

## مطالعه آزمایشگاهی میدان جریان اطراف صفحات مستغرق مقابل دهانه آبگیر جانبی در کانال U شکل

\* حسین منتصری<sup>۱</sup>، مسعود قدسیان<sup>۲</sup> و امیراحمد دهقانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه عمران، دانشگاه یاسوج، <sup>۲</sup> استاد گروه هیدرولیک، دانشگاه تربیت مدرس،

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۱۴

### چکیده

در طراحی آبگیرهای واقع در رودخانه‌ها، همواره باید شرایطی را انتخاب کنیم تا آب منحرف شده توسط آبگیر، دارای حداکثر دبی جریان و حداقل دبی رسوب باشد. از راهکارهای کاهش رسوب ورودی به آبگیرهای جانبی می‌توان جانمایی آبگیر در قوس خارجی رودخانه و استفاده از صفحات مستغرق را نام برد. صفحات مستغرق پره‌های کوچکی هستند که جهت انحراف رسوبات از مقابل دهانه آبگیر به کار می‌روند. عملکرد اصلی صفحات مستغرق، ایجاد جریان ثانویه است. میدان جریان در اطراف آبگیرهای جانبی واقع در قوس خارجی رودخانه‌ها و اندرکنش این میدان با جریان ثانویه ناشی از صفحات مستغرق، کاملاً سه‌بعدی و پیچیده می‌باشد. شناخت این میدان جریان می‌تواند مهندسان را در کاربرد بهتر صفحات در قوس یاری نماید. در این پژوهش به منظور شناخت این میدان جریان پیچیده، مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت جریان در یک کانال قوسی U شکل با حضور آبگیر جانبی و یک آرایش دو ردیفه از صفحات مستغرق که در مقابل آبگیر جانبی نصب شده است، توسط سرعت‌سنج سه‌بعدی ADV برداشت و تحلیل گردید. نتایج نشان می‌دهد صفحات، جریان ثانویه‌ای تولید می‌کنند که هم جهت با جریان ثانویه قوس می‌باشد. همچنین خطوط جریان در صفحات افقی نشان می‌دهند صفحات مستغرق سبب کاهش عرض صفحه تقسیم جریان در لایه‌های نزدیک بستر و افزایش عرض صفحه تقسیم جریان در تراز بالای صفحات می‌گردند. محاسبه قدرت جریان ثانویه در قوس نشان می‌دهد نصب صفحات در محدوده آبگیر، موجب افزایش قدرت جریان ثانویه شده و از شدت کاهش قدرت جریان ثانویه بر اثر مکش آبگیر می‌کاهد. محاسبه تنش برشی بستر نشان می‌دهد مقدار تنش برشی در دهانه آبگیر افزایش یافته است. نتایج ارائه شده در این مقاله می‌تواند برای توسعه و صحت‌سنجی مدل‌های عددی روی میدان جریان حول صفحات مستغرق در نزدیکی آبگیر جانبی در قوس نیز مفید باشد. نتایج ارائه شده در این مقاله می‌تواند برای توسعه و صحت‌سنجی مدل‌های عددی روی میدان جریان حول صفحات مستغرق در نزدیکی آبگیر جانبی در قوس نیز مفید باشد.

**واژه‌های کلیدی:** کانال U شکل، آبگیر جانبی، صفحات مستغرق، میدان جریان

### مقدمه

مهم در طراحی آبگیرهای جانبی این است که شرایطی را انتخاب کنیم تا آب منحرف شده توسط آبگیر، دارای حداکثر دبی جریان و حداقل دبی رسوب باشد. با نزدیک شدن جریان به آبگیر واقع در مسیر مستقیم، به‌خاطر فشار

یکی از قدیمی‌ترین روش‌های استفاده از آب رودخانه‌ها، ساخت آبگیرهای جانبی می‌باشد. یکی از نکات

\* مسئول مکاتبه: hmontaseri@gmail.com

منفی اعمالی از طرف آبگیر، جریان در جهت عرضی شتاب گرفته و به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمتی وارد آبگیر شده و بقیه در کانال اصلی پایین‌دست جریان می‌یابد. قسمتی که وارد کانال انشعاب می‌شود، توسط صفحه برشی خمیده‌ای معین می‌گردد که به صفحه تقسیم‌کننده جریان<sup>۱</sup> معروف است. جریانی که وارد آبگیر می‌شود، دارای مومنت شدیدی در جهت کانال اصلی بوده و به همین علت داخل آبگیر، جدایی جریان اتفاق می‌افتد. پس از آنکه رسوبات مجاور کف به داخل آبگیر منتقل شدند، در این ناحیه جدایی جریان به تله می‌افتند. رسوبات با توجه به سرعت‌های کم نمی‌توانند از منطقه جداشدگی منتقل شوند، در نتیجه امکان ته‌نشینی رسوبات و انسداد مسیر جریان به وجود می‌آید (شکل ۱). جانمایی آبگیر در قوس خارجی رودخانه‌ها یکی از راه‌های کاهش رسوبات ورودی به آبگیر به شمار می‌رود. مشخصه اصلی جریان در خم رودخانه‌ها وجود جریان حلزونی است که از اندرکنش جریان ثانویه و جریان اصلی به وجود می‌آید. وجود جریان حلزونی باعث می‌شود که تمایل بردارهای سرعت در سطح آب به طرف قوس خارجی و در کف به طرف قوس داخلی باشد و همین پدیده سبب انتقال بار بستر به طرف قوس داخلی می‌گردد. مطالعات هابیرمس (۱۹۵۵) نشان داد جانمایی آبگیر در قوس خارجی برای کاهش رسوبات ورودی به آبگیر لازم است، اما کافی نیست.

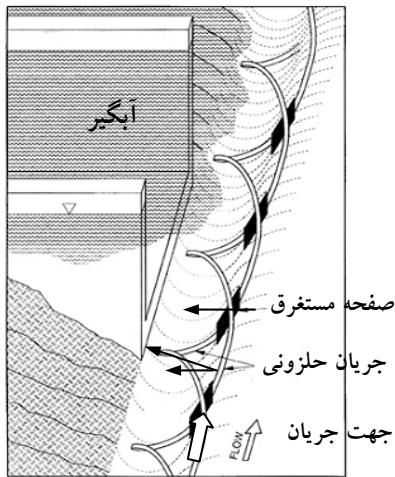
روش دیگری که به‌عنوان ابزار کنترل رسوب دارای قابلیت‌های بالایی است و هنوز به‌طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته، استفاده از "صفحات مستغرق" می‌باشد. صفحات مستغرق پره‌های کوچکی می‌باشند که برای اصلاح الگوی جریان نزدیک بستر و انتقال رسوب در جهت عرضی کانال طراحی می‌گردند. این صفحات با زاویه ۲۵-۱۵ درجه نسبت به جهت جریان در کف رودخانه نصب می‌شوند و ارتفاع آنها  $0/4-0/2$  برابر عمق آب در محل نصب صفحات می‌باشد. عملکرد اصلی صفحات مستغرق، تولید جریان ثانویه است. محل شکل‌گیری این جریان ثانویه در نزدیکی رأس لبه جلویی صفحه می‌باشد. این جریان ثانویه، جهت تنش‌های برشی

بستر را تغییر داده و سبب انتقال عرضی رسوبات می‌گردد (ادگارد و ونگ، ۱۹۹۱). با تعبیه صفحات مستغرق در مقابل دهانه آبگیر، جریان ثانویه‌ای در خلاف جهت جریان ناشی از مکش آبگیر ایجاد شده و علاوه بر ایجاد فرسایش در مقابل دهانه آبگیر، سبب انتقال رسوبات به پایین‌دست کانال اصلی شده و امکان آب‌گیری بیشتر با مقدار رسوب کمتر فراهم می‌شود (شکل ۲).

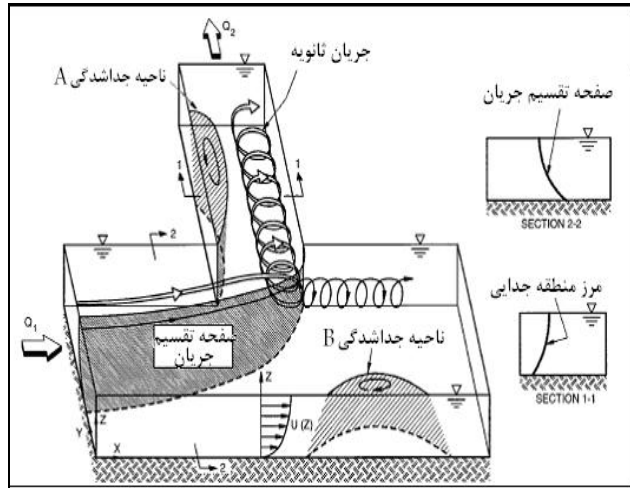
مطالعات متعددی روی الگوی جریان و رسوب در آبگیری از مسیرهای مستقیم صورت گرفته است که از این جمله می‌توان به مطالعات بلانچ و همکاران (۱۹۵۲)، ونونی (۱۹۷۵)، اوری (۱۹۸۹)، نیری و اودگارد (۱۹۹۳)، نیری و سوتیروپولوس (۱۹۹۶)، نیری و همکاران (۱۹۹۹) اشاره نمود. بر روی آبگیری از خم رودخانه‌ها نیز پژوهش‌هایی صورت پذیرفته است. از جمله این افراد می‌توان به جاگلکار (۱۹۵۹)، تورو (۱۹۷۵)، رضوان (۱۹۸۹)، نظری (۱۹۹۸)، پیرستانی (۲۰۰۴)، ابوالقاسمی (۲۰۰۶) و دهقانی (۲۰۰۶) اشاره نمود. نتایج کلی پژوهش‌های بالا نشان می‌دهد که به‌کارگیری آبگیر در نیمه دوم قوس خارجی و در جایی که جریان ثانویه کاملاً توسعه یافته است، مناسب است.

بیشتر مطالعات عددی و آزمایشگاهی انجام شده در به‌کارگیری صفحات مستغرق به‌منظور کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در آبراه‌های مستقیم متمرکز شده است که به‌عنوان نمونه می‌توان به پژوهش‌های رحمانیان (۱۹۹۸)، قلانی (۱۹۹۸)، عباسی (۲۰۰۳)، ناکاتو و ادگن (۱۹۹۰) و بارکدول و همکاران (۱۹۹۹) اشاره نمود. تنها پژوهش موجود در به‌کارگیری صفحات مستغرق در قوس ۱۸۰ درجه جهت کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی مربوط به پژوهش دهقانی (۲۰۰۶) می‌باشد که صفحات مستغرق را جهت کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در کانال قوسی شکل به‌کار برد. بنابراین ملاحظه می‌گردد که تاکنون پژوهشی روی میدان جریان اطراف صفحات مستغرق در کنترل رسوب ورودی به آبگیرهای جانبی در مسیرهای قوسی انجام نشده است. شناخت این میدان جریان می‌تواند مهندسان را در کاربرد بهتر صفحات در قوس یاری نماید.

## 1- Dividing Stream Surface



شکل ۲- جریان ثانویه ناشی از صفحات مستغرق (بارکدول و همکاران، ۱۹۹۹).



شکل ۱- الگوی جریان در یک انشعاب از مسیر مستقیم (نیری و همکاران، ۱۹۹۹).

به ترتیب ۲۵ سانتی متر و ۲/۵ متر می باشد (شکل ۳). به منظور زبر کردن بستر، یک لایه رسوب از مصالح با منحنی دانه بندی یکنواخت و با قطر متوسط ۱/۲۸ میلی متر با ضخامتی برابر با قطر رسوبات، روی کف کانال چسبانیده شد.

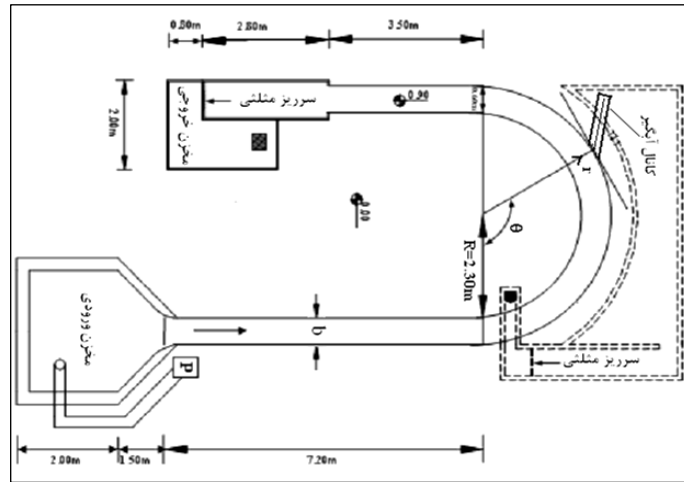
با توجه به توصیه های موجود برای هندسه صفحات مستغرق براساس مطالعات انجام شده روی کاربرد صفحات مستغرق در کنترل رسوب ورودی به آبگیرهای جانبی در مسیر مستقیم، یک آرایش دو ردیفه از صفحات مستغرق که در هر ردیف ۵ صفحه قرار دارد، در دهانه آبگیر به گونه ای نصب شدند که دو صفحه از هر ردیف در بالادست و حداقل یک صفحه نیز در پایین دست آبگیر قرار داشته باشد. صفحات از جنس پلکسی گلاس، دارای طول ۱۰/۵ سانتی متر، ارتفاع ۳/۵ سانتی متر و ضخامت ۳ میلی متر و با زاویه ۲۰ درجه نسبت به جهت غالب جریان در قوس، در کف کانال نصب شده اند. فاصله عرضی صفحات ۱۰ سانتی متر، فاصله طولی صفحات ۲۰ سانتی متر و فاصله اولین ردیف صفحات از دیواره خارجی ۱۰ سانتی متر می باشد (شکل ۴). دبی جریان ورودی توسط دبی سنج اولتراسونیک نصب شده بر روی لوله های ورودی اندازه گیری و با سرریز مثلی استاندارد موجود در انتهای کانال اصلی کنترل می شد.

میدان جریان در اطراف آبگیرهای جانبی واقع در قوس خارجی رودخانه ها و اندرکنش این میدان با جریان ثانویه ناشی از صفحات مستغرق، کاملاً سه بعدی و پیچیده می باشد. در پژوهش حاضر، با استفاده از اندازه گیری مؤلفه های سه بعدی سرعت جریان توسط سرعت سنج سه بعدی ADV<sup>۱</sup>، به بررسی تأثیر صفحات مستغرق بر میدان جریان اطراف آبگیر جانبی نصب شده در موقعیت ۱۱۵ درجه از قوس خارجی یک کانال قوسی ۱۸۰ درجه و با زاویه آبگیری ۴۵ درجه پرداخته شده است. لازم به ذکر است که موقعیت و زاویه انحراف آبگیر، براساس توصیه ارایه شده توسط دهقانی (۲۰۰۶) انتخاب شده است.

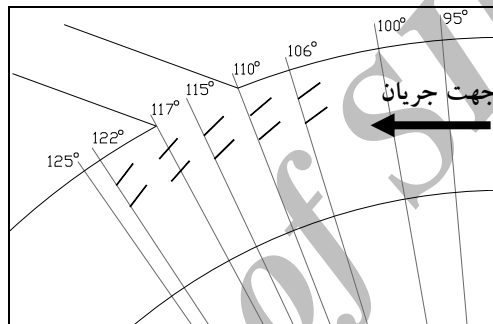
## مواد و روش ها

آزمایش ها در یک کانال قوسی با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه، شعاع متوسط ۲/۶ متر و با عرض ۰/۶ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. در قسمت بالادست قوس یک کانال مستقیم به طول ۷/۲ متر و در پایین دست قوس، کانال مستقیمی به طول ۵/۲ متر وجود دارد. کف و دیواره های کانال از جنس پلکسی گلاس می باشد. در موقعیت ۱۱۵ درجه از قوس، کانال آبگیر با زاویه ۴۵ درجه نسبت به امتداد جریان در کانال اصلی نصب گردید. عرض و طول کانال آبگیر

1- Acoustic Doppler Velocimeter



شکل ۳- مشخصات فلوم آزمایشگاهی.



شکل ۴- آرایش استفاده شده برای صفحات مستغرق.

جدیدتری از سرعت‌سنج‌های ADV می‌باشد، اندازه‌گیری شد. این سرعت‌سنج براساس پدیده داپلر عمل می‌کند. در این پژوهش برای اندازه‌گیری میدان جریان، از دو حس‌گر پایین‌نگر و جانب‌نگر<sup>۱</sup> استفاده گردید.

براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های انجام شده توسط محققانی چون اخترالزمان (۱۹۹۸) و باربایا و دی (۲۰۰۳)، دستگاه سرعت‌سنج روی فرکانس ۵۰ هرتز تنظیم شد و زمان اندازه‌گیری نوسانات برابر ۱ دقیقه انتخاب گردید. شبکه‌بندی سه‌بعدی که برای اندازه‌گیری میدان جریان انتخاب گردید، در محدوده آبگیر (مقطع ۱۰۰ تا ۱۲۵ درجه) دارای فواصل طولی برابر ۱ درجه و در خارج از این محدوده دارای فواصل طولی ۱۰ درجه بود. این شبکه‌بندی در مقاطع عرضی دارای فواصل عرضی ۲ سانتی‌متر و شامل ۸ تراز ۰/۵، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ سانتی‌متری از بستر بود.

عمق جریان در ورودی کانال اصلی نیز با استفاده از دریچه پروانه‌ای واقع در انتهای کانال اصلی تنظیم و با استفاده از یک عمق‌سنج دیجیتال که دارای دقت ۰/۰۱ میلی‌متر می‌باشد، اندازه‌گیری می‌گردید. دبی انحرافی کانال آبگیر نیز با استفاده از سوریز مثلثی که در انتهای حوضچه تخلیه آبگیر جانبی قرار داشت، تعیین گردید. در شروع آزمایش ابتدا دریچه آبگیر را بسته، سپس با روشن کردن پمپ و باز کردن شیر آن، دبی ورودی ۴۰ لیتر بر ثانیه تنظیم می‌شد. سپس با تنظیم هم‌زمان دریچه آبگیر و دریچه پروانه‌ای انتهای آبگیر، عمق جریان ورودی برابر ۱۵ سانتی‌متر تنظیم می‌گردید. بنابراین سرعت متوسط جریان ورودی (U) برابر ۰/۴۵ متر بر ثانیه و عدد فرود جریان (Fr) برابر ۰/۳۲ می‌باشد. همچنین میزان دبی انحرافی کانال آبگیر، ۳۰ درصد دبی جریان ورودی تنظیم گردید. پس از برقراری شرایط جریان دایمی در کانال، میدان جریان با استفاده از سرعت‌سنج سه‌بعدی و کترینو که نمونه

1- Down Looking and Side Looking Probes

## نتایج

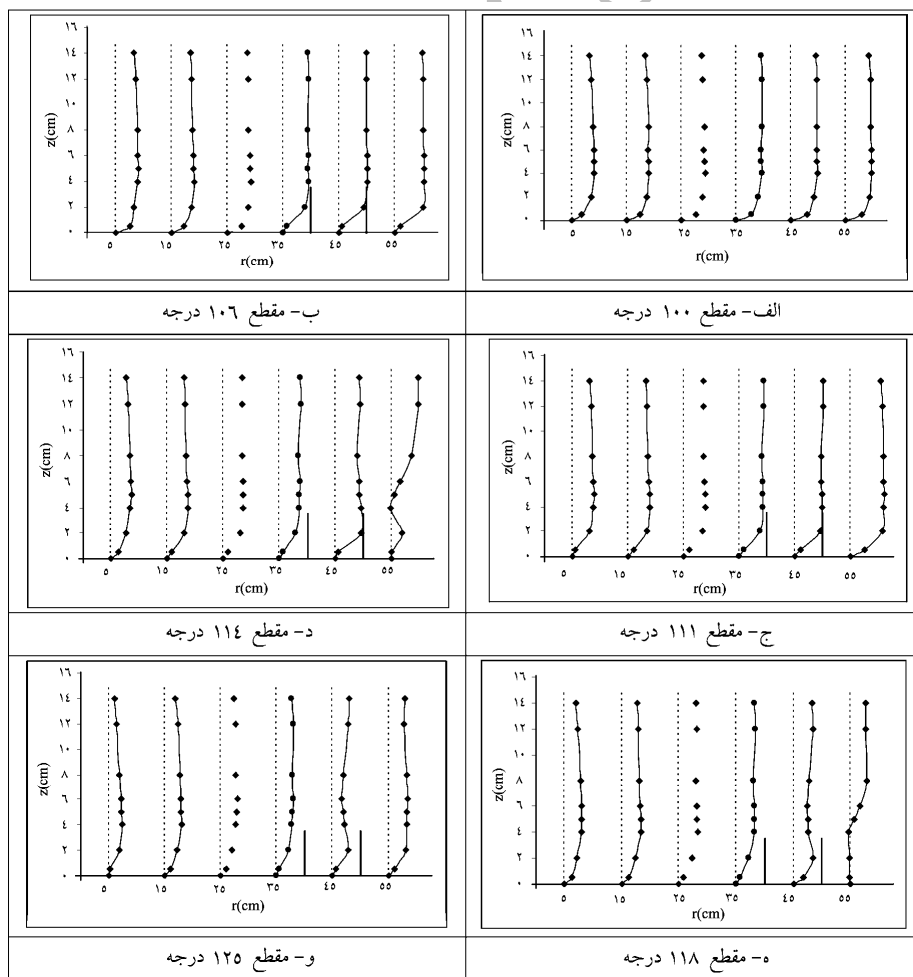
توزیع مؤلفه‌های سرعت طولی، عرضی و قائم (U، V و W): توزیع قائم مؤلفه‌های سرعت طولی، عرضی و قائم (U، V و W) در مقاطع عرضی مختلف قوس در صفحه I-Z در شکل‌های ۵ تا ۷ ارائه شده است که در این شکل‌ها I راستای شعاعی (از قوس داخلی) و Z راستای قائم است.

توزیع مؤلفه سرعت طولی U مربوط به مقاطع عرضی مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است.

در مقطع ۱۰۰ درجه که بالادست آبگیر و قبل از صفحات قرار دارد، با توجه به وجود جریان ثانویه در قوس، مقادیر سرعت طولی در لایه‌های سطحی کاهش یافته است. با رسیدن به صفحات در مقطع ۱۰۶ درجه

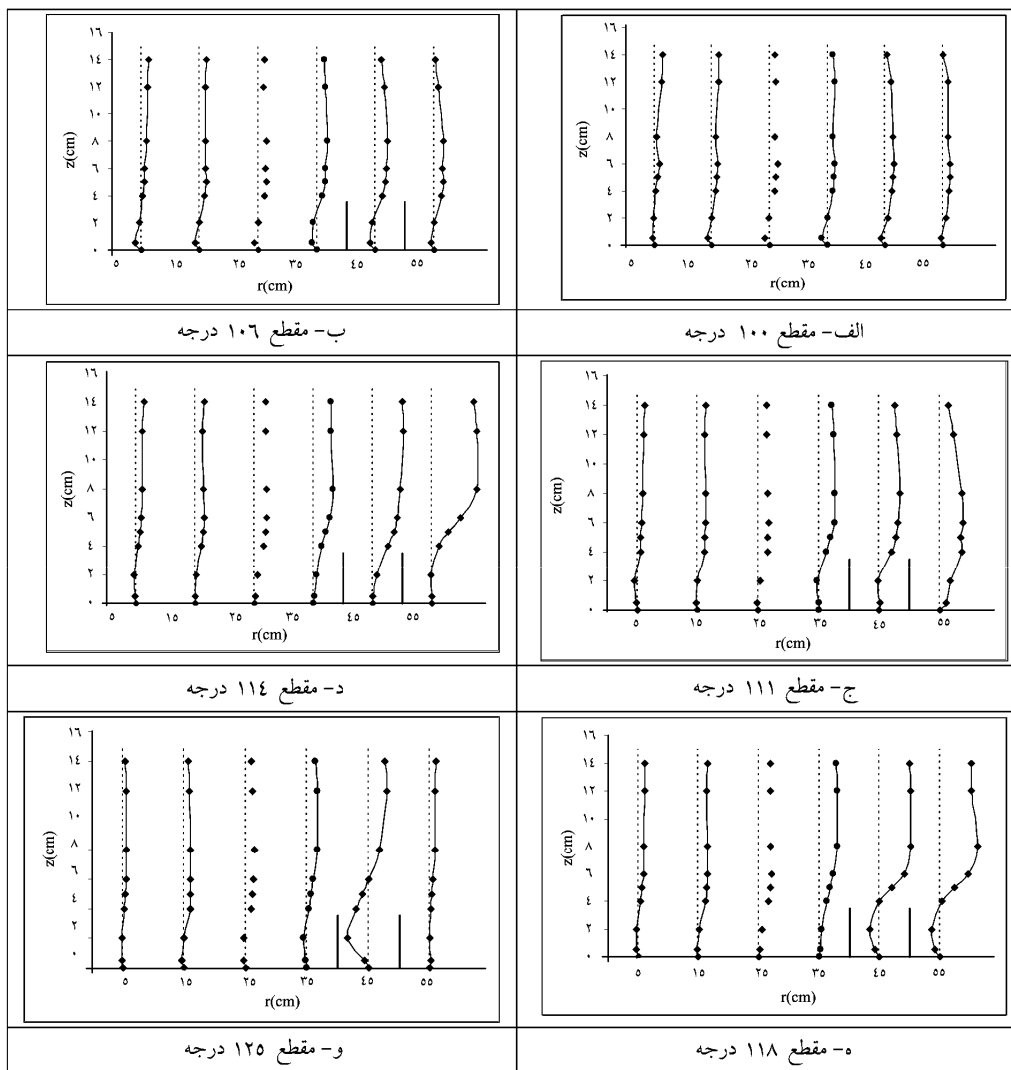
مقدار سرعت طولی زیاد تحت تأثیر قرار نگرفته، اما در مقاطع ۱۱۴ و ۱۱۸ که روی خط مرکز صفحات قرار دارند، سرعت طولی به شدت تحت تأثیر قرار گرفته است. نکته مهم صفر شدن سرعت طولی در مقطع ۱۱۸ درجه حدفاصل لبه پایین دست آبگیر و صفحه واقع در این موقعیت می‌باشد که موجب تله‌اندازی رسوبات در پشت صفحه واقع در لبه پایین دست آبگیر می‌گردد. بنابراین به نظر می‌رسد قرار گرفتن یک صفحه روی لبه پایین دست آبگیر مناسب نباشد. در مقاطع بعد از آبگیر، مقدار سرعت طولی کاهش یافته است (شکل ۵).

توزیع مؤلفه سرعت عرضی V در شکل ۶ نشان داده شده است.



0 0.1 (m/s)

شکل ۵- پروفیل قائم سرعت طولی U در مقاطع مختلف.



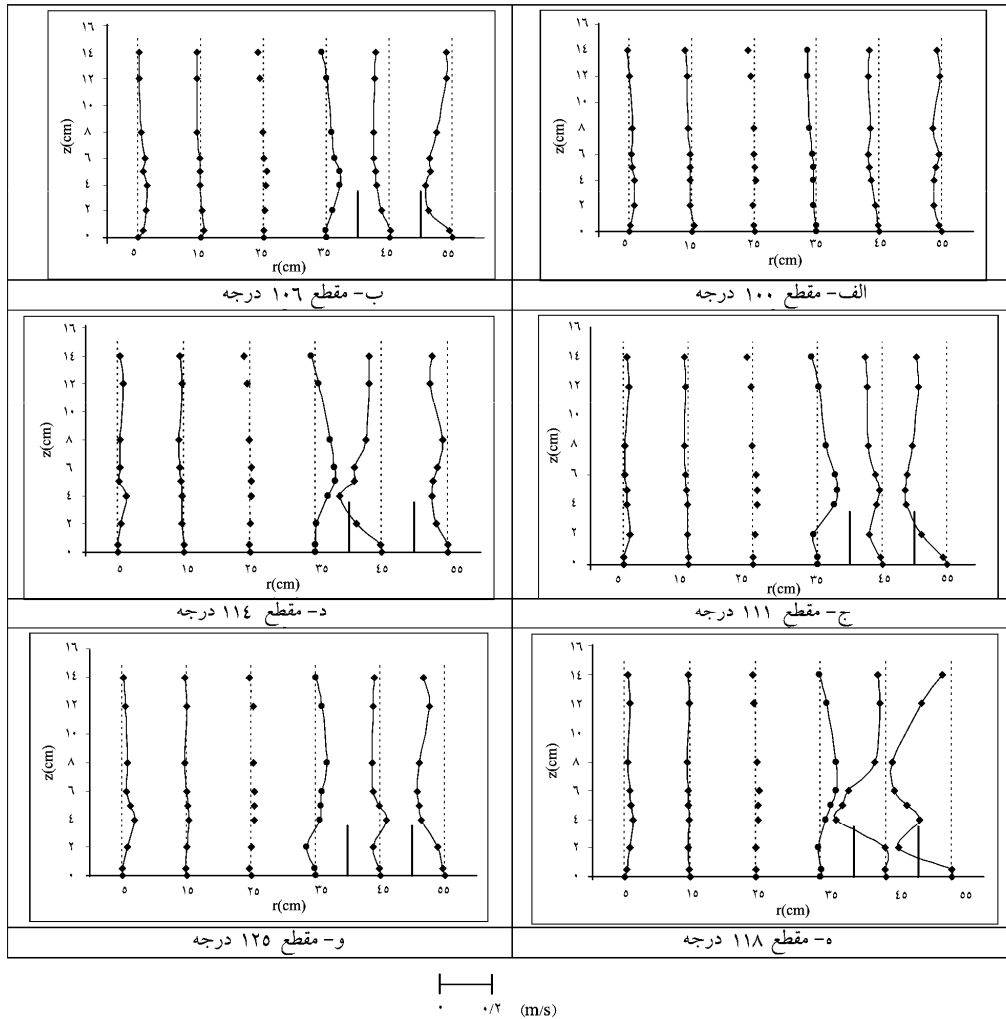
۰ ۰/۴ (m/s)

شکل ۶- پروفیل قائم سرعت عرضی  $v$  در مقاطع مختلف.

می‌شوند، اما صفحات با ایجاد یک جریان چرخشی با این پدیده مقابله می‌نمایند. در مقطع ۱۱۸ درجه یعنی لبه پایین دست آبگیر نیز صفحات توانسته‌اند مقدار سرعت عرضی در کف را به سمت قوس داخلی افزایش دهند. در مقطع ۱۲۵ درجه، پایین دست صفحات هم‌چنان تأثیر جریان ثانویه ایجاد شده توسط صفحات وجود دارد (شکل ۶).

توزیع مؤلفه سرعت عمودی  $w$  در شکل ۷ نشان داده شده است.

در مقطع ۱۰۰ درجه، به علت وجود جریان ثانویه قوس، جهت سرعت عرضی در کف به سمت قوس داخلی و در سطح به سمت قوس خارجی است. با رسیدن جریان به صفحات و به علت وجود جریان ثانویه ایجاد شده توسط صفحات که هم‌جهت با جریان ثانویه قوس است، پروفیل سرعت عرضی تحت تأثیر قرار گرفته و تمایل سرعت عرضی در نزدیک بستر به سمت قوس داخلی و در تراز بالای صفحات به سمت قوس خارجی افزایش می‌یابد. در جلوی آبگیر (مقطع ۱۱۴ درجه) مکش آبگیر موجب کشیده شدن خطوط جریان به سمت آبگیر

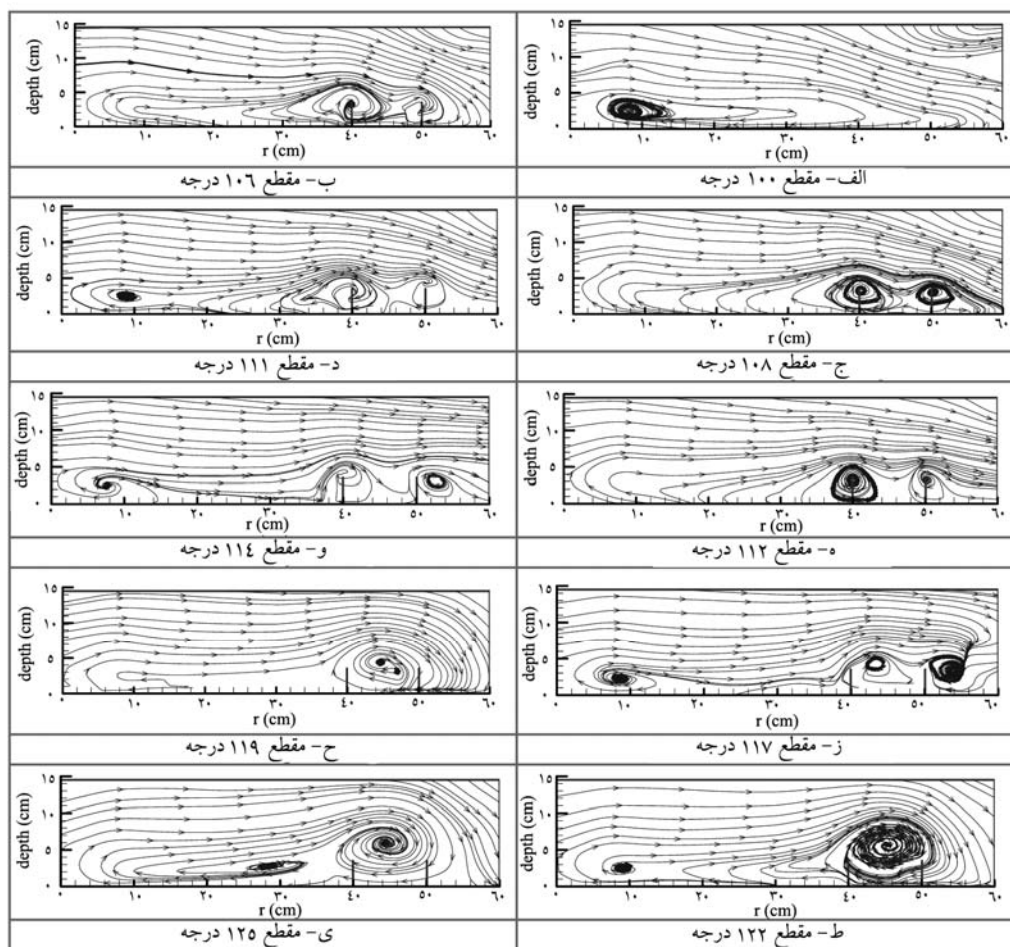


شکل ۷- پروفیل قائم سرعت عمودی W در مقاطع مختلف.

معرض جریان صفحه یک مؤلفه سرعت رو به پایین و در سمت دیگر صفحه یک مؤلفه سرعت رو به بالا وجود دارد و بنابراین یک جریان چرخشی با جهت ساعتگرد در اطراف صفحات شکل می‌گیرد. در محدوده بین صفحات به علت اندرکنش جریان حلزونی ناشی از دو صفحه، مؤلفه سرعت قائم حالت نوسانی دارد. به نظر می‌رسد فاصله عرضی صفحات به گونه‌ای است که صفحات قدری مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند و عملکرد واحدی ندارند (شکل ۷).

خطوط جریان در مقاطع عرضی: در شکل ۸ خطوط جریان در مقاطع عرضی مختلف نشان داده شده است.

در مقطع ۱۰۰ درجه مقادیر مؤلفه سرعت عمودی در مجاورت قوس خارجی ( $\Gamma$  برابر ۵۵ سانتی‌متر) دارای مقادیر منفی است و به تدریج با نزدیک شدن به قوس داخل ( $\Gamma$  برابر ۵ سانتی‌متر) دارای مقادیر مثبت می‌شود که دلیل آن وجود جریان ثانویه در قوس است که جهت آن ساعتگرد و در سطح به سمت قوس خارج و در کف به سمت قوس داخل می‌باشد. بر اثر جریان ثانویه ایجاد شده توسط صفحات، مقدار سرعت قائم در طرفین صفحات به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد، به گونه‌ای که در سمتی از صفحه که در معرض جریان قرار دارد، به شدت منفی و در سمت دیگر مثبت می‌گردد، یعنی در سمت در



شکل ۸- خطوط جریان در مقاطع عرضی مختلف و گردابه ایجاد شده توسط صفحات.

گزارش شده است و علت تشکیل آن را ناهمگنی تنش‌های قائم رینولدز در این ناحیه ذکر کرده‌اند. در مقطع ۱۰۶ درجه یعنی مقطع واقع در جلوی اولین صفحات قبل از آبگیر، دو سلول چرخشی ناشی از جریان حلزونی القا شده توسط صفحات مشاهده می‌گردد که جهت آن با جریان حلزونی قوس هم‌جهت است و بنابراین جریان حلزونی قوس را تشدید می‌نمایند. همان‌گونه که در شکل مربوط به مقاطع ۱۰۶ و ۱۰۸ درجه مشاهده می‌شود، مرکز گردابه ایجاد شده ناشی از صفحات تقریباً در نوک صفحات قرار دارد. در مقاطع ۱۱۱ و ۱۱۲ درجه به دلیل مکش آبگیر و ایجاد مومنتوم جانبی قوی، سلول چرخشی واقع در قسمت فوقانی قوس خارجی از بین می‌رود، اما صفحات مستغرق، یک جریان ثانویه ایجاد می‌نمایند که با مکش آبگیر مقابله می‌نماید. در مقطع ۱۱۴

در این شکل‌ها، محور افقی عرض کانال که از قوس داخلی اندازه‌گیری شده، و محور قائم عمق جریان بر حسب سانتی‌متر است. خطوط جریان براساس بردارهای سرعت در صفحات عرضی که دارای بزرگی  $V_{yz} = \sqrt{w^2 + v^2}$  و جهت  $tg^{-1}(w/v)$  در هر نقطه می‌باشند، ترسیم شده‌اند. همان‌گونه که در شکل ۶- و، مشاهده می‌شود در بالادست آبگیر و قبل از صفحات مستغرق (مقطع ۱۰۰ درجه) جریان ثانویه اصلی قوس در مقطع به خوبی دیده می‌شود که جهت آن در سطح به سمت قوس خارجی و در کف به سمت قوس داخلی می‌باشد. همچنین یک جریان ثانویه کوچک در خلاف جهت جریان ثانویه اصلی قوس در قسمت فوقانی جداره خارجی وجود دارد. این جریان ثانویه توسط محققانی چون بلانکارت و والتر (۲۰۰۱) و دهقانی (۲۰۰۶) نیز



برابر با ارتفاع صفحات، تأثیر صفحات روی میدان جریان مشاهده می‌شود (شکل ۹-ج). مقایسه عرض صفحه تقسیم جریان در تراز ۶ سانتی‌متری در حالت وجود صفحات با حالت بدون وجود صفحات (شکل ۹-د)، نشان از افزایش عرض صفحه تقسیم جریان جلوی آبگیر در تراز بالای صفحات مستغرق دارد. در حقیقت صفحات موجب می‌گردند از طرفی سهم آبگیر از لایه‌های نزدیک بستر که حاوی رسوب زیادی هستند کاهش یابد و در عوض سهم آبگیر از لایه‌های بالایی جریان افزایش یابد و این برتری اصلی کاربرد صفحات مستغرق است.

**تغییرات قدرت جریان ثانویه در محدوده آبگیر:** در این قسمت با استفاده از داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری میدان جریان، اثر آبگیر و صفحات مستغرق روی قدرت جریان ثانویه در قوس به صورت کمی بررسی شده است. معیار مهمی که برای قدرت جریان ثانویه در مراجع به آن اشاره شده، معیار چرخش می‌باشد. طبق تعریف، نرخ خالص چرخش پادساعت‌گرد یک المان به ابعاد  $\Delta x \times \Delta y$  حول محور  $Z$ ، قدرت گرداب نامیده شده و به صورت معادله زیر قابل بیان است (دیلی و هارلمن، ۱۹۶۶):

$$\bar{\omega}_z = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (1)$$

در این رابطه،  $u$  و  $v$  سرعت در دو راستای  $X$  و  $Y$  و  $\bar{\omega}_z$  قدرت گرداب می‌باشد که واحد آن رادیان بر ثانیه است.

به منظور محاسبه قدرت جریان ثانویه در قوس در محدوده آبگیر جانبی با استفاده از روش بالا، هر مقطع عرضی براساس شبکه‌بندی استفاده شده برای اندازه‌گیری جریان، المان‌بندی گردید و  $\bar{\omega}_z$  برای هر المان محاسبه و با متوسط‌گیری از مقادیر بالا، قدرت متوسط جریان ثانویه در هر مقطع عرضی به دست آمده است.

در شکل ۱۰، قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف قوس که با حداکثر مقدار آن بدون بعد شده است، در دو حالت بدون حضور صفحات و با حضور صفحات نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل ملاحظه

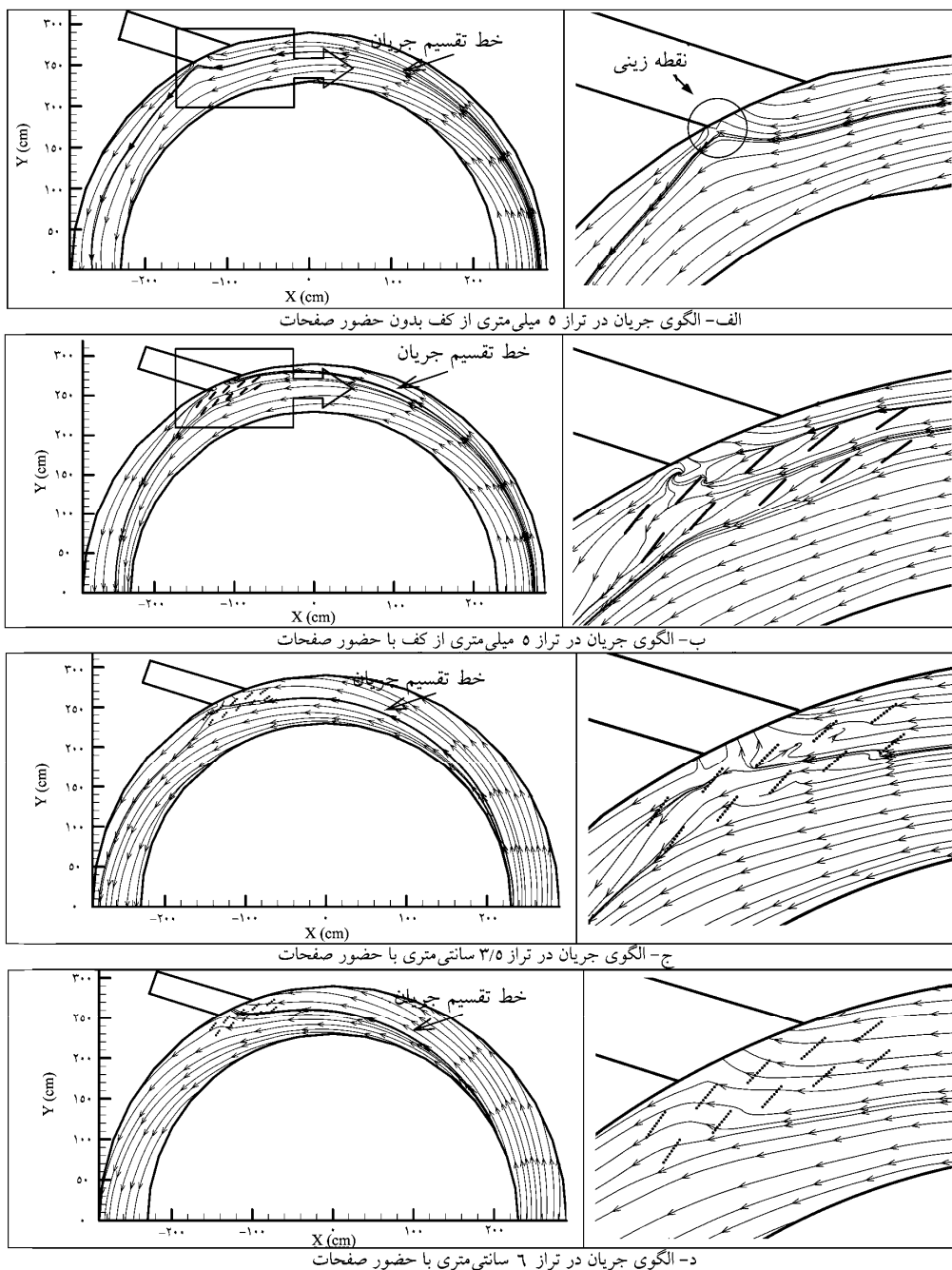
درجه ملاحظه می‌گردد که مکش آبگیر گردابه القا شده توسط صفحه نزدیک به آبگیر را به سمت آبگیر منحرف کرده، اما گردابه القا شده توسط صفحه دوم هم‌چنان در نوک صفحه به قوت خود باقی است. در مقطع ۱۱۸ درجه هر دو گردابه کاملاً به سمت آبگیر منحرف می‌شوند. در مقاطع پایین دست آبگیر یعنی مقاطع ۱۱۹، ۱۲۲ و ۱۲۵ درجه گردابه‌های القا شده توسط صفحات با یکدیگر ترکیب می‌شوند و یک گردابه بزرگ را تشکیل می‌دهند که علت آن ترکیب شدن جریان حلزونی واقع در گوشه پایین دست آبگیر با گردابه‌های القا شده توسط صفحات است.

**خطوط جریان در صفحات افقی:** در شکل ۹ خطوط جریان در صفحات افقی برای ترازهای مختلف با حضور صفحات و بدون حضور صفحات برای تراز ۲ سانتی‌متری نشان داده شده است. این خطوط براساس بردارهای سرعت در صفحات افقی که دارای بزرگی  $V_{r\theta} = \sqrt{u^2 + v^2}$  و جهت  $Arctg(u/v)$  در هر نقطه می‌باشند، ترسیم شده‌اند. در این شکل‌ها خط تقسیم جریان جلوی آبگیر نیز مشخص شده است.

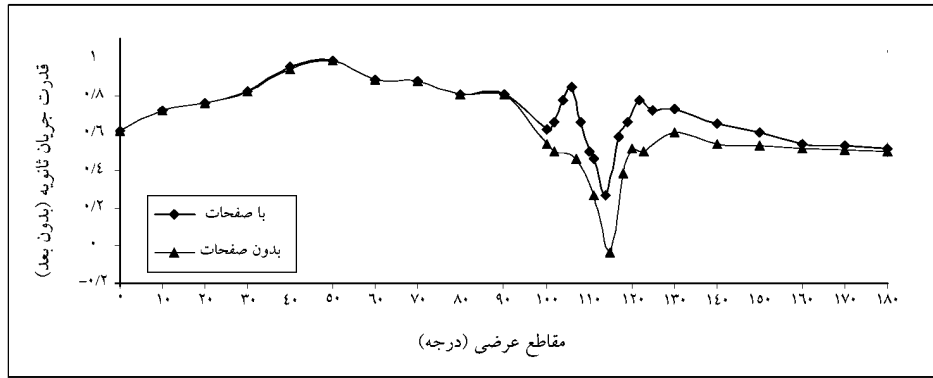
در حالت بدون حضور صفحات، در تراز ۵ میلی‌متری (شکل ۹-الف)، خط تقسیم جریان جلوی آبگیر و نقطه زینی در پایین دست آبگیر مشخص شده است. اما همان‌گونه که در شکل ۹-ب ملاحظه می‌گردد حضور صفحات مستغرق موجب کاهش چشمگیر عرض ناحیه تقسیم جریان جلوی آبگیر در تراز ۵ میلی‌متری شده و آبگیر تنها از ناحیه پشت صفحات تغذیه می‌شود. بنابراین مقدار رسوبات ورودی از بالادست آبگیر کاهش خواهد یافت. اما صفحه واقع در لبه پایین دست آبگیر که مرکز آن درست بر امتداد شعاع گذرنده از لبه پایین دست صفحه قرار دارد، شرایط مناسبی را از نظر انحراف خطوط جریان ایجاد نکرده، بلکه موجب تشکیل یک گردابه و نقطه زینی شکل در لبه پایین دست آبگیر شده است که وجود این نقاط نقش مؤثری در به تله افتادن رسوبات و تجمع رسوبات ایفا می‌نمایند. در تراز ۳/۵ سانتی‌متری، یعنی تراز

قدرت جریان ثانویه تا لبه بالادست آبنگير افزایش یافته اما دوباره در محل آبنگير دچار افت می شود که البته شدت آن از حالت قبل کمتر است. در مقاطع ۱۲۲ و ۱۲۵ درجه که صفحات پایین دست آبنگير قرار دارند نیز قدرت جریان ثانویه افزایش داشته است. در مقطع ۱۳۰ درجه، قدرت جریان ثانویه دارای یک مقدار ماکزیمم نسبی دیگر می باشد و سپس مقدار آن تا انتهای قوس کاهش می یابد.

می شود مقادير قدرت جریان ثانويه از ابتدای قوس شروع به افزایش می نماید و در مقطع ۴۵ درجه، به یک مقدار ماکزیمم می رسد و سپس دوباره شروع به کاهش می نماید. از مقطع ۱۰۰ درجه قوس به علت اثر مکشی آبنگير، قدرت جریان ثانويه به طور ناگهانی دچار افت می گردد و در وسط آبنگير به حداقل مقدار خود می رسد. با نصب صفحات، از موقعیت ۱۰۵ درجه یعنی محل اولین صفحه



شکل ۹- خطوط جریان در ترازهای مختلف از بستر.



شکل ۱۰- تغییرات قدرت جریان ثانویه در قوس حول آبگیر با صفحات و بدون صفحات مستغرق.

مؤلفه‌های سرعت  $u, v, w$  و  $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$  مقادیر متوسط مؤلفه‌های سرعت بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد. تنش برشی بستر با استفاده از میدان جریان اندازه‌گیری شده برای لایه‌ای ۵ میلی‌متری از بستر با استفاده از رابطه‌های بالا به دست می‌آید. محاسبه‌های انجام شده نشان می‌دهد لایه ۰/۵ سانتی‌متری بستر، در قسمت لگاریتمی ناحیه قانون جداره لایه مرزی قرار دارد و بنابراین برابری تنش برشی بستر با تنش برشی آشفته (تنش‌های رینولدز) در این لایه معتبر است. چگونگی محاسبات توسط و و همکاران (۲۰۰۰) ارائه شده است. شکل ۱۱ نواحی هم تنش برای دو حالت بدون حضور صفحات و با حضور صفحات را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها مقدار تنش برشی محاسبه شده با مقدار تنش برشی بستر در مسیر مستقیم بالادست قوس ( $\tau_\theta$ ) بدون بعد شده است.

محاسبه تنش برشی بستر: تنش برشی بستر با استفاده از تنش‌های برشی رینولدز به صورت زیر تخمین زده می‌شود (باربایا و دی، ۲۰۰۳):

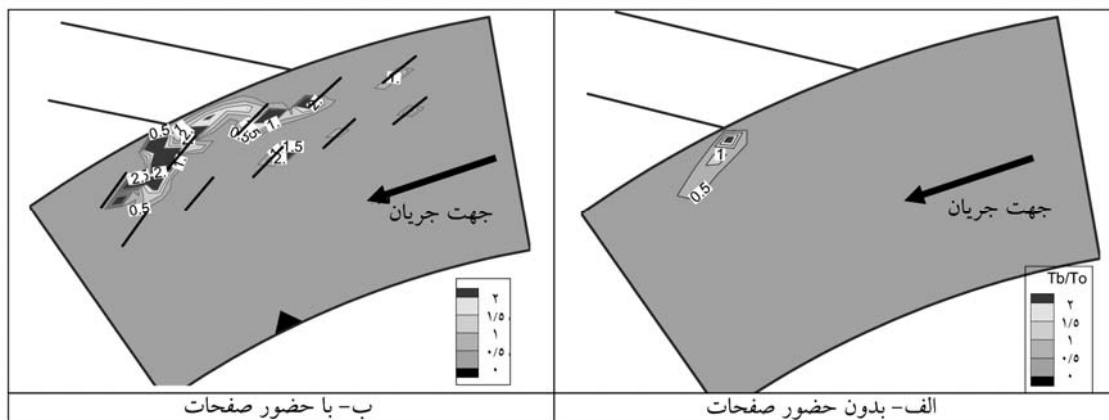
$$\tau_b = \sqrt{\tau_\theta^2 + \tau_r^2} \quad (2)$$

$$\tau_\theta = -\rho(\overline{w'u'} + \overline{v'u'}) \quad (3)$$

$$\tau_r = -\rho(\overline{u'v'} + \overline{w'v'}) \quad (4)$$

$$u' = u - \bar{u}, v' = v - \bar{v}, w' = w - \bar{w}$$

در این رابطه‌ها  $\tau_b$  تنش برشی بستر بر حسب نیوتن بر مترمربع،  $\tau_\theta$  تنش برشی در راستای شعاعی و  $\tau_r$  تنش برشی در راستای طولی،  $\rho\overline{u'v'}$ ،  $\rho\overline{u'w'}$ ،  $\rho\overline{v'w'}$  تنش‌های برشی رینولدز و  $\rho$  چگالی سیال بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب است.  $u'$ ،  $v'$ ،  $w'$  نوسانات



شکل ۱۱- میدان تنش برشی با حضور صفحات.

همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود در حالت بدون حضور صفحات مستغرق، مقادیر تنش برشی در لبه پایین‌دست آبگیر حداکثر است و در این نواحی احتمال وجود آبشستگی زیاد می‌باشد. با توجه به این‌که زاویه انحراف آبگیر ملایم است (یعنی ۴۵ درجه)، خطوط جریان به‌صورت کاملاً ملایم و با ایجاد حداقل اغتشاش از لبه بالادست آبگیر وارد آبگیر می‌شوند. اما در گوشه پایین‌دست دهانه آبگیر، یک جریان چرخشی به‌نسبت قوی تشکیل می‌شود و همین پدیده سبب انتقال حداکثر سرعت به ترازهای پایین‌تر و تمرکز ذرات پرسرعت در نزدیکی بستر می‌گردد. در اثر این پدیده، گردایان قائم سرعت نزدیک بستر افزایش یافته و در نتیجه، تنش برشی به‌نسبت قوی در این ناحیه به بستر کانال اعمال می‌شود. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در حالت حضور صفحات مستغرق جریان چرخشی القا شده توسط صفحات سبب تغییر الگوی میدان تنش برشی در محدوده صفحات گردیده، به‌گونه‌ای که مقدار تنش برشی در دهانه آبگیر افزایش یافته است. این پدیده در بستر فرسایش‌پذیر می‌تواند باعث ایجاد یک چاله فرسایشی در جلوی آبگیر گردد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور شناخت میدان جریان در اطراف آبگیرهای جانبی واقع در قوس خارجی رودخانه‌ها و اندرکنش این میدان با جریان ثانویه ناشی از صفحات مستغرق نصب شده در جلوی آبگیر، مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت جریان در یک کانال قوسی U شکل با حضور آبگیر جانبی در موقعیت ۱۱۵ درجه از قوس خارجی و یک آرایش دو ردیفه از صفحات مستغرق که در مقابل آبگیر جانبی نصب شده است، توسط سرعت‌سنج سه‌بعدی ADV برداشت و تحلیل گردید.

نتایج نشان می‌دهد صفحات، جریان ثانویه‌ای تولید می‌کنند که هم‌جهت با جریان ثانویه قوس می‌باشد. محل

شکل‌گیری این جریان ثانویه، در نزدیکی رأس لبه جلویی صفحه می‌باشد. جریان حلزونی موجود در قوس موجب می‌شود گردابه ایجاد شده توسط صفحات ضمن انتقال به پایین‌دست جریان، به‌سمت قوس داخلی متمایل گردد، اما مکش آبگیر موجب انحراف این گردابه به سمت آبگیر می‌گردد. در پایین‌دست آبگیر، گردابه ناشی از صفحات با یکدیگر ترکیب می‌شوند و به‌صورت واحد عمل می‌نمایند که علت آن وجود جریان حلزونی در گوشه پایین‌دست آبگیر است. همچنین خطوط جریان در صفحات افقی نشان می‌دهند صفحات مستغرق سبب کاهش عرض صفحه تقسیم جریان در لایه‌های نزدیک بستر (تا تراز تقریباً برابر ارتفاع صفحات) و افزایش عرض صفحه تقسیم جریان در تراز بالای صفحات تا تراز دو برابر ارتفاع صفحات می‌شوند. در نتیجه سهم آبگیر از لایه‌های پرسوب پایینی کاهش یافته و از طرف دیگر، سهم آبگیر از لایه‌های بالایی جریان افزایش می‌یابد.

محاسبه قدرت جریان ثانویه در قوس نشان می‌دهد مقادیر قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف قوس دارای یک مقدار ماکزیمم در مقطع ۴۵ درجه و یک مقدار ماکزیمم نسبی دیگر در مقطع ۱۳۰ درجه می‌باشد و در وسط آبگیر به حداقل مقدار خود می‌رسد. نصب صفحات در محدوده آبگیر، موجب افزایش قدرت جریان ثانویه شده و از شدت کاهش قدرت جریان ثانویه بر اثر مکش آبگیر می‌کاهد. محاسبه تنش برشی بستر نشان می‌دهد جریان چرخشی القا شده توسط صفحات باعث تغییر الگوی میدان تنش برشی در محدوده صفحات گردیده، به‌گونه‌ای که مقدار تنش برشی در دهانه آبگیر افزایش یافته است. نتایج ارائه شده در این مقاله می‌تواند برای توسعه و صحت‌سنجی مدل‌های عددی روی میدان جریان حول صفحات مستغرق در نزدیکی آبگیر جانبی در قوس نیز مفید باشد.

## منابع

1. Abbasi, A. 2003. Experimental investigation on sediment control at lateral intakes in straight channels. Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)
2. Abulghasemi, M. 2006. Sediment Control at Lateral Intakes in River Meander. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)
3. Akhtaruzzaman, S.M. 1998. Flow measurement around scoured bridge piers using Acoustic Doppler Velocimeter (ADV), *J. Flow Measurement and Instrumentation*, Pp: 217-227.
4. Avery, P. 1989. Sediment control at intakes. British Hydromechanics Research Association, the Fluid Engineering Center, Cornfield, Bedford, England.
5. Barbhuiya, A.K., and Dey, S. 2003. Measurement of turbulent flow field at a vertical semicircular cylinder attached to the sidewall of a rectangular channel. *J. Flow Measurement and Instrumentation*, Pp: 87-96.
6. Blanckaert, K., and Walter H.G. 2001. Mean flow and turbulence in open channel bend, *J. Hydr. Eng. ASCE*, 127: 10.
7. Barkdoll, B.D., Ettema, R., and Odgaard, A.J. 1999. Sediment Control at Lateral Diversions. *J. Hydr. Eng. ASCE*, 125: 862-870.
8. Blench, T., Bondurant, D.C., and Thomas, A.R. 1952. Discussions of Diversions from alluvial channels. *Trans. ASCE*, 78: 112. 1-7.
9. Daily, W., and Harleman, D. 1966. Fluid dynamics. Addison Wesley Publishing Company.
10. Dehghani, A.A. 2006. Experimental study on flow field and scouring at lateral intake in 180 degree bend. Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)
11. Ghalani, A. 1998. Experimental investigation on the effect of submerged vanes angle of attack with flow. M.Sc. Thesis, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)
12. Habermass, F. 1955. Sediment Motion in Channel Bifurcation (in Dutch: Wasserkraft und Wasserwirtschaft). No. S9 and 10.
13. Joglekar, D. 1959. Manual on River Behavior, Control and Training. Irrigation and Power, Pp: 177-190.
14. Nakato, T., and Odgen, F.L. 1990. Sediment Control at Water intakes along Sand Bed Rivers. *J. Hydr. Eng. ASCE*, 116: 1. 119-128.
15. Nazari, S.M. 1998. Experimental investigation on effect of sill height and diversion angle of intake on sediment control at river bends. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran. (In Persian)
16. Neary, V.S., and Odgaard, A.J. 1993. Three-dimensional flow structure at open channel diversions. *J. Hydr. Eng. ASCE*, 119: 11. 1224-1230.
17. Neary, V., and Sotiropoulos, F. 1996. Numerical Investigation of Laminar Flows through 90-Degree Diversions. *J. Computer and Fluids*, 25: 2. 95-118.
18. Neary, V., Sotiropoulos, F., and Odgaard, A.J. 1999. Three-Dimensional Numerical Model of Lateral-Intake Inflows, *J. Hydr. Eng. ASCE*, 125: 2. 126-140.
19. Odgaard, A.J., and Wang, Y. 1991. Sediment Management with Submerged Vanes I: Theory, *J. Hydr. Eng. ASCE*, 117: 3. 267-283.
20. Pirestani, M. 2004. Investigation on flow field and scouring at lateral intake in channel bends. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, South Tehran branch. (In Persian)
21. Rahmanian, M.R. 1998. Hydrodynamic investigation on arrangement of submerged vanes at lateral intakes. M.Sc. Thesis, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. (In Persian)
22. Razvan, E. 1989. River Intake and Diversion Dams. Elsevier Science Publishing Company Inc. New York, NY. 10010, USA.
23. Toru, K. 1975. Design of Irrigation Water Intake, P 311-352. ICID, 9th Congress Moscow.
24. Vanoni, V.A. 1975. Sedimentation engineering. American Society of Civil Engineers, New York.
25. Wu, W., Rodi, W., and Wenka, T. 2000. 3D Numerical Modeling of Flow and Sediment Transport in Open Channels. *J. Hydr. Eng.* 126: 4-15.

## **Experimental Study on turbulent flow field around submerged vanes at a lateral diversion in a U shape rectangular channel bend**

**\*H. Montaseri<sup>1</sup>, M. Ghodsian<sup>2</sup> and A.A. Dehghani<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Yasooj University,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Hydraulic Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

---

### **Abstract**

In design of intakes, it is important that we choose conditions that maximum water and minimum sediment is diverted. Locating intakes in outer bank of bends and using submerged vanes are some of methods for reducing sediment entry into the lateral intake. Submerged vanes are small flow training structures, designed to modify the near bed flow pattern and redistribution of flow and sediment transport within the channel cross section. The vanes are generating secondary circulation in the flow. The flow field around lateral intakes located in the outer bank of channel bends and the interaction between this flow field and secondary flow due to submerged vanes is completely three dimensional and complex. The study of this flow field is useful for the engineers engaged in designing such structures. In this paper, measurement of three-dimensional turbulent flow field around a two array submerged vanes at a lateral intake in a U shape channel bend, was taken using an Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). The results show that the submerged vanes generate a secondary flow that is unidirectional with secondary flow in the bend. Also with the installation of submerged vanes at lateral intakes, the width of dividing stream line in lower layers of flow is reduces. The strength of secondary flow in various sections of the bend was also calculated using vortex strength criteria. It was found that the maximum strength of secondary flow occurs at section 45 degree of the bend. However there is another local peak value around section 135 degree. The installation of vanes, causes increasing of strength of secondary flow around the intakes. The bed shear stresses in the vicinity of the intake are determined by Reynolds shear stresses. The results presented in this paper would be useful for the development and validation of numerical models, for studying the flow field around the submerged vanes at lateral intake in U shape bends.

**Keywords:** Channel bend; Lateral intake; Submerged vanes; Flow field

---

\* Corresponding Author; Email: hmontaseri@gmail.com