

بررسی روش های کنترل رسوب به کمک تیغه های مستغرق با استفاده از مدل سازی عددی

سید مرتضی جوادپور^{1*}، ابراهیم علامتیان²، محمدعلی پوسترفروشان³

¹ استادیار مهندسی مکانیک، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران، smjavadpour@gonabad.ac.ir

² استادیار مهندسی عمران، موسسه غیرانتفاعی خاوران، مشهد، ایران

³ کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب، موسسه غیرانتفاعی خاوران، مشهد، ایران

چکیده

از آنجا که سرعت آب در کانال های ابگیر نسبت به سرعت آب در رودخانه اصلی کمتر میباشد این امر باعث ایجاد نه نشین شدن رسوبات در آن کانال میباشد. این ته نشینی باعث کاهش ظرفیت در کانال شده و این امر سبب بوجود آوردن مشکل در سیستم تغذیه کانال با دبی طرح پدید می آورد. همچنین معمولاً این ته نشینی باعث ایجاد و رشد علف های هرز شده و این امر نیز باعث ایجاد مشکلات در تامین دبی طرح می شود. در این تحقیق عملکرد سیستم صفحات مستغرق جریان با ترکیب طرحهای مختلف اجزای آن بر میزان آبگیری و کنترل رسوب بررسی شد و با عملکرد صفحات مستغرق در شرایط هیدرولیکی یکسان مقایسه گردید. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار تحلیل جریان Fluent، الگوی جریان ورودی به آبگیر جانبی شبیه سازی شد. نصب CDW ثانویه و ایجاد شیار ثانویه (کانال CDW ثانویه) در جلوی دهانه آبگیر در افزایش عملکرد این سازه بسیار موثر بود، به طوری که در حالت عدم نصب این دیوار، رسوبات از محل ایم دیوار وارد آبگیر می شدند. بنابراین همانند طرح این سیستم در بندر، برای تکمیل اثر دیوار اولیه یک دیوار ثانویه در کنار آن نصب شد. در بررسی طرح اولیه CDW-Sill، نتایج حاصل نشان داد صفحات مستغرق جریان با زاویه نصب 63 درجه برای CDW ثانویه رسوب کمتری وارد آبگیر شد.

واژه های کلیدی

آبگیر، صفحات مستغرق، شیار ثانویه، ته نشینی، جریان

مقدمه

آبگیری از رودخانه ها به منظورهای مختلفی از جمله آبرسانی شهری، مصرف کشاورزی و تولید برق انجام می شود. با توجه به اینکه همواره همراه جریان، بار رسوبی نیز وجود دارد، بنابراین به ناچار مقداری از رسوبات وارد آبگیر شده و در شرایط سیلابی ممکن

است سبب بسته شدن دهانه آبگیر شده و هدف اصلی یعنی آبگیری را مختل نماید.

در سال های اخیر استفاده از تاثیر نصب تیغه ، به عنوان روشی جدید برای کنترل رسوب مطرح است. هدف اصلی از نصب تیغه، کاهش قدرت برخورد جریان رو به پایین با بستر رودخانه می باشد. محل قرارگیری، عرض، طول و مقداری از تیغه که در بستر رودخانه قرار می-گیرد از جمله عوامل موثر بر جریان در اطراف ورودی آبگیر دارای تیغه هستند [1]

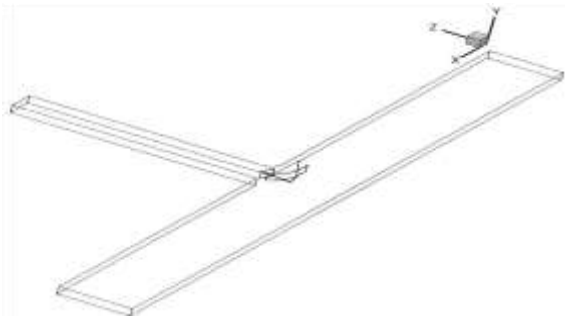
داوودی و شفائی بجستان (2012) برای کنترل رسوب در ورودی کانال آبگیر مستطیلی با زاویه 60 درجه نسبت به کانال اصلی نیمه دوزنقه ای، فرودهای مختلف و فاصله بین تیغه ها در 4 حالت 4H، 6H، 8H و 10H مورد بررسی قرار دادند (H عمق جریان می باشد). نسبت رسوب در شرایطی که فرود بین 0.45-0.55 و 0.55-0.66 است به ترتیب افزایش و کاهش می یابد. فاصله بهینه برای کاهش رسوب برابر 8H بدست آمد [2].

آزمایش کرمی مقدم و همکاران در شرایط کانال اصلی دوزنقه ای و کانال فرعی مستطیلی با زاویه 30 درجه انجام گرفت. طبق این مطالعه مشخص گردید نسبت رسوب به عدد فرود کانال اصلی بستگی دارد؛ در زمانیکه فرود بین 0.35-0.40 باشد، نسبت رسوب به کمترین مقدار خود می رسد. [3]

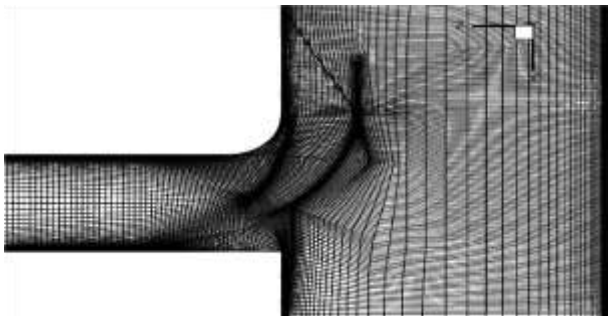
همچنین به منظور کاهش عمق رسوبات، مطالعات مشابهی توسط ادگارد صورت گرفته است. این مطالعات پیشنهاد می دهد که به منظور کاهش عمق رسوب ، از تیغه های مستغرق استفاده شود. [4] وانگ و همکاران الگوی جریان و انتقال رسوب را در آبگیر ها با نصب صفحات مستغرق بررسی کردند. [1]

به منظور بهینه سازی سیستم تیغه های مستغرق مطالعاتی انجام شد. در این روش پنج پارامتر مورد بررسی قرار گرفته اند که عبارتند از : ارتفاع تیغه ها، نسبت ارتفاع به طول تیغه ها، فاصله طولی بین ردیف، فاصله عرضی بین تیغه ها و زاویه تلاقی تیغه ها با جریان. عمق جریان در ورودی آبگیر براساس پنج پارامتر بهینه شده است. با

محدوده محاسباتی از 1015760 تا 1368142 متغیر بود. در شکل (2) نمونه ای از شبکه بندی محدوده محاسباتی مشاهده می شود.



شکل 1: محدوده هندسی ایجاد شده در Gambit



شکل 2: شبکه بندی محدوده محاسباتی در حالت نصب CDW-Sill

در این تحلیل معادلات حاکم، معادلات پیوستگی، مومنتم می باشد. تحلیل جریان در حالت ماندگار صورت گرفته و از مدل آشفتگی $k-\omega$ استفاده شده است. روش گسسته سازی معادلات جریان، روش پیشرو مرتبه دوم می باشد و از الگوریتم Simple برای کوپل میدان سرعت و فشار استفاده شد. مقدار باقیمانده برای هر یک از متغیرهای معادلات برابر 10^{-5} در نظر گرفته شد و محاسبات تا رسیدن باقیمانده به مقدار مذکور و همگرایی مناسب ادامه می یافت.

نتایج

در مدل های بدون سازه کنترل رسوب، رسوبات عمدتاً از قسمت بالادست دهانه وارد آبگیر می شد و در داخل کانال آبگیر در ناحیه گردابی نزدیک دیوار بالادست کانال ته نشین می شدند. در لحظات اولیه دو حفره آبشستگی یکی در گوشه بالادست و دیگری در گوشه پایین دست دهانه تشکیل و در ادامه مدل گسترش می یافتند. در شکل های (3) تا (6) به ترتیب تغییرات توپوگرافی بستر فرسایش پذیر در انتهای مدل و الگوی تنش برشی بستر صلب به ازای نسبت آبگیری مربوط نشان داده شده است.

در نسبت آبگیری کم (0/2) حفره آبشستگی بالادست به علت وجود بار بستر در بالادست کانال اصلی به- صورت متناوب تخلیه و پر می

توجه به مطالعات نشان می دهد که عمق جریان بهینه شده 1/1 متر بیشتر از عمق طراحی شده آدگارد و وانگ است. بنابراین تیغه های مستغرق در این روش بیشتر از حالت طراحی شده از ورود رسوبات به آبگیر جلوگیری می کنند[5]

اساس عملکرد صفحات، تولید جریان ثانویه است که این جریان به سمت پایین دست، توسعه پیدا می کند و باعث تغییر در توپوگرافی بستر می شود. راهکارهای افزایش کارایی صفحات مستغرق را بارکدول و همکاران بررسی کرده اند. نتایج آزمایشها نشان می دهد که شدت رسوبات ورودی بستر به داخل آبگیر پس از نصب صفحات مستغرق زمانی می تواند ناچیز باشد که نسبت دبی واحد عرض آبگیر به دبی واحد عرض کانال اصلی، کمتر از حدود 0/2 باشد[6]. بردلی و همکاران معتقدند که بهترین نتایج از حیث انحراف جریان با اب شکن های با زاویه 100 تا 110 درجه نسبت به کرانه بالادست به دست آمده است.[7].

حسنی زاده و همکاران به بررسی زاویه و ارتفاع مناسب تیغه های مستغرق به منظور کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی پرداختند. آنها دریافتند با افزایش زاویه و کاهش ارتفاع تیغه انتقال رسوب به کانال فرعی بیشتر می شود[8].

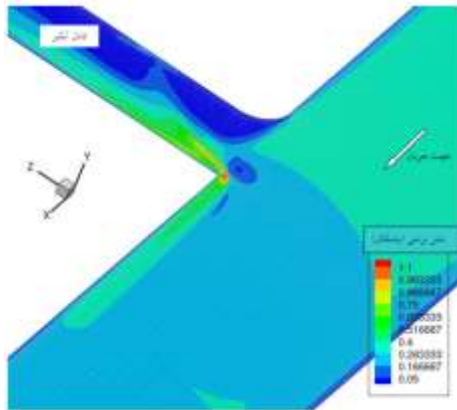
مدل فیزیکی

حوضچه با استفاده از مصالح بنایی در آزمایشگاه هیدرولیک ساخته شده و ابعاد خارجی آن $3*6$ متر و ابعاد داخلی آن نیز $0/37*2/25*0/55$ متر می باشد.

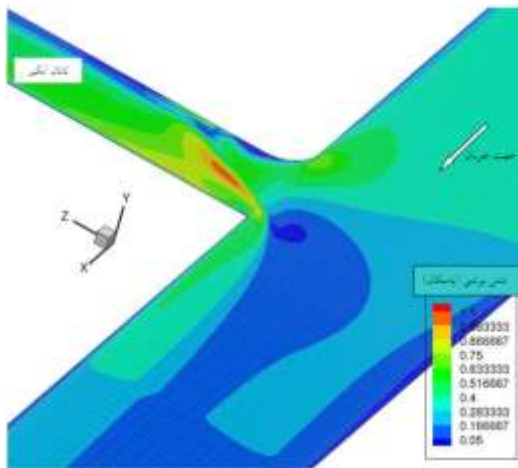
محدوده هندسی جریان براساس ابعاد کانال ها، مشخصات هیدرولیکی جریان و مدل صفحات مستغرق به صورت سه بعدی تعریف شد. محدوده هندسی از نقاط مختصاتی، خطوط و صفحه تشکیل می یابند. با تعرف نقاط مختصاتی رئوس، خطوط و صفحه ها ایجاد می شوند. محدوده شبکه در ابعادی به طول 6 متر، عرض 60 سانتیمتر و عمق برابر جریان آب ایجاد شد. با توجه به کم بودن عدد فرود جریان در آزمایش ها (0/32-0/39) و با توجه به نتایج تیلور (1944) مبنی بر تغییرات ناچیز سطح آب در شرایط مذکور، عمق جریان در کل شبکه ثابت لحاظ شد. بنابراین ارتفاع محدوده شبکه برابر عمق جریان در نظر گرفته شد. در شکل (1) محدوده هندسی ایجاد شده در Gambit ارائه شده است.

شبکه و روش عددی

در شبکه بندی خطوط با توجه به شرایط جریان، حداکثر امکان در نزدیکی بستر و دیوارها از شبکه ریز استفاده شد. با دور شدن از بستر و دیواره فاصله گره ها بیشتر و شبکه درشت تر می شد. در شبکه بندی صفحه و حجم ها عمدتاً از شبکه منظم و به صورت جزئی از شبکه نامنظم مربعی استفاده شد. در نهایت تعداد المان های شبکه در



شکل (5): تغییرات تنش برشی بستر در محدوده دهانه آبگیر در حالت بدون سازه کنترل و $qr=0/2$

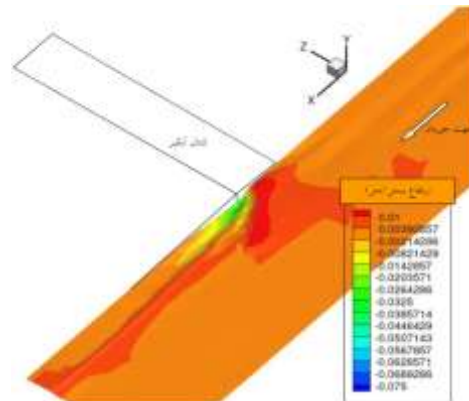


شکل (6): تغییرات تنش برشی بستر در محدوده دهانه آبگیر در حالت بدون سازه کنترل و $qr=0/6$

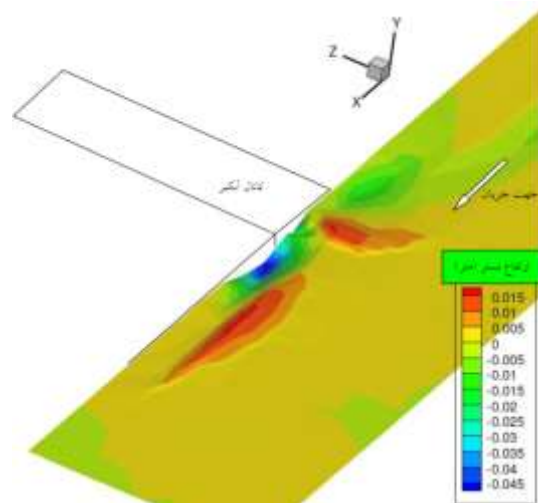
با مقایسه توزیع تنش برشی بستر صلب و تغییرات توپوگرافی بستر فرسایش پذیر در محدوده دهانه آبگیر مشاهده می شود که در نقاطی از بستر که فرسایش صورت گرفته دارای مقادیر تنش برشی بیشتری بوده و بالعکس در نقاطی که رسوبگذاری اتفاق افتاده است این نقاط عمدتاً دارای تنش برشی کمی می باشند. از این مطلب می توان چنین نتیجه گرفت که بین الگوی تنش برشی بستر صلب و توپوگرافی بستر فرسایش پذیر ارتباط معنی داری وجود دارد و این الگو می تواند نشان دهنده تغییرات بستر رسوبی در لحظات آغازین فرسایش باشد.

به منظور بررسی چگونگی ارتباط خطوط جریان در فرایند فرسایش و رسوب گذاری در محدوده دهانه آبگیر، خطوط جریان در سه عمق مختلف در نسبت های آبگیری مختلف ترسیم گردید. در شکل های (7) تا (8) خطوط جریان در محدوده دهانه آبگیر در سه عمق مختلف شامل نزدیکی بستر، وسط عمق جریان و در نزدیکی سطح آب ترسیم شده است. همانطور که در این شکل ها مشاهده می شود گسترش

شد و حفره قابل توجهی وجود نداشت (شکل 3). با افزایش نسبت آبگیری و به خصوص در $qr=0/6$ به علت افزایش تنش برشی نزدیک بستر در گوشه بالادست آبگیر (شکل 5 و 6)، حفره آبستنگی تا حدودی گسترش یافت ولی با این حال عمق حفره آن افزایش محسوسی نداشت (شکل 5-2 و 5-3). در نسبت آبگیری بالا به سبب افزایش جریان مکشی کانال آبگیر و تشکیل جریان گرداب قائم در گوشه پایین دست، ورود رسوبات از این ناحیه نیز انجام می گرفت، به طوری که در نسبت آبگیری $0/6$ مقدار رسوب وارده از این قسمت به شدت افزایش یافته بود و رسوبات از فاصله دور گوشه پایین دست تحت تاثیر جریان گرداب قائم وارد آبگیر می شدند. نحوه گسترش حفره آبستنگی گوشه پایین دست دهانه در حالت $qr=0/6$ نشان دهنده همین مطلب می باشد (شکل 6). شایان ذکر است بارکدول و همکاران (1999) نیز وجود گرداب قائم در نسبت آبگیری بالا در جلوی دهانه آبگیر را گزارش کردند و اظهار داشتند این گرداب شدت رسوب ورودی به آبگیر را افزایش می دهد [6].

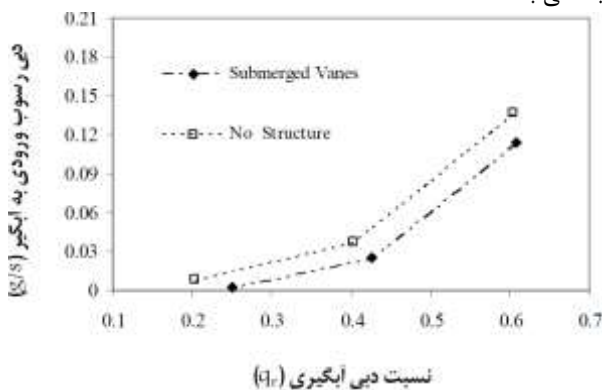


شکل (3): توپوگرافی بستر کانال اصلی در محدوده دهانه آبگیر در حالت بدون سازه کنترل و $qr=0/2$



شکل (4): توپوگرافی بستر کانال اصلی در محدوده دهانه آبگیر در حالت بدون سازه کنترل و $qr=0/6$

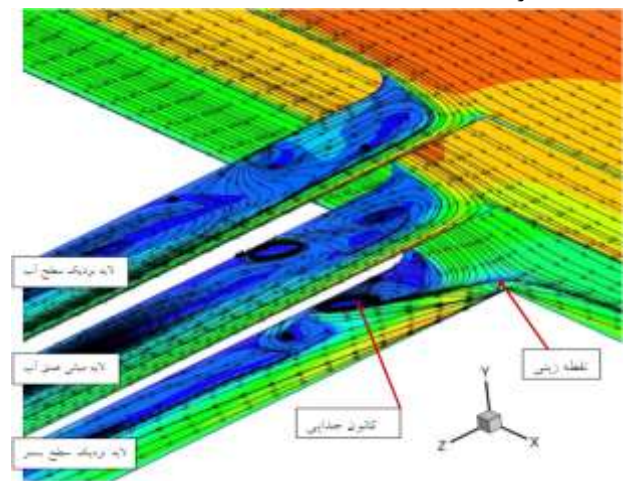
در طول کانال آبگیر بود. همچنین ارتفاع نقطه حداکثر رسوبی (h_{max}) این پشته در بیشترین نسبت آبگیری (0/6) برابر 4/3 سانتیمتر ($h_{max}/y_d = 0/37$). عمق آب در کانال آبگیر بود. در شکل (9) عملکرد مدل های شاهد شامل آبگیر بدون سازه کنترل رسوب و آبگیر با صفحات مستغرق نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود در نسبت آبگیری 0/6، رسوب ورودی دارای شدت بیشتری در مقایسه با دو حالت قبلی (نسبت آبگیری 0/2 و 0/4) بوده و این امر ناشی از تشکیل گرداب قائم در جلوی دهانه آبگیر و همچنین افزایش قدرت مکشی جریان به علت میزان آبگیری بالا می باشد.



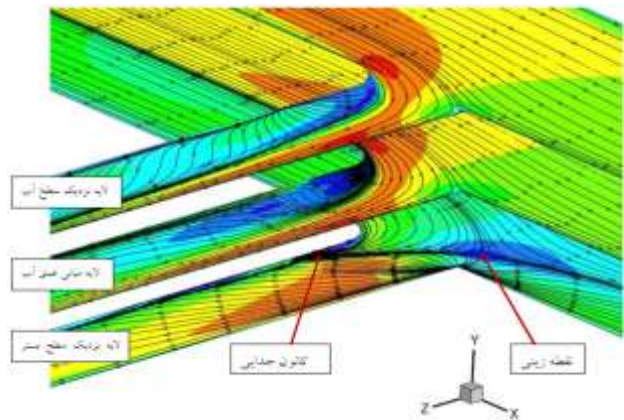
شکل (9): عملکرد مدل های شاهد شامل آبگیر بدون سازه کنترل رسوب و آبگیر با صفحات مستغرق

در حالت نصب صفحات مستغرق نیز روند مشابهی در عملکرد رسوب ورودی به آبگیر مشاهده شد. در حالت $qr=0/2$ و نصب سازه کنترل صفحات مستغرق، تقریباً رسوبی وارد آبگیر نشد ولی با افزایش نسبت آبگیری و به خصوص در آبگیری 0/6 عملکرد صفحات مستغرق به شدت کاهش یافت و در این حالت رسوب ورودی نسبت به حالت بدون سازه کنترل فقط کاهش حدود 17 درصدی نشان داد. این دیوار مصنوعی همراه با آستانه نصب شده به خوبی در کنترل رسوب بار بستر ورودی به آبگیر عمل کرد، به طوری که ورود رسوبات از قسمت بالادست آبگیر حذف گردید (موقعیت دیوار مصنوعی جلوی دهانه برابر $\lambda/bm = 0/25$ بود، λ فاصله دهانه آبگیر تا ارتفاع حداکثر دیوار جلوی دهانه، شکل 10).

خط تقسیم جریان (در حالت سه بعدی، صفحه تقسیم کننده جریان) در کف بیشتر بوده ($ZS, ZS/bm = 0/17-0/5$) عرض صفحه تقسیم کننده جریان) و در سطح آب کاهش محسوسی یافته است ($0/22-0/7$). همچنین عرض خط تقسیم جریان با زیاد شدن دبی آبگیری افزایش محسوسی داشته است. ابعاد ناحیه گردابی از کف بستر ($ZV/bd = 0/1-0/5$)، ZV عرض ناحیه گردابی) به طرف سطح آب ($ZV/bd = 0/625-0/875$) افزایش می یابد و با افزایش دبی آبگیری نیز ابعاد کلی این ناحیه کاهش می یابد. این بخش از نتایج همخوانی خوبی با نتایج سایر محققین از جمله نیری و ادگارد (1993) دارد.



شکل (7): خطوط جریان در محدوده دهانه آبگیر در سه عمق مختلف در حالت بدون سازه کنترل و $qr=0/2$

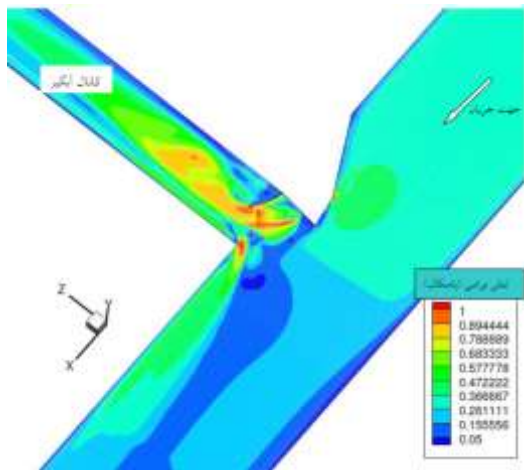


شکل (8): خطوط جریان در محدوده دهانه آبگیر در سه عمق مختلف در حالت بدون سازه کنترل و $qr=0/6$

در داخل کانال آبگیر، رسوبات وارد شده در طول کناره دیوار بالادست کانال آبگیر به صورت پشته رسوبی ته نشین می شدند. در طول مدل و با افزایش رسوب ورودی، انتهای این پشته رسوبی در فاصله دور از دهانه به طرف محور مرکزی و دیوار پایین دست کانال آبگیر کشیده می شد. موقعیت طولی این پشته رسوبی از $x=0$ تا $x=181$ سانتیمتر

آبگیر (حفره بالادست) کم بود و ورود رسوبات نیز کاهش موثری داشت و در بهترین شرایط میزان رسوب ورودی به آبگیر در حدود 61/5 درصد کاهش یافت.

بررسی تنش برشی نزدیکی بستر (شکل 11) در این حالت نشان می دهد یک ناحیه با تنش برشی کم در امتداد نوک انتهایی آستانه و در طول دهانه آبگیر تا پایین دست تشکیل شده است. همچنین یک ناحیه با تنش برشی زیاد در گوشه پایین دست دهانه تشکیل شده که رسوبات از طریق ناحیه مجاور (شیار سوم) به داخل آبگیر جذب می شدند که روند مشاهدات مدل ها موید همین مطلب است (ورود رسوبات از شیار سوم یعنی از موقعیت $Z = 3 - 4\text{cm}$ عرض Z ، کانال آبگیر از دیوار پایین دست، این موقعیت در شکل خطوط جریان نزدیکی بستر قابل تشخیص است).

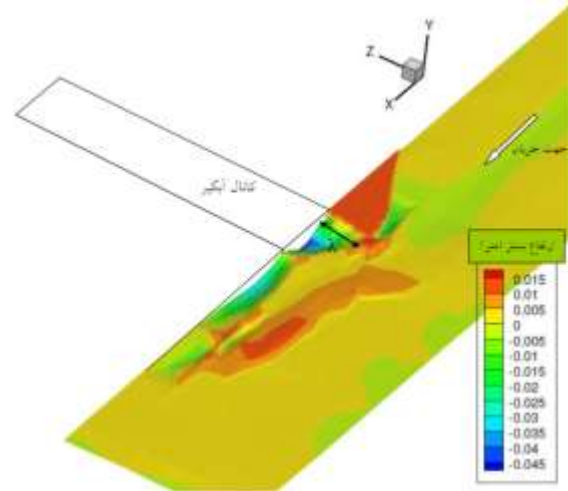


شکل (11): تغییرات تنش برشی بستر در محدوده دهانه آبگیر با سازه کنترل و $qr=0/6$

در شکل های (12) و (13) تغییرات پروفیل سطح آب در داخل کانال اصلی در حالت بدون سازه کنترل و با سازه کنترل در دو موقعیت عرضی ($Z=30$ و $Z=59$ سانتیمتر) ارائه شده است.

همانطوریکه مشاهده می شود در تمام حالتها پروفیل سطح آب در محور مرکزی کانال اصلی یکنواخت است و تغییرات محسوسی در دو حالت بدون سازه کنترل و با سازه کنترل ندارد. در تمام نسبت های آبگیری هر دو حالت پروفیل سطح آب در دیواره مجاور آبگیر کانال اصلی در دو موقعیت تغییرات محسوسی نشان می دهد.

در گوشه بالادست آبگیر، با توجه به اینکه شعاع گردشگری دیوار بالادست 9/6 سانتیمتر می باشد، پایین افتادگی سطح آب (7-9 درصد) عمدتاً در موقعیت طولی شروع گردشگری ($x=140$ سانتیمتر) تا انتهای آن ($x=150$ سانتیمتر) رخ داده است. البته در حالت با سازه کنترل عمق پایین افتادگی اندکی بیشتر از حالت بدون سازه کنترل است. در گوشه پایین دست آبگیر در موقعیت نقطه سکون افزایش عمق جریان مشاهده می شود. البته موقعیت این افزایش عمق در



شکل (10): توپوگرافی بستر کانال اصلی در محدوده دهانه آبگیر در

حالت با سازه کنترل و $qr=0/6$

در ادامه مدل، همراه با تشکیل حفره زیر CDW اولیه یک حفره کوچک در جلوی آبگیر تشکیل می شد.

حفره زیر صفحات مستغرق اولیه توسعه یافته و با حفره جلوی دهانه آبگیر ترکیب می شد و در طول مدل همراه با حفره جلوی آبگیر گسترش می یافت. شایان ذکر است حفره جلوی دهانه تقریباً در وسط دهانه تشکیل می شد. همچنین حفره آبستنگی پایین دست، پایینتر از گوشه پایین دست آبگیر تشکیل می گردید و به علت تاثیر جریان عمومی کانال اصلی دارای گسترش طولی بیشتری بود.

بررسی توزیع تنش برشی نزدیکی بستر در محدوده دهانه آبگیر در حالت با سازه کنترل نشان می دهد (شکل 11)، در پایین دست آستانه و در امتداد نوک انتهایی آن یک ناحیه با تنش برشی پایین (آبی رنگ) در طول دهانه آبگیر و با فاصله مناسب از آن به وجود آمده است. وجود چنین وضعیتی نشان دهنده امکان رسوبگذاری بستر در نواحی مذکور است که بررسی شکل های مربوط به توپوگرافی بستر رسوبی در انتهای مدل موید این مطلب است. با توجه به شکل های تغییرات توپوگرافی بستر رسوبی به خصوص در نسبت های آبگیر بالا مشاهده می شود که این دیوار مصنوعی به خوبی در طول دهانه آبگیر با فاصله مناسب ($\lambda/bm = 0/25$) فاصله دهانه آبگیر تا ارتفاع حداکثر دیوار جلوی دهانه) ایجاد گردیده است (شکل 5-13).

نصب CDW ثانویه و ایجاد شیار ثانویه (کانال CDW ثانویه) در جلوی دهانه آبگیر در افزایش عملکرد سازه CDW-Sill بسیار موثر بود، به طوریکه در حالت عدم نصب این دیوار، رسوبات از محل موقعیت این دیوار به طور پیوسته وارد کانال آبگیر می شدند. بنابراین همانند طرح این سیستم در بندر، برای تکمیل اثر دیوار اولیه یک دیوار ثانویه در کنار آن نصب شد. همچنین مدل CDW-Sill در نسبت آبگیری 0/6 به خوبی توانسته بود اثر گرداب قائم را کنترل کند به طوریکه با کاهش اثر گرداب قائم، عمق حفره آبستنگی جلوی

شد و با عملکرد صفحات مستغرق در شرایط هیدرولیکی یکسان مقایسه گردید. جمع‌بندی نتایج بدست آمده از این تحقیق به صورت زیر ارائه می‌شود.

بررسی توزیع تنش برشی و تغییرات توپوگرافی بستر فرسایش پذیر در محدوده دهانه آبگیر نشان داد، بین الگوی تنش برشی بستر صلب و توپوگرافی بستر فرسایش پذیر ارتباط معنی داری وجود دارد و این الگو می‌تواند نشان دهنده تغییرات بستر رسوبی در لحظات آغازین فرسایش باشد. نتایج تحقیقات صفرزاده و صالحی نیشابوری (1398) نیز موید این مطلب بود.

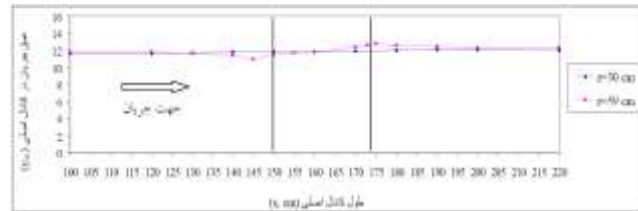
نصب CDW ثانویه و ایجاد شیار ثانویه (کانال CDW ثانویه) در جلوی دهانه آبگیر در افزایش عملکرد این سازه بسیار موثر بود، به طوری که در حالت عدم نصب این دیوار، رسوبات از محل ایم دیوار وارد آبگیر می‌شدند. بنابراین همانند طرح این سیستم در بندر، برای تکمیل اثر دیوار اولیه یک دیوار ثانویه در کنار آن نصب شد. در بررسی طرح اولیه CDW-Sill، نتایج حاصل نشان داد صفحات مستغرق جریان با زاویه نصب 63 درجه برای CDW ثانویه رسوب کمتری وارد آبگیر شد (حذف کامل رسوب ورودی تا دبی آبیگری 0/4).

با افزایش عرض کانال CDW اولیه عمق آبشستگی بالادست دارای روند افزایشی بوده و این روند در نسبت آبیگری 0/2 دارای شدت بیشتری می‌باشد. تغییرات عمق آبشستگی پایین دست دهانه آبگیر روند معکوسی داشته، به طوریکه با افزایش عرض کانال CDW اولیه عمق آبشستگی پایین دست دارای روند کاهشی بوده و این روند در نسبت آبیگری 0/6 دارای شدت بیشتری است.

مراجع و منابع

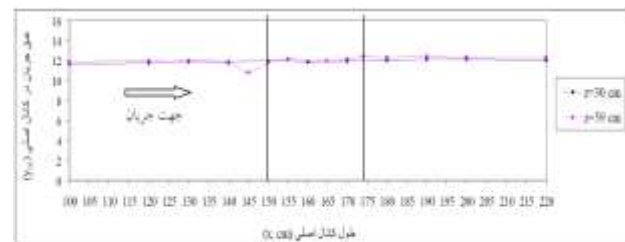
1. Wang, Y., et al., *Sediment Control at Water Intakes*. Journal of Hydraulic Engineering, 1996. **122**(6): p. 353-356.
2. Ladan Davoodi, M.S.B., *Control of sediment entry to intake on a trapezoidal channel by submerged vane*. Ecology, Environment and Conservation, 2012. **18**(1): p. 165-169.
3. Mehdi Karami Moghadam, M.S.B., Hossein Sedghi, *Sediment entry investigation at the 30 degree water intake installed at a trapezoidal channel*. World Applied Sciences Journal, 2010. **11**(1): p. 82-88.
4. Odgaard, A.J. and Y. Wang, *SEDIMENT MANAGEMENT WITH SUBMERGED VANES. I: THEORY*. Journal of Hydraulic Engineering, 1991. **117**(3).
5. م. خانجانی، بهینه سازی سیستم صفحات مستغرق، آلی، ج.ا. مستغرق جهت کنترل رسوب در دهانه های آبگیر رودخانه

حالت بدون سازه در گوشه پایین دست آبگیر اندکی متمایل به طرف دهانه آبگیر بوده و ارتفاع بیشتری دارد. ولی در حالت با سازه کنترل با توجه به تغییر موقعیت نقطه سکون به طرف پایین- دست و کاهش اثر آن، پروفیل سطح آب دارای ارتفاع کمتری (در حدود 5 درصد) نسبت به حالت بدون سازه کنترل بود.



شکل 12: تغییرات پروفیل سطح آب در طول کانال اصلی در مدل

مدل دهانه آبگیر بدون سازه کنترل، $q_r=0/6$



شکل 13: تغییرات پروفیل سطح آب در طول کانال اصلی در مدل

مدل دهانه آبگیر با سازه کنترل $q_r=0/6$

نتیجه گیری

در این تحقیق عملکرد سیستم صفحات مستغرق جریان با ترکیب طرحهای مختلف اجزای آن بر میزان آبیگری و کنترل رسوب بررسی ها ۱. فصلنامه تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و (زهکشی)، 1385، 7(1).

6. Barkdoll, B.D., *Discussion of Use of Vanes for Control of Scour at Vertical Wall Abutments*. Journal of Hydraulic Engineering, 2003. **129**(3): p. 246-246.
7. Bradley, J.B., D.L. Richards, and C.D. Bahner, *Debris Control Structures - Evaluation and Countermeasures: Hydraulic Engineering Circular 9: Third Edition*. 2005.
8. تعیین زاویه و ارتفاع مناسب تیغه، et al., حسنی زاده، س های مستغرق به منظور کنترل رسوب ورودی به کانال آبیگیر جانبی در تبدیل ها با استفاده از مدلسازی عددی in کنگره سالانه بین المللی عمران، معماری و توسعه هفتمین شهری، 1400.