سه‌گانه مختصات، به معادلات ناویر-استوکس معروفند که در واقع بیان‌کننده بقای جرم و مومنتم به شکل ریاضی هستند. از کاربردی‌ترین مدل‌های آشفتگی دو معادله‌ای می‌توان مدل $k - \epsilon$ را نام برد که در این پژوهش نیز از آن استفاده شده است.

در طرح اولیه، سرریز سد و نیار بر اساس دبی PMF، ۲۲۰۴ مترمکعب بر ثانیه طراحی شده است. برای بررسی مشخصات هیدرولیکی طرح اولیه سرریز، مدل هیدرولیکی سرریز این سد با مقیاس ۱:۴۰ ساخته شد. در سال ۱۳۸۲، طراحی مجدد سیستم تخلیه سیلاب سد، براساس نتایج مطالعات مهندسی ارزش انجام و مشخصات سیستم تخلیه سیلاب اصلاح شد و سیلاب حداکثر محتمل آن ۱۳۲۸ مترمکعب بر ثانیه در نظر گرفته شد. در این پژوهش، دو گزینه از سرریز سد شبیه‌سازی و مطالعه شد. گزینه شماره یک در مقیاس ۱/۴۰ و براساس دبی PMF طرح اولیه و گزینه شماره دو در مقیاس ۱/۴۰ و براساس دبی PMF طرح نهایی سرریز سد و نیار ایجاد شده که در نهایت، نتایج آن‌ها با نتایج حاصل از مدل فیزیکی مقایسه شده است.

بزرگ‌ترین مشکل و خطری که ساختمان سرریزها را تهدید می‌کند، پدیده کاویتاسیون است که در نقاطی از سازه که سرعت جریان آب زیاد بوده و فشار جریان تا حد فشار بخار اشباع کاهش می‌یابد، به وجود می‌آید. از مطالعات انجام شده در زمینه طراحی سیستم سرریز سد، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

اوزتورک و آیدین (۲۰۰۹) در پژوهشی با شبیه‌سازی سه‌بعدی سرریزها، به مطالعه هوادهی برای جلوگیری از پدیده کاویتاسیون پرداختند. این شبیه‌سازی به روش CFD و به کمک نرم‌افزار Fluent انجام گرفت و نتایج آن با مدل هیدرولیکی همان سرریز مقایسه شد. نتایج نشان‌دهنده مطابقت مناسب با مدل هیدرولیکی بود. بردبار و همکاران (۲۰۱۰) برای بررسی رژیم جریان و پدیده کاویتاسیون در سرریز نیلوفری پله‌ای از مدل فیزیکی استفاده کردند. آن‌ها برای مطالعه کاویتاسیون و رژیم جریان بر روی سرریز، پله‌ها با تعداد و ابعاد مختلفی را به کار گرفتند و از پنج مدل سرریز (یک مدل سرریز صاف و چهار مدل سرریز پله‌دار) استفاده کردند. با توجه به جریان ورودی به سرریز، پارامترهای فشار و سرعت جریان را اندازه‌گیری کرده و در نهایت پتانسیل کاویتاسیون را بررسی کردند. موسوی جهرمی (۲۰۱۱) در پژوهشی به بررسی فشار روی سرریز سیفونی با استفاده از مدل عددی Fluent دو بعدی پرداخت و نتایج حاصل از آن را با نتایج مدل فیزیکی همین سرریز مقایسه کرد. برای جداسازی فازهای آب و هوا از روش VOF و برای حل معادلات از الگوریتم SIMPLE C استفاده کرد. در نهایت نتایج حاصله، هماهنگی خوبی را با مدل فیزیکی نشان داد.

مواد و روش‌ها

در اثر وجود ناصافی‌ها و ناهمواری‌های کف سرریز، خطوط جریان از بستر خود جدا می‌شوند. در اثر این جداسازی یک جریان گردابی در پایین‌دست محل جداسازی تشکیل می‌شود. به دلیل بالا بودن سرعت جریان در سرریز (سرعت بیش از ۲۵ متر در ثانیه)، فشار موضعی در منطقه گردابی، کاهش یافته و به فشار بخار آب می‌رسد. در نتیجه بخار آب، حباب‌هایی به نام Cavity در این منطقه شکل می‌گیرند. این حباب‌ها پس از طی مسیر کوتاهی به منطقه با فشار بیشتر می‌رسند و منفجر می‌شوند. از آنجا که سطوح تماس

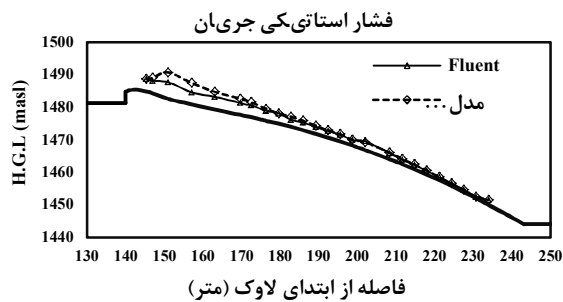
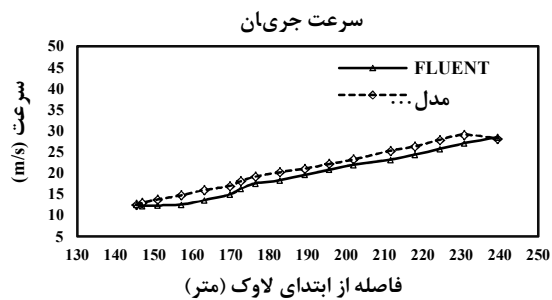
نتایج و بحث

برای صحت‌سنجی نتایج شبیه‌سازی، نتایج گزینه شماره یک با نتایج مدل هیدرولیکی مقایسه شد. شبکه‌بندی میدان محاسباتی با استفاده از نرم‌افزار Gambit انجام شد. مجموع مش‌های گزینه یک ۴۵۶۴۰ است. در این پژوهش از روش غیردائمی و روش خطی‌سازی ضمنی استفاده شد و ۸۰ ثانیه از گذر جریان، شبیه‌سازی شد. برای مدل آشفتگی، مدل $k-\epsilon$ (RNG) و الگوریتم PISO استفاده شد. برای دیواره‌ها، شرایط مرزی غیرلغزشی و زبری دیواره‌ها نیز صفر در نظر گرفته شده است. در شرط مرزی ورودی (ابتدای مخزن)، مقدار سرعت جریان ورودی برابر 0.0633 متر بر ثانیه انتخاب شد. مقدار پارامترهای آشفتگی یعنی شدت آشفتگی (I) برابر $4/13$ درصد و قطر هیدرولیکی برای ورودی جریان $0/8$ متر محاسبه شد. سطح بالای دیواره‌ها، هوا و شرایط مرزی آن فشار ورودی و خروجی در نظر گرفته شد.

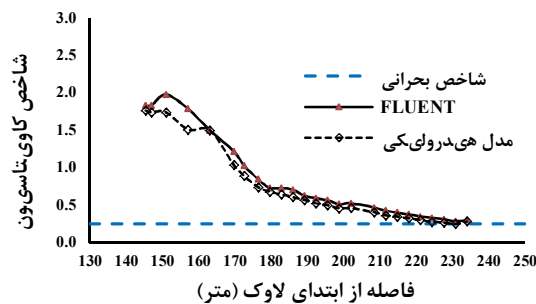
تعداد مش‌های گزینه ۲ برابر ۹۵۳۷۶ است. دبی در مدل $0/1312$ مترمکعب بر ثانیه انتخاب شد. سرعت ورودی جریان براساس دبی برابر $0/0875$ متر بر ثانیه محاسبه شد. مقدار پارامترهای آشفتگی یعنی شدت آشفتگی برابر $4/1$ درصد و قطر هیدرولیکی برای ورودی جریان $0/6$ متر محاسبه شدند.

در شکل ۱ مقایسه نتایج ارتفاع، سرعت و فشار استاتیکی حاصل از نرم‌افزار Fluent و مدل هیدرولیکی مشاهده می‌شود. شاخص کاویتاسیون در تندآب سرریز گزینه ۱ محاسبه شد (شکل ۲) و مشخص شد که بر روی تندآب مشکلی از برای کاویتاسیون وجود ندارد.

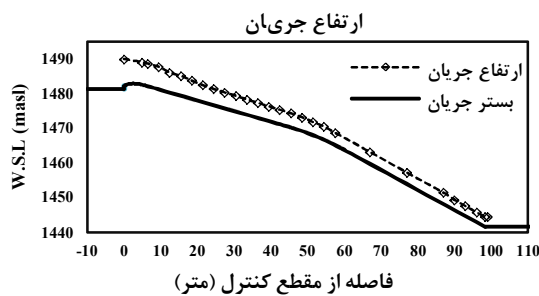
نتایج اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی گزینه ۲ در شکل ۳ آورده شده است. از نتایج به دست آمده برای ارتفاع، سرعت و فشار استاتیکی جریان، شاخص کاویتاسیون محاسبه می‌شود که در شکل ۴ مشاهده می‌شود.



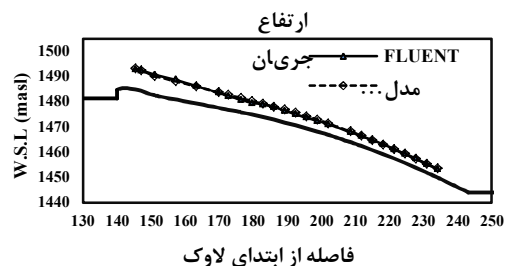
ادامه شکل ۱-



شکل ۲- شاخص کاویتاسیون روی تندآب سرریز گزینه ۱



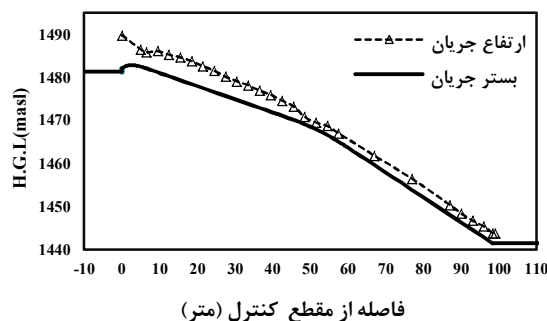
شکل ۳- ارتفاع، سرعت و گرادیان هیدرولیکی بر روی تندآب سرریز گزینه ۲



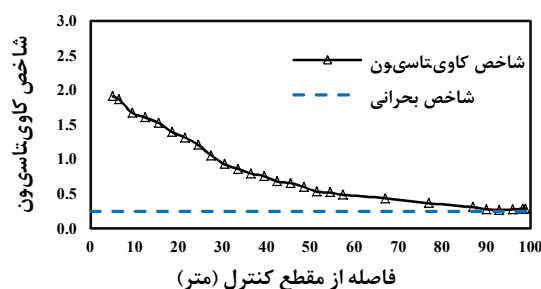
شکل ۱- ارتفاع، سرعت و گرادیان هیدرولیکی بر روی تندآب سرریز گزینه ۱

- investigation on the flow regime and cavitation in stepped morning glory spillways. World Applied Sciences Journal. 10(9): 1024-1031.
- Falvey H. T. 1990. Cavitation in chutes and spillways. Engineering Monogra No. 42, USBR, Denver, Colorado, 4-5.
 - Khatsuria R. M. 2005. Hydraulics of spillways and energy dissipaters. Marcel Dekker, New York, 560 p.
 - Mousavi-Jahromi H. 2011. Simulation of pizometric pressure in dam siphon spillways. World Applied Sciences Journal. 12(7): 1074-1083.
 - Ozturk M. and Aydin M. C. 2009. Verification of a 3-D numerical model for spillway aerator. Mathematical and Computational Applications. 14(1): 21-30.

فشار استاتیکی جریان



ادامه شکل ۳-



شکل ۴- تغییرات شاخص کاویتاسیون بر روی تندآب سرریز
گزینه ۲

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- شاخص کاویتاسیون در هیچیک از گزینه ها، به حد بحرانی نمی رسد و لذا در طرح نهایی، کاویتاسیون رخ نخواهد داد و نیازی به ایجاد هواده روی تندآب نیست.
- در محل منحنی (Trajectory) بستر تندآب سرریز تغییرات محسوس فشار و سرعت مشاهده می شود. این نقاط در تندآب سرریز مستعد ایجاد فشار منفی و بروز کاویتاسیون است، لذا توصیه می شود که در سرریزها تلاش شود این نواحی، با انحناء کمتری طراحی شوند.

منابع

۱. شفاعی بجستان م. ۱۳۷۰. کاویتاسیون در سرریز سدهای بلند. مجموعه مقالات دومین همایش سدسازی ایران. کمیته ملی سدهای بزرگ ایران. ۱۲۰-۱۳۰.
2. Bordbar A. Mousavi-Jahromi H. Shafaei Bajestan M. and Sedghi H. 2010. Step effects