

مطالعه آزمایشگاهی اثر دیوار منحرف کننده جریان با آستانه در کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی

قربان مهتابی^{۱*} و علی حسین زاده دلیر^۲

ghmahtabi@gmail.com

* - نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری رشته سازه های آبی گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۵

چکیده

مسئله کنترل فرسایش و رسوب گذاری در دهانه آبگیرهای رودخانه برای شبکه های آبیاری و زهکشی، نیروگاه ها و تصفیه خانه های آب از دیرباز مورد توجه بوده است. یکی از ایده های جدید کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی، استفاده از صفحات مستغرق می باشد. یافته های مطالعات نشان می دهند که کارایی این صفحات محدود به شرایط خاص هیدرولیکی می باشد یعنی در مسیرهای مستقیم این صفحات تا نسبت آبگیری ۰/۲ باعث حذف رسوب ورودی به آبگیر می شود و برای مقادیر بیشتر نسبت آبگیری، کارایی صفحات کاهش می یابد. راهکارهای افزایش کارایی این صفحات از طریق نصب سازه های اضافی، اصلاح دهانه آبگیر و شکل صفحات توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق با توجه به الگوی جریان در دهانه آبگیر، سیستم دیوار منحرف کننده جریان با آستانه به عنوان روشی جدید در کنترل رسوب ورودی به آبگیر با حفظ راندمان آبگیری، معرفی و تأثیر آن بر عملکرد آبگیر مطالعه شد. در این تحقیق عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه، عرض کانال دیوار منحرف کننده ثانویه ارتفاع آستانه و زاویه نصب دیوار منحرف کننده ثانویه بر روی رسوب ورودی به آبگیر در سه نسبت آبگیری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد در طرح اولیه دیوار منحرف کننده با آستانه با زاویه نصب ۶۳ درجه برای دیوار منحرف کننده ثانویه رسوب کمتری وارد آبگیر شد. نتایج این تحقیق نشان داد تا نسبت آبگیری ۰/۴، عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه برابر ۱۴ سانتی متر به ازای تمام عرض های کانال دیوار منحرف کننده ثانویه بهترین عملکرد را دارد و در این شرایط تقریباً رسوبی وارد آبگیر نشد. همچنین افزایش ارتفاع آستانه باعث کاهش عملکرد دیوار منحرف کننده شد.

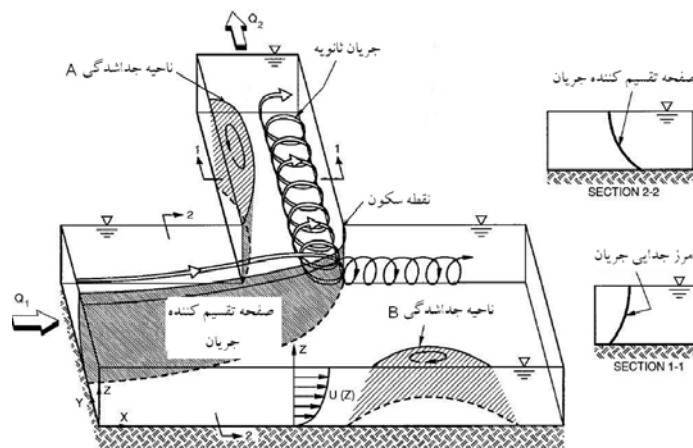
کلید واژه ها: آبگیر جانبی، کنترل رسوب، دیوار منحرف کننده جریان با آستانه، صفحات مستغرق.

مقدمه

انشعاب است (شکل ۱). نیری و ادگارد^۱ مطالعات آزمایشگاهی خود را بر روی هیدرولیک جریان در آبگیرهای ۹۰ درجه در مسیر مستقیم انجام دادند و الگوی جریان، خط تقسیم جریان، سکون و ناحیه جدایی جریان را بررسی کردند (۱۱). تشکیل جریان های ثانویه و نواحی چرخشی، باعث جاروب کردن رسوبات نزدیک بستر به طرف داخل آبگیر و ورود آنها به داخل ناحیه چرخشی شده و عملکرد سیستم آبگیری را مختل می کند. در نسبت آبگیری بالا ($q_f=0/6$) که q_f نسبت دبی در واحد عرض آبگیر به دبی در واحد عرض کانال اصلی است) یک گرداب ناپایدار در آستانه ورودی آبگیر شکل می گیرد که رسوبات را به داخل آبگیر وارد می کند (۵). فرسایش موضعی در دهانه آبگیر از

یکی از مناسب ترین و در عین حال قدیمی ترین روش های استفاده از آب رودخانه ها برای مصارف گوناگون احداث آبگیر ثقی می باشد. دهانه آبگیر از رودخانه، سازه ای است که آب رها شده از سد مخزنی یا جریان آب کنترل نشده را از رودخانه برداشت می کند. آبگیری از رودخانه با استفاده از نیروی ثقل که در گذشته به شکل شق نهر صورت گرفته است، اکنون به یک سازه هیدرولیکی تکامل یافته با معیارهای طراحی تبدیل شده است. ساده ترین راه انحراف جریان از یک رودخانه، ایجاد یک انشعاب ۹۰ درجه از بازه مستقیم آن می باشد. جریان منحرف شده به درون انشعاب خصوصیات پیچیده ای دارد و منجر به ایجاد نواحی جدایی در کانال اصلی و انشعابی می شود. این نواحی شامل یک ناحیه جدایی در دیواره داخلی انشعاب یعنی بلافاصله بعد از ورودی آبگیر (ناحیه A)، یک ناحیه جدایی در کانال اصلی یعنی بعد از تقاطع (ناحیه B) و یک نقطه رکود و ایستایی نزدیک گوشه پایین دست

1- Neary and Odgaard



شکل ۱- الگوی جریان در ورود به آبگیر جانبی (۱۱)

جریان رودخانه نزدیک به آبگیر متمرکز گردد تا دبی نسبی (دبی نسبی در واحد عرض) کاهش یابد. راهکارهای افزایش کارایی صفحات مستغرق از طریق نصب سازه‌های اضافی (تکمیلی) و اصلاح ورودی آبگیر و شکل صفحات توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. پس از بررسی آزمایشگاهی راهکارهای مختلف برای حفظ راندمان آبگیری و همچنین حفظ کارایی صفحات مستغرق، نصب آستانه، استفاده از دیوار حائل در کنار صفحات مستغرق و اصلاح دهانه ورودی و عریض نمودن ورودی آبگیر به‌عنوان راهکارهای مناسب شناخته شده است (۹ و ۱۰).

نصب آستانه باعث کاهش رسوب ورودی به داخل آبگیر شده و عرض ناحیه گردابی و رسوب‌گذاری را کاهش می‌دهد (۱ و ۲). در حالت نصب توأم با صفحات مستغرق تا نسبت آبگیری ۰/۳۷۵ باعث حذف کامل رسوبات ورودی به آبگیر می‌شود. با افزایش ارتفاع آستانه تا ۰/۳ عمق جریان، رسوب ورودی کاهش می‌یابد و بعد از این ارتفاع، تأثیر آستانه در کنترل رسوب کاهش می‌یابد (۱). استفاده از دیوار حائل همراه با صفحات مستغرق نیز تا نسبت آبگیری ۰/۳ باعث حذف کامل رسوبات از آبگیر می‌شود (۵ و ۱۰). همچنین اصلاح دهانه ورودی آبگیر به منظور اصلاح الگوی جریان، باعث یکنواختی جریان در ورودی و کاهش ورود رسوبات به داخل آبگیر می‌شود. هدف نهایی طرح سازه‌های انحراف آب از رودخانه‌ها برداشت مطمئن و حداکثری آب، کاهش رسوبات ورودی و در صورت امکان حذف کامل آنها همراه با تقلیل اثرات منفی بر شرایط مورفولوژی رودخانه و کاهش هزینه‌های ساخت، بهره‌برداری و نگهداری می‌باشد. همچنین بهینه سازی روش‌های موجود کنترل رسوب و استفاده از روش‌های اصلاحی به منظور افزایش کارایی سیستم‌های موجود و استفاده از روش‌های جدید جهت نیل به این اهداف همیشه مورد نظر محققین علم هیدرولیک بوده است. به‌طور کلی با توجه به الگوی جریان آبگیر، مکانیسم کاهش ورود رسوبات به آبگیر و حفظ کارایی آبگیر باید بر اساس کاهش یا خنثی کردن قدرت جریان ثانویه، محدود کردن

لبه پایین دست آبگیر آغاز می‌گردد و سپس آشفستگی ایجاد شده در لبه پایین دست آبگیر به بالادست توسعه می‌یابد. پس از رسیدن به زمان تعادل، دو حفرة آبستگي در لبه بالادست و پایین دست آبگیر به وجود می‌آید که عمق چاله پایین دست بیشتر است (۴). مسئله کنترل فرسایش و رسوب‌گذاری در دهانه آبگیری رودخانه‌ها برای شبکه‌های آبیاری و زهکشی، نیروگاه‌ها و تصفیه خانه‌های آب از دیرباز مورد توجه بوده است و از روش‌هایی هم‌چون سنگ-فرش، توری‌سنگی و سیمانی کردن و ساخت دیواره آبشکن و لایروبی استفاده شده است که با صرف هزینه بالا و تأثیرات نامطلوب جانبی همراه بوده است. اخیراً روش‌های مختلفی برای کنترل رسوب در داخل رودخانه و در جلوی دهانه آبگیر مورد استفاده قرار گرفته است که غالباً برای کنترل رسوب بار بستر کاربرد دارند. ساخت آستانه، دیوار حائل مستغرق^۲ در جلوی دهانه آبگیر و استفاده از صفحات مستغرق^۳ از جمله این روش‌ها می‌باشند. بررسی مطالعات و کارهای محققین قبلی نشان می‌دهد که یکی از ایده‌های جدید کنترل رسوب بار بستر ورودی به آبگیر جانبی، استفاده از صفحات مستغرق می‌باشد. مشخصه اصلی این صفحات این است که بر اثر اختلاف فشار دو طرف صفحه، جریان ثانویه‌ای در اطراف آنها ایجاد می‌شود که رسوبات مسیر را به داخل رودخانه منتقل نموده و یک شیار فرسایشی در جلوی دهانه آبگیر ایجاد می‌کند. در نتیجه از ورود رسوبات بستر به کانال آبگیر جلوگیری می‌شود. یافته‌های مطالعات نشان می‌دهند که کارایی این صفحات محدود به شرایط خاص هیدرولیکی می‌باشد یعنی در مسیرهای مستقیم این صفحات تا نسبت آبگیری ۰/۲ باعث حذف رسوب ورودی به آبگیر می‌شود و برای مقادیر بیشتر نسبت آبگیری، کارایی صفحات کاهش می‌یابد (۲ و ۵). اگر مقدار دبی نسبی بیش از این باشد بایستی ورودی آبگیر عریض شود یا

- 1- Sill
- 2- Skimming wall
- 3- Submerged vanes

مکانیسمی جدید در کنترل رسوب ورودی به آبگیر با حفظ راندمان آبگیری می‌باشد که با توجه به مکانیسم عمل این سیستم، تأثیر پارامترهای مختلف در طرح آن بر عملکرد آبگیر بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز در کانالی به عرض ۰/۸ متر، طول ۶ متر و عمق ۰/۵ متر که دارای سیستم گردش آب است، انجام شد. آبگیری توسط کانال جانبی به عرض (b_a) ۰/۲۴ متر و طول ۴ متر و با زاویه (θ) ۹۰ درجه نسبت به جهت جریان در کانال اصلی انجام می‌گردد.

با توجه به بررسی منابع انجام گرفته (۱۶)، عرض کانال اصلی (b_m) به ۰/۶ متر کاهش داده شد (با نسبت عرض کانال اصلی به جانبی برابر ۲/۵). کانال آبگیر در فاصله ۳/۲ متری از حوضچه آرام کننده بالادست و فاصله ۲/۵ متری از دریچه تنظیم سطح آب انتهای فلووم واقع شده بود. همچنین شیب هر دو کانال اصلی (S) و جانبی صفر در نظر گرفته شد. سیستم گردش آب کانال به صورت مدار بسته بوده و آب مورد نیاز از طریق مخزن زیرزمینی تأمین می‌شود. جریان ورودی به کانال از طریق پمپ آب به مخزن هوایی در بالادست فلووم تأمین گشته و میزان دبی جریان از طریق سرریزهای لبه تیز مستطیلی موجود در پایین دست کانال اصلی و فرعی اندازه‌گیری می‌گردد. دبی ورودی به کانال در محل ورودی نیز توسط شیر قابل تنظیم کنترل می‌شد و در بالادست کانال و بعد از حوضچه ورودی، شبکه آرام کننده جریان نصب شده بود. در شکل (۴) پلان کانال آزمایشگاهی و آبگیر ارائه شده است. مصالح بستر از سیلیس با قطر متوسط ۱/۱۴ میلی‌متر، جرم مخصوص رسوبات ρ_s=۲۶۳۰ و انحراف معیار هندسی σ_g=۱/۱ در نظر گرفته شد و محدوده آزمایش‌ها به نحوی انتخاب شد که فقط حرکت بار بستر وجود داشته باشد. بار بستر از جابجایی مصالح بستر در بالادست محل آبگیر فراهم می‌شد. ضخامت بستر متحرک در حدود ۱۵ سانتی‌متر بود، به طوری که بعد از ایجاد بستر متحرک، کف آبگیر و کانال اصلی یکی شد.

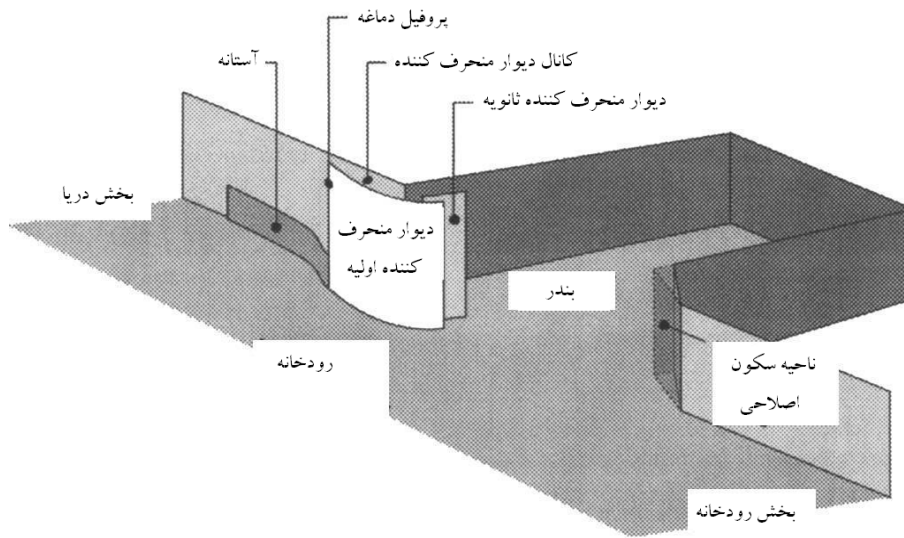
در هر آزمایش پس از نصب مدل‌های آزمایش، ابتدا مصالح بستر را با شیب مورد نظر در بستر کانال قرار داده سپس جریان آب به آرامی وارد کانال شده و با بسته نگه داشتن دریچه‌های پایین دست، عمق آب به حد نیاز بالا می‌آمد، پس از آن به آرامی جریان ورودی به کانال اضافه شده و با کمک دریچه پایین دست و ارتفاع سنجی که در طول کانال قرار دارد سطح آب و عمق یکنواخت در کانال اصلی (y_m) ایجاد و کنترل شد. مقادیری برای دبی و عمق جریان انتخاب شد که همواره جریان زیر بحرانی باشد، زیرا در جریان‌های زیر بحرانی سطح آب تقریباً صاف بوده و نوسان کمی دارد. لازم به ذکر است مقادیر دبی و عمق تا پایان انجام آزمایش‌های هر مرحله ثابت بود. آزمایش‌ها در نسبت‌های دبی در واحد عرض ۲۰-۸۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۴۰ مورد بررسی قرار

گسترش سطح تقسیم کننده جریان در بستر، کاهش اندازه ناحیه جدایی و افزایش شتاب سرعت‌های طولی کانال اصلی در اطراف نقطه سکون در دماغه گوشه پایین دست آبگیر، باشد (۱۲). با توجه به الگوی جریان ورودی به آبگیر، اندازه صفحه تقسیم کننده جریان، میزان دبی برداشت شده توسط کانال انحراف را مشخص می‌کند و از طرفی احتمال تجمع رسوبات وارد شده در نزدیک دیوار داخلی کانال انحراف وجود دارد (۱۲). بنابراین از لحاظ هیدرولیکی ایجاد سیستمی منطبق بر الگوی جریان آبگیر با حداقل میزان تلاطم به طوری که با تضعیف قدرت ناحیه گردابی و دور کردن بار بستر از جلوی دهانه آبگیر، راندمان آبگیری و کنترل رسوب را نیز تأمین کند، ضروری به نظر می‌رسد.

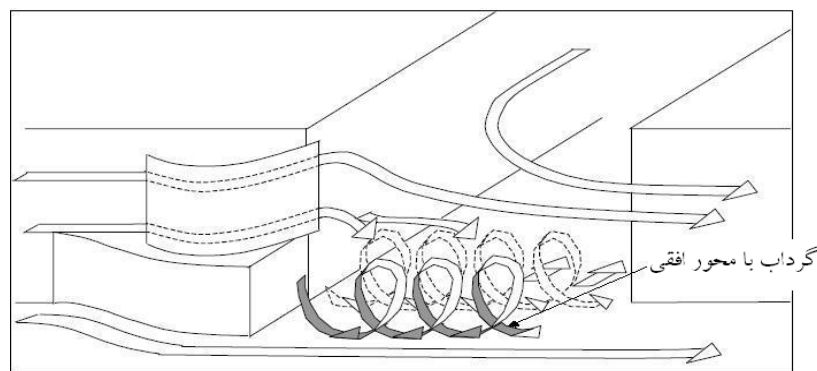
رسوب گذاری یک مشکل همیشگی در بنادر و رودخانه‌های جزر و مدی بوده است. جهت رفع این مشکل و نیز تأمین امنیت ناوبری دریایی، عملیات لایروبی به طور مداوم بایستی صورت گیرد. در اواخر سال ۱۹۸۰ محققین هامبورگی برای حداقل کردن نرخ رسوب گذاری در بنادر آلمان مطالعاتی انجام دادند که نتیجه آن ابداع سازه‌ای به نام دیوار منحرف کننده جریان با آستانه^۱ بود. دیوار منحرف کننده جریان یک وسیله جدید و مؤثر برای کاهش و جلوگیری از رسوب گذاری مواد ریز دانه در بنادر رودخانه‌ای در شرایط جزر و مدی می‌باشد (۶، ۸، ۱۵ و ۱۷). دیوار منحرف کننده با آستانه شامل یک دیوار عمودی ثابت است که در سطح افقی انحنا دارد و در تمام عمق آب توسعه می‌یابد. این سازه شامل سه بخش است: یک دیوار انحنادار هادی جریان، یک کانال مابین دیوار و ساحل رودخانه و یک آستانه در بخش ساحلی دیوار. عموماً این سازه در گوشه ورودی بندر و در سمت ساحل دریا کار گذاشته می‌شود (شکل ۲).

دیوار منحرف کننده به جریانی که به سمت ورودی بندر است نیرویی وارد می‌کند و در پشت آستانه نزدیک بستر به دلیل جدائی، یک منطقه کم فشار ایجاد می‌شود. در نتیجه اختلاف فشار ایجاد شده مابین قسمت‌های بالاتر و پایین تر ستون آب پشت دیوار منحرف کننده، آب به دام افتاده توسط دیوار منحرف کننده، به پایین جریان می‌یابد و گرداب در بستر پشت آستانه واگرا می‌شود. در نتیجه، یک گرداب با محور افقی در جلوی ورودی تشکیل می‌شود (شکل ۳). به طور کلی میزان کاهش رسوبات بستگی به طرح سیستم دیوار منحرف کننده با آستانه دارد که شامل پارامترهای انحنا و طول دیوار منحرف کننده، فاصله مابین دیوار منحرف کننده و ساحل (عرض کانال دیوار منحرف کننده)، شکل دیواره ساحلی، شکل و ارتفاع آستانه و شکل پایین دست بندر در منطقه سکون می‌باشد (۶، ۷، ۸ و ۱۷).

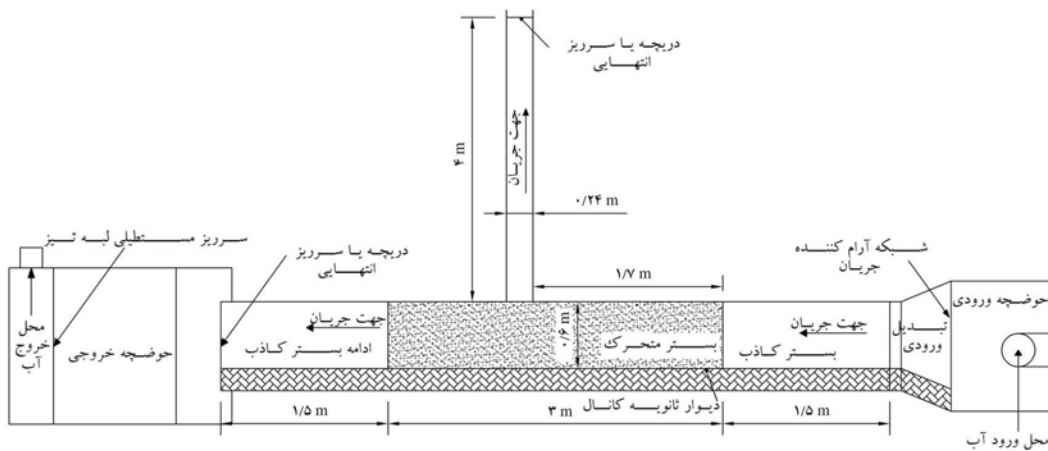
هدف از این تحقیق، با توجه به شناخت الگوی جریان در دهانه آبگیر و عوامل مؤثر در رسوب گذاری و کاهش عملکرد آبگیر، معرفی سیستم دیوار منحرف کننده جریان-آستانه به عنوان



شکل ۲- سیستم دیوار منحرف کننده جریان و اجزای تشکیل دهنده آن (۷ و ۱۷)



شکل ۳- گرداب تولید شده توسط دیوار منحرف کننده جریان در ورودی بندر (۶)



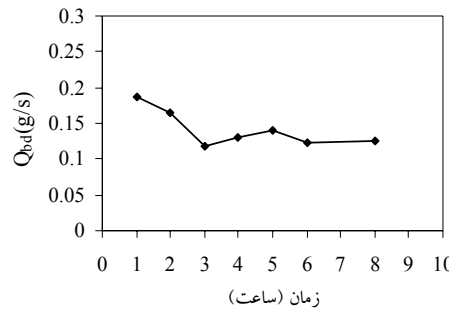
شکل ۴- پلان کانال آزمایشگاهی و آبگیر

زمان نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، شدت رسوبات وارده به آبگیر در ابتدا زیاد بوده و به‌تدریج کاهش یافته و بعد از حدود سه ساعت به مقدار تقریباً ثابتی رسیده است. به منظور اطمینان از به تعادل رسیدن جریان رسوب و داشتن زمان کافی برای برداشت مولفه‌های جریان، مدت زمان پنج ساعت برای انجام آزمایش‌ها انتخاب گردید.

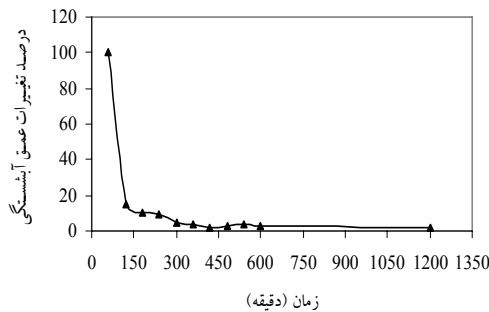
با بررسی درصد تغییرات زمانی عمق حفره آبستنگی پایین‌دست (شکل ۶)، می‌توان گفت زمانی به‌عنوان زمان تعادل عمق آبستنگی انتخاب شده که تغییرات عمق آبستنگی در یک ساعت کمتر از پنج درصد عمق حفره آبستنگی است. در کلیه آزمایش‌ها شرایط هیدرولیکی مشابه هم بود تا بتوان نتایج را مقایسه کرد. در آزمایش‌های اصلی، عملکرد سیستم دیوار منحرف‌کننده 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. با توجه به تعداد زیاد پارامترهای موثر در ورود رسوبات به آبگیر، از روش آنالیز ابعادی برای بی‌بعد کردن پارامترها و تعیین مراحل آزمایش‌ها استفاده شد. در این تحقیق پارامترهای موثر شامل موارد زیر می‌باشند:

$$f(Q_{bd}, Q_{bm}, Q_{mv}, Q_d, V, V_c, y_{mv}, h_{np}, h_d, S, d_0, \sigma_g, g, t, \rho, \rho_s, \nu, \theta, W_p, W_s, z, \alpha, h_{sill}, l_p, l_s, r, r_p, r_s, H_v, L, \delta_{np}, \delta_s, \alpha, N) = 0$$

گرفت. در هر مورد رقم اول از سمت چپ بیانگر درصد خروجی از انتهای کانال اصلی و رقم دوم بیانگر درصد دبی کانال فرعی می‌باشد و نسبت ۲۰-۸۰ با نسبت آبگیری ۰/۲ یکسان می‌باشد. در انتهای هر آزمایش با جمع آوری رسوبات داخل آبگیر و سپس خشک کردن و توزین آنها، حجم رسوب ورودی به کانال آبگیر تعیین شد. متوسط دبی رسوبات ورودی به آبگیر با توجه به زمان آزمایش تعیین شد. آزمایش‌ها با سرعت نسبی جریان $V/V_c = 1-1/1$ (سرعت متوسط جریان و V_c سرعت بحرانی آستانه حرکت ذرات) انجام گرفت و تا زمانی ادامه یافت که بستر به حالت تعادل رسیده باشد. حالت تعادل یا مدت زمان آزمایش‌ها به گونه‌ای انتخاب گردید که هم تغییرات توپوگرافی در محدوده آبگیر به تعادل نسبی برسد و هم شدت رسوب ورودی به کانال آبگیر تغییرات زیادی نداشته باشد (۴). بدین منظور چند سری آزمایش مقدماتی پیوسته و گسسته در بالاترین میزان آبگیری (نسبت آبگیری ۰/۶) انجام گرفت. در سری اول چند آزمایش طولانی مدت پیوسته با مدت زمان ۲۰ ساعت جهت بررسی تغییرات عمق آبستنگی پایین‌دست انجام گرفت و در سری دوم تعدادی آزمایش گسسته با زمان‌های یک تا هشت ساعت جهت بررسی تغییرات دبی رسوب ورودی به آبگیر (Q_{bd}) انجام گرفت. در شکل (۵) تغییرات دبی رسوب ورودی به آبگیر و در شکل (۶) درصد تغییرات زمانی عمق آبستنگی پایین‌دست آبگیر نسبت به



شکل ۵- تغییرات دبی رسوب ورودی به آبگیر نسبت به زمان



شکل ۶- درصد تغییرات عمق آبستنگی پایین‌دست آبگیر نسبت به زمان

زمانی و آزمایشگاهی طول دیوار منحرف کننده ثانویه، شعاع دیوار منحرف کننده اولیه و ثانویه ثابت در نظر گرفته شد. با توجه به طرح دیوار منحرف کننده جریان در بندر و مطالعه حاضر که این سازه در جلوی آبگیر نصب می‌شد، عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه (W_p)، عرض کانال دیوار منحرف کننده ثانویه (W_s) (طول دیوار منحرف کننده اولیه یا موقعیت انتهای آن نسبت به گوشه پایین دست دهانه (عرض شیار پایین دست) Z)، ارتفاع آستانه (h_{sill}) و زاویه نصب دیوار منحرف کننده ثانویه (α) به عنوان متغیرهای مدل انتخاب شدند. در نهایت با استفاده از آنالیز ابعادی π باکینگهام و انجام یک سری محاسبات و در نظر گرفتن پارامترهای ثابت و بی‌تأثیر، پارامترهای بی‌بعد زیر برای بررسی اثر متغیرها بر میزان کاهش رسوب ورودی به آبگیر در نظر گرفته شد:

$$= \text{درصد کاهش رسوب ورودی به آبگیر} \\ f(q_r, W_s / b_d, W_p / b_m, z / b_d, \alpha, h_{sill} / y_m)$$

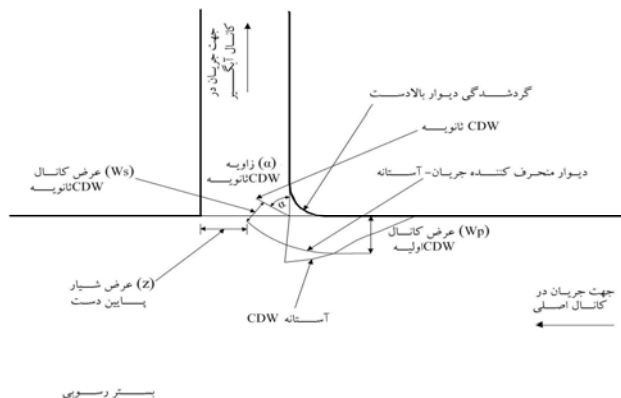
که درصد کاهش رسوب ورودی به آبگیر به صورت نسبت اختلاف دبی رسوب ورودی به آبگیر در حالت بدون سازه و با سازه به حالت بدون سازه ضرب در صد بیان می‌گردد.

در شکل (۷) متغیرهای مدل آزمایش و موقعیت نصب آن در جلوی آبگیر و در شکل (۸) نمونه‌ای از تصویر مدل دیوار منحرف کننده نصب شده در جلوی دهانه آبگیر نشان داده شده است. شایان ذکر است با نصب دیوار منحرف کننده ثانویه عرض دهانه آبگیر به سه شیار (عرض) شامل بالادست (اول)، میانی (دوم) و پایین دست (سوم) تقسیم شد. با توجه به اینکه توصیه خاصی در زمینه پارامتر طول و شعاع دیوار منحرف کننده اولیه و ثانویه وجود نداشت، سعی گردید مقادیری برای شعاع دیوار منحرف کننده اولیه و ثانویه انتخاب شود که انحنای دیوارها مطابق با الگوی جریان آبگیر باشد و تلاطم ایجاد شده حداقل گردد. شعاع انحنای دیوار منحرف کننده اولیه 0.33 متر ($r/b_m = 0.55$) و طول این دیوار در

آن Q_{bd} دبی رسوب ورودی به آبگیر، Q_{bm} دبی رسوب حمل شده در کانال اصلی، Q_m دبی کانال اصلی، Q_d دبی کانال آبگیر، V سرعت متوسط جریان، V_c سرعت بحرانی آستانه حرکت ذرات، y_m عمق جریان در کانال اصلی، b_m عرض کانال اصلی، b_d عرض کانال آبگیر، S شیب کانال اصلی، d_{50} قطر متوسط رسوبات بستر، σ_g انحراف معیار هندسی رسوبات، g شتاب ثقل، t زمان از شروع آزمایش، ρ جرم مخصوص سیال، ρ_s جرم مخصوص رسوبات، v لزوجت سینماتیکی سیال، θ زاویه کانال آبگیر با کانال اصلی، W_p عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه، W_s عرض کانال دیوار منحرف کننده ثانویه، Z عرض شیار پایین دست، α زاویه نصب دیوار منحرف کننده ثانویه نسبت به دیوار

بالادست آبگیر، h_{sill} ارتفاع آستانه دیوار منحرف کننده، l_p طول دیوار منحرف کننده اولیه، l_s طول دیوار منحرف کننده ثانویه، τ شعاع گردشگی دیوار بالادست آبگیر، τ_p شعاع انحنای دیوار منحرف کننده اولیه، τ_s شعاع انحنای دیوار منحرف کننده ثانویه، H_v ارتفاع صفحات مستغرق، L طول صفحات مستغرق، δ_n فاصله عرضی صفحات مستغرق، δ_b فاصله عرضی اولین ردیف صفحات مستغرق از دهانه آبگیر، δ_s فاصله طولی صفحات مستغرق، α_v زاویه صفحات مستغرق با جریان و N تعداد ردیف صفحات مستغرق می‌باشند.

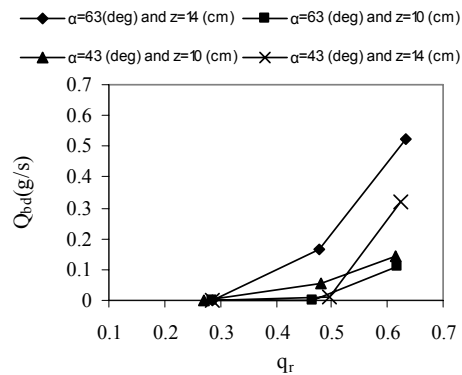
در این تحقیق عرض کانال اصلی و آبگیر، شیب کانال اصلی، ابعاد و آرایش صفحات مستغرق، دانه بندی مصالح بستر، گرد شدگی دیوار بالادست کانال آبگیر ثابت بود. به منظور رسیدن به شرایط جریان یکنواخت در دهانه آبگیر، در دیوار بالادست آبگیر گردشگی اعمال شد. شعاع بهینه گردشگی براساس تحقیقات قبلی برای آبگیر 90° درجه $r/b_d = 0.2 - 0.4$ (b_d عرض کانال آبگیر و r شعاع گرد شدگی) ارائه شده است (۳). ابعاد و آرایش صفحات مستغرق با بهره‌گیری از توصیه‌های تحقیقات انجام شده قبلی انتخاب شد (10° ، 13° و 14°) که شامل $\theta = 20^\circ$ ، $\delta_n/H_v = 3$ ، $\delta_s/H_v = 4$ ، $L/H_v = 3$ ، $H_v/y_m = 0.21 - 0.36$ و $\delta_b/H_v = 3$ بود. در مدل دیوار منحرف کننده به علت محدودیت



شکل ۷- متغیرهای مدل آزمایش و موقعیت نصب آن در جلوی آبگیر



شکل ۸- نمونه‌ای از تصویر مدل دیوار منحرف کننده نصب شده در جلوی دهانه آبیگر



شکل ۹- روند تغییرات دبی رسوب ورودی به آبیگر در نسبت‌های آبیگری مختلف

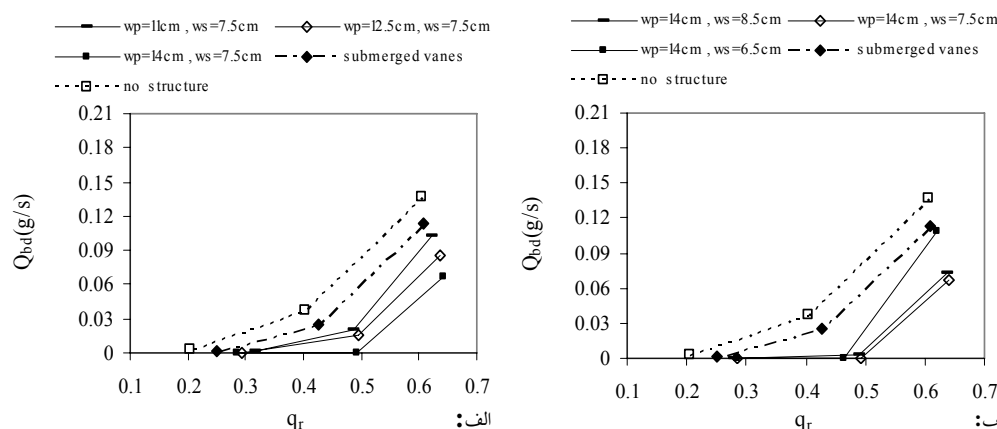
جدول ۱- محدوده تغییرات ابعاد مدل و متغیرهای آزمایش‌های انجام گرفته

متغیر	ارتفاع (h _{SIII})	زاویه (α)	عرض (W _s)	عرض (W _p)	قطر (d ₅₀)	دبی (Q _m)	عمق جریان (y _m)
	آستانه CDW (cm)	CDW ثانویه (درجه)	کانال CDW ثانویه (cm)	کانال CDW اولیه (cm)	مصالح (mm)	جریان در کانال اصلی (Lit/s)	کانال اصلی (cm)
محدوده	۱/۲-۳/۲	۴۳ و ۶۳	۵/۵-۱۰/۵	۱۱-۱۵/۵	۱/۱۴۵	۱۰/۶۷-۲۵/۸۹	۶/۸۵-۱۱/۷
تغییرات							

نتایج و بحث

در شکل (۹) روند تغییرات دبی رسوب ورودی به آبیگر در دبی‌های نسبی مختلف به ازای شرایط فوق ارائه شده است. با توجه به شکل (۹) مشاهده می‌شود که موقعیت انتهایی نصب دیوار منحرف کننده اولیه در $z/b_d = 0/42$ برای هر دو زاویه عملکرد بهتری نشان داده و مقدار رسوب ورودی در زاویه نصب ۶۳ درجه نسبت به زاویه ۴۳ در دبی‌های مختلف کمتر است، بنابراین این زاویه به عنوان زاویه نصب دیوار منحرف کننده ثانویه در آزمایش‌های بعدی انتخاب شد.

محدوده $0/412 - 0/322$ متر متغیر بود. طول دیوار منحرف کننده ثانویه نیز $0/11$ متر و شعاع انحنای آن $0/18$ متر ($r_s/b_d = 0/75$) بود. در جدول (۱) محدوده تغییرات ابعاد مدل دیوار منحرف کننده و متغیرهای آزمایش‌ها ارائه شده است. در طرح اولیه آزمایش‌ها به منظور انتخاب موقعیت مناسب نصب دیوار منحرف کننده ثانویه، آزمایش‌هایی با یک عرض ثابت کانال دیوار منحرف کننده اولیه (۱۴ سانتی‌متر) انجام گرفت و موقعیت نصب دیوار منحرف کننده ثانویه با دو زاویه نصب (درجه ۶۳ و ۴۳) و $\alpha = 0$ و دو عرض کانال دیوار منحرف کننده ثانویه (موقعیت انتهایی دیوار منحرف کننده اولیه، $0/58$ و $0/42$) بررسی گردید.



شکل ۱۰- تغییرات شدت دبی رسوب ورودی به آبگیر با نسبت آبگیری جریان در عرض‌های مختلف کانال دیوار منحرف کننده (الف: اولیه، ب: ثانویه)

آبگیر عمل کرده و تقریباً ورود رسوبات از قسمت بالادست آبگیر حذف می‌گردد. همراه با تشکیل حفره زیر دیوار منحرف کننده اولیه یک حفره کوچک در جلوی آبگیر تشکیل می‌شود. حفره زیر دیوار منحرف کننده اولیه توسعه یافته و به دیوار جلوی آبگیر رسیده و در طول آزمایش همراه با حفره جلوی آبگیر گسترش می‌یافت. شایان ذکر است حفره جلوی دهانه تقریباً در وسط دهانه تشکیل می‌شد.

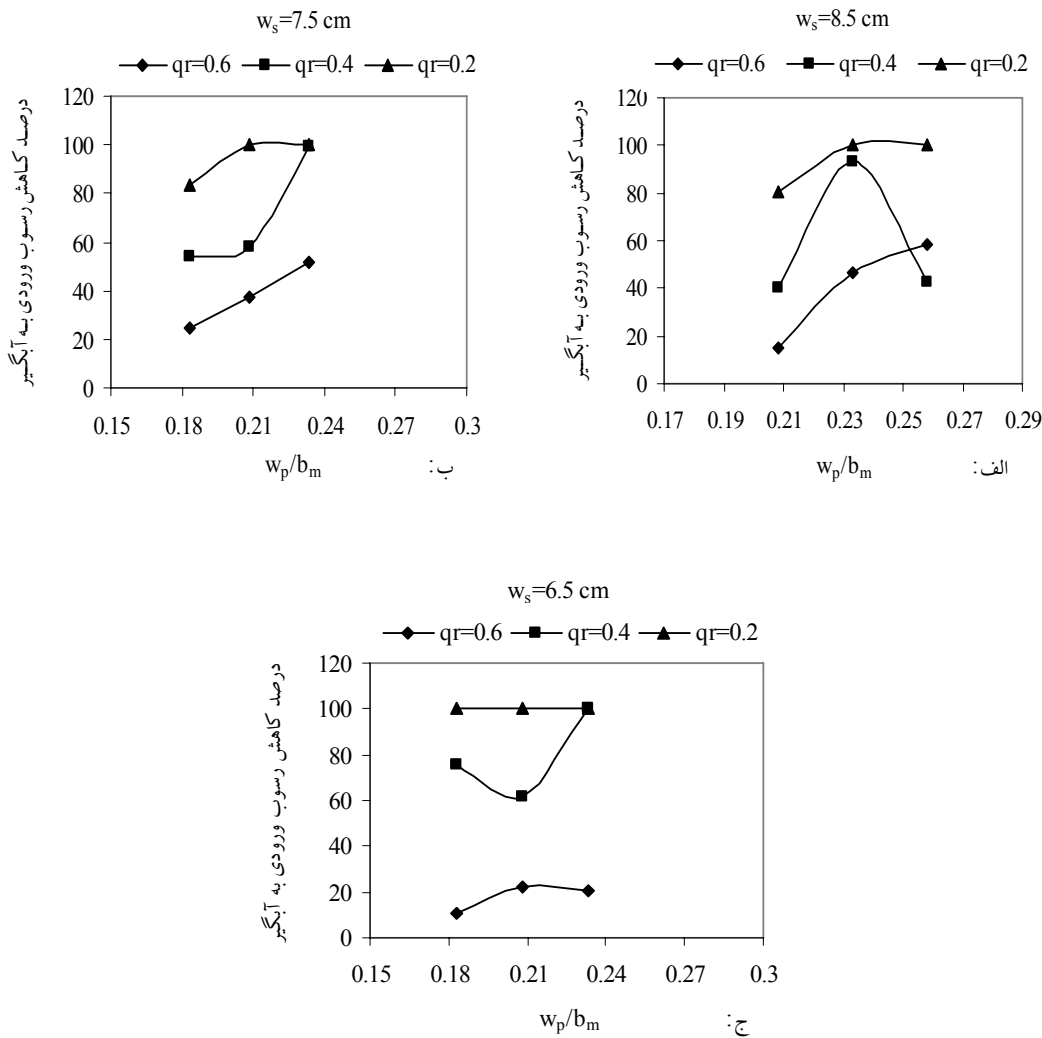
نصب دیوار منحرف کننده ثانویه و ایجاد شیار ثانویه (کانال دیوار منحرف کننده ثانویه) در جلوی دهانه آبگیر در افزایش عملکرد این سازه بسیار موثر بود، به طوری که در نسبت آبگیری ۰/۶ با کاهش اثر گرداب قائم، عمق حفره آبستنگی بالادست (جلوی آبگیر) کم بود و ورود رسوبات نیز کاهش مؤثری داشت و در بهترین شرایط میزان رسوب ورودی به آبگیر در حدود ۶۱/۵ درصد کاهش یافت. حفره آبستنگی پایین دست پایین تر از گوشه پایین دست آبگیر تشکیل گردید و به علت تأثیر جریان عمومی کانال اصلی دارای گسترش طولی بیشتری بود. البته در نسبت آبگیری بالا (۰/۶) رسوب از این قسمت هم وارد آبگیر می‌شد. علاوه بر این ورود رسوب از کانال دیوار منحرف کننده ثانویه و عمدتاً از پشت آن انجام می‌گرفت. در دقایق اولیه آزمایش‌ها (نسبت آبگیری ۰/۶)، رسوبات بیشتر از شیار ثانویه وارد آبگیر می‌شد ولی با گسترش حفره زیر دیوار منحرف کننده اولیه و حفره جلوی دهانه از مقدار رسوب ورودی از شیار ثانویه کاسته می‌شد، به طوری که تقریباً بعد از ۳۰ دقیقه رسوبات بیشتر از شیار سوم یعنی از گوشه پایین دست دهانه وارد آبگیر می‌شد. در نسبت آبگیری پایین (۰/۲) حفره زیر دیوار منحرف کننده اولیه و حفره جلوی دهانه گسترش زیادی داشت و ارتفاع دیوار مصنوعی نیز بیشتر بود. در این حالت تقریباً آبستنگی در گوشه پایین دست اتفاق نمی‌افتاد ولی به علت وجود جریان برگشتی از دهانه آبگیر به داخل کانال اصلی، گسترش طولی حفره جلوی دهانه بیشتر

در شکل‌های (۱۰-الف و ۱۰-ب) روند تغییرات دبی رسوب ورودی به آبگیر (Q_{bd}) در عرض‌های مختلف کانال دیوار منحرف کننده اولیه و ثانویه به صورت نمونه به ازای $W_s=7/5\text{cm}$ و $W_p=14\text{cm}$ برای نسبت‌های آبگیری (q_r) مختلف ارائه شده است. همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، با افزایش نسبت آبگیری میزان رسوب ورودی به آبگیر افزایش می‌یابد و در نسبت آبگیری ۰/۶ ورود رسوب به آبگیر شدت بیشتری داشته است. عملکرد دیوار منحرف کننده جریان تقریباً در تمام مدل‌ها تا نسبت آبگیری ۰/۶ نسبت به صفحات مستغرق بهتر است و به‌طور متوسط، میزان رسوب ورودی به آبگیر در حدود ۵۲/۲ درصد کاهش یافت. همچنین تا نسبت آبگیری ۰/۴ رسوب ورودی به آبگیر حذف شده است و همراه با حذف کامل رسوب ورودی، میزان آبگیری تا حدود ۲۱-۱۴ درصد افزایش داشته است.

با توجه به الگوی جریان آبگیر، نصب مدل دیوار منحرف کننده جریان در کنار دیوار بالادست آبگیر الگوی جریان ورودی به آبگیر را تغییر داده و به طور مؤثری جریان کانال اصلی را به طرف آبگیر هدایت می‌کند. با هدایت جریان به جلوی دهانه آبگیر، قدرت مکشی جریان ورودی به آبگیر کاهش یافته و ورود رسوب به آبگیر به طور مؤثری تقلیل می‌یابد. نصب آستانه به خوبی جریان بار بستر را از جلوی آبگیر دور نموده و به ناحیه مرکزی کانال اصلی هدایت می‌کند. در لحظات اولیه آزمایش یک حفره آبستنگی در امتداد قائم یا خط اثر دیوار منحرف کننده اولیه (زیر دیوار منحرف کننده اولیه) شروع به تشکیل شدن می‌کند و به علت جریان‌های چرخشی در پایین دست دیوار منحرف کننده اولیه یک دیوار مصنوعی هم راستا با دیوار منحرف کننده اولیه ایجاد می‌شود. این پشته یا دیوار مصنوعی تقریباً از قسمت نوک انتهای آستانه دیوار منحرف کننده شروع و تا نزدیکی‌های گوشه پایین دست دهانه آبگیر امتداد می‌یابد. این دیوار مصنوعی همراه با آستانه نصب شده به خوبی در کنترل رسوب بار بستر ورودی به

مشاهده می‌شود، با افزایش عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه ورود رسوبات به آبیگر کاهش یافته است. در $W_s=8/5\text{cm}$ برای نسبت آبیگری $0/2$ (شکل ۱۱-الف)، به ازای عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه $14/5$ سانتی‌متر، رسوبی وارد آبیگر نشده است. در همین عرض کانال دیوار منحرف کننده ثانویه به ازای نسبت آبیگری $0/4$ ، $W_p=14\text{cm}$ بهترین عملکرد را نشان داده است و رسوب بسیار ناچیزی وارد آبیگر شده است. در $7/5\text{cm}$ و $6/5$ (شکل ۱۱-ب و ۱۱-ج) و برای نسبت آبیگری $0/2$ به ازای عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه $12/5$ و 14 سانتی‌متر، رسوبی وارد آبیگر نشده است. در این دو عرض کانال دیوار منحرف کننده ثانویه (W_s) نیز به ازای نسبت آبیگری $0/4$ ، $W_p=14\text{cm}$ بهترین عملکرد را نشان داده است.

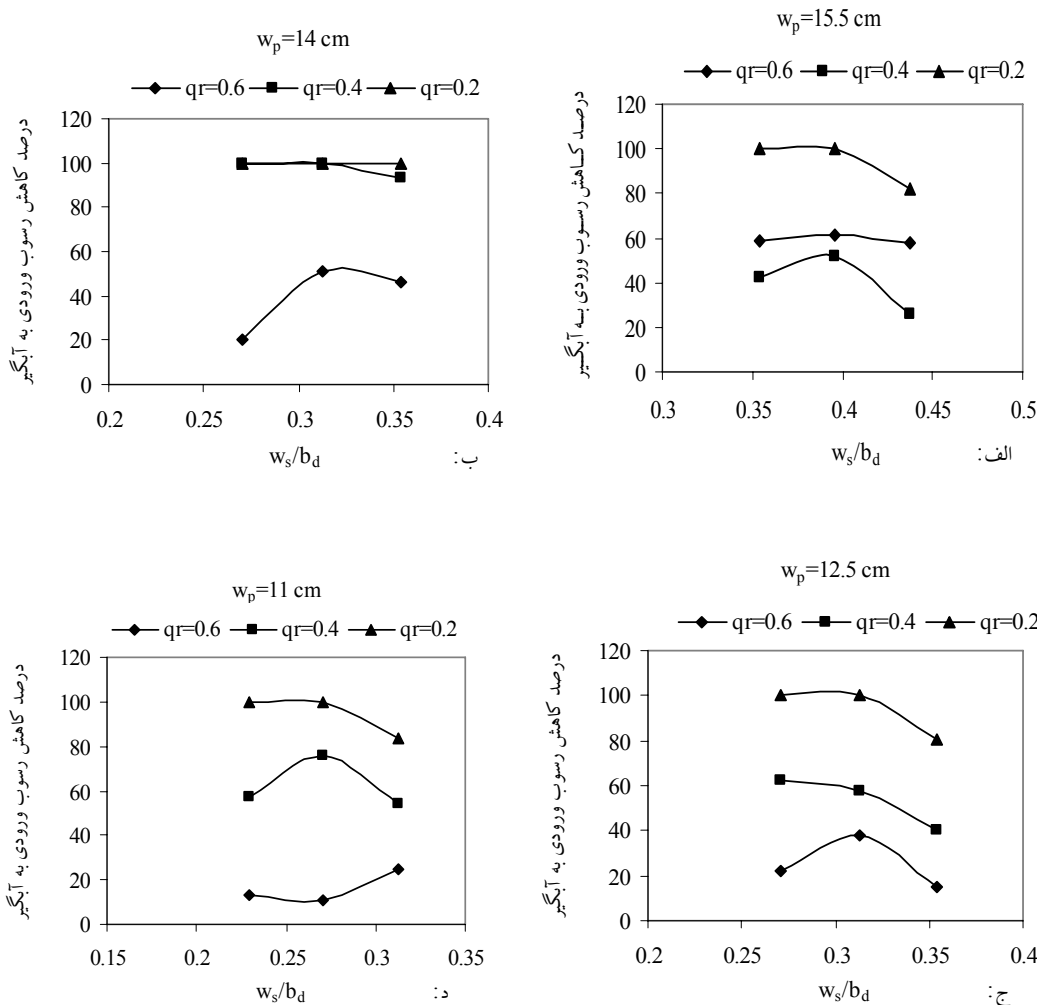
می‌شد. رسوبات وارد شده به آبیگر در کنار دیوار بالادست آبیگر به صورت طولی با فاصله زیاد از دهانه آبیگر (تقریباً سه برابر عرض دهانه) و با ارتفاع کم ته‌نشین شدند. الگوی رسوب‌گذاری به صورت نامتقارن بود و به صورت یک پشته باریک از کناره دیوار بالادست شروع و تا محور مرکزی کانال آبیگر در فاصله دور از دهانه کشیده می‌شد. به علت سرعت زیاد جریان وارد شده از شیار ثانویه، رسوبات وارد شده از شیار سوم هم امکان ته‌نشین شدن در محدوده دهانه آبیگر را نداشتند و تقریباً رسوبی در جلوی دهانه آبیگر و به‌خصوص در ناحیه گردابی ته‌نشین نمی‌شد. در شکل‌های (۱۱-الف، ۱۱-ب و ۱۱-ج) تأثیر عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه در کاهش رسوب ورودی برای سه عرض کانال دیوار منحرف کننده ثانویه و نسبت‌های آبیگری مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها



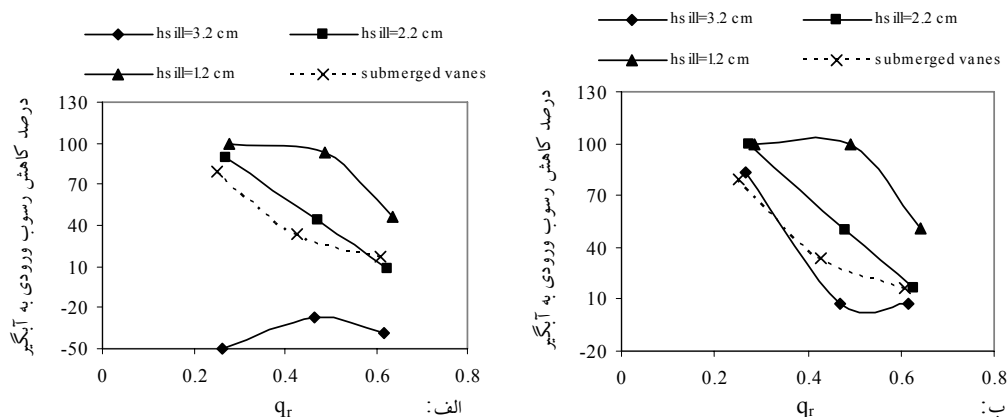
شکل ۱۱- تأثیر عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه (W_p/b_m) روی کاهش رسوب ورودی به آبیگر در W_s مختلف

کننده ثانویه در کاهش رسوب ورودی برای چهار عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه و نسبت‌های آبگیری ارائه شده است. در $W_p=15/5\text{cm}$ (شکل ۱۲-الف) به ازای عرض‌های کانال دیوار منحرف کننده ثانویه ۸/۵ و ۹/۵ سانتی‌متر، درصد کاهش رسوب ورودی به آبگیر روند ثابتی دارد و سپس سیر نزولی پیدا می‌کند. در همین عرض‌های کانال دیوار منحرف کننده ثانویه و به ازای نسبت آبگیری ۰/۲ رسوبی وارد آبگیر نشده است. در $W_p=14\text{cm}$ (شکل ۱۲-ب) و برای نسبت آبگیری ۰/۲ و ۰/۴، تقریباً به ازای تمام عرض‌های کانال دیوار منحرف کننده ثانویه، رسوبی وارد آبگیر نشده است. در این حالت برای نسبت آبگیری ۰/۶ روند افزایشی نرخ کاهش ورود رسوب را نشان می‌دهد. در $W_p=12/5\text{cm}$ (شکل ۱۲-ج) به ازای عرض‌های کانال دیوار

در مجموع تا نسبت آبگیری ۰/۴، عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه برابر ۱۴ سانتی‌متر به ازای تمام عرض‌های کانال دیوار منحرف کننده ثانویه بهترین عملکرد را نشان داده است، یعنی در این شرایط تقریباً رسوبی وارد آبگیر نشده است. شایان ذکر است همراه با حذف کامل رسوب ورودی میزان آبگیری تا حدود ۲۱-۱۴ درصد افزایش داشته است. به نظر می‌رسد با افزایش عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه و قرار گیری نوک انتهایی دیوار منحرف کننده اولیه در موقعیت مکشی دهانه، قدرت جریان گردابی قائم در گوشه پایین‌دست و جریان گردابی افقی داخل آبگیر کاهش یافته است. همچنین با افزایش درصد آبگیری عملکرد پارامتر W_p در کاهش رسوب ورودی کاهش یافته است. در شکل‌های (۱۲-الف الی ۱۲-د) تأثیر عرض کانال دیوار منحرف



شکل ۱۲- تأثیر عرض کانال دیوار منحرف کننده ثانویه (w_s/b_d) روی کاهش رسوب ورودی به آبگیر در W_p مختلف



شکل ۱۳- تأثیر ارتفاع آستانه بر رسوب ورودی به آبگیر در نسبت‌های آبگیری مختلف

($W_p=14\text{ cm}$ ، الف: $W_s=8/5\text{ cm}$ و ب: $W_s=7/5\text{ cm}$)

نتیجه گیری

در این تحقیق عملکرد سیستم دیوار منحرف کننده 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. نتایج حاصل نشان داد در طرح اولیه دیوار منحرف کننده جریان با زاویه نصب 63° درجه برای دیوار منحرف کننده ثانویه رسوب کمتری وارد آبگیر شد. با افزایش دبی آبگیری میزان رسوب ورودی به آبگیر افزایش می‌یابد و در دبی آبگیری بالاتر ورود رسوب به آبگیر شدت بیشتری داشته است. نصب آستانه به خوبی جریان بار بستر را از جلوی آبگیر دور نموده و به ناحیه مرکزی کانال اصلی هدایت کرد. در لحظات اولیه آزمایش یک حفره آبستگي در امتداد قائم یا خط اثر دیوار منحرف کننده اولیه (زیر دیوار منحرف کننده اولیه) شروع به تشکیل شدن می‌کند و به علت جریان‌های چرخشی در پایین دست دیوار منحرف کننده اولیه یک دیوار مصنوعی هم راستا با دیوار منحرف کننده اولیه ایجاد می‌شود. این دیوار مصنوعی همراه با آستانه نصب شده به خوبی در کنترل رسوب بار بستر ورودی به آبگیر عمل کرده و تقریباً ورود رسوبات از بالادست آبگیر حذف می‌گردد. الگوی رسوب‌گذاری در داخل کانال آبگیر نامتقارن بود و به صورت یک پشته باریک از کناره دیوار بالادست شروع و تا محور مرکزی کانال آبگیر در فاصله دور از دهانه کشیده می‌شد. به علت سرعت زیاد جریان وارد شده از شیار ثانویه، رسوبات وارد شده از شیار سوم هم امکان ته‌نشین شدن در محدوده دهانه آبگیر را نداشتند و تقریباً رسوبی در جلوی دهانه آبگیر و به‌خصوص در ناحیه گردابی ته‌نشین نمی‌شد. با افزایش عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه ورود رسوبات به آبگیر کاهش یافت. عملکرد دیوار منحرف کننده جریان تقریباً در تمام مدل‌ها تا نسبت آبگیری $0/6$ نسبت به صفحات مستغرق بهتر است و در مجموع تا نسبت آبگیری $0/4$ ، عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه برابر 14 cm

منحرف کننده ثانویه $6/5$ و $7/5$ سانتی‌متر، روند مشابه حالت $W_p=15/5\text{ cm}$ وجود دارد. در همین عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه و به ازای نسبت آبگیری $0/2$ تا $W_s=7/5\text{ cm}$ رسوبی وارد آبگیر نشده است. مقایسه شکل‌های (۱۲-الف، الی ۱۲-د) نشان می‌دهد که طرح دیوار منحرف کننده جریان نسبت به پارامتر عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه حساس است. به نظر می‌رسد با افزایش عرض کانال دیوار منحرف کننده ثانویه و کاهش سرعت جریان عبوری از این کانال، اثر متقابل این پارامتر و عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه عملکرد دیوار منحرف کننده جریان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین با افزایش درصد آبگیری عملکرد پارامتر W_s در کاهش رسوب ورودی کاهش یافته است.

در شکل‌های (۱۳-الف و ۱۳-ب) تأثیر ارتفاع آستانه روی رسوب ورودی به آبگیر در نسبت‌های آبگیری مختلف و در شرایط $W_p=14\text{ cm}$ و به ازای عرض‌های کانال دیوار منحرف کننده ثانویه برابر $8/5$ و $7/5$ سانتی‌متر نشان داده شده است.

همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، با افزایش ارتفاع آستانه عملکرد دیوار منحرف کننده جریان در کنترل رسوب ورودی به آبگیر کاهش می‌یابد و در بدترین شرایط در حالت ارتفاع آستانه برابر با $3/2$ سانتی‌متر، عملکرد صفحات با کاهش حدود 17% درصد مناسب‌تر است. به نظر می‌رسد با افزایش دبی آبگیری، افزایش ارتفاع آستانه به عنوان یک پارامتر منفی عمل می‌کند، به طوری که با کاهش سرعت در لایه‌های نزدیک بستر در جلوی آبگیر و افزایش قدرت مکش جریان عملکرد دیوار منحرف کننده جریان کاهش می‌یابد. همچنین با مقایسه این دو شکل مشاهده می‌شود که عملکرد دیوار منحرف کننده جریان در دو ارتفاع آستانه $1/2$ و $2/2$ سانتی‌متر در هر دو عرض کانال دیوار منحرف کننده ثانویه تقریباً مشابه است.

کننده جریان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با افزایش دبی آبیگری، افزایش ارتفاع آستانه به عنوان یک پارامتر منفی عمل کرد، به طوری که باعث کاهش سرعت در لایه‌های نزدیک بستر در جلوی آبیگر و در نتیجه کاهش عملکرد دیوار منحرف کننده جریان شد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از گزارش نهایی طرح پژوهشی تحت عنوان "کاربرد دیوار منحرف کننده جریان با آستانه در کنترل رسوب ورودی به آبیگر جانبی" می‌باشد که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تبریز اجرا گردیده است.

سانتی‌متر به ازای تمام عرض‌های کانال دیوار منحرف کننده ثانویه بهترین عملکرد را نشان داد، یعنی در این شرایط تقریباً رسوبی وارد آبیگر نشد. به نظر می‌رسد با افزایش عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه و قرارگیری نوک انتهایی دیوار منحرف کننده اولیه در موقعیت مکشی دهانه، قدرت جریان گردابی قائم در گوشه پایین دست و جریان گردابی افقی داخل آبیگر کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان داد، طرح دیوار منحرف کننده جریان نسبت به پارامتر عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه حساس است. به نظر می‌رسد با افزایش عرض کانال دیوار منحرف کننده ثانویه و کاهش سرعت جریان عبوری از این کانال، اثر متقابل این پارامتر و عرض کانال دیوار منحرف کننده اولیه عملکرد دیوار منحرف

منابع

- ۱- دهقانی، ا. ا. ۱۳۸۵. مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب آبیگر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه. رساله دکتری، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- ۲- عباسی، ع. الف. ۱۳۸۲. مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب ورودی به آبیگر جانبی در مسیر مستقیم. رساله دکتری، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- ۳- کرمی مقدم، م. ۱۳۸۶. تعیین شعاع یا گردشگری پهنه در دهانه ورودی آبیگر ۵۶ و ۹۰ درجه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز.
- ۴- منتصری، ح.، قدسیان، م.، شفیع‌فر، م.، صالحی نیشابوری، ع. ا. و ا. ا. دهقانی. ۱۳۸۷. مطالعه آزمایشگاهی میدان جریان و آبستتگی در قوس ۱۸۰ درجه با حضور آبیگر جانبی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پانزدهم، شماره دو، صفحات ۱۸۹-۱۷۹.
- 5- Barkdoll, B., Ettema, R. and A. J. Odgaard. 1999. Sediment control at lateral diversions: Limits and enhancements to vane use. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE.*, 125(8): 862–870.
- 6- Hofland, B., Christiansen, H., Crowder, R. A., Kirby, R., Van Leeuwen, C. W. and J. C. Winterwerp. 2001. The current deflecting wall in an estuarine harbor. *Proceedings of 29th IAHR Congress. International Association for Hydraulic Research. Delft. The Netherlands.* 613–621.
- 7- Kuijper, C., Christiansen, H., Cornelisse, M. and J. C. Winterwerp. 2005. Reducing harbor siltation. II: Case Study of Parkhafen in Hamburg. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE*, 131 (6): 267–276.
- 8- Leeuwen, S. and B. Hofland. 1999. The current deflecting wall in a tidal harbour with density influences. M.Sc. Thesis, Delft University of Technology.
- 9- Muste, M. and R. Ettema. 2000. River-sediment control at Conesville power station, on the Muskingum River, Ohio. Report. No. 410. Iowa Institute of Hydraulic Research. The University. of Iowa, Iowa City, Iowa.
- 10- Nakato, T., Kennedy J. F. and D. Bauerly. 1990. Pump-station intake shoaling control with submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE.*, 116 (1): 119–128.
- 11- Neary, V. S. and A. J. Odgaard. 1993. Three-dimensional flow structure at open-channel divisions. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE.*, 119 (11): 1223–1230.
- 12- Neary, V. S. Sotiropoulos, F. and A. J. Odgaard. 1999. Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE.*, 125 (2): 126–140.

- 13- Odgaard, A. J. and Y. Wang. 1991a. Sediment management with submerged vanes. I: Theory. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE., 117 (3): 267–283.
- 14- Odgaard, A. J. and Y. Wang. 1991b. Sediment management with submerged vanes. II: Applications. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE., 117 (3): 284–302.
- 15- Smith, T. J., Kirby, R. and H. Christiansen. 2001. Entrance flow control to reduce siltation in a tidal basin. Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes. W. H. McAnally and A. J. Mehta, eds. Elsevier. Amsterdam. 459–484.
- 16- Razavan, E. 1989. River intakes and diversion dams. Elsevier, Science Publishing Company Inc., New York, NY., 10010.USA.
- 17- Winterwerp, J. C., Eysink, W. D., Kruiningen, F. W., Christiansen, H., Kirby, R. and T. J. Smith. 1994. The current deflecting wall: A device to minimise harbor siltation. Dock Harbour Auth., 74 (849): 243–247.