

امکان سنجی کاهش سطح صفحات مستغرق با حفظ کارایی در قوس رودخانه

حسین حبیبی¹، علیرضا مسجدی^{2*}، محمد حسین پورمحمدی³، امیر عباس کمان بدست⁴، امین بردبار⁴

1- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز

2- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز

3- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر

4- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز

*drmasjedi.2007@yahoo.com

چکیده - قوس خارجی رودخانه یکی از مناسبترین مکان‌ها برای آبیگری است. در شرایط سیلابی، رسوبات با جریان انحرافی وارد آبیگرهای جانبی شده و مشکلاتی را همچون تجمع رسوبات در ورودی کانال و در پایین دست آبیگر به وجود می‌آورند و موجب کاهش ظرفیت آبیگری از رودخانه می‌شوند. یکی از روش‌های کارآمد و مؤثر در کاهش رسوب ورودی به آبیگرها، استفاده از صفحات مستغرق می‌باشد. در تحقیق حاضر با استفاده از یک فلوم آزمایشگاهی با قوس 180 درجه ملایم که عملکرد آن با رفتار اکثر خم‌های رودخانه‌های ممانداری همچون کارون مطابقت دارد، امکان کاهش سطح صفحه مستغرق و کاهش آبشستگی پای این‌گونه صفحات با حفظ کارایی آن‌ها به صورت فیزیکی مدل‌سازی گردید. صفحات در چهار شکل متفاوت شامل مستطیلی ساده و سه صفحه مستطیلی دیگر که با ایجاد بریدگی در لبه‌ی ابتدایی با زوایای 30، 45 و 60 درجه اصلاح شده‌اند، به صورت جداگانه و در آرایش دو ردیفه در موقعیت 110 درجه در مقابل دهانه آبیگر که با زاویه 45 درجه به کانال اصلی متصل می‌باشد، تحت شرایط هیدرولیکی یکسان مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش زاویه بریدگی لبه‌ی ابتدایی صفحات مستغرق (θ)، از عمق آبشستگی پای صفحات کاسته می‌شود. در زاویه استقرار 30 درجه و برای صفحات مستغرق با θ برابر 60 درجه، تا دبی نسبی انحرافی در واحد عرض 0/25، کارایی و عملکرد صفحات مستغرق، علی‌رغم حدود 29 درصد کاهش سطح صفحه مستغرق، حفظ شده، ضمن آنکه عمق آبشستگی پای صفحات نیز حدود 29/4 درصد نسبت به صفحات مستطیلی ساده کاهش یافته است.

کلیدواژگان: آبشستگی، صفحات مستغرق، خم رودخانه، بار بستر.

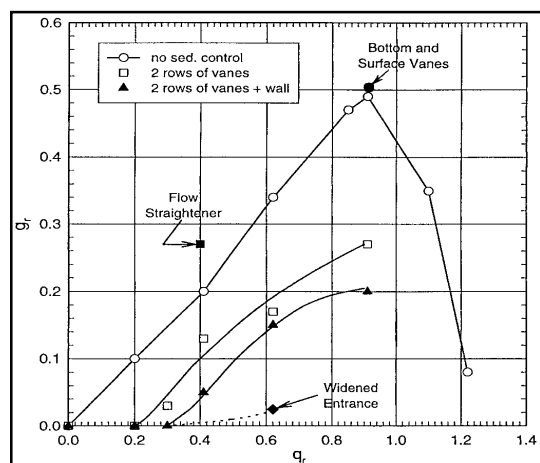
1- مقدمه

استفاده از صفحات مستغرق، از روش‌های جدید اصلاح الگوی جریان نزدیک بستر و توزیع مجدد رسوبات در امتداد عرضی رودخانه‌ها می‌باشد که اصول طراحی و تئوری آن‌ها در دهه‌های اخیر توسعه داده شده‌است. این صفحات به منظور حفاظت سواحل رودخانه در برابر فرسایش، تعمیق بستر و تثبیت خط القعر رودخانه‌های آبرفتی و ممانعت از ورود رسوبات به سازه‌های آبیگر مورد

استفاده قرار می‌گیرند. رسوبات پیرامون صفحات مستغرق به سبب ایجاد نیروهای مقاوم در برابر جریان و جریان‌های گردابی ناشی از مستقر نمودن صفحات، به تدریج شسته شده و ممکن است با گسترش چاله فرسایش، واژگون گردند. در هنگام وقوع جریانات سیلابی، مشکل آبشستگی موضعی پای صفحات مستغرق می‌بایست مورد توجه خاص قرار گیرد. همچنین افزایش بیشتر زاویه استقرار صفحات مستغرق، موجب تشدید آبشستگی پای آنها می‌گردد.

ثابت بوده است. همچنین، مقدار بهینه‌ی نسبت ارتفاع به عمق جریان بر اساس مطالعات Odgaard and Lee (1984) و Odgaard and Mosconi (1987) که بر پایه‌ی معیار تعادل و توازن بین گشتاور پیشی صفحات مستغرق و گشتاور ناشی از جریانات چرخشی ثانویه در محل خم‌ها بدست آمده، برابر $0/3$ تعیین شد. پیرستانی (1383) با بررسی الگوی جریان در اطراف آبگیرهای جانبی موجود در خم 180 درجه با بستر صلب، موقعیت آبگیری 115 درجه را برای کلیه‌ی اعداد فرود توصیه نموده‌است.

Barkdoll et al. (1999) نشان دادند که در یک آبگیر جانبی 90 درجه، نسبت آبگیری مؤثرترین عامل تأثیرگذار بر نسبت رسوب انحرافی می‌باشد. همچنین نسبت آبگیری با نسبت رسوب انحرافی به دهانه‌ی آبگیر رابطه‌ی مستقیم دارد. با توجه به شکل 1، با نصب صفحات مستغرق، تا هنگامی که نسبت دبی در واحد عرض آبگیر به دبی در واحد عرض کانال اصلی (q_f) از حدود $0/2$ کمتر باشد، $(Q_f=8\%)$ مقدار دبی نسبی رسوب انحرافی (g_f) قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد و برای نسبت‌های آبگیری بیشتر، کارایی صفحات کاهش پیدا می‌کند.



شکل 1 نمودار نرخ رسوب بستر ورودی به آبگیر جانبی Barkdoll et al. (1999)

در تحقیقات انجام شده توسط دهقانی (1385) بر خم 180 درجه، تا نسبت آبگیری 25 درصد، زاویه 115 درجه از خم به عنوان موقعیت مناسب برای احداث آبگیر

صفحات مستغرق در حقیقت مولد جریانات چرخشی می‌باشند و در زوایای نصب بزرگتر، جریان چرخشی قوی‌تری ایجاد می‌نمایند. علی‌رغم جنبه‌ی مثبت نصب صفحات در زاویه‌ی استقرار بزرگتر، Spoljaric (1988) نتیجه‌گیری نموده‌است که زاویه‌ی استقرار کمتر ارجحیت دارد و علت آن ایجاد آبشستگی شدید و غیر قابل قبول در زاویه استقرار بزرگتر در پیرامون صفحات مستغرق می‌باشد. بر اساس مطالعاتی که تاکنون انجام شده‌است، با افزایش زاویه‌ی استقرار صفحات مستغرق، عمق آبشستگی نیز افزایش می‌یابد (Gupta et al., 2010).

تحقیقات انجام شده توسط Odgaard and Kennedy (1983)، Odgaard and Mosconi (1987)، Wang and Mareljus, Johnson et al. (2001)، Odgaard (1993) و Johnson et al. (2003) در زمینه‌ی کاربرد صفحات مستغرق به منظور حفاظت از ساحل و جلوگیری از فرسایش ساحل بوده‌است. همچنین تحقیقاتی توسط Nakato et al. (1990)، Barkdoll et al. (1999)، et al. (2006)، Sاجدی و همکاران (1376)، قلانی و همکاران (1377)، یونسی (1381)، عباسی (1382)، یونسی و همکاران (1383)، اسماعیل ورکی و فرهودی (1388)، آلی و خانجانی (1385)، دهقانی و همکاران (1385)، سیدیان و شفاعی بجستان (1389)، جلیلی و همکاران (1390) و حسن پور و همکاران (1390) به منظور پیشگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی انجام شده‌است. تا به امروز معمولاً به علت سادگی ساخت و اتصال، استفاده از صفحات مستغرق مستطیلی متداول بوده‌است. ابعاد این‌گونه صفحات بر اساس عمق جریان رودخانه تعیین شده و بنابراین ابعاد صفحه ضریبی از عمق جریان می‌باشد.

بر اساس مطالعات Wang and Odgaard (1991a) ارتفاع صفحه در حدود $0/2$ تا $0/4$ عمق جریان و طول صفحه 2 تا $3/3$ برابر ارتفاع صفحه مستغرق می‌باشد. تأثیر شکل و ابعاد صفحات مستغرق مستطیلی بر راندمان و کارایی صفحات توسط Ouyang (2009) با یک مدل عددی بررسی گردید، ولی آبشستگی پای صفحات مستغرق در این مدل لحاظ نشده و سطح صفحات در تمام حالت‌ها

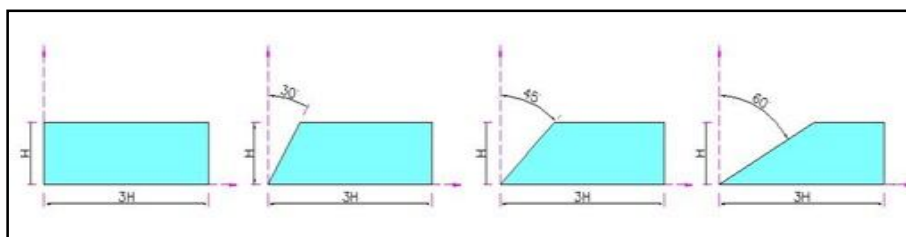
عملکرد صفحات مستغرق با اشکال هندسی متفاوت، مقدار دبی و عمق جریان ثابت و به ترتیب برابر 16 لیتر در ثانیه و 10 سانتی متر انتخاب شد. به منظور بررسی هر چه بهتر عملکرد صفحات مستغرق در ممانعت از ورود رسوبات به آبگیر جانبی، تعداد 4 دبی نسبی انحرافی به ترتیب برابر 6 و 10 درصد (اندکی قبل و بعد از مقدار توصیه شده توسط بارکدال و همکاران (1999) $Q_r=8\%$ و 20 و 30 درصد که به ترتیب معادل q_r برابر 0/15، 0/25، 0/5 و 0/75 می‌باشند انتخاب شد. با توجه به اینکه مهمترین عامل هیدرولیکی به منظور طراحی صفحات مستغرق، عمق جریان در دبی طراحی می‌باشد، لذا با استفاده از نسبت مقدار بهینه‌ی ارتفاع به عمق جریان که مطابق مطالعات Odgaard and Mosconi و Odgaard and Lee (1984) (1987) برابر 0/3 می‌باشد، ارتفاع صفحات (H_v)، 3 سانتی متر انتخاب گردید.

مقدار (L_v) طول صفحات نیز بر اساس مطالعات Odgaard and Wang (1991a) سه برابر ارتفاع و برابر 9 سانتی متر انتخاب شد. شکل صفحات مورد استفاده در این تحقیق با استفاده از مطالعات عزیززی و همکاران (1391) در 4 نوع مختلف که نوع اول آن صفحه‌ی مستطیلی کامل با ابعاد به ترتیب ارتفاع و طول 3 و 9 سانتی متری باشد، ساخته شد. ابعاد صفحات مستغرق نوع دوم، سوم و چهارم نیز مطابق با ابعاد صفحه‌ی مستطیلی نوع یک بوده، ولی با ایجاد یک بریدگی به ترتیب با زاویه‌های 30، 45 و 60 درجه نسبت به امتداد قائم (60 و 45 و $\theta=30$ درجه) در لبه‌ی ابتدایی بالادست صفحه‌ی مستطیلی ساخته می‌شوند (شکل 3). به منظور ساخت صفحات مستغرق از ورق‌های پلکسی گلاس به ضخامت 3 میلی متر استفاده شد.

در تحقیق حاضر به منظور تعیین تعداد صفحات مورد استفاده از توصیه‌های نشریه شماره‌ی 509 معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهوری تحت عنوان راهنمای آبگیری از رودخانه و حفاظت آن استفاده شد. مطابق ضوابط این نشریه، تعداد صفحات به گونه‌ای انتخاب می‌شود که حداقل دو صفحه در بالادست آبگیر و یک صفحه در پایین دست آن وجود داشته باشد.

دیواره‌های این کانال از جنس پلکسی گلاس شفاف ساخته شد. آب از یک مخزن زمینی توسط یک پمپ گریز از مرکز به مخزنی هوایی با هد ثابت در ارتفاع 6 متر از سطح زمین پمپاژ می‌شود. جریان توسط یک شیر کشویی از مخزن هوایی تنظیم شده و به حوضچه آرامش می‌رسد. سپس از روی یک سرریز مثلثی 60 درجه عبور کرده و به درون کانال U شکل منتقل می‌شود. بدین ترتیب شیر فلکه، برای تنظیم ارتفاع آب روی سرریز مثلثی یا همان تنظیم دبی مورد نظر آزمایش، بکار می‌رود. برای تنظیم تراز آب درون فلوم، یک دریچه در انتهای فلوم ساخته شده است. آبگیر جانبی با مقطع مستطیلی شکل، از جنس ورق گالوانیزه سفید به ضخامت 2 میلی متر، عرض 20 سانتی متر، ارتفاع 30 سانتی متر و طول 100 سانتی متر، در موقعیت 110 درجه قوس خارجی کانال U شکل با زاویه‌ی 45 درجه نصب شد (شکل 2). به منظور تنظیم دبی نسبی انحرافی و برای بستن دهانه آبگیر در مواقع لزوم، از دریچه کشویی که به یک اهرم به همراه پیچ و مهره بلند، برای باز و بسته کردن متصل شده بود، استفاده شد. در کانال انحرافی نیز یک حوضچه‌ی آرامش وجود دارد که در بخش انتهایی آن یک سرریز مثلثی 90 درجه نصب شده است. آب عبوری از سرریز کانال انحرافی مجدداً به مخزن زمینی 8000 مترمکعبی ریخته می‌شود (شکل 2).

بستر کانال اصلی از رسوب با دانه‌بندی یکنواخت با قطر متوسط 0/72 میلی متر با انحراف معیار 1/2 و دانسیته‌ی نسبی ظاهری 1/65 کیلوگرم بر مترمکعب به ضخامت حدود 12 سانتی متر پوشیده شد. در این تحقیق معیار ارزیابی کارایی و عملکرد صفحات مستغرق، بررسی و ارزیابی اثر توام نسبت دبی رسوب بار بستر ورودی به آبگیر به دبی رسوب بار بستر ورودی به کانال اصلی و میزان آبستستگی پای صفحات بوده است. در این راستا آزمایش‌ها با ایجاد بار بستر بر روی بستر رسوبی انجام پذیرفت. نظر به اینکه در آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق تزریق رسوب وجود نداشته است، لذا رسوب بار بستر جریان از بازه‌ی بالادست کانال اصلی تامین گردید. به منظور برقراری شرایط یکسان هیدرولیکی برای ارزیابی



شکل 3 طرح شماتیک انواع صفحات مستغرق استفاده شده در این تحقیق

در این تحقیق از یک روش ابتکاری به منظور تعیین میزان آبشستگی و رسوب گذاری پای صفحات مستغرق استفاده گردید. برای این منظور یک صفحه‌ی مدرج میلی‌متری رنگی متناسب با ابعاد بخشی از صفحه مستغرق که درون رسوبات بستر قرار می‌گیرد طراحی، توسط چاپ‌خانه بر روی برگه‌های مخصوص ضد آب چاپ و سپس برش داده شد. صفحات رنگی مدرج یاد شده دارای ضخامت بسیار ناچیز بوده و به منظور جلوگیری از ایجاد حباب هوا و یا عدم چسبندگی لازم، با دقت بسیار زیاد بر روی صفحات مستغرق نصب گردید. به منظور اطمینان از عدم پارگی و ایجاد خراش در هنگام عبور رسوبات از پای صفحات مستغرق، یک ورق برچسب ژلاتینی بسیار نازک مقاوم، بر روی برچسب مدرج ضد آب نصب شد. سپس به مدت یک ماه صفحات مستغرق مدرج شده تحت پرس قرار گرفتند. به این ترتیب عملاً هر یک از صفحات مستغرق علاوه بر کارایی خود در آزمایش‌ها، به خط‌کشی مدرج تبدیل گردید که علاوه بر کاربرد به منظور تنظیم و مسطح نمودن رسوبات مجاور صفحه پیش از شروع هر آزمایش، برای برداشت عمق آبشستگی و ارتفاع رسوب‌گذاری پس از انجام هر آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. بررسی‌های انجام شده نشان دهنده‌ی عملکرد بسیار مناسب و موفق روش فوق در افزایش سرعت و دقت در برداشت داده‌ها می‌باشد، بگونه‌ای که در پایان انجام آزمایش‌ها و علی‌رغم تعداد آنها (تعداد 96 آزمایش با وجود صفحات مستغرق)، هیچگونه مشکلی در چسبندگی برچسب‌های متصل شده به صفحات مستغرق و یا نواقص دیگر مشاهده نگردید (شکل 5).

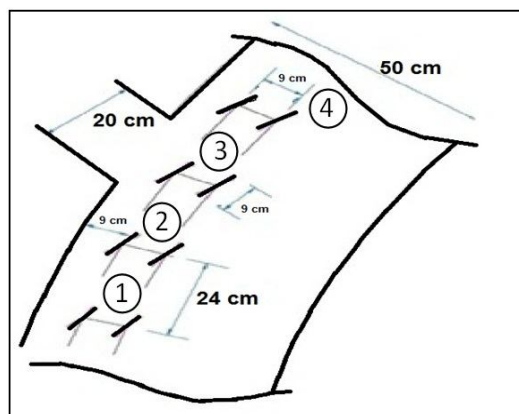
2-2- نحوه انجام آزمایش‌ها

روش انجام آزمایش‌ها به این صورت می‌باشد که هر کدام

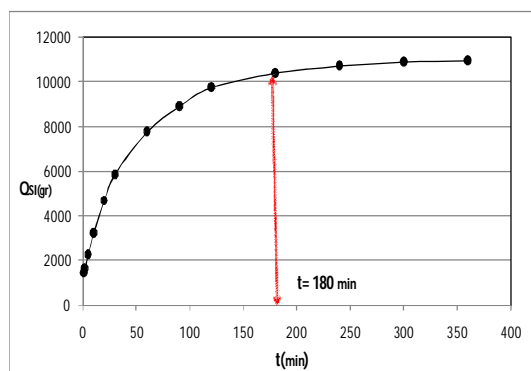
بر این اساس و با توجه به ابعاد صفحات طراحی شده و ابعاد دهانه‌ی آبگیر، دو صفحه در بالادست آبگیر، یک صفحه در پایین‌دست آبگیر و یک صفحه در مقابل آبگیر و در نتیجه چهار صفحه در یک ردیف و در مجموع هشت صفحه در دو ردیف با ابعاد یاد شده طرح شده و ردیف اول در فاصله‌ی 9 سانتی‌متر از دیواره کانال اصلی و ردیف دوم در فاصله‌ی 9 سانتی‌متری از ردیف اول و صفحات در فواصل طولی مرکز به مرکز 24 سانتی‌متر از یکدیگر نصب شدند (شکل 4).

2-1- نحوه تعیین میزان آبشستگی پای صفحات مستغرق

معمولاً به منظور برداشت توپوگرافی رسوبات در فلوم‌های آزمایشگاهی، پس از انجام هر آزمایش، صفحات مستغرق از محل قرارگیری خود خارج می‌شوند که این عامل می‌تواند موجب دست خوردگی توپوگرافی بستر در محل اتصال صفحات گردد. همچنین در صورت عدم خارج نمودن صفحات نیز با توجه به تعدد صفحات مستغرق، امکان بروز خطا در قرائت بویژه در محل قرارگیری آنها وجود خواهد داشت.



شکل 4 نمایی شماتیک از چیدمان صفحات مستغرق



شکل 6 نمودار تعیین زمان تعادل

پس از اتمام فرآیند زهکشی، با استفاده از صفحات مستغرق مدرج شده، میزان آبشستگی بالادست و پایین دست پای هر یک از صفحات قرائت می‌شد (با توجه به تعداد 8 صفحه مستغرق در هر آزمایش 16 داده آبشستگی یا رسوب گذاری قرائت شد).

به منظور دقت هر چه بیشتر در تعیین وزن رسوبات تله اندازی شده عبوری از کانال آبگیر جانبی و انتقالی به پایین دست آبگیر از ترازوی دیجیتالی با دقت $1 \pm$ گرم در محل آزمایشگاه استفاده شد. تعیین وزن رسوبات پس از حذف آب اضافی رسوبات جمع آوری شده انجام می‌شد. در این تحقیق داشتن وزن و حجم رسوبات یکسان بین کلیه آزمایش‌ها به منظور انجام مقایسه‌ی یکسان بین صفحات مستغرق با اشکال هندسی متفاوت بسیار مهم بود و کنترل‌های حجمی-وزنی صورت پذیرفته نشان دهنده‌ی دقت مناسب و خطای بسیار کم در برآورد مقدار رسوبات جایگزین به منظور انجام آزمایش بعدی بود.

2-2-1- تعیین دبی‌های رسوب عبوری

برای تعیین دبی رسوب ورودی به آبگیر جانبی از روش تله‌اندازی رسوبات استفاده گردید. برای این منظور یک توری بسیار ریز بافت در انتهای کانال آبگیر جانبی نصب شد. پس از پایان هر آزمایش، رسوبات تله‌اندازی شده جمع‌آوری گردید. همچنین در پایان هر آزمایش و پس از انجام زهکشی، رسوبات انتقالی به پایین دست آبگیر جانبی در کانال اصلی جمع‌آوری شد. در تمامی این آزمایش‌ها، پس از دفع آب اضافی نمونه‌های رسوب گردآوری شده، وزن رسوبات با ترازوی دقیق دیجیتالی در محل

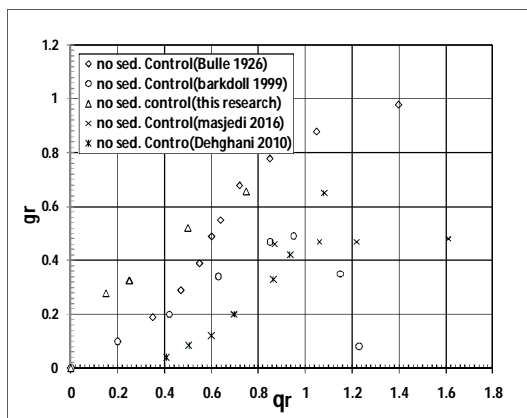
از سری اشکال صفحات یاد شده در هر آزمایش به ترتیب در یکی از 6 زاویه‌ی استقرار 15، 20، 25، 30، 35 و 40 درجه نسبت به خطوط جریان در کانال اصلی و در مقابل دهانه آبگیر به شرح شکل 4 نصب شد. مصالح بستر در تمام آزمایش‌ها یکسان استفاده شد و شرایط هیدرولیکی جریان به گونه‌ای بود که فقط انتقال رسوبات به صورت بار بستر از بالادست باشد. سیستم چرخش آب کانال‌ها به صورت مدار بسته می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری جریان در کانال اصلی و آبگیر جانبی به ترتیب از سرریزهای مثلثی 60 و 90 درجه استفاده شد. در ابتدای هر آزمایش، دریچه‌های کانال اصلی و آبگیر کاملاً بسته بوده و جریان با دبی بسیار کم وارد کانال اصلی می‌شد. پس از اطمینان از عدم جابجایی رسوبات، به آرامی دبی جریان افزایش یافته و در عمق معینی با باز نمودن دریچه‌های کانال اصلی و آبگیر، تنظیم عمق جریان روی 10 سانتی‌متر صورت می‌پذیرفت. مدت زمان هر آزمایش 3 ساعت بود که بر اساس به حداقل رسیدن بار بستر انحرافی به آبگیر جانبی در یک آزمایش نسبتاً طولانی 6 ساعته با دبی نسبی انحرافی حداکثر بدون حضور صفحات مستغرق تعیین شده‌است (شکل 6). این آزمایش نشان داد که در مدت 3 ساعت حدود 95 درصد از رسوب انحرافی وارد آبگیر می‌گردد. در انجام این آزمایش فرض بر این بود که دانه‌ی رسوبی که از بالادست به محدوده‌ی آبگیر جانبی می‌رسد، یا به طرف دهانه‌ی آبگیر منحرف شده و یا به پایین دست آبگیر منتقل می‌شود. پس از پایان زمان تعادل، پمپ خاموش و دریچه‌های کانال اصلی و آبگیر به آرامی بسته و شیرهای زهکش باز می‌شد تا آب موجود در کانال تخلیه شود.



شکل 5 نمایی نزدیک از صفحات مستغرق مدرج شده و نحوه عملکرد آنها در نمایش میزان آبشستگی پای صفحات



شکل 7 صفحات مستغرق در مقابل دهانه آبیگر پس از پایان آزمایش و انجام عمل زهکشی



شکل 8 مقایسه داده‌های تحقیق حاضر با نتایج سایر محققان در شرایط عدم نصب صفحات مستغرق

در شرایط وجود هر یک از سری صفحات مستغرق با اشکال مختلف، با افزایش زاویه‌ی استقرار صفحات، میزان q_r کاهش یافته و در زاویه‌ی استقرار 30 درجه و تا حدود q_r برابر $0/25$ ، این مقدار به حداقل کاهش می‌یابد (شکل 9). بنا براین علی‌رغم کاهش سطح صفحات مستغرق تا حدود 29 درصد، (برای صفحه با زاویه‌ی راس 60 درجه) کارایی صفحات در حذف رسوبات از دهانه‌ی آبیگر حفظ شده است. با افزایش زاویه‌ی استقرار صفحات از 30 تا 40 درجه، مجدداً میزان رسوب انحرافی به سمت دهانه‌ی آبیگر افزایش می‌یابد. در q_r های بیش از $0/25$ با افزایش زاویه‌ی بریدگی لبه‌ی ابتدایی راس صفحات، از میزان کارایی صفحات نسبت به صفحه‌ی مستطیلی شکل در کاهش میزان رسوب انتقالی به سمت دهانه‌ی آبیگر کاسته

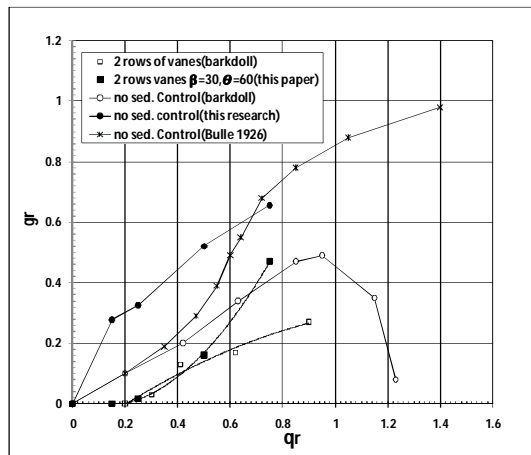
آزمایشگاه، به منظور افزایش دقت محاسبات به روش پیش گفته تعیین و سپس در ظروف مخصوص برای خشک کردن جمع‌آوری و کد گذاری گردید. در نهایت نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه مکانیک خاک منتقل و وزن خشک رسوبات تعیین شد. با داشتن وزن خشک رسوبات تله‌اندازی شده در مدت زمان آزمایش، دبی رسوب ورودی به کانال آبیگر جانبی و از مجموع وزن خشک رسوبات تله‌اندازی شده و انتقالی به پایین دست کانال اصلی در مدت زمان آزمایش، دبی کل رسوبات انتقالی از بالادست در کانال اصلی برای هر یک از آزمایش‌ها تعیین شد. در مجموع در این تحقیق 100 آزمایش شامل 4 آزمایش شاهد (بدون وجود صفحات) و 96 آزمایش با حضور صفحات مستغرق انجام و $1536 (96 \times 16)$ داده‌ی آبخستگی و یا رسوبگذاری پای صفحات برداشت گردید (شکل 7).

3- نتایج و بحث

در تحقیق حاضر، تعداد 100 آزمایش شامل 4 آزمایش شاهد (بدون وجود صفحات مستغرق) و 96 آزمایش با وجود صفحات مستغرق انجام شد. از چهار نوع سری صفحه‌ی مستغرق شامل صفحه مستطیلی شکل، و سه صفحه مستطیلی شکل که در لبه‌ی ابتدایی آن‌ها بریدگی با زوایای 30، 45 و 60 درجه می‌باشد استفاده شد. آزمایش‌ها در شرایط هیدرولیکی یکسان با عمق ثابت 10 سانتی‌متر و با بستر متحرک در کانال قوسی شکل انجام شد.

3-1- بررسی میزان رسوب انحرافی به دهانه‌ی آبیگر جانبی

در شرایط عدم نصب صفحات مستغرق، با افزایش دبی نسبی انحرافی، میزان رسوب انحرافی به سمت آبیگر افزایش می‌یابد. در شکل 8 داده‌های حاصل از این تحقیق در شرایط عدم وجود صفحات مستغرق با داده‌های سایر محققان همچون دهقانی و همکاران (1389)، مسجدی و حلویی فرد (1395)، (Barkdoll et al. (1999) و Bulle (1926) به نقل از Raudkivi (1976) مقایسه شده‌است.



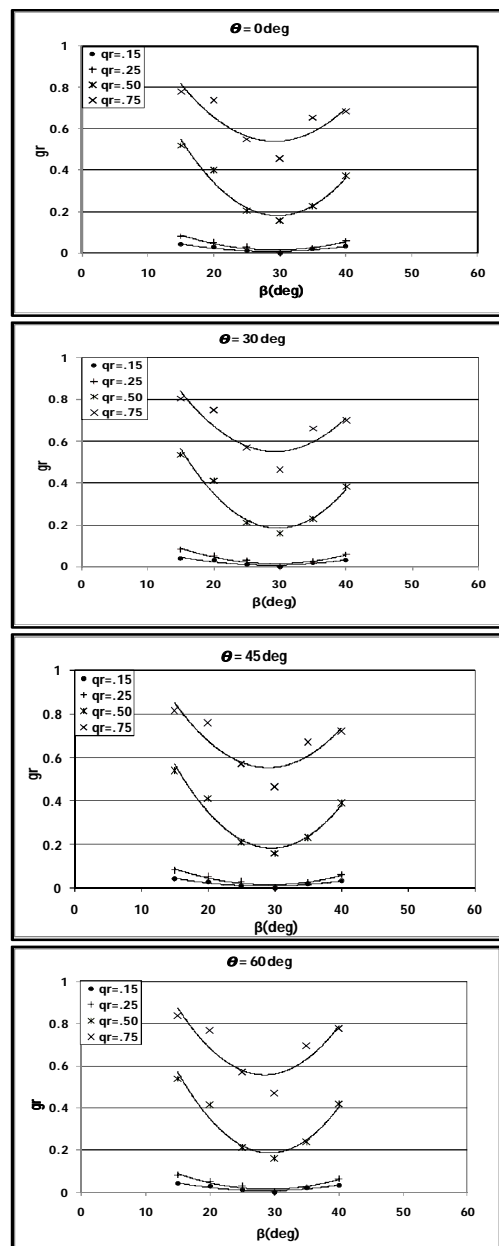
شکل 10 مقایسه داده‌های تحقیق حاضر با سایر محققین در شرایط وجود و عدم نصب صفحات مستغرق

بر اساس نمودارهای ترسیم شده در شکل مذکور، وجود صفحات مستغرق در مقابل دهانه آبگیر جانبی در کانال مستقیم و قوسی شکل، می‌تواند تا q_r مشخصی موجب حذف و تقلیل رسوب بار بستر ورودی به آبگیر جانبی گردد.

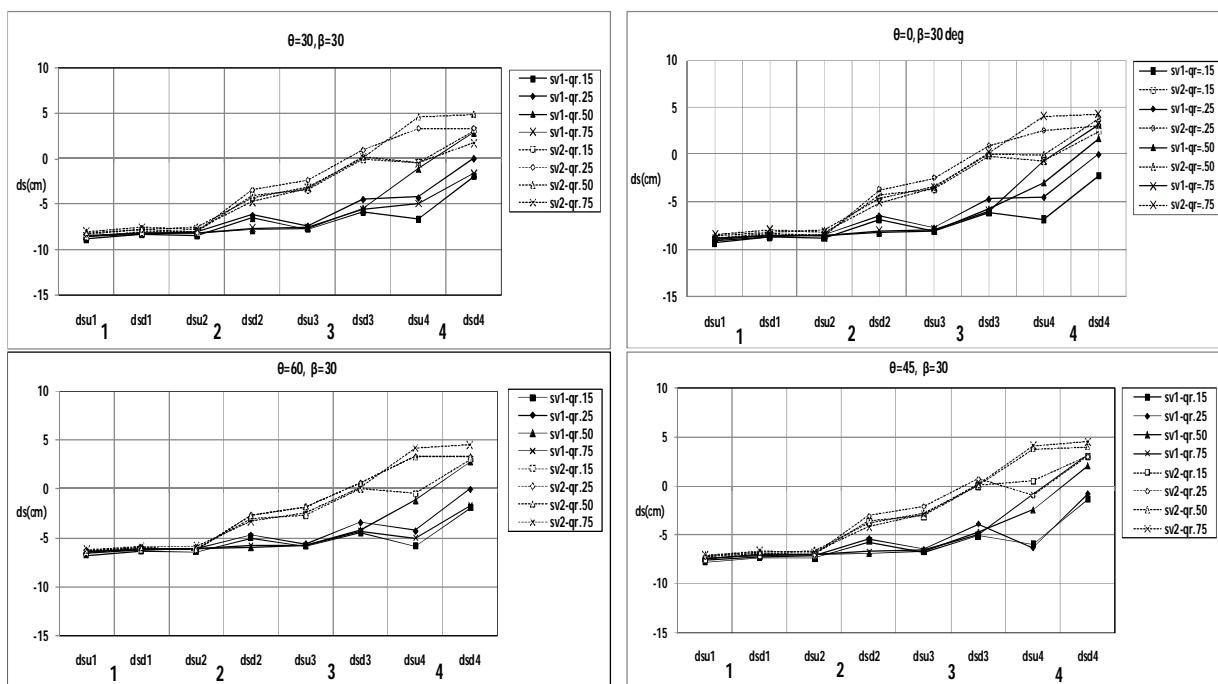
2-3- بررسی میزان آبشستگی پای صفحات مستغرق

نتایج حاصل از روش مورد استفاده در این تحقیق به منظور تعیین میزان آبشستگی پای صفحات مستغرق نشان می‌دهد که در کلیه سری صفحات با اشکال مختلف، صفحات موجود در بالادست و در مقابل دهانه‌ی آبگیر جانبی معمولاً دچار آبشستگی شده و صفحات پایین‌دست دهانه‌ی آبگیر تحت تأثیر رسوب‌گذاری قرار می‌گیرند. چاله‌ی آبشستگی عمدتاً در سمت پر فشار صفحات مستغرق قرار دارد. این موضوع با یافته‌های سایر محققان از جمله عزیزی و همکاران (1391)، مطابقت دارد. اولین صفحه در بخش بالادست آبگیر در هر دو ردیف، بیشترین میزان آبشستگی را نسبت به ردیف خود متحمل شده است و بنابراین در طراحی می‌بایست مورد توجه خاص قرار گیرد. میزان عمق چاله آبشستگی پای صفحات مستغرق ردیف اول که به فاصله کمتر از دیواره فلوم نسبت به ردیف دوم صفحات قرار گرفته‌اند، بیشتر است.

شده و بر این اساس، استفاده از این‌گونه صفحات برای q_r بیش از 0/25 توصیه نمی‌گردد. در شکل 10 داده‌های بدست آمده از تحقیق حاضر در کاربرد صفحات مستغرق با زاویه‌ی راس 60 درجه و زاویه‌ی استقرار 30 درجه با داده‌های بدست آمده از تحقیق (Barkdoll et al. 1999) و Bulle (1926) به نقل از Raudkivi (1976) در شرایط وجود و عدم وجود صفحات مستغرق مقایسه شده‌است.



شکل 9 نمودار تغییرات q_r بر حسب زوایای استقرار صفحات مستغرق برای زوایای راس متفاوت



شکل 11 نمودار آبشستگی موضعی پای صفحات مستغرق موازی برای $\beta=30$ و $\theta=0, 30, 45, 60$ درجه (شماره‌های 1، 2 و 3 و 4 به ترتیب مربوط به صفحاتی می‌باشد که در قسمت بالادست، مقابل و پایین دست آبگیر قرار گرفته‌اند)

به منظور ارزیابی عملکرد و کارایی صفحات مستغرق اصلاح شده (صفحات مستغرق با وجود بریدگی در لبه‌ی ابتدایی راس صفحه) در میزان کاهش آبشستگی ایجاد شده در پای صفحات نسبت به صفحات مستغرق با زاویه‌ی راس صفر (صفحات مستطیلی شکل) از رابطه‌ی (1) استفاده شد:

$$\%D_{sr*} = \left(\frac{ds_0 - ds_\theta}{ds_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، D_{sr*} میزان آبشستگی نسبی بر حسب درصد، ds_0 میزان آبشستگی پای صفحه مستغرق مستطیلی بر حسب سانتی‌متر و ds_θ میزان آبشستگی پای صفحه‌ی مستغرق با زاویه‌ی راس θ بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

استفاده از رابطه‌ی (1) به منظور بررسی میزان درصد کاهش آبشستگی نسبی نشان داد که، با افزایش زاویه‌ی بریدگی در لبه‌ی ابتدایی راس صفحات مستغرق، مقدار آبشستگی پای صفحات اصلاح شده نسبت به صفحات مستطیلی شکل کاهش می‌یابد. در هر زاویه‌ی استقرار صفحات، میزان درصد کاهش آبشستگی نسبی برای هر چهار دبی نسبی انحرافی تقریباً مقداری ثابت است، به

با توجه به محدوده‌ی زوایای استقرار در این تحقیق، بیشترین میزان آبشستگی در زاویه‌ی استقرار 40 درجه و کمترین مقدار آن در زاویه 15 درجه رخ داده است. در شکل 11 نمونه‌ای از نمودارهای چاله آبشستگی پای صفحات ترسیم شده برای زاویه‌ی استقرار 30 درجه و صفحات مستغرق با زوایای راس 0، 30، 45 و 60 درجه ارائه شده است.

3-3- بررسی میزان کارایی صفحات مستغرق اصلاح شده در کاهش میزان آبشستگی

پس از انجام هر آزمایش، بررسی توپوگرافی رسوبات بستر در محدوده‌ی وجود صفحات مستغرق نشان داد که صفحات مستغرق در محدوده بالادست (صفحات مستغرق شماره‌ی 1 و 2) و مقابل آبگیر (صفحات مستغرق شماره‌ی 3) بیشتر دچار آبشستگی شده و صفحات مستغرق پایین‌دست دهانه‌ی آبگیر اکثراً تحت اثر رسوبگذاری قرار گرفته‌اند. لذا به منظور بررسی میزان کارایی صفحات مستغرق اصلاح شده، صفحات شماره‌ی 1، 2 و 3 که بیشتر تحت آبشستگی قرار گرفته‌اند، برای بررسی انتخاب شدند.

کانال اصلی (g_r) و آبشستگی پای صفحات مستغرق انجام شد، دارای نتایج به شرح زیر می‌باشد:

در شرایط عدم وجود صفحات مستغرق، با افزایش دبی نسبی انحرافی، میزان رسوب انحرافی به سمت دهانه‌ی آبگیر افزایش می‌یابد. در شرایط نصب صفحات مستغرق با اشکال مختلف، با افزایش زاویه‌ی استقرار صفحات تا 30 درجه از مقدار g_r کاسته شده و در زاویه‌ی استقرار 30 درجه علی‌رغم کاهش حدود 29 درصد از سطح صفحه با زاویه‌ی راس 60 درجه، رسوب انحرافی به سمت آبگیر تا q_r حدود 0/25 قابل صرفنظر کردن است. با افزایش زاویه‌ی استقرار صفحات میزان آبشستگی پای صفحات افزایش می‌یابد و چاله‌ی فرسایشی در سمت پرفشار صفحه گسترش پیدا می‌کند. با افزایش زاویه‌ی لبه‌ی ابتدایی راس صفحات مستغرق، میزان آبشستگی پای صفحات مستغرق نسبت به صفحات مستغرق مستطیلی کاهش یافته‌است. در زاویه‌ی استقرار 30 درجه، میزان کاهش آبشستگی پای صفحات مستغرق با زاویه‌ی راس 60 درجه نسبت به صفحات مستغرق مستطیلی شکل، 29/4 درصد محاسبه شد. نظر به اینکه در زوایای استقرار کمتر، میزان کاهش آبشستگی موضعی پای صفحات با زاویه‌ی بریدگی لبه‌ی ابتدایی راس نسبت به صفحات مستطیلی شکل بیشتر است، لذا استفاده از روش‌های ترکیبی صفحات مستغرق و پاشنه و یا صفحات مستغرق و دیواره پیشنهاد می‌گردد.

5- فهرست علائم

B	عرض کانال اصلی
b	عرض کانال آبگیر
D_{sr*}	میزان آبشستگی نسبی
dsu	مقدار آبشستگی بالادست صفحه مستغرق
dsd	مقدار آبشستگی پایین‌دست صفحه مستغرق
ds_θ	میزان آبشستگی پای صفحه‌ی مستغرق با زاویه‌ی راس θ
ds_0	میزان آبشستگی پای صفحه مستغرق مستطیلی
g_r	دبی نسبی رسوب انحرافی
H_v	ارتفاع صفحه‌ی مستغرق
L_v	طول صفحه‌ی مستغرق

گونه‌ای که می‌توان مقدار متوسط آن را برای هر زاویه‌ی استقرار تعیین نمود. این بدان معنی‌است که مقدار آبشستگی نسبی در این تحقیق بیشتر متأثر از زاویه‌ی استقرار صفحات و زاویه‌ی لبه‌ی ابتدایی راس صفحه‌ی مستغرق می‌باشد. در جدول 1 مقادیر متوسط درصد کاهش آبشستگی نسبی در برابر میزان درصد سطح کاهش یافته صفحه مستغرق نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از این بررسی، با افزایش زاویه‌ی استقرار صفحات، میزان D_{sr*} کاهش می‌یابد و برای یک زاویه‌ی استقرار مشخص و ثابت با افزایش زاویه‌ی θ مقدار D_{sr*} و $\frac{A_i}{A} \%$ افزایش می‌یابند.

جدول 1 مقادیر متوسط D_{sr*} برای زوایای مختلف استقرار

θ	صفحات نسبت به $\frac{A_i}{A} \%$						
	$\frac{A_i}{A} \%$	$\beta=15$	$\beta=20$	$\beta=25$	$\beta=30$	$\beta=35$	$\beta=40$
0	0	0	0	0	0	0	0
30	10	14/7	12/2	7/9	5/1	1/4	0/22
45	18	28/1	23/9	19/6	18/1	10/9	5/2
60	29	42/9	39/1	31/4	29/4	19	14/4

در جدول 1 نسبت $\frac{A_i}{A}$ درصد میزان کاهش سطح صفحه مستغرق اصلاح شده به سطح صفحه‌ی مستغرق مستطیلی می‌باشد.

نظر به اینکه در تحقیقات سایر محققین ثابت شده است که استفاده از پاشنه در ورودی دهانه‌ی آبگیر موجب کاهش بیشتر رسوب بستر انحرافی به سمت آبگیر می‌گردد، لذا استفاده‌ی توأم صفحات مستغرق و پاشنه می‌تواند موجب کاهش هر چه بیشتر رسوبات انحرافی به سمت آبگیر شود و بر این اساس می‌توان زاویه‌ی استقرار صفحات و در نتیجه میزان آبشستگی پای صفحات مستغرق را کاهش داد.

4- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر که به منظور بررسی امکان کاهش سطح صفحه مستغرق و کاهش آبشستگی پای اینگونه صفحات در قوس رودخانه با بررسی توأم نسبت دبی رسوب بار بستر ورودی به آبگیر به دبی رسوب بار بستر ورودی به

دهقانی، ا. قدسیان، م. صالحی نیشابوری، س.ع.ا. و شفیع فر، م. (1389). "کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در قوس 180 درجه با استفاده از پره‌های مستغرق". مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

رستم آبادی، م. صالحی نیشابوری، س.ع.ا. و زراتی، ا. ر. (1392). "بهینه سازی شاخص‌های هندسی صفحه مستغرق در بستر رسوبی کانال مستقیم با روش تاگوجی و GRA". مجله عمران مدرس، دوره سیزدهم، ویژه‌نامه بهار 1392، صص. 79 - 93.

ساجدی سابق، م.، حبیبی، م. و رحمانیان، م. (1376). "بررسی کاربرد صفحات مستغرق به منظور جلوگیری از رسوب گذاری در داخل نهرهای آبرسانی سیستم پخش سیلاب"، گزارش پایانی طرح تحقیقاتی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.

سیدیان، س. م. و شفعی بجستان، م. (1389). "مقایسه رسوب معلق ورودی به آبگیر با تغییر زاویه دیواره کانال اصلی از قائم، نشریه آب و خاک، جلد 24، شماره 5، صص. 985 - 994.

عباسی، ع. (1382). "مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم". رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

عزیزی ر، (1391). "بررسی اثر شکل بهینه و فاصله‌ی نصب صفحات مستغرق بر الگوی رسوب در بستر کانال". رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز.

عزیزی ر، شفعی بجستان م، قمشی م. و موسوی جهرمی س. ح. (1391). "تأثیر شکل صفحه مستغرق بر آبشستگی موضعی و الگوی رسوب گذاری در کانال‌های آبرفتی"، نشریه‌ی دانش آب و خاک، جلد 22، شماره 2، صص. 67-78.

قلانی، ع. (1377). "بررسی آزمایشگاهی درباره تأثیر زاویه قرارگیری صفحات مستغرق بر عملکرد آنها در مدخل‌های آبگیری از رودخانه". پایان نامه کارشناسی ارشد رشته سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

مسجدی، ع. و حلوائی فرد، م. (1395). "بررسی اثر زاویه صفحات مستغرق در کنترل رسوب به آبگیر جانبی در قوس 180 درجه رودخانه"، نشریه علوم آب و خاک، جلد 20، شماره 78، صص. 29-38.

Q_r	دبی نسبی انحرافی
q_r	نسبت دبی در واحد عرض آبگیر به دبی در واحد عرض کانال اصلی
R	شعاع کانال اصلی
y	عمق جریان در کانال اصلی
$\% \frac{A_i}{A}$	درصد میزان سطح کسر شده صفحه مستغرق با زاویه راس θ به سطح صفحه‌ی مستغرق مستطیلی شکل
β	زاویه‌ی استقرار صفحات مستغرق
θ	زاویه‌ی بریدگی لبه‌ی ابتدایی راس صفحات مستغرق

6- تقدیر و تشکر

از مساعدت مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به منظور قرار دادن امکانات، تسهیلات و کمک‌های مالی در این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

7- منابع

اسماعیل ورکی، م. و فرهودی، ج. (1388). "مطالعه آزمایشگاهی اثر زاویه آبگیری بر مقدار ورود رسوب به دهانه آبگیر در بندهای انحرافی: هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

پور آصف، ف.، بینا، م. و عبدالشاه نژاد، ر. (1384). "تحلیل هیدرولیکی و هندسی خم‌های رودخانه‌های کارون و دز". پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده مهندسی دانشگاه شهید باهنر، کرمان.

پیرستانی، م. (1383). "بررسی الگوی جریان و آبشستگی دردهانه ورودی آبگیر کانالهای دارای انحناء". رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

جلیلی، ح.، حسین زاده، ع. و فرشادی زاده، د. (1390). "تأثیر هندسه آبگیر بر مقدار و الگوی رسوب گذاری در آبگیر جانبی"، مجله پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره نهم، صص. 1-10.

خانجانی، م.، بارانی، غ.، رحمانیان، م. و ساجدی، م. (1378). "بررسی آرایش مکانی صفحات مستغرق برای کاهش رسوبگذاری دردهانه آبگیر بامدل فیزیکی"، مرکز تحقیقات جهادسازندگی تهران، اسفند، شماره 2، صص. 179.

دهقانی، ا.ا. (1385). "مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در قوس 180 درجه". رساله دکتری مهندسی عمران گرایش هیدرولیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

- thermal-power station on a small river". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 132(5): 440-449.
- Nakato T., Kennedy J. F., and Bauerly D. (1990). "Pump station intake-shoaling control with submerged vanes". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 116(1): 119-128.
- Odgaard A.J. and Mosconi C.E. (1987). "Stream bank protection by submerged vanes". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 113(4): 520-536.
- Odgaard, A. J. and Wang, Y. (1991a). "Sediment management with submerged vanes, I: Theory", J. Hydraul. Eng., 117(3), 267-283.
- Odgaard, A.J. and Kennedy, J. F. (1983) "River bend bank protection by submerged vanes". Journal of Hydraulic Engineering 109(8):1161-1173.
- Odgaard, A.J., and Lee H.Y.E. , (1984). "Submerged vanes for flow control and bank protection in streams". IIHR Rep. No. 279, Iowa Institute of Hydraulic Research, University of Iowa, Iowa.
- Ouyang, H. (2009). "Investigation on the dimensions and shape of a submerged vane for sediment management in alluvial channels"; Journal of Hydraulic Engineering. 135(3), 209-217.
- Raudkivi, A. J. (1976). "Loose Boundary Hydraulics". A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. pp. 103-116.
- Spoljaric, A. (1988). "Mechanics of submerged vanes on flat boundaries". PhD Thesis, University of Iowa, Iowa.
- Wang, Y. and Odgaard A.J. (1993). "Flow control with vorticity". Journal of Hydraulic Research 31(4): 549-562
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. (1388). "راهنمای آبخیری از رودخانه‌ها"، نشریه شماره 509.
- یونسی، ح. (1381). "بررسی تأثیر آرایش طولی صفحات مستغرق بر تغییر مورفولوژی بستر رودخانه در مجاورت آبخیرهای ثقلی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- یونسی، ح.، امید، م. و کاشفی پور، م. (1383). "بررسی تأثیر آرایش طولی صفحات مستغرق در یک کانال مستقیم بر توپوگرافی بستر بر افزایش نسبی راندمان آبخیری و کاهش رسوبگذاری در دهانه آبخیرهای ثقلی"، مجله علمی کشاورزی، ویژه‌نامه مهندسی علوم آب، جلد 27، صص. 149-127.
- Barkdoll, D., Ettema, R. and Odgaard, A. J. (1999). "Sediment control at lateral diversions: limits and enhancement to vane use". Journal of Hydraulic Engineering, 125(8): 132-136.
- Gupta U.P. and Sharma N., (2007). "Performance evaluation of tapered vane". Journal of Hydraulic Research. Vol. 45, No. 4, pp. 472-477.
- Gupta U.P., Ojha C. S. P. and Sharma N., (2010). "Enhancing utility of submerged vanes with collar. J. Hydraulic Eng. ASCE 136(9): 651-655.
- Johnson, P.A. , Hey R. D. ,Tessier, M. and Rosgen, D.L. (2001). "Use of vanes for control of scour at vertical wall abutment". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 127(9)772-778.
- Marelius, F. (2001). "Experimental investigation of vanes as a means of beach protection, Coastal Engineering 42:1-16.
- Michell F., Ettema R. and Muste M. (2006). Case study: "Sediment control at water intake for large