

بررسی و مقایسه رفتارهای دیواره های آبشکن در کانال های مختلف با استفاده از نرم افزار فلونت

میثم داودآبادی فراهانی

چکیده

در قوس رودخانه، نیروهای هیدرودینامیکی جریان های ثانوی را به وجود می آورند که خطوط جریان سطحی را به سمت ساحل بیرونی و خطوط جریان نزدیک به بستر را به سمت ساحل داخلی منحرف می سازند. در مقطع جریان در امتداد قائم، خطوط جریان مجاور ساحل بیرونی به طرف پایین و خطوط جریان پشته متمرکز داخلی به طرف بالا هستند. در نتیجه پایداری ذره در نزدیکی ساحل خارجی بهم می خورد و بستر رودخانه گود می شود و از طرف دیگر در مجاورت پشته متمرکز داخلی به پایداری ذره اضافه می شود و تراز بستر افزایش پیدا می کند. آبشستگی در پنجه ساحل خارجی، خط القعر را به سمت ساحل بیرونی قوس جابجا می کند و شیب ساحل را افزایش می دهد که در نهایت به شکست ساحل منتهی می شود. در پژوهش حاضر به بررسی رفتارهای دیواره های آبشکن در دو کانال مختلف با دو طول متفاوت، با نرم افزار FLUENT پرداخته شده است و نتایج بدست آمده نشان می دهد که با افزایش فاصله میان آبشکن ها، عمدتاً سرعت بین آنها نیز افزایش می یابد. آبشکن جاذب، مخرب ترین حالت کاربرد آبشکن ها، هم از نظر ناپایداری دیواره داخلی و خارجی و قوس و هم از نظر ناپایداری سازه ی آبشکن است. با افزایش طول آبشکن و به تبع آن سرعت جریان در قوس، نواحی با سرعت زیاد در نزدیکی دیواره ی داخلی قوس از یک سوم میانی قوس تا انتهای آن بوجود می آید که سبب ناپایداری و فرسایش آن می شوند. با افزایش فاصله میان آبشکن ها، اندازه ی گردابه ها بزرگتر شده و گردابه ها به شکل کامل تری تشکیل می شوند.

واژگان کلیدی: فرسایش، سیل، دیواره های آبشکن، جریان رودخانه، مدل سازی.

مقدمه

حفاظت ساحل رودخانه در مقابل فرسایش از اهداف اصلی ساماندهی رودخانه ها در توسعه پایدار منابع آب به شمار می آید. چرا که فرسایش سواحل رودخانه ها، باعث خسارت به اراضی کشاورزی، آسیب دیدن سازه های مجاور، مانند پل ها و جاده ها، عریض شدن آبراهه جریان و مسائل زیست محیطی قابل توجه می باشد. این مسأله سبب می شود هر ساله مبالغ زیادی برای حفاظت از سواحل رودخانه در برابر فرسایش هزینه شود. روش های حفاظت سواحل از دیدگاه عملکرد سازه ها به دو گروه کلی حفاظت مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می شوند. در روش غیرمستقیم، تثبیت رودخانه ها توسط احداث سازه های عرضی یا آبشکن در طول ساحل فرسایش پذیر انجام می گیرد با وجود پژوهش های متعددی که برای بهینه سازی اجزای آبشکن و کارایی یا عدم کارایی سازه ها، نظیر ارزیابی عمق آبستنگی پیرامون سازه و میزان رسوب گذاری و فرسایش ساحل رودخانه صورت گرفته، تاکنون روشی که همزمان قادر به بررسی ملاحظات طراحی، اقتصادی و تغییرات دینامیکی رودخانه باشد، ارائه نشده است. روشی که در این تحقیق بدان پرداخته شده به طور هم زمان ابعاد بهینه سازه را مطابق ضوابط استاندارد با کمینه کردن هزینه طرح، و بیشینه کردن پایداری مورفولوژیکی مقطع طراحی می کند. در این راستا یک مدل بهینه سازی چند هدفه به روش وزن دهی توسعه یافته است. دو تابع هدف مورد نظر در این مدل، تابع مقطع پایدار و تابع هزینه احداث سازه می باشد. تابع مقطع پایدار به واسطه تئوری حدی حداکثر ظرفیت انتقال رسوب و با استفاده از زیرمدل مورفولوژیکی مقطع پایدار، و تابع هزینه با استفاده از زیرمدل طراحی با توجه به ضوابط طراحی استاندارد به دست آمده است. به عبارتی مسأله طراحی به صورت یک مدل بهینه سازی غیرخطی فرموله شده، و از قیدهایی که هیدرولیک جریان و رسوب و ضوابط طراحی پایدار را در بر می گیرد، استفاده کرده و یک تابع مرکب که هزینه پروژه را کمترین و ظرفیت انتقال رسوب را بیشترین کند، به کار می گیرد [۱].

بالا رفتن تجاوزها به حریم رودخانه سبب کاهش ظرفیت سیل گیری و افزایش تراز آب و پایین آمدن ظرفیت انتقال جریان سیلابی به پایین دست می گردد که در هر صورت زمینه بروز سیلاب های مخرب را آماده تر می کند، لذا تعیین حریم قانونی رودخانه به نحوی تعیین حریم خطر و محدوده احتمال بروز خسارت است که از جهت حفظ سازه اهمیت دارد. در بسیاری از موارد این سازه ها خود باعث افزایش احتمال وقوع سیل می گردند. طرح های ساماندهی رودخانه از طریق یک مدل هیدرولیکی قابل ارزیابی فنی هستند، بطوری که ابعاد و اندازه آنها در یک مدل هیدرولیکی معرفی شده و مورد بررسی قرار می گیرند. برای مدل سازی هیدرولیک رودخانه ابتدا کلیه اطلاعات هیدرولوژیکی و هندسه رودخانه جمع آوری می گردد. با بازدید محلی نواحی غیرمؤثر جریان تعیین و مقاومت آبراهه و سیلاب دشت ها در مقابل جریان برآورد می گردد. تخمین مقاومت آبراهه در مقابل جریان به تخمین ضریب زبری مانینگ منتهی می گردد. بر اساس هندسه رودخانه، مبانی هیدرولیک جریان رودخانه، نتایج محاسبات هیدرولوژی و بررسی سیستم رودخانه از جهت شیب و عوامل مؤثر بر پروفیل سطح آب، نوع جریان و سپس نرم افزار کامپیوتری مناسب آن انتخاب می گردد و سپس مشخصات و پروفیل سطح آب رودخانه محاسبه می گردد. در روند مزبور مبانی هیدرولیک رودخانه، عبور جریان از سازه های تقاطعی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد [۲].

سیل یکی از بلایای طبیعی است که همواره بزرگ ترین خسارات جانی و مالی بشر را متحمل بوده است. مطابق با آمارهای جهانی، تلفات انسانی در دنیا ۲۶ درصد مربوط به سیل، ۱۹ درصد مربوط به طوفان، ۳ درصد مربوط به خشکسالی، ۱۳ درصد مربوط به زلزله و ۳۹ درصد مربوط به سایر حوادث (بیماری ها و ...) می باشد. بیشترین تلفات جهانی مربوط به سیلاب در دنیا به دو سیل به وقوع پیوسته در چین اختصاص دارد. سیل ۱۹۳۱ بالغ بر ۱۰۰۰۰۰ نفر و سیل ۱۸۸۷ بالغ بر ۹۰۰۰۰۰ نفر کشته داد [۳].

جاری شدن سیلاب زمانی اتفاق می افتد که آب از سطح معمول خود افزایش یابد و روی مکان هایی که معمولاً خشک هستند، پیشروی کند. این پدیده ممکن است از رودخانه ها، آب های زیرزمینی و نواحی ساحلی دریا به دلیل بارش سنگین، ذوب برف و یخ در نواحی کوهستانی یا طوفان های ساحلی رخ دهد [۴].

پل ها در برقراری راه های ارتباطی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. همه ساله هزاران پل در سراسر جهان به دلیل عدم درک صحیح از هیدرولیک جریان اطراف پایه و رعایت نکردن ملاحظات فنی در طراحی و اجرای آنها تخریب می شوند که دلیل عمده آن، آبستنگی موضعی می باشد. تخریب و خسارت وارده به پل ها که اغلب در هنگام سیلاب رخ می دهد، علاوه بر ضررهای مالی، به علت قطع راه های ارتباطی، کمک به مناطق سیل زده را مختل نموده و از این نظر عواقب اجتماعی نیز به دنبال دارد. ضرورت بررسی پدیده آبستنگی زمانی آشکار می گردد که عمق آبستنگی قابل ملاحظه باشد به گونه ای که این عمق به پی سازه های رودخانه ای برسد و پایداری این سازه ها را در معرض خطر قرار دهد و نهایتاً موجب تخریب آنها گردد [۵].

از مهم ترین خسارات ناشی از سیل می توان به تخریب پل ها، تخریب جاده ها، تخریب زمین های کشاورزی، تخریب چاه ها و قنات ها و تخریب بندها و سدها، تخریب منازل مسکونی ازدیاد ناقلین (مالاریا)، آلودگی آب، از بین رفتن محصولات و حیوانات اهلی (سوء تغذیه)، آسیب به مکان های بهداشتی و ارتباطی و مهم تر از همه مرگ انسان ها اشاره کرد. در کشورهای پیشرفته با توجه به سرمایه گذاری برای ایجاد سیستم های مقابله با بلایای طبیعی، تلاش زیادی در جهت کاهش خطر و خسارات، مخصوصاً تلفات انسانی به عمل آمده به نحوی که

عمده تلفات جانی در دنیا مربوط به کشورهای کم درآمد و کشورهایی با درآمد متوسط می باشد [۳]. دیواره های عرضی یا ایپی یا آبشکن ها، سازه های هدایت کننده ای هستند که تحت زاویه ای با جریان آب (عمود بر جریان آب یا بصورت مایل با آن) از جدار رودخانه تا قسمتی از عرض رودخانه امتداد دارند. این دیواره های عرضی گاهی بصورت یک سری متوالی و گاهی به صورت منفرد باعث انحراف آب از محل کناره ها و هدایت آن به طرف وسط رودخانه ها می شوند [۶]. این سازه ها بر خطوط جریان تأثیر گذاشته و باعث تغییر در الگوی جریان رودخانه و انحراف جریان از دیواره های فرسایش پذیر به وسط رودخانه شده و با ایجاد ناحیه سکون در بین دو آبشکن و کاهش سرعت جریان از شدت برخورد آن با دیواره ها کاسته و کناره ها را از خطر فرسایش محافظت می نمایند [۳].

یکی از روش های غیرمستقیم و معمول در کنترل فرسایش کناری و حفاظت کناره های رودخانه ها، استفاده از ایپی یا آبشکن می باشد. این سازه ها بر خطوط جریان تأثیر گذاشته و باعث تغییر در الگوی جریان رودخانه و انحراف جریان از دیواره های فرسایش پذیر به وسط رودخانه شده و کناره ها را از خطر فرسایش محافظت می نمایند. با ایجاد ناحیه سکون در بین دو آبشکن و کاهش سرعت جریان از شدت برخورد آن با دیواره ها کاسته و در حقیقت قابلیت رسوب گذاری جریان را در ساحل رودخانه افزایش می دهند [۷].

قوس خارجی رودخانه ها به دلیل وجود جریان ثانویه ناشی از نیروی گریز از مرکز، همواره در معرض فرسایش قرار دارد. از این رو برای حفاظت از ساحل رودخانه نیاز است با ایجاد لایه مقاوم در مقابل فرسایش از تخریب ساحل جلوگیری نمود و یا جریان پُرسرعت را از ساحل رودخانه دور کرد. آبشکن سازه ای است که با انحراف زاویه حمله جریان از کناره ها و نواحی بحرانی به سمت محور مرکزی رودخانه و اصلاح الگوی جریان باعث کاهش سرعت در نزدیک ساحل خارجی شده و در نتیجه کاهش میزان فرسایش را به دنبال خواهد داشت [۸].

از میان انواع موج شکن ها، به لحاظ شکل هندسی و مصالح به کار برده شده، موج شکن های توده سنگی از متداول ترین انواع آنها می باشند با افزایش تبادل کالا، لزوم گسترش بنادر و وسعت آنها و افزایش ابعاد شناورها باعث گردیده موج شکن ها در اعماق بیشتر و مکان های خیلی باز ساخته می شوند و این منجر به افزایش ارتفاع امواج و مطرح شدن مسائل طراحی و اجرایی شده است. در این راستا انواع موج شکن ها از نظر سازه و پایداری مورد توجه قرار گرفته اند. طراحان با احداث سازه های موج شکن در آب عمیق تر و مکان های مستقر در معرض امواج بلندتر، دریافتند که باید حجم سنگ مورد نیاز را تا رسیدن به نیمرخ پایدار افزایش دهند. استفاده از سنگ های بزرگ در سطح بیرونی سازه، حجم مورد نیاز را تا حد زیادی کاهش می داد [۹].

متریال و روش ها

روش تحقیق

در این پژوهش با استفاده از روش عددی المان محدود ابتدا به مدل سازی دیوارهای آبشکن و سپس سیال مورد نظر با چگالی و جرم و حجم مخصوص و همچنین شرایط مرزی سیال و آبشکن و بررسی عملکرد دیواره های آبشکن در هنگام وقوع سیل پرداخته شد و با استفاده از نرم افزار FLUENT شبیه سازی انجام گردید.

شبیه سازی

برای مدل سازی هندسه ی کانال با مشخصات جدول ۱، از دو نرم افزار اتوکد و گمبیت استفاده شد. بعد از ایجاد هندسه مدل، در سیستم Geometry (در نرم افزار ANSYS)، امکان کنترل کیفیت هندسه ایجاد شده را به کاربر می دهد و اشکالات احتمالی موجود در هندسه ایجاد شده را لیست کرده و به کاربر نشان می دهد تا کاربر آنها را، قبل از وارد شدن به مرحله تحلیل، اصلاح نماید. با اجرای دستور Fault Detection و انتخاب کل هندسه، اشکال و ایرادی برای هندسه ایجاد شده وجود نداشت و هندسه مدل برای انجام بقیه مراحل تحلیل به سیستم Mesh انتقال داده شد.

جدول ۱: مشخصات کانال مورد استفاده در شبیه سازی

طول کانال	عرض کانال	ارتفاع کانال	شیب کف کانال
۱۸ متر با ضخامت آبشکن ۱۵ سانتیمتر	۷۰ سانتیمتر	۷۰ سانتیمتر	۰/۰۰۱
۱۰/۵ متر با ضخامت آبشکن ۵ سانتیمتر	۷۰ سانتیمتر	۷۰ سانتیمتر	۰/۰۰۱

شبکه بندی

میش بندی محدوده ی جریان دقت حل مسأله به تعداد سلول های موجود در شبکه بستگی دارد و برای رفع خطاهای موجود در حل مسأله از طریق تغییر در شبکه و بهینه نمودن آن صورت می پذیرد و در اکثر موارد تغییر شبکه شامل ریزتر نمودن آن در قسمت های مورد

نیاز است تا جایی که نتایج حاصل مستقل از ابعاد سلول های موجود در شبکه شوند و نتایج کلیدی تغییر نکنند. این امر به کمک سعی و خطا و تکرار حل در دفعات مکرر با شبکه بندی های متفاوت حاصل می شود. در این مطالعه برای شبکه بندی محدوده ی جریان نیز از قسمت Mesh در نرم افزار Ansys FLUENT بهره گرفته شد.

شرایط مرزی در ورودی کانال (Inlet)

با توجه به این که جریان در مدل مورد نظر برای دبی های ۳۵ و ۲۵ سانتی متر مکعب زیر بحرانی $Fr > 1$ است، محاسبه عمق جریان در ورودی به نرم افزار واگذار شده و از شرط مرزی مقدار مشخص برای سرعت در این مقطع استفاده شده است این شرط مرزی برای جریان های تراکم ناپذیر مورد استفاده قرار می گیرد.

شرایط مرزی سطح آزاد (Opening)

جریان با سطح آزاد به یک حالت جریان چند فازی اطلاق می شود که فازها به کمک یک سطح مشترک مشخص از هم جدا می شوند. جریان های با سطح آزاد با مدل غیرهمگن می توانند برای پذیرفتن جدایش دو فاز جریان استفاده شوند. در این نرم افزار برای سطح آزاد جریان از شرط مرزی Opening استفاده می شود. نرم افزار Ansys FLUENT شرط Opening را به دلیل وجود دو فاز آب و هوا در سطح مشترک این دو نوع سیال در نظر می گیرد.

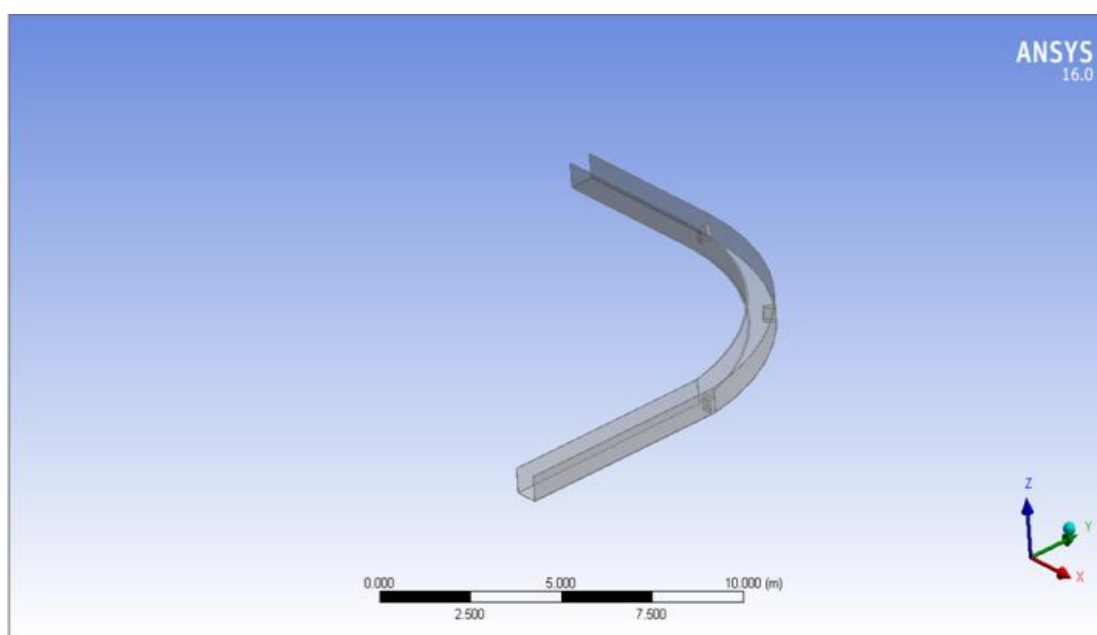
اثر زاویه قرارگیری آبشکن ها بر الگوی توزیع سرعت متوسط

در شروع قوس در دیواره داخلی سرعت افزایش یافته و ناحیه پُرسرعت در مجاورت دیواره داخلی و ناحیه کم سرعت در مجاورت دیواره خارجی به وجود می آید بررسی ها نشان می دهد در حالت استفاده از آبشکن های جاذب موجب می گردد حداکثر سرعت متوسط به سمت قوس خارجی حرکت نماید. در ابتدای قوس نواحی پرسرعت در مجاورت دیواره داخلی هستند ولی با نزدیک شدن به انتهای قوس و بعد از زاویه حدود ۴۰ درجه به سمت دیواره ی خارجی متمایل می شوند، به گونه ای که بیشینه ی سرعت در قوس، در یک سوم انتهایی و در مجاورت دیواره ی خارجی آن مشاهده می شود.

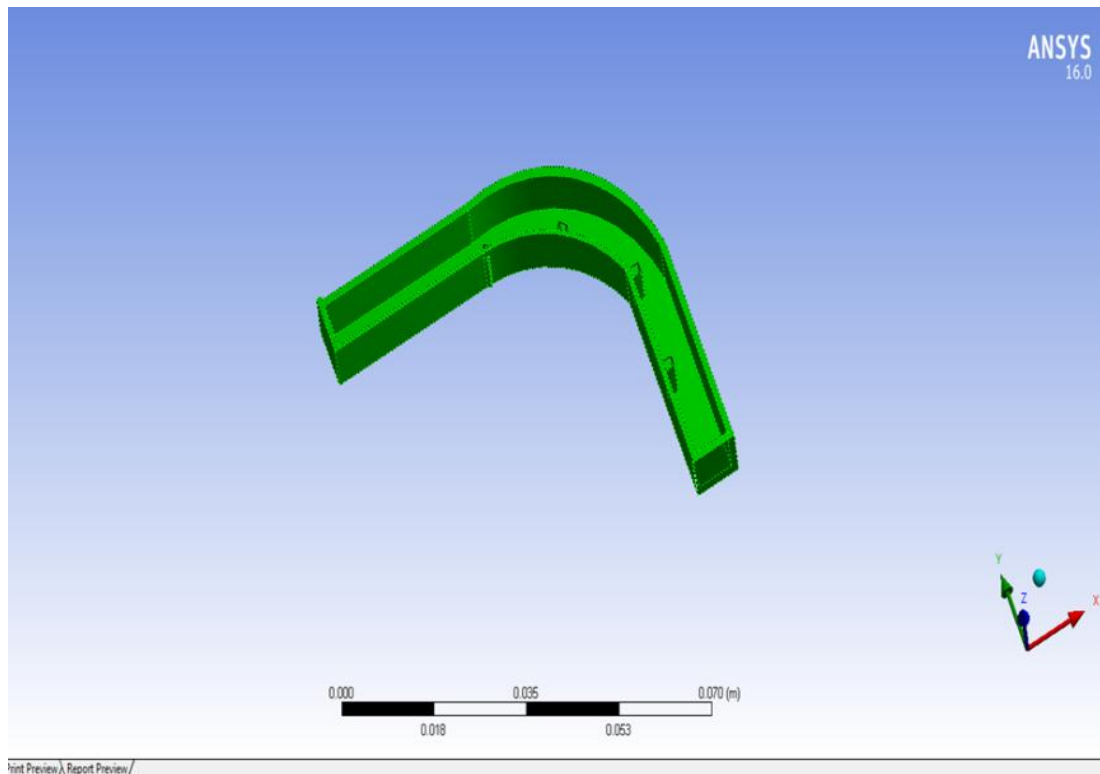
نتایج و بحث

نتایج حاصل از شبیه سازی

برای مدل سازی هندسه ی کانال مورد نظر، با استفاده از دو نرم افزار اتوکد و گمبیت رسم شد و هندسه مدل برای انجام بقیه مراحل تحلیل به سیستم Mesh انتقال داده شد.



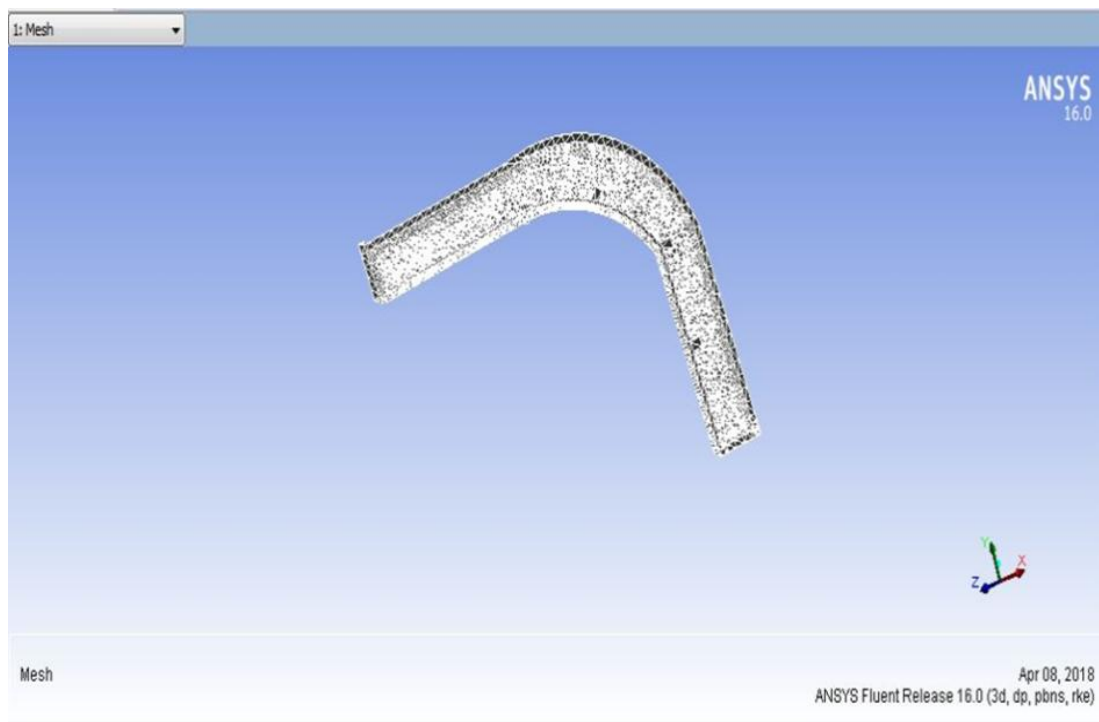
شکل ۱- هندسه ایجاد شده (مدل ۱۸متری) در نرم افزار اتوکد و گمبیت



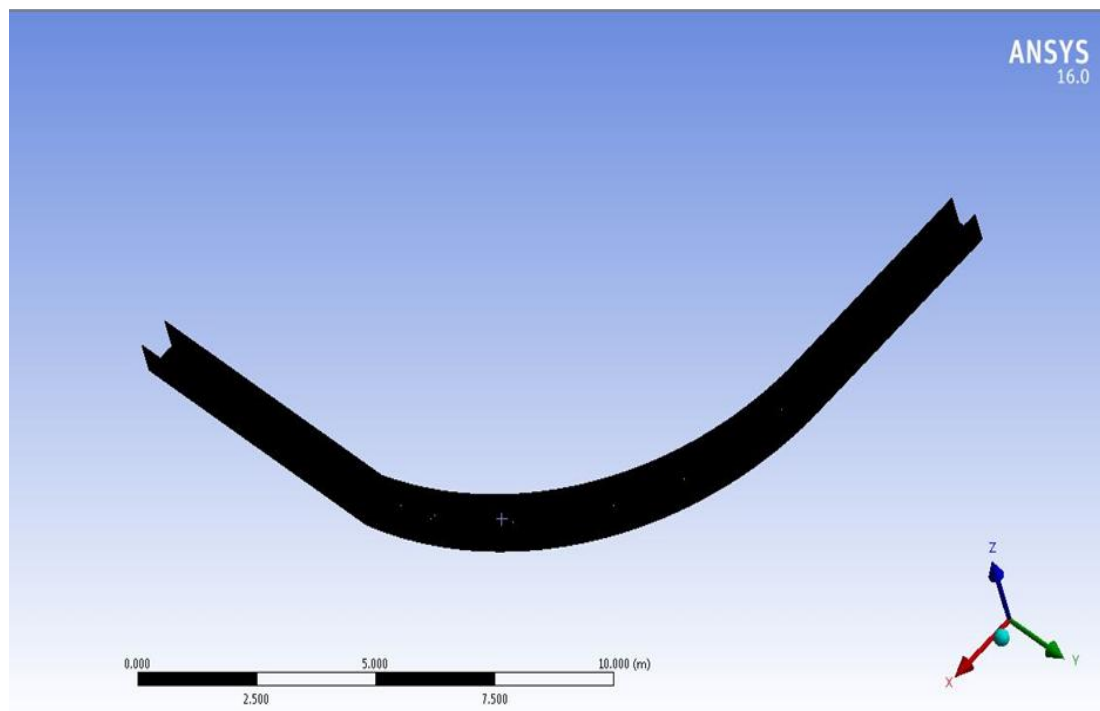
شکل ۲- هندسه ایجاد شده (مدل ۱۰/۵ متری) در نرم افزار اتوکد و گمبیت

شبکه بندی

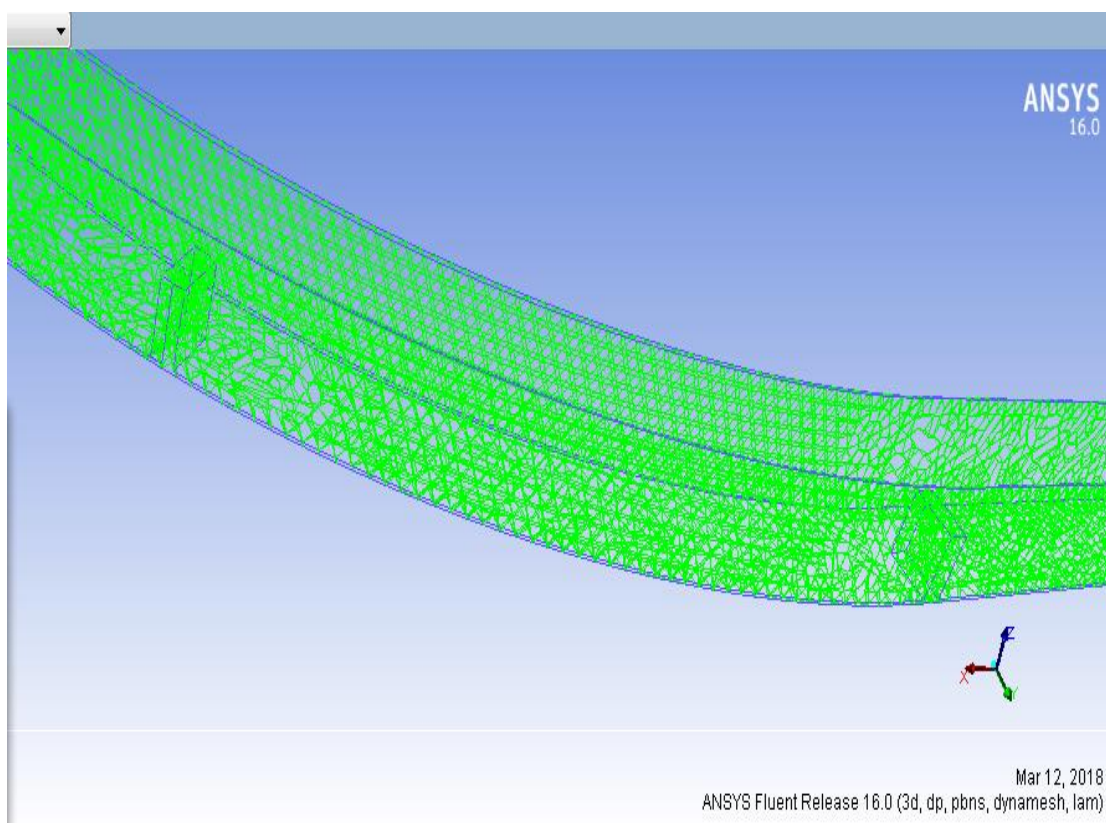
در این مطالعه برای شبکه بندی محدوده ی جریان نیز از قسمت Mesh در نرم افزار Ansys FLUENT بهره گرفته شد و نتایج به صورت زیر ارائه شده است.



شکل ۳- هندسه مش بندی کانال با آبشکن با ضخامت ۵ سانتیمتری

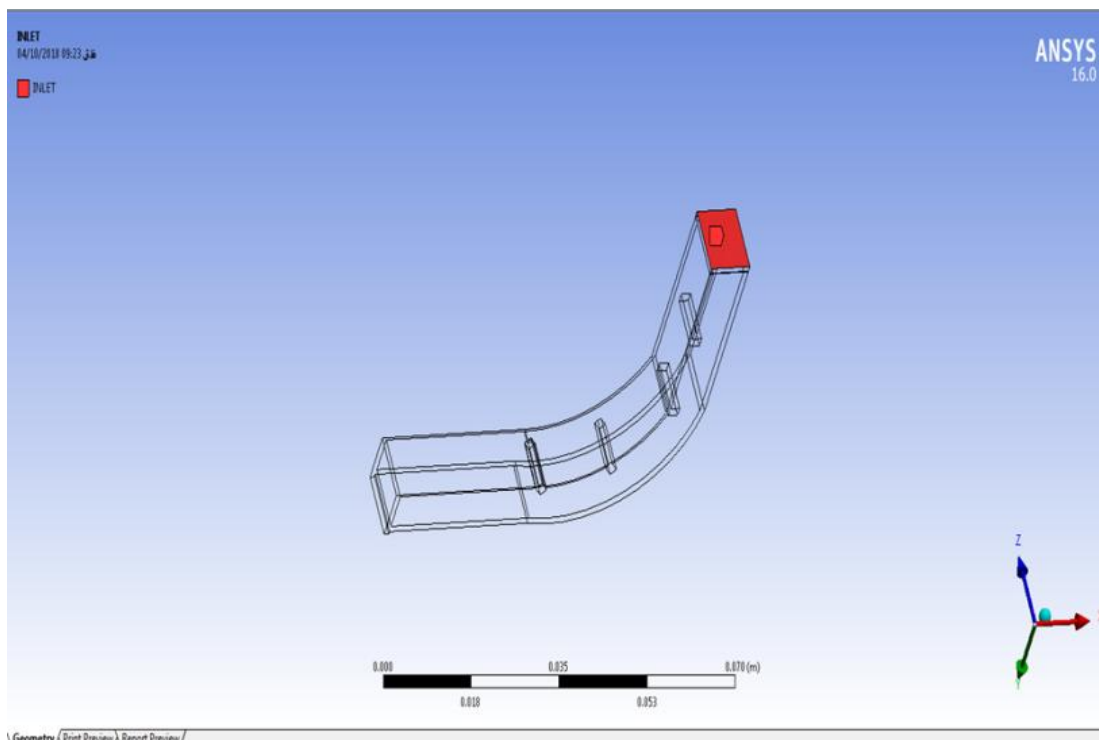


شکل ۴- هندسه مش بندی کانال با آبشکن با ضخامت ۱۵ سانتیمتری



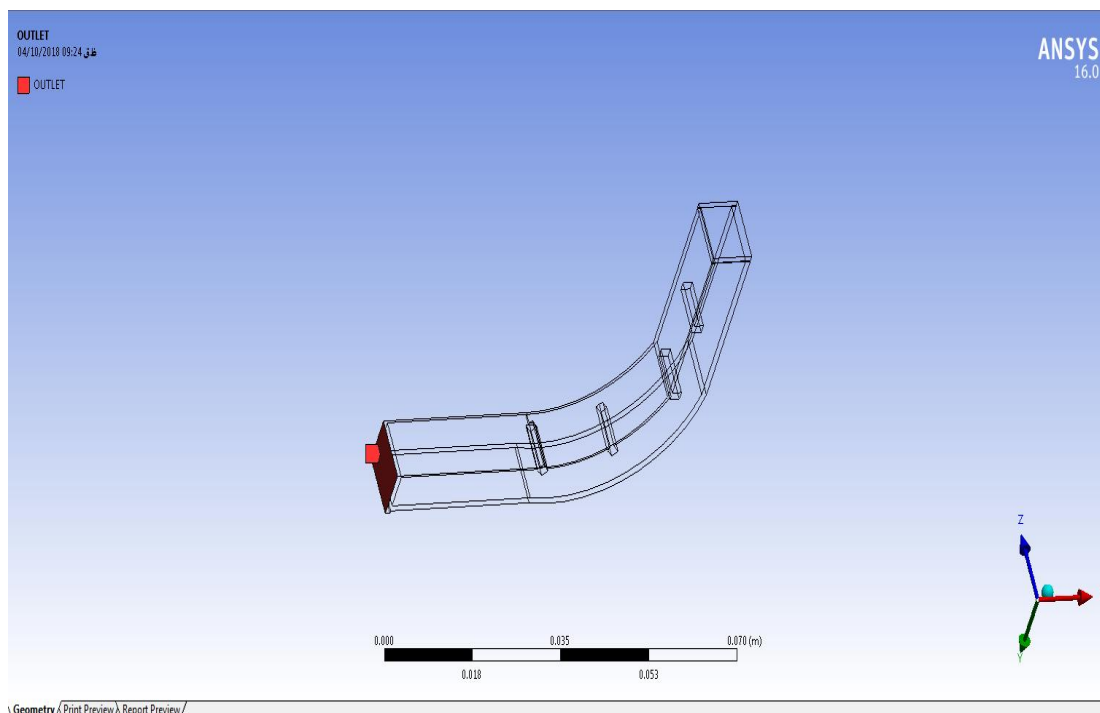
شکل ۵- نمایش آبشکن ها در جریان ورودی

نتایج حاصل از شرایط مرزی در ورودی کانال (Inlet)



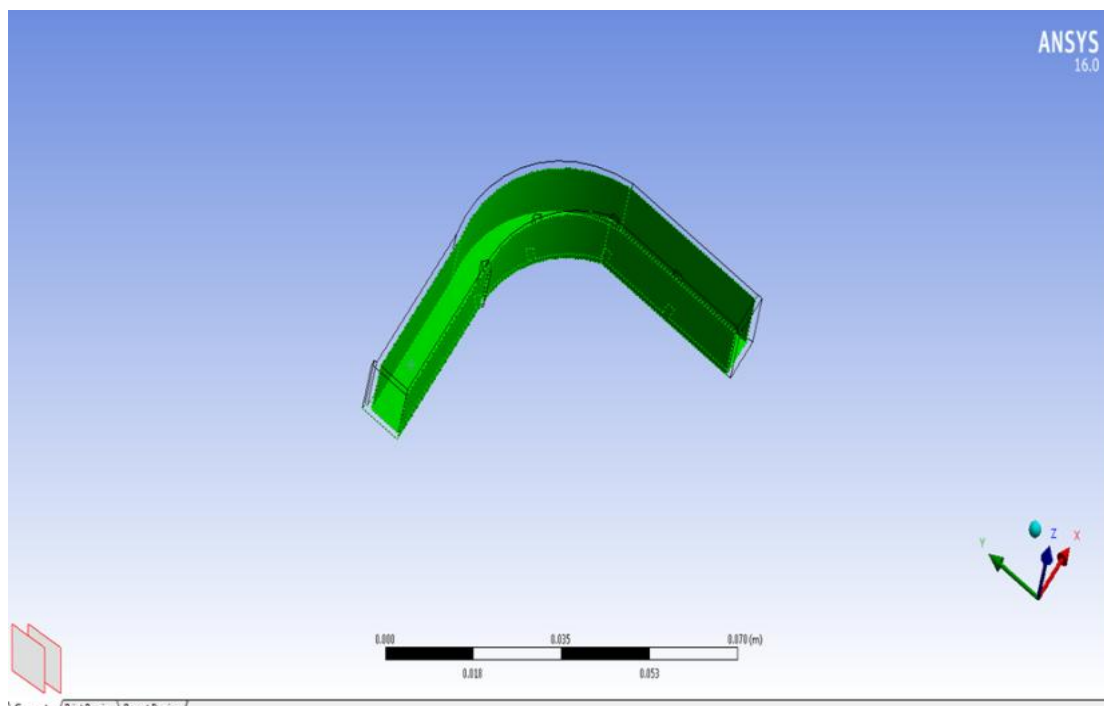
شکل ۶- نمایش ورودی جریان (Inlet)

پس از انتخاب شرط مرزی سرعت در ورودی و با توجه به زیربحرانی بودن جریان، شرط مرزی که برای خروجی کانال در نظر گرفته شد، عمق جریان است که در قالب فشار هیدرواستاتیک به این مقطع اعمال گردیده است.



شکل ۷- نمایش خروجی جریان (Outlet)

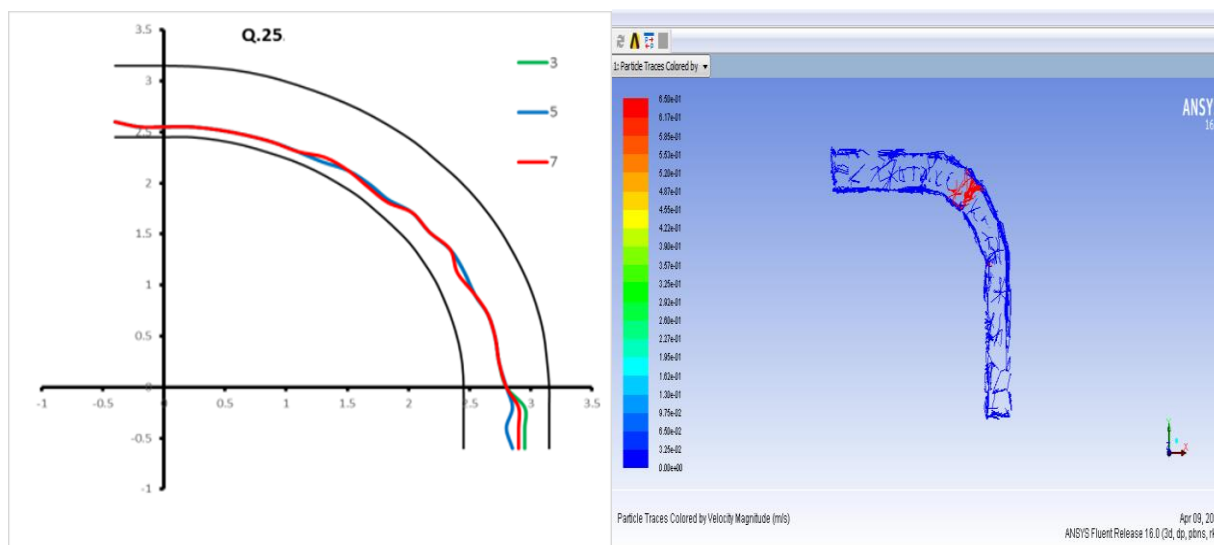
شرط مرزی دیوار برای محدود کردن نواحی سیال با جامد به کار می رود در مسأله مورد نظر، جداره ها شامل کف و دو دیواره کانال می باشد.



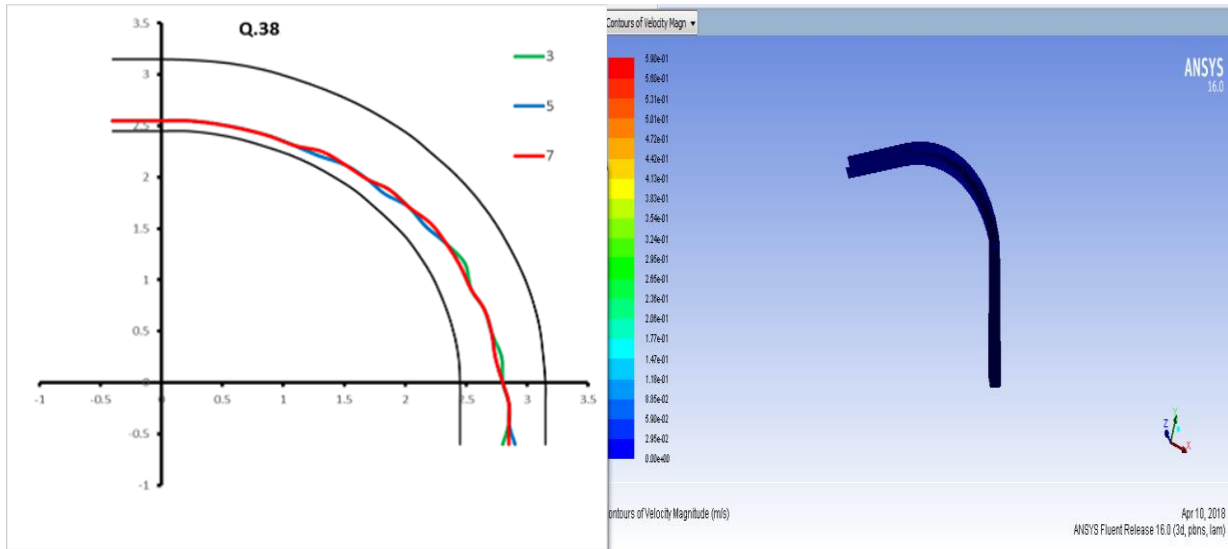
شکل ۸- نمایش دیواره و کف برای این شرایط مرزی

نتایج حاصل از قرارگیری آبشکن ها بر الگوی توزیع سرعت متوسط

نتایج بدست آمده نشان داد که در ابتدای قوس نواحی پرسرعت در مجاورت دیواره داخلی هستند ولی با نزدیک شدن به انتهای قوس و بعد از زاویه حدود ۴۰ درجه به سمت دیواره ی خارجی متمایل می شوند، به گونه ای که بیشینه ی سرعت در قوس، در یک سوم انتهایی و در مجاورت دیواره ی خارجی آن مشاهده می شود. در یک سوم ابتدایی قوس، سرعت های حداکثر از دیواره خارجی قوس فاصله داشته است. تغییرات سرعت در مجاورت دماغه آبشکن ها به سرعت تغییر کرده و به فاصله کمی از دماغه آبشکن ها سرعت های بالا قرار گرفته اند این امر نشان می دهد که محافظت دماغه آبشکن ها جهت حفظ پایداری سازه ی آبشکن امری اجتناب ناپذیر است.

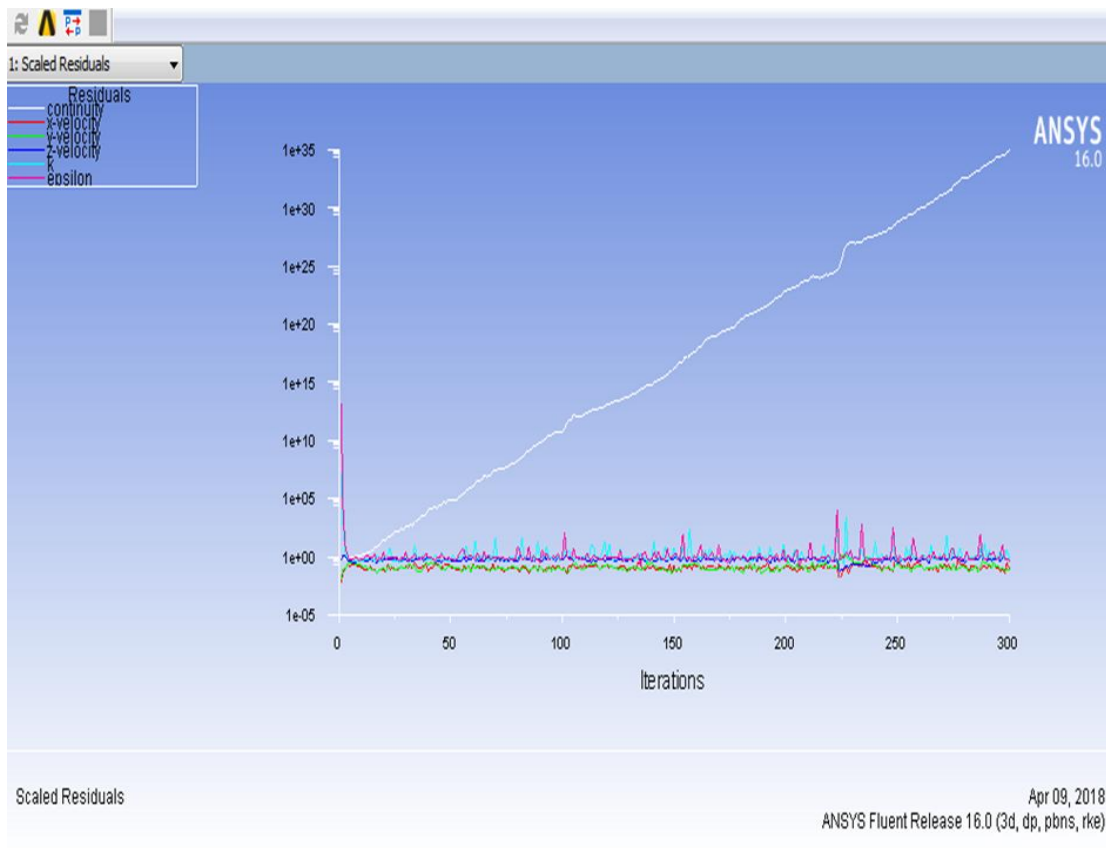


شکل ۹- الگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در حالت بکارگیری آبشکن های قائم (Q=25 و B=10.5 m)

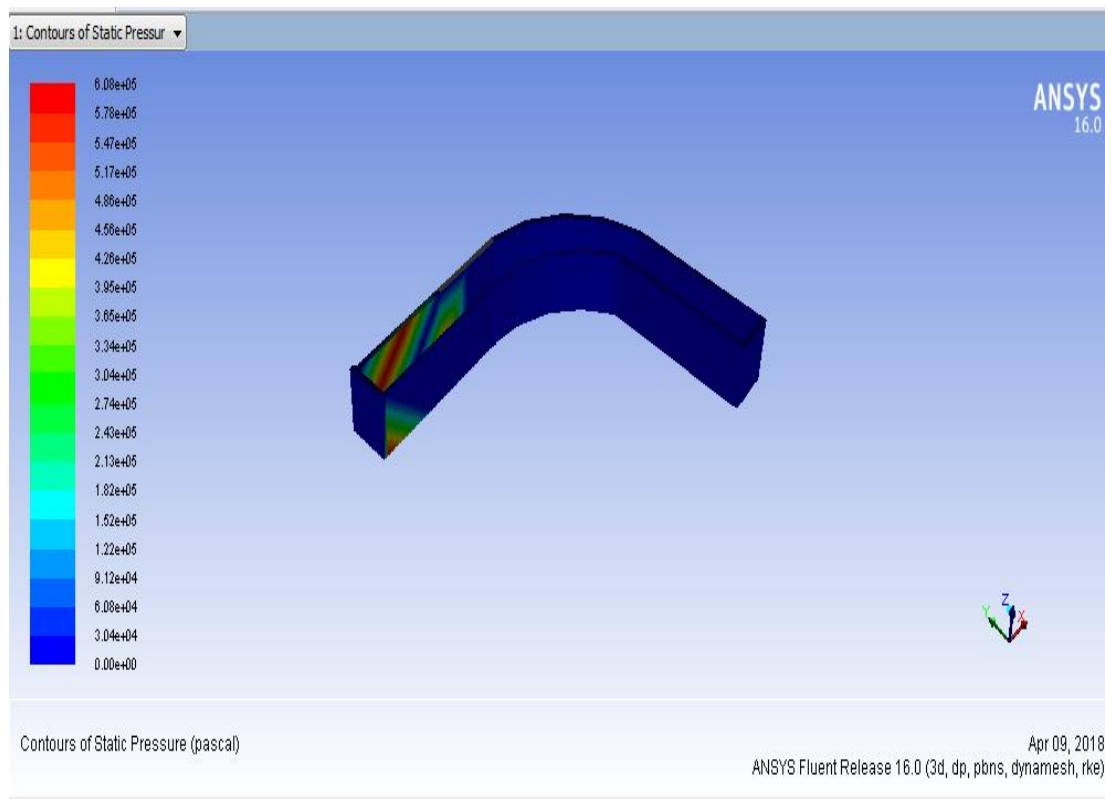


شکل ۱۰- الگوی توزیع سرعت برآیند در قوس در حالت بکارگیری آبشکن های قائم (Q=38 و B=18m)

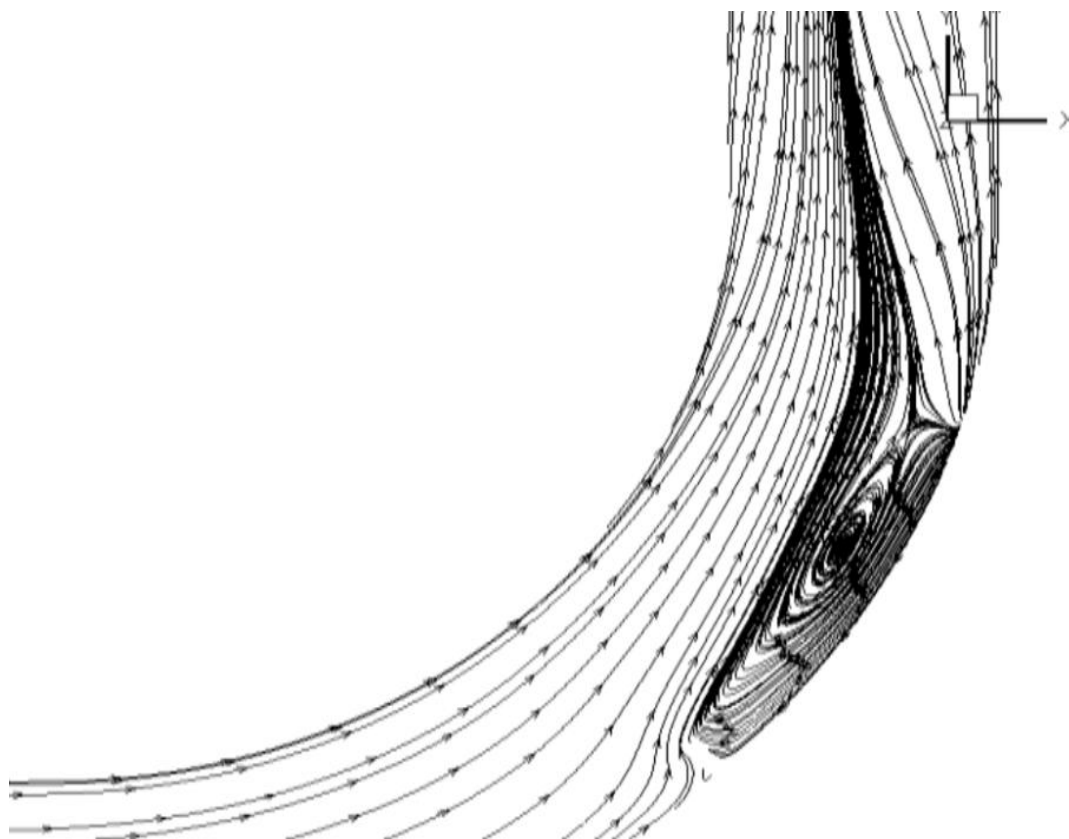
شکل های ۹ و ۱۰ تأثیر فاصله طولی بر توزیع سرعت متوسط را نشان می دهد مطابق شکل سرعت در مجاورت قوس خارجی کاهش یافته و حضور آبشکن ها موجب انتقال ناحیه پُرسرعت از دیواره ی خارجی به سمت دیواره داخلی در ابتدای قوس و میانه ی کانال در ادامه مسیر می شود.



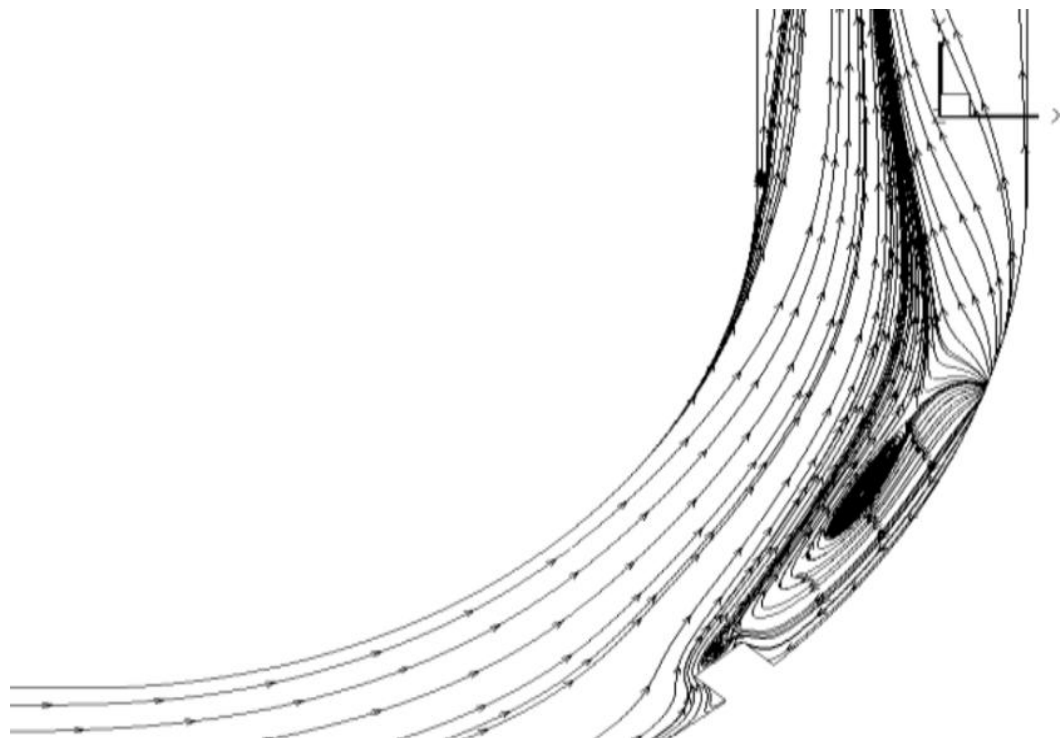
شکل ۱۱- نمودارهای همگرایی



شکل ۱۲- کانتور رنگ الگوی توزیع فشار بر آیند در قوس در حالت بکارگیری آبشکن های قائم بستر حول آبشکن با ضخامت ۵ سانتیمتر



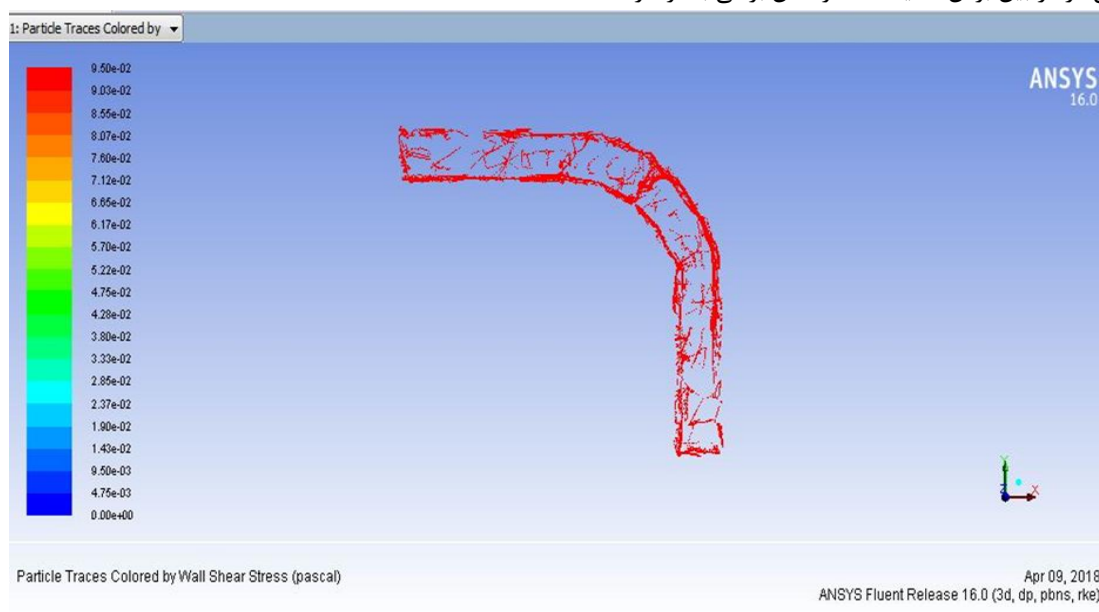
شکل ۱۳- خطوط جریان نزدیک سطح آب z=30cm حول آبشکن با ضخامت ۵ سانتیمتر



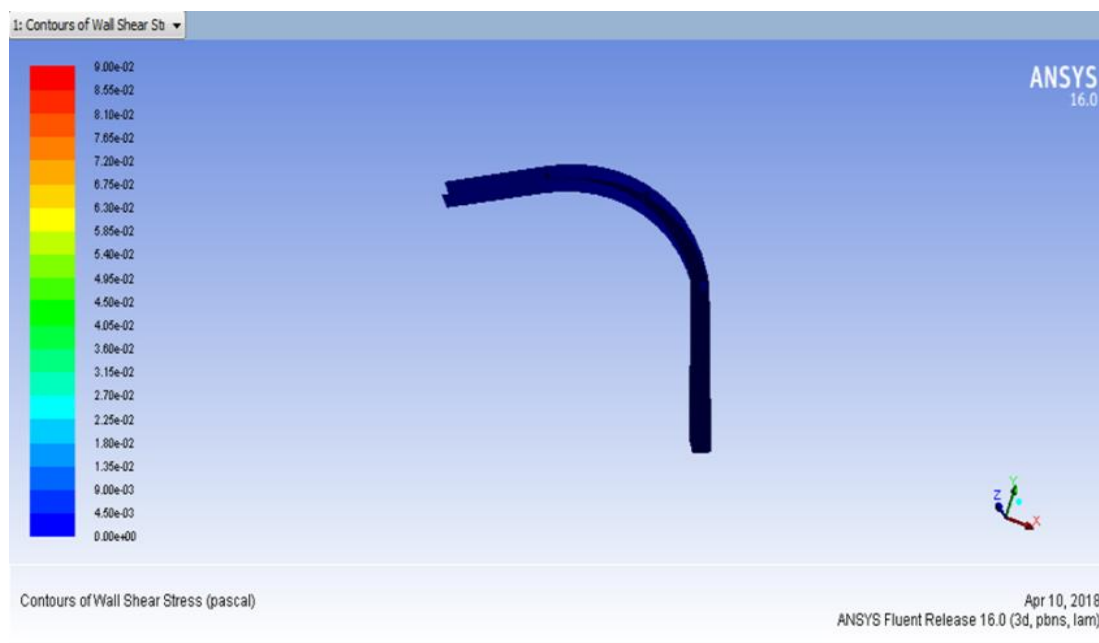
شکل ۱۴- خطوط جریان نزدیک سطح آب $z=30\text{cm}$ حول آبشکن با ضخامت ۱۵ سانتیمتر

مقایسه تنش

بر اساس نتایج بدست آمده شکل سرعت در مجاورت قوس خارجی کاهش یافته با افزایش فاصله و حضور آبشکن ها موجب انتقال ناحیه پرسرعت از دیواره ی خارجی به سمت دیواره داخلی در ابتدای قوس و میانه ی کانال در ادامه مسیر می شود. کمترین مقدار تنش برشی بعد از آبشکن می باشد که مؤید رسوب گذاری در این منطقه می باشد. همچنین با افزایش ضخامت ابعاد دارای تنش برشی حداکثر افزایش می یابد. در ضخامت ۵ سانتیمتر در انتهای قوس شاهد ناحیه ایی با تنش برشی بالا هستیم که به مرور زمان موجب ایجاد چاله آبشستگی در این ناحیه می شود که این ناحیه در کانال با آبشکن که ضخامت سانتیمتر وجود ندارد. بنابراین افزایش ضخامت، تأثیر قابل توجه ایی در از بین بردن ناحیه حداکثر تنش برشی بستر دارد.



شکل ۱۵- توزیع تنش برشی بستر حول آبشکن (الف) با ضخامت ۵ سانتیمتر



شکل ۱۶- توزیع تنش برشی بستر حول آبشکن (ب) با ضخامت ۱۵ سانتیمتر

به منظور بررسی الگوی سه بعدی جریان حول آبشکن هایی با ضخامت های مختلف، شبیه سازی با آبشکن هایی با ضخامت ۵ و ۱۵ سانتیمتر انجام شد و نتایج نشان داد که با افزایش ضخامت ابعاد گردابه های ایجاد شده بعد از آبشکن کاهش می یابد. همچنین مشاهده می شود با افزایش ضخامت دو جریان چرخشی در دماغه آبشکن و پشت آبشکن تشکیل شده است که با گذشت زمان موجب رسوب گذاری در دماغه آبشکن می شود.

نتیجه گیری

با افزایش فاصله میان آبشکن ها عمدتاً سرعت بین آنها نیز افزایش یافته است. آبشکن جاذب، مخرب ترین حالت کاربرد آبشکن ها، هم از نظر ناپایداری دیواره داخلی و خارجی و قوس و هم از نظر ناپایداری سازه ی آبشکن است. زیرا از طرفی با افزایش طول آبشکن و به تبع آن سرعت جریان در قوس، نواحی با سرعت زیاد در نزدیکی دیواره ی داخلی قوس از یک سوم میانی قوس تا انتهای آن بوجود می آید که سبب ناپایداری و فرسایش آن می شوند. با افزایش فاصله میان آبشکن ها، اندازه ی گردابه ها بزرگتر شده و گردابه ها به شکل کامل تری تشکیل می شوند. افزایش ضخامت تأثیری قابل توجهی در از بین بردن ناحیه حداکثر تنش برشی بستر دارد. در مقاطع عرضی قبل از آبشکن، حداکثر سرعت سمت دیواره داخلی اتفاق می افتد. بعد از عبور جریان از آبشکن، حداکثر سرعت به تدریج به میانه مقطع کانال و متمایل به دیواره بیرونی جابجا می شود.

منابع و مراجع

- [۱] استادی، ف.، مجدزاده طباطبایی، م. ر.، علی محمدی، س.، ۱۳۹۳، مدل بهینه سازی طراحی ابعاد آبشکن های رودخانه ای و نقش آن در پایدارسازی مورفولوژیکی رودخانه، نشریه علمی پژوهشی هیدرولیک، دوره ۹، شماره ۴، صفحه ۷۲-۵۵، زمستان ۱۳۹۳.
- [۲] مرادی، م.، صادقی، م. ع.، تلوری، ع. ر.، ۱۳۹۵، ارزیابی عملکرد فنی طرح های کنترل سیل در رودخانه های شهری و ارائه راهکارهای اصلاحی (مطالعه موردی رودخانه تالار در استان مازندران)، فصلنامه علمی تخصصی مهندسی و مدیریت ساخت، دوره ۱، شماره ۴، صفحه ۲۵-۲۱، زمستان ۱۳۹۵.
- [۳] خادمی، ف. س.، اکبری، م.، ۱۳۹۳، روش های کنترل سیلاب؛ اقدامات سازه ای، دومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب با رویکرد سیلاب های شهری (تهران)، دبیرخانه دائمی کنفرانس ملی مدیریت سیلاب.
- [۴] گل پرنیان، ط.، ۱۳۹۳، سیلاب های مخرب استان گلستان (حوزه رود گرگان)، فصلنامه رشد آموزش جغرافیا، شماره ۱۰۶، صفحه ۹-۳، بهار ۱۳۹۳.
- [۵] زارع، م.، هنر، ت.، ۱۳۹۴، اثر آبشکن بر کاهش عمق آبستنگی اطراف پایه پل ها در پیچ رودخانه ها، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، جلد ۱۹، شماره ۷۴، صفحه ۱۹۲-۱۶۷، زمستان ۱۳۹۴.
- [۶] مغربی، م.، ۱۳۹۱، شبیه سازی سه بعدی الگوی جریان و انتقال رسوبات حول آبشکن نفوذپذیر در قوس تند با استفاده از مدل MIKE3، نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه (اهواز)، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- [۷] شاکر، ا.، کاشفی پور، س. م.، ۱۳۹۴، بررسی آزمایشگاهی تأثیر طول و زاویه ی قرارگیری آبشکن های مستطیلی بر توزیع سرعت و تنش برشی در قوس ۹۰ درجه، نشریه علوم مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، دوره ۳۸، شماره ۳، صفحه ۱-۱۲، پاییز ۱۳۹۴.
- [۸] جمشیدی اشکلک، ر.، اسمعیلی ورکی، م.، فضل اولی، ر.، ۱۳۹۳، شبیه سازی عددی الگوی جریان حول سری آبشکن ها با استفاده از نرم افزار CCHE2D مطالعه موردی: رودخانه سفیدرود استان گیلان (محدوده شهرستان رودبار)، سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران (تبریز)، دانشگاه تبریز، گروه مهندسی آب.
- [۹] فامیل مدبران، پ.، ۱۳۹۳، همه چیز درباره موج شکن ها و انواع آنها، سایت <http://civiltech.ir>.