

# بررسی عددی الگوی آبشستگی آبشکن مستقیم با نفوذ پذیری مختلف در مسیر رودخانه

ناصر قانع<sup>۱</sup>، عباس منصوری<sup>۲</sup>

۱- عمران سازه های هیدرولیکی دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، تهران، تهران، naser.ghanie@chmail.ir

۲- استادیار گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران، abbas\_mansoori2000@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۱

## چکیده

در این تحقیق با مطالعه عددی بر روی سری آبشکن های مستقیم در شرایط آب زلال با نفوذپذیری ۰، ۳۵ و ۵۰ درصد، با تغییر در میزان دبی ورودی آبشکن ها انجام گرفته است و به منظور بررسی عددی تاثیر نفوذپذیری آبشکن مستقیم بر الگوی جریان و آبشستگی از مدل flow 3d استفاده می شود نتایج تحقیق نشان می دهد که در یک فاصله ثابت بین آبشکن ها هر چقدر دبی افزایش یابد میزان عمق آبشستگی افزایش می یابد. در یک دبی ثابت با افزایش فاصله بین آبشکن ها، میزان نسبت عمق آبشستگی به عمق جریان روند کاهشی دارد و بیشترین میزان عمق آبشستگی در طول آبشکن اول اتفاق می افتد. همچنین در یک دانه بندی ثابت، با افزایش عدد فرود جریان، میزان عمق آبشستگی به عمق جریان روند افزایشی دارد.

## واژه های کلیدی: آبشکن، آبشستگی، عمق جریان، Flow 3D

## مقدمه

آبشکن های تک با یک شکل هندسی ثابت صورت گرفته است. اما با توجه به بررسی های انجام شده، تحلیل آبشکن مستقیم با نفوذپذیری های مختلف تا کنون مورد مطالعه قرار نگرفته است. از این رو در این پژوهش سعی می شود با استفاده از آبشکن مستقیم با نفوذپذیری های مختلف (۰٪، ۳۵٪ و ۵۰٪)، اثرات الگوی جریان و آبشستگی در مجموعه آبشکن ها به صورت عددی بررسی شود.

## روش تحقیق

در این پژوهش با استفاده از مدل عددی به آنالیز الگوی جریان اطراف آبشکن پرداخته خواهد شد. بعد از این مرحله آبشستگی اطراف آبشکن مورد بررسی قرار می گیرد. که مدل سازی در دو حالت بدون آبشکن (حالت شاهد)، حضور آبشکن با انجام خواهد شد. ابتدا مدل سازی در دبی های مختلف و در شرایط

یکی از مهمترین عوامل فرسایش کناره ها و سواحل رودخانه آبشستگی اطراف آن ها می باشد که با استفاده از آبشکن ها سعی می شود این فرسایش کاهش یابد اما به دلیل شرایط الگوی جریان، این آبشستگی برای آبشکن ها نیز اتفاق می افتد. بحث آبشستگی هر چند قدمتی طولانی در علم هیدرولیک دارد، لیکن به دلیل شرایط و پیچیدگی های خاص آن و همچنین به دلیل نبودن رابطه ای جامع و مناسب که بتواند پاسخگوی تمامی شرایط باشد همچنان مورد توجه خاص محققین علم هیدرولیک و مهندسی رودخانه است. آبشستگی اطراف آبشکن ها ضرورت مطالعه در مورد پیش بینی آبشستگی و راه های محافظت و کاهش آن را کاملاً روشن می سازد.

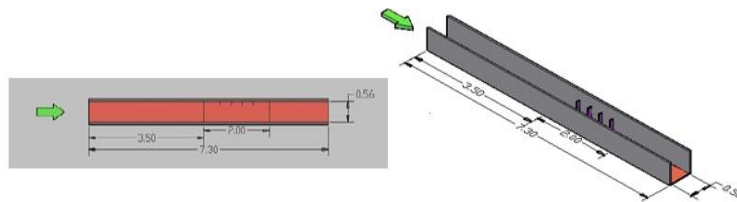
بررسی مطالعات قبلی نشان می دهد که مطالعاتی در خصوص کنترل و کاهش آبشستگی اطراف

20 درصد عرض فلوم یعنی ۰/۱۱ متر در نظر گرفته شد. برای آبشکن باز از یک سری میله با قطر ۳ میلیمتر و ارتفاع ۰/۳۵ متر و طول معادل با آبشکن بسته برای دو درصد بازشدگی که شامل ۳۵ درصد، ۵۰ درصد است، استفاده گردید. آبشکنها در یک بازه ۲ متری به فاصله ۰/۳۳ متر از یکدیگر نصب گردید و در هر سری چهار عدد آبشکن استفاده شد. کلیه آزمایشها در این بازه ۲ متری و تحت شرایط غیر مستغرق انجام گرفت. فاصله بین آبشکنها، سه برابر طول آبشکن انتخاب شد. همچنین در این تحقیق از چهار دبی جهت شبیه‌سازی استفاده شده و نتایج حاصل با داده‌های آزمایشگاهی بیاره پور (۱۳۹۲) مقایسه خواهد شد.

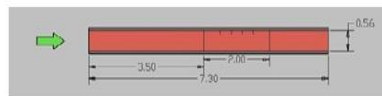
بدون آبشکن (شاهد) انجام شده و سپس با احداث آبشکن در دبی‌های مختلف مجددا مدل سازی انجام خواهد شد و در نهایت الگوی جریان و آبستتگی در حالت شاهد (بدون آبشکن) و حضور آبشکن مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

### هندسه مدل سازی

با توجه به شکل‌های (۱) و (۲) همانند مدل آزمایشگاهی مورد نظر هندسه مدل عددی مورد بررسی، در نرم‌افزار AutoCAD ترسیم گردید و سپس در مدل عددی فراخوانی خواهد شد. این مدل سازی درون کانالی با طول ۷/۳ متر و عرض ۰/۵۶ متر و ارتفاع ۰/۱۶ متر انجام شده است. برای آبشکن بسته یا نفوذناپذیر، صفحه‌هایی به ارتفاع ۰/۳۵ متر و طول



شکل ۱- پیاده‌سازی کانال در نرم افزار اتوکد

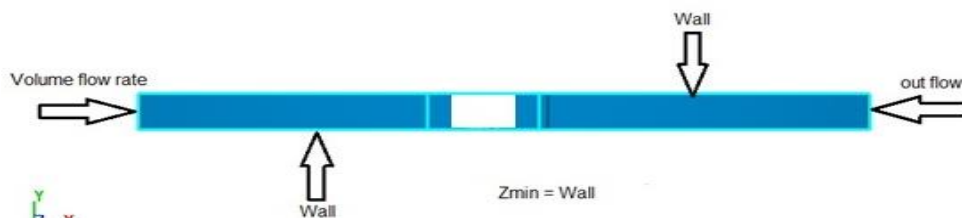


شکل ۲- پلان کانال در نرم افزار اتوکد

### تعیین شرایط مرزی

شرایط مرزی در مدل عددی در شکل (۳) مشاهده می‌شود. مرز ورودی با دبی ۱۵، ۲۹ و ۴۰ لیتر برثانیه مشخص و اعداد فرود ۰/۲۸، ۰/۲۶، ۰/۲۳، ۰/۲۱، انتخاب گردیده است. مرز خروجی به صورت

جریان خروجی مشخص شده است. کناره‌ها با شرط مرزی دیواره و حداقل تراز Z به صورت دیوار صاف مدل شدند. در مرز فوقانی به صورت تقارن در نظر گرفته شد.



شکل ۳- شرایط مرزی

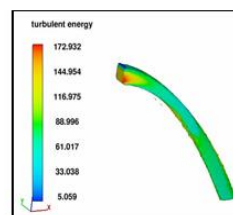
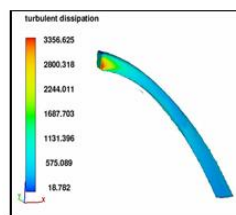
### تجزیه و تحلیل

#### الگوی جریان اطراف آبشکن ها

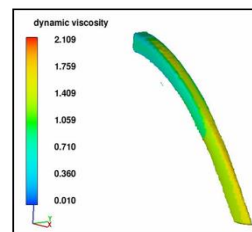
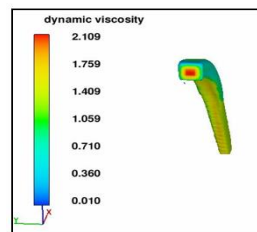
در اثر برخورد جریان آب با دماغه، یک نیم گرداب نسبتاً بزرگ تشکیل می‌شود. زنجیره جریان های چرخشی حاصل از این گرداب به سمت جلوتر حرکت کرده و در پایین دست دماغه، با تشدید فرسایش و انتقال موضعی مواد رسوبی، تشکیل چاله فرسایشی را در پی دارد. گرداب ایجاد شده در میدان آبشکن، به نوبه خود با جریان های چرخشی ایجاد شده در دماغه، در تداخل و تبادل دائمی می‌باشد. از این رو مجموعه

فرآیندهای سینماتیک و دینامیک بوجود آمده، الگوی جریان پیچیده ای را در دماغه و میدان آبشکن بوجود می‌آورد که پیش‌بینی تبعات فرسایشی و رسوبگذاری ناشی از آن چندان آسان نمی‌باشد.

شکل های ۴ و ۵ به ترتیب توزیع انرژی آشفتگی و استهلاك آشفتگی را نشان می‌دهد حداکثر انرژی آشفتگی و استهلاك آن در محل برخورد با آبشکن و در تماس با جداره ها اتفاق می‌افتد و در ادامه تا انتهای آبشکن تقریباً مقادیر ثابتی را دنبال می‌کند.



شکل ۴- توزیع انرژی آشفتگی شکل ۵- توزیع نرخ استهلاك آشفتگی



(ب)

(الف)

شکل ۶- توزیع ویسکوزیته دینامیکی الف و ب

افزایش می‌یابد. دلیل این امر آن است که با زیاد شدن عدد فرود، سرعت جریان بیشتر شده و در نتیجه تنش برشی اعمالی از طرف جریان افزایش یافته و عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. همچنین با زیاد شدن قطر ذرات رسوبی، عدد فرود بزرگتر، سبب ایجاد آبشستگی بیشتر می‌گردد. دلیل این حالت این می‌باشد که با افزایش قطر ذرات برای یک دبی ثابت، نیاز به کاهش عمق می‌باشد، در نتیجه سرعت آستانه حرکت ذرات افزایش یافته و با توجه به اینکه  $0.95 = \frac{U}{U_c}$  می‌باشد، با بزرگ شدن ذرات، ذرات با سرعت بیشتری شروع به حرکت می‌کنند. در نتیجه مقدار عدد فرود بزرگتر می

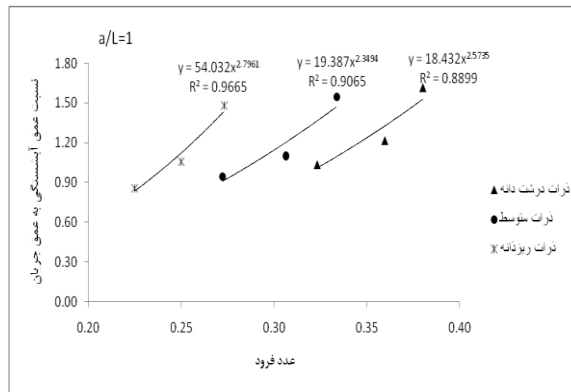
شکل ۶ نشان می‌دهد توزیع ویسکوزیته دینامیکی حول محور اصلی آبشکن بوده که با کاهش عرض آبشکن توزیع آن در عرض یکنواخت شده بطوریکه حداکثر ویسکوزیته دینامیکی در مرکز آبشکن و در ابتدای آبشکن می‌باشد.

#### تغییرات حداکثر عمق آبشستگی با عدد فرود

شکل ۷ تغییرات حداکثر عمق آبشستگی بر حسب اعداد فرود را برای اندازه‌های مختلف قطر ذرات رسوبی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷ مشخص است که با افزایش عدد فرود، میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی برای یک قطر مشخص از مصالح بستر، ۷۰٪ درصد

برازش داده شده بر داده‌ها، بیشترین میزان همبستگی بین داده‌ها، برای ذرات ریزدانه می‌باشد.

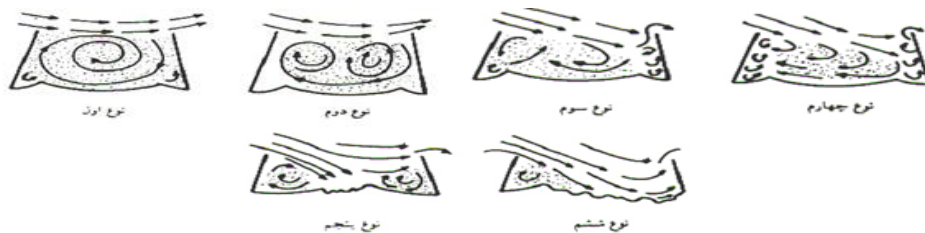
گردد. روند تغییرات مشابهی نیز در مورد فواصل دیگر بین آبشکن‌ها نیز برقرار است. با توجه به روابط توانی،



شکل ۷- رابطه عمق آبشستگی نسبی با عدد فرود

#### اثر فاصله بر روی حداکثر عمق آبشستگی نسبی

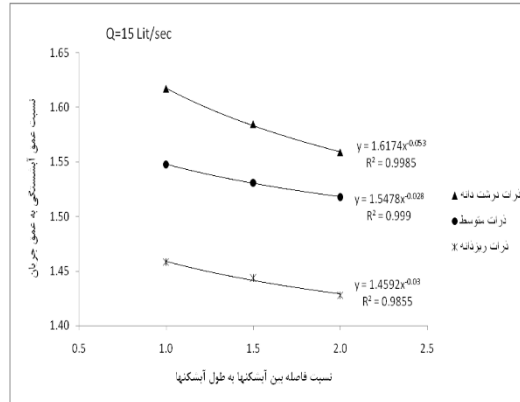
مطالعاتی که توسط کاپلند بر روی آبشکن‌ها انجام گرفته است، شش الگوی جریان را در محدوده و میدان آبشکن تیغه‌ای ساده مشخص کرده است. (شکل ۸)



شکل ۸- الگوی جریان ایجاد شده در محدوده

اغتشاش‌های جریان که منجر به ایجاد فرسایش می‌گردد، کاسته می‌شود. همانطور که در شکل مشخص است، این تغییر فاصله تأثیر قابل توجهی بر روی حداکثر عمق فرسایش که در اطراف آبشکن اول اتفاق می‌افتد، ندارد. این روند در مورد دبی‌های ۲۹ و ۴۰ لیتر بر ثانیه نیز صادق است. با توجه به روابط توانی برازش داده شده بر داده‌ها بیشترین میزان همبستگی بین داده‌ها برای ذرات درشت دانه می‌باشد.

شکل ۹ رابطه بین تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی با نسبت فاصله بین آبشکن به طول آبشکن را در یک دبی ثابت و دانه‌بندی مشخص، نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۹، در یک دانه‌بندی مشخص، با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی ۰٫۰۰۲ درصد کاهش دارد، و برای یک دبی ثابت، با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، میزان آبشستگی کاهش پیدا می‌کند. این به این خاطر می‌باشد که با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، از میزان

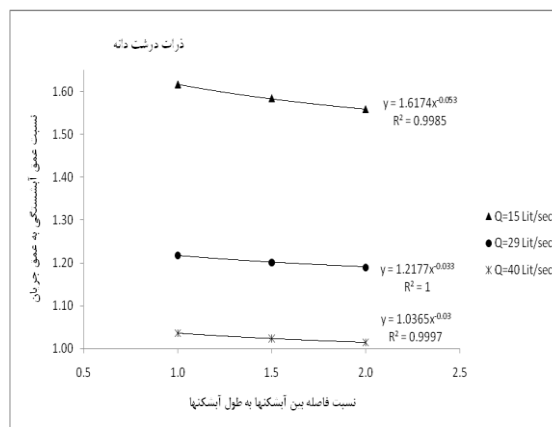


شکل ۹- نسبت عمق آبستگنی به عمق جریان در رابطه با نسبت فاصله بین آبشکن ها به طول آبشکن

آبستگنی به عمق جریان در بالادست افزایش می یابد. دلیل این امر آن است که با افزایش فاصله بین آبشکن ها، جریان گردابی کاملتری تشکیل می شود که نتیجه آن ایجاد فرسایش بیشتری در فضای بین آبشکن ها می باشد. با توجه به روابط توانی برازش داده ها، از نظر همبستگی، بیشترین میزان همبستگی بین داده ها، برای دبی ۲۹ لیتر بر ثانیه می باشد.

### اثر فاصله بین آبشکن ها بر روی حداکثر عمق آبستگنی برای ذرات ثابت

شکل ۱۰ نیز مقادیر نسبت حداکثر عمق آبستگنی بین آبشکن اول و دوم به عمق جریان در بالادست را بر حسب نسبت فاصله بین آبشکن ها به طول آبشکن در یک دانه بندی ثابت (درشت دانه) و دبی مشخص، نشان می دهد. با توجه به شکل مشخص است که با ازدیاد فاصله بین آبشکن ها، نسبت حداکثر عمق

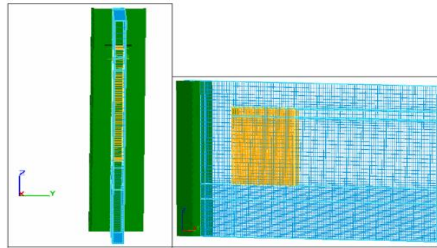


شکل ۱۰- نسبت عمق آبستگنی به عمق جریان در رابطه با نسبت فاصله بین آبشکن ها به عمق جریان

آبشکن استقرار یافته استفاده شده است با معرفی یک سلول در امتداد عرضی شبکه (محور y) امکان معرفی شبکه 2 بعدی فراهم میشود. شکل (۱۲)

### تجزیه تحلیل نتایج حاصل از شبیه سازی ۲ بعدی آبستگنی

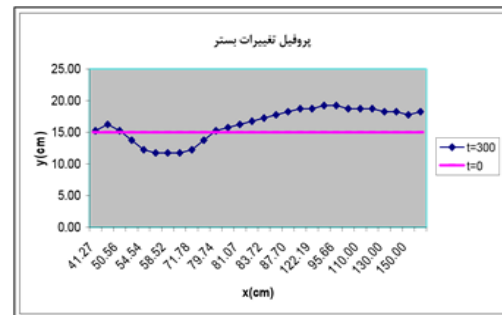
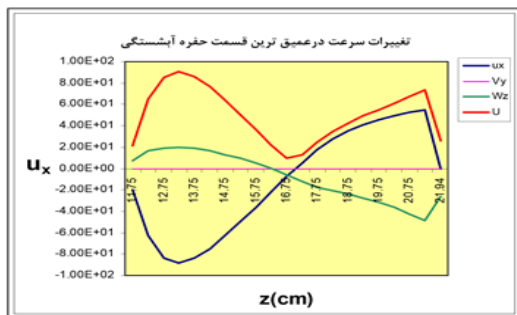
برای بررسی آبستگنی بصورت 2 بعدی از یک شبکه بندی با دو بلوک که در امتداد محور اصلی



شکل ۱۱- شبکه بندی در نظر گرفته شده در تحلیل ۲ بعدی

رسوبات پس از طی مسیر با از دست دادن سرعت ته نشین گردیده و رسوب گذاری می نمایند البته این رسوب گذاری در امتداد طولی حوضچه صورت گرفته و برخلاف نتایج مطالعات مشابه برآمدگی در پایین دست ایجاد نمی گردد. رسوبگذاری در امتداد طولی حوضچه سبب می شود ارتفاع رسوبات پایین دست بصورت لایه لایه افزایش یابد.

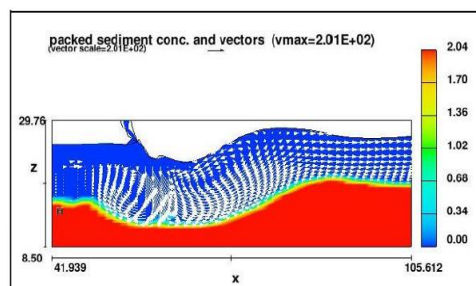
لازم به ذکر است برای شبیه سازی فرایند آبشستگی با زمان 300 ثانیه، مدت زمان اجرا و حل مسئله (CPU Time) برابر با 766 دقیقه بوده است. بدلیل عدم شکل گیری جریان های ثانویه عرضی در مدل 2 بعدی، جریان سیال علاوه بر کف کنی و ایجاد گودال در امتداد طولی رسوبات را بصورت بار معلق یا بار بستر در رودخانه جریان می یابد. این



شکل ۱۲- پروفیل بستر پس از ۳۰۰ ثانیه شکل ۱۳- تغییرات سرعت در حداکثر عمق آبشستگی

ماکزیمم بوده ولی در خلاف جهت یکدیگر که وجود جریان چرخشی در امتداد طولی آبشکن را نشان می دهد.

مطابق شکل (۱۳) پروفیل سرعت دارای دو نقطه پیک بوده که این دو نقطه تقریباً در عمقی معادل با 6/5% و 85% از سطح آب شکل گرفته است. نمودار سرعت در جهت (x) نیز در همین اعماق دارای نقاط



شکل ۱۴- بردارهای سرعت در آبشکن

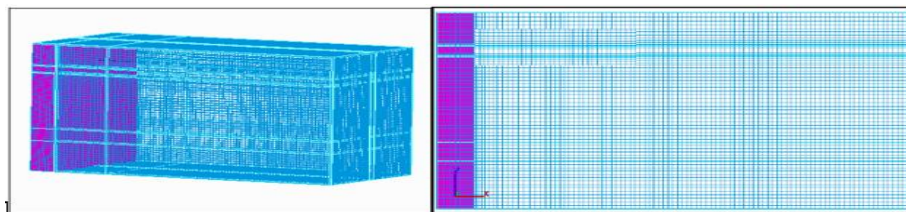
بندی گردید. (شکل ۱۵) حساسیت شبکه یک بلوکه برای بررسی تغییرات بستر رسوبات و الگوهای جریان در پایاب تنظیم گردیده بود. (شکل ۱۶) این شبکه بندی فاقد حساسیت کافی برای شبیه سازی آبشکن بود بگونه ای که امکان بررسی تغییرات سرعت، فشار به جریان آب فراهم نبود.

برای افزایش حساسیت شبکه بمنظور بررسی تغییرات پارامترهای دینامیکی آبشکن از لحظه شروع تا ورود به پایاب لازم بود اندازه سل ها کاهش پیدا می کرد که این امر باعث کاهش شدید گامهای زمانی و طولانی شدن زمان حل مسئله (CPU Time) می شد.

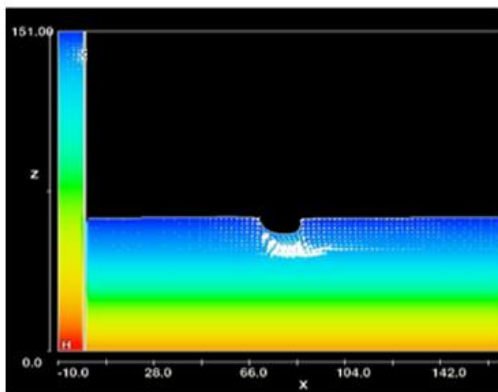
شکل (۱۴) به وضوح نشان میدهد با ورود آبشکن رسوبات بستر کنده شده و بوسیله جریان به پایین دست انتقال می یابد سپس با شکل گیری جریان چرخشی در زیر سطح آزاد پایاب علاوه براستهلاک جریان آب، بدلیل برخورد با این جریان چرخشی وظیفه شستن و انتقال رسوبات از کف به جریان چرخشی محول می گردد.

### تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شبیه سازی 3 بعدی آبشکنی

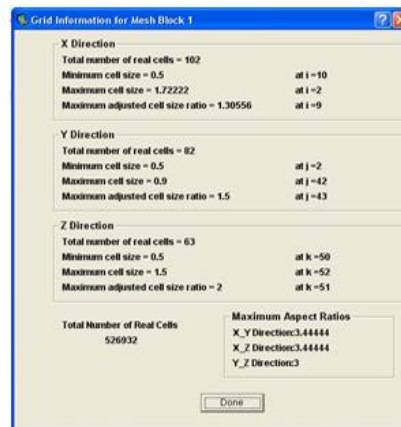
برای شبیه سازی 3 بعدی آبشکنی در پایین دست آبشکن در ابتدا میدان مسئله بوسیله یک بلوک مش



شکل ۱۵- مش بندی میدان مسئله با یک بلوک



شکل ۱۷- عدم حساسیت مدل به شبیه سازی آبشکن

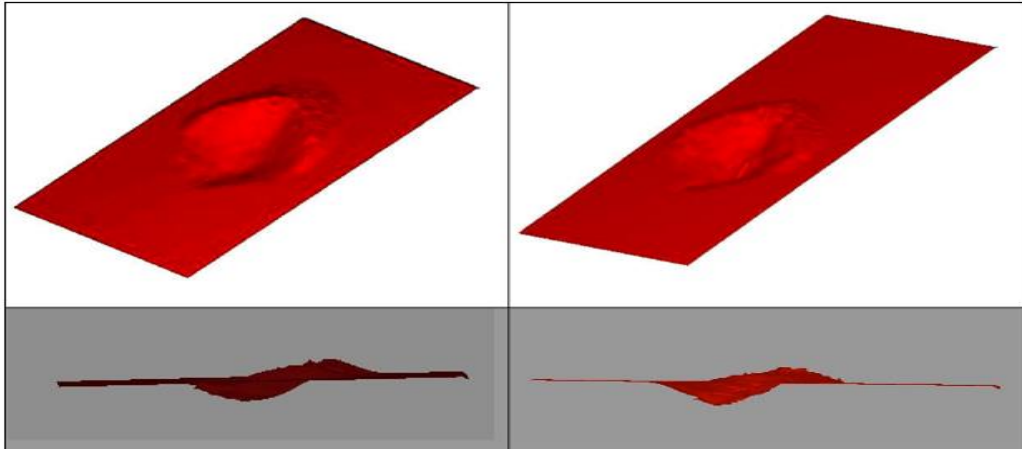


شکل ۱۶- مشخصات شبکه یک بلوک

خوبی با نتایج مطالعات مشابه دارد بگونه ای که تصاویر 3 بعدی که توسط نرم افزار از آبشکن بعد از گذشت 300 ثانیه ارائه شده است کاملاً مشابه تصاویر ارائه شده از مدل هیدرولیکی است. شکل های (۱۸) و (۱۹).

### بررسی ابعاد آبشکن

بررسی مقدماتی روی نتایج بدست آمده از اجرای مدل 3 بعدی FLOW3D روی 2 عمق پایاب ۷ و ۱۲ سانتی متر نشان می دهد شکل آبشکن تطابق بسیار



شکل ۲۰- آبشستگی با پایاب ۱۲ سانتی متر

شکل ۱۹- آبشستگی با پایاب ۷ سانتی متر

بدست آمده از شبیه سازی عددی آبشستگی در زمان  $t=300$  را در مقایسه با نتایج مطالعات مشابه در دو عمق پایاب نشان می دهد.

در شبیه سازی ۳ بعدی برخلاف شبیه سازی ۲ بعدی برآمدگی پایین دست آبشکن ایجاد گردیده که تطابق با نتایج مطالعات مشابه دارد. جدول (۳) نتایج

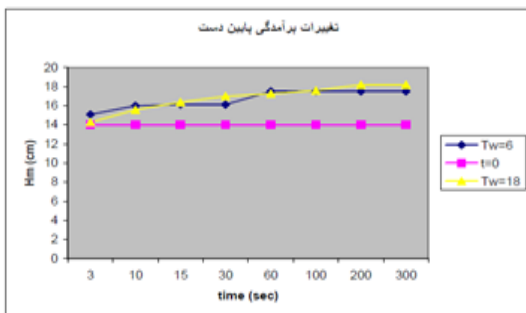
جدول ۳- مقایسه نتایج مدل عددی با نتایج مدل هیدرولیکی

	Tw=12 cm	Hc=35 cm	t=300s	
	hs (m)	Ws (m)	Ls (m)	Hm (m)
EXP	0.073	0.27	0.33	0.055
NUM	0.0725	0.48	0.361	0.042

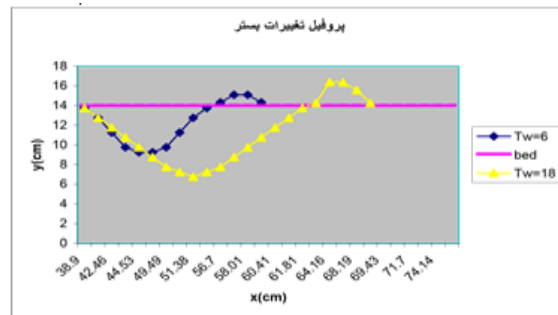
	Tw=7 cm	Hc=35 cm	t=300s	
	hs (m)	Ws (m)	Ls (m)	Hm (m)
EXP	0.05	0.29	0.31	0.052
NUM	0.0475	0.315	0.305	0.035

نشان می دهد چنانچه ملاحظه می شود طول و عمق آبشکن در پایاب ۱۲ سانتی متر بیشتر است نتایج مطالعات مشابه نیز موید این نکته می باشد.

در جدول (۳) منظور از (EXP) نتایج مدل هیدرولیکی مهدوی زاده (1385) و (NUM) نتایج حاصل از مدل FLOW 3D است. شکل (۲۰) پروفیل آبشکن را در زمان 300 ثانیه برای دو فاصله پایاب



شکل ۲۱- تغییرات برآمدگی پایین دست



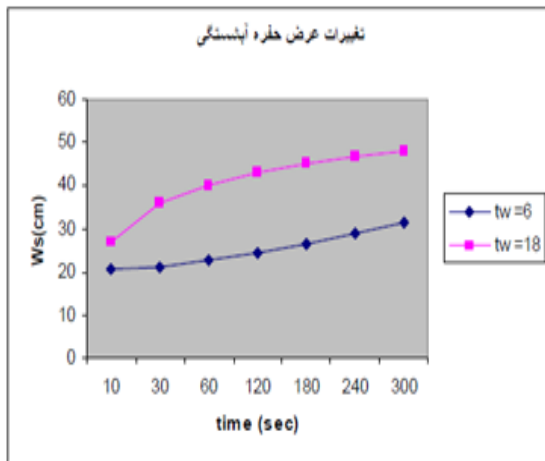
شکل ۲۰- مقایسه پروفیل آبشستگی در زمان  $t=300s$

برای دو عمق پایاب

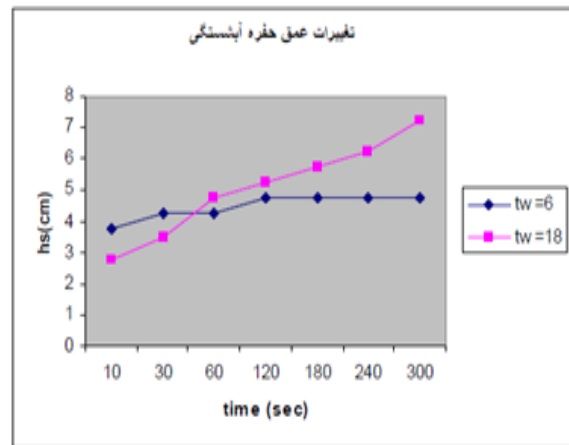


شیب منحنی پایاب ۶ سانتی متر است و نشان از تغییرات شدید عمق آبشستگی در پایاب ۱۸ سانتی متری دارد. تغییرات عرض و طول آبشکن برای هر دو پایاب تاحدودی با شیب یکسان مشاهده می گردد. شکل های (۲۳) و (۲۴)

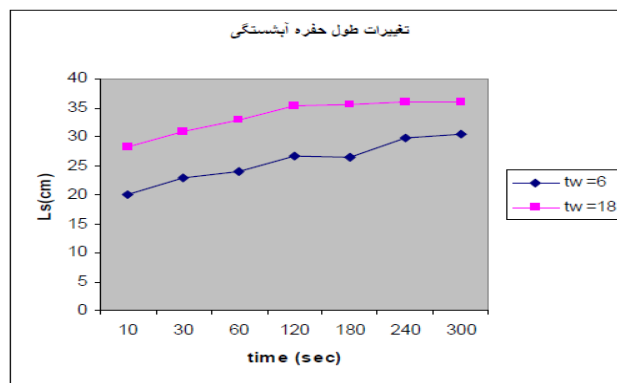
شکل های (۲۱)، (۲۲)، (۲۳) و (۲۴) به ترتیب تغییرات برآمدگی پایین دست (Hm)، عمق آبشکن (hs)، عرض آبشکن (Ws) و طول آبشکن (Ls) را در طی زمان 300 ثانیه نشان می دهند. در شکل (۲۱) شیب منحنی مربوط به پایاب ۱۸ سانتی متر بیشتر از



شکل ۲۳-مقایسه تغییرات عرض آبشکن با زمان برای دو عمق پایاب



شکل ۲۲-مقایسه تغییرات عمق آبشکن با زمان برای دو عمق پایاب



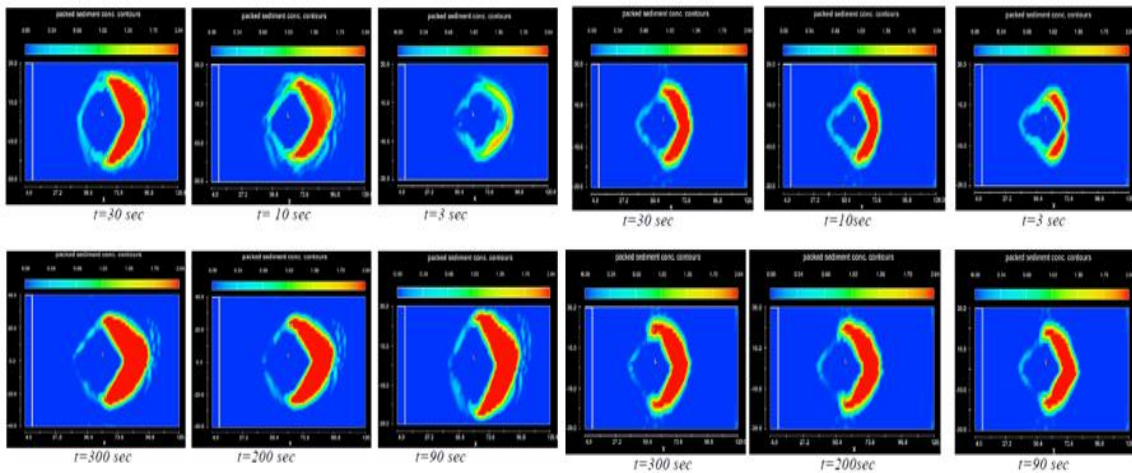
شکل ۲۴-مقایسه تغییرات طول آبشکن با زمان برای دو عمق پایاب

به مراتب بیشتر از وسعت برآمدگی در پایاب ۷ سانتی متر است به عبارت دیگر طول برآمدگی پایین دست در امتداد محور اصلی آبشکن ناشی از آبشستگی با پایاب ۱۲ سانتی متر بیشتر است. پشته رسوبی در آبشستگی

شکل های (۲۵) و (۲۶) تغییرات پروفیل برآمدگی پایین دست آبشستگی را در طی زمان 300 ثانیه برای دو فاصله پایاب نشان می دهد. مطابق شکل های (۲۶) وسعت برآمدگی پایین دست در پایاب ۱۲ سانتی متر

پایاب ۱۲ سانتی متر رسوبگذاری در وسعتی بیشتر از پایاب ۷ سانتی متر صورت می گیرد. و این فرایند نشان میدهد قدرت حمل ذرات رسوب بوسیله جریان سیال در پایاب بیشتر بزرگتر از قدرت حمل ذرات رسوب در پایابهای کمتر است.

با پایاب ۷ سانتی متر از تقارن بیشتری نسبت به پشته رسوبی در آبشستگی ناشی از پایاب ۱۲ سانتی متر برخوردار است. علت این امر را می توان در اثر پذیری فرایند رسوبگذاری در پایین دست آبشکن از جریانهای ثانویه ایجاد شده در مقطع دانست. بگونه ای که بدلیل تشکیل جریان های ثانویه قدرتمند طولی و عرض در



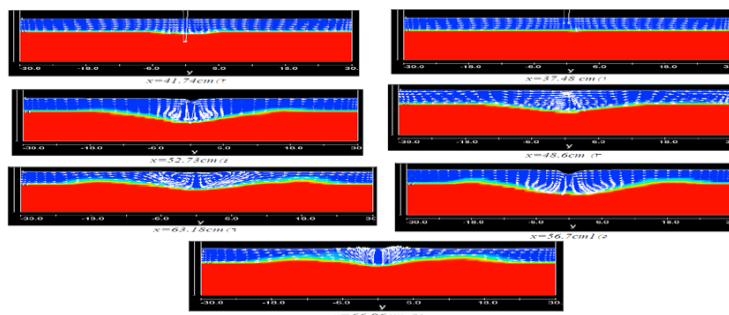
شکل ۲۶- تغییرات پروفیل برآمدگی پایین دست در پایاب ۱۲ سانتیمتر

شکل ۲۵- تغییرات پروفیل برآمدگی پایین دست در پایاب ۷ سانتی متر

عرضی اصلی ترین نقش را در انتقال ذرات رسوب در عرض حوضچه بازی می کنند بنابراین بررسی نحوه شکل گیری، توسعه و استهلاک جریانهای ثانویه عرضی از اهمیت خاصی برخوردار است

بررسی توزیع سرعت در مقاطع عرضی (بردارهای جریان ثانویه)

در این بخش به بررسی نحوه و میزان توزیع سرعت محاسبه شده توسط مدل عددی در مقاطع مختلف عرضی پرداخته می شود. جریان های ثانویه



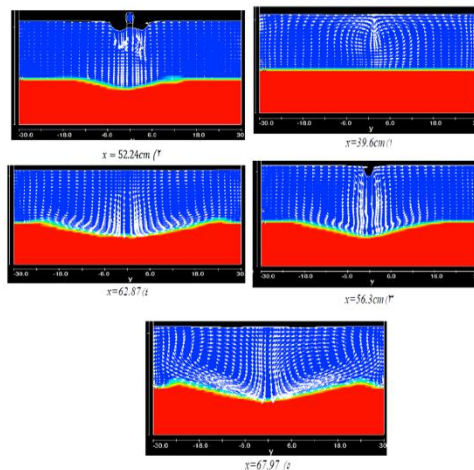
شکل ۲۷- نحوه شکل گیری، توسعه و استهلاک جریان ثانویه در پایاب ۷ سانتی متر

آبشکن جلوگیری می کند. کاهش سرعت جریان آب رودخانه باعث رسوبگذاری ذرات در اطراف چاله می شود با گذشت زمان افزایش میزان رسوبگذاری در اطراف چاله مانعی برای جریان آب رودخانه می گردد. شکل های (۶-۲۷) و (۷-۲۷).

همچنین شکل (۷-۲۷) نشان می دهد بدلیل سرعت بالای جریان در امتداد محور جریان ورودی به پایاب ارتفاع برآمدگی پایین دست نسبت به اطراف کمتر است در حقیقت می توان گفت سرعت جریان مانع از رسوبگذاری در امتداد محور آبشکن در پایین دست می شود. نکته ای که در تمام شکل ها مشاهده می گردد وجود حالت تقارن نسبت به محور اصلی آبشکن است.

شکل های (۲۸) جریان های ثانویه عرضی را در پایاب ۱۲ سانتی متر نشان می دهد.

شکل (۲۷-۱) بردارهای سرعت در بالا دست آبشکن را نشان می دهد. جریان از هردو طرف به سمت مرکز (محور برخورد آبشکن با پایاب) در حرکتند. در شکل (۲۷-۲) با نزدیک شدن به محل برخورد آبشکن این جریان شدت می گیرد. شکل (۳-۲۷) بردارهای سرعت در محل برخورد با پایاب را نشان می دهد جریان های زیر سطح آزاد پایاب به سمت محل برخورد در حرکتند. شکل های (۴-۲۷) و (۵-۲۷) نشان می دهند با دور شدن از محل برخورد جریان آب رودخانه، جریان ورودی به پایاب در ادامه مسیر خود در برخورد با رسوبات بستر دچار انحراف شده و در حین حرکت به طرفین، رسوبات بستر را بصورت بار معلق حمل می کند. بدلیل کم بودن عمق پایاب جریان های خروجی از طرفین امکان اینکه چرخش یافته و دوباره وارد حفره گردند را نمی یابند و می توان گفت عدم شکل گیری این جریان چرخشی از افزایش عرض



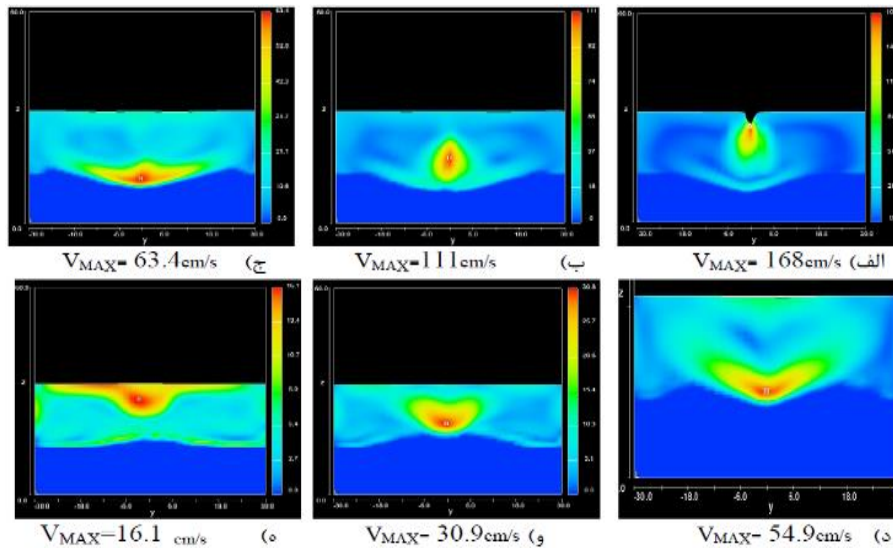
شکل ۲۸- نحوه شکل گیری، توسعه و استهلاك جریان ثانویه در پایاب ۱۲ سانتی متر

بردارهای سرعت به علت همراهی با جریان ورودی در امتداد عمود بر صفحه، امتداد مسیر می دهند. در شکل (۳-۲۸) مشاهده می شود پس از ورود جریان آب به پایاب و برخورد با سطح رسوبات بستر در اثر وجود آبشکن، بدلیل وجود پایابی با ارتفاع نسبتا زیاد بردارهای منحرف شده جریان ورودی با شیب ملایم

شکل (۱-۲۸) بردارهای سرعت در قبل از محدوده آبشکن را نشان می دهد. وجود یک جریان چرخشی که از روی رسوبات بستر شروع شده و به سمت سطح آزاد پایاب حرکت کرده و به طرف محور اصلی آبشکن منحرف می شوند را می توان مشاهده کرد. شکل (۲۸-۲) مقطع ابتدای آبشکن را نشان می دهد در آن

کنند ولی بردارهایی که به محور اصلی آبشکن نزدیکترند بیشتر در ایجاد جریان چرخشی دخالت دارند. در امتداد طول آبشکن نیز جریان های چرخشی ایجاد می گردند که باعث افزایش طول آبشکن می شود.

تری به طرفین حرکت می کنند و در انتهای آبشکن با حرکت به سمت بالا جریان چرخشی را شکل می دهند. در شکل (۵-۲۸) بردارهای سرعت که در تماس با بستر می باشند چندان در جریان چرخشی شرکت نمی



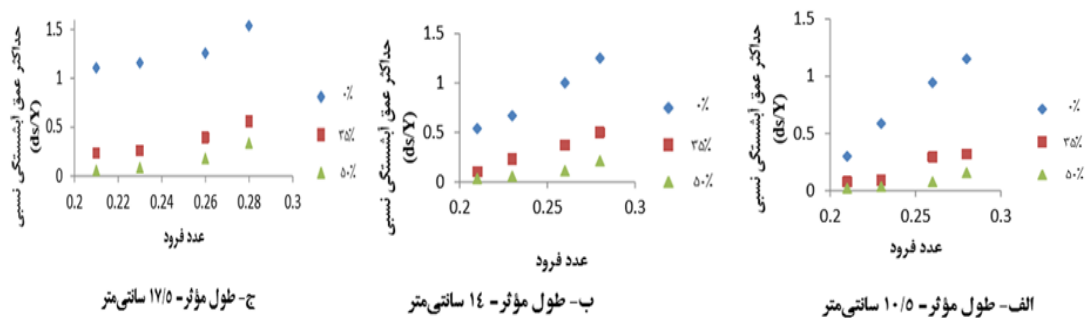
شکل ۲۹- خطوط هم سرعت در پایاب ۱۲ سانتی متر

### تأثیر تغییرات نفوذپذیری آبشکن بر ابعاد چاله آبستگی

شکل ۳۰ (الف، ب و ج) نمودار بی بعد تغییرات حداکثر عمق آبستگی برای آبشکن با درصد نفوذپذیری های مختلف (۰، ۳۵، ۵۰)، به ترتیب با طول مؤثر ۱۰/۵، ۱۴ و ۱۷/۵ سانتیمتر را نشان می دهد. با توجه به نتایج ارائه شده، در آبشکن با طول مؤثر ۱۰/۵، ۱۴ و ۱۷/۵ سانتی متر با افزایش نفوذپذیری به میزان ۳۵ درصد نسبت به حالت ۰ درصد (نفوذناپذیر)، حداکثر عمق آبستگی در عدد فرود ۰/۲۸ به ترتیب به میزان ۷۲/۱، ۵۹/۸، ۶۳/۷ درصد کاهش می یابد و همچنین با افزایش نفوذپذیری به میزان ۵۰ درصد نسبت به حالت ۰ درصد (نفوذناپذیر)، حداکثر عمق آبستگی در عدد فرود ۰/۲۸ به ترتیب به میزان ۸۶/۴، ۸۲/۹ و ۷۸/۱ درصد کاهش می یابد.

شکل (۲۹-الف) سرعت در لحظه برخورد آب آبشکن را نشان می دهد. سرعت جریان رودخانه بلافاصله بعد از ورود به پایاب دچار افت می گردد. شکل (۲۹-ب) نشان می دهد جریان آب در ادامه مسیر خود و قبل از برخورد با رسوبات بستر همچنان با کاهش سرعت مواجه است. جریان آب رودخانه در برخورد با آبشکن دچار افت ناگهانی سرعت شده و مطابق شکل (۲۹-ج) تمایل به پخش در امتداد رسوبات کف آبشکن دارد. پس از طی مسیر در امتداد طول رودخانه جریان آب با کاهش سرعت مواجه است شکل های (۲۹-د) و (۲۹-و).

در نهایت پس از جریان آب پر سرعت به سمت سطح آزاد پایاب منتقل شده و با برخورد با آبشکن مستهلک می گردد.



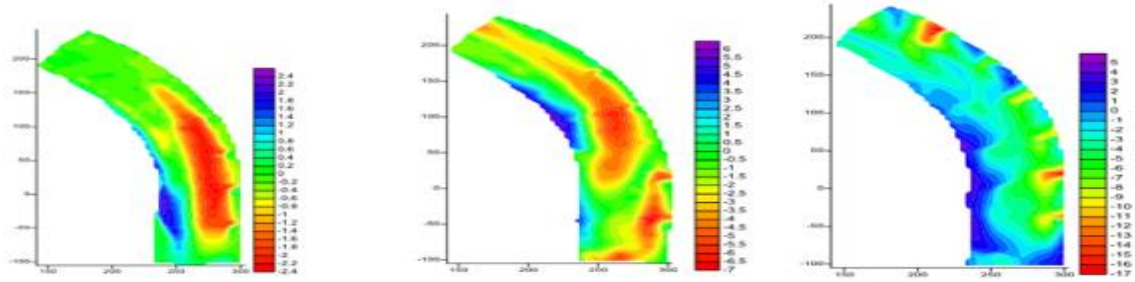
شکل ۳۰- اثر نفوذپذیری آبشکن بر تغییرات حداکثر عمق آبشستگی برای طولهای مؤثر متفاوت آبشکن

یافته است. همچنین در عدد فرود ۰/۲۸، با افزایش نفوذپذیری به میزان ۵۰ درصد، نسبت مزبور به ترتیب ۷۳/۳، ۶۶، ۶۳/۹ درصد، نسبت به حالت نفوذناپذیر، کاهش یافته است. تغییرات عرض آبشستگی نسبی، برای عدد فرود ۰/۲۸، با افزایش نفوذپذیری به میزان ۳۵ درصد، عرض آبشستگی نسبی (W/Y) که در در آن برابر با عمق جریان و W برابر با عرض آبشکن می باشد آبشکن با طول مؤثر ۱۰/۵، ۱۴، ۱۷/۵ سانتی متر به ترتیب ۴۲/۲، ۳۸/۶، ۲۹/۲ درصد، نسبت به حالت نفوذناپذیر، کاهش یافته است.

همچنین در عدد فرود ۰/۲۸، با افزایش نفوذپذیری به میزان ۵۰ درصد، عرض آبشستگی نسبی (W/Y) که در آن برابر با عمق جریان و W برابر با عرض آبشکن می باشد در آبشکن با طول مؤثر ۱۰/۵، ۱۴، ۱۷/۵ سانتی متر به ترتیب ۴۸/۹، ۴۷/۵، ۴ درصد، نسبت به حالت نفوذناپذیر، کاهش یافته است. همچنین، با افزایش انسداد مسیر اثر نفوذپذیری روی کاهش آبشستگی کمتر می گردد و این نکته نشان میدهد که انسداد مسیر اهمیت زیادی در افزایش آبشستگی دارد.

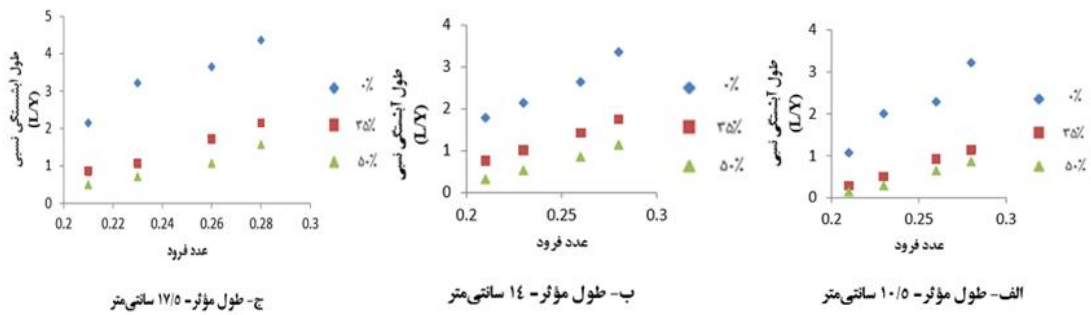
### الگوی فرسایش و رسوب گذاری در قوس

به منظور مقایسه تغییرات توپوگرافی بستر در شرایط هیدرولیکی متفاوت، نمودارهای خطوط همتراز بستر توسط نرم افزار سرفر ترسیم شده است. شکل ۳۱ (الف، ب و ج) به ترتیب الگوی فرسایش و رسوبگذاری برای آبشکن به طول مؤثر ۱۴ سانتی متر به ازای عدد فرود ۰/۲۸ در حالت ۰ درصد نفوذپذیری، ۳۵ و ۵۰ درصد را نشان می دهد. شکل های ۳۲ و ۳۳ (الف، ب و ج) به ترتیب تغییرات طول و عرض آبشستگی نسبی را تحت اثر تغییرات نفوذپذیری آبشکن برای طولهای مؤثر متفاوت آبشکن نشان می دهد. با توجه به شکلها، می توان نتیجه گرفت که در هر سه طول مؤثر آبشکن افزایش نفوذپذیری باعث کاهش قابل ملاحظه ای در طول و عرض آبشستگی می شود. تغییرات طول آبشستگی نسبی، برای عدد فرود ۰/۲۸، با افزایش نفوذپذیری به میزان ۳۵ درصد، طول آبشستگی نسبی (L/Y) برابر طول آبشکن و Y برابر با عمق جریان می باشد و در آبشکن با طول مؤثر ۱۰/۵، ۱۴، ۱۷/۵ سانتی متر به ترتیب ۶۴/۴، ۴۷/۹، ۵۰/۸ درصد، نسبت به حالت نفوذناپذیر، کاهش



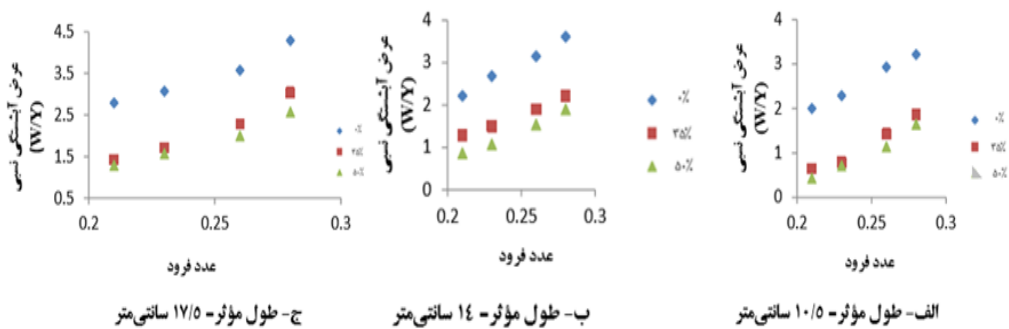
الف) نفوذ پذیری - درصد (ب) نفوذ پذیری ۳۵ درصد (ج) نفوذ پذیری ۵۰ درصد

شکل ۳۱- تغییرات توپوگرافی بستر با سه درصد نفوذ پذیری مختلف در آبشکن به طول مؤثر ۱۴ سانتی متر باد عدد فرود ۰/۲۸



الف- طول مؤثر- ۱۰/۵ سانتی متر (ب- طول مؤثر- ۱۴ سانتی متر (ج- طول مؤثر- ۱۷/۵ سانتی متر

شکل ۳۲- اثر نفوذ پذیری آبشکن بر تغییرات حداکثر طول نسبی آبشستگی برای طولهای مؤثر متفاوت آبشکن



الف- طول مؤثر- ۱۰/۵ سانتی متر (ب- طول مؤثر- ۱۴ سانتی متر (ج- طول مؤثر- ۱۷/۵ سانتی متر

شکل ۳۳- اثر نفوذ پذیری آبشکن بر تغییرات حداکثر عرض نسبی آبشستگی برای طولهای مؤثر متفاوت آبشکن

گیرند اگر بیش از نفوذ سازه در بستر باشد، باعث واژگونی و تخریب سازه و در نتیجه تخریب ساحل خارجی می شود. بنابراین بررسی عمق و حجم آبشستگی و عوامل مؤثر بر آنها بسیار مهم است. از

### تأثیر تغییرات طول مؤثر آبشکن بر ابعاد چاله آبشستگی

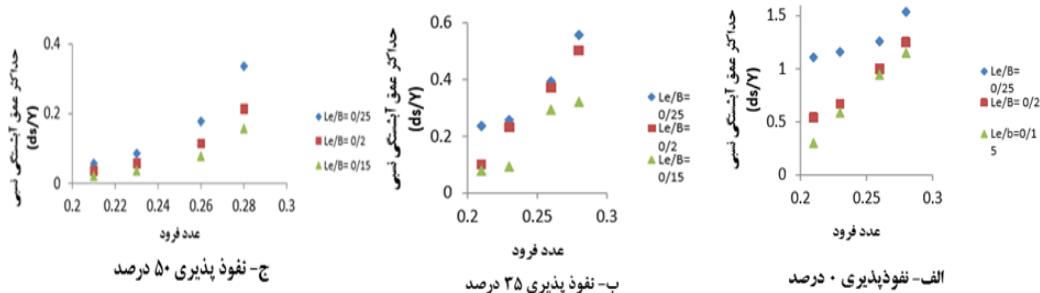
آبشستگی در پنجه سازه هایی که به منظور کنترل آبشستگی در ساحل خارجی، مورد استفاده قرار می



شکل (۳۴، الف-) در حالت آبشکن بسته، حداکثر عمق آبشستگی در عدد فرود  $0/28$  در آبشکن با طول  $17/5$  سانتی متر معادل  $1/54$  برابر عمق جریان می باشد که  $18/6$  درصد بیشتر از آبشکن با طول  $14$  سانتی متر و  $25/1$  درصد بیشتر از آبشکن با طول  $10/5$  سانتی متر است. شکل (۳۴، ب) در حالت آبشکن با نفوذپذیری  $35$  درصد، حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن با طول  $17/5$  سانتی متر در عدد فرود  $0/28$  معادل  $0/56$  برابر عمق جریان می باشد که  $9/7$  درصد بیشتر از آبشکن با طول  $14$  سانتی متر و  $42/4$  درصد بیشتر از آبشکن با طول  $10/5$  سانتی متر است. شکل (۳۴، ج) در حالت آبشکن با نفوذپذیری  $50$  درصد، بیشترین عمق آبشستگی در عدد فرود  $0/28$  در آبشکن با طول  $17/5$  سانتی متر معادل  $0/34$  برابر عمق جریان می باشد که  $36/3$  درصد بیشتر از آبشکن با طول  $14$  سانتی متر و  $53/3$  درصد بیشتر از آبشکن با طول  $10/5$  سانتی متر است.

جمله پارامترهای مهمی که بر حداکثر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن و نیز توپوگرافی بستر تأثیر مستقیم دارد طول آبشکن است. شکل ۳۳ (الف، ب و ج) اثر طول مؤثر آبشکن بر تغییرات حداکثر عمق آبشستگی را در آبشکنهای بسته و باز نشان میدهد. نتایج نشان می دهد که با افزایش طول مؤثر آبشکنهای بسته و باز، به علت افزایش تلاطم و تنش برشی بستر در مجاورت آبشکن، حداکثر عمق آبشستگی افزایش یافته است.

لازم به ذکر است که اثر طول مؤثر بر تغییرات طول و عرض چاله ی آبشستگی نیز مشابه عمق آبشستگی بود و با افزایش طول مؤثر مقدار آن ها افزایش یافت. درصد کاهش حداکثر ابعاد چاله ی آبشستگی در آبشکن ها با طول مؤثر  $10/5$  و  $14$  سانتیمتر نسبت به طول مؤثر  $17/5$  سانتیمتر، به ازای چهار عدد فرود مورد بررسی در جدول ۴ آورده شده است.



شکل ۳۴- اثر طول مؤثر آبشکن بر تغییرات حداکثر عمق نسبی آبشستگی برای نفوذپذیریهای متفاوت

جدول ۴- درصد کاهش ابعاد آبستگی در آبشکن ها با طول مؤثر 14/3 و 10 سانتیمتر نسبت به طول مؤثر 11/3 سانتیمتر

طول مؤثر آبشکن (سانتی متر)	عدد فرود	درصد نفوذپذیری آبشکن	درصد کاهش عمق آبستگی نسبی	درصد کاهش طول آبستگی نسبی	درصد کاهش عرض آبستگی نسبی
۱۴	-/۲۱	۰	۵۱	۱۷	۲۱
	-/۲۳	۰	۴۲	۳۳	۱۳
	+/۲۶	۰	۲۰	۲۷	۱۲
	-/۲۸	۰	۱۹	۲۳	۱۶
۱۰/۵	-/۲۱	۰	۷۳	۵۰	۲۸
	-/۲۳	۰	۴۹	۳۸	۲۶
	+/۲۶	۰	۲۵	۳۷	۱۸
	-/۲۸	۰	۱۵	۲۶	۲۳
۱۴	-/۲۱	۳۵	۵۸	۱۲	۱۰
	-/۲۳	۳۵	۱۰	۵	۱۲
	+/۲۶	۳۵	۶	۱۷	۱۷
	-/۲۸	۳۵	۱۰	۱۸	۲۷
۱۰/۵	-/۲۱	۲۵	۶۷	۶۷	۵۵
	-/۲۳	۲۵	۶۴	۵۳	۵۴
	+/۲۶	۲۵	۲۵	۴۶	۳۸
	-/۲۸	۲۵	۴۲	۴۷	۳۹
۱۴	-/۲۱	۵۰	۳۷	۳۶	۳۳
	-/۲۳	۵۰	۳۴	۲۵	۳۲
	+/۲۶	۵۰	۳۶	۲۰	۲۳
	-/۲۸	۵۰	۳۶	۲۷	۲۶
۱۰/۵	-/۲۱	۵۰	۶۳	۷۱	۶۷
	-/۲۳	۵۰	۵۸	۶۰	۵۵
	+/۲۶	۵۰	۵۶	۴۰	۴۳
	-/۲۸	۵۰	۵۳	۴۵	۳۶

### نتیجه گیری

در هر سه حالت نفوذپذیری (+، ۳۵، ۵۰ درصد)، با افزایش طول مؤثر آبشکن، ابعاد چاله آبستگی به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. همچنین، بیشترین و کمترین ابعاد چاله آبستگی مربوط به آبشکن با طول مؤثر ۱۷/۵ و ۱۰/۵ سانتی متر می باشد.

در یک فاصله ثابت بین آبشکن ها هر چه دبی افزایش یابد میزان عمق آبستگی افزایش می یابد. بیشترین میزان عمق آبستگی در طول آبشکن اول اتفاق می افتد.

در یک دانه بندی ثابت، با افزایش عدد فرود جریان، میزان نسبت عمق آبستگی به عمق جریان روند افزایشی دارد.

در یک دبی ثابت با افزایش فاصله بین آبشکن ها، میزان نسبت عمق آبستگی به عمق جریان روند کاهشی دارد.

با افزایش فاصله بین آبشکن ها مقدار فرسایش بین آبشکن ها روند افزایشی دارد.

هر چقدر قطر ذرات افزایش یابد، میزان عمق آبستگی کاهش می یابد.

در هر سه حالت نفوذپذیری (+، ۳۵، ۵۰ درصد)، با افزایش طول مؤثر آبشکن، ابعاد چاله آبستگی به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. همچنین، بیشترین و کمترین ابعاد چاله آبستگی مربوط به آبشکن با طول مؤثر ۱۷/۵ و ۱۰/۵ سانتی متر می باشد.

در یک فاصله ثابت بین آبشکن ها هر چه دبی افزایش یابد میزان عمق آبستگی افزایش می یابد. بیشترین میزان عمق آبستگی در طول آبشکن اول اتفاق می افتد.

### منابع

۱. حسین زاده تبریزی، ح، واقفی، م و م. قدسیان. ۱۳۹۳. تاثیر عدد فرود جریان بر الگوی جریان و آبستگی اطراف آبشکن های سری در مسیر مستقیم در حالت مستغرق و غیر مستغرق: مجله علمی پژوهشی عمران مدرس ۱۴(۳): ۷۱-۸۲.
۲. کرمان نژاد، ج. فتحی مقدم، م. دهقانی، ا. محمودیان، م. (۱۳۹۰). " بررسی رابطه تخلخل با حداکثر عمق آبستگی آبشکن های L شکل نفوذپذیر با زبانه به سمت بالادست و پایین دست در شرایط آب زلال ". نشریه آب و خاک (علوم و منابع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۲. ص ۳۰۵-۳۱۴.



۳. واقفی، م.، اقبال زاده، ا.، رستم نژاد، م. ۱۳۹۵. بررسی عددی اثر دبی بر الگوی جریان حول آبشکن ساده مستغرق در کانال روباز. مجله مهندسی منابع آب، سال نهم.
۴. بیاره پور، ال، کاشفی پور، س م، ۱۳۹۲ مقایسه توپوگرافی بستر برای سری آبشکن های نفوذپذیر و نفوذناپذیر، شهید چمران مقاله
۵. علیزاده ارمکی، ح، واقفی م، و م قدسیان ۱۳۹۰ بررسی آزمایشگاهی هندسه چاله آبستگنی و نرخ آبستگنی حول آبشکن سرسپری جاذب ودافع: دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان
6. Ghobadian, R., & Shafai Bejestan, M. (2017). Investigation of sediment patterns at river confluence. *Journal of Applied Sciences*, 7(10), 1372-1380.
7. Shafai Bejestan, M., & Hemmati, M. (2018). Scour depth at river confluence of unequal bed level. *Journal of Applied Sciences*, 8(9), 1766-1770.
8. of instream salmonid habitat restoration", *Journal of The American Water Resources Association* Vol. 40, 1631-1644.
9. Kuhnle, R.A., Alonso, C.V., and Shields, F.D. Jr. (2002). "Local scour associated with Angled mspur dikes" *Journal Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 128, No. 12, 1087-1093.
10. Lacey, R.W., Millar, J., and Robert, G. (2004). "Reach scale hydraulic assessment of instream salmonid habitat restoration", *Journal of The American Water Resources Association* Vol. 40, 1631-1644.
11. Best, J. L. (2015). Flow dynamics at river channel confluences: Implications for sediment transport and bed morphology. In *Recent Developments*. In F.G. Etheridge,