

## شبیه‌سازی سه‌بعدی الگوی جریان در مجاورت ورودی کانال آبگیر سد انحرافی

نرگس حسینی اصلی چکوسری<sup>۱\*</sup>، عاطفه پرورش ریزی<sup>۲</sup>، محمد رستمی<sup>۳</sup> و جواد فرهودی<sup>۴</sup>

### چکیده

احداث سد انحرافی و آبگیر جانبی آن از متداول‌ترین روش‌های آبگیری است که برای طراحی درست آن، شناخت الگوی جریان در نزدیکی سد و ورودی کانال انحراف مهم است. در این پژوهش، با نرم‌افزار فلونت به شبیه‌سازی سه‌بعدی میدان جریان در آبگیرهای جانبی شامل، سازه سد انحرافی، دیواره جداکننده، مجرای تخلیه‌رسوب، ارتفاع آستانه و آبگیر جانبی پرداخته شد. همچنین نتایج مدل عددی و فیزیکی از نظر ناحیه جداشدگی جریان، الگوی جریان، گردابه‌ها و جریان‌های ثانویه مقایسه شده‌اند. مدل‌سازی عددی جریان با مدل آشفتگی k-ε و برای زاویه آبگیری ۱۲۰ درجه و نسبت‌های آبگیری ۰/۵ و ۰/۶۵ انجام شد. نتایج به دست آمده از مدل عددی نشان داد که الگوی جریان در مجاورت کانال آبگیر به خوبی شبیه‌سازی شده است. مقایسه مقادیر کمی سرعت عرضی جریان بین دو مدل عددی و آزمایشگاهی، در ترازهای مختلف و به ویژه نسبت آبگیری ۰/۵، نشان‌دهنده قابلیت به نسبت خوب مدل در شبیه‌سازی ویژگی‌های جریان در آبگیرهای جانبی است. به گونه‌ای که متوسط میزان خطای مدل عددی در این نسبت آبگیری و سه تراز مختلف، حدود ۱۳ درصد بود. پس از صحت‌سنجی مدل عددی، با اعمال تغییراتی در شکل دهانه آبگیر، تأثیر این عامل بر الگوی جریان در مقابل دهانه آبگیر بررسی شد. به ازای زاویه‌دار کردن دیواره بالادست دهانه آبگیر، جریان گردابی در این ناحیه حذف شد به طوری که عرض ناحیه گردابی، از حدود ۸ درصد عرض دهانه، به مقداری نزدیک به صفر کاهش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** آبگیر جانبی، سد انحرافی، دیواره جداکننده، مدل آشفتگی، مدل فلونت.

**ارجاع:** حسینی اصلی چکوسری ن. پرورش ریزی ع. رستمی م. و فرهودی ج. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی سه‌بعدی الگوی جریان در مجاورت ورودی کانال آبگیر سد انحرافی. مجله پژوهش آب ایران. ۱۸: ۸۹-۹۸.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.

۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.

۳- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.

۴- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

\* نویسنده مسئول: [narges\\_h\\_asli@yahoo.com](mailto:narges_h_asli@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۷/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۸

## مقدمه

آبگیری از رودخانه برای تأمین آب در مصارف کشاورزی، شرب و صنعت همیشه مورد توجه بوده است. از بین روش‌های مختلف آبگیری، احداث سد انحرافی و آبگیرهای جانبی آن برای تأمین آب شبکه‌های آبیاری بیشتر متداول است. اساس این روش، ساخت سد و انحراف بخشی از جریان رودخانه است. از آنجا که جریان سیلابی رودخانه‌ها بیشتر دارای آورد رسوبی بالا است، بخشی از رسوبات وارد دهانه آبگیر می‌شوند و در نتیجه، در طول زمان انسداد دهانه و یا کاهش ظرفیت آبگیری کانال رخ می‌دهد. پژوهش‌هایی درخصوص ارائه طرح بهینه برای اتصال دهانه آبگیر به کانال اصلی و روش‌های مختلف کنترل رسوب ورودی به آن انجام شده است. نیری و همکاران (۱۹۹۹) با تهیه یک مدل سه‌بعدی، الگوی جریان آشفته را در یک انشعاب ۹۰ درجه مدل‌سازی کردند. آن‌ها بیان کردند که استفاده از تابع دیواره برای ایجاد ارتباط بین زیر لایه لزوج<sup>۱</sup> و نواحی آشفته، از نظر محاسباتی به صرفه است ولی در پیش‌بینی گردابه و نواحی جدایی جریان، عملکرد خوبی ندارد و مدل  $k-\omega$  را برای مدل آشفتگی استفاده کردند. رامامورثی و همکاران (۲۰۰۷) به تهیه یک مدل سه‌بعدی از یک انشعاب ۹۰ درجه برای مقایسه با مقادیر سرعت به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی پرداختند و هماهنگی خوبی را مشاهده کردند. رستم آبادی (۱۳۸۶) شبیه‌سازی عددی الگوی جریان حول صفحات مستغرق در آبگیری جانبی قوس ۱۸۰ درجه را انجام داد. وی تأثیر مدل‌های  $k-\epsilon$  و RSM<sup>۲</sup> را بررسی کرد و نتایج آن‌ها را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کرد. بررسی‌ها نشان از ناتوانی مدل  $k-\epsilon$  در شبیه‌سازی کامل الگوی جریان حول صفحه دارد. صفرزاده و صالحی نیشابوری (۱۳۸۷) الگوی جریان آشفته برای آبگیری جانبی از قوس ۱۸۰ درجه را با استفاده از مدل آشفتگی RSM، مدل‌سازی کردند و روش VOF<sup>۳</sup> را برای بررسی تغییرات سطح آب به کار بردند. نتایج نشان داد که مدل آشفتگی و روش مزبور، توزیع سرعت در داخل میدان و تغییرات ایجاد شده در سطح آب را به خوبی پیش‌بینی می‌کند. رضانی و همکاران (۱۳۹۰) به مقایسه مدل‌های آشفتگی در آبگیر ۹۰ درجه پرداختند.

آن‌ها طول و عرض ناحیه جدا شده در دهانه آبگیر ۹۰ درجه را در چهار نسبت دبی آبگیری و با پنج مدل آشفتگی، با مدل Flow-3D محاسبه و با مشاهدات فیزیکی مقایسه کردند و در نهایت، مدل آشفتگی RNG را تأیید کرد. در یک بررسی آزمایشگاهی که مدل فیزیکی سد انحرافی و اجزای آن به طور کامل توسط اسمعیلی ورکی (۱۳۸۷) تهیه شد، اثر زاویه آبگیری (زوایای ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ درجه) بر الگوی جریان در حال انحراف و مقدار رسوب ورودی به دهانه آبگیر سد انحرافی بررسی شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان از وقوع بیشینه سرعت عرضی جریان ورودی به دهانه در بازه یک سوم انتهایی آن و همچنین تشکیل یک ناحیه کم سرعت با جریان برگشتی در مقابل مجرای تخلیه رسوب و گوشه سمت راست (مستعد رسوب‌گذاری) بود.

موضوع قابل تامل در این پژوهش‌ها، عدم در نظر گرفتن سد انحرافی در مجاورت دهانه آبگیر است. این در حالی است که درک صحیح الگوی جریان و رسوب‌گذاری در این سازه، نیازمند توجه به تمام اجزای سیستم انحراف جریان است. اکنون با تکامل مدل‌های عددی، زمینه شبیه‌سازی عددی میدان جریان در این نوع سازه‌ها فراهم است، به‌گونه‌ای که می‌توان با هزینه و سرعت مناسب به درک جامعی از متغیرهای موجود در میدان حل دست یافت. در این پژوهش شبیه‌سازی سه‌بعدی هیدرولیک جریان در آبگیر جانبی بصورت یک مجموعه شامل، سازه سد انحرافی، دیواره جداکننده، مجرای تخلیه رسوب، ارتفاع آستانه و آبگیر جانبی به عنوان مکمل پژوهش‌های قبلی انجام شد و از نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی فلوئنت<sup>۴</sup> برای شبیه‌سازی عددی الگوی جریان استفاده شد. سپس نتایج مدل عددی و فیزیکی از نظر ناحیه جداشدگی جریان، الگوی جریان، گردابه‌ها و جریان‌های ثانویه مقایسه و تحلیل شدند.

## مواد و روش‌ها

## ویژگی‌های مدل عددی

شناخت الگوی جریان در مجاورت آبگیرهای جانبی به دلیل پیچیدگی ساختار جریان انحرافی و تأثیر عوامل مختلفی چون سد انحرافی، مجرای تخلیه رسوب و آستانه

1- Viscous Sub Layer  
2- Reynolds Stress Model  
3- Volume of Fluid

مقابل دهانه آبگیر، از دیواره جداکننده با طول ۰/۲۹ متر و عرض ۰/۱ متر استفاده شد. جنس دیواره‌ها و کف مدل از پلکسی‌گلاس است. ابتدا کف کانال با رسوب پوشیده شد و آزمایش‌ها پس از تثبیت کف انجام شد. ثبت مقادیر سرعت در شرایط آزمایشگاهی، به صورت سه‌بعدی و با ADV انجام شد و سرعت در محدوده مشخصی از ورودی دهانه آبگیر و مجرای تخلیه رسوب ثبت شده است. ثبت سرعت در مقابل مجرای تخلیه رسوب و در عمق‌های ۰/۷، ۱۲ و ۲۱ سانتی‌متری از سطح آب انجام شد.

### بررسی عددی و میدان جریان

برای تهیه هندسه و شبکه‌بندی میدان حل، از نرم‌افزار گمبیت استفاده شد و برای شبیه‌سازی نیمرخ سطح آب، روش دو فازی VOF به کار رفت. در روش VOF یک تابع جزء حجم سیال  $\alpha$  برای هر سلول تعریف می‌شود. اگر در سلول مقدار جزء حجم سیال مساوی یک باشد، سلول پر از آب و اگر مساوی صفر باشد، سلول پر از هواست. اگر مقدار جزء حجم بین صفر و یک باشد، هر دو فاز وجود دارند. در ادامه با توجه به سابقه استفاده از مدل آشفتگی دو معادله‌ای  $k-\epsilon$  در منابع، این مدل برای اعمال شرایط آشفتگی استفاده شد. معادلات حاکم بر حرکت سیال تراکم‌ناپذیر لزج در حالت آشفتگی، با معادلات ناویر استوکس متوسط‌گیری شده، موسوم به رینولدز بیان می‌شوند. معادلات پیوستگی و اندازه حرکت برای روش دو فازی VOF به شرح زیر هستند:

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

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

(۳)

$$\tau_{ij} = \left[ \rho(\nu + \vartheta_i) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \left[ \frac{2}{3} \rho(\vartheta_i + k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \right]$$

$$\rho = \sum \alpha_q \rho_q \quad (4)$$

$$\sum_{q=1}^n \alpha_q = 1 \quad (5)$$

در این معادله‌ها،  $u_i$  ( $i=1,2,3$ ) مؤلفه سرعت در جهت  $x_i$ ؛  $p$  فشار کل؛  $\rho$  چگالی سیال؛  $\alpha$  جزء حجم سیال؛  $q$  شماره سلول؛  $\vartheta_i$ ، لزجت گردابه‌ای؛  $\vartheta$ ، لزجت ملکولی؛  $K$ ،

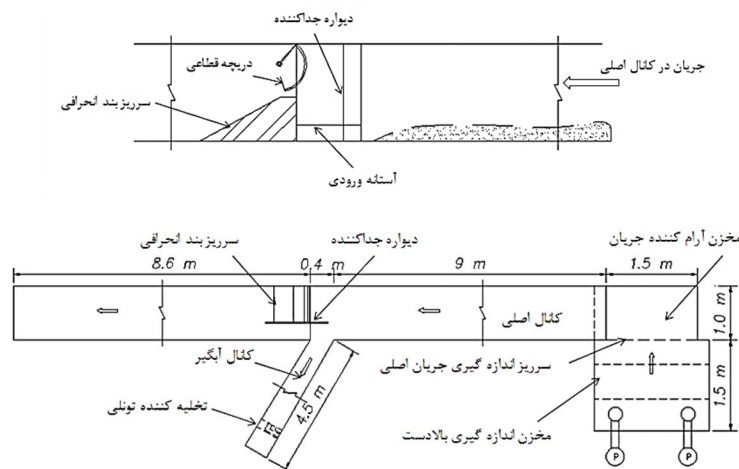
ورودی مهم است. امروزه با پیشرفت فناوری و ورود مدل‌های رایانه‌ای پیشرفته، می‌توان به بررسی دقیق هیدرولیک جریان در هندسه‌های پیچیده پرداخت و همچنین زمان و هزینه بالای مدل‌های فیزیکی را کاهش داد. در نرم‌افزار فلوئنت که یک برنامه رایانه‌ای قوی برای تحلیل و شبیه‌سازی جریان سیال و انتقال حرارت است، می‌توان با توابع تعریف شده توسط کاربر، قابلیت‌های نرم‌افزار را در تشریح شرایط مرزی و تعریف خواص فیزیکی افزایش داد. این نرم‌افزار می‌تواند در شبکه‌های بی‌سازمان و با سازمان، برای هندسه‌های پیچیده، شبیه‌سازی و تحلیل را انجام دهد. در این پژوهش از نرم‌افزار فلوئنت برای شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان در آبگیر جانبی سد انحرافی استفاده شد. این نرم‌افزار به زبان C نوشته شده است و از روش حجم محدود برای حل معادلات استفاده می‌کند. در این پژوهش، برای انفصال بخش انتقالی معادلات حاکم از روش UpWind مرتبه اول استفاده شد و کوپل ترم‌های سرعت و فشار با الگوریتم SIMPLE انجام شد. مراحل شبیه‌سازی شامل تولید هندسه و شبکه‌بندی آن در نرم افزار پیش‌پردازنده گمبیت<sup>۱</sup>، انتقال شبکه به نرم افزار فلوئنت، انتخاب شیوه محاسباتی و معادلات اساسی، تعیین خواص و شرایط مرزی و مقداردهی اولیه و شروع محاسبات است.

### مشخصات مدل آزمایشگاهی

برای صحت‌سنجی مدل عددی از نتایج مدل فیزیکی که در گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران ساخته شد، استفاده شد (اسمعیلی ورکی، ۱۳۸۷). مدل آزمایشگاهی شامل کانال اصلی، کانال آبگیر، دیواره جداکننده، سازه سد انحرافی، دریچه مجرای تخلیه رسوب و آستانه ورودی است (شکل ۱). سیستم آبگیری شامل یک کانال اصلی به طول ۱۸ متر، عرض و ارتفاع ۰/۹ و ۰/۶ متر و شیب ۰/۰۰۸ و یک کانال آبگیر افقی به طول ۴/۵ متر و عرض ۰/۴ متر است. سازه سد انحرافی و مجرای تخلیه رسوب عمود بر مسیر جریان و در عرض کانال اصلی جانمایی شده است. همچنین عرض سرریز سد انحرافی ۰/۶ متر و ارتفاع آن ۰/۲۷ متر می‌باشد (اسمعیلی ورکی، ۱۳۸۷). برای جداسازی دریاچه پشت سد انحرافی از

(رستم‌آبادی، ۱۳۸۶ و راهنمای نرم‌افزار فلوئنت، ۲۰۰۶).

انرژی جنبشی آشفتگی؛  $\delta_{ij}$ ، دلتای کرونگر؛  $g_i$ ، شتاب  
ثقل در جهت  $x_i$  و  $\tau_{ij} = -\rho u_i' u_j'$ ، تنش رینولدز است



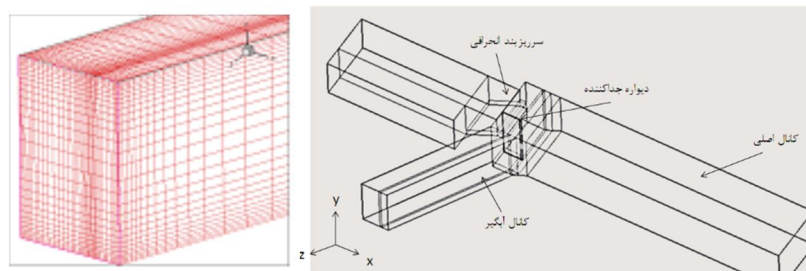
شکل ۱- پلان و نمای جانمایی کانال آزمایشگاهی، سد انحرافی و اجزای مربوطه (اسمعیلی ورکی، ۱۳۸۷)

جدول ۱- مشخصات میدان حل جریان در نرم‌افزار فلوئنت

| ابعاد (متر) | هندسه                |
|-------------|----------------------|
| ۰/۹         | عرض کانال اصلی       |
| ۰/۷         | ارتفاع کانال اصلی    |
| ۴/۵۵        | طول کانال اصلی       |
| ۰/۶         | طول سرریز سد انحرافی |
| ۰/۱         | عرض سرریز سد انحرافی |
| ۰/۰۱        | عرض دیوار جداکننده   |
| ۰/۲۹        | طول دیواره جداکننده  |
| ۰/۲۹        | عرض مجرای تخلیه رسوب |
| ۰/۴         | عرض کانال آبگیر      |

## مشخصات میدان حل و شبکه‌بندی

در جدول ۱ مشخصات میدان حل مدل عددی و در شکل ۲، هندسه ایجاد شده ارائه شد. در این قسمت میدان مورد نظر برای چند شبکه‌بندی متفاوت حل شده و در نهایت با توجه به زمان محاسبات، در مجموع حدود ۲۱۸۰۰۰ گره محاسباتی برای میدان حل در نظر گرفته شد. شبکه‌بندی در راستای عمق و عرض کانال غیریکنواخت بوده و نزدیک به دیواره‌ها، از شبکه‌بندی ریزتری استفاده شد. این شبکه‌بندی از نوع المان‌های مکعبی با سازمان بوده است.



شکل ۲- شمای کلی از هندسه و شبکه‌بندی ساخته شده در نرم‌افزار گمبیت

پژوهش، عمق ۰/۴۷ متر برای فاز هوا منظور شد. از شرط مرزی دیواره برای جداره‌های جانبی و بستر کانال‌های اصلی و جانبی استفاده شده است. با توجه به غیردائم بودن جریان، گام زمانی یک ثانیه برای حل میدان جریان استفاده شد. از آنجا که در روش VOF، جریان برای رسیدن به نیمرخ‌های مورد نظر سطح آب، به گذشت زمان

## شرایط مرزی میدان حل

در ورودی کانال اصلی شرط مرزی سرعت ورودی به کار برده شد و برای فاز آب، کانالی به ارتفاع ۲۳ سانتی‌متر (مطابق با مدل آزمایشگاهی) در نظر گرفته شد. اما عمق فاز هوا باید به اندازه‌ای باشد که شرط مرزی سطح هوا، تأثیری روی میدان جریان فاز آب نداشته باشد. در این

تغییر دادن میزان بازشدگی دریچه سرریز سد انحرافی، میزان دبی وارد شده به کانال جانبی تنظیم شد. در جدول ۲ مشخصات هیدرولیکی جریان ورودی به کانال آبیگر ارائه شده است.

نیاز دارد، مدل به صورت غیرماندگار اجرا می‌شود. حل میدان جریان تا زمانی ادامه می‌یابد که تغییرات سطح آب به حالت موجود در شرایط آزمایشگاهی نزدیک شود. برای مرز خروجی از شرط مرزی دبی خروجی (Out flow) استفاده شد و با استفاده از این مرز خروجی و همچنین

جدول ۲- مشخصات هیدرولیکی میدان جریان

| عمق جریان (cm) | عمق کانال (cm) | سرعت جریان (m/sec) | عدد رینولدز | عدد فرود |
|----------------|----------------|--------------------|-------------|----------|
| ۲۳             | ۷۰             | ۰/۳۴               | ۵۱۶۰۰       | ۰/۲۳     |

میدان جریان و نمودارهای سرعت نسبی در ورودی کانال آبیگر، ارائه و تحلیل شده‌اند.

### مقایسه نیمرخ‌های هم‌سرعت عرضی با نتایج آزمایشگاهی

در شکل‌های ۳ و ۴ نیمرخ سرعت عرضی جریان در مقابل دهانه آبیگر در دو عمق ۷ و ۱۲ سانتی‌متر و به ازای نسبت آبیگری ۰/۵ و ۰/۶۵، برای دو مدل عددی و آزمایشگاهی نشان داده شده است. اعداد ۹۰۰ تا ۹۴۰ میلی‌متر در محور افقی شکل‌ها، گویای عرض ۴۰ سانتی‌متری دهانه کانال آبیگر است. براساس نتایج، قابلیت مدل آشفتگی و مدل دوفازی مورد استفاده، به ویژه در دبی نسبی ۰/۵، تأیید می‌شود. در دبی نسبی ۰/۶۵، گرچه مقدار سرعت حداکثر در سمت چپ عرض آبیگر افزایش یافته، اما داده‌های آزمایشگاهی افزایش بیشتری را نشان می‌دهند. همچنین هر دو مدل فیزیکی و عددی، بیشینه سرعت را در نزدیکی دیواره چپ عرض کانال آبیگر نشان می‌دهند که به دلیل مکش اعمال شده از طرف آبیگر و انحراف نیمرخ‌های سرعت به سمت کانال انشعاب است (صفرزاده و صالحی نیشابوری، ۱۳۸۳) و سرعت حداکثر را به طرف یک سوم چپ دهانه آبیگر جابجا می‌کند.

### مقایسه مقادیر کمی سرعت عرضی جریان در دهانه آبیگر با نتایج آزمایشگاهی

در شکل‌های ۵ و ۶ نیمرخ سرعت بی‌بعد آزمایشگاهی و عددی ( $V_{ma}, V/V_{max}$ ) و حداکثر سرعت عرضی (در راستای طول دهانه آبیگر) در سه عمق ۷، ۱۲ و ۲۱ سانتی‌متری از سطح آب به ازای دو نسبت آبیگری ۰/۵ و ۰/۶۵، نشان داده شده است. محور طول‌ها (x) بر حسب

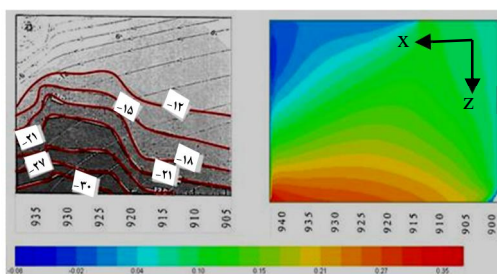
### شبیه‌سازی انجام شده و مرحله واسنجی

در مرحله واسنجی، با آزمون دو مدل آشفتگی مطرح در پژوهش‌ها، مدل k-ε جواب‌های بهتر و با خطای کمتر ارائه داد. در مورد ضریب زبری، ضریبی که در تابع دیواره وجود دارد ارزیابی شد و تغییر آن، تغییر محسوسی در نتایج ایجاد نکرد. همچنین برای اطمینان از نتایج به دست آمده از حل عددی میدان جریان، نیمرخ سرعت به دست آمده از مدل در یک کانال مستقیم مستطیلی و طولانی با نیمرخ محاسباتی مقایسه شد. نتایج نشان داد که با شرایط در نظر گرفته شده، توزیع لگاریتمی سرعت و عمق آب به درستی شبیه‌سازی شده است. همچنین حساسیت نتایج مدل به ابعاد شبکه استفاده شده ارزیابی، و در همه اجراها ابعاد شبکه تا اندازه مناسب ریز شد تا نتایج حل عددی مستقل از اندازه شبکه باشد (واسنجی از نظر حل عددی). براساس پارامترهایی که شرح آن‌ها داده شد، در ابتدا شرایط هیدرولیکی حاکم بر مجموعه آزمایشگاهی شبیه‌سازی شد. سپس میدان سرعت محاسبه شده در پلان‌های مختلف، با میدان سرعت اندازه‌گیری شده، مقایسه شد تا صحت ورود شرایط مرزی و پارامترها و همچنین توانایی مدل در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان ارزیابی شود. پس از صحت‌سنجی مدل و توجه به الگوی جریان در مجموعه آزمایشگاهی، چند فرم اصلاحی شامل اصلاح هندسی زوایای اتصال کانال انحراف آب به کانال اصلی، که اغلب مورد سؤال طراحان است، با هدف بهبود طراحی، شبیه‌سازی شد.

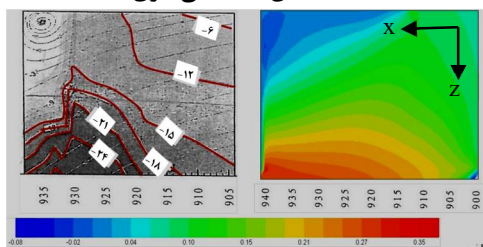
### نتایج و بحث

در این قسمت نتایج صحت‌سنجی مدل و نتایج حاصل از ایجاد تغییر در هندسه طرح، در قالب نقشه هم‌سرعت

ناشی از برخورد جریان با دیواره آستانه ورودی دهانه می‌تواند دلایل این عدم هماهنگی باشند. با این حال در این عمق و نسبت آبیگری ۶۵ درصد، نتایج دو مدل در یک سوم میانی عرض دهانه آبگیر منطبق هستند. جدول ۳ متوسط خطای مدل عددی را نشان می‌دهد.

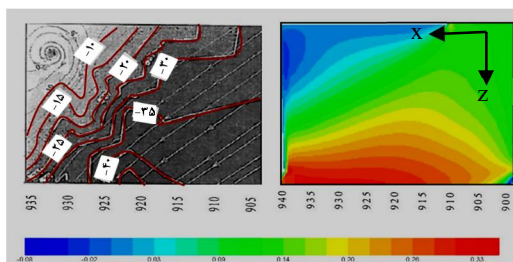


الف - عمق ۱۲ سانتی‌متری

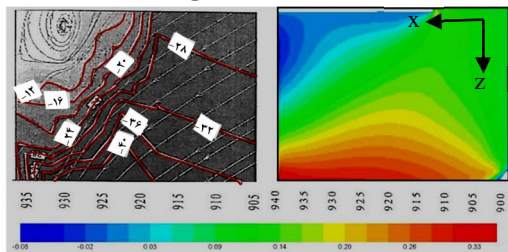


ب - عمق ۷ سانتی‌متری

شکل ۳- خطوط هم‌سرعت عرضی در مقابل دهانه آبگیر در دبی نسبی ۰/۵ در مدل‌های عددی (سمت راست) و فیزیکی (سمت چپ)



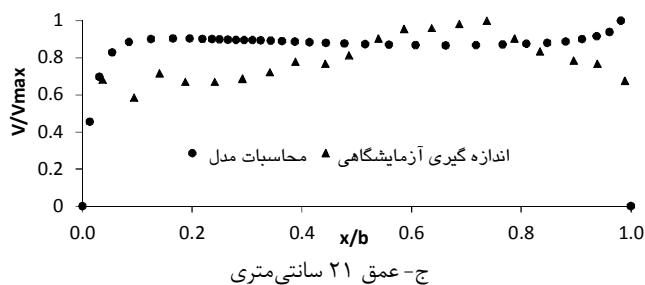
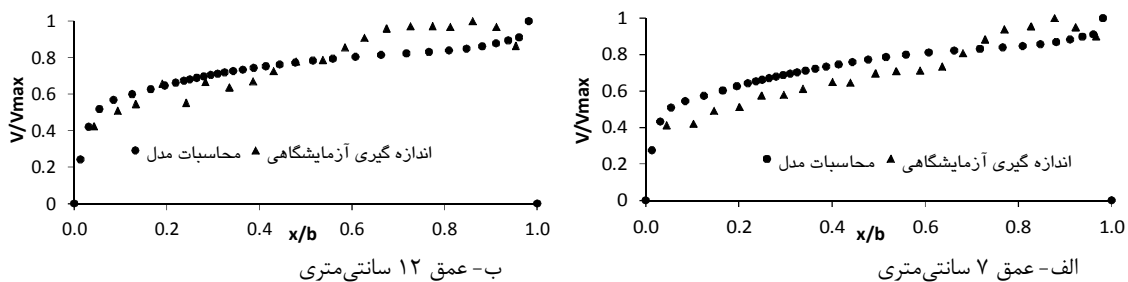
الف - عمق ۱۲ سانتی‌متری



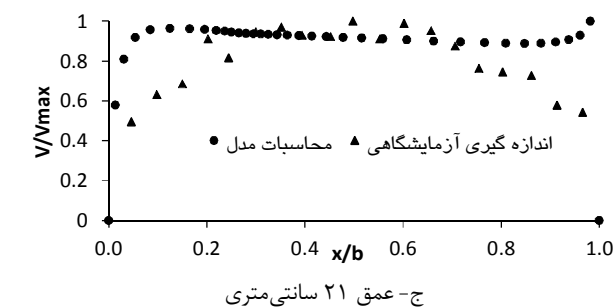
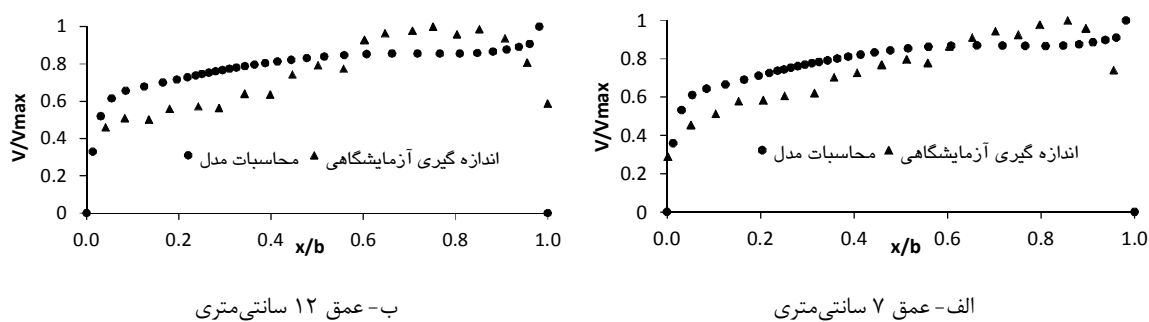
ب - عمق ۷ سانتی‌متری

شکل ۴- خطوط هم‌سرعت عرضی در مقابل دهانه آبگیر در دبی نسبی ۰/۶۵ در مدل‌های عددی و فیزیکی

مقدار عرض کانال (b) بی‌بعد شده است. شروع محور X از مقطع ۹۰۰ در ابتدای دهانه آبگیر تا مقطع ۹۴۰ در انتهای دهانه و نزدیک مجرای تخلیه رسوب بوده است (شکل ۳). بر این اساس هماهنگی خوبی بین نتایج دو مدل به ویژه در دو عمق ۷ و ۱۲ سانتی‌متری وجود دارد. این موضوع بویژه در دو سوم ابتدایی (سمت راست) عرض دهانه آبگیر و نسبت آبیگری ۵۰ درصد (با مقایسه مقادیر کمی سرعت‌های عرضی)، ملموس است، به طوری که بیشینه سرعت نتایج آزمایشگاهی و مدل عددی در عمق ۷ سانتی‌متری رتیب ۳۲ و ۳۷ cm/s و بوده که این مقدار در عمق ۱۲ سانتی‌متری به ۳۳ و ۳۹ cm/s تغییر می‌یابد. مشاهده می‌شود که در نسبت آبیگری بالاتر، تطابق بین داده‌ها در عمق‌های سطحی کمی کاهش یافت. در یک سوم سمت چپ دهانه آبگیر، مدل عددی سرعت کمتری را نسبت به مدل آزمایشگاهی نشان می‌دهد. این موضوع می‌تواند به دلیل تشکیل جریان‌های ثانویه و برگشتی حاصل از برخورد با یک دیواره (دریچه مجرای تخلیه رسوب) باشد. این موضوع توسط سایر پژوهش‌گران هم گزارش شده است، فلونت در تعیین نیمرخ سرعت در طول کانال اصلی دقت خوبی دارد. اما نیمرخ سرعت فقط تا فاصله کوتاهی از دهانه آبگیر، با مقادیر آزمایشگاهی منطبق است (صفرزاده و صالحی نیشابوری، ۱۳۸۳). نیری و همکاران (۱۹۹۹) نیز، دلیل اختلاف در نیمرخ‌های انتهایی داخل دهانه آبگیر را نقص مدل‌های دومعادله‌ای با فرض توزیع همگن آشفتگی بیان کردند، که بر نواحی پایین‌دست کانال انشعاب و گسترش جریان سه‌بعدی مؤثر است. موضوع مهم در مقایسه نتایج این پژوهش، عدم در نظر گرفتن مجموعه کامل سیستم سد انحرافی در پژوهش‌های دیگر است. آن‌ها فقط به بررسی الگوی جریان در کانال آبگیر به عنوان یک انشعاب از کانال اصلی پرداخته‌اند که می‌تواند عاملی مؤثر در تشکیل و شدت جریان‌های ثانویه در مقابل دهانه آبگیر باشد. هماهنگی نتایج دو مدل فیزیکی و عددی در عمق ۲۱ سانتی‌متری کم شده، به طوری که متوسط میزان خطا در عمق ۷ سانتی‌متری و نسبت آبیگری ۵۰ درصد، از حدود ۱۰ درصد به حدود ۱۴ درصد رسیده که عواملی مانند ضعف مدل آشفتگی (نیری و همکاران، ۱۹۹۹)، عدم به کار گیری حداکثر دقت در آزمایشگاه در قرائت سرعت‌های عرضی جریان و همچنین جریان‌های برگشتی



شکل ۵- نیمرخ سرعت بی بعد در دهانه کانال آبگیر در دبی نسبی ۰/۵

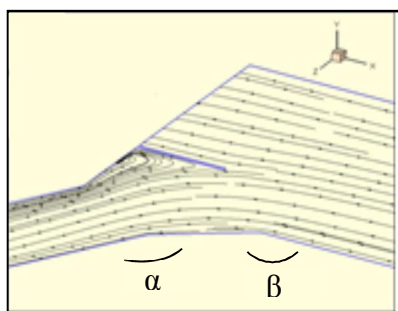


شکل ۶- نیمرخ سرعت بی بعد در دهانه کانال آبگیر در دبی نسبی ۰/۶۵

جدول ۳- میزان خطای متوسط سرعت‌های عرضی جریان براساس مدل‌های عددی و آزمایشگاهی

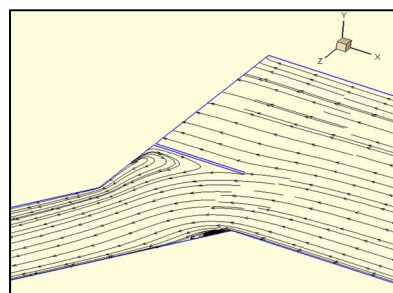
| موقعیت اندازه‌گیری نسبت به سطح آب | درصد خطا | نسبت آگیری |
|-----------------------------------|----------|------------|
| تراز ۷ سانتی متری                 | ۹/۵۲     | ۵۰ درصد    |
| تراز ۱۲ سانتی متری                | ۱۶/۲۱    | ۵۰ درصد    |
| تراز ۲۱ سانتی متری                | ۱۳/۷۴    | ۵۰ درصد    |
| تراز ۷ سانتی متری                 | ۳۳/۶۸    | ۶۵ درصد    |
| تراز ۱۲ سانتی متری                | ۲۶/۵۲    | ۶۵ درصد    |
| تراز ۲۱ سانتی متری                | ۲۱/۶۶    | ۶۵ درصد    |

کم‌سرعت در این ناحیه دارد، به طوری که بعد از تغییر شکل دهانه، حداکثر عرض ناحیه گردابی از حدود ۸ درصد عرض دهانه آبگیر در تراز ۲۱ سانتی‌متری، به مقدار بسیار کمی کاهش یافته است و ضمن کاهش گرادیان شدید سرعت عرضی در عرض دهانه (شکل ۷) از تمرکز خطوط جریان و ایجاد ناحیه جریان ثانویه نیز در این بخش جلوگیری می‌شود (شکل ۸).

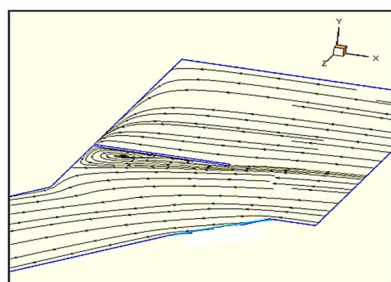


ب- تغییر شکل دهانه آبگیر

شکل ۷- خطوط جریان انحرافی به آبگیر برای دبی نسبی آبگیری ۰/۵ در عمق ۷ سانتی‌متر

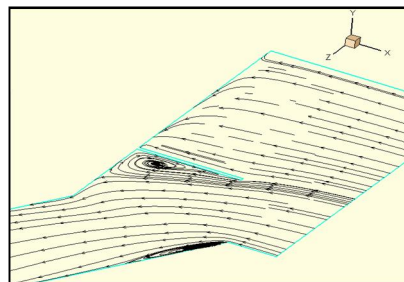


الف- شکل اولیه دهانه آبگیر



ب- تغییر شکل دهانه آبگیر

شکل ۸- خطوط جریان انحرافی به آبگیر برای دبی نسبی آبگیری ۰/۵ در عمق ۲۱ سانتی‌متر



الف- شکل اولیه دهانه آبگیر

یکنواخت‌تر آن در پشت دیواره جداکننده می‌شود. این موضوع به خصوص در عمق ۲۱ سانتی‌متری جریان قابل تشخیص است. شکل ۹ نشان می‌دهد که دهانه آبگیر دو زاویه‌ای دارای توزیع سرعت عرضی یکنواخت‌تری نسبت به شکل تک‌زاویه‌ای آن در ترازهای مختلف سطح آب مقابل دهانه است. از طرفی با توجه به تأثیر جریان ثانویه در انتقال سرعت حداکثر به ترازهای پایینی سطح آب (صفرزاده و صالحی نیشابوری، ۱۳۸۳)، شکل جدید دهانه آبگیر به دلیل توزیع یکنواخت‌تر سرعت عرضی و کاهش قدرت گردابه‌ها، می‌تواند روش مناسبی باشد.

## بررسی اثر تغییر شکل دهانه آبگیر

برای حذف نواحی مستعد رسوب‌گذاری، تغییر شکل دهانه آبگیر بررسی شد که در آن میزان نیروی برشی و الگوی مناسب جریان به سمت دهانه آبگیر مؤثر هستند (شکل‌های ۷ و ۸). دهانه آبگیر به صورت دو زاویه‌ای ( $\alpha$ ) و ( $\beta$ ) به کانال اصلی متصل شد که مقدار آن‌ها ۱۴۵ و ۱۵۵ درجه است. براساس نتایج دو زاویه‌ای بودن دیواره بالادست دهانه آبگیر تأثیر بسزایی در کاهش نواحی

## بررسی سرعت عرضی جریان در دهانه آبگیر به ازای

### تغییر شکل ایجاد شده در دهانه

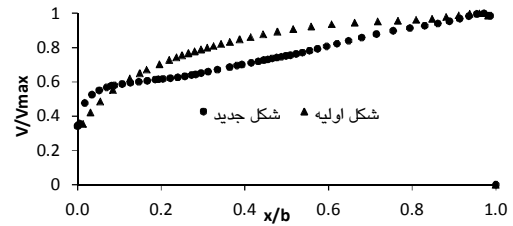
براساس شکل ۹، در قسمت‌های میانی دهانه آبگیر بین مقادیر سرعت عرضی جریان، در دو شکل دهانه آبگیر، تفاوت وجود دارد. شکل اولیه دهانه آبگیر، مقادیر سرعت عرضی بیشتری را نشان می‌دهد و پس از تغییر شکل، از تمرکز نواحی کم‌سرعت عرضی در ابتدای دهانه ورودی به شکل چشم‌گیری کاسته شده و جریانی یکنواخت‌تر وارد کانال آبگیر می‌شود. حذف گرادیان سرعت در این موقعیت سبب کاهش فرسایش دیواره‌ها و رسوب‌گذاری در قسمت‌های کم‌سرعت می‌شود. همچنین سبب کاهش تلاطم جریان و ایجاد گردابه‌ها در ورودی جریان و توزیع



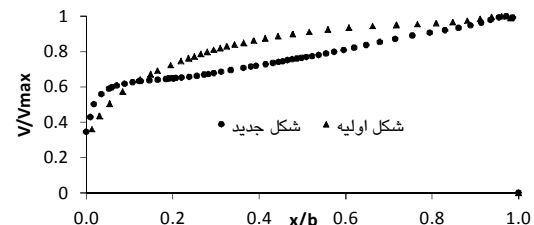
جریان برگشتی ایجاد شده در مجاورت آستانه آبگیر در اثر برخورد جریان انحرافی به آن را می‌توان در این اختلاف تأثیرگذار دانست. با توجه به اهمیت زاویه آبگیری، در این پژوهش مشخص شد که زاویه آبگیری ۱۲۰ درجه به همراه اتصال دو زاویه‌ای کانال آبگیر به کانال اصلی، می‌تواند در کاهش نواحی کم‌سرعت عرضی در ورودی دهانه آبگیر مؤثر باشد به طوری که نواحی جریان برگشتی بالادست دهانه آبگیر و پتانسیل رسوب‌گذاری در آن کم می‌شوند.

### منابع

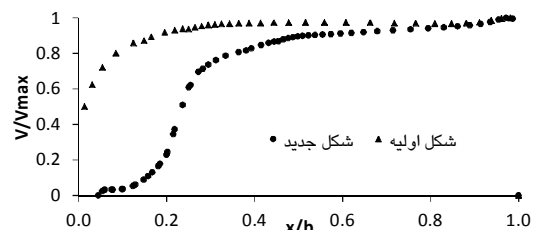
۱. اسمعیلی ورکی م. ۱۳۸۷. مطالعه آزمایشگاهی اثر زاویه آبگیری بر الگوی جریان در حال انحراف و مقدار رسوب ورودی به دهانه آبگیر در بند انحرافی. رساله دکتری، دانشگاه تهران. ۲۳۰ ص.
۲. رستم آبادی م. ۱۳۸۶. شبیه‌سازی عددی الگوی جریان حول صفحات مستغرق در قوس ۱۸۰ درجه با آبگیر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۱۵ ص.
۳. رضانی ی. سیدیان، م. ظهیری ج و قمشی م. ۱۳۹۰. مقایسه مدل‌های آشفتگی در آبگیر ۹۰°. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان.
۴. صفرزاده ا. ۱۳۸۵. مطالعه عددی الگوی جریان آشفتنه و بررسی کیفی انتقال رسوب و فرسایش در آبگیری جانبی از رودخانه. مجله فنی و مهندسی مدرس. ۲۵: ۱۷-۱.
۵. صفرزاده ا و صالحی نیشابوری س. ع. ا. ۱۳۸۳. مدل‌سازی عددی الگوی سه‌بعدی جریان در آبگیر جانبی. اولین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
۶. صفرزاده ا. و صالحی نیشابوری س. ع. ا. ۱۳۸۷. بررسی هیدرودینامیکی ساختار سه‌بعدی جریان آشفتنه در آبگیری جانبی از قوس رودخانه بصورت مدل‌سازی دوفازی. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.
7. FLUENT. 2006. FLUENT User's Guide Fluent, New Hampshire. 2070 p.
8. Neary V. S. Sotiropoulos F. and Odgaard J. 1999. Three dimensional numerical model of lateral intake inflow. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 125(2): 126-140.



الف- عمق ۷ سانتی‌متری



ب- عمق ۱۲ سانتی‌متری



ج- عمق ۲۱ سانتی‌متری

شکل ۹- نیمرخ سرعت بی‌بعد شده در دبی نسبی ۰/۵

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش الگوی سه‌بعدی جریان در مجاورت آبگیر جانبی سد انحرافی با استفاده از مدل عددی و مدل آشفتگی k-ε به صورت دوفازی شبیه‌سازی شد. مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی نشان داد که مدل عددی، در تعیین نیمرخ سرعت عرضی جریان، نواحی کم‌سرعت و جریان‌های ثانویه در مقابل دهانه آبگیر و ترازهای سطحی جریان دقت خوبی دارد. این دقت به ویژه در بازه‌های ابتدایی (دو سوم راست) دهانه آبگیر بیشتر است که با نتایج پژوهش‌گران قبلی از جمله نیری و همکاران (۱۹۹۹) و صفرزاده و صالحی نیشابوری (۱۳۸۳) شباهت دارد. این نتیجه بر کاربرد مدل‌های عددی مناسب در مرحله طراحی، برای بهبود طراحی هیدرولیکی و بررسی جنبه‌های اختصاصی هر سازه تأکید می‌کند. مقایسه مقادیر سرعت عرضی جریان در نزدیک ارتفاع آستانه دهانه آبگیر (نزدیک به کف) هماهنگی کمی بین نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی نشان داد که عواملی چون خطاهای آزمایشگاهی و همچنین

9. Ramamurthy A. Qu J. and Vo D. 2007. Numerical and Experimental Study of Dividing Open-Channel Flows. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 133(10): 1135-1144.