

شبیه‌سازی عددی پروفیل سطح آب در سرریزهای اوجی و پلکانی با روش حجم محدود و المان محدود

شبنم وکیلی^{*۱}

چکیده

هدف اصلی از این مطالعه، بررسی عددی پروفیل سطح آزاد جریان روی سرریز اوجی و پلکانی با روش‌های حجم محدود و المان محدود و مقایسه این دو روش است. بدین منظور کد Fluent به‌عنوان نماینده‌ای از روش حجم محدود با کد ADINA به‌عنوان نماینده‌ای از روش المان محدود با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. شایان ذکر است برای مدل‌سازی آشفتگی از مدل $k-\epsilon$ بهره گرفته شده است. با بررسی نتایج، هماهنگی خوبی بین این دو روش و نتایج آزمایشگاهی مشاهده شده، اما با توجه به نتایج آزمایشگاهی موجود، در برخی نقاط روش حجم محدود در مقایسه با روش المان محدود، نتیجه قابل قبولی را ارائه کرده است. همچنین حداکثر خطا در پروفیل سطح آب در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی به اندازه ۲ میلی‌متر در نزدیکی دیواره سرریز مشاهده شده است.

واژه‌های کلیدی: المان محدود، حجم محدود، سرریز اوجی و پلکانی، Fluent و ADINA.

ارجاع: وکیلی ش. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی عددی پروفیل سطح آب در سرریزهای اوجی و پلکانی با روش حجم محدود و المان محدود. مجله پژوهش آب ایران. ۲۹: ۴۱-۴۹.

۱- مربی باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی ایلخچی.

* نویسنده مسئول: vakili_c@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۷

مقدمه

یکی از ارکان مهم ساخت سد و بررسی آن، سرریز و تأسیسات وابسته به آن است. بنابراین به هنگام بررسی و طراحی پروژه‌های سدسازی و سایر پروژه‌های مشابه، باید به هیدرولیک سرریز توجه شود. تحلیل جریان آب روی سرریز یکی از مسائل مهم در مهندسی هیدرولیک بوده و ارتش ایالات متحده USACE-WES (گروه مهندسان ارتش آمریکا، ۱۹۵۲) رفتار جریان آب را در سرریزها بررسی کردند (تابارا، ۲۰۰۵). همین گروه بر اساس پژوهش‌های انجام شده، در سال ۱۹۹۵ چارت طراحی پروفیل سرریز برای شرایط طرح که به تازگی بروز شده را ارائه کرده است (گروه ارتش آمریکا، ۱۹۵۲). به دلیل پیشرفت‌هایی که در زمینه محاسبات و مدل‌سازی عددی حاصل شده است، زمانی که این محاسبات با آزمایش‌های تجربی همراه شوند، کمک زیادی در زمینه درک پیچیدگی‌های جریان روی سرریز می‌کنند. توجه به علم هیدرودینامیک برای طراحی ایمن‌تر سرریزها بسیار مهم است. این علم با مدل‌های فیزیکی و عددی قابل بررسی است. از آنجا که مدل عددی این قابلیت را دارد که بسیاری از خصوصیات جریان روی سرریزها را با هزینه و وقت کمی در تمام نقاط شبکه جریان محاسبه کند، در این پژوهش تلاش شده است با بکارگیری روش‌های عددی، پروفیل سطح آب روی سرریزهای پلکانی و اوجی بررسی شود.

در سال‌های اخیر، پژوهش‌گران زیادی، برای صرفه‌جویی در وقت، هزینه و به دلیل مزایای تغییر سریع در مدل محاسباتی برای حل معادلات حاکم در جریان سیال به روش‌های عددی و ریاضی برای تحلیل جریان روی سرریز توجه کرده‌اند. استفاده از مدل عددی اولین بار در سال ۱۹۶۵ از سوی کسیدی در تعیین فشار روی تاج سرریز بر اساس جریان پتانسیل به صورت دوبعدی انجام شد. نتایج حاصله از تحلیل عددی جریان روی سرریز با نتایج آزمایشگاهی به طور تقریبی یکسان بوده و نتیجه حاصل از این پژوهش بیانگر تأثیر کم لزجت در تعیین سطح آزاد بوده است (کسیدی، ۱۹۶۵). درگاهی (۲۰۰۶) الگوی جریان روی سرریز آزاد- لبریز شونده را به صورت سه‌بعدی با نرم‌افزار Fluent تحلیل کرد. وی از روش VOF^۱ و از معادلات اصلاح شده سه‌بعدی مومنتم برای ارزیابی دقیق

اصطکاک سطحی استفاده کرد. وی نتیجه گرفت که شبیه‌سازی میدان جریان به انتخاب نوع تابع دیواره، اندازه شبکه‌بندی و مقدار عدد رینولدز حساس است. وی پروفیل سطح آب و ضریب تخلیه را با دقت ۱/۵-۲/۹ درصد نسبت به نتایج آزمایشگاهی به دست آورد. اقبال‌زاده و جوان (۲۰۱۲) برای بررسی قابلیت‌های VOF و Mixture ورود هوا روی سرریزهای پلکانی را با نرم‌افزار Fluent شبیه‌سازی کرد. وی نتایج شبیه‌سازی عددی از سطح آزاد جریان، مؤلفه‌های سرعت و غلظت هوا را در آب و شرایط ورودی هوا به آب با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کرد و نتیجه گرفت که سطح آزاد با روش Mixture بهتر شبیه‌سازی می‌شود. ژنو و همکاران (۲۰۱۲) خصوصیات جریان اعم از ارتفاع سطح جریان، فشار و سرعت جریان را بین دو طرح از سرریز با دریچه منفرد و طرح دو دریچه با روش VOF و مدل آشفتگی K-ε با نرم‌افزار Fluent بررسی کرد و از مقایسه الگوی جریان بین نتایج عددی و آزمایشگاهی نتیجه گرفت که طرح دریچه منفرد به دلیل تأثیر دهانه و زاویه انحراف بزرگ‌تر در طرح دو دریچه، بهتر از طرح دو دریچه عمل می‌کند. جانسون و ساویچ (۲۰۰۶)، دو مدل فیزیکی و عددی را روی سرریز در صورت وجود پایاب مقایسه کردند. آن‌ها در این پژوهش از نرم‌افزار Flow-3D برای تحلیل میدان جریان استفاده کردند و نتایج حاصل از پروفیل سطح آب به روش حجم سیال با نتایج آزمایشگاهی هماهنگی مناسبی داشت.

مواد و روش‌ها

قوانین حاکم بر جریان یک سیال تراکم‌ناپذیر لزج با یک معادله پیوستگی و سه معادله مومنتم در جهت محورهای سه‌گانه مختصات که به معادلات ناویراستوکس معروف هستند، بیان می‌شوند. این معادلات در حقیقت بیانگر پایداری جرم و مومنتم به بیان ریاضی هستند و در صورت آشفتگی بودن جریان، به معادلات رینولدز تغییر ماهیت داده و از مدل‌های آشفتگی برای تعیین لزجت گردابه‌ای استفاده می‌شود.

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

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial(-\rho \overline{u_i' u_j'})}{\partial x_j} \quad (2)$$

است. برای گسسته کردن ترم advection روش‌های مختلفی وجود دارد. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به روش MSU و SUPG اشاره کرد. در روش SUPG از روش گالرکین و یک ترم اضافی به نام Perturbation برای گسسته‌سازی ترم advection استفاده می‌شود.

معادلات حاکم برای تعیین پروفیل سطح آب به روش VOF

در تعیین سطح آزاد به روش VOF از یک تابع متغیر به نام استفاده می‌شود که جزء حجم سیال نامیده می‌شود. معادله (۵) شکل تابع دیفرانسیلی در حالت دو بعدی را نشان می‌دهد. در حل معادله (۵) در سلولی که پر از سیال است مقدار برابر ۱ ولی در سلول خالی از سیال مقدار برابر صفر است. در سلول سطحی این مقدار بین صفر و ۱ می‌باشد. برای $0 < F < 1$ درصدی از سلول آب و درصدی از آن هواست (وکیلی و همکاران، ۱۳۹۰).

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial F}{\partial x} + \mathbf{v} \frac{\partial F}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

بنابراین با در نظر گرفتن سطح آزاد در یک جزء حجمی معین می‌توان سطح آزاد جریان را مشخص کرد. در این پژوهش، سطح آزاد جریان در جزء حجمی آب برابر 0.5 تعریف شده است. با حل معادله پیوستگی برای جزء حجمی آب F ، جزء حجمی در کل میدان حل تعیین می‌شود.

معرفی هندسه مدل فیزیکی سرریز پلکانی و اوجی

در این مقاله از نتایج آزمایشگاهی ارائه شده توسط چاتیلا و تابارا (۲۰۰۵) برای سرریز پلکانی، جانسون و ساویج (۲۰۰۶) و نتایج چاتیلا و تابارا (۲۰۰۴) برای سرریز اوجی استفاده شده است (چاتیلا و همکاران، ۲۰۰۴). بررسی‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک و در یک فلوم طویل با دیواره‌های شیشه‌ای انجام شده است. پروفیل مدل‌های سرریز بر اساس سرریز هموار^۱ طراحی شده است. خط اتصال لبه پله‌های سرریز پلکانی، از پروفیل شوت سرریز اوجی پیروی می‌کند. چارت طراحی هیدرولیکی 111-2-1 از USACE- WES برای طراحی پروفیل سرریز استفاده شده است. بخش بالادست پروفیل، قبل از تاج سرریز شامل یک صفحه عمودی است که با دو قوس دایروی با شعاع

که در آن‌ها، u_i مؤلفه سرعت در جهت i ($i = 1, 2$) به ترتیب برای جهت‌های x و y ، فشار، p ، چگالی، m ویسکوزیته دینامیکی و پارامتر $(-\rho u_i u_j)$ همان تنش رینولدز است که به واسطه آشفتگی جریان به وجود آمده است که بر سیال عمل کرده و اثر گردابه‌های آشفتگی را در سیال اعمال می‌کند. تعیین پارامتر تنش رینولدز مشکل است که بدین‌منظور از مدل‌های آشفتگی متفاوتی استفاده می‌شود. با توجه به پژوهش‌های چنگ و همکاران (۲۰۰۵) و سایر پژوهشگران در شبیه‌سازی جریان عبوری از روی سرریزهای پلکانی، مدل آشفتگی (RNG) بسیار کارآمد است (چاتیلا و تابارا، ۲۰۰۴) و برای مدل کردن آشفتگی جریان به کار گرفته شده است.

پدیده انتشار در طبیعت به‌صورت انتقال و پخش و پراکندگی انجام می‌شود. بیشتر مسائل فیزیکی و هیدرولیکی به‌طور مستقیم شامل پدیده‌های انتقال و پخش هستند. در معادلات مومنتم حاکم بر جریان و سایر معادلات انتقال و پخش آن‌ها، چگونگی انفعال معادلات مهم هستند. در حالت کلی معادله حاکم بر کمیت Φ که انتقال این کمیت را بیان می‌کند به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$\frac{\partial(\rho \phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u} \phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad}(\phi)) + s \quad (3)$$

که در سیستم کارترین این معادله به‌صورت زیر مشخص می‌شود.

$$\frac{\partial(\rho \phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \phi)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + s \quad (4)$$

ترم $\frac{\partial(\rho u_j \phi)}{\partial x_j}$ به‌عنوان ترم انتقال متغیر ϕ و پارامتر $\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right)$ به‌عنوان ترم پخش متغیر ϕ در معادله هستند. انفعال ترم‌های پخش و جابجایی به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود. چنانچه شبکه انتخابی به اندازه کافی ریز باشد، روش‌های گسسته‌سازی انتخابی در نتیجه نهای تأثیر چندانی نخواهند داشت. در روش حجم محدود برای گسسته‌سازی از طرح آپویند مرتبه دوم استفاده شده است.

در روش المان محدود، بازه محاسبات به حجم‌ها یا المان‌های جداگانه که به‌طور عموم نامنظم هستند، تقسیم می‌شود. متداول‌ترین روش المان محدود بر اساس تکنیک باقیمانده وزنی، روش گالرکین است. با توجه به دقت مناسب روش گالرکین و ساده‌تر بودن آن، در مسائل المان محدود، از این روش برای حل معادلات استفاده شده

دست است. از آنجایی که پروفیل سطح آب قبل از حل مسئله مشخص نیست، یک پروفیل منطقی ساده که از سه خط مستقیم تشکیل شده است، برای حدس اولیه پروفیل سطح آب در کد ADINA، استفاده شده است (به شکل ۱-الف مراجعه شود). در کد Fluent این حدس اولیه با دو خط مستقیم به صورت عمود بر هم انجام شده است (به شکل ۱-ب مراجعه شود). از آنجا که مدل فیزیکی در آزمایشگاه، دارای حالت دائمی است، منطقی به نظر می‌رسد که یک تحلیل دائمی و گذرا بتواند جایگزین آن باشد. با ادامه فرآیند تحلیل، مشاهده شد که تحلیل گذرا به حالت دائمی همگرا نشد. بنابراین گزینه جریان غیردائمی برای ادامه مدل‌سازی عددی استفاده شد. از آنجا که جریان در هنگام عبور از روی سرریز جریان آشفته است باید معادلاتی برای مدل کردن آشفتگی جریان استفاده شود. بدین منظور از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ با پارامترهای پیش‌فرض موجود در کدهای ADINA و Fluent برای مدل‌سازی آشفتگی استفاده شده است. روند مدل‌سازی در کد Fluent بر اساس شکل ۱-ب به این نحوه بوده است که ابتدا مرز اولیه سطح آب مشخص شده است. نرم‌افزار فلونت کل میدان جریان را به صورت حجم کنترل‌های مجزا در نظر می‌گیرد، از معادلات حاکم بر جریان سیال روی هر حجم کنترل انتگرال گرفته و با استفاده از طرح‌های مختلف گسسته‌سازی، معادلات جبری گسسته می‌شوند. برای شبکه‌بندی میدان جریان از نرم‌افزار پیش‌پردازنده گمبیت استفاده شده است. طرح PRESTO برای گسسته‌سازی فشار، طرح Quick برای گسسته‌سازی جملات جابجایی معادلات ممنتوم، جابجایی معادلات آشفتگی و الگوریتم PISO برای کوپل کردن سرعت و فشار استفاده گردیده است. در روش المان محدود، رابطه گالرکین دارای دقت مرتبه دوم است. روش SUPG در معادلات مومنتم و توربولانس برای گسسته‌سازی ترم advection به کار می‌رود که در همگرایی مسئله بسیار مؤثر است.

شرایط مرزی

میدان جریان اولیه برای نوع چهارم سرریز پلکانی (به‌عنوان نمونه) در شکل ۱ برای هر دو کد ADINA و Fluent آورده شده است که سایر انواع سرریز پلکانی و اوجی، با همان روند شبیه‌سازی شده‌اند. در شکل ۱-الف

ادامه می‌یابد شایان به ذکر است $0.2H_d$ و $0.5H_d$ ارتفاع طراحی سرریز است. بخش پایین دست پروفیل بعد از تاج شامل سه بخش است. بخش اول از معادله $x^n = KH_d^{1-n}y$ ، در صورتی که مختصات x و y در تاج سرریز قرار داده شده باشد، پیروی می‌کند. با در نظر گرفتن $K=2$ ، $n=1.85$ و $H_d=5.08\text{cm}$ معادله $y=0.1265x^{1.85}$ به دست می‌آید. بخش دوم یک خط مستقیم با زاویه شیب ۶۰ درجه (1H:1.73V) است. بخش سوم در حقیقت یک قوس دایروی بوده که تبدیل بین خط شیب‌دار مستقیم و خط افقی مربوط به حوضچه آرامش را فراهم می‌کند. چهار نوع سرریز پلکانی با پیکربندی‌های متفاوت تحت ارتفاع آبی $1.5H_d$ قرار گرفته است. هر کدام از سرریزها با مونتاژ دو بخش از جنس Plexiglass ساخته شده‌اند: بخش فوقانی که شامل ناحیه تاج که ارتفاع آن $1/3$ برابر ارتفاع سرریز است و بخش تحتانی که شامل ناحیه پنجه بوده و ارتفاع آن معادل $2/3$ برابر ارتفاع سرریز است. ارتفاع کلی مدل سرریز از پنجه تا تاج معادل ۳۸۰ میلی‌متر است. انحنای پروفیل سرریز در بخش فوقانی و نیز بخش تحتانی از پروفیل سرریز اوجی پیروی می‌کند. در هر کدام از بخش‌ها، ارتفاع پله‌های بزرگ معادل $1/20$ برابر ارتفاع سرریز (۱۹ میلی‌متر) و ارتفاع پله‌های کوچک، معادل $1/40$ برابر ارتفاع سرریز (۹/۵ میلی‌متر) بوده است. پیکربندی پله‌ها در هر چهار نوع سرریز در جدول زیر ارائه شده است. اندازه‌گیری‌های انجام شده هنگام انجام آزمایش‌ها دبی جریان، ارتفاع آب در بالادست سرریز، عمق بر روی تاج، پروفیل سطح آزاد، عمق کف یا پنجه مدل سرریز، عمق در محل اتمام پرش هیدرولیکی و طول پرش بوده است.

تهیه مدل عددی

برای شبیه‌سازی میدان جریان انواع سرریزهای پلکانی و اوجی، از نرم‌افزار فلونت با به‌کارگیری از روش تعیین سطح آزاد جریان (روش VOF) استفاده شده است و نتایج حاصل با نتایج مدل شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار ADINA بر میدان جریان همان هندسه سرریزها مقایسه شده است. یکی از مراحل مهم در مدل‌سازی عددی، مشخص کردن سطح آب در بالادست قبل از تاج، روی سرریز و پایین

سرتاسر کف و بدنه سرریز را شامل می‌شود با حرف A و سطح آزاد اولیه آب با دو خط مستقیم به صورت خط‌چین و با حرف B در شکل مشخص شده است. C به‌عنوان مرز ورودی سرعت آب بوده و بر اساس آنچه برای کد ADINA گفته شد، محاسبه می‌شود. مرز D به‌عنوان مرز ورودی سرعت هوا و مرز E و F به ترتیب به‌عنوان مرز ورودی فشار و خروجی فشار در نظر گرفته شده است. جدول ۲، مقدار سرعت در مرز C را برای سرریزهای اوجی برای هر دو کد ADINA و Fluent نشان می‌دهد.

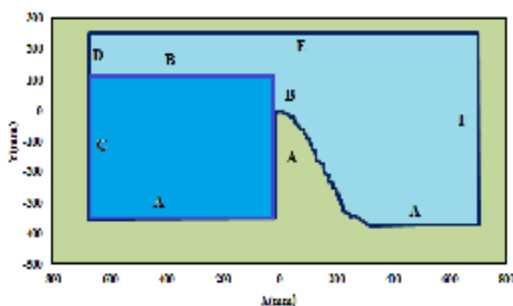
خطوط مشخص شده با حرف A نمایانگر شرط مرزی دیوار ثابت که سرتاسر کف و بدنه سرریز را تشکیل داده و سطح آزاد اولیه آب با سه خط مستقیم و با حرف B در شکل مشخص شده است. C با شرط مرزی ورودی سرعت برای سرریزهای پلکانی معادل ۰/۱۰۶۵ متر بر ثانیه و برای سرریزهای اوجی بر اساس جدول ۲، تعریف شده است. این مقدار با تقسیم دبی جریان بر عمق جریان بالادست که از مشاهدات آزمایشگاهی به دست آمده است، حاصل شده است. در شکل ۱- ب، شرط مرزی دیوار ثابت که

جدول ۱- نحوه پیکربندی پله‌ها در سرریزهای پله‌کانی (جانسون، ۲۰۰۶)

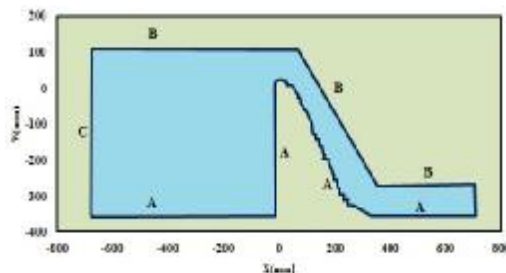
نوع سرریز پلکانی	تعداد و ارتفاع پله‌ها در بخش فوقانی	تعداد و ارتفاع پله‌ها در بخش تحتانی
۱	۶-۱۹ میلی‌متر	۱۲-۱۹ میلی‌متر
۲	۵-۹ میلی‌متر	۲۴-۹/۵ میلی‌متر
۳	۶-۱۹ میلی‌متر	۲۴-۹/۵ میلی‌متر
۴	۵-۹ میلی‌متر	۱۲-۱۹ میلی‌متر

جدول ۲- مقدار سرعت در مرز C برای سرریزهای اوجی (تابارا، ۲۰۰۴)

نوع سرریز اوجی	سرعت متوسط در مرز C (m/s)
۱	۰/۱۰۲۵
۲	۰/۰۵۵۳۹
۳	۰/۰۳۵۶۶



شکل ۱- ب) دامنه محاسباتی و شرایط مرزی کد Fluent



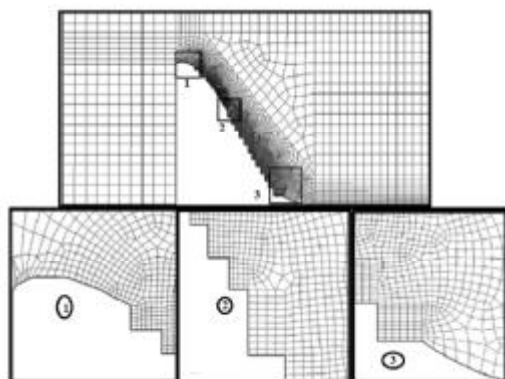
شکل ۱- الف) دامنه محاسباتی و شرایط مرزی کد ADINA

مجرای سرریز می‌شود از شبکه‌های ریزتر استفاده شده است. شکل ۲ جزئیات شبکه‌بندی مورد استفاده در هر دو کد ADINA و Fluent را به‌عنوان نمونه در سرریز پلکانی نوع چهارم نشان می‌دهد. روند محاسبات در کد ADINA شامل دو فاز عمده است. در فاز اول سطح آب ثابت نگه داشته شده (با پیش‌تعریف کردن شرط مرزی دیوار) و محاسبات اولیه انجام می‌شود و فاز دوم زمانی است که مقدار گرهی منتج از فاز اول به‌عنوان شرایط اولیه استفاده شده و سطح آب به‌عنوان سطح آزاد عمل کند.

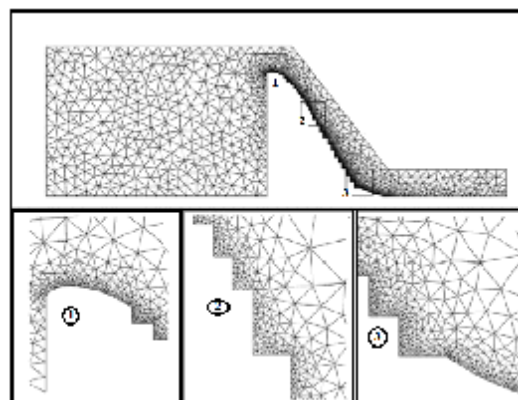
نحوه شبکه‌بندی و شبیه‌سازی میدان جریان
نوع شبکه‌بندی در کد ADINA به صورت مثلثی ولی در کد Fluent شبکه چهار ضلعی، با توجه به هندسه سرریز در برخی نواحی، شبکه ساختار یافته و در برخی نواحی دیگر، شبکه غیرساختار یافته انتخاب شده است. به دلیل وجود جریان‌های چرخشی در روی پله‌ها، در هر دو کد در نزدیک بدنه سرریز پلکانی از شبکه‌های ریزتری نسبت به سایر نواحی و در سرریز اوجی نیز به دلیل وجود گردادیان سرعت در نزدیک دیواره در محلی که جریان از مخزن وارد

سطح آزاد در ADINA یک مرز متحرک است که به‌عنوان یک مرز مشترک بین مایع و گازی که چگالی کمی دارد،

عمل می‌کند.



شکل ۲- ب) نحوه شبکه‌بندی چهارضلعی سرریز پلکانی در کد Fluent

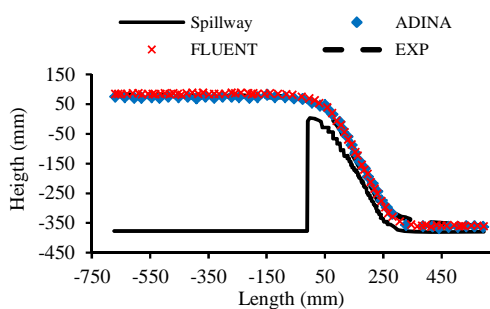


شکل ۲- الف) نحوه شبکه‌بندی مثلثی سرریز پلکانی در کد ADINA

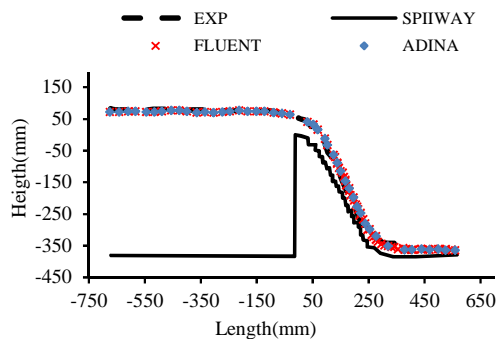
مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ارائه کرده است و در برخی نواحی نیز نتایج حاصل از کد Fluent به نتایج آزمایشگاهی نزدیک‌تر بوده است.

نتایج و بحث

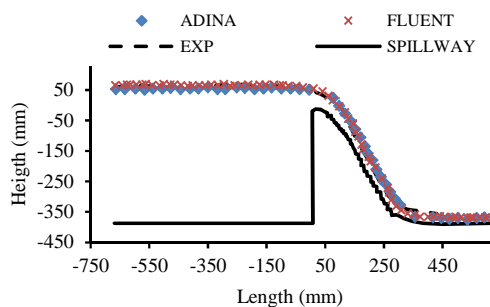
در شکل ۳ و ۴ نتایج حاصل از آنالیز عددی Fluent با نتایج تحلیل عددی ADINA و نتایج آزمایشگاهی، مقایسه شده است. با مقایسه شکل‌های ارائه شده و نتایج عددی دیده می‌شود که کد ADINA و Fluent نتایج خوبی در



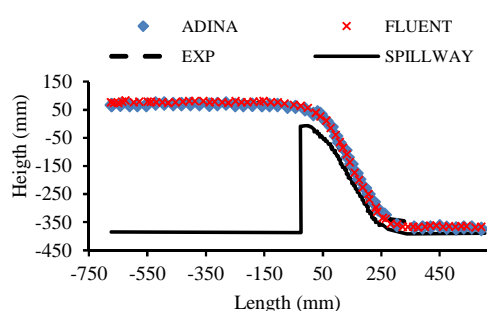
ب) سرریز پلکانی نوع دوم



الف) سرریز پلکانی نوع اول

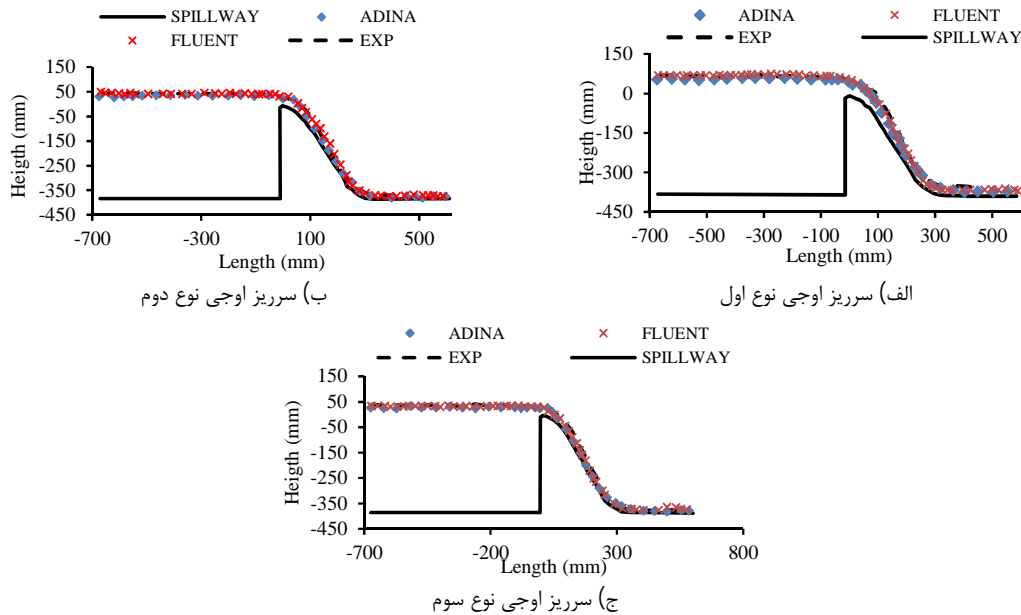


د) سرریز پلکانی نوع چهارم



ج) سرریز پلکانی نوع سوم

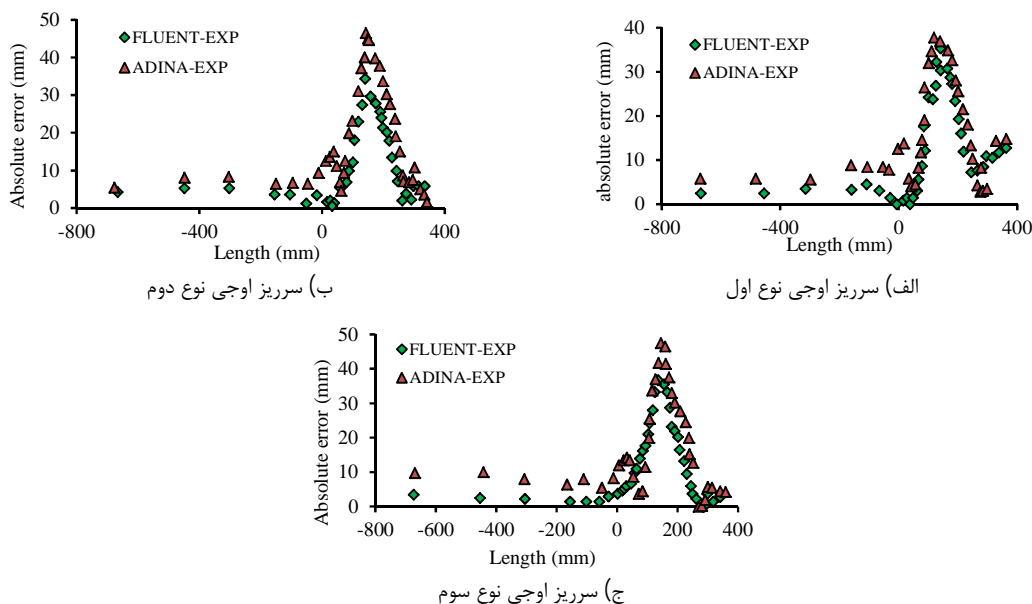
شکل ۳- مقایسه نتایج دو مدل عددی ADINA و Fluent با نتایج آزمایشگاهی در چهار نوع سرریز پلکانی



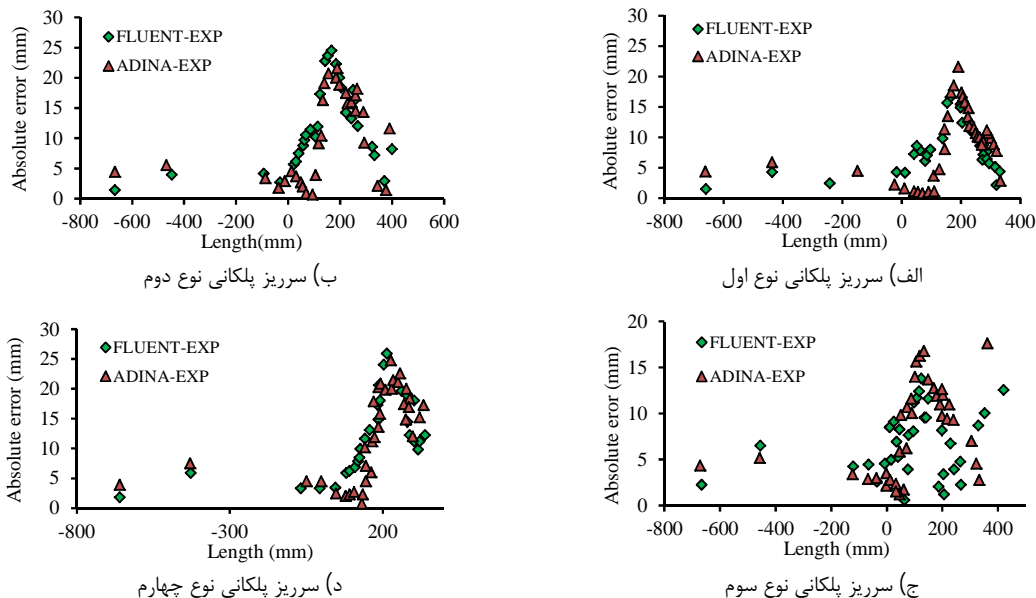
شکل ۴- مقایسه نتایج دو مدل عددی ADINA و Fluent با نتایج آزمایشگاهی در سه نوع سرریز اوجی

باتوجه به شکل‌های ۵ و ۶ و جدول ۳، برای سرریز اوجی روش حجم محدود نتایج نزدیک‌تری را در هر سه نوع سرریز اوجی و نوع چهارم سرریز پلکانی ارائه داده است. نتایج روش المان محدود در سه نوع سرریز پلکانی (اول، دوم و سوم) در مقایسه با نتایج روش حجم محدود، سازگاری بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارد ولی با توجه به اختلاف کم می‌توان گفت هر دو روش نتایج نزدیک و خوبی ارائه داده‌اند.

شکل ۵ و ۶ به بررسی میزان اختلاف در پروفیل سطح آب به روش‌های حجم محدود و المان محدود با نتایج آزمایشگاهی به ترتیب در طول مدل سرریز اوجی و سرریز پلکانی پرداخته است. در جدول ۳ به مقایسه میانگین قدرمطلق خطاهای ایجاد شده در هر دو نوع سرریز اوجی و پلکانی پرداخته شده است.



شکل ۵- مقایسه میزان اختلاف در پروفیل سطح آب سرریز اوجی در روش احجام محدود و المان محدود



شکل ۶- مقایسه میزان اختلاف در پروفیل سطح آب سرریز پلکانی در روش حجم محدود و المان محدود

جدول ۳- مقایسه میانگین قدرمطلق خطاهای ایجاد شده در روش حجم محدود و المان محدود

میانگین قدرمطلق خطاها (میلی‌متر)		نوع سرریز
روش المان محدود	روش حجم محدود	
۱۵/۵۳	۱۲/۶۷	اوجی نوع اول
۱۶/۲۸	۱۱/۰۷	اوجی نوع دوم
۱۶/۷۸	۱۰/۴۹	اوجی نوع سوم
۱۱/۰۱	۱۳/۱۳	پلکانی نوع اول
۸/۳۶	۹/۴۶	پلکانی نوع دوم
۱۱/۱۷	۱۲/۶۳	پلکانی نوع سوم
۸/۹۶	۸/۷۳	پلکانی نوع چهارم

روش المان محدود در مقایسه با نتایج روش حجم محدود

هماهنگی بهتری با نتایج آزمایشگاهی داشتند.

- حداکثر اختلاف بین نتایج پروفیل سطح آب در مدل عددی FLUENT در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی در حدود ۱/۲ سانتی‌متر و در مدل عددی ADINA در حدود ۱/۶ سانتی‌متر بوده است که این مقدار خطا در شبیه‌سازی عددی با توجه به مش‌بندی متفاوت در شبکه‌بندی مدل‌ها قابل قبول است. بر این اساس مدل‌های عددی FLUENT و ADINA برای شبیه‌سازی سازه‌های مشابه جهت صرفه‌جویی در هزینه ناشی از ساخت مدل فیزیکی مناسب هستند.

- با توجه به خطای کمتر مدل FLUENT در تعیین سطح آزاد جریان می‌توان سطح جریان را تخمین زد و طراحی دیواره‌های جانبی سرریز با دقت بیشتری میسر می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این بررسی با استفاده از کد Fluent و بهره‌گیری از روش حجم محدود و کد ADINA براساس روش المان محدود، پروفیل سطح آب در چهار نوع سرریز پلکانی و سه نوع سرریز اوجی، شبیه‌سازی شده است. سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. نتایج حاصل به شرح زیر است:

- با مقایسه نتایج ارائه شده هماهنگی به نسبت نزدیکی بین پروفیل سطح آب در هر دو کد مشاهده شده است. البته شایان ذکر است که پروفیل سطح آب شبیه‌سازی شده روی سرریز اوجی در روش حجم محدود در مقایسه با پروفیل سطح آب با روش المان محدود به پروفیل سطح آب اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه نزدیک‌تر است و نتایج حاصل از پروفیل سطح آزاد جریان روی سرریز پلکانی با

منابع

۱. وکیلی ش. شمسایی ا و رستمی م. ۱۳۹۰. تحلیل عددی تاثیر شیب و انحناى وجه بالادست سرریز اوجی بر روی الگوی جریان. کنگره ملی مهندسی عمران. نشر دانشگاه سمnan. ۸ ص.
2. Cassidy J. J. 1965. Irrotational flow over spillways of finite height. *Journal of Mechanical Engineering, ASCE*. 91(6): 155-73.
3. Chatila J. and Tabbara M. 2004. Computational modeling of flow over an ogee spillway. Elsevier, *Computers and Structures*. 82: 1805-1812.
4. Dargahi B. 2006. Experimental study and 3D numerical simulations for a free-overflow spillway. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 132(9): 899-907.
5. Eghbalzadeh A. and Javan M. 2012. Comparison of Mixture and VOF Models for Numerical Simulation of Air-entrainment in Skimming Flow over Stepped Spillways. *Journal of Elsevier. Procedia Engineering*. 28: 657-660.
6. Johnson M. and Savage. B. 2006. Physical and numerical comparison of flow over ogee spillway in the presence of tailwater. *Journal of Hydraulic Engineering*. 132(12): 1353-1357.
7. Tabbara M. Chatila J. and Awwad R. 2005. Computational simulation of flow over stepped spillways. Elsevier. *Computers and Structures*. 83(27): 2215-2224.
8. Nited States Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station (USACE-WES). 1952. Corps of engineers hydraulic
9. Zhenwei M. Zhiyan Z. and Tao Z. 2012. Numerical Simulation of 3-D Flow Field of Spillway based on VOF Method. *Journal of Elsevier. Procedia Engineering*. 28: 808-812.

