

بررسی اثر سازه‌های کنترل رسوب بر انرژی جنبشی آشفتگی در دهانه آبگیر

امیر مرادی نژاد^{۱*}، امیر حمزه حقی آبی^۲، مجتبی صانعی^۳ و حجت اله یونسی^۴

۱- استادیار بخش آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، اراک، ایران،
۲ و ۴- به ترتیب: استادیار گروه سازه‌های آبی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور وابسته به سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، تهران،
ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱۷

چکیده

آشفتگی یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های الگوی جریان در آبیگری از مجاری روباز است. بررسی انرژی جنبشی آشفتگی جریان در پیش‌بینی توپوگرافی بستر به کار می‌رود. تجمع و ورود رسوبات به دهانه آبگیر یکی از مشکلاتی است که در اکثر آبگیرها به وجود می‌آید. در این تحقیق، از دو سازه دیوار جداکننده در جلوی آبگیر و آبشکن در ساحل مقابل آن استفاده شده است. با استفاده از مدل عددی FLOW3D میدان جریان سه بعدی اطراف آبگیر و انرژی جنبشی آشفتگی ترسیم و نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج نشان داد با افزودن سازه آبشکن با زاویه ۶۰ درجه و در فاصله ۲b (b عرض آبگیر) از مرکز دهانه آبگیر در کانال اصلی، سرعت برآیند در کانال اصلی ۱/۵ برابر دو حالت بدون آبشکن و با دیوار جداکننده است و ناحیه داخل آبگیر را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین مرکز تغییر جهت بردارهای سرعت به طرف آبگیر جابه‌جا شده و در نتیجه در محدوده پشت آبشکن، سرعت طولی کاهش و قابلیت رسوب‌گذاری وجود دارد. مقایسه توزیع بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان در دو عمق مختلف بیانگر افزایش ۵۰ درصدی بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی در لایه بالایی نسبت به لایه پایینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

آبگیر، آبشکن، دیوار جداکننده، هیدرولیک جریان، مدل عددی Flow3D

مقدمه

شدید جریان می‌شود. این آشفتگی در بسترهای آبرفتی تأثیر زیادی بر مورفولوژی رودخانه دارد. سرعت بالای جریان در دهانه آبگیر باعث فرسایش شدید بستر رودخانه و در نتیجه ورود رسوب به آبگیر می‌شود. این پدیده‌ها ارتباط مستقیمی با آشفتگی جریان دارند و محل آبیگری از رودخانه‌ها که دارای الگوی جریان آشفته و کاملاً سه بعدی است، بازه‌ی مهمی برای مطالعه انرژی جنبشی آشفتگی می‌باشد.

آبیگری از رودخانه و انشعاب از کانال‌ها یکی از مسائل پرکاربرد در هیدرولیک و مهندسی رودخانه است. جریان در یک انشعاب به طور ذاتی یک جریان سه بعدی و دارای پیچیدگی‌های خاص خود می‌باشد. به دلیل عدم یکنواختی پروفیل سرعت در عمق و اثر اندرکنش بین جریان‌های ثانویه، الگوی جریان حلزونی تشکیل می‌شود که خود عامل ایجاد آشفتگی

(2005) آزمایش‌هایی را روی آبگیر با زاویه‌های ۴۵، ۵۵، ۶۷، ۷۹ و ۹۰ درجه در نسبت دبی‌های مختلف انجام دادند و زاویه بهینه آبگیری را در شرایط کمترین جداشدگی، حدود ۵۵ درجه بدست آوردند. رامامورتی و همکاران (Ramamurthy *et al.*, 2007) در تحقیقات خود نشان دادند که عرض و طول منطقه جداشدگی در کانال فرعی با افزایش دبی آبگیری کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش دبی خروجی زاویه خروجی جریان (زاویه خطوط جریان وارد شده به کانال فرعی نسبت به کانال اصلی) کاهش می‌یابد (در یک عمق ثابت)، همچنین منطقه جداشدگی در نزدیکی کف کانال نسبت به سطح آب کوچکتر می‌باشد. وبر و همکاران (Weber *et al.*, 2001) جریان سه‌بعدی در محل یک اتصال ۹۰ درجه را با اندازه‌گیری بردارهای سرعت در سه جهت در نقاط مختلف توصیف کردند. نتایج حاصل از آزمایش‌های آنها نشان داد که ابعاد ناحیه جداشدگی و همچنین چرخش جریان در سطح آب بزرگتر و بیشتر نسبت به کف است. آسیایی و منتظری (Asian & Montaseri, 1394) در مطالعه خود به شبیه‌سازی عددی شکل‌گیری توپوگرافی بستر در قوس با آبگیر جانبی با مدل عددی SSIIM2 پرداختند. نتایج حاصل از مدل عددی نحوه حرکت رسوبات در قوس، مکانیسم‌های ورود رسوبات به آبگیر، محل تشکیل دیون‌های متناوب در بالادست آبگیر، محل تشکیل پشته‌های رسوبی را به خوبی شبیه‌سازی نموده است. همچنین توپوگرافی بستر در زمان تعادل و ارتفاع تراز بستر در مقاطع عرضی مختلف با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است و خطای محاسبه شده نشان داد که بیشترین اختلاف در جلوی دهانه آبگیر می‌باشد. پوربهن (Purbhman, 2015) جریان رسوب ورودی به سازه

انرژی جنبشی آشفتگی می‌تواند برای تعیین نقاط مستعد آبستگی استفاده شود. هنگامی که آب وارد دهانه آبگیر می‌شود، تفاوت سرعت در بالا و پایین دهانه آبگیر، باعث ایجاد جریان‌های ثانویه و چرخشی می‌گردد. این جریان چرخشی مانع عبور کل جریان از دهانه آبگیر می‌گردد، این مساله باعث کاهش دبی ورودی، ته‌نشینی رسوبات در این ناحیه و در نتیجه بسته شدن آبگیر می‌گردد. وجود پارامترهای زیادی در الگوی رسوب‌گذاری در آبگیری از کانال‌ها باعث پیچیدگی تئوری جریان در محل تقاطع کانال‌ها شده است. بررسی جریان انشعابی، شناخت نحوه رفتار جریان در نواحی جداشدگی به دو جریان، مستلزم بررسی الگو و دینامیک جریان می‌باشد. شناخت الگوی جریان در نواحی انشعاب جریان می‌تواند برای پیش‌بینی فرایندهای رسوبی راه‌گشا باشد. در این مقاله بررسی الگوی جریان انشعابی به صورت مدل عددی Flow3D و آزمایشگاهی مورد توجه بوده است. بر روی جریان انشعاب از کانال‌ها و رودخانه‌ها تحقیق‌های زیادی تاکنون صورت گرفته است. اولین تحقیق موجود در رابطه با الگوی جریان در آبگیرها مربوط به لئوناردو داوینچی می‌باشد. ناحیه جداشدگی درون آبگیر، مجرای جریان و گردابه‌ای در کانال اصلی بعد از آبگیر توسط او شناخته شده است. مطالعات نیری و همکاران (Neary *et al.*, 1999) نشان داد جریان در اطراف آبگیرهای جانبی، کاملاً سه‌بعدی و متأثر از اثرات زبری است. بر اساس مطالعات نیری (Neary, 1995) گرادیان فشارهای طولی در مجاورت سر دهانه آبگیر موجب تشکیل گرادیان سرعت و تغییرات عمق جریان در این محل می‌گردد، لذا باعث شکل‌گیری جریان گردابی و نواحی جریان برگشتی در وجه بالادست آبگیر خواهد شد. کشاورزی و حبیبی (Keshavarzi & Habibi,

حاصل از یک مدل فیزیکی به منظور کالیبراسیون و همچنین ارزیابی درستی مدل Flow3D مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی نشان داد که مدل مذکور با متوسط خطایی حدود ۳/۶ درصد قادر به شبیه‌سازی حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری در محل تقاطع در کانال فرعی و با متوسط خطایی حدود ۲۶ درصد قادر به شبیه‌سازی عمق فرسایش در ساحل راست کانال اصلی در گزینه‌های مختلف دبی جریان می‌باشد. حسینی و عبدی‌پور (Hoseyni, and Abdipour, 2015) با استفاده از نرم‌افزار Flow3D به مدل‌سازی عددی پروفیل سرعت در جریان‌های گل‌آلود پیوسته پرداختند و تأثیر شیب، غلظت و دبی جریان بر آن را مورد مطالعه قرار دادند. مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad et al., 2019) در مطالعه‌ای به بررسی اثر دیوار جداکننده و آبشکن بر الگوی سرعت جریان و رسوب در دهانه آبگیر جانبی پرداختند. نتایج نشان داد وجود آبشکن باعث شده سرعت طولی در لایه نزدیک کف ۲/۲۵ برابر و سرعت عرضی در لایه سطحی ۱/۳۳ برابر نسبت به حالت بدون آبشکن افزایش یابد. مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad et al., 2018) در مطالعه آزمایشگاهی دیگر، تأثیر زاویه دیوار جداکننده روی کنترل رسوب در دهانه آبگیر پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که در حالت وجود دیوار جداکننده و ترکیب آن با آبشکن مقدار رسوب ورودی به آبگیر به طور متوسط در دیوار با زاویه ۱۰ درجه ۸۱ درصد، دیوار با زاویه ۱۴ درجه ۷۸ درصد و دیوار با زاویه ۱۸ درجه ۷۶ درصد کاهش یافته است. ترکیب دیوار جداکننده و آبشکن نسبت به دیوار جداکننده به تنهایی در کاهش رسوبات ورودی به آبگیر به طور متوسط برای هر سه زاویه به میزان ۱۵ درصد تأثیر

آبگیر ایستگاه پمپاژ دره شهر (تلمبه‌خانه‌های چم‌ژاب و آرمو) در قوس خارجی رودخانه سیمره را با مدل عددی Flow3D شبیه‌سازی نمود. در این تحقیق تأثیر نسبت دبی آبگیری بر ابعاد ناحیه جدایی جریان، میزان رسوب و دبی ورودی به آبگیر مورد مطالعه قرار گرفت. مقایسه نتایج با داده‌های میدانی نشان داد که مدل عددی Flow3D قادر به شبیه‌سازی رسوب و دبی ورودی به آبگیر می‌باشد. رحمانی فیروزجانی و همکاران (Fyruzjany Rahmani, 2015) در مطالعات خود به شبیه‌سازی عددی تأثیر زاویه آبگیری بر الگوی جریان در آبگیرهای جانبی با استفاده از نرم‌افزار Flow3D پرداختند. مقایسه نتایج حاصل با نتایج آزمایشگاهی نشان داد که مدل‌های عددی حاضر از دقت قابل قبولی برخوردار بوده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی عددی در مقایسه سه زاویه آبگیر ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نشان داد که آبگیری در زاویه ۶۰ درجه نسبت به کانال اصلی در مقایسه با دو زاویه دیگر بیشترین راندمان آبگیر را دارد. که علت آن کمتر بودن گردابه داخل آبگیر می‌باشد. آقای دانشور و طالب بیدختی (Aghaei Daneshvar & Taleb Beidokhti, 2015) جریان متلاطم و آبستنگی موضعی بستر اطراف یک آبشکن را با حل روابط سه‌بعدی ناپیراستوکس و روابط انتقال رسوب با مدل عددی Flow3D شبیه‌سازی عددی کردند. در این تحقیق شبیه‌سازی عددی دو مدل آشفتگی $k-\epsilon$ و گروه نرمال شده RNG در ایجاد حداکثر عمق آبستنگی با شرایط آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت و مدل آشفتگی RNG مدل دقیق‌تر و مناسب‌تری ارائه داد. سروری و همکاران (Sarvary et al., 2015) به ارزیابی کاربرد مدل عددی Flow3D در پیش‌بینی تغییرات ریخت‌شناسی در محل تلاقی رودخانه‌ها پرداخت. نتایج آزمایشگاهی داده‌های

بیشتری دارد. از آن جایی که بررسی انرژی جنبشی آشفته‌گی جریان در لایه‌های نزدیک به بستر در آبیگرها و کانال‌های روباز به دلیل ایجاد تنش‌های برشی بیشینه بستر و بحث آبشستگی کف، اهمیت زیادی دارد، بنابراین شناخت هیدرولیک جریان و توزیع انرژی جنبشی آشفته‌گی در ابتدای دهانه آبیگر حائز اهمیت است. در این تحقیق جهت کنترل رسوب ورودی به آبیگر برای اولین بار از سازه دیوار جداکننده در جلوی آبیگر همرا با آبشکن استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور بر فلومی به طول ۱۲ متر و عرض ۱/۵ و ارتفاع ۰/۹ متر و دارای سیستم گردش آب و رسوب انجام گرفت. آبیگری توسط کانال جانبی به عرض ۰/۶ متر و طول ۲/۵ و با زاویه ۶۰ درجه نسبت به جهت جریان در کانال اصلی انجام می‌شود. برای اندازه‌گیری جریان در کانال‌های اصلی و آبیگر از سرریزهای لبه تیز مستطیلی و مثلثی، برای اندازه‌گیری سرعت و جهت جریان از سرعت‌سنج الکترومغناطیس دو بعدی ساخت مؤسسه هیدرولیک دلفت هلند، با دقت $\pm 0/01$ متر بر ثانیه، برای اندازه‌گیری پروفیل سطح آب از ارتفاع سنج (Point Gage) و بستر نگار (پروفایلر) با دقت $\pm 0/1$ میلی‌متر استفاده گردید. محدوده اندازه‌گیری سرعت، پروفیل سطح آب و بستر از ۳ متری بالای آبیگر تا ۲ متری پایین آن بود. این محدوده شبکه‌بندی و در نقاط شبکه، سرعت در سه عمق و پروفیل بستر و سطح آب برداشت شد. سازه دیوار جداکننده از دو شاخه تشکیل شده، شاخه ابتدایی که طول آن ۷۵ و ارتفاع آن ۲۵ سانتی‌متر که یک سمت آن با زاویه به ساحل

سمت آبیگر و سمت دیگر آن به شاخه دوم وصل می‌شود. شاخه دوم موازی ساحل با طول ۱۱۲ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر در جهت جریان ادامه دارد شکل ۱ نسبت طول شاخه‌ها بر اساس تحقیقات بارکدول (۱۹۹۹)، $L_2/L_1 = 1/5$ در نظر گرفته شده است. در دیوار مقابل آبیگر، بر اساس تحقیقات آزمایشگاهی که توسط مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad et al., 2018) انجام شد، ترکیب دیوار جداکننده با آبشکن با زاویه ۶۰ درجه با طول ۰/۲۵B و در فاصله ۲b از مرکز آبیگر، نسبت به حالت‌های دیگر، دارای کمترین میزان رسوب و بیشترین مقدار دبی ورودی به آبیگر را دارد. لذا از آبشکن با زاویه ۶۰ درجه با طول ۰/۲۵B و در فاصله ۲b از مرکز آبیگر استفاده شد. رسوبات بکار رفته در این آزمایش‌ها از ماسه به قطر متوسط ۱ میلی‌متر، جرم مخصوص ۲/۶۵، انحراف معیار ۱/۴۷ و ضریب یکنواختی ۲/۲ می‌باشد. تعداد ۴۴ آزمایش انجام گرفت. در آزمایش‌های این تحقیق از روشی موسوم به سیستم چرخشی رسوب استفاده می‌شود. هر دو قسمت کانال اصلی و آبیگر، دارای سیستم چرخشی رسوب می‌باشد.

قسمت خروجی کانال اصلی و کانال آبیگر به صورت مخروطی طراحی و ساخته شده است. جریان آب و رسوب بعد از وارد شدن به این قسمت آرام شده و رسوبات ته‌نشین شده‌اند. قسمتی از جریان و کل رسوب خروجی از آبیگر و کانال اصلی توسط پمپ رسوب‌کش به ابتدای کانال اصلی بر می‌گردد. جریان آب و رسوب ورودی به ابتدای کانال اصلی در خط مرکزی کانال اصلی تزریق می‌شود این سیستم پس از مدتی به تعادل می‌رسد، یعنی میزان رسوب ورودی به کانال با میزان رسوبی که از دو شاخه کانال خارج می‌شود برابر خواهد شد. در جدول ۱

تنظیم شد که خطوط شبکه متعامد باشند. در این تحقیق برای انجام محاسبات، از دو مش به صورت عمود بر هم، یکی برای کانال اصلی به طول ۲/۸ متر و عرض ۱/۶ و ارتفاع ۰/۵ متر و دیگری برای آبگیر به طول ۰/۷ متر و عرض ۱/۰۵ و ارتفاع ۰/۲۵ متر استفاده شد. در مجموع ۱۶۷۷۰۸۳ سلول هر کدام به ابعاد (۰/۰۱) بر حسب متر برای شبکه‌بندی مدل در نظر گرفته شد. پس از تولید شبکه محاسباتی، شرط مرزی و شرایط اولیه، شبیه‌سازی جریان آب و رسوب انجام شد. به همین منظور در ورودی کانال اصلی از شرط مرزی دبی جریان و ارتفاع ورودی جریان که از داده‌های آزمایشگاهی بدست آمد، استفاده شد. در پایین دست کانال اصلی، از شرط مرزی outflow سطح آب استفاده شد.

هندسه و مش‌بندی مدل

جهت مقایسه تاثیر سازه‌های دیوار جداکننده و آبشکن بر هیدرولیک جریان و مقایسه با حالت بدون سازه هر کدام از حالت‌ها به طور جداگانه به کمک مدل عددی مطالعه شد. در مدل‌سازی عددی از مدل RNG استفاده شد. چون مدل RNG در جریان‌های چرخشی و در مدل‌سازی میدان‌های دارای انحنای پیچیدگی هندسی کاربرد بیشتری دارد. مدل کانال اصلی و سازه‌ها در نرم افزار اتوکد ساخته شد و با فرمت Stl ذخیره و در محیط Flow3D فراخوانی شد. در شبیه‌سازی عددی برای کاهش زمان محاسبات معمولاً بخشی از کانال آزمایش در نظر گرفته می‌شود شکل ۲. در این نرم‌افزار این امکان وجود دارد که با توجه به اهمیت برخی مقاطع، تعداد و اندازه شبکه‌هایی که برای تولید میدان حل مورد نیاز باشد ریزتر (پر اهمیت) و یا درشت تر (کم اهمیت) در نظر گرفته شود. زمان اجرای محاسبات و میزان مطابقت نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{v_f} \left(uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{v_f} \left(uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + G_y + f_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{v_f} \left(uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z \end{aligned} \quad (2)$$

که در آنها،

P = فشار سیال؛ G_x, G_y, G_z = مربوط به شتاب ایجاد شده از بدنه سیال؛ f_x, f_y, f_z = شتاب لزجت در سه بعد و (V_f) = جزء حجمی سیال که به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود. برای مدل‌سازی سطح آزاد سیال از تکنیک (VOF) استفاده شد. از آنجایی که کسر حجمی F بیان کننده مقدار سیال در هر سلول می‌باشد، مقداری بین صفر و یک را اختیار می‌کند (Flow Science Inc) و (Moradinejad et al., 2018).

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{v_f} \left[\frac{\partial}{\partial x} (FA_x u) + \frac{\partial}{\partial y} (FA_y v) + \frac{\partial}{\partial z} (FA_z w) \right] = 0 \quad (3)$$

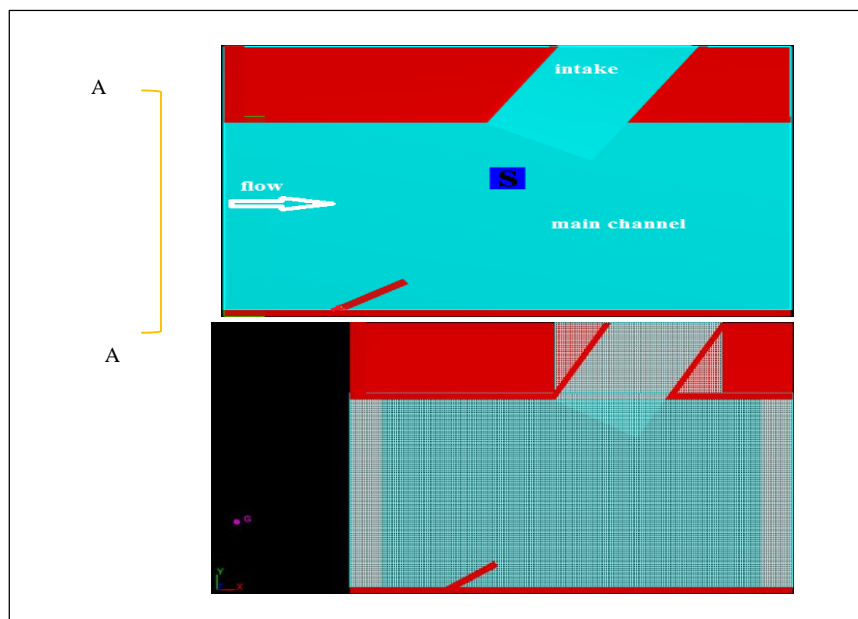
شبیه سازی عددی جریان و رسوب در Flow3D

مدل عددی Flow3D یک شبکه ساختاری سه بعدی، متشکل از سلول‌های مکعب مستطیلی برای میدان مورد نظر ایجاد می‌کند. به همین منظور و با استفاده از نرم‌افزار اتوکد ابتدا یک مدل سه‌بعدی منطبق بر مشخصات مدل آزمایشگاهی تولید شد و سپس نتایج حاصل به نرم افزار Flow3D برای تولید شبکه با به کارگیری دو ابزار مناسب FAVOR و VOF تعیین مرزها و شبکه محاسباتی معرفی شد. پس از ورود داده‌های هندسی به محیط نرم‌افزار و تعیین مرزهای کانال اصلی و فرعی، محدوده مورد نظر با استفاده از روش‌های FAVOR و VOF شبکه‌بندی شد. ابعاد بهینه شبکه بر مبنای دقت لازم و زمان اختصاص یافته برای انجام محاسبات، انتخاب شده و شبکه میدان به گونه‌ای

مدل‌سازی عددی، دو فاکتور مهم در انتخاب شبکه‌بندی بهینه خواهد بود. شبکه‌بندی میدان جریان در هر کدام از حالات با شرایط مدل برای فاصله گره‌ها انجام شد. شبکه‌بندی مدل برای حالتی که در مدل سازه‌ای وجود ندارد در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۳ شرایط مرزی مدل را نشان می‌دهد. شرط مرزی ورودی جریان در کانال اصلی دبی (volume flow rate) با ارتفاع ورودی (fluid elevation) می‌باشد که این ارتفاع از آزمایش‌ها به دست آمد. در شرط مرزی ورودی جریان، غلظت رسوب ورودی به داخل کانال نیز وارد می‌شود. شرط مرزی خروجی در کانال اصلی از نوع جریان خروجی

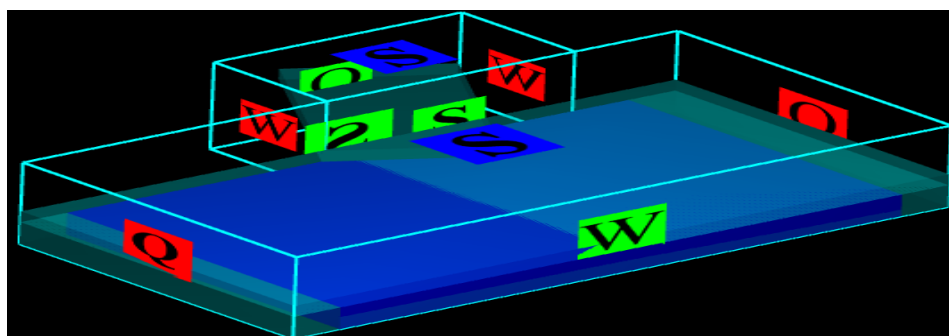
(outflow) انتخاب گردید. دیواره سمت راست کانال اصلی (مقابل آبگیر) و کف کانال اصلی، از نوع دیوار (wall) و دیواره سمت چپ در واقع سمت آبگیر و سطح جریان از نوع متقارن (symmetry) انتخاب گردید. شرایط مرزی برای مش مربوط به آبگیر هم به این صورت بود که ورودی و سطح آب از نوع متقارن (symmetry) بود. دیواره‌های دو طرف و کف آن از نوع دیوار (wall) و خروجی جریان از نوع جریان خروجی (outflow) انتخاب گردید.

شکل‌های ۲ و ۳ هندسه مدل آزمایشگاهی همراه بستر رسوبی و شرایط مرزی و شبکه‌بندی مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۲- هندسه مدل آزمایشگاهی به همراه بستر رسوب و شرایط اولیه جریان نحوه شبکه بندی مدل

Figure 2 - Geometry of the laboratory model with the sediment bed and the initial flow conditions of the model network



شکل ۳- شرایط مرزی در مدل کانال اصلی و آبگیر

Figure 3 - Boundary conditions in the main canal and catchment model

کالیبره کردن مدل

به دلیل جریان کاملاً سه‌بعدی و پیچیده در آبگیرها ابتدا باید مدل برای شرایطی مطابق با شرایط آزمایشگاهی واسنجی شود. در نرم افزار Flow3D قبل از شبیه‌سازی، لازم بود در خصوص مقدار ضریب مانینگ و ارتفاع زبری ناشی از آن صحت‌سنجی شود. بنابراین در این تحقیق، واسنجی مدل عددی Flow3D با تخمین صحیح از پارامتر ضریب مانینگ و به دنبال آن محاسبه و برآورد ارتفاع ناشی از ضریب زبری، با مقایسه عددی و آزمایشگاهی سرعت‌ها در دو بعد انجام شد. برای این منظور، ابتدا بر اساس منحنی دانه‌بندی مورد استفاده مدل آزمایشگاهی، قطر متوسط ذرات (D_{50}) استخراج شده و سپس با استفاده از یکی از روابط موجود، مقدار ضریب مانینگ برابر $0/014$ برآورد گردید. در نهایت ارتفاع معادل زبری با استفاده از رابطه (Strickler & Chanson, 2004) برابر با $0/025$ برآورد و به مدل معرفی شد. نتایج حاصله از شبیه‌سازی عددی در حالت وجود آبشکن و دیوار جداکننده، با نتایج آزمایشگاهی به دست آمده جلوی آبگیر در مقطع A- شکل ۲ کانال اصلی مقایسه گردید. در این تحقیق با توجه به اهداف مطالعه از ابعاد مجرای جریان و

تغییرات تعداد شبکه و مش برای واسنجی استفاده شد. برای واسنجی تعداد شبکه‌ها در سه حالت ۱، ۵ و ۲ در نظر گرفته شد و نتایج با آزمایشگاه مقایسه شد. سپس با توجه به محاسبه ضریب همبستگی و جذر میانگین مجموعه مربعات خطا طبق جدول ۲ و شکل‌های ۴ و ۵ در حالتی که از دو شبکه استفاده شد، بالاترین ضریب همبستگی حدود $0/91$ برای بدون سازه و $0/94$ برای با سازه و کمترین خطا به ترتیب $0/017$ و $0/018$ نسبت به حالت‌های دیگر (حالت ۵ و ۱ شبکه) وجود داشت. در مرحله واسنجی میزان اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی و عددی مقایسه گردید. به منظور ارزیابی نتایج مدل با نتایج آزمایشگاهی از ضریب همبستگی و تابع $RMSE^1$ جذر میانگین مجموعه مربعات خطا استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_o - V_c)^2}{n}} \quad (4)$$

که در آن،

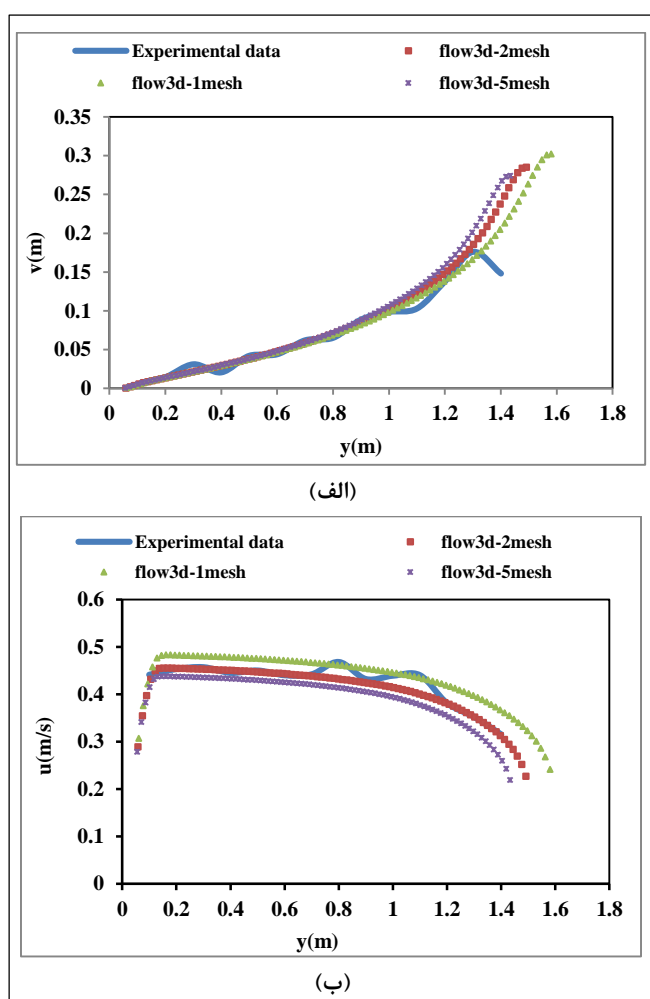
n = تعداد کل داده‌ها؛ V_o = سرعت اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه؛ V_c = سرعت بدست آمده از مدل ریاضی (Flow3D).

1- Root Mean Square Error

جدول ۲- مقدار ضریب همبستگی و خطا در مرحله کالیبره کردن (واسنجی) مدل

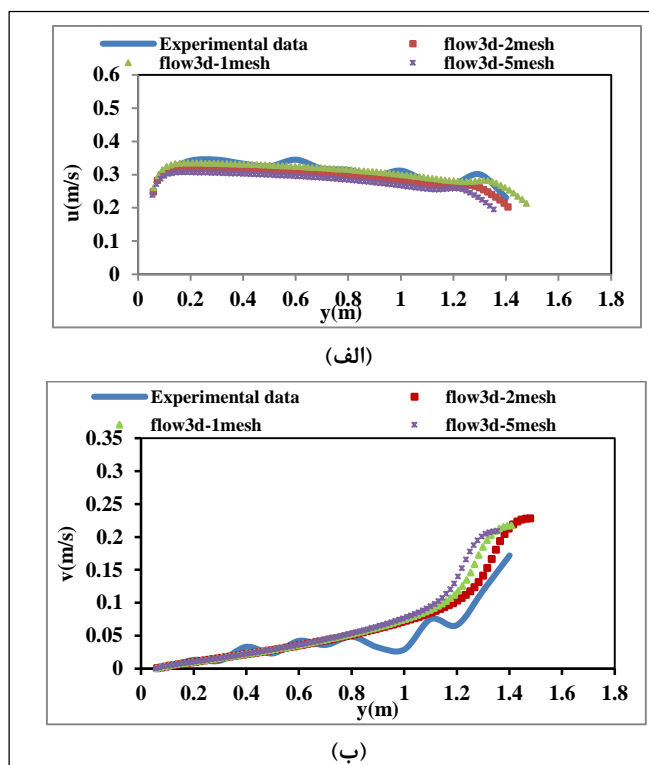
Table 2 - Value of correlation coefficient and error in the calibration stage of the model

حالت	بدون سازه						با سازه						
	سرعت طولی			سرعت عرضی			سرعت طولی			سرعت عرضی			
	تعداد شبکه			تعداد شبکه			تعداد شبکه			تعداد شبکه			
ضرایب	۱	۲	۵	۱	۲	۵	۱	۲	۵	۱	۲	۵	
R^2	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۸۶	۰/۹۰	۰/۹۴	۰/۸۹۰	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۸۸	
RMSE	۰/۰۲۰	۰/۰۱۸	۰/۰۲۱	۰/۰۱۸	۰/۰۱۶	۰/۰۲۰	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۰۱۸	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	



شکل ۴- کالیبره کردن مدل توسط تعداد مش، با سازه، الف:سرعت طولی، ب: سرعت عرضی

Figure 4 - Calibration of the model by changes in the number of meshes, with structure, a: longitudinal velocity, b: transverse velocity



شکل ۵- کالیبره کردن مدل توسط تغییرات تعداد مش، بدون سازه، الف:سرعت طولی، ب: سرعت عرضی

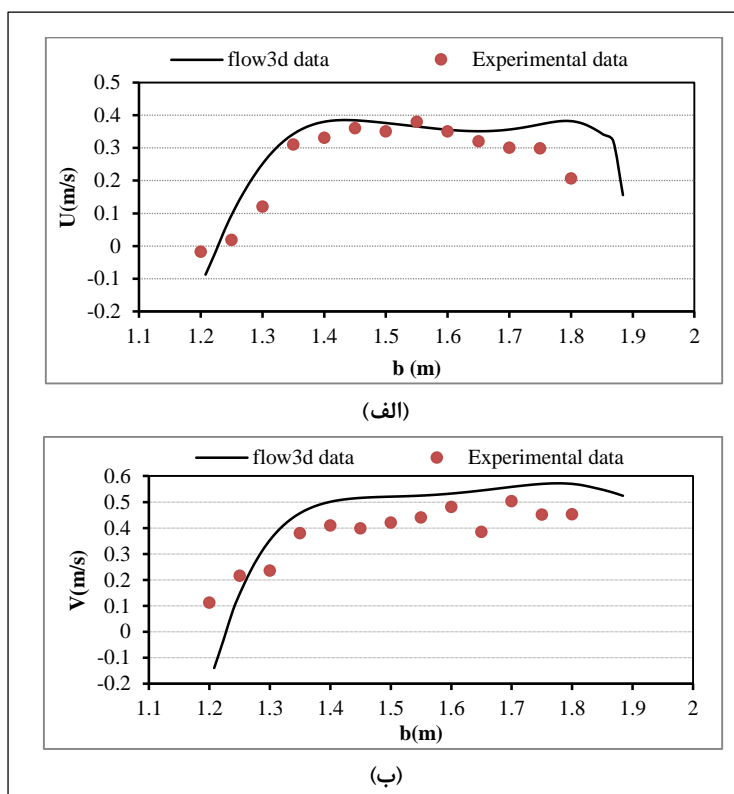
Figure 5 - Calibration of the model by changes in the number of meshes, without structure, a: longitudinal velocity, b: transverse velocity

نتایج و بحث

و آزمایشگاهی همپوشانی مناسبی دارد. در مرحله صحت‌سنجی میزان اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی و عددی مقایسه گردید. به منظور ارزیابی نتایج مدل با نتایج آزمایشگاهی از ضریب همبستگی و تابع RMSE جذر میانگین مجموعه مربعات خطا استفاده گردید.

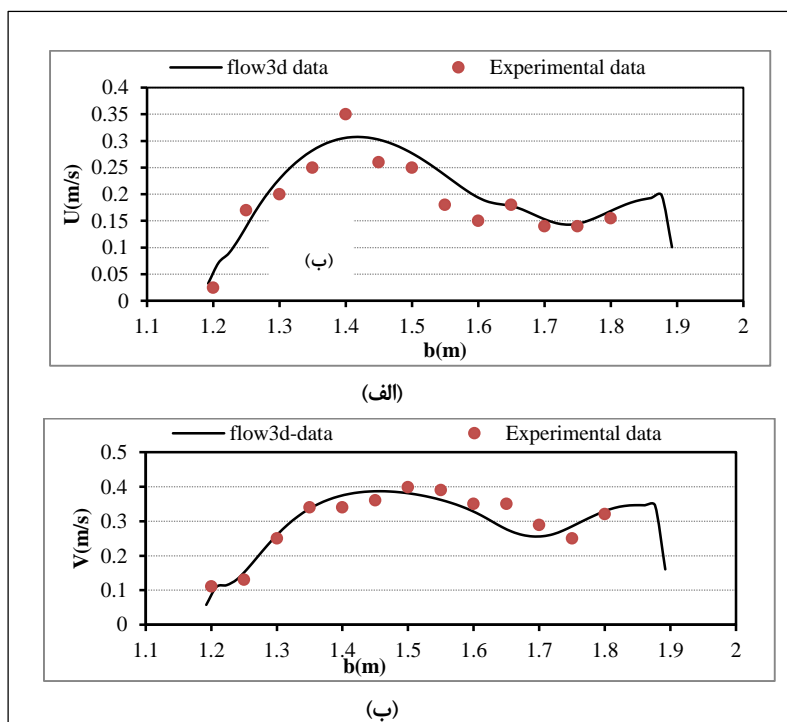
مطابق شکل‌های ۶ تا ۸ و جدول ۳ نتایج نشان می‌دهد که مدل عددی در حالت بدون سازه با خطای متوسط ۰/۰۹۵، در حالت سازه دیوار جداکننده با خطایی در حدود ۰/۰۳۲۵ و در حالت وجود دو سازه دیوار جداکننده و آبشکن با خطایی در حدود ۰/۰۶۱ قادر به پیش بینی نتایج می‌باشد.

داده‌های خروجی از مدل Flow3D و آزمایشگاهی به منظور اطمینان از نتایج با هم مقایسه شدند. از ابعاد مجرای جریان و تغییرات پارامترهای رسوب برای واسنجی استفاده شد. بدین ترتیب که با تغییر دادن پارامترهای رسوب و ابعاد مش در مدل ریاضی، سرعت‌ها در دو بعد طولی و عرضی در ۲۰ سانتی‌متری داخل آبگیر با هم مقایسه شدند. اطلاعات سرعت در دو بعد در ۱۳ نقطه برداشت شده بود. سپس مطابق با شکل‌های ۶ تا ۸ با نتایج مدل عددی مقایسه شد. وجود تطابق قابل قبول بین آنها نشان داد که پروفیل‌های سرعت در داخل آبگیر، در دو جهت (u) و (v) بین مدل ریاضی



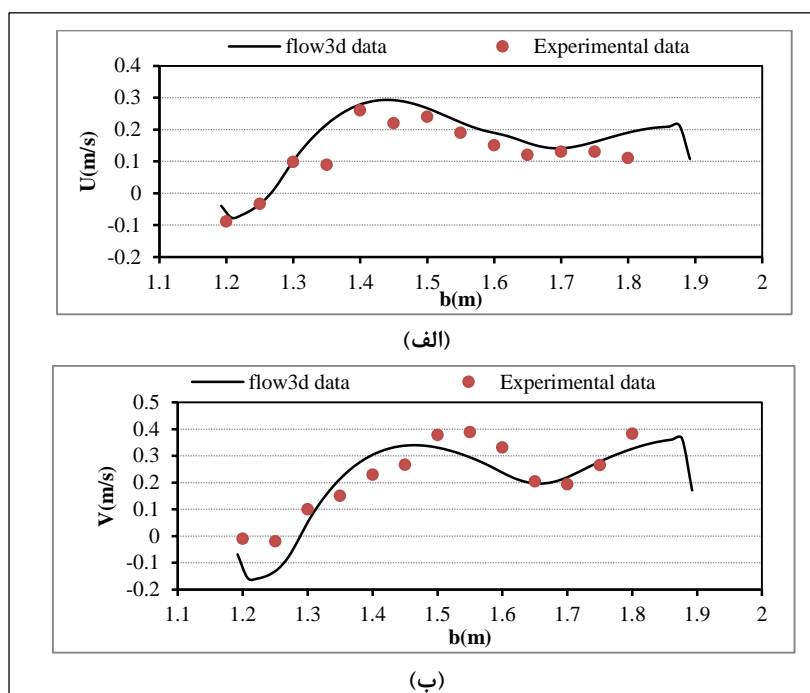
شکل ۶- صحت‌سنجی مقادیر سرعت در داخل آبگیر فاصله ۲۰ سانتیمتری از دهانه در حالت بدون سازه، الف: سرعت طولی، ب: سرعت عرضی

Figure 6 - Validation of velocity values inside the catchment at a distance of 20 cm from the mouth in the unstructured state, a: longitudinal velocity, b: transverse velocity



شکل ۷- صحت‌سنجی مقادیر سرعت در داخل آبگیر فاصله ۲۰ سانتیمتری از دهانه با وجود دیوار جداکننده. الف: سرعت طولی، ب: سرعت عرضی

Figure 7- Validation of velocity values inside the reservoir at a distance of 20 cm from the opening despite the separation wall. A: longitudinal velocity, B: transverse velocity



شکل ۸- صحت‌سنجی مقادیر سرعت در داخل آبگیر فاصله ۲۰ سانتیمتری از دهانه با وجود دیوار جداکننده و آبشکن. الف: سرعت طولی، ب: سرعت عرضی

Figure 8- Validation of velocity values inside the reservoir at a distance of 20 cm from the mouth with a separating wall and a breakwater. A: longitudinal velocity, B: transverse velocity

جدول ۳- مقدار ضریب تبیین و خطا در مرحله صحت‌سنجی

Table 3 - The amount of correlation coefficient and error in the validation stage

با دیوار جداکننده و آبشکن		با دیوار جداکننده		بدون سازه		حالت
RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	ضرایب
۰/۰۴۹	۰/۹	۰/۰۳۳	۰/۸۶	۰/۰۷۷	۰/۷۹	سرعت طولی (u)
۰/۰۷۴	۰/۸۱	۰/۰۳۲	۰/۸۷	۰/۱۱	۰/۸۶	سرعت عرضی (v)

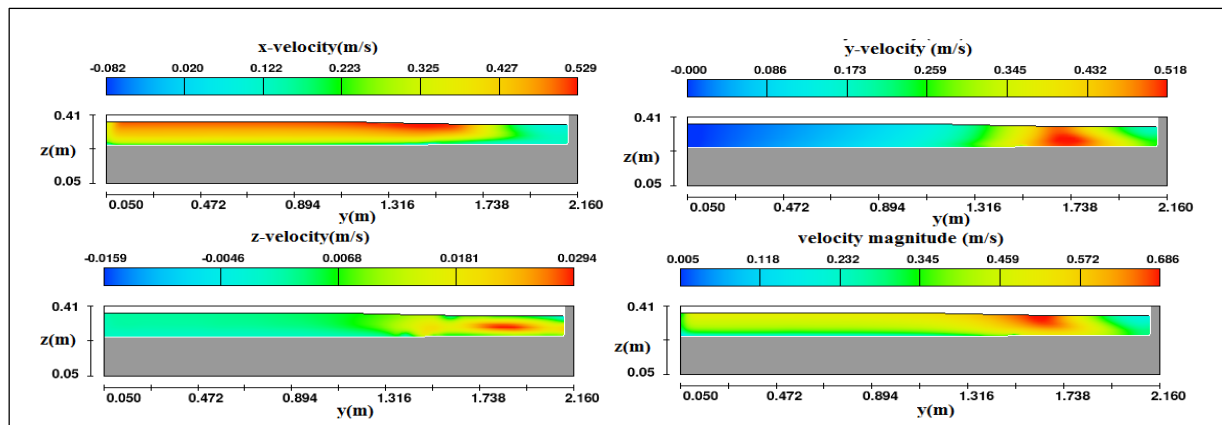
سطح و یا نزدیک بستر مشهود است. با افزودن سازه آبشکن در کانال اصلی، سرعت برآیند در کانال اصلی ۱/۵ برابر دو حالت دیگر است و ناحیه متأثر از افزایش سرعت برآیند علاوه بر ناحیه داخل آبگیر، گسترش یافته و بر اندازه بردارهای سرعت کانال اصلی نیز افزوده می‌شود. همچنین مرکز تغییر جهت بردارهای سرعت به طرف آبگیر جابه‌جا شده و در نتیجه در محدوده پشت آبشکن سرعت طولی کاهش و رسوب‌گذاری وجود دارد. شکل ۹ در مقطع عرضی کانال و آبگیر و در طول (x=۱/۴۳) در حالت بدون

بررسی سرعت و انرژی جنبشی آشفتگی

جریان‌های ثانویه در ابتدای دهانه آبگیر، عامل اصلی انتقال رسوب از بستر کانال اصلی به طرف ناحیه جدایی جریان بوده و بحث در مورد انتقال رسوب در چنین میدانی، نیازمند شناخت دقیق الگوی جریان ثانویه است. شکل‌های ۹ تا ۱۱ توزیع سرعت برآیند و سرعت در سه بعد در مقطع عرضی کانال اصلی و خط مرکزی دهانه ورودی آبگیر و داخل آبگیر را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها، وجود نواحی با سرعت بالا در این مقطع عرضی، در

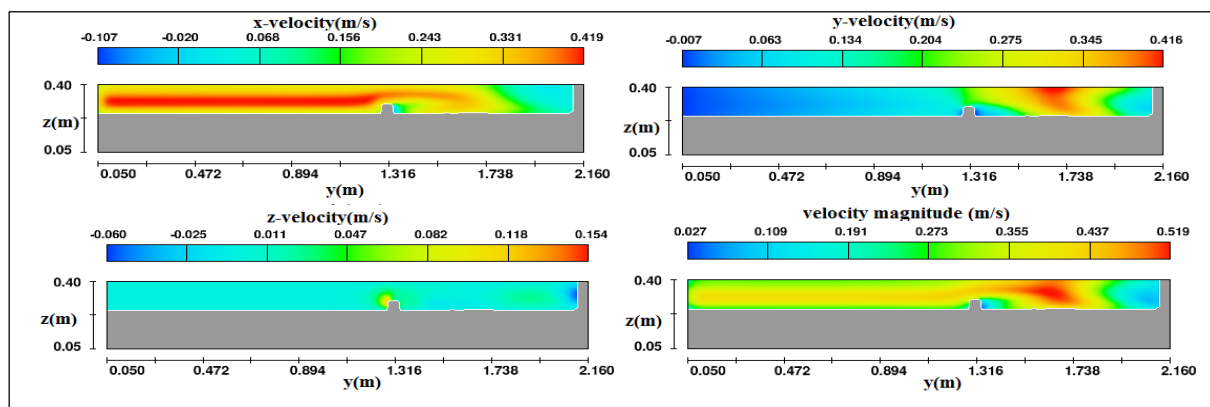
مقدار سرعت عمقی در داخل کانال اصلی در روی سازه ۱۰ برابر سرعت در نقاط دیگر عرض کانال شده است. بیشترین مقدار سرعت برآیند در جلو و داخل دهانه آبگیر حدود ۱/۵ برابر سرعت در کانال اصلی اتفاق افتاده است. شکل ۱۱ در مقطع عرضی کانال و آبگیر و در طول ($x=1/43$) در حالت با سازه دیوار جداکننده و آبشکن، سرعت طولی در نوک آبشکن در داخل کانال اصلی به مقدار ماکزیمم حدود ۱/۸ برابر سرعت در روی سازه رسیده است. سرعت عرضی در داخل دهانه کانال آبگیر به مقدار ماکزیمم حدود ۱/۸ برابر سرعت در داخل کانال اصلی رسیده است و در سمت دیواره مقابل آبگیر حتی سرعت منفی شده است. بیشترین مقدار سرعت عمقی در داخل کانال اصلی در روی سازه حدود ۲/۷ برابر سرعت در مرکز کانال اصلی، بیشترین مقدار سرعت برآیند در نوک آبشکن و جلوی دهانه آبگیر اتفاق افتاده است.

سازه، سرعت طولی در کل مقطع عرضی داخل کانال اصلی و آبگیر به مقدار ماکزیمم ۰/۵۲۹ متر بر ثانیه رسیده است. سرعت عرضی در داخل کانال آبگیر به مقدار ماکزیمم یعنی ۳ برابر سرعت در داخل کانال اصلی جلوی آبگیر رسیده است و در سمت دیواره مقابل آبگیر سرعت منفی شده است. بیشترین مقدار سرعت عمقی در داخل کانال آبگیر حدود ۳/۵ برابر سرعت در داخل کانال اصلی و بیشترین مقدار سرعت برآیند در داخل آبگیر حدود ۲ برابر سرعت در جلوی دهانه آبگیر اتفاق افتاده است. شکل ۱۰ در مقطع عرضی کانال و آبگیر و در طول ($x=1/43$) در حالت با سازه دیوار جداکننده، سرعت طولی در کل مقطع عرضی داخل کانال اصلی و آبگیر به مقدار ماکزیمم رسیده است. سرعت عرضی در داخل کانال آبگیر به مقدار ماکزیمم یعنی ۳ برابر سرعت در داخل کانال اصلی رسیده است و در سمت دیواره مقابل آبگیر حتی سرعت منفی شده است. بیشترین

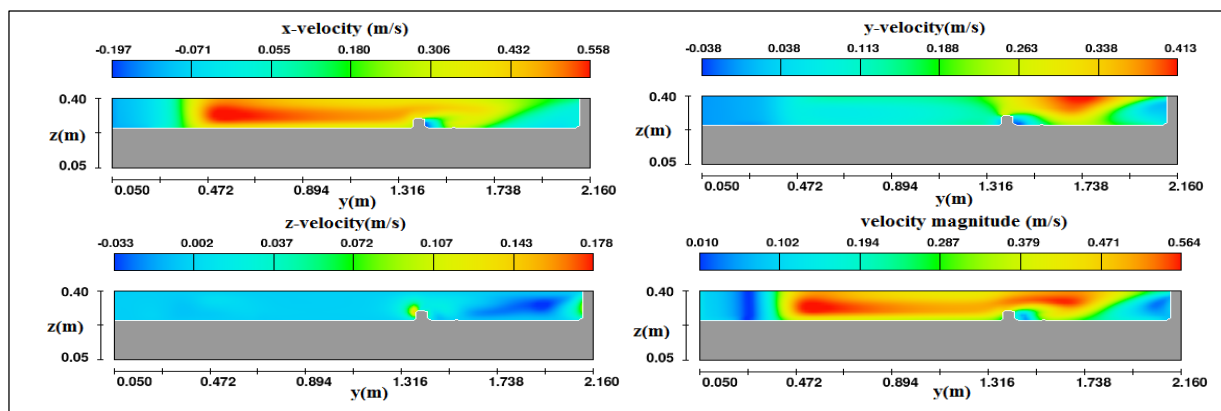


شکل ۹- توزیع سرعت در سه بعد در صفحه ($Y-Z$) کانال اصلی در مرکز آبگیر ($X=1/42$) در حالت بدون سازه

Figure 9 - Speed distribution in three dimensions on the plane ($Y-Z$) of the main channel in the center of the catchment ($X = 1.42$) in the unstructured state



شکل ۱۰- توزیع سرعت در سه بعد در صفحه (Y-Z) کانال اصلی در مرکز آبیگر ($X=1/42$) در حالت با دیوار جداکننده
 Figure 10 - Velocity vectors in three dimensions on the plane (Y-Z) of the main channel in the center of the catchment ($X = 1.42$) in the case with a separating wall



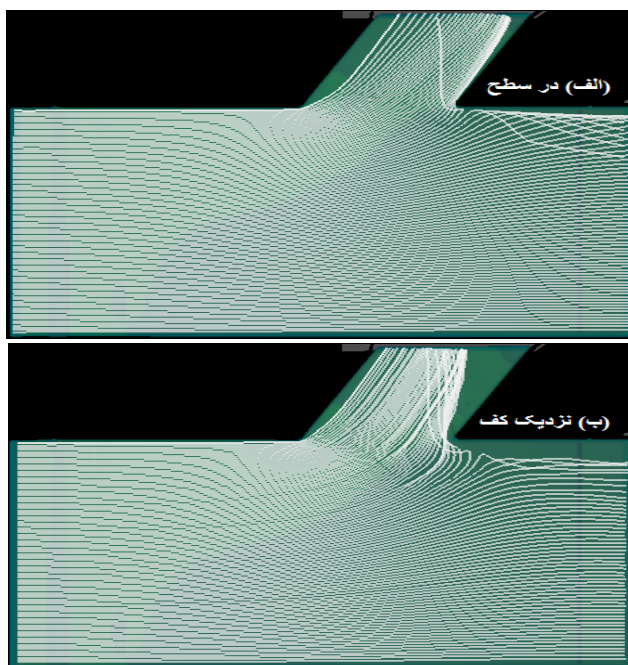
شکل ۱۱- توزیع سرعت در سه بعد در صفحه (Y-Z) کانال اصلی در مرکز آبیگر ($X=1/42$) در حالت با دیوار جداکننده و آبشکن
 Figure 11 - Velocity vectors in three dimensions on the plane (Y-Z) of the main channel in the center of the catchment ($X = 1.42$) in the case with a separating wall and breaker

در سطح ، ب: نزدیک بستر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها بیشترین انرژی جنبشی آشفتگی در سطح در داخل کانال آبیگر در سمت دیواره چپ، در نزدیک بستر، در داخل آبیگر و کانال اصلی در نقطه سکون اتفاق می‌افتد. مقدار ماکزیمم انرژی جنبشی در سطح ۲/۲ برابر مقدار ماکزیمم در نزدیک بستر می‌باشد. شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب کنتورهای توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه (X-Z) و (Y-Z) را نشان می‌دهد. شکل ۱۵ در صفحه (Y-Z) در سه موقعیت طولی بالادست آبیگر ($X=1$)، خط مرکزی آبیگر ($X=1/43$) و پایین دست آبیگر

شکل ۱۲ خطوط جریان در کانال و آبیگر در حالت بدون سازه در نزدیک کف و سطح را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار جریان از سمت دیواره راست آبیگر عبور می‌کند در این ناحیه چرخش شدید وجود دارد. در داخل آبیگر خطوط جریان سطحی به سمت دیواره سمت راست و خطوط جریان لایه‌های زیری به سمت دیواره سمت چپ آبیگر تمایل دارند. شکل-های ۱۳ تا ۱۵ توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در مقاطع و پروفیل‌های مختلف در حالت بدون سازه را نشان می‌دهد. شکل ۱۳ توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه (X-Y) در دو مقطع عمقی. الف:

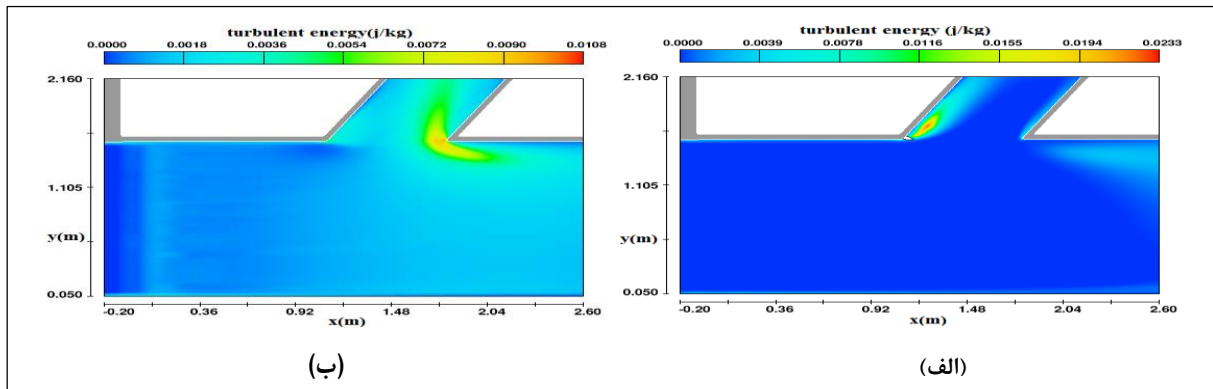
مقایسه توزیع بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان در دو عمق مختلف بیانگر افزایش ۵۰ درصدی بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی در لایه بالایی نسبت به لایه پایینی می‌باشد. ضمن اینکه با افزایش عمق جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های ثانویه، محدوده بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی از نقطه سکون و دیواره سمت راست آبگیر فاصله گرفته و در لایه‌های بالایی به سمت دیواره چپ آبگیر منتقل شده است. در حالت بدون سازه، بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان در راستای عرض کانال اصلی، در سه نقطه از طول کانال اصلی به ترتیب در بالادست آبگیر در نزدیک دیواره سمت آبگیر، خط مرکزی آبگیر و طول آبگیر در داخل آبگیر و در لایه بالایی جریان، در پایین آبگیر نیز در نزدیک دیواره سمت آبگیر و در وسط عمق به وقوع پیوسته است.

($x=2/22$) را نشان می‌دهد. بیشترین انرژی جنبشی آشفتگی در موقعیت طولی بالادست آبگیر ($x=1$)، در سمت آبگیر در نزدیک کف کانال اصلی، در موقعیت خط مرکزی آبگیر ($x=1/43$) در داخل آبگیر و مقدار آن تقریباً ۲ برابر بالادست آبگیر، در پایین دست آبگیر ($x=2/22$)، در سمت آبگیر و در نقطه میانی عمق، اتفاق افتاده است. بررسی توزیع انرژی جنبشی آشفتگی جریان در حالت بدون سازه، در لایه بالایی عمق جریان، نشان دهنده الگوی متفاوتی از توزیع آشفتگی در نزدیکی دیواره سمت چپ کانال آبگیر می‌باشد. همانطور که در شکل مشخص است، محدوده بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان از سمت چپ آبگیر در لایه بالایی به سمت راست، دهانه آبگیر و داخل کانال اصلی در لایه نزدیک کف منتقل شده است. در این نقطه انباشت رسوب وجود دارد و نقطه سکون نامیده می‌شود. به طور کلی



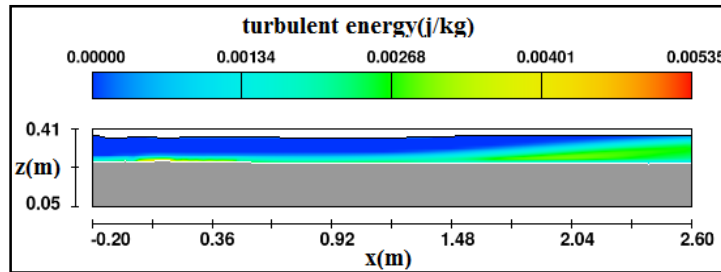
شکل ۱۲- خطوط جریان در کانال و آبگیر در حالت بدون سازه، در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر

Figure 12- Flow lines in the canal and catchment in the state without structure, in two deep sections. A: on the surface, B: near the bed



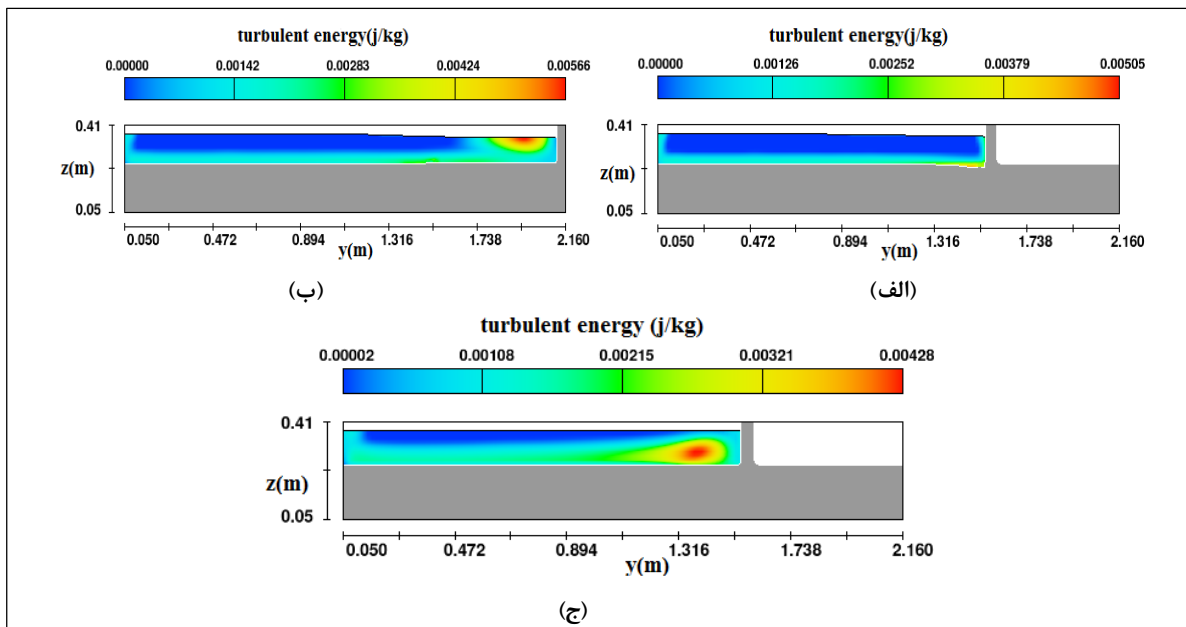
شکل ۱۳- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در دو مقطع عمقی بدون سازه. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر

Figure 13 - Distribution kinetic energy distribution of turbulence in two deep sections without structure. A: on the surface, B: near the bed



شکل ۱۴- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در مقطع طولی کانال در صفحه (X-Z) بدون سازه

Figure 14 - Distribution kinetic energy distribution in the longitudinal section of the channel in the plane (X-Z) without structure



شکل ۱۵- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در مقطع عرضی کانال در سه مقطع طولی در صفحه (Y-Z) بدون سازه

الف: $x=1$ ، ب: $x=1/428$ ، ج: $x=2/218$

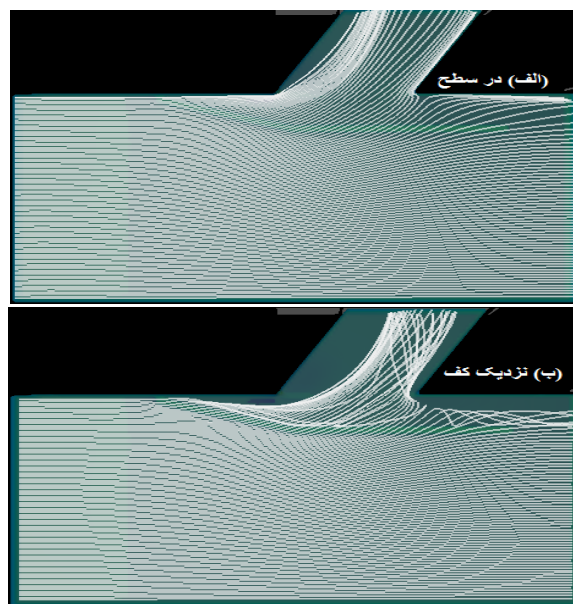
Figure 15 - Distribution kinetic energy distribution in the cross section of the channel in three longitudinal sections in the plane (Y-Z) without structure A: $X=1$, B: $X=1.42$, C: $X=2.218$

می‌دهد. بیشترین مقدار انرژی جنبشی آشفتگی در موقعیت طولی بالادست آبگیر ($x=1$)، در سمت آبگیر بین سازه و دیواره کانال در کف اتفاق افتاده است. در موقعیت خط مرکزی آبگیر ($x=1/43$) در داخل آبگیر در نزدیک سطح آب اتفاق افتاده است و مقدار آن ۲ برابر بالادست آبگیر می‌باشد.

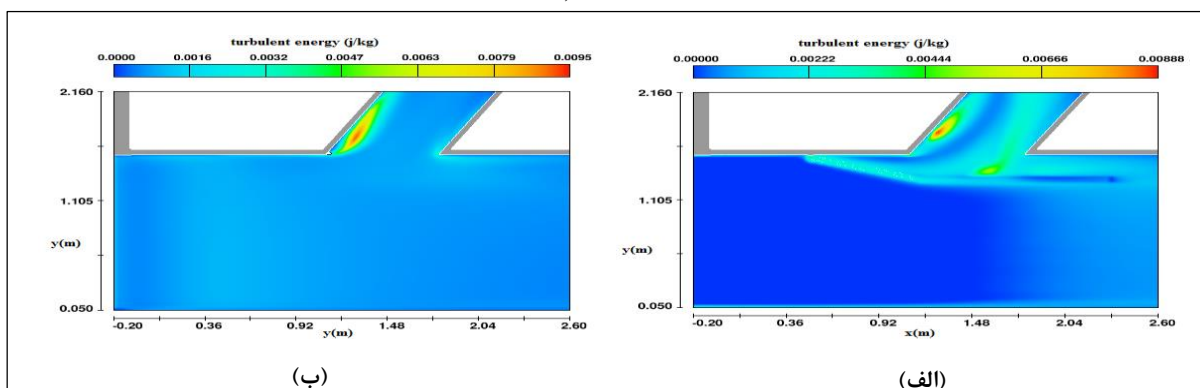
در پایین دست آبگیر ($x=2/22$)، بیشترین مقدار انرژی جنبشی در سمت آبگیر و در فاصله بین سازه و دیواره سمت آبگیر در کانال اصلی اتفاق افتاده است و مقدار آن یک سوم مقدار در خط مرکزی آبگیر می‌باشد. توزیع انرژی جنبشی آشفتگی جریان در حالت وجود دیوار جداکننده جلوی آبگیر، در لایه پایین عمق جریان، در کنار دیواره چپ آبگیر، اطراف دیوار جداکننده، جلوی دهانه آبگیر و نیمه راست آبگیر با شدت کمتر (نصف لایه بالا) به وقوع پیوسته است. با حرکت به بالای عمق و سطح جریان در کنار دیواره چپ آبگیر با شدت بیشتری به وقوع پیوسته است.

در این حالت بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان در راستای عرض کانال اصلی، در سه نقطه از طول کانال اصلی به ترتیب در بالادست آبگیر در نزدیک دیواره سمت آبگیر، خط مرکزی آبگیر و طول آبگیر در داخل انتهای آبگیر و در لایه بالایی جریان، در پایین آبگیر نیز در فاصله بین دیواره سمت آبگیر و سازه دیوار جداکننده در وسط عمق به وقوع پیوسته است.

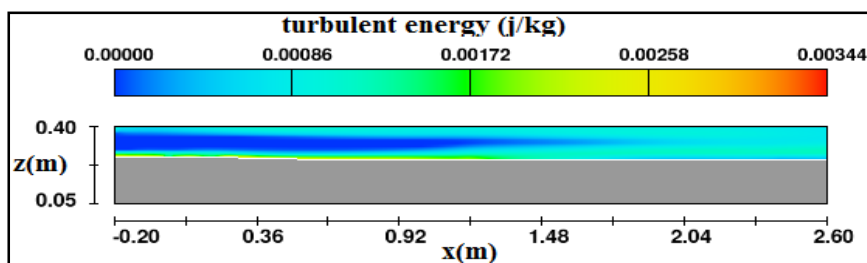
شکل ۱۶ خطوط جریان در کانال و آبگیر در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر را نشان می‌دهد. با نصب دیوار جداکننده در جلوی آبگیر پروفیل بستر جلوی آبگیر و الگوی جریان تغییر کرده و ناحیه گردابی داخل آبگیر جابجا می‌شود. دیوار جداکننده مانع از ورود بار بستر در دهانه آبگیر می‌شود. مقدار سرعت جریان در نزدیک لایه پایین در آبگیر افزایش می‌یابد. ابعاد ناحیه سکون جلوی آبگیر که در ورودی آن در سمت دیواره چپ تشکیل می‌شود در مقایسه با حالت بدون سازه کاهش یافته است. با توجه به اینکه جریان لایه‌های زیرین دارای رسوبات بیشتری در مقایسه با لایه‌های بالایی می‌باشد، اندازه زاویه بردار سرعت به سمت آبگیر در لایه‌های زیری کاهش یافته است. این امر به خاطر جریان چرخشی ناشی از وجود دیوار جداکننده می‌باشد. شکل ۱۷ توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه ($x-y$) در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها بیشترین انرژی جنبشی آشفتگی در سطح و در نزدیک بستر در داخل کانال آبگیر در سمت دیواره چپ، در نزدیک بستر، اتفاق می‌افتد. شکل‌های ۱۸ و ۱۹ به ترتیب کنترهای توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه ($x-z$) و ($y-z$) را نشان می‌دهد. شکل ۱۹ در صفحه ($y-z$) در سه موقعیت طولی بالادست آبگیر ($x=1$)، خط مرکزی آبگیر ($x=1/43$) و پایین دست آبگیر ($x=2/22$) را نشان



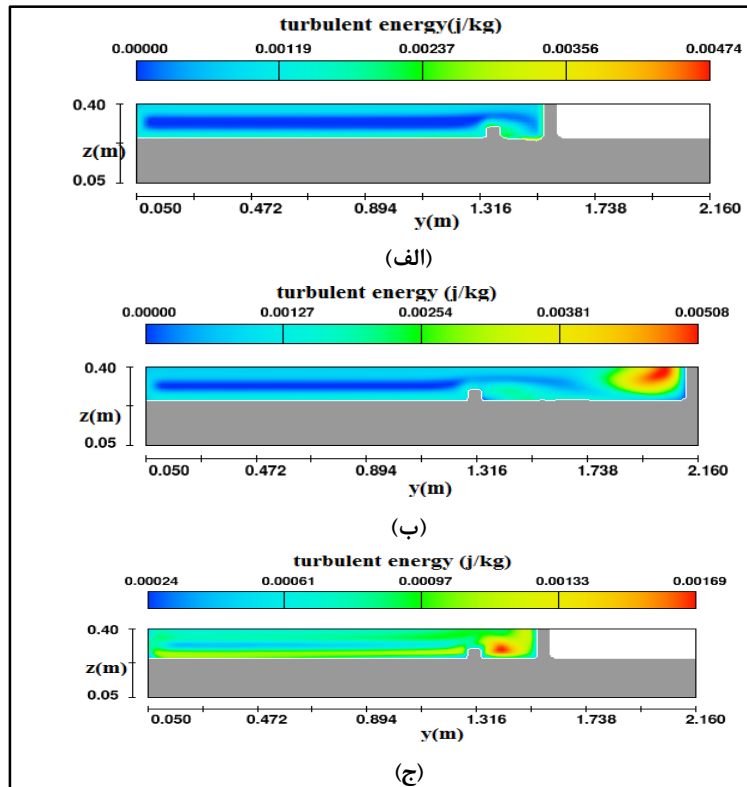
شکل ۱۶- خطوط جریان در کانال و آبگیر در حالت وجود دیوار جداکننده، در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر
 Figure 16- Flow lines in the canal and catchment in the presence of a separating wall, in two deep sections. A: on the surface, B: near the bed



شکل ۱۷- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه (X-Y) در دو مقطع عمقی در حالت وجود دیوار جداکننده. الف: در سطح، ب: در نزدیک بستر
 Figure 17 - Distribution kinetic energy distribution in the plane (X-Y) in two depth sections in the presence of a separating wall. A: on the surface, B: near the bed



شکل ۱۸- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در مقطع طولی کانال در صفحه (X-Z) در حالت وجود دیوار جداکننده.
 Figure 18 - Distribution kinetic energy distribution in the longitudinal section of the channel in the plane (X-Z) in the presence of a separating wall.



شکل ۱۹- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در مقطع عرضی کانال در صفحه (Y-Z) در سه مقطع طولی در حالت وجود دیوار جداکننده.

الف: $x=1$ ، ب: $x=1/428$ ، ج: $x=2/218$

Figure 19 - Distribution kinetic energy distribution in the cross section of the channel in the plane (Y-Z) in three longitudinal sections in the presence of a separating wall A: X=1, B: X=1.42, C: X=2.218

انرژی جنبشی آشفتگی در مقاطع و پروفیل‌های مختلف در حالت وجود دیوار جداکننده و آبشکن در مقابل آبگیر را نشان می‌دهد. شکل ۲۱ توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه (x-y) در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها بیشترین انرژی جنبشی آشفتگی در سطح، در پشت آبشکن مقابل آبگیر است. در نزدیک بستر در داخل دهانه آبگیر در سمت سکون، تقاطع کانال اصلی و کانال آبگیر در سمت دیواره راست، اتفاق می‌افتد. در لایه سطح مقدار انرژی جنبشی پشت آبشکن تقریباً ۱/۵ برابر مقدار نظیر آن در لایه کف می‌باشد و بر عکس در دهانه آبگیر و داخل آبگیر مقدار انرژی جنبشی در لایه سطح نصف مقدار نظیر آن در لایه نزدیک کف

شکل ۲۰ خطوط جریان در کانال و آبگیر در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر در حالت استفاده از دو سازه را نشان می‌دهد. با کاربرد ترکیب دیوار جداکننده و آبشکن در ضلع مقابل مقدار سرعت جریان در جلوی آبگیر نسبت به دو حالت قبل افزایش یافته است. آبشکن باعث هدایت جریان به سمت آبگیر و عبور جریان با سرعت بالا از جلوی آبگیر و در نتیجه شستن رسوبات و حمل آنها به پایین دست می‌شود و با تشکیل شیار در جلوی آبگیر، باعث می‌شود رسوبات به پایین دست منتقل و از جلوی آبگیر دور شوند. آبشکن باعث می‌شود که ابعاد ناحیه جریان چرخشی ایجاد شده در کانال اصلی کاهش یابد و در داخل آبگیر این جریان به پایین‌تر منتقل شود. شکل‌های ۲۱ تا ۲۳ توزیع

آبگیر به وقوع پیوسته است. در این نقاط انباشت رسوب وجود دارد. ضمن اینکه با حرکت به سمت سطح جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های ثانویه، محدوده بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی از نقطه سکون و دیواره سمت راست آبگیر فاصله گرفته و در لایه‌های بالایی به سمت دیواره چپ آبگیر منتقل شده است. بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان در راستای عرض کانال اصلی، در سه نقطه از طول کانال اصلی به ترتیب در بالادست آبگیر در نوک آبشکن، خط مرکزی آبگیر و طول آبگیر در جلوی آبگیر و پایین آبشکن، در پایین آبگیر نیز در مسیر یک سوم عرض سمت دیوار راست کانال اصلی (پایین آبشکن) و در سطح جریان به وقوع پیوسته است. جریان ثانویه که به علت نامتقارن بودن تنش‌های برشی آشفتگی رخ می‌دهد، بر توزیع تنش برشی بستر و طول آن تأثیر دارد. در اثر اندرکنش بین جریان‌های ثانویه و غیر یکنواخت بودن پروفیل سرعت سطح و عمق، الگوی جریانی به نام جریان حلزونی در آبگیر تشکیل می‌شود که وجود این جریان، باعث ایجاد آشفتگی شدید می‌شود.

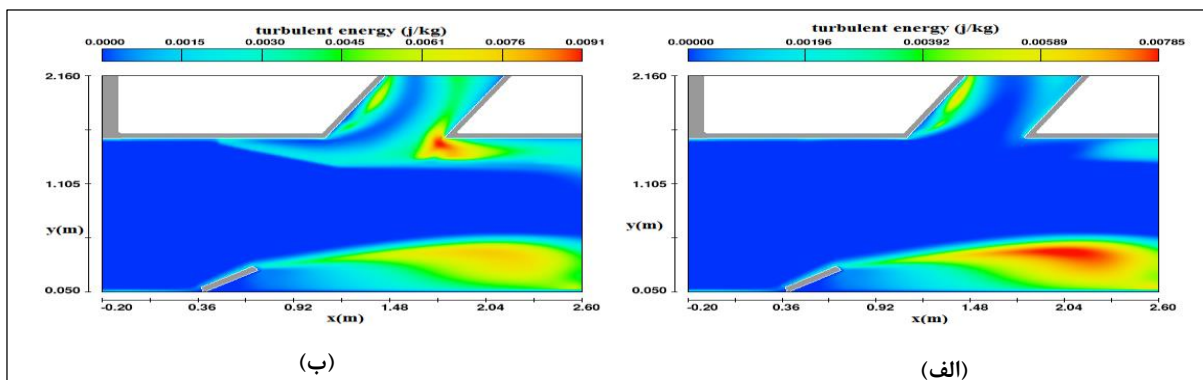
می‌باشد. شکل‌های ۲۲ و ۲۳ به ترتیب کنتره‌های توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه $(x-z)$ و $(y-z)$ را نشان می‌دهد. شکل ۲۳ در صفحه $(y-z)$ در سه موقعیت طولی بالادست آبگیر $(x=1)$ ، خط مرکزی آبگیر $(x=1/43)$ و پایین دست آبگیر $(x=2/22)$ را نشان می‌دهد. بیشترین انرژی جنبشی آشفتگی در موقعیت طولی بالادست آبگیر $(x=1)$ ، در پشت آبشکن اتفاق افتاده است. در موقعیت خط مرکزی آبگیر $(x=1/43)$ در جلوی آبگیر اتفاق افتاده است و مقدار آن تقریباً ۳ برابر بالادست آبگیر می‌باشد. در پایین دست آبگیر $(x=2/22)$ ، بیشترین مقدار در سمت آبشکن در کانال اصلی و تقریباً ۲ برابر خط مرکزی آبگیر اتفاق افتاده است. توزیع انرژی جنبشی آشفتگی جریان در این حالت در لایه پایین عمق جریان، در نزدیک دیواره سمت چپ و راست آبگیر، روی سازه دیوار جداکننده و فاصله بین دیوار جداکننده و دیوار کانال اصلی سمت آبگیر به خصوص در نقطه سکون و پایین آبشکن به وقوع پیوسته است. در لایه بالای جریان در کانال اصلی زیر آبشکن در کانال آبگیر در قسمت چپ داخل



شکل ۲۰- خطوط جریان در کانال و آبگیر در حالت وجود دیوار جداکننده و آبشکن، در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر

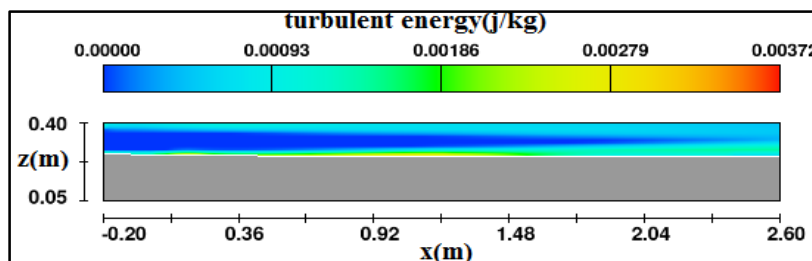
Figure 20- Flow lines in the canal and reservoir in the presence of a dividing wall and breakwater, in two deep sections. A: on the surface, B: near the bed

بررسی اثر سازه‌های کنترل رسوب بر انرژی جنبشی...



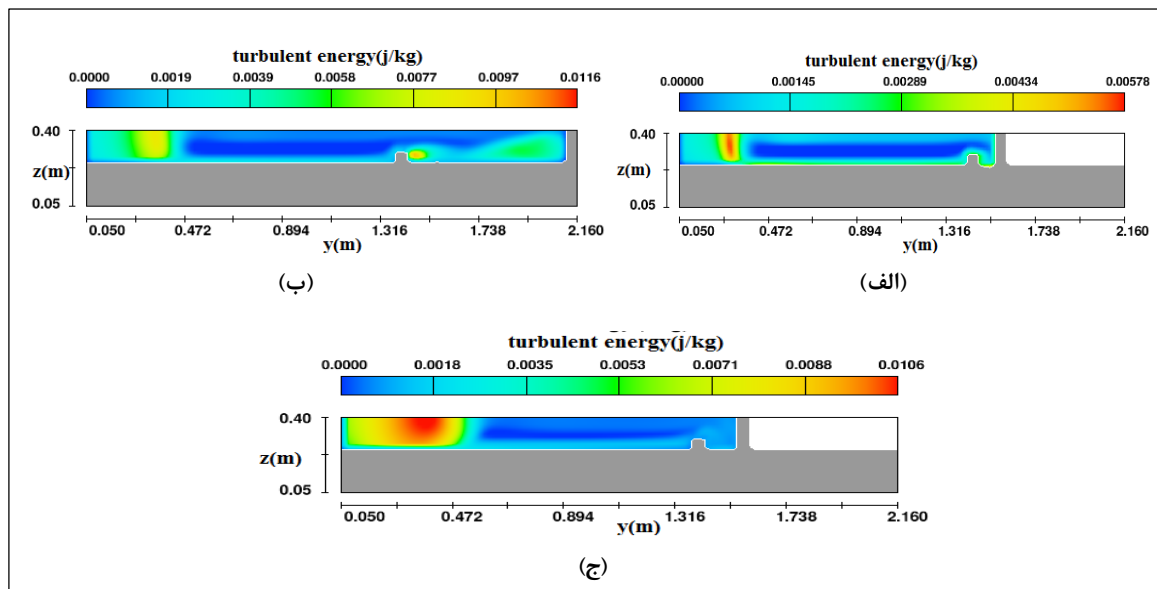
شکل ۲۱- توزیع انرژی جنبشی در صفحه (X-Y) در دو مقطع عمقی در حالت وجود دیوار جداکننده و آبشکن.

Figure 21- Distribution kinetic energy of turbulence in the plane (X-Y) in two deep sections in the presence of a separating wall and a breaker. A: on the surface, B: near the bed.



شکل ۲۲- توزیع انرژی جنبشی در مقطع طولی کانال در صفحه (x-z) در حالت وجود دیوار جداکننده و آبشکن.

Figure 22- Distribution kinetic energy distribution of turbulence in the longitudinal section of the channel in the plane (x-z) in the presence of a separating and breaking wall.



شکل ۲۳- توزیع انرژی جنبشی در مقطع عرضی کانال در سه مقطع طولی در صفحه (y-z) در حالت وجود دیوار جداکننده و آبشکن.

الف: $x=1$ ، ب: $x=1/428$ ، ج: $x=2/218$

Figure 23- Kinetic energy distribution of turbulence in the cross section of the channel in three longitudinal sections in the plane (y-z) in the presence of a separating wall and a breaker. A: X=1, B: X=1.42, C: X=2.218

نتیجه‌گیری

در حالت استفاده از دیوار جداکننده و آبشکن، بیشترین مقدار سرعت برآیند در نوک آبشکن، جلوی دهانه آبگیر و داخل آبگیر به وقوع پیوسته است. توزیع انرژی جنبشی آشفتگی جریان در لایه پایین عمق جریان، در نزدیک دیواره سمت چپ و راست آبگیر، روی سازه دیوار جداکننده و فاصله بین دیوار جداکننده و دیوار کانال اصلی سمت آبگیر به خصوص در نقطه سکون و پایین آبشکن به وقوع پیوسته است.

در لایه بالای جریان در کانال اصلی زیر آبشکن در کانال آبگیر در قسمت چپ داخل آبگیر به وقوع پیوسته است. در این نقاط انباشت رسوب وجود دارد. ضمن اینکه با حرکت به سمت سطح جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های ثانویه، محدوده بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی از نقطه سکون و دیواره سمت راست آبگیر فاصله گرفته و در لایه‌های بالایی به سمت دیواره چپ آبگیر منتقل شده است. همچنین وجود آبشکن باعث شده سرعت طولی در لایه نزدیک کف ۲/۲۵ برابر و سرعت عرضی در لایه سطحی ۱/۳۳ برابر نسبت به حالت بدون آبشکن افزایش یابد. در مطالعه قبلی مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad et al., 1397) نتایج نشان داد، ترکیب دیوار جداکننده و آبشکن نسبت به دیوار جداکننده به تنهایی در کاهش رسوبات ورودی به آبگیر به طور متوسط به میزان ۱۵ درصد تأثیر بیشتری دارد.

جهت مقایسه تأثیر سازه‌های دیوار جداکننده و آبشکن همچنین ترکیب آنها، بر هیدرولیک جریان، انرژی جنبشی آشفتگی و مقایسه با حالت بدون سازه هر کدام از حالت‌ها به طور جداگانه به کمک مدل عددی مطالعه شد. نتایج نشان داد:

در حالت بدون سازه در جلوی دهانه آبگیر، بیشترین مقدار سرعت ۲ برابر سرعت در کانال اصلی است، مقایسه توزیع بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان در دو عمق مختلف بیانگر افزایش ۵۰ درصدی بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی در لایه بالایی نسبت به لایه پایینی می‌باشد. ضمن اینکه با افزایش عمق جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های ثانویه، محدوده بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی از نقطه سکون و دیواره سمت راست آبگیر فاصله گرفته و در لایه‌های بالایی به سمت دیواره چپ آبگیر منتقل شده است. در حالت وجود دیوار جداکننده، بیشترین مقدار سرعت برآیند در جلوی دهانه و داخل آبگیر ۱/۵ برابر سرعت در کانال اصلی است، توزیع انرژی جنبشی آشفتگی جریان در لایه پایین عمق جریان، در کنار دیواره چپ آبگیر، اطراف دیوار جداکننده، جلوی دهانه آبگیر و نیمه راست آبگیر با شدت کمتر به وقوع پیوسته است. با حرکت به بالای عمق و سطح جریان، انرژی جنبشی در کنار دیواره چپ آبگیر با سطح بیشتر و مقدار ۱/۳ بیشتری نسبت به لایه نزدیک بستر به وقوع پیوسته است.

مراجع

- Aghaei Daneshvar, F., Taleb Beidokhti, n. (2015). Numerical Simulation of Turbulent Flow bed scour around a spur dike with numerical models. *Journal Volume 10 Number 1*, Spring 2015. (in Persian)

- Asian, H., Montaseri, H. (2015) Numerical Simulation of bed topography formation in the arc intake side Ssiim2 model. *College of Civil Engineering Ferdowsi twenty-seventh year, number one*, (in Persian)
- FLOW-3D user manual (version 9.3), (2008). Flow Science Inc.
- Fyruzjany Rahmani, M., Salehi Nishapur, A, A. and Ehsan, M. (2015). simulated the effect of the angle of the intake flow pattern in the lateral intakes using the software FLOW-3D. *Tenth International River Engineering Seminar 92 January to 1 Persian date Bahman 1324, Ahwaz Chamran University*. (in Persian)
- Hoseyni, S.A., and Abdipour, A. (2015). Modeling of velocity profile of continues turbidity currents and effect study of discharge and concentration on it. *J. Civil Engin. Islamic Azad University*. 3: 3. 60-68. (in Persian)
- Keshavarzi, A. and Habibi L, 2005. Optimizing water intake angle by flow separation analysis. *J Irrig and Drain Engrg ASCE 54(5): 543-552*. (in Persian)
- Moradinejad, A., Haghiabi, a., Saneie, M., Yoneseie, H. (2018). Experimental Study of Sediment Control in a Lateral Intake Canal Using Skimming Wall at the mouth Intake. *Journal of Watershed Engineering and Management*. Volume 10, Issue 1, Pages 1-18. (in Persian)
- Moradinejad, A., Haghiabi, a., Saneie, M., Yoneseie, H. (2019) Experimental Study of the Effect of Simultaneous Use of Skimming Wall on Velocity of Flow and Sediment Control in a Lateral Intake. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.20/No.76/P: 1-16*. (in Persian)
- Moradinejad, A., Parssai, A., and Norieemamzde, M. (2014). Numerical Modeling Of Flow Pattern In Kamal Saleh Dam Spillway Approach Channel. *Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 12, No. 1, 2018*.
- Murthy, K. K. and Shettar, A. S. (1996). "A Numerical study of division of flow in open channel." *J. Hydr. Res., Vol. 34, No. 5, PP. 651-675*.
- Neary, V. S. (1995). "Numerical modeling of diversion flows," PhD dissertation, Civil and Environmental Engineering, University of Iowa, Iowa City, Iowa.
- Neary, V. S., Odgaard, A. and Sotiropoulos, F. (1999). "Three-dimensional numerical model of lateral- intake inflows." *ASCE, J. Hydr. Eng., Vol. 125, No. 2, PP. 126-140*.
- Purbhman, p. (2015). Flow Simulation sediment pumping station intake structure Flow3d. *Eleventh Iranian Hydraulic Conference*. (in Persian)
- Ramamurthy, A. S., Junying Qu. and Diep, VO. (2007). "Numerical and Experimental Study of Dividing Open-Channel Flows." *ASCE, J. Hydr. Res., Vol.133, No.10, PP. 1135-1144*.
- Sarvary, M., Tkldany Amiri, a., Rostami, M. (2015). Evaluation of FLOW-3D numerical model to predict the morphological changes at the confluence of the rivers with Flow3D numerical

model. 29 January to 1 February Tenth International Seminar on River Engineering, 1394 Ahvaz Shahid Chamran University. (in Persian)

Weber LJ, Schumate ED and Mawer N, 2001. Experimental study on flow at a 90° open – channel Junction. *J Hydr Engrg ASCE* 127(5): 340-350.

Investigation of the Effect of Sediment Control Structures on the Kinetic Energy of Turbulent in the Intake Entrance

A. Moradinejad*, H. Haghiabi, M. Saneie and H. Yonesi

* Corresponding Author: Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran. Email: amir_24619@yahoo.com
Received: 9 March 2021, Accepted: 7 June 2021

Abstract

Introduction

Taking water from rivers is one of the most important topics in hydraulic engineering. One of the problems associated with most intakes is the accumulation of sediments in intake entrances. Failure to control the sediment's entering the intakes results in its transfer into irrigation channels and their establishment that creates many problems due to sediment transport or its settlement in various parts. Due to the development of computing systems as well as unmeasurable complexities of water flow and sediment in laboratory models, using numerical simulations can be very effective and substantial in hydraulic investigation of such flows. Flow passing through the lateral intakes and channel junctions is usually turbulent. Turbulence is one of the most important features of the flow pattern in a bend which influences a lot of processes occurred in rivers including erosion, sediment transport, bed morphology, and shape of natural channels. Investigating the kinetic energy of flow turbulence in open channels due to the maximum shear flow of the bed and the scouring of the floor is very important and can be considered for prediction of bed topography. The accumulation and sedimentation in water intake and reduced intake efficiency is one of the problems that arise in most intakes.

Methodology: Therefore, in the present study, the sediment controlling structure, a skimming wall, was used in front of the intake. Then, the three-dimensional flow in sedimentary bed around the intake entrance was simulated by Flow3D model and results were compared with experimental model. In this research to increase intake efficiency and control the amount of sediment entering the intake, two structural skimming wall in front of the intake and spur dike on the opposite shore it is used. In the research using three-dimensional flow field numerical model FLOW3D around 60 ° lateral intake located on the direct path was solved numerically and counters velocity and turbulence kinetic energy is drawn. The experiments conducted and results were compared with the numerical model. Flow hydraulic and dynamics in front and inside the intake is studied. Velocity vectors inside the intake, in both longitudinal and lateral directions were compared with experimental results.

Results and Discussion: In the absence of structures, inside the main channel, the flow separation width at levels close to the bed is broader than the higher levels. However, by installing skimming wall in front of the intake, the flow separation close to the substrates carrying more sediment is reduced and it is increased on the surface that has less sediment. It also allows less sediment into the intake. In the absence of structures, the surface flow lines in the intake tend to the right wall and the bottom flow lines tend to the left wall. The width of separation zone on the surface is broader than the one on the floor. In presence of skimming wall structure or both skimming wall and spur dike, the flow lines near the bottom tends to the channel center. In addition, the zone with stagnant flow on the left side of intake is broader at the bottom than on the surface.

In all three cases, the maximum longitudinal velocity and the maximum resultant velocity have occurred at the beginning of the intake inlet in its left corner. The maximum transverse velocity has occurred in the intake center. In these figures, there are areas with secondary vortex flow on downstream and the left of the intake.

Conclusions: The results showed that by adding the structure of the spur dike in the main channel, the velocity in the main channel is 1.5 times compared with the other two cases. and the area inside the intake also affects. Also, the tip of the axis of the velocity vectors is displaced to the intake. As a result, In the back area of the spur dike, the longitudinal velocity decreases and there deposition. Comparison of the distribution of the maximum kinetic energy of flow turbulence at two different depths indicates a 50% increase in the maximum kinetic energy of turbulence in the upper layer compared to the lower layer.

Keywords: intake, skimming wall, spur dike, flow hydraulic, numerical model.