

## بررسی اثر دیوار جداکننده و آبشکن بر الگوی سرعت جریان و رسوب در دهانه آبگیر جانبی

امیر مرادی نژاد<sup>۱\*</sup>، امیر حمزه حقی آبی<sup>۲</sup>، مجتبی صانعی<sup>۲</sup> و حجت‌ا.. یونسی<sup>۳</sup>

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران  
۲ و ۴- به ترتیب: استاد؛ و استادیار گروه سازه‌های آبی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۴

### چکیده

برای کاهش رسوب ورودی به دهانه آبگیر می‌توان از دیوار جداکننده به‌عنوان سازه کنترل‌کننده ورود رسوب به آبگیر استفاده کرد. دیوار جداکننده باعث تغییر الگوی جریان و در نتیجه تغییر مقدار رسوب ورودی به آبگیر می‌شود. متوسط زاویه‌های خطوط جریان که به آبگیر وارد می‌شوند از کف به سمت سطح زیاد می‌شود. در این تحقیق، اثر دیوار جداکننده و آبشکن بر تغییرات مؤلفه سرعت بررسی شده است. مؤلفه‌های سرعت در دو بعد جهت جریان در کانال اصلی و عمود بر جریان در جلو دهانه آبگیر و زاویه ورود جریان در طول دهانه آبگیر تعیین گردید. با استفاده از زاویه بردار سرعت ورودی به آبگیر و مؤلفه‌های طولی و عرضی سرعت، توزیع سرعت و نحوه ورود و انتقال رسوبات به آبگیر در لایه‌های مختلف بررسی گردید. تغییرات سرعت در جلو دهانه آبگیر در سه لایه با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد به‌خاطر هدایت جریان توسط آبشکن و وجود دیوار جداکننده و تأثیر روی لایه‌های میانی و کف، زاویه بردار سرعت در لایه سطحی بیشتر است تا در لایه‌های دیگر. وجود آبشکن باعث شده سرعت طولی در لایه نزدیک کف ۲/۲۵ برابر و سرعت عرضی در لایه سطحی ۱/۳۳ برابر نسبت به حالت بدون آبشکن افزایش یابد.

### واژه‌های کلیدی

آبگیری، الگوی جریان، زاویه آبگیر، کانال انحراف، کنترل رسوب

### مقدمه

دبی ممکن را با کمترین میزان رسوب وارد آبگیر کند. کنترل نکردن رسوب ورودی به آبگیرها موجب انتقال آن به داخل کانال‌های آبیاری و تأسیسات می‌شود و مشکلات زیادی را در نتیجه حمل رسوبات یا ته‌نشین شدن آنها در قسمت‌های مختلف به‌وجود می‌آورد. سازه‌های مختلفی برای کنترل رسوب در جلو آبگیر و کانال اصلی به‌کار می‌روند از جمله می‌توان به دیوار جداکننده، آبشکن، آستانه، و صفحه مستغرق اشاره کرد. تحقیقات مختلفی در زمینه

یکی از مناسب‌ترین و در عین حال قدیمی‌ترین روش‌های برداشت آب از رودخانه‌ها برای مصارف گوناگون، استفاده از آبگیرهای ثقلی است. یکی از مشکلاتی که در اکثر آبگیرها به‌وجود می‌آید، ورود و تجمع رسوب به دهانه آبگیر و تغییر مسیر خط‌القعر جریان به سمت ساحل مقابل آبگیر است. تعیین شرایط بهینه انحراف جریان از آبگیرها موجب می‌شود تا الگوی جریان ورودی به آبگیرها بیشترین

می‌تواند ناچیز باشد که نسبت دبی واحد عرض آبگیر به دبی واحد عرض کانال اصلی ( $q_r$ ) کمتر از حدود ۰/۲ باشد. نیری و همکاران (Neary *et al.*, 1999) مدل عددی سه بعدی جریان در حالت لایه‌ای روی انشعابی ۹۰ درجه در کانالی با مقطع مستطیلی را توسعه دادند و با نتایج آزمایشگاهی صحت‌یابی کردند. بر اساس یافته‌های این محققان، با افزایش نسبت انحراف جریان (نسبت دبی در کانال آبگیر به کل دبی)، عرض ناحیه گردابی کم و بر طول آن افزوده می‌شود.

مطالعات نیری و ادگار (Neary & Odgaard, 1993) نشان می‌دهد جریان در اطراف آبگیرهای جانبی، کاملاً سه بعدی و متأثر از تأثیرات زبری است. رامامورتی و همکاران (Ramamurthy *et al.*, 2007) با مطالعه آبگیری با زاویه ۹۰ درجه از کانال مستقیم نشان دادند که با افزایش نسبت انحراف جریان، طول و عرض ناحیه جدایی جریان در کانال آبگیر کاهش می‌یابد. همچنین وسعت ناحیه جدایی در کانال آبگیر در کف کمتر است تا در سطح و بیشینه سرعت جریان در کانال آبگیر در فاصله‌ای به اندازه عرض کانال آبگیر در پایین دست آبگیر رخ می‌دهد که در این مکان بیشینه تنگ‌شدگی جریان دیده می‌شود. متوسط زاویه‌های خطوط جریان که به آبگیر وارد می‌شود از کف به سمت سطح زیاد خواهد شد. در عمقی ثابت از جریان، زاویه خروج جریان با افزایش نسبت انحراف کاهش می‌یابد. بیشترین سرعت طولی جریان در کانال آبگیر درست در فاصله‌ای به اندازه عرض دهانه آبگیر در جهت پایین دست کانال آبگیر دیده می‌شود. طول و عرض ناحیه جدایی در کانال اصلی با افزایش نسبت انحراف افزایش می‌یابد. همچنین، جریان حلزونی به سمت پایین دست آبگیر مشاهده شده است. هسو و

کنترل رسوب در آبگیرها صورت گرفته و توصیه‌های طراحی مختلفی ارائه شده است، اما چندین موضوع از جمله پیچیدگی انتقال جریان و رسوب در محدوده دهانه آبگیر، تأثیر رسوبات ورودی بر شرایط جریان در دهانه آبگیر، و تغییر در ریخت‌شناسی بستر در کانال اصلی و کانال آبگیر در پی رسوب‌گذاری سبب شده است که تحقیقات همچنان ادامه یابد (Moradinejad *et al.*, 2017). مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad *et al.*, 2017) با بررسی آزمایشگاهی تأثیر کاربرد توأمان دیوار جداکننده و آبشکن بر هیدرولیک جریان و رسوب در مجاورت دهانه آبگیر جانبی نشان دادند که در حالت وجود دیوار جداکننده و ترکیب آن با آبشکن، مقدار رسوب ورودی به آبگیر به‌طور متوسط در دیوار با زاویه ۱۰ درجه ۸۱ درصد، در دیوار با زاویه ۱۴ درجه ۷۸ درصد، و در دیوار با زاویه ۱۸ درجه ۷۶ درصد کاهش می‌یابد. ترکیب دیوار جداکننده و آبشکن، نسبت به دیوار جداکننده به تنهایی، در کاهش رسوبات ورودی به آبگیر به‌طور متوسط برای هر سه زاویه به میزان ۱۵ درصد تأثیر بیشتری دارد.

رادکیوی (Raudkivi, 1993) نشان داد که با افزایش زبری نسبی، قدرت جریان ثانویه و نیز میزان رسوب ورودی به آبگیر کاهش می‌یابد. بر اساس مطالعات نیری و استاوروپولوس (Neary & Stavropoulos, 1996)، گرادیان فشارهای طولی در مجاورت سر دهانه آبگیر موجب تشکیل گرادیان سرعت و تغییرات عمق جریان در این محل می‌شود و از این‌رو باعث شکل‌گیری جریان گردابی و نواحی جریان برگشتی در وجه بالادست آبگیر خواهد شد. تحقیقات بارکدول و همکاران (Barkdoll *et al.*, 1999) نشان می‌دهد شدت رسوبات ورودی بستر به داخل آبگیر پس از نصب صفحات مستغرق زمانی

جریان اطراف آبشکن مطالعه کردند و نشان دادند الگوی خطالقعر و ناحیه جدایی جریان با مقیاس مدل تطابق ندارد. شفافی بجستان و نظری (Shafai-Bejestan & Nazari, 2010) با اجرای ۳۴ آزمایش روی آبگیری در خم ۹۰ درجه در موقعیت ۶۰ درجه با ۵ زاویه مختلف آبگیری ۱۵، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه با بستر متحرک نشان دادند زاویه ۶۰ درجه، جریان بیشتری را با حداقل میزان رسوب منتقل می‌کند. اویانگ (Ouyang, 2009) با استفاده از یک مدل عددی، تأثیر شکل و ابعاد صفحات مستطیلی را بر راندمان و کارایی صفحات بررسی کرده اما آبشستگی موضعی پیرامون صفحات را در مدل عددی لحاظ نکرده است؛ در این بررسی، سطح صفحات در تمام گزینه‌ها ثابت بود. نتیجه کلی این تحقیق این بود که مقدار بهینه نسبت ارتفاع به عمق جریان برابر ۰/۶۵ است. با توجه به سوابق تحقیق، تاکنون عمده مطالعات در زمینه آبگیر روی صفحات مستغرق، آستانه، آبشکن یا ترکیب آنها بوده است. مطالعات بیشتر در این زمینه، به‌خصوص در حالتی که از دیواره جداکننده در جلو آبگیر استفاده شود، ضروری است. هدف اصلی این مطالعه تأثیر دیوار جداکننده و آبشکن بر الگوی سرعت جریان و کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی است.

#### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری در فلومی با شیب ۰/۰۰۲، به طول ۱۲، عرض ۱/۵ و ارتفاع ۰/۹ متر و دارای سیستم گردش آب و رسوب اجرا شد. برای آبگیری از کانال جانبی با زاویه  $\theta=60$  درجه نسبت به جهت جریان در کانال اصلی استفاده شد که عرض و طول

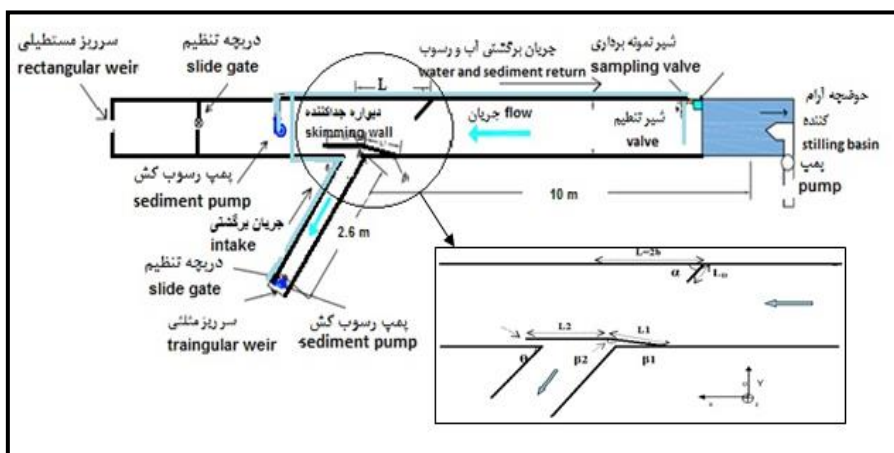
همکاران (Hsu et al., 2002) با مطالعه کانال آبگیر هم‌عرض با کانال اصلی در زاویه آبگیر ۹۰ درجه از کانال مستقیم نشان دادند که با افزایش نسبت دبی انحرافی، نسبت عمق جریان در بالادست آبگیر به عمق جریان در پایین دست آبگیر در کانال اصلی افزایش می‌یابد. این نسبت با کاهش عدد فرود افزایش می‌یابد. مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad et al., 2018) سرعت جلو دهانه آبگیر را در سه حالت بدون سازه، با سازه دیوار جداکننده، و با سازه دیوار جداکننده و آبشکن بررسی کردند و نشان دادند در حالت دیوار جداکننده و آبشکن در هر سه لایه، سرعت طولی با نزدیک شدن جریان به دهانه آبگیر افزایش و پس از رسیدن به ابتدای دهانه آبگیر به مقدار بیشینه خود می‌رسد. پس از عبور جریان از ابتدای دهانه در هر سه لایه سرعت کاهش می‌یابد و در یک سوم ابتدای دهانه آبگیر به مقدار کمینه می‌رسد. سیدیان و همکاران (Sayyidan et al., 2010) با بررسی تغییرات مولفه طولی و عرضی سرعت در جلو دهانه آبگیر برای سه عدد فرود ۰/۳۵، ۰/۴۰، و ۰/۴۵ و نسبت‌های آبگیری ۷، ۸، و ۹ درصد و در چهار شیب دیواره کانال (۱/۵، ۱، ۰/۵، و  $z=0$ ) نشان دادند هنگامی که دبی بالادست یکسان باشد، نسبت آبگیری در شیب ۱/۵ دیواره کانال نسبت به دیواره قائم به میزان ۶۰ درصد افزایش نشان می‌دهد.

عباسی (Abbasi, 2003) با مطالعه کنترل رسوب در آبگیر با زاویه ۹۰ درجه نشان داد که عرض خط جدایی جریان تابع نسبت دبی آبگیری و زاویه آبگیری است و با افزایش عدد فرود جریان مقدار ورود رسوب به آبگیر کاهش پیدا می‌کند. اتما و ماست (Ettema & Muste, 2004) تأثیرات مقیاس را بر

از یک تناسب صحت برداشت سرعت تأیید شد. زمان برداشت سرعت در هر نقطه، به دلیل نوسانات بیشتر سرعت در دهانه آبیگر، زمان یک دقیقه و برای دیگر نقاط زمان ۴۰ ثانیه برای برداشت سرعت در نظر گرفته شد. اجزای سرعت‌سنج در شکل ۳ نشان داده شده است. محدوده اندازه‌گیری سرعت، در جهت طولی از ۶۰ سانتی‌متری بالای آبیگر تا ۴۰ سانتی‌متری پایین و در جهت عرضی در ۳۰ سانتی‌متری از دیواره سمت آبیگر بود. سرعت در سه عمق ۷ (۰/۲، ۰/۶ و ۱) از بستر برداشت شد. سازه دیوار جداکننده از دو شاخه تشکیل شده است. شاخه ابتدایی به طول  $L_1 = 75$  و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر که یک سمت آن با زاویه  $\beta_1 = 10^\circ$  درجه به ساحل سمت آبیگر و سمت دیگر آن با زاویه  $\beta_2 = 170^\circ$  درجه به شاخه دوم وصل می‌شود؛ شاخه دوم موازی ساحل با طول  $L_2 = 112$  و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر در جهت جریان ادامه دارد (شکل‌های ۱ و ۲). بر اساس تحقیقات بارکدول و همکاران (Barkdoll *et al.*, 1999)، نسبت طول شاخه‌ها  $\frac{L_2}{L_1} = 1/5$  و ارتفاع خارج از بستر دیوار جداکننده یک سوم عمق جریان و کاملاً مستغرق در نظر گرفته شد. آبشکن غیر مستغرق با زاویه  $\alpha = 60^\circ$  درجه با طول  $L_D = 0/25B$  و در فاصله  $L = 2b$  از مرکز آبیگر قرار دارد (شکل‌های ۱ و ۲). جدول ۱ مقادیر تغییرات پارامترها را نشان می‌دهد.

آن ۰/۶ و ۲/۵ است (در زاویه آبیگری ۶۰ درجه گردابه‌های کمتری در محل اتصال آبیگر به کانال اصلی شکل می‌گیرند و راندمان آبیگری بهتر است). کانال آبیگر در فاصله ۹ متری از حوضچه آرام‌کننده بالادست و در فاصله ۳ متری از دریچه تنظیم سطح آب انتهای فلوم واقع شده است (اشکال ۱ و ۲). دبی ورودی در محل ایستگاه پمپاژ با شیرهای قابل تنظیم کنترل گردید. عمق جریان با دریچه‌هایی تنظیم می‌شود که در انتهای هریک از کانال‌های اصلی و آبیگر قرار دارند (شکل ۱). برای اندازه‌گیری جریان در کانال‌های اصلی و آبیگر، از سرریزهای لبه تیز مستطیلی و مثلثی با دقت  $\pm 0/1$  میلی‌متر، برای اندازه‌گیری پروفیل سطح آب از ارتفاع‌سنج (Point Gage) و بسترنگار (پروفایلر) با دقت  $\pm 0/1$  میلی‌متر، برای اندازه‌گیری سرعت و جهت جریان از سرعت‌سنج الکترومغناطیس دو بعدی ساخت مؤسسه هیدرولیک دلفت هلند، با دقت  $\pm 0/01$  متر بر ثانیه، استفاده شد. سرعت‌سنج قابلیت اندازه‌گیری سرعت را به‌طور همزمان در دو جهت جریان دارد. برای کنترل و کالیبراسیون روابط و نمودارهای سرعت، از فلوم کالیبراسیون موجود در مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو استفاده شد. برای اطمینان نیز صحت داده‌ها با نرم‌افزار دستگاه بررسی گردید. پس از ایجاد آب راکد در فلوم، با استفاده از گزینه کالیبراسیون و تحلیل و با استفاده

بررسی اثر دیوار جداکننده و آبشکن بر الگوی سرعت...



شکل ۱- نمای کلی فلوم، آبشکن، دیوار جداکننده، و سیستم چرخش آب و رسوب

Figure 1- Overview of flume, spur dike, skimming wall, and water and sediment rotation system



شکل ۲- دیوار جداکننده و رسوبات انباشته شده جلو دهانه آبگیر

Figure 2 - Skimming wall and sediment in front of intake port



شکل ۳- سرعت سنج دو بعدی

Figure 3- Two-dimensional velocity meter

جدول ۱- محدوده تغییرات پارامترها در آزمایش‌ها

Table 1- Limits of parameter changes in experiments

نسبت رسوب انحرافی Deviation sedimentation ratio	نسبت دبی انحرافی Deviation Ratio	عدد فرود Fr	عمق کانال اصلی (متر) Depth of Main Channel (m)	دبی کانال آبیگر (لیتر بر ثانیه) intake flow (lit/s)	دبی کانال اصلی (لیتر بر ثانیه) Main Channel flow (lit/s)	پارامترها parameters
0.1315-0.042	0.125-0.054	0.473-0.414	0.11-0.08	10.5-5.6	60-30	محدوده تغییرات Limit of change

تساوی شیب سطح آب با شیب بستر با ثابت بودن درجه پایاب است. پس از برداشت سرعت در سه عمق در جلو دهانه آبیگر به صورت دو بعدی تغییرات مولفه سرعت مورد بررسی قرار گرفت. مولفه‌های سرعت در دو بعد جهت جریان در کانال اصلی و عمود بر جریان در جلو دهانه آبیگر و زاویه ورود جریان در طول دهانه آبیگر تعیین گردید. برای تعیین زاویه ورودی جریان از رابطه ۱ استفاده شده است.

$$\theta = 90 - \tan^{-1}\left(\frac{U}{V}\right) \quad (1)$$

که در آن،

$V$  = سرعت طولی در جهت جریان؛  $U$  = سرعت عرضی در جهت عمود بر جریان؛  $\theta$  = زاویه بردار سرعت بر حسب درجه با جهت جریان در کانال اصلی، زاویه صفر یعنی جریان به طور مستقیم در راستای کانال اصلی از مقابل آبیگر عبور می‌کند. زاویه ۹۰ درجه یعنی جریان در جهت کانال آبیگر با زاویه ۹۰ درجه در حرکت است. با افزایش  $\theta$ ، زاویه انتقال ذرات به آبیگر بیشتر می‌شود. با استفاده از زاویه بردار سرعت ورودی به آبیگر و مولفه‌های طولی و عرضی سرعت، توزیع سرعت و نحوه ورود و انتقال رسوبات به آبیگر در لایه‌های مختلف بررسی شد. تغییرات سرعت در جلو دهانه آبیگر در لایه‌های سطحی، میانی، و کف با یکدیگر مقایسه شدند.

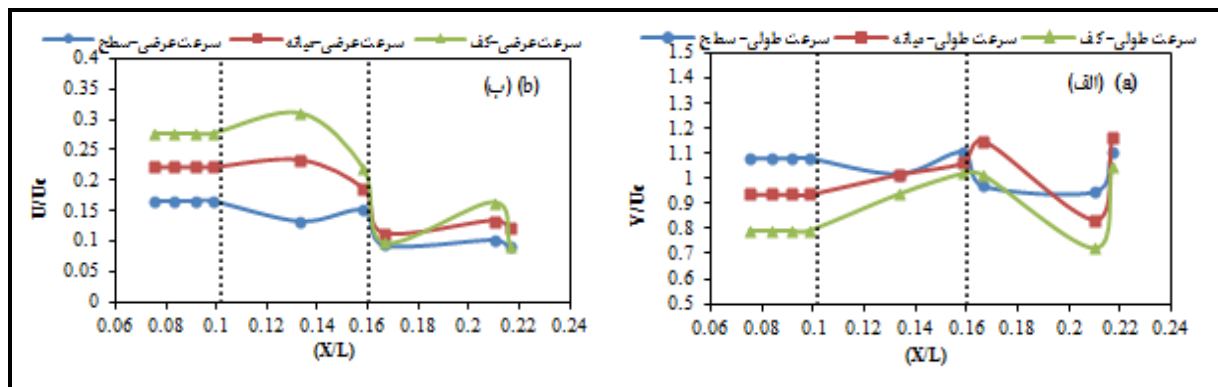
برای آن که رسوبات به حالت تعلیق در نیایند (یعنی به صورت بار بستر حرکت کنند) از ماسه به قطر متوسط یک میلی‌متر، جرم مخصوص ۲/۶۵، انحراف معیار ۱/۴۷ و ضریب یکنواختی ۲/۲ استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها و ثبت داده‌ها بعد از به تعادل رسیدن جریان آب و رسوب و تشکیل فرم بستر دنبال شد. برای کنترل حرکت رسوبات به صورت بار بستر در محدوده دبی انتخابی، از دیاگرام شیلدز استفاده شد؛ دبی جریان با توجه به شرایط آزمایشگاهی در کمترین مقدار برابر ۲۵ لیتر بر ثانیه، شیب بستر متحرک برابر ۰/۰۰۲، عمق جریان ۴/۶ سانتی‌متر، شعاع هیدرولیکی ۰/۰۴۵۲، سرعت برشی ۰/۰۲۹۸، عدد رینولدز مرزی ۲۵/۴۸ و پارامتر شیلدز ۰/۰۵۴۸ محاسبه شد. با توجه به پارامتر شیلدز ( $\theta$ ) و رینولدز مرزی ( $Re^*$ ) محاسباتی برای شرایط فوق‌الذکر و بر اساس نمودار شیلدز، پارامتر شیلدز بزرگتر از پارامتر شیلدز بحرانی است ( $\theta > \theta_{cr}$ ) از این رو حرکت رسوبات بستر برای این دبی و دبی بیشتر از آن وجود دارد. برای برقراری شرایط تعادل (در حالت نسبی) ابتدا یک سری آزمایش اولیه به منظور برداشت پروفیل سطح آب در زمان‌های مختلف اجرا شده است. ایجاد شرایط تعادل یکی از وقت‌گیرترین فرآیندهای آزمایش انتقال رسوب است. در این تحقیق، برقراری شرایط تعادل به صورت نسبی مدنظر است که این معیار در آزمایش‌ها،

نتایج و بحث

بردارهای سرعت جلوی دهانه آبگیر

طولی به مقدار بیشینه خود می‌رسد. پس از عبور جریان از ابتدای دهانه، سرعت طولی در هر سه لایه سرعت کاهش می‌یابد تا به نقطه انتهای دهانه آبگیر می‌رسد. پس از عبور جریان از آبگیر سرعت طولی تغییرات چندانی در لایه‌های مختلف ندارد. با توجه به شکل ۴-ب در هر سه لایه سرعت با نزدیک شدن جریان به دهانه آبگیر کاهش می‌یابد. پس از رسیدن جریان به ابتدای دهانه آبگیر سرعت عرضی به مقدار کمینه خود می‌رسد. در هر سه لایه، جریان پس از عبور از ابتدای دهانه بر سرعت آن افزوده می‌شود تا به نقطه انتهای دهانه آبگیر برسد. در لایه سطحی، افزایش سرعت عرضی در طول دهانه بسیار ناچیز است. جریان پس از عبور از آبگیر سرعت تغییرات چندانی در لایه‌های مختلف ندارد. جریان هنگامی که به آبگیر نزدیک می‌شود، به دلیل فشار مکش انتهای آبگیر، شتاب جانبی می‌گیرد. این شتاب باعث تقسیم جریان به دو قسمت می‌شود، یک قسمت به سمت آبگیر و یک قسمت به سمت پایین دست کانال اصلی ادامه می‌یابد. این پدیده می‌تواند علت کاهش سرعت در نزدیک آبگیر باشد.

شکل‌های ۴ تا ۶ نمودارهای توزیع سرعت جلو دهانه آبگیر را برای این سه حالت نشان می‌دهد: بدون سازه، با سازه دیوار جداکننده، و با سازه دیوار جداکننده و آبشکن. در این شکل‌ها نمودارهای الف مربوط به توزیع سرعت طولی در مقابل آبگیر و نمودارهای ب مربوط به توزیع سرعت عرضی در مقابل آبگیر است. در تمام نمودارها، فاصله مقابل آبگیر است. در تمام نمودارها، فاصله ۰/۱۶۰-۰/۱۶۰ دهانه آبگیر و فاصله بعد از ۰/۱۶۰ بالادست آبگیر و قبل از ۰/۱۰۱۶ پایین دست کانال اصلی و آبگیر است. در هر شکل سه لایه سطح آب (y)، میانه عمق جریان (y ۰/۶)، و نزدیک بستر (y ۰/۲) با نمودارهای مختلف از هم تفکیک شده‌اند. در این شکل‌ها،  $U_c$  سرعت معادل آستانه حرکت، x فاصله نقطه مورد نظر از انتهای کانال، و L طول کل کانال است. با توجه به شکل ۴-الف نمودار حالت بدون سازه (شاهد)، در هر سه لایه با نزدیک شدن جریان به دهانه آبگیر سرعت طولی افزایش می‌یابد. پس از رسیدن جریان به ابتدای دهانه آبگیر سرعت

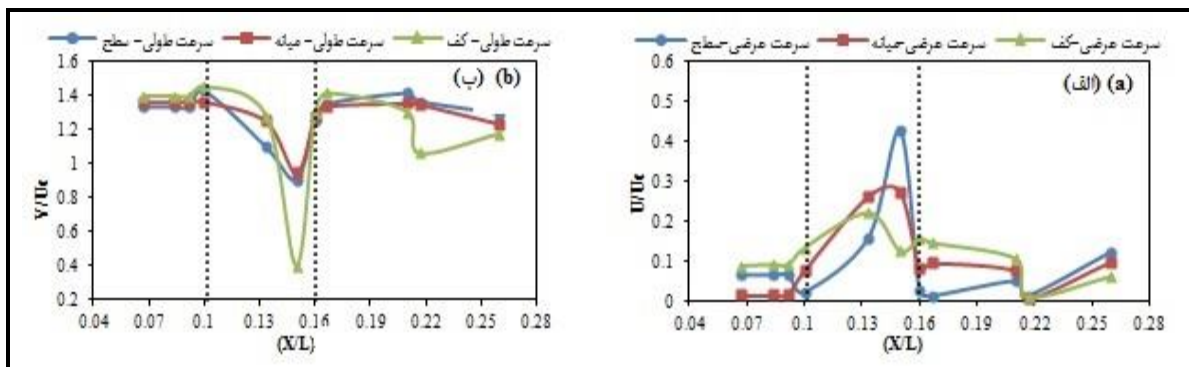


شکل ۴- الف) تغییرات سرعت طولی و ب) سرعت عرضی در جلو دهانه آبگیر در نزدیکی سطح، میانه، و بستر در حالت شاهد  
 Figure 4- a) Longitudinal velocity variations and b) transverse velocities in front of the mouth of the intake near the surface, middle, and bed in the control state

دیگر. جریان پس از عبور از انتهای یک سوم ابتدایی دهانه آبیگر، سرعت عرضی آن تا انتهای دهانه آبیگر حالت نزولی دارد و پس از عبور از دهانه آبیگر، تغییرات چندانی در سرعت آن در لایه‌های مختلف دیده نمی‌شود.

با توجه به اینکه جریان لایه‌های زیرین، در مقایسه با لایه‌های بالایی، رسوبات بیشتری دارد، با نصب دیوار جداکننده جلو دهانه آبیگر عرض جدایی جریان در لایه زیر کاهش می‌یابد، جلو مقدار زیادی از رسوبات ورودی به آبیگر گرفته می‌شود. رسوبات به سمت پایین دست کانال اصلی حرکت می‌کنند. اندازه زاویه بردار سرعت به سمت آبیگر در لایه‌های زیرین کاهش می‌یابد. این امر به نظر می‌رسد به دلیل جریان چرخشی ناشی از وجود دیوار جداکننده باشد. در حالت وجود سازه دیوار جداکننده، به دلیل وجود این سازه سرعت طولی لایه نزدیک بستر نسبت به دو لایه دیگر کاهش چشمگیری دارد به طوری که این سرعت نسبت به سرعت قبل از آبیگر ۷۱ درصد کاهش نشان می‌دهد. در صورتی که در دو لایه دیگر ۲۸ درصد کاهش یافته است.

شکل ۵-الف نمودار مربوط به حالت با سازه دیوار جداکننده را نشان می‌دهد. در هر سه لایه، با نزدیک شدن جریان به دهانه آبیگر سرعت طولی افزایش و پس از رسیدن جریان به ابتدای دهانه آبیگر این سرعت به مقدار بیشینه خود می‌رسد. جریان، پس از عبور از ابتدای دهانه در هر سه لایه، سرعت آن کاهش می‌یابد و در یک سوم ابتدای دهانه آبیگر به مقدار کمینه می‌رسد. جریان پس از عبور از یک سوم ابتدایی تا نقطه انتهای دهانه آبیگر، دوباره سرعت طولی آن افزایش می‌یابد و در انتهای دهانه آبیگر به بیشینه می‌رسد و پس از عبور از آبیگر تغییرات چندانی در سرعت آن لایه‌های مختلف ایجاد نمی‌شود. با توجه به شکل ۵-ب در هر سه لایه سرعت عرضی بر عکس سرعت طولی جریان است یعنی با نزدیک شدن جریان به دهانه آبیگر، سرعت کاهش می‌یابد و پس از رسیدن به ابتدای دهانه آبیگر به مقدار کمینه خود می‌رسد. جریان پس از عبور از ابتدای دهانه در هر سه لایه افزایش سرعت دارد تا به نقطه انتهایی یک سوم ابتدای دهانه آبیگر برسد. در لایه سطحی، افزایش سرعت عرضی در طول دهانه بیشتر است تا در لایه‌های



شکل ۵-الف) تغییرات سرعت طولی و ب) سرعت عرضی در جلو دهانه آبیگر در نزدیکی سطح، میانه، و بستر در حالت وجود سازه دیوار جداکننده

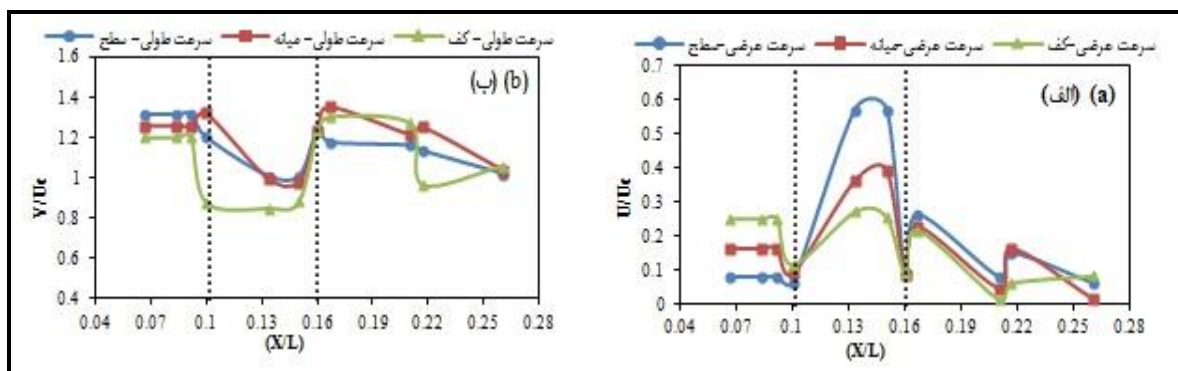
Figure 5- a) Changes of longitudinal velocity and b) transverse velocity in front of the mouth of the intake near the surface, middle, and bed when the skimming wall is present



سطحی و میانی، افزایش سرعت عرضی در طول دهانه بیشتر است تا در لایه دیگر که علت آن وجود آبشکن است. الگوی جریان با نصب آبشکن تغییر می‌کند و خطوط جریان در لایه‌های بالایی موازی و یکنواخت به سمت پایین‌دست در کانال اصلی ادامه می‌یابد. در کانال اصلی و مقابل آبگیر با افزایش سرعت جریان، جریان ثانویه‌ای که پس از آبگیر به وجود می‌آید تقریباً از بین می‌رود.

صفحه جدایی جریان در کف تحت تأثیر احداث آبشکن قرار می‌گیرد. آبشکن باعث هدایت جریان به سمت آبگیر و عبور جریان با سرعت بالا از جلو آبگیر و در نتیجه شستن رسوبات و حمل آنها به پایین‌دست می‌شود و شیاری در جلو آبگیر ایجاد می‌شود که باعث خواهد شد رسوبات به پایین منتقل و از جلو آبگیر دور شوند (شکل ۲). پس از عبور جریان از مرکز دهانه آبگیر، سرعت عرضی تا انتهای دهانه آبگیر حالت نزولی دارد و پس از عبور جریان از انتهای دهانه آبگیر، تغییرات سرعت در لایه‌های مختلف زیاد نیست. وجود آبشکن باعث شده تا سرعت طولی در لایه نزدیک کف  $2/25$  برابر و سرعت عرضی در لایه سطحی  $1/33$  برابر نسبت به حالت بدون آبشکن افزایش یابد.

شکل ۶- الف نمودار مربوط به حالت با سازه دیوار جداکننده و آبشکن را نشان می‌دهد. با توجه به شکل در هر سه لایه با نزدیک شدن جریان به دهانه آبگیر سرعت طولی آن افزایش می‌یابد و پس از رسیدن جریان به ابتدای دهانه آبگیر سرعت به مقدار بیشینه خود می‌رسد. پس از عبور جریان از ابتدای دهانه، در هر سه لایه سرعت آن کاهش می‌یابد و در یک سوم ابتدای دهانه آبگیر به مقدار کمینه می‌رسد. لایه سطحی سرعت طولی، نسبت به لایه میانی و نزدیک کف، کاهش کمتری دارد که علت آن وجود سازه دیوار جداکننده و آبشکن است. جریان، پس از عبور از دهانه آبگیر، سرعت طولی آن دوباره افزایش می‌یابد و در انتهای دهانه آبگیر به بیشینه می‌رسد. جریان، پس از عبور از آبگیر، تغییرات سرعت در لایه‌های مختلف آن چندان نیست. با توجه به شکل ۶- ب در هر سه لایه سرعت عرضی بر عکس سرعت طولی با نزدیک شدن جریان به دهانه آبگیر کاهش می‌یابد و پس از رسیدن به ابتدای دهانه آبگیر به مقدار کمینه خود می‌رسد. جریان پس از عبور از ابتدای دهانه در هر سه لایه افزایش سرعت دارد تا به نقطه انتهای یک سوم ابتدای دهانه آبگیر به بیشینه برسد (لایه سطحی ۴ برابر، لایه میانی  $2/6$  برابر، لایه نزدیک بستر ۲ برابر سرعت قبل از آبگیر). در لایه‌های

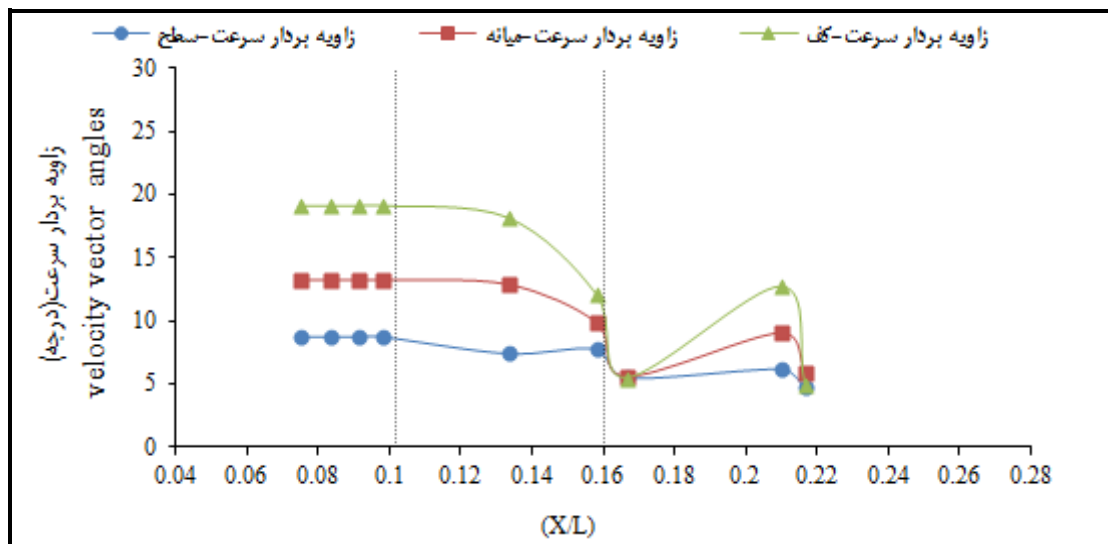


شکل ۶- الف) تغییرات سرعت طولی و ب) سرعت عرضی در جلو دهانه آبگیر در نزدیکی سطح، میانه، و بستر در حالت وجود سازه دیوار جداکننده و آبشکن

Figure 6- a) Changes in longitudinal velocity and b) transverse velocity at the front of the mouth of the intake near the surface, middle, and bed in the presence of a skimming wall structure and a spur dike

زاویه بردار سرعت در سطح مقدار پایین‌تری نسبت به لایه میانی و لایه کف دارد. با توجه به اینکه غلظت رسوبات در کف بیشتر است تا در سطح، با فاصله گرفتن از کف بستر و نزدیک‌تر شدن به سطح، غلظت رسوبات کاهش پیدا می‌کند. از این رو زاویه بردار سرعت در کف، نسبت به دو لایه دیگر، مهم‌تر و نقش بیشتری در انحراف رسوب به آبگیر دارد. زاویه بردار سرعت در لایه سطح در مقایسه با دو لایه دیگر در طول آبگیر تغییرات کمتری دارد. در پایین دست آبگیر، زاویه بردار سرعت در نزدیک دیواره تقریباً صفر است.

شکل‌های ۷ تا ۹ برآیند زاویه بردار سرعت جریان ورودی به کانال آبگیر را در سه لایه از عمق جریان نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷، نمودار مربوط به حالت بدون سازه، در هر سه لایه با نزدیک شدن جریان به دهانه آبگیر زاویه بردار سرعت قبل از رسیدن به آبگیر به کمینه می‌رسد و از قبل از آبگیر روند صعودی پیدا می‌کند. این روند تا انتهای دهانه ادامه دارد. پس از عبور از دهانه آبگیر زاویه بردار سرعت در هر سه حالت بدون تغییر ادامه پیدا می‌کند. با توجه به نمودار زاویه بردار سرعت در کف، نسبت به لایه سطحی و میانی، مقدار بزرگتری دارد.

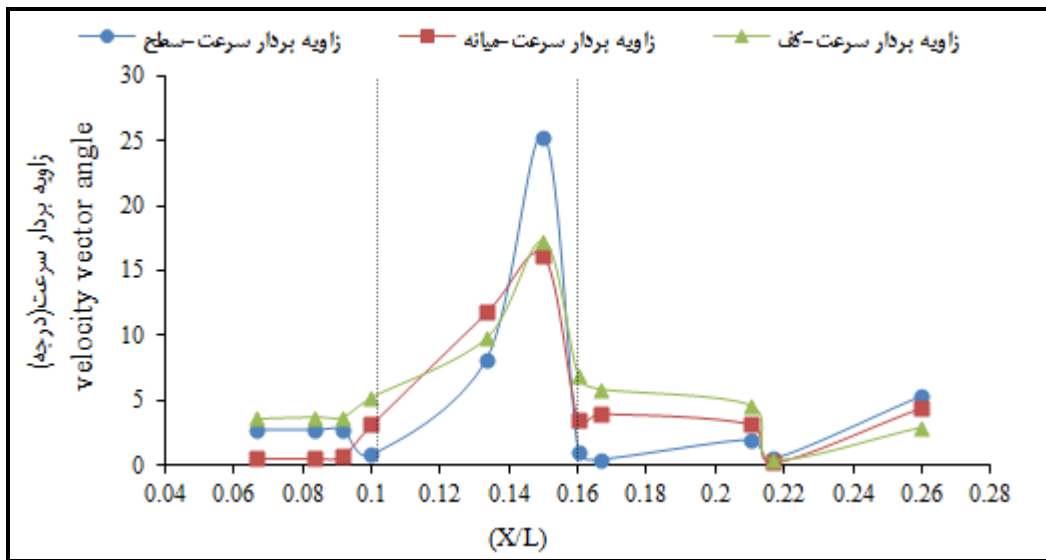


شکل ۷- تغییرات زاویه بردار سرعت در جلو دهانه آبگیر در نزدیکی سطح، میانه، و نزدیک بستر در حالت شاهد

Figure 7- Changes, velocity vector angles, at the mouth of the intake, near the surface, the middle, and near the bed in the control state

در هر سه لایه، با عبور جریان از ابتدای دهانه آبگیر و ورود مقداری از جریان به داخل آبگیر، زاویه بردار سرعت روند صعودی پیدا می‌کند. این روند تا انتهای یک سوم ابتدایی دهانه آبگیر به مقدار بیشینه (وج) خود می‌رسد. پس از عبور از یک سوم ابتدایی دهانه آبگیر، زاویه بردار سرعت روند نزولی پیدا می‌کند و این روند تا عبور از آبگیر ادامه می‌یابد. شیب شاخه صعودی نسبت به شیب شاخه نزولی بیشتر است.

شکل ۸ نمودار مربوط به حالت با سازه دیوار جداکننده را نشان می‌دهد. در هر سه لایه با نزدیک شدن جریان به دهانه آبگیر نمودارهای مربوط به زاویه بردار سرعت دارای نوسان است و روند مشخصی ندارد. با توجه به اینکه ابتدای شروع سازه دیوار جداکننده ۶۰ سانتی‌متر بالای آبگیر است، در این فاصله به علت وجود سازه، زاویه بردار سرعت در کف بیش از زاویه بردار سرعت در دو لایه دیگر است.



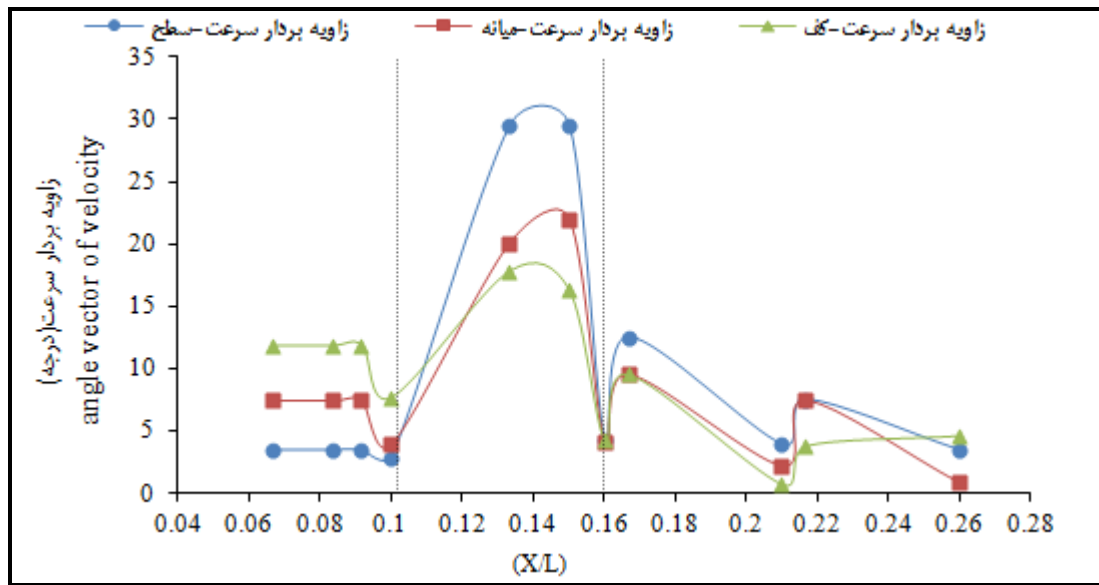
شکل ۸- تغییرات زاویه بردار سرعت در جلوی دهانه آبگیر در حالت وجود سازه دیوار جداکننده

Figure 8- The velocity vector angle variations in front of the intake port, in the presence of the skimming wall structure

باعث هدایت جریان به سمت دهانه آبگیر می‌شود. وجود شاخه اول دیوار جداکننده باعث می‌شود بیشتر جریان سطحی به سمت آبگیر هدایت شود. این‌رو در این قسمت، زاویه بردار سرعت جریان سطحی نسبت به لایه‌های دیگر بیشتر است. در هر سه لایه، با عبور جریان از ابتدای دهانه آبگیر و ورود مقداری از آن به داخل آبگیر، زاویه بردار سرعت روند صعودی پیدا می‌کند. این روند در مرکز دهانه آبگیر به مقدار بیشینه خود می‌رسد. پس از عبور جریان از مرکز دهانه آبگیر، زاویه بردار سرعت روند نزولی پیدا می‌کند؛ این روند تا عبور از آبگیر ادامه دارد. شیب شاخه صعودی نسبت به شیب شاخه نزولی بیشتر است. در طول دهانه آبگیر، به دلیل هدایت جریان توسط آبشکن و وجود سازه دیوار جداکننده و تأثیر روی لایه‌های میانی و کف، زاویه بردار سرعت در لایه سطحی بیشتر است تا در لایه‌های دیگر. پس از عبور جریان از دهانه آبگیر، زاویه بردار سرعت در هر سه حالت بدون نوسان زیاد ادامه پیدا می‌کند.

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود در نیمه اول دهانه آبگیر، به دلیل شکل سازه و زاویه بردار بودن شاخه اول دیوار جداکننده نسبت به دیوار کانال اصلی و تأثیر روی لایه‌های میانی و کف، زاویه بردار سرعت در لایه سطحی، بیشتر از زاویه بردار سرعت در لایه‌های دیگر است. در نیمه دوم دهانه آبگیر به دلیل موازی بودن شاخه دوم سازه با جهت جریان و تأثیر کمتر روی جریان اصلی، این روند دیده نمی‌شود و تغییرات، آن‌طور که در نیمه اول واضح است، در نیمه دوم واضح دیده نمی‌شود. پس از عبور جریان از دهانه آبگیر، زاویه بردار سرعت در هر سه حالت بدون تغییر ادامه پیدا می‌کند.

شکل ۹ نمودار مربوط به حالت با سازه دیوار جداکننده و آبشکن را نشان می‌دهد. با توجه به شکل در هر سه لایه با نزدیک شدن جریان به دهانه آبگیر، نمودارهای مربوط به زاویه بردار سرعت نوسان دارند و روند مشخصی دیده نمی‌شود. وجود آبشکن



شکل ۹- تغییرات زاویه بردار سرعت در جلو دهانه آبگیر در حالت وجود سازه دیوار جداکننده و آبشکن

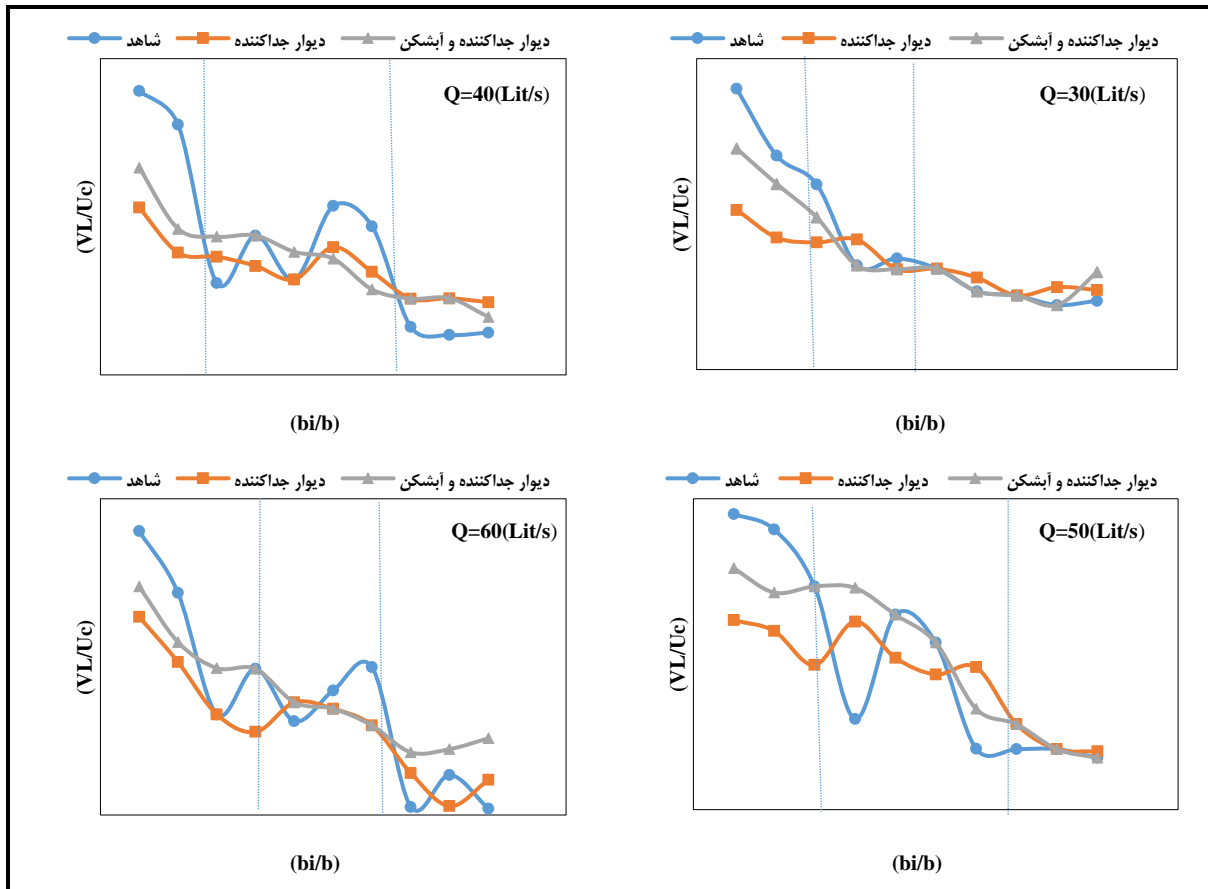
Figure 9- Changes, angle vector of velocity vector in front of mouth of intake, in case of skimming wall and spur dike

ناحیه دوم که در قسمت میانی کانال واقع شده است، مؤلفه سرعت طولی کاهش می‌یابد و در انتها ناحیه سوم، که در مجاورت ضلع بالادست کانال آبگیر است، مقدار مؤلفه طولی سرعت کاهش عمده می‌یابد و جهت آن نیز تغییر می‌کند، به عبارت دیگر، در مجاورت این ضلع جریان برگشتی وجود دارد و در این ناحیه جریان گردابی شکل می‌گیرد. این روند در هر سه حالت (بدون سازه کنترل، وجود سازه دیوار جداکننده، و وجود سازه دیوار جداکننده به همراه آبشکن) یکسان است. با مقایسه مؤلفه طولی سرعت در سه حالت بدون سازه، با سازه دیوار جداکننده و سازه دیوار جداکننده به همراه آبشکن در تمامی شکل‌ها در مجاورت ضلع پایین‌دست کانال آبگیر، مؤلفه طولی سرعت در حالت بدون سازه بیشتر است تا در دو حالت دیگر و حالت وجود سازه دیوار جداکننده و آبشکن بیش‌تر است تا حالت وجود سازه دیوار جداکننده به تنهایی. در دو ناحیه دیگر، تغییرات سرعت در هر سه حالت نزدیک به هم است. با توجه به شکل‌ها، با تغییر میزان دبی بالادست جریان کانال اصلی، میزان آبگیری کانال آبگیر و به دنبال آن سرعت طولی در مجاورت ضلع پایین‌دست در تمامی حالت‌ها افزایش می‌یابد.

### بررسی مؤلفه طولی سرعت در عرض کانال آبگیر

ایجاد محدوده گردابی در ورودی کانال آبگیر و رسوب‌گذاری در این محدوده، بستگی دارد به سرعت جریان در کانال آبگیر. با توجه به این موضوع که مؤلفه طولی سرعت جریان در داخل کانال آبگیر مشخص‌کننده محدوده گردابی و حمل رسوب در داخل کانال آبگیر است، مؤلفه طولی سرعت در ۱۰ سانتی‌متری ابتدای کانال آبگیر در عرض کانال در هر یک از حالت‌های شاهد (بدون سازه کنترل)، وجود سازه دیوار جداکننده، و وجود همزمان سازه دیوار جداکننده و آبشکن برداشت شد. شکل‌های ۱۰ مربوط به یک آزمایش با زاویه سازه دیوار جداکننده ۱۰ درجه با دبی‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ لیتر بر ثانیه است. در این شکل‌ها  $U_c$ ، سرعت معادل آستانه حرکت،  $V_L$  سرعت طولی در کانال آبگیر،  $b_i$  فاصله عرضی نقطه مورد نظر تا دیواره پایین‌دست کانال آبگیر و  $b$  عرض کانال آبگیر است. با توجه به شکل‌ها می‌توان تغییرات سرعت طولی در عرض کانال آبگیر را به سه ناحیه تقسیم کرد.

در ناحیه اول که در مجاورت ضلع پایین‌دست کانال است، مؤلفه طولی سرعت بیشترین مقدار خود را دارد. بخش عمده جریان از این قسمت کانال عبور می‌کند. در



شکل ۱۰- تغییرات مؤلفه طولی سرعت در عرض کانال آبگیر با دبی ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ لیتر بر ثانیه

Figure 10- Longitudinal component of velocity component, across the catchment channel with flow rates of 30, 40, 50, and 60 liters per second

### نتیجه گیری

خود می‌رسد، بعد از یک سوم ابتدایی دوباره کاهش می‌یابد و تا انتهای دهانه به روند اولیه برمی‌گردد.

- در حالت وجود سازه دیوار جداکننده، به دلیل وجود این سازه سرعت طولی لایه نزدیک بستر نسبت به سرعت طولی دو لایه دیگر کاهش چشمگیری دارد (۷۱ درصد کم‌تر نسبت به سرعت قبل از آبگیر). در صورتی که در دو لایه دیگر، این کاهش ۲۸ درصد است.

- در حالت دیوار جداکننده و آبشکن، سرعت طولی در هر سه لایه کاهش می‌یابد و در یک سوم ابتدای دهانه آبگیر به مقدار کمینه می‌رسد. لایه‌های سطحی و میانی پس از عبور از یک سوم ابتدایی و

- در حالت بدون سازه، سرعت طولی در هر سه لایه در کانال اصلی در طول دهانه آبگیر از بالا به پایین کاهش و سرعت عرضی افزایش می‌یابد.

- در حالت وجود سازه دیوار جداکننده، سرعت طولی در طول دهانه آبگیر کاهش می‌یابد و در یک سوم ابتدای آن به مقدار کمینه خود می‌رسد. بعد از یک سوم ابتدایی، سرعت طولی دوباره شروع به افزایش می‌کند و تا انتهای دهانه به حالت اولیه خود می‌رسد. سرعت عرضی، بر عکس سرعت طولی، در ابتدا روند افزایشی دارد. در یک سوم ابتدای دهانه، سرعت در دو لایه سطح و میانه به مقدار بیشینه

لایه کف پس از عبور از دهانه آبیگر سرعت‌شان دوباره افزایش می‌یابد و در انتهای دهانه آبیگر به مقدار بیشینه می‌رسد. در هر سه لایه در طول دهانه آبیگر، سرعت عرضی افزایش می‌یابد و در یک سوم ابتدای دهانه آبیگر به مقدار بیشینه می‌رسد (لایه سطحی ۴ برابر، لایه میانی ۲/۶ برابر، لایه نزدیک بستر ۲ برابر سرعت قبل از آبیگر). بعد از عبور از یک سوم ابتدایی، سرعت تا انتهای دهانه بار دیگر روند کاهشی دارد.

سطحی ۱/۳۳ برابر، نسبت به حالت بدون آبشکن، افزایش یابد.

- به دلیل هدایت جریان توسط آبشکن و وجود سازه دیوار جداکننده و تأثیر روی لایه‌های میانی و کف، زاویه بردار سرعت در لایه سطحی بیشتر است تا در لایه‌های دیگر.

- در داخل آبیگر، خطوط جریان سطحی به سمت دیواره سمت راست و خطوط جریان لایه‌های زیرین به سمت دیواره سمت چپ آبیگر تمایل دارند. ابعاد ناحیه جدایی جریان در کانال آبیگر در سطح بیش‌تر است تا در کف.

وجود آبشکن باعث می‌شود سرعت طولی در لایه نزدیک کف ۲/۲۵ برابر و سرعت عرضی در لایه

## مراجع

- Abbasi, A. A. 2003. Experimental investigation of sediment control at lateral intakes. Ph. D. Thesis in Hydraulic Engineering. Tarbiat-Modares University, Tehran, Iran. (in Persian)
- Barkdoll, B. D., Ettema, R. and Odgaard, A. J. 1999. Sediment control at lateral diversions: limits and enhancements to vane use. *J. Hydraul. Eng.* 125(8): 862-870. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:8(862).
- Ettema, R. and Muste, M. 2004. Scale effects in flume experiments on flow around a spur dike in flatbed channel. *J. Hydraul. Eng. ASCE.* 137(4): 635-646.
- Hsu, C., Tang, C., Lee, W. and Shih, M. 2002. Subcritical 90 equal-width open-channel dividing flow. *J. Hydraul. Eng.* 128(7) 716-720.
- Moradinejad, A., Haghighi, A. H., Sanei, M. and Younesi, H. 2017. Experimental investigation of the effect of simultaneous use of skimming wall and spur dike on hydraulics of flow and sediment transport in the vicinity of the intakes. Ph. D. Thesis in Hydraulic Engineering. Lorestan University, Iran. (In Persian)
- Moradinejad, A., Haghighi, A. H., Sanei, M. and Younesi, H. 2018. Investigating the effect of the skimming wall on the flow velocity pattern. The 5<sup>th</sup> National Conference on Irrigation and Drainage Management and the 3<sup>rd</sup> Iranian National Irrigation and Drainage Congress. March 17. Ahvaz, Iran. (In Persian)
- Neary, V. S. and Odgaard, A. J. 1993. Three-dimensional flow structure at open channel diversions, *J. Hydraul. Eng. ASCE.* 119(11): 1224-1230.
- Neary, V. S. and Stavropoulos, F. 1996. Numerical investigation of laminar flows through 90-degree diversion of rectangular cross-section. *Comput. Fluid.* 25(2): 95-118.
- Neary, V. S., Sotiropoulos, F. and Odgaard, A. 1999. Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. *J. Hydraul. Eng.* 125(2): 126-140. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1999).
- Ouyang, H. T. 2009. Investigation on the dimensions and shape of a submerged vane for sediment management in alluvial channels. *J. Hydraul. Eng. ASCE.* 135, 209-217.

- Ramamurthy, A. S., Qu, J. and Vo, D. 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. *J. Hydraul. Eng.* 133(10): 1135-1144. doi: doi:10.1061/(ASCE)0733-9429.
- Raudkivi, A. J. 1993. Sedimentation, Exclusion and Removal of Sediment from Diverted Water. IAHR, IAHR Hydraulic Structures, Design Manual. CRC Press.
- Sayyidan, S. M., Shafai-Bejestan, M. and Fathi-Moghaddam, M. 2010. Laboratory study of the effect of channel wall slope on sediment input to the catchment. Ph. D. Thesis. Department of Structural Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (in Persian)
- Shafai-Bejestan, M. and Nazari, C. 2010. The effects of intake angle on the discharge and sediment ratio to an intake in a 90-degree convergence bend. *Sci. J. Agric.* 22(1): 45-33. (in Persian)

## **Experimental Study of the Effect of Simultaneous use of Skimming Wall on Velocity of Flow and Sediment Control in a Lateral Intake**

**A. Moradinejad\*, A. H. Haghiabi, M. Sanei and H. Younesi**

\*Corresponding Author: Assistant Professor, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Markazi, Iran. Email: amir\_24619@yahoo.com

Received: 25 March 2018, Accepted: 25 June 2018

### **Abstract**

In order to decrease the amount of sediment entering intakes, skimming wall could be used as control structure. Skimming wall changes the flow pattern and consequently changes the volume of sediment. In intakes, the average of the flow lines angles that enter the intake increases from the floor to the surface. The main propose of this research was to evaluate the effects of skimming wall and spur dike in controlling the sediment entrance and to find out the changes in velocity. The velocity components were determined in two dimensions- in the direction of the channel's length and perpendicular to flow in front of the span of the intake- and the angle of entry of the flow along the span of the intake. The velocity distribution and the method of entering and transporting of sediment to the intakes in different layers were investigated by using velocity angle of the entrance of flow to the intake and the longitudinal and transverse components of the velocity, Changes of velocity in front of the intake were compared in three layers. The results showed that the velocity angle of the surface layer was higher than that of other layers, due to directing of flow through the spur, the existence of a separator wall structure and the effects on the middle and floor layers,. The spur dike caused longitudinal velocity near the bed layer increased 2.25 times, and the transverse velocity in the surface layer increased 1.33 times comparing to when there is no spur dike.

**Keywords:** Dewatering, Diversion Channel, Flow Pattern, Intake Angle, Sediment Control