

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل هندسی صفحات مستغرق بر جریان حاوی رسوب ورودی به آبگیر جانبی در قوس رودخانه

حسین حبیبی<sup>۱</sup>، علیرضا مسجدی<sup>۲\*</sup>، محمد حسین پورمحمدی<sup>۳</sup>، امیر عباس کمان بدست<sup>۴</sup> و امین بردبار<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران و گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

\*۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، drmasjedi.2007@yahoo.com

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۵- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۵

بازنگری: ۱۳۹۶/۶/۲۷

دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱۳

### چکیده

قوس بیرونی رودخانه، یکی از مناسب‌ترین مکان‌ها به منظور احداث آبگیر می‌باشد. در هنگام وقوع سیلاب، رسوبات با جریان انحرافی وارد آبگیرهای جانبی می‌شوند و مشکلاتی را هم‌چون تجمع رسوبات در ورودی، کانال و در پایین‌دست آبگیر به وجود می‌آورند. یکی از روش‌های کارآمد و مؤثر در کاهش میزان رسوب ورودی به آبگیرها، استفاده از صفحات مستغرق می‌باشد. در تحقیق حاضر با استفاده از یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه ملایم، ابعاد ناحیه گردابی در کانال آبگیر جانبی منشعب از خم رودخانه در شرایط با و بدون حضور صفحات مستغرق با اشکال هندسی متفاوت، تحت شرایط هیدرولیکی یکسان مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد، نسبت آبگیری یکی از عوامل مهم و مؤثر در شکل‌گیری و تعیین ابعاد ناحیه گردابی است. با افزایش این نسبت، طول و عرض نسبی ناحیه گردابی کاهش می‌یابد. ابعاد ناحیه گردابی تا حدودی متأثر از زاویه استقرار صفحات مستغرق می‌باشد، به گونه‌ای که طول و عرض نسبی ناحیه گردابی در مقایسه با حالت بدون وجود صفحات مستغرق، با افزایش زاویه استقرار صفحات به طور متوسط به ترتیب حدود ۵ درصد افزایش و حدود ۷ درصد کاهش یافته است. علی‌رغم ایجاد بریدگی در لبه ابتدایی راس و کاهش تا ۲۹ درصدی سطح صفحات مستغرق، کارایی صفحات در ممانعت از ورود رسوبات به آبگیر جانبی و هدایت جریان سطحی به سمت دهانه آبگیر حفظ شده است.

کلید واژه‌ها: صفحات مستغرق، ناحیه گردابی، رسوب بار بستر، آبگیر جانبی.

به آبگیر نزدیک می‌گردد، به علت فشار مکشی اعمال شده از کانال آبگیر، جریان در جهت عرضی دارای شتاب شده و بخشی از جریان وارد آبگیر جانبی و مابقی جریان در کانال اصلی به پایین دست انتقال می‌یابد (شکل ۱) (Neary et al., 1999).

### مقدمه

یکی از روش‌های قدیمی و ارزان به منظور انحراف آب رودخانه‌ها برای مصارف مختلف، احداث آبگیرهای جانبی ثقیلی است. آبگیری با آبگیرهای جانبی همواره با ورود رسوبات به‌ویژه رسوبات بار بستر به کانال‌ها و سیستم‌های انتقال آب همراه بوده است. هنگامی که جریان

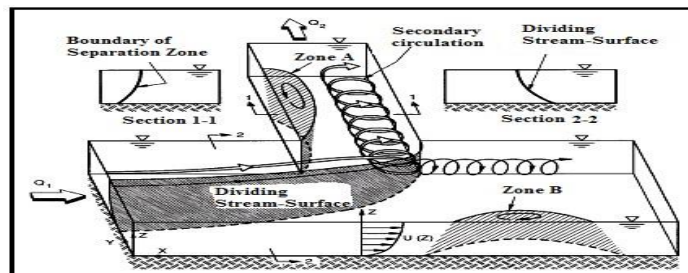


Fig. 1- The flow pattern in lateral intake entrance (Neary et al, 1999)

### شکل ۱- الگوی جریان ورودی به آبگیر جانبی (Neary et al, 1999)

Jalili (2010)؛ Shafaei Bejestan و Davoodi (2011)؛ et al. (2011)؛ Dehghani et al. (2010)؛ و Halvaeifard و Masjedi (2017) را نام برد.

Rostamabadi et al. (2009) با کاربرد معادله‌های سه بعدی ناپیر استوکس و شبیه‌سازی عددی تأثیر صفحات مستغرق بر جریان ثانویه در قوس ۱۸۰ درجه و در مقابل دهانه آبگیر جانبی نشان دادند که جریان ثانویه حول صفحات مستغرق در جهت جریان ثانویه اصلی در قوس بوده و بنابراین با تشدید قدرت جریان ثانویه در مقابل دهانه آبگیر، در انحراف جریان پر رسوب نزدیک کف از مقابل دهانه‌ی آبگیر و انحراف بیشتر جریان‌های سطحی به سمت آبگیر مؤثر می‌باشد. بدین ترتیب آبگیری بیشتر از جریان سطحی با مقدار رسوب کمتر ورودی فراهم خواهد شد. Halvaeifard و Masjedi (2017) مطالعاتی روی اثر زاویه صفحات مستغرق بر دبی نسبی انحرافی در کانال‌های قوسی با حضور صفحات مستغرق انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد نصب صفحات با زاویه ۲۵ درجه عملکرد بهتری نسبت به سایر زوایای نصب صفحات مستغرق داشته است و همچنین زاویه آبگیری ۴۵ درجه با وجود صفحات مستغرق در کلیه آزمایش‌ها (کلیه اعداد فرود و زوایای صفحات مستغرق) بیشترین دبی نسبی را منحرف می‌کند. Azizi et al. (2012) تأثیر برش لبه‌ی ابتدایی صفحات مستغرق مستطیلی بر آب‌شستگی موضعی را با بررسی عملکرد یک صفحه تک و سه صفحه‌ی متوالی در یک زاویه‌ی نصب در بستر کانال مستقیم مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق علی‌رغم ایجاد بریدگی در لبه‌ی ابتدایی صفحه‌ی مستغرق، عملکرد هیدرولیکی صفحات در توزیع عرضی رسوبات کاهش نمی‌یابد. Abbasi و Maleknejad (2014) Yazdi تحلیل ابعاد محدوده‌ی گردابی در ورودی کانال آبگیر و ابعاد آن را در زوایای مختلف آبگیری از مسیر مستقیم در جریان حاوی رسوب مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، ابعاد ناحیه گردابی به نسبت آبگیری و زاویه آبگیر بستگی دارد و تأثیر عدد فرود جریان در کانال اصلی ناچیز بوده است. با افزایش نسبت آبگیری، طول و عرض نسبی ناحیه گردابی کاهش می‌یابد. با کاهش زاویه آبگیری طول ناحیه گردابی افزایش و عرض ناحیه گردابی کاهش می‌یابد (شکل ۲).

مقطع عرضی مجرای جریان به شکل دوزنقه با قاعده بزرگتر در کف می‌باشد. عامل اصلی انتقال بار بستر به کانال آبگیر، گردابه‌های حلزونی عمودی ساعتگرد در کف کانال آبگیر چسبیده به دیواره‌ی کانال می‌باشند. گردابه‌های افقی که در منطقه جدا شده در طول دیواره‌ی داخلی کانال آبگیر تشکیل می‌گردد (منطقه A) باعث تنگ شدگی مقطع کانال جانبی شده و از سطح مقطع مؤثر آبگیر می‌کاهد. این الگوی جریان به گونه‌ای می‌باشد که موجب تجمع رسوبات ورودی به آبگیر جانبی در منطقه A شده و از دبی ورودی به آبگیر می‌کاهد (Neary et al., 1999). قوس خارجی رودخانه‌ها به علت وجود جریان‌های ثانویه و انتقال رسوب به سمت قوس داخلی، محل مناسبی برای احداث آبگیر می‌باشد. وجود جریان‌های حلزونی که ناشی از اندرکنش جریان‌های ثانویه با جریان اصلی و مقاومت بستر می‌باشد، علت اصلی انتقال رسوب بستر به سمت قوس داخلی است. بنابراین چنانچه بتوان جریان‌های ثانویه را در محل احداث آبگیر تشدید نمود، رسوب کمتری وارد آبگیر خواهد شد. استفاده از فن صفحات مستغرق، یکی از روش‌های تولید و تشدید جریان‌های ثانویه می‌باشد و به منظور حفاظت سواحل رودخانه‌ها در مقابل فرسایش، تعمیق بستر رسوبی رودخانه‌ها و ممانعت یا کم نمودن رسوبات ورودی به آبگیر و تأسیسات وابسته به آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل اختلاف فشار در طرف صفحات مستغرق، جریان ثانویه‌ای در اطراف آن‌ها ایجاد می‌گردد که این جریان رسوبات بستر را به درون رودخانه منتقل نموده و یک شیار فرسایشی در جلوی دهانه‌ی آبگیر ایجاد می‌نماید. بنابراین از ورود رسوبات بستر به آبگیر ممانعت به عمل می‌آید (Barkdoll et al., 1995). با توجه به نقش مؤثر این‌گونه صفحات در جلوگیری از ورود رسوبات بستر به دهانه‌ی آبگیرها، استفاده از این روش توسط محققین بسیاری همچون Varma et al (1989)؛ Nakato et al (1990) و Raudkivi (1993) توصیه شده است. در داخل کشور تحقیقات بسیاری پیرامون رفتار جریان در دهانه‌ی آبگیر جانبی با وجود و یا عدم وجود صفحات مستغرق انجام شده است که در این خصوص می‌توان به کارهای انجام شده توسط Sajedi Sabegh و Habibi (2003)؛ Ghalani (1998)؛ Younesi et al. (2003)؛ Abbasi (2003)؛ Alee و Khanjani (2006)؛ Esmaili Varaki (2003) و Farhoudi (2010)؛ Seyedian و Shafaei Bejestan

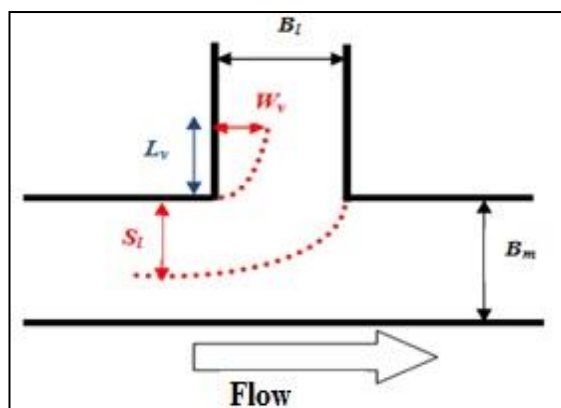


Fig. 2- Effective parameters in lateral intake entrance (Abbasi & Maleknejad Yazdi (2014))  
شکل ۲- پارامترهای مؤثر در ورودی آبگیر (Abbasi & Maleknejad Yazdi (2014))

گردابی ( $W_V$ ). از این پارامترها، پارامترهای ( $Q_I$ )، ( $\theta$ ) و ( $\beta$ ) متغیر بوده و سایر پارامترها ثابت می‌باشند. در شکل (۳) پارامترهای فوق به صورت شماتیک نشان داده شده است. با انتخاب  $\rho$ ،  $V_M$  و  $y$  به عنوان متغیرهای تکراری و با استفاده از تئوری باکینگهام و انجام محاسبات لازم، در نهایت معادله‌های بدون بعد به صورت زیر تعیین گردید:

$$L_r = \frac{L_v}{b} = f(Q_r, F_r, R_e, \beta, \theta) \quad (1)$$

$$W_r = \frac{W_v}{b} = f(Q_r, F_r, R_e, \beta, \theta) \quad (2)$$

در معادله‌های فوق،  $Q_r = \frac{Q_i}{Q_M}$  نسبت آبگیری،  $F_r$  عدد فرود می‌باشد که با توجه به ثابت بودن دبی جریان در کانال اصلی به منظور داشتن شرایط یکسان هیدرولیکی، مقدار آن در کلیه آزمایش‌ها ثابت و برابر  $0.323$  می‌باشد.  $R_e$  عدد رینولدز جریان بوده و نظر به اینکه مقدار آن در کلیه آزمایشات ثابت و برابر  $28800$  می‌باشد، لذا جریان آشفته بوده ( $R_e < 2000$ ) و می‌توان از آن صرف‌نظر نمود.  $L_r$  و  $W_r$  نیز به ترتیب طول و عرض نسبی ناحیه گردابی می‌باشند. سایر پارامترها قبلاً تعریف شده اند. بنابراین معادله‌های (۱) و (۲) را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

$$L_r = \frac{L_v}{b} = f(Q_r, \beta, \theta) \quad (3)$$

$$W_r = \frac{W_v}{b} = f(Q_r, \beta, \theta) \quad (4)$$

در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت شناخت ابعاد ناحیه گردابی در ورودی کانال آبگیر جانبی که موجب تنگ‌شدگی مقطع کانال و در نتیجه کاهش دبی ورودی و افزایش تجمع رسوبات ورودی به آبگیر می‌گردد، و نیز نظر به اینکه تاکنون تحقیق چندانی پیرامون تعیین ابعاد این ناحیه در آبگیرهای جانبی واقع در قوس به عمل نیامده است، نسبت به اندازه‌گیری و مطالعه طول و عرض نسبی ناحیه گردابی در شرایط وجود و عدم وجود صفحات مستغرق با اشکال هندسی مختلف (صفحات مستغرق مورد استفاده در تحقیق Azizi et al. (2012)) پرداخته و نتایج حاصل با نتایج بدست آمده توسط Abbasi و Maleknejad Yazdi (2014) مقایسه شده است.

## مواد و روش‌ها

### آنالیز ابعادی

پارامترهای بسیاری از جمله متغیرهای هیدرولیکی، هندسی و خواص سیال در جریان ورودی به آبگیر جانبی مؤثر می‌باشند. این پارامترها عبارتند از: دبی جریان در کانال اصلی ( $Q_M$ )، دبی جریان در کانال آبگیر ( $Q_I$ )، عمق جریان در کانال اصلی ( $y$ )، سرعت جریان در کانال اصلی ( $V_M$ )، عرض کانال اصلی ( $B$ )، عرض کانال آبگیر ( $b$ )، شتاب ثقل ( $g$ )، دانسیته جریان ( $\rho$ )، لزجت سینماتیکی جریان ( $\nu$ )، زاویه کانال آبگیر با کانال اصلی ( $\alpha$ )، زاویه موقعیت آبگیر در قوس ( $\gamma$ )، زاویه استقرار صفحات مستغرق با جهت جریان ( $\beta$ )، طول صفحات مستغرق ( $L$ )، ارتفاع خارج از بستر صفحات مستغرق ( $H$ )، تعداد ردیف صفحات مستغرق ( $N$ )، فاصله طولی صفحات مستغرق ( $\delta_s$ )، فاصله عرضی صفحات مستغرق ( $\delta_n$ )، فاصله اولین ردیف صفحات مستغرق از کانال اصلی ( $\delta_b$ )، زاویه بریدگی لبه ابتدایی صفحات مستغرق ( $\theta$ )، طول ناحیه گردابی ( $L_v$ ) و عرض ناحیه

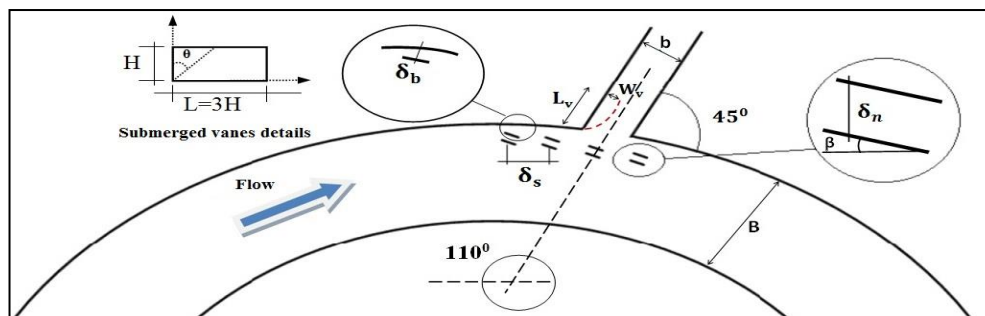


Fig. 3- Effective hydraulic and geometric parameters in lateral intake entrance

شکل ۳- پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مؤثر در جریان ورودی به آبگیر جانبی

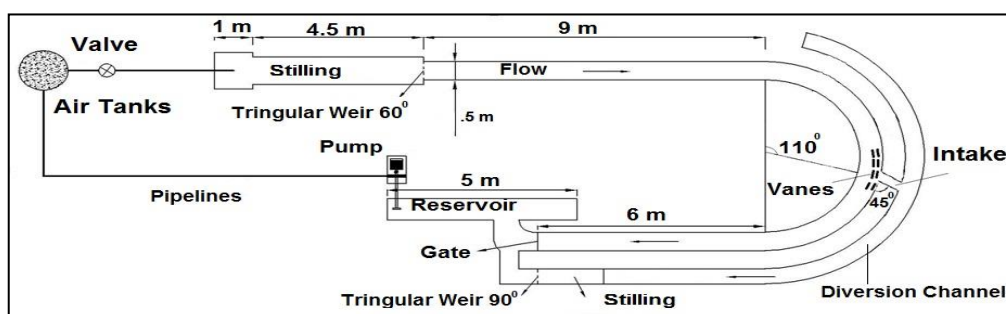


Fig. 4- Schematic plan and bend-shaped flume specifications

شکل ۴- نمای شماتیک و مشخصات قوس فلوم

آبگیر جانبی با مقطع مستطیلی شکل، از جنس ورق گالوانیزه سفید به ضخامت ۲ میلی‌متر، عرض ۲۰ سانتی متر، ارتفاع ۳۰ سانتی متر و طول ۱۰۰ سانتی متر، در موقعیت ۱۱۰ درجه قوس خارجی کانال U شکل با زاویه ۴۵ درجه (Masjedi and Halvaeifard 2017) نصب شد (شکل ۴).

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، جهت باز و بسته کردن متصل شده بود، استفاده شد. در کانال انحرافی نیز یک حوضچه آرامش وجود دارد که در بخش انتهایی آن یک سرریز مثلثی ۹۰ درجه نصب شده است. آب عبوری از سرریز کانال انحرافی مجدداً به مخزن زمینی ۸۰۰۰ مترمکعبی ریخته می‌شود. بستر کانال اصلی از رسوب با دانه‌بندی یکنواخت با قطر متوسط ۰/۷۲ میلی‌متر با انحراف معیار ۱/۲ و دانسیته ۱ نسبی ظاهری ۱/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب به ضخامت حدود ۱۲ سانتی‌متر پوشیده شد. نظر به این که در آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق ترزریق رسوب وجود نداشته‌است، لذا رسوب بار بستر جریان از بازه تثبیت نشده ابتدای کانال اصلی تأمین گردید. برای ایجاد شرایط بستر متحرک می‌بایست نسبت سرعت متوسط جریان به سرعت آستانه حرکت رسوبات بیش از واحد باشد ( $\frac{U}{U_c} > 1$ ). بر این اساس، با

#### تجهیزات آزمایشگاهی و انجام آزمایشات

کانال اصلی فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق با انحنای نسبی  $\frac{R}{B} = 5/6$  در ردیف قوس‌های ملایم طبقه‌بندی می‌گردد. به منظور جلوگیری از ورود امواج متلاطم به قوس، کانال مستقیم ورودی به طول ۹ متر به یک کانال با قوس ۱۸۰ درجه متصل گردید. در ابتدای این کانال به منظور حذف بیشتر تلاطم جریان ورودی و یکنواخت نمودن جریان از یک صفحه‌ی مشبک آرام‌کننده که در فاصله‌ی حدود ۱/۵ متری از حوضچه آرامش نصب شده استفاده شد. این کانال قوسی شکل توسط کانال مستقیم دیگری به طول ۶ متر به دریچه کنترل عمق جریان و سپس مخزن زیرزمینی متصل می‌شود (شکل ۴). دیواره‌های این کانال از جنس پلکسی گلاس شفاف ساخته شد. آب از یک مخزن زیرزمینی توسط یک پمپ گریز از مرکز به مخزنی هوایی با هد ثابت در ارتفاع ۶ 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 ۶۰ درجه عبور و به درون کانال U شکل منتقل می‌شود. از یک شیر فلکه، برای تنظیم ارتفاع آب روی سرریز مثلثی با همان تنظیم دبی مورد نظر آزمایش، به کار می‌رود. جهت تنظیم ارتفاع آب درون فلوم، یک دریچه در انتهای فلوم ساخته شده است.

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 و Lee (1984) و Odgaard و Mosconi (1987) و برابر  $0.3$  می‌باشد، ارتفاع صفحات (H)،  $3$  سانتی‌متر انتخاب گردید. مقدار (L)، طول صفحات نیز بر اساس مطالعات Wang و Odgaard (1991a) سه برابر ارتفاع و برابر  $9$  سانتی‌متر انتخاب شد. شکل صفحات مورد استفاده در این تحقیق با استفاده از مطالعه‌های Azizi et al (2012) در  $4$  نوع مختلف که نوع اول آن صفحه‌ی مستطیلی کامل با ابعاد به ترتیب ارتفاع و طول  $3$  و  $9$  سانتی‌متر می‌باشد 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  $30^\circ$ ،  $45^\circ$  و  $60^\circ$  درجه نسبت به امتداد قائم ( $60^\circ$ ،  $45^\circ$  و  $30^\circ$  درجه) در لبه‌ی ابتدایی بالادست صفحه‌ی مستطیلی ساخته شدند (شکل ۵). همچنین جهت ساخت صفحات مستغرق از ورق‌های پلکسی‌گلاس به ضخامت  $3$  میلی‌متر استفاده شد. سایر ابعاد و مشخصات به کار رفته در این تحقیق در جدول (۱) درج شده است.

انتخاب عمق جریان برابر  $10$  سانتی‌متر و انجام چندین آزمایش اولیه، مطابق مشاهدات آزمایشگاهی، دبی آستانه حرکت رسوبات  $13/5$  لیتر بر ثانیه تعیین شد. لذا در جهت اطمینان از برقراری شرایط بستر متحرک، و به منظور حصول شرایط یکسان هیدرولیکی برای ارزیابی عملکرد صفحات مستغرق با اشکال هندسی متفاوت، مقدار دبی و عمق جریان در کلیه آزمایش‌ها ثابت و به ترتیب برابر  $16$  لیتر در ثانیه و  $10$  سانتی‌متر انتخاب شد ( $1.19 > \frac{U}{U_c}$ ). همچنین به منظور بررسی هر چه بهتر عملکرد صفحات مستغرق در ممانعت از ورود رسوبات به آبگیر جانبی، تعداد  $4$  نسبت آبگیری به ترتیب برابر  $6$ ،  $10$ ،  $20$  و  $30$  درصد انتخاب شد. نسبت‌های آبگیری  $6$  و  $10$  درصد اندکی قبل و بعد از مقدار توصیه شده توسط Barkdoll et al. (1999) یعنی  $8\% Q_r$  بوده و نسبت‌های  $20$  و  $30$  درصد نیز جهت بررسی عملکرد صفحات مستغرق در خم رودخانه در نسبت‌های آبگیری بیش از مقدار توصیه شده می‌باشند. این محدوده از نسبت‌های آبگیری، محدوده داده‌های نسبت آبگیری در تحقیق Abbasi و Maleknejad Yazdi (2014) را نیز پوشش می‌دهد (محدوده نسبت آبگیری در تحقیق ایشان بین  $0.07$  تا حدود  $0.25$  می‌باشد). با توجه به اینکه مهم‌ترین عامل هیدرولیکی به

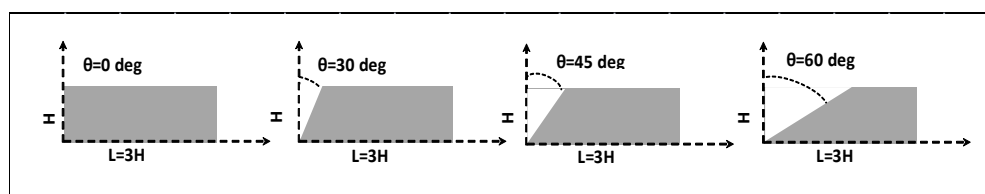


Fig. 5- Schematic showing types of vanes used in this study

شکل ۵- طرح شماتیک انواع صفحات مستغرق استفاده شده در این تحقیق

جدول ۱- مشخصات صفحات مستغرق

Table 1- Specifications of submerged vanes

parameter	$\beta$ (deg)	$H$ (cm)	$L$ (cm)	$\delta_s$ (cm)	$\delta_n$ (cm)	$\delta_b$ (cm)
Recommended Area	$15 \leq \beta \leq 45$	$0.2 \leq H/y \leq 0.5$	$2H \leq L \leq 3H$	$8H \leq \delta_s \leq 10H$	$2H \leq \delta_n \leq 3H$	$3H$
Applied Size	15,20,25,30,35 ,40	0.3	3H	8H	3H	3H

در کانال اصلی (عمق ثابت ۱۰ سانتی‌متر در بالادست قوس) مقدار طول و عرض ناحیه گردابی در کانال آبگیر با دقت زیاد اندازه‌گیری و ثبت گردید. برای این منظور با تعیین محل طول و عرض ناحیه گردابی در کانال آبگیر جانبی، و قراردادن مفتول باریک فلزی مقاوم مجهز به شاقول در قسمت فوقانی (جهت استقرار در امتداد قائم) که مقاومتی در مقابل خطوط جریان ایجاد نمی‌نمود، با استفاده از متر فلزی مقدار عرض ناحیه گردابی تا دیواره کانال آبگیر و با متر لیزری مقدار طول ناحیه گردابی تا ورودی دهانه آبگیر در زمان‌های ۱۵، ۴۵، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه از شروع آزمایش تعیین و سپس متوسط مقادیر طول و عرض ناحیه گردابی برای هر آزمایش محاسبه شد. 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. شایان ذکر است به منظور مقایسه ابعاد ناحیه گردابی در شرایط عدم وجود صفحات مستغرق با شرایط نصب صفحات مستغرق، تعداد ۴ آزمایش شاهد با توجه به نسبت‌های آبگیری در نظر گرفته شده مطابق روش فوق انجام شد. به این ترتیب با داشتن ۴ نسبت آبگیری، ۴ نوع شکل هندسی مختلف صفحه مستغرق و ۶ زاویه استقرار صفحات، تعداد ۹۶ آزمایش با وجود صفحات مستغرق انجام شد که با لحاظ نمودن آزمایش‌های شاهد، در مجموع در این تحقیق تعداد ۱۰۰ آزمایش انجام گردید (شکل ۶).

روش انجام آزمایش‌ها به این صورت بود که هر کدام از سری اشکال صفحات یاد شده در هر آزمایش به ترتیب در یکی از ۶ زاویه‌ی استقرار ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه نسبت به جهت خطوط جریان در کانال اصلی و در مقابل دهانه آبگیر 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 ۶۰ و ۹۰ درجه، تعبیه شده در انتهای کانال‌های اصلی و آبگیر جانبی 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 با باز نمودن دریچه‌های کانال اصلی و آبگیر، تنظیم عمق جریان روی ۱۰ سانتی‌متر صورت می‌پذیرفت. زمان هر آزمایش بر اساس مدت زمان برقراری جریان حاوی رسوب انحرافی به دهانه کانال آبگیر جانبی تعیین شد. برای این منظور یک آزمایش ۶ ساعته با دبی نسبی انحرافی حداکثر، بدون حضور صفحات مستغرق انجام شد. نظر به این که در مدت زمان ۳ ساعت، ۹۵ درصد رسوبات بار بستر انحرافی به شیوه تله‌اندازی در انتهای کانال آبگیر جانبی جمع‌آوری گردید، لذا مدت زمان هر آزمایش ۳ ساعت تعیین شد. پس از تنظیم جریان در عمق مورد نظر

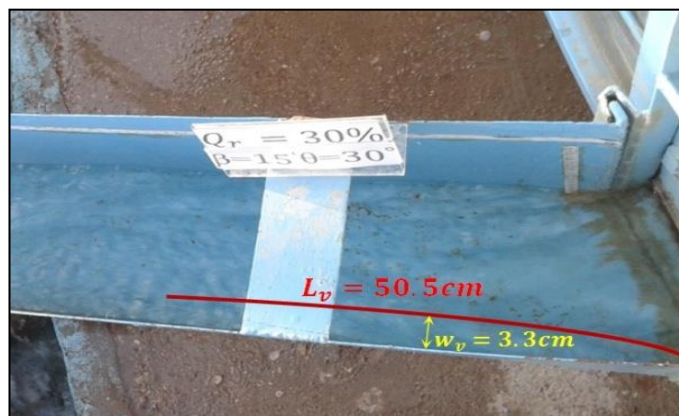


Fig. 6- Length and Width of separation zone at lateral intake

شکل ۶- طول و عرض ناحیه گردابی در کانال آبگیر



### نتایج و بحث

در تحقیق حاضر، تعداد ۱۰۰ آزمایش شامل ۴ آزمایش شاهد (بدون وجود صفحات مستغرق) و ۹۶ 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 ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه می‌باشد استفاده شد. آزمایش‌ها در شرایط هیدرولیکی یکسان با عمق ثابت ۱۰ سانتی‌متر و با بستر متحرک در کانال قوسی شکل به منظور تعیین طول و عرض ناحیه گردابی انجام شد. قسمتی از جریان در کانال اصلی در مقابل دهانه آبگیر جانبی جدا شده و وارد آبگیر می‌گردد. موقعیت دقیق خط جدایی جریان مشخص نبوده ولی موقعیت تقریبی آن قابل تعیین می‌باشد. با توجه به اینکه لایه تحتانی جریان حاوی رسوب بیشتری می‌باشد و رسوبات بستر در لایه‌های تحتانی جریان انتقال می‌یابند، لذا عرض لایه جدایی جریان در نزدیکی بستر بیشتر بوده و بنابراین نسبت رسوبات بستر وارد شده به آبگیر به رسوب بستر حمل شده در کانال اصلی بیشتر از نسبت آبگیری می‌باشد.

#### بررسی طول نسبی ناحیه گردابی در ورودی کانال آبگیر

تغییرات طول نسبی ناحیه گردابی در ورودی کانال آبگیر ( $L_r$ ) در زوایای مختلف استقرار صفحات ( $\beta$ ) برای نمونه‌های شاهد (حالت عدم وجود صفحات مستغرق) و حالت وجود صفحات مستغرق با اشکال هندسی متفاوت (زوایای  $\theta$  مختلف) در شکل (۷) نشان داده شده است. با توجه به نمودارهای ترسیم شده در این شکل، تغییرات طول نسبی ناحیه گردابی بیشتر متأثر از نسبت آبگیری می‌باشد. با افزایش نسبت آبگیری در کلیه حالات، مقدار  $L_r$  کاهش می‌یابد و در نمونه‌های شاهد، مقدار این کاهش نسبت به حالت وجود صفحات مستغرق بیشتر است. این موضوع می‌تواند ناشی از هدایت بهتر خطوط جریان به سمت آبگیر در شرایط وجود صفحات مستغرق باشد. Rostamabadi et al. (2009) که موجب می‌گردد گردابه‌های تشکیل شده در کانال آبگیر در طول بیشتری منتقل شوند. هم‌چنین علی‌رغم کاهش حدود ۲۹ درصد از سطح صفحات در صفحات مستغرق با زاویه بریدگی لبه ابتدایی رأس برابر ۶۰ درجه، کاهش چندانی در عملکرد صفحات در هدایت بهتر جریان نسبت به حالت عدم وجود صفحات مستغرق ایجاد نشده و نمودارهای ترسیم شده در حالت وجود صفحات مستغرق تقریباً بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند. این موضوع نشان‌دهنده حفظ کارایی صفحات مستغرق علی‌رغم کاهش سطح آن‌ها می‌باشد. حداکثر تفاوت در تعیین  $L_r$  بین حالات مختلف زوایای استقرار صفحات با زوایای رأس ( $\theta$ ) مختلف نسبت به

صفحات مستغرق معمول (مستطیلی)، ۴ درصد محاسبه شد. در شکل (۸) طول نسبی ناحیه گردابی برای حالات عدم وجود صفحات مستغرق و وجود صفحات مستغرق با زاویه ( $\theta$ ) برابر ۶۰ درجه تحقیق حاضر با نتایج حاصل از تحقیق Abbasi و Maleknejad Yazdi (2014) مقایسه شده است. مطابق یافته‌های ایشان، با کاهش زاویه آبگیری میزان طول نسبی ناحیه گردابی افزایش می‌یابد و بیشترین طول نسبی ناحیه گردابی در تحقیق ایشان در زاویه ۴۵ درجه ایجاد شده است ولی روند کاهش  $L_r$  با افزایش نسبت آبگیری در کلیه حالات حفظ شده است. در تحقیق حاضر نیز روند کاهش  $L_r$  با افزایش نسبت آبگیری قابل مشاهده می‌باشد ولی مقدار افزایش  $L_r$  در مقایسه با مناسب‌ترین شرایط آبگیری از مسیر مستقیم (زاویه آبگیری ۴۵ درجه) بیشتر بوده که می‌تواند ناشی از شرایط مناسب‌تر آبگیری در قوس رودخانه باشد. با افزایش زاویه استقرار صفحات، مقدار طول نسبی ناحیه گردابی در مقایسه با نمونه‌های شاهد به‌طور متوسط حدود ۵ درصد افزایش می‌یابد که نشان دهنده تأثیر کم وجود صفحات مستغرق بر طول نسبی ناحیه گردابی است. در این تحقیق، با توجه به اختلاف بسیار کم مقادیر طول نسبی ناحیه گردابی برداشت شده در آزمایش با انواع مختلف شکل هندسی صفحات مستغرق، با استفاده از کلیه آزمایش‌های این تحقیق (۹۶ آزمایش با وجود صفحات مستغرق) رابطه زیر با دقت بسیار مناسب به‌دست آمد. (شکل ۹).

$$L_r = 2.1392Q_r^{-0.157}, R^2 = 0.925 \quad (5)$$

در تحقیق Abbasi و Maleknejad Yazdi (2014) میزان خطا در مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و محاسبه‌ای  $L_r$  برابر  $\pm 10\%$  درصد برآورد شده است که میزان این خطا در تحقیق حاضر از رابطه زیر برابر  $\pm 6\%$  محاسبه گردید.

$$e_{L_r}\% = \frac{(L_r(cat) - L_r(obs))}{L_r(obs)} \times 100 \quad (6)$$

در رابطه فوق،  $e_{L_r}$  میزان خطا بر حسب درصد و  $L_r(cat)$  و  $L_r(obs)$  به ترتیب طول نسبی ناحیه گردابی محاسباتی و مشاهده‌ای می‌باشند.

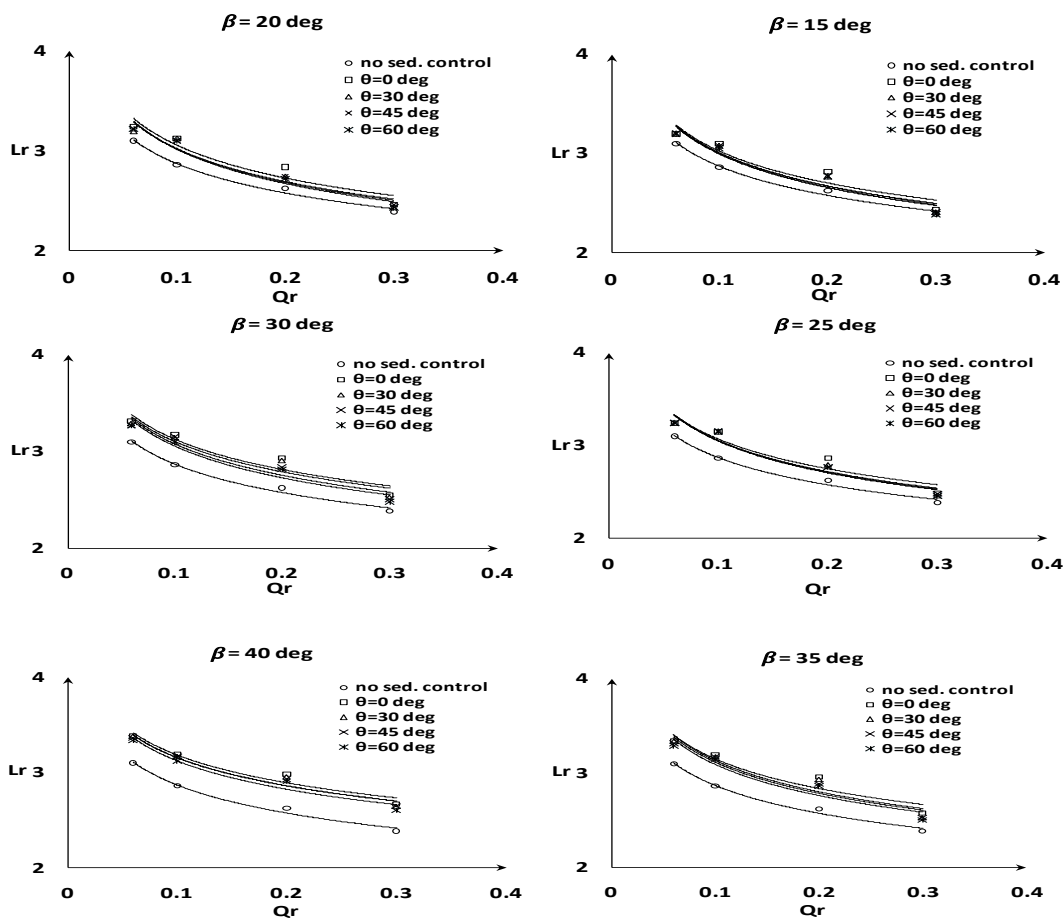


Fig. 7- Variations of  $L_r$  versus  $Q_r$  for different angles and geometric shapes of submerged vanes comparing by base line testes

شکل ۷- تغییرات  $L_r$  در مقابل  $Q_r$  برای زوایای مختلف استقرار و اشکال هندسی متفاوت صفحات مستغرق در مقایسه با نمونه‌های شاهد

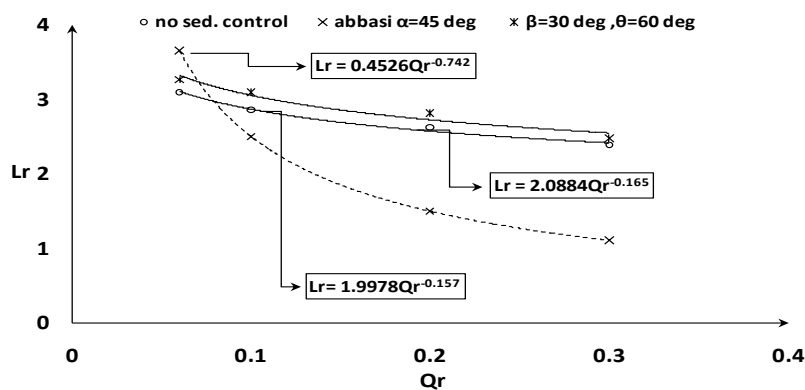


Fig. 8- Comparison of  $L_r$  obtained in this study with the results obtained from Abbasi & Maleknejad Yazdi (2014)

شکل ۸- مقایسه نتایج حاصل از تعیین مقدار  $L_r$  در این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیق عباسی و ملک‌نژاد یزدی (۱۳۹۳)



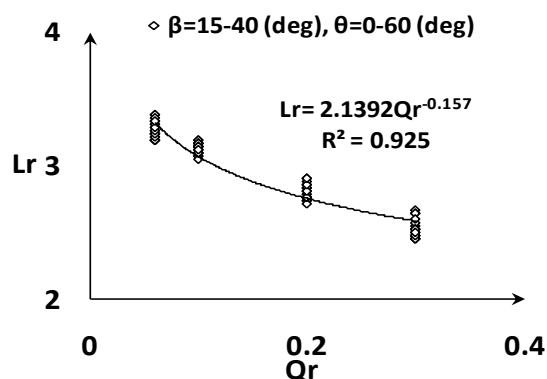


Fig. 9- Determination of general equation for relative length of separation zone

شکل ۹- تعیین رابطه کلی برای طول نسبی ناحیه گردابی

کاهش می یابد و کمترین عرض نسبی ناحیه گردابی در تحقیق ایشان در زاویه آبگیری ۴۵ درجه ایجاد شده است ولی روند کاهشی  $W_r$  با افزایش نسبت آبگیری در کلیه حالات حفظ شده است. در تحقیق حاضر نیز روند کاهشی  $W_r$  با افزایش نسبت آبگیری قابل مشاهده می باشد ولی مقدار کاهش  $W_r$  در مقایسه با بهترین شرایط آبگیری از مسیر مستقیم (زاویه آبگیری ۴۵ درجه) بیشتر بوده که می تواند ناشی از شرایط مناسب تر آبگیری در قوس رودخانه باشد، با افزایش زاویه استقرار صفحات، مقدار عرض نسبی ناحیه گردابی در مقایسه با نمونه های شاهد به طور متوسط حدود ۷ درصد کاهش یافته است. در این تحقیق، با توجه به اختلاف بسیار کم مقادیر عرض نسبی ناحیه گردابی برداشت شده در آزمایش با انواع مختلف شکل هندسی صفحات مستغرق، با استفاده از کلیه آزمایش های این تحقیق (۹۶ آزمایش با وجود صفحات مستغرق) رابطه زیر با دقت بسیار مناسب به دست آمد (شکل ۱۲).

$$W_r = 0.0845Q_r^{-0.52}, R^2 = 0.98 \quad (7)$$

در تحقیق Abbasi و Maleknejad yazdi (2014) میزان خطا در مقایسه داده های مشاهده ای و محاسبه ای  $W_r$  برابر  $\pm 15\%$  درصد برآورد شده است که میزان این خطا در تحقیق حاضر از رابطه زیر برابر  $\pm 8/5\%$  محاسبه گردید.

$$e_{W_r} \% = \frac{(W_{r(cat)} - W_{r(obs)})}{W_{r(obs)}} \times 100 \quad (8)$$

در رابطه فوق،  $e_{W_r}$  میزان خطا بر حسب درصد و  $W_{r(cat)}$  و  $W_{r(obs)}$  به ترتیب عرض نسبی ناحیه گردابی محاسباتی و مشاهده ای می باشند.

### بررسی عرض نسبی ناحیه گردابی در ورودی کانال آبگیر

تغییرات عرض نسبی ناحیه گردابی در ورودی کانال آبگیر ( $W_r$ ) در زوایای مختلف استقرار صفحات ( $\beta$ ) برای نمونه های شاهد (حالت عدم وجود صفحات مستغرق) و حالت وجود صفحات مستغرق با اشکال هندسی متفاوت (زوایای  $\theta$  مختلف) در شکل (۱۰) نشان داده شده است. با توجه به نمودارهای ترسیم شده در این شکل، تغییرات عرض نسبی ناحیه گردابی بیشتر متأثر از نسبت آبگیری می باشد. با افزایش نسبت آبگیری در کلیه حالات مقدار  $W_r$  کاهش می یابد و در حالت وجود صفحات مستغرق میزان کاهش  $W_r$  در مقایسه با نمونه های شاهد بیشتر است. این موضوع می تواند ناشی از هدایت بهتر خطوط جریان به سمت آبگیر در شرایط وجود صفحات مستغرق باشد Rostamabadi et al (2009) که باعث می شود گردابه های تشکیل شده در کانال آبگیر، در عرض کمتر ( $W_v$ ) ولی در طول بیشتر ( $L_v$ ) انتقال یابند. هم چنین علی رغم کاهش حدود ۲۹ درصد از سطح صفحات در صفحات مستغرق با زاویه بریدگی لبه ابتدایی رأس برابر ۶۰ درجه، کاهش چندانی در عملکرد صفحات در هدایت بهتر جریان نسبت به حالت عدم وجود صفحات مستغرق ایجاد نشده و نمودار نتایج در حالات مختلف آزمایش، بر هم منطبق می باشد. این موضوع نشان دهنده حفظ کارایی صفحات مستغرق علی رغم کاهش سطح آن ها می باشد. حداکثر تفاوت در تعیین  $W_r$  بین حالات مختلف زوایای استقرار صفحات با زوایای رأس ( $\theta$ ) مختلف نسبت به صفحات مستغرق معمول (مستطیلی)، ۴/۶۵ درصد محاسبه شد. در شکل (۱۱) عرض نسبی ناحیه گردابی برای حالات عدم وجود صفحات مستغرق و وجود صفحات مستغرق با زاویه  $\theta$  برابر ۶۰ درجه تحقیق حاضر با نتایج حاصل از تحقیق Abbasi و Maleknejad Yazdi (2014) مقایسه شده است. همان گونه که در این شکل ملاحظه می گردد، با کاهش زاویه آبگیری میزان عرض نسبی ناحیه گردابی نیز

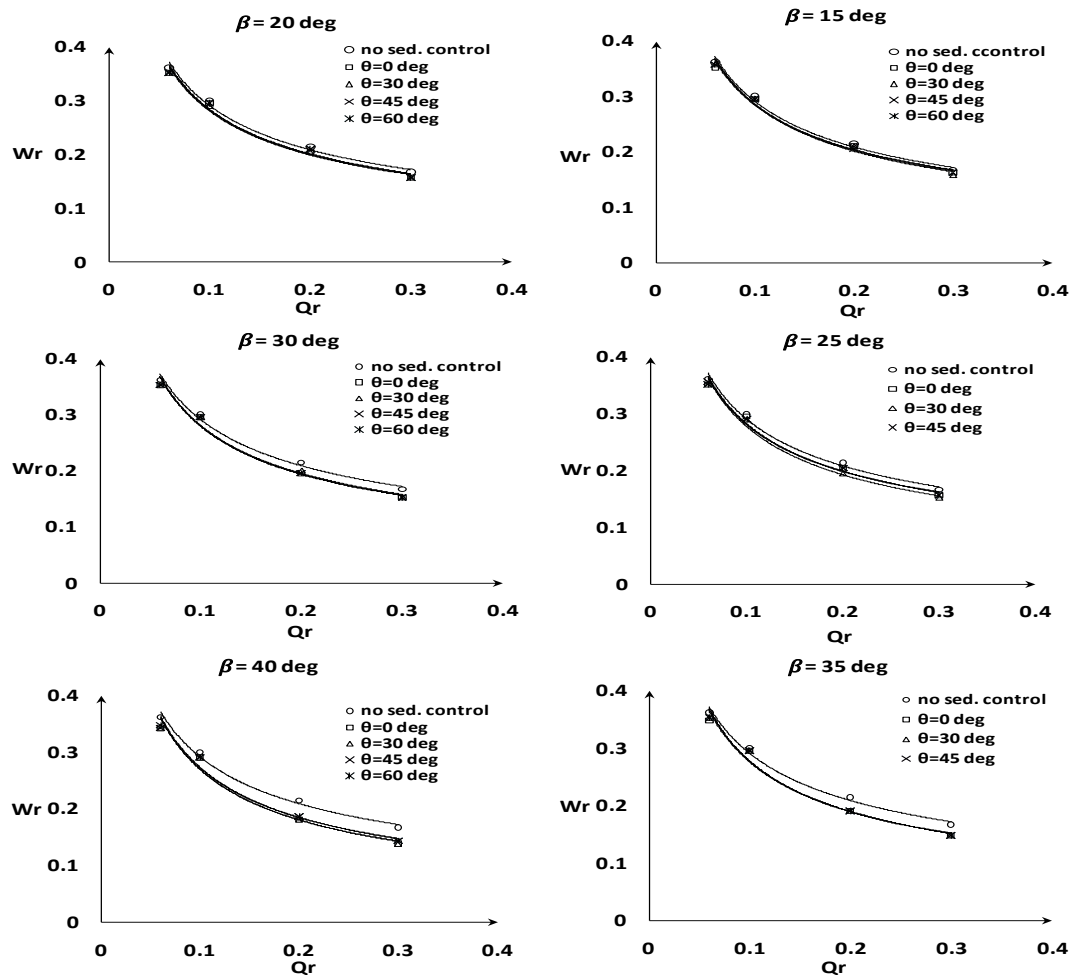


Fig. 10- Variations of  $W_r$  versus  $Q_r$  for different angles and geometric shapes of submerged vanes comparing by base line testes

شکل ۱۰- تغییرات  $W_r$  در مقابل  $Q_r$  برای زوایای مختلف استقرار و اشکال هندسی متفاوت صفحات مستغرق در مقایسه با نمونه‌های شاهد

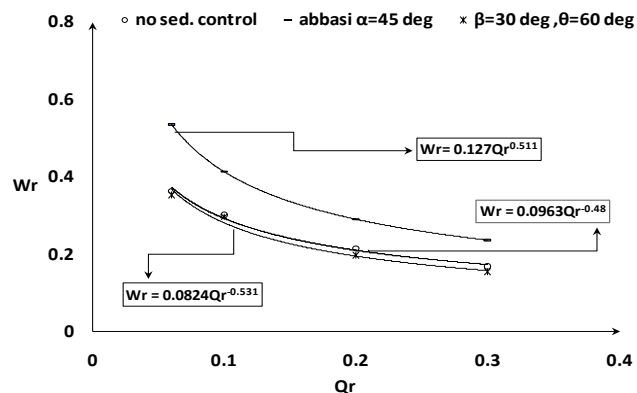


Fig. 11- Comparison of  $W_r$  obtained in this study with the results obtained from Abbasi & Maleknejad Yazdi (2014)

شکل ۱۱- مقایسه نتایج حاصل از تعیین مقدار  $W_r$  در این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیق عباسی و ملک‌نژاد یزدی (۱۳۹۳)

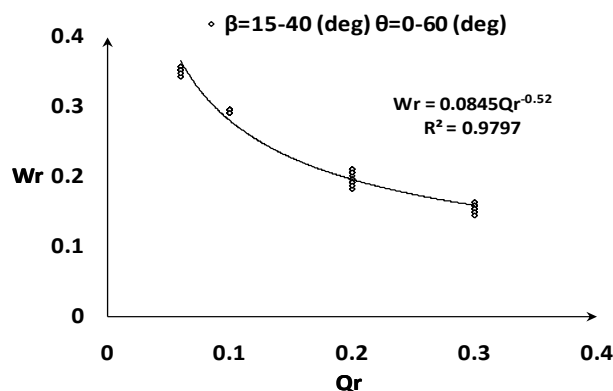


Fig. 12- Determination of generally equation for relative width of separation zone

شکل ۱۲- تعیین رابطه کلی برای عرض نسبی ناحیه گردابی

افزایش و حدود ۷ درصد کاهش یافته است. علی‌رغم کاهش تا ۲۹ درصد در سطح صفحات مستغرق با ایجاد بریدگی در لبه ابتدایی رأس، تأثیر چندانی در کاهش عملکرد صفحات نسبت به صفحات مستطیلی ساده مشاهده نگردید و کارایی صفحات در ممانعت از ورود رسوبات به آبگیر جانبی و هدایت جریان سطحی به سمت دهانه آبگیر حفظ شده است.

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر ارائه می‌گردد. این نتایج در محدوده تغییرات داده‌های مورد استفاده در این تحقیق دارای اعتبار می‌باشد؛ طول و عرض نسبی ناحیه گردابی در مقایسه با نمونه‌های شاهد (حالت بدون وجود صفحات مستغرق) با افزایش زاویه استقرار صفحات به طور متوسط به ترتیب حدود ۵ درصد

### References

- 1- Abbasi, A.A. 2003. Experimental Investigation of Sediment Control at Lateral Intakes.P.h.D. Thesis in Hydraulic Engineering.TarbiatModares Univ. 192p.(In Persian).
- 2- Abbasi, A.A., Maleknejad Yazdi, M. 2014.The impact of sill and submerged vanes on sediment laden flow at lateral intake. *The Iranian Society of Irrigation and Water*. 4(16):104-116.(In Persian).
- 3- Alee, J.A. Khanjani, M.J. 2006.Optimization of Submerged Vanes System for Sediment Control at Rivers Intake mouth. *Journal of Agriculture Engendering Research*, Vol. 7, pp. 153-155.(In Persian).
- 4- Azizi, A. ShafaiBejestan, M. Ghomeshi, M. 2012. Scour Depth at the Edge of Different Submerged Vanes Shapes. *Journal of Applied Sciences* 12(4): 362-368.
- 5- 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.
- 6- Barkdoll, D. Hagen, B. L. And Odgaard, A.J. 1995. Sediment Exclusion at Hydropower Intake Using Submerged Vanes. *Proc.Of Water Power Conferance*. Pp. 368-377.
- 7- Davoodi, L. and ShafaeiBejestan. M. 2011. Application of Submerged Vanes for Sediment Control at Intakes from Irrigation Trapezoidal Channel. *Journal of Water and irrigation management*. 1(2): 71-59. (In Persian).
- 8- Dehghani, A. SalehiNeyshabouri, S.A.A. Shafieifar, M. 2010. Entrance Sediment Control to Lateral Intake at 180° Bend Using Submerged Vanes.7<sup>th</sup> *International Congress on Civil Engineering*.(In Persian).

- 9- Esmaeili Varaki, M. Farhoudi, J. 2010. Experimental Investigation on Effect of Diversion Angle on amount of Sediment entry to a lateral intake in a Diversion Dams. 8<sup>th</sup> *International River Engineering Conference, Ahvaz, iran.* (In Persian).
- 10- Ghalani, A. 1998. Laboratory Investigation of Submerged Vanes Angle Effect on their performance at Intakes. M.S.c Thesis in Hydraulic Engineering, TarbiatModares Univ. 123p. (In Persian).
- 11- Halvaeifard, M. Masjedi, A.R. 2017. Submerged Vanes on Sediment Control in Lateral Intake at a 180 Degree River Arc. *Journal of Water and Soil Science*. 20(78): 29-38. (In Persian).
- 12- Jalili, H.R. HoseinzadeDalir, A. and Farshadizadeh, D. 2011. Effect of Intake Geometry on the Sediment Transport and Flow Pattern at Lateral Intake. *Jornal of Iranian Water Research*. 5(9): 1-10. (In Persian).
- 13- Nakato, T. Kennedy J.F. and Bauerly, D. 1990. Pump-station intake-shoaling control with Submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE 116: 119-128.
- 14- Neary, V.S. Sotiropoulos, F. and Odgaard, A.J. 1999. Three - Dimensional Numerical Model of Lateral Intake Inflows. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 125, No. 2, PP. 126 – 140.
- 15- Odgaard AJ, and Mosconi C.E., 1987. Streambank protection by submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 113: 520-536.
- 16- 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.
- 17- Odgaard, A. J. and Wang, Y. 1991a. Sediment Management with Submerged Vanes, I: Theory. *J. Hydraul. Eng.* 117(3). 267-283.
- 18- Raudkivi, A. J. 1993. Sedimentation: Exclusion and Removal of Sediment from Diverted Water. Balkema. Rotterdam. 164 p.
- 19- Rostamabadi, M. SalehiNeyshabouri, S.A.A. Montaseri, H. and Pirestani, M.R. 2009. Numerical Simulation of the Effect of Submerged Vanes on Strength of Secondary Flow at 180° Bend with Lateral Intake. *Journal of Water and Soil Conservation*. 16(3): 17-39. (In Persian).
- 20- SajediSabegh, M. and Habibi, M. 2003. Laboratory Investigation of using Submerged vane and Dikes on Efficiency of Intakes. Proceeding of 4<sup>th</sup> *Hydraulic Conference*. (In Persian).
- 21- Seyedian, S.M. Shafaei Bajestan, M. 2010. Comparison of Suspended Load Delivered into the Intake by Changing the Canal Side Angle from Perpendicular to 45 Degrees. 24(5): 985-994. (In Persian).
- 22- Varma, C.V.J. Saxena, K.R. And Rao, M.K. 1989. River Behaviour Management and Training. Central Board of Irrigation and Power. Publication New Dehli. Vol. 1.469 p.
- 23- Younesi, H. ,Omid, M.H. Kashefipour, S.M. 2003. A study of the effect of longitudinal arrangement of Submerged Vanes on channel configuration and increasing relative efficiency impoundment and decreasing sedimentation near the intake structures. *Journal of Agriculture*. 27:137-150. (In Persian).