بررسی آزمایشگاهی تأثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان پیرامون آبشکن تی شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر صلب

سید عباس موسوی نائینی[۱] محمد واقفی[۲] مسعود قدسیان[۳]

(دریافت ۸۸/۱۰/۱۰ پذیرش ۸۹/٤/۲۳)

چکیده

حفاظت از سواحل به‌دلیل وقوع فرسایش بر اثر جریان در قوس رودخانه حائز اهمیت است زیرا در قوسها، فرسایش بیشتری در ساحل خارجی قوس ایجاد می‌گردد. مطالعات آزمایشگاهی انجام شده تاکنون پیرامون آبشستگی سازه‌های محافظت کننده سواحل بوده و کمتر مطالعاتی در زمینه بررسی الگوی جریان پیرامون سازه‌های متقاطع با رودخانه انجام شده است. لذا در این مطالعه به بررسی تاثیر شعاع انحنای نسبی قوس بر نحوه رفتار جریان و الگوی شکل گرفته پیرامون آبشکن تی شکل مستقر در موقعیت ٤٥ درجه در یک قوس ۹۰ درجه، برای سه قوس با شعاع انحنای نسبی ٤ ، ۳ و ۲ =R/B که در دامنه‌ای از قوسهای ملایم و تند قرار می گیرند، پرداخته شد. نتایج حاصله نشان داد که الگوی جریان شکل گرفته پیرامون آبشکن تی شکل تشکیل دو گردابه پادساعتگرد در بالادست و پایین‌دست آبشکن را به‌همراه خواهد داشت. همچنین افزایش شعاع انحنای نسبی باعث افزایش طول ناحیه جدایی و طول گردابه بالادست می شود و کاهش عرض ناحیه جدایی، طول ناحیه اتصال مجدد و گردابه پایین‌دست را به‌همراه خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: آبشکن تی شکل، الگوی جریان، شعاع انحنا نسبی، ناحیه جدایی، قوس ۹۰ درجه

Experimental Investigation of Relative Radius on Flow Pattern Around a T Shape Spur Dike in 90 Degree Bend with Rigid Bed

Seyed Abbas Mousavi Naeini[1] *Mohammad Vaghefi*[2] *Masoud Ghodsian*[3]

(Received Dec. 31, 2009 Accepted July 14, 2010)

Abstract

The protection of river bank, especially in a channel bend, is important because it has been observed more scour in the outer bank of bend. The previous experimental studies were almost about scouring around the bank protection structures and less attention were paid to flow pattern around transverse structures in rivers. In this study the effect of relative radius of channel bend on flow behavior and flow pattern around a T-shaped spur dike located in section 45° of a 90 degree bend was investigated. Three relative radius of bend: R/B=2, 3 and 4 were studied. It was found that the flow pattern around a T- shaped spur dike is accompanied with two counter clockwise vortices at the upstream and downstream of the spur dike. Also increasing the relative radius of channel bend increases the length of separation zone, the upstream vortex and decreases the width of separation zone, the length of circulation zone and the downstream vortex.

Keywords: T Shape Spur Dike, Flow Pattern, Relative Radius, Separation Zone, 90 Degree Bend.

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران هیدرولیک، دانشگاه ترتیب مدرس، تهران
۲- استادیار سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر
(نویسنده مسئول) ۴۲۲۲۰۷۸(۰۷۷۱) Vaghefi@pgu.ac.ir
۳- استاد هیدرولیک، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

1. M.Sc. of Civil Eng., Tarbiat Modares University, Tehran
2. Assist Prof. of Hydraulic Structures, Dept. of Civil Eng., Persian Gulf University, Boushehr (Corresponding Author) (+98 771) 4222078 Vaghefi@pgu.ac.ir
3. Prof. of Hydraulic, Water Eng. Institute, Tarbiat Modares University, Tehran

۱- مقدمه

جریان در رودخانه‌ها و مجاری باز در مسیر حرکت خود علاوه بر عبور از مسیرهای مستقیم ناچار به گذر از مسیرهای با انحناهای مختلف است. وجود انحنا در مسیر جریان بر پیچیدگی رفتار جریان می‌افزاید و بررسی آن مورد توجه است زیرا رفتار جریان در مسیر مستقیم با وجود سازه‌های متقاطع و یا بدون وجود آن در مطالعات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. آنچه که ضرورت انجام مطالعات بیشتر در مورد رفتار جریان در قوسها را الزام می‌دارد، وجود سازه‌های متقاطع است که بر پیچیدگی جریان در قوس می‌افزاید زیرا با ورود جریان به قوس در اثر به وجود آمدن گرادیان‌های فشار عرضی و اندرکنش آن با نیروی گریز از مرکز، جریانی ثانویه در مقطع شکل می گیرد و در نتیجه عدم یکنواختی پروفیل سرعت در راستای جریان و ترکیب آن با جریان ثانویه مذکور، جریانی حلزونی شکل در طول قوس تشکیل می‌گردد. وجود سازه متقاطع در قوس بر این جریان حلزونی شکل تاثیر گذاشته و بر پیچیدگی‌های رفتار جریان می افزاید. از جمله مطالعات انجام گرفته در این راستا می توان به موارد زیر اشاره نمود:

احمد[1] در سال ۱۹۵۱ آزمایش‌هایی را در ارتباط با آبشکن منفرد با زوایای مختلف ۳۰ تا ۱۵۰ درجه نسبت به دیواره بالادست در فلوم مستقیم به‌منظور بررسی الگوی جریان و آبشستگی مربوطه انجام داد. مطالعه انجام گرفته نحوه تشکیل گردابه‌ها در مجاورت آبشکن‌های مورد استفاده را نشان داد[۱]. اتما[2] و مستو[3] در سال ۲۰۰۴ آزمایش‌هایی را در یک کانال با بستر صلب به‌منظور تعیین اثر آبشکن بر الگوی جریان و تعیین نواحی جداشدگی در بالادست و پایین‌دست آن انجام دادند[۲]. یواجتوال[4] در سال ۲۰۰۱ آزمایش‌هایی را با توجه به اثر ژئومتری بر روی میدان جریان در اطراف آبشکن‌ها به‌منظور بررسی تعداد و کیفیت گردابه ها انجام داد. در این مطالعه نشان داده شده است که نسبت طول به عرض میدان جریان، تأثیر مستقیم بر شکل‌گیری و ابعاد گردابه‌ها خواهد داشت[۳]. مک کوی و همکاران[5] در سال ۲۰۰۵ با بررسی عددی میدان جریان در اطراف و بین دو آبشکن بیان داشتند که از خصوصیات جریان، جدایی‌های بزرگ، گرادیان فشارهای مخالف و ایجاد گردابه های ناپایدار است [۴]. دی[6] و باربهویا[7] در سال ۲۰۰۳ به بررسی الگوی جریان داخل چاله آبشستگی حول سه مقطع متفاوت کوله پرداختند و تشکیل جریان‌های رو به پایین و همچنین گردابه نخستین در مجاورت بالادست کوله را نشان دادند[۵].

فضلی و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون یک آبشکن تیغه‌ای مستقر در قوس ۹۰ درجه که در موقعیتهای مختلف در قوس قرارگرفته بود پرداختند. ایشان نشان دادند که با افزایش موقعیت استقرار آبشکن در طول قوس، طول ناحیه جدایی افزایش یافته در حالی‌که طول ناحیه بازگشتی کاهش می‌یابد[۶]. قدسیان و همکاران در سال ۲۰۰۹ به بررسی آزمایشگاهی تاثیر تغییرات عدد فرود و طول بال و جان آبشکن تی شکل مستقر در موقعیت ۷۵ درجه بر الگوی جریان و آبشستگی در یک قوس ۹۰ درجه پرداختند. ایشان در تحقیق انجام گرفته نشان دادند که با افزایش طول آبشکن، طول ناحیه جدایی و گردابه شکل گرفته در این ناحیه افزایش می‌یابد[۷].

سلاجقه در سال ۱۳۸۲ به بررسی آزمایشگاهی الگوی سه بعدی جریان حول آبشکن‌های واقع در قوس ۱۸۰ درجه با بستر صلب پرداختند. متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق طول آبشکن، موقعیت قرارگیری آبشکن در قوس و امتدادهای مختلف محور آبشکن با جریان اصلی بودند. ایشان در این تحقیق نشان دادند که ابعاد گردابه‌های شکل گرفته پیرامون آبشکن متأثر از طول آبشکن و موقعیت استقرار آن در قوس است [۸]. فرقانی در سال ۱۳۸۶ به بررسی الگوی جریان به صورت دو بعدی حول آبشکن‌ها در قوس ۹۰ درجه در بستر تغییر شکل یافته پرداخت و اثر متغیرهای طول آبشکن، تعداد و موقعیت قرارگیری را مورد بررسی قرار داد. در تحقیق انجام شده شکل‌گیری گردابه‌های پادساعتگرد در ناحیه جدایی و بازگشتی و نحوه تغییرات ابعاد تحت اثر متغیرهای مذکور نشان داده شده است. الگوی جریان شکل گرفته در پلان قوس برای موقعیتهای مختلف قرارگیری آبشکن، حاکی از شکل کیفی یکسان آنها است [۹]. واقفی و همکاران در سال ۱۳۸۷ آزمایش‌هایی را به‌منظور بررسی الگوی جریان سه بعدی و آبشستگی در یک قوس ۹۰ درجه با شعاع انحنای مرکزی برابر ۲/۷ متر انجام دادند. ایشان در مطالعه خود تغییرات قدرت جریان ثانویه، پروفیل سرعت و آبشستگی را در طول قوس موردبررسی قرار دادند[۱۰].

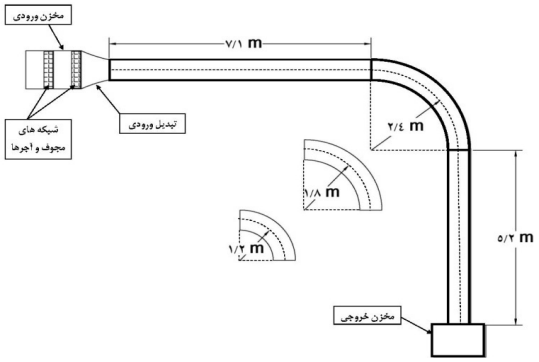
با توجه به مطالعاتی که تاکنون انجام شده است، مشاهده می‌شود آنچه تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته، بررسی الگوی جریان پیرامون آبشکن تی شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه و تأثیر تغییرات شعاع انحنای نسبی بر الگوی جریان شکل گرفته است. لذا در این مقاله به بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان سه بعدی پیرامون آبشکن تی شکل مستقر در موقعیت ۴۵ درجه در یک قوس ۹۰ درجه با بستر تخت و با سه شعاع انحنای نسبی مختلف پرداخته شد.

[1] Ahmad
[2] Ettema
[3] Musto
[4] Uijttewaal
[5] Maccoy et al.
[6] Day
[7] Barbahuiya

۲- آزمایش‌ها

۲-۱- تجهیزات مورد استفاده

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس تهران در کانالی آزمایشگاهی که ترکیبی از یک کانال مستقیم ورودی با جداره و کف شیشه‌ای به عرض ۰/۶ متر، ارتفاع ۰/۷ متر و طول ۷/۱ متر بود، انجام شد. این طول جهت آرام نمودن جریان و اطمینان از توسعه یافتن کامل جریان تعیین گردید و توسط اندازه‌گیری‌های تراز سطح آب که در یک متری بالادست قوس انجام شد و بیانگر برابری عمق آب با عمق اندازه‌گیری شده در انتهای کانال مستقیم خروجی بود، تایید شد. در ادامه این قسمت کانالی با خم ۹۰ درجه قرار داشت. این قسمت به‌شکل خم ۹۰ درجه بوده که در این قسمت از سه شعاع انحنای نسبی R/B برابر ۴، ۳ و ۲ استفاده شد. عرض، ارتفاع و جنس این قسمت مانند کانال مستقیم از جنس شیشه بود. بعد از این قسمت یک کانال مستقیم خروجی قرار داشت که این قسمت خم را به مخزن خروجی مرتبط می‌نمود. طول این کانال ۵/۲ متر و عرض و ارتفاع آن مانند سایر اجزای کانال بود. کل فلوم روی پایه‌ای فلزی و به ارتفاع ۰/۷۵ متر قرار داشت. در انتهای کانال خروجی دریچه‌ای پروانه‌ای قبل از مخزن خروجی وجود داشت که برای تغییر و تثبیت عمق جریان از آن استفاده می شد. شکل ۱ نمای کلی از کانال مورد استفاده را نشان می‌دهد.

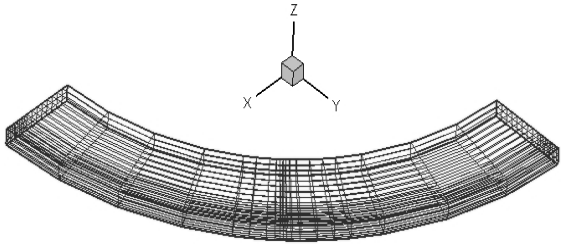


شکل ۱- نمای کلی از کانال در حالت بسته شده با قوس با شعاع انحنا نسبی ۴

آبشکن مورد استفاده تی شکل، از جنس فایبرگلاس و با طول بال و جان برابر ۹ سانتی‌متر که برابر ۱۵ درصد عرض کانال است، دارای دماغه نیم دایره‌ای شکل و به ضخامت ۱ سانتی‌متر بود که به‌صورت غیر مستغرق و قائم در موقعیت ۴۵ درجه نصب گردید. دبی جریان برابر ۲۵ لیتر بر ثانیه، عمق جریان بالادست در کانال مستقیم ورودی برابر ۱۱/۶ سانتی‌متر و عدد رینولدز متناظر تقریباً برابر ۳۰×۱۰^{۳} بود. به‌منظور اندازه‌گیری مؤلفه‌های سرعت از یک دستگاه سرعت‌سنج سه بعدی Vectrino استفاده شد. لایه نزدیک به سطح آب با استفاده از حسگر بالانگر دستگاه Vecterino و بقیه لایه‌ها با استفاده از حسگر پایین‌نگر این دستگاه برداشت شد.

۲-۲- روند انجام آزمایش‌ها

به‌منظور تسهیل در برداشت سرعتها، شبکه‌بندی مطابق شکل ۲ صورت گرفت. این شبکه‌بندی در طول کل قوس به‌صورتی که با نزدیک شدن به آبشکن و به‌دلیل افزایش گرادیان، از شبکه‌های ریزتری استفاده شده و با دور شدن از آن فواصل بین شبکه‌ها افزایش یافته است به‌صورتی که فواصل مقاطع عرضی در نزدیکی آبشکن به ۱/۲۵ درجه و با دور شدن از آن به ۲/۵ و سپس به ۵ و بعد از آن به ۱۰ درجه می‌رسد. شبکه‌بندی‌ها برای سه شعاع انحنای نسبی (نسبت شعاع انحنا به عرض کانال) برابر ۴، ۳ و ۲ و در موقعیت آبشکن برابر ۴۵ درجه انجام شد. در مجموع برداشت سرعت در ۲۰ مقطع و ۱۷ نقطه و در هر مقطع به فواصل ۲، ۴، ۶، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۷/۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۵۵ سانتی‌متری از قوس خارجی انجام شد.

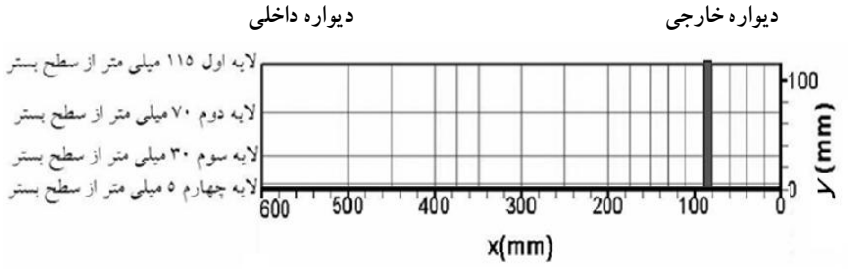


شکل ۲- نمونه ای از شبکه‌بندی انجام شده برای آبشکن در موقعیت ۴۵ درجه و شعاع انحناء نسبی ۴ در حالت بستر صلب

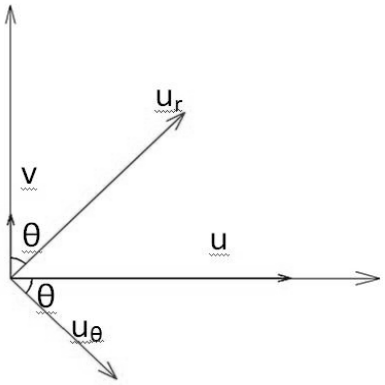
مطابق شبکه‌بندی انجام شده در مقاطع عرضی نیز نقاط برداشت تعیین شد. تعداد لایه‌های برداشت شده چهار لایه با فاصله از بستر برابر ۵، ۳۰، ۷۰ و ۱۱۵ میلی‌متر بود. در شکل ۳ نمونه‌ای از شبکه‌بندی در مقطع عرضی نشان داده شده است.

۲-۳- آنالیز داده‌ها

ابتدا داده‌های برداشت شده توسط مبدل نرم افزار +vectrino به فرمت مورد استفاده برای نرم افزار WinADV تبدیل و سپس توسط نرم‌افزار WinADV عمل فیلترینگ انجام می‌شود. در این مرحله مؤلفه‌های شعاعی، مماسی و قائم سرعت و مؤلفه‌های طولی، عرضی و قائم موقعیت نقاط برداشت حضور دارند. اما به‌منظور استفاده از داده‌ها در نرم افزار ترسیم کننده یعنی Tecplot نیاز است که مؤلفه‌های سرعت داده‌های مذکور به مختصات کارتزین برده شوند. این امر توسط روابط ۱ و ۲ که با توجه به شکل ۴ به‌دست می‌آیند، انجام می‌شود



شکل ۳- شبکه‌بندی جهت نقاط برداشت در مقطع عرضی



شکل ۴- نحوه تبدیل مولفه های سرعت

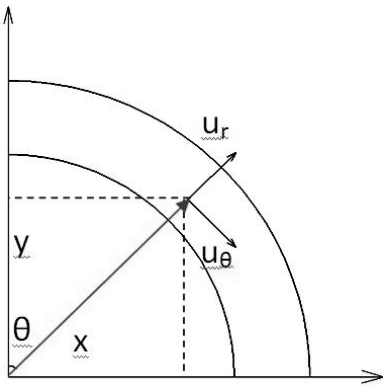
$$u = u_r \sin\theta + u_\theta \cos\theta \quad (۱)$$

$$v = u_r \cos\theta - u_\theta \sin\theta \quad (۲)$$

که در این روابط

u و v سرعت در جهت‌های طولی و عرضی در مختصات کارتزین، u_r و u_θ سرعت در جهت‌های شعاعی و مماسی در مختصات استوانه‌ای و θ زاویه مقطع مورد نظر از ابتدای قوس است.

مختصات نقاط نیز باید از سیستم استوانه‌ای به سیستم مختصات کارتزین تبدیل شوند. این امر توسط روابط ۳ و ۴ و با توجه به شکل ۵ انجام می‌شود



شکل ۵- نحوه تبدیل مؤلفه‌های مختصات

$$x = R \sin\theta \quad (۳)$$

$$y = R \cos\theta \quad (۴)$$

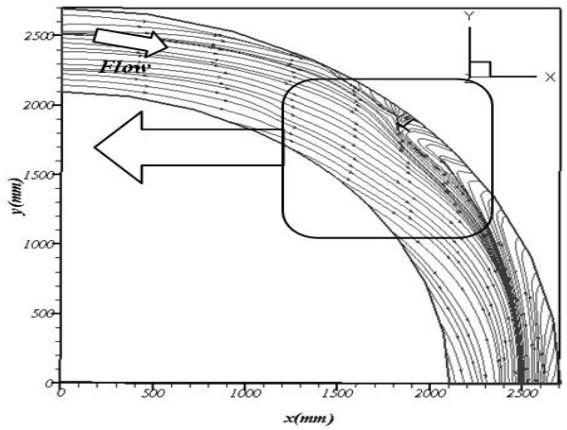
که در این روابط

x و y مختصات طولی و عرضی بوده و R شعاع انحنای نسبی است.

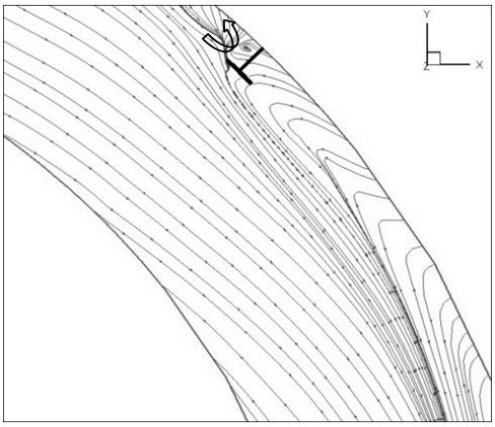
۳- نتایج

۳-۱- بررسی الگوی جریان

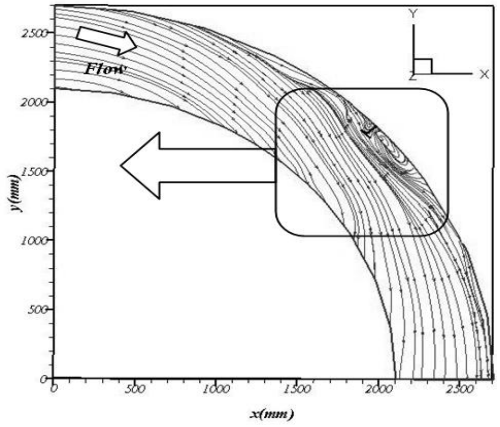
نمونه‌ای از دو تراز نزدیک به سطح جریان و ۵ میلی‌متری از بستر برای شعاع انحنای نسبی ۴ در شکلهای ۶ تا ۹ نشان داده شده است. در این شکلها مشاهده می‌شود که از جمله موارد مشهود در الگوی جریان تشکیل گردابه پادساعتگرد در بالادست و در پایین‌دست آبشکن است. همچنین مشاهده می‌شود که ابعاد گردابه‌های شکل گرفته با افزایش تراز نسبت به سطح آب کاهش می‌یابد. از طرف دیگر خطوط جریان ترسیمی در پلان در تراز نزدیک سطح آب به‌صورت خطوط منحنی با انحراف کمتری به‌سمت قوس داخلی نسبت به خطوط ترسیمی در تراز نزدیک بستر تشکیل می‌شوند (شکل ۹). این مطلب دلیلی بر وجود جریان ثانویه قوی در مقاطع مختلف عرضی و در طول قوس است.



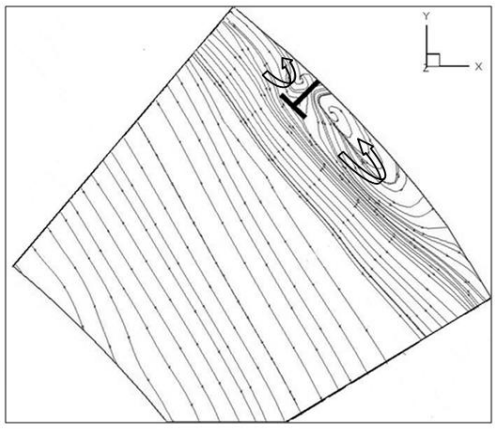
شکل ۶- الگوی جریان در لایه نزدیک به سطح آب و شعاع انحنای نسبی ۴



شکل ۷- بزرگنمایی الگوی جریان در لایه نزدیک به سطح آب و شعاع انحنای نسبی ۴

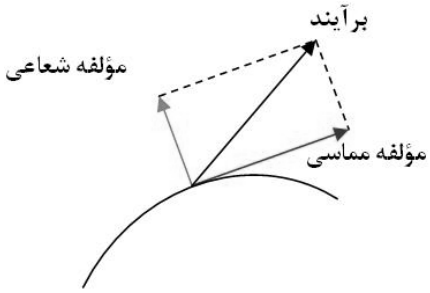


شکل ۸- الگوی جریان در تراز ۵ میلی‌متر از سطح بستر اولیه و شعاع انحنای نسبی ۴

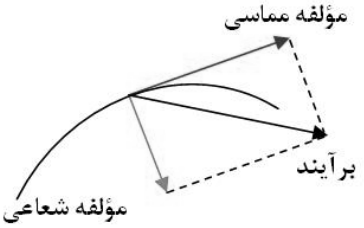


شکل ۹- بزرگنمایی الگوی جریان در تراز ۵ میلی متر از سطح بستر اولیه و شعاع انحنای نسبی ۴

دلیل این امر را می‌توان با توجه به جریان‌های ثانویه که در نتیجه به‌وجود آمدن مؤلفه شعاعی سرعت است، جستجو نمود. همانطور که قبلاً توضیح داده شد با ورود جریان به قوس، جریان‌های عرضی که ناشی از به‌وجود آمدن مؤلفه شعاعی سرعت هستند، تشکیل می‌شوند. این جریان‌ها موسوم به جریان‌های ثانویه بوده و حرکت آن در مقطع به‌صورت ساعتگرد یعنی در سطح آب به‌سمت قوس خارجی و در نزدیکی بستر به‌سمت قوس داخلی است. با توجه به این خطوط جریان تشکیل شده در مقطع، مؤلفه‌ها و برآیند سرعت به‌صورت شماتیک در شکلهای ۱۰ و ۱۱ ترسیم شده‌اند.

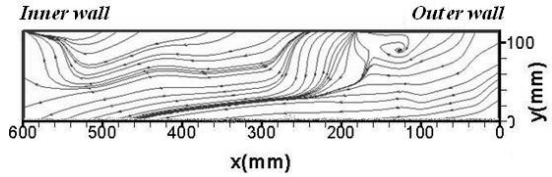


شکل ۱۰- مؤلفه‌های سرعت در سطح آب

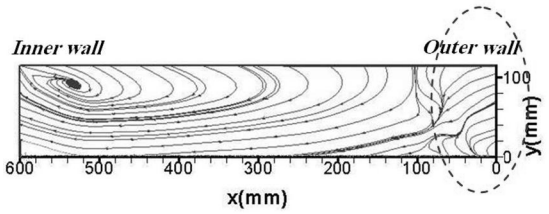


شکل ۱۱- مؤلفه‌های سرعت در نزدیکی بستر

با توجه به شکل ۱۰ که مربوط به مؤلفه‌های سرعت مماسی و شعاعی در سطح آب است، جهت مؤلفه شعاعی به‌سمت قوس خارجی بوده، لذا برآیند سرعتها نیز به‌سمت قوس خارجی منحرف می‌شوند. اما با توجه به شکل ۱۱ جهت مؤلفه شعاعی به‌سمت قوس داخلی بوده لذا برآیند سرعتها به‌سمت قوس داخلی منحرف می‌گردد و چنین فرم الگوی جریانی را در پلان در ترازهای نزدیک بستر رقم می‌زند. در ورودی جریان به قوس مشاهده می شود که اثر افزایش مؤلفه شعاعی سرعت وجود دارد، به‌طوری‌که با افزایش زاویه مقطع در قوس، جریان ثانویه در مقطع کامل‌تر می‌شود (شکل ۱۲ و ۱۳). همانطور که در این شکلها دیده می‌شود در مقطع ۳۵ درجه از ابتدای قوس شروع جریان ثانویه دومی در نزدیکی قوس خارجی دیده می‌شود که حکایت از شروع ناحیه جدایی جریان دارد.

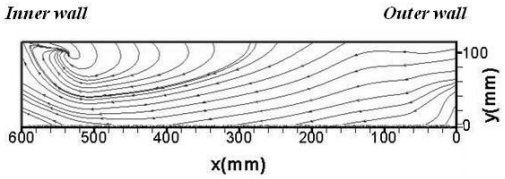


شکل ۱۲- الگوی جریان عرضی در مقطع ابتدایی قوس برای شعاع انحنای نسبی ۴

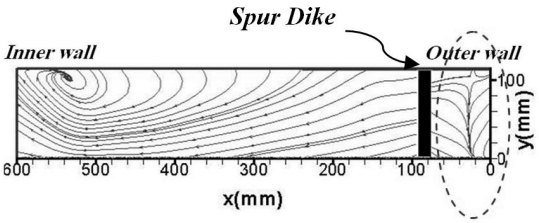


شکل ۱۳- الگوی جریان عرضی در مقطع ۳۵ درجه برای شعاع انحنای نسبی ۴

با توجه به شکلهای ۱۴ و ۱۵ که مربوط به مقاطع عرضی ۴۳/۷۵ و ۴۴/۵ درجه هستند، مشاهده می‌شود که در این حالت گردابه عرضی شکل گرفته در مقابل آبشکن به‌سمت قوس داخلی منحرف شده و همچنین در پشت آبشکن جریان رو به پایینی در مجاورت بستر با خطوط جریان در نزدیکی بستر برخورد کرده و در ادامه از مقابل آبشکن به سمت پایین‌دست حرکت می‌کند و تشکیل گردابه نخستین را می‌دهد.

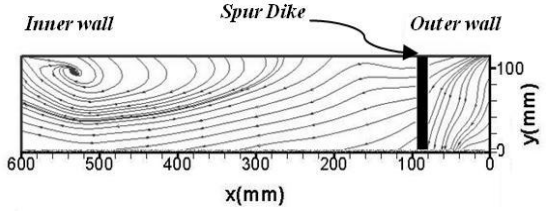


شکل ۱۴- الگوی جریان عرضی در مقطع ۴۳/۷۵ درجه برای شعاع انحنای نسبی ۴

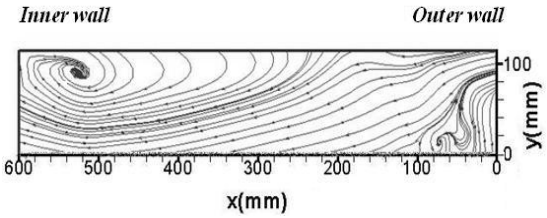


شکل ۱۵- الگوی جریان عرضی در مقطع ۴۴/۵ درجه برای شعاع انحنای نسبی ۴

در شکلهای ۱۶ و ۱۷ که مربوط به مقاطع بعد از آبشکن هستند، ملاحظه می‌شود که گردابه عرضی بعد از آبشکن نیز همچنان در مجاورت دیواره داخلی باقی‌مانده و در مقاطع بعد ازآن نیز این روند ادامه دارد. همچنین در مقطع ۴۵/۵ درجه در پایین‌دست آبشکن مشاهده می‌شود که گردابه نخستین که محل شکل‌گیری آن در مقطع ۴۴/۵ درجه در بالادست آبشکن است در این مقطع دیده نمی‌شود که این امر به سبب تأثیر صلبیت بستر در استهلاک این گردابه است.

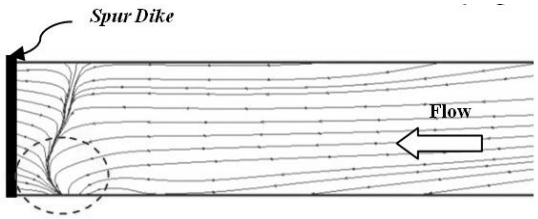


شکل ۱۶- الگوی جریان عرضی در مقطع ۴۵/۵ درجه برای شعاع انحنای نسبی ۴

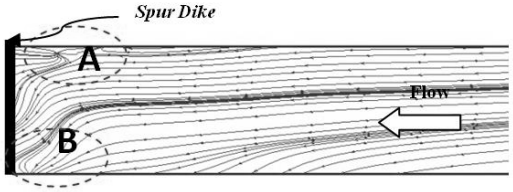


شکل ۱۷- الگوی جریان عرضی در مقطع ۴۶/۲۵ درجه برای شعاع انحنای نسبی ۴

همچنین با توجه به شکلهای ۱۸ و ۱۹ که مربوط به مقاطع طولی در بالادست آبشکن است مشاهده می‌شود که جریان رو به پایین در مجاورت آبشکن و در بالادست آن دیده می‌شود. گردابه نخستین نیز در نزدیک بستر در مجاورت آبشکن مشاهده می‌شود که در شکل ۱۹ با حرف B نشان داده شده است. البته این گردابه در مقاطع عرضی شکلهای ۱۶ و ۱۷ ارائه شده در نزدیکی آبشکن مشاهده نمی‌شود و بیانگر محو شدن این گردابه است. همچنین گردابه کمانی در مجاورت آبشکن در نزدیکی سطح آب دیده می‌شود (حرف A در شکل ۱۹). البته مشاهده می‌شود که این گردابه نیز همانند گردابه نخستین در مقاطع عرضی مجاور آبشکن که در شکلهای قبل نشان داده شد، دیده نمی‌شود.

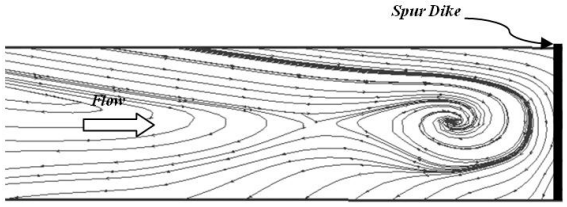


شکل ۱۸- مقطع طولی از گردابه پادساعتگرد در بالادست آبشکن و به فاصله ۴ سانتی‌متری از قوس خارجی با شعاع انحنای نسبی ۴



شکل ۱۹- گردابه نخستین تشکیل شده در بالادست آبشکن و به فاصله ۶ سانتی‌متری از قوس خارجی با شعاع انحنای نسبی ۴

در مقاطع طولی پایین‌دست آبشکن جریان رو به پایین دیده می‌شود (شکل ۲۰). همچنین مشاهده می‌شود که جریان رو به پایین در مجاورت بستر دوباره در جهت جریان قرار گرفته و تشکیل گردابه‌ای بازگشتی را می‌دهد که ناشی از جدایی جریان به‌دلیل عبور جریان از بالادست آبشکن است.



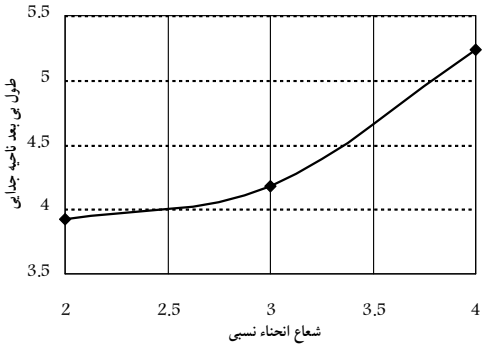
شکل ۲۰- الگوی جریان طولی در پایین‌دست آبشکن و به فاصله ۶ سانتی‌متری از قوس خارجی با شعاع انحنای نسبی ۴

۳-۲- بررسی ابعاد ناحیه جدایی جریان پیرامون آبشکن

از جمله پارامترهای مهم در بررسی الگوی جریان، تعیین ابعاد ناحیه جدایی ناشی از تأثیر سازه بر روی الگوی جریان است. با تعیین این پارامتر می‌توان شناختی از رفتار جریان پیرامون آبشکن به‌دست آورد. در ادامه به بررسی ابعاد ناحیه جدایی پرداخته می‌شود. به‌دلیل حضور آبشکن در مسیر جریان، ناحیه جریان چرخشی[1] در اطراف آن توسعه می‌یابد. این ناحیه در اطراف آبشکن با مرزی از جریان اصلی جدا می‌گردد که خط جدایی جریان[2] نامیده می‌شود. خط جدایی جریان، خطی است که از دماغه آبشکن عبور نماید و دبی تجمعی در راستای جریان از دیواره خارجی قوس تا محل این خط صفر باشد[۱۱]. به‌عبارت دیگر اگر تابع جریان φ با رابطه ذیل بیان گردد، خط جدایی جریان مکان هندسی نقاطی است که در آنها $\varphi=0$ است.

$$\varphi = \int u.dr \qquad (۵)$$

که در این رابطه u سرعت متوسط عمقی در راستای جریان است. با توجه به تعریف مذکور در ادامه به بررسی ابعاد ناحیه جدایی جریان پرداخته می‌شود. از جمله نکاتی که با توجه به انحنای نسبی قوس تحت تأثیر قرار گرفته و تغییر می‌کند نقطه شروع جدایی جریان در بالادست آبشکن است. در شکل ۲۱ تغییرات طول بی‌بعد شده ناحیه جدایی با طول آبشکن به ازای تغییرات شعاع انحنای نسبی نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود با افزایش شعاع انحنا، طول بی‌بعد شده ناحیه جدایی افزایش می‌یابد به‌طوری‌که در شعاع انحنای نسبی برابر ۲، شروع ناحیه جدایی به فاصله ۳/۷ برابر طول آبشکن در بالادست آن است. حال آنکه این فاصله برای شعاع انحنای نسبی ۴، برابر ۵/۲۵ برابر طول آبشکن است. دلیل این امر را می‌توان با بررسی گرادیان‌های فشار ایجاد شده ناشی از تغییر جانبی و طولی سطح آب در طول قوس و همچنین جدایی جریان ناشی از وجود آبشکن در مسیر جریان بیان نمود. به این صورت که در قوسهای ملایم به این دلیل که جریان در قوس، طول بیشتری را طی می‌کند تأثیرات تراز سطح آب نسبت به شعاع انحناهای کمتر یا به‌عبارتی قوس تند بیشتر دیده می‌شود. این تأثیر به این صورت است که گرادیان فشار مثبت در طول بیشتری از ناحیه جدایی تأثیر می‌گذارد و باعث افزایش طول بی بعد شده ناحیه جدایی خواهد شد.

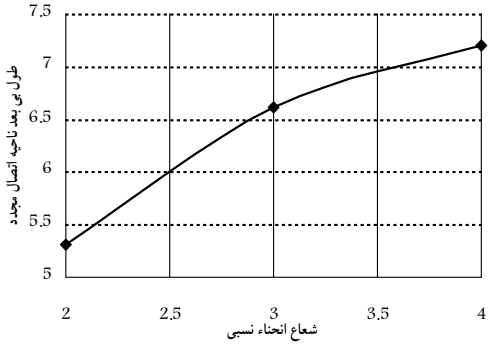


شکل ۲۱- تغییرات شعاع انحنا نسبی بر طول بی بعد شده ناحیه جدایی جریان

خط جدایی جریان از بالادست بال آبشکن، در پایین دست به ساحل خارجی نزدیک می‌شود و ناحیه‌ای به نام ناحیه اتصال مجدد را ایجاد می‌کند. در شکل ۲۲ مشاهده می شود که با افزایش شعاع انحنای نسبی، طول بی‌بعد شده ناحیه اتصال مجدد کاهش می‌یابد. این امر به این دلیل است که چون در قوسهای تند گرادیان، فشار منفی در تمام طول قوس نزدیک به قوس داخلی است پس نقش عملکرد معکوس خود را بر روی طول بی بعد شده ناحیه اتصال مجدد و به‌عبارتی گرادیان فشار مثبت نمی‌تواند اعمال کند لذا نسبت به قوسهای ملایم، طول ناحیه اتصال مجدد در این حالت بیشتر خواهد بود.

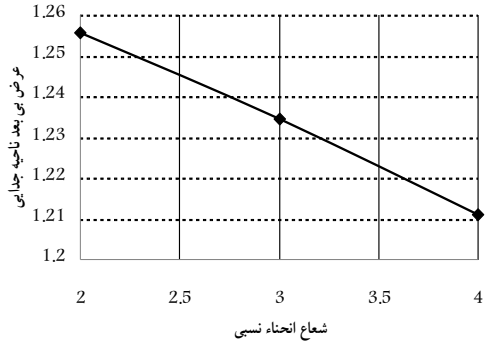
بیشترین فاصله‌ای که خط جدایی جریان از دیواره خارجی قوس بر اثر عبور از جلوی آبشکن می‌گیرد را عرض ناحیه جدایی می‌نامند.

[1] Recirculation zoon
[2] Separation line



شکل ۲۲- تغییرات شعاع انحنا نسبی بر طول بی بعد شده ناحیه اتصال مجدد جریان

در شکل ۲۳ که تغییرات این پارامتر به ازای تغییرات شعاع انحنای نسبی قوس نشان داده شده است، مشاهده می‌شود که با افزایش شعاع انحنا، مقدار عرض بی‌بعد شده ناحیه جدایی کاهش می‌یابد. این مطلب همانطور که قبلاً ذکر شد، به‌دلیل تشکیل گرادیان طولی فشار مثبت در قوس خارجی در اثر افزایش تراز سطح آب است. زیرا تشکیل گرادیان فشار مثبت و به تبع آن تشکیل ناحیه جدایی، با کشیدگی طول ناحیه جدایی، کاهش عرض آن را به‌همراه خواهد داشت.

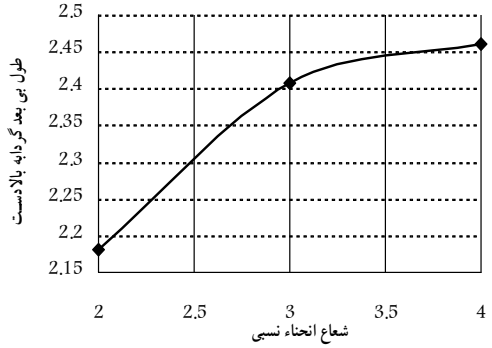


شکل ۲۳- نمودار تأثیر تغییرات شعاع انحنا نسبی بر عرض ناحیه جدایی جریان

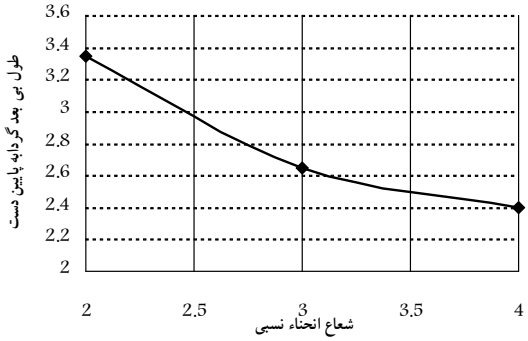
۳-۳- بررسی ابعاد گردابه‌های پیرامون آبشکن

از جمله مواردی که در بررسی رفتار جریان پیرامون سازه‌های متقاطع رودخانه‌ای حائز اهمیت است، گردابه‌های ایجاد شده پیرامون آنها است. بررسی ابعاد و جهت حرکت گردابه‌های ایجاد شده پیرامون آبشکن در تعیین قدرت و شناسایی مکانیسم آبشستگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

شکل ۲۴ تغییرات طول بی بعد گردابه بالادست به ازای تغییرات شعاع انحنای نسبی را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش شعاع انحنای نسبی، طول بی‌بعد گردابه بالادست افزایش می‌یابد. دلیل این امر این است که در قوسهای ملایم و به‌عبارتی $R/B>3$، تغییرات تراز سطح آب در قوس خارجی در طول بیشتری از قوس مؤثر است و بنابراین گرادیان طولی فشار مثبت نسبت به قوسهای تند یعنی قوسهایی با $R/B<3$ بیشتر محسوس است، لذا مقادیر متناظر برای طول گردابه بالادست برای قوسهای ملایم بیشتر خواهد بود و با افزایش شعاع انحنا، طول بی بعد شده گردابه بالادست افزایش خواهد یافت.



شکل ۲۴- نمودار تأثیر تغییرات شعاع انحنا نسبی بر طول گردابه در بالادست آبشکن



شکل ۲۵- نمودار تأثیر تغییرات شعاع انحنا نسبی بر طول گردابه در پایین دست آبشکن

در ادامه به بررسی گردابه پادساعتگرد تشکیل شده در پایین‌دست آبشکن پرداخته شد. همانطور که در شکل ۲۵ دیده می‌شود، با افزایش شعاع انحنای نسبی، طول بی بعد شده گردابه در پایین‌دست آبشکن کاهش می‌یابد. این امر به این دلیل است که در شعاع انحناهای مربوط به قوسهای تند، ناحیه مربوط به سرعتهای بیشینه همواره نزدیک به قوس داخلی است که دلیل این امر نیز به‌خاطر تشکیل گرادیان طولی فشار منفی ناشی از تغییرات طولی سطح آب است. در قوسهای تند همواره در قوس خارجی افزایش تراز سطح آب و در قوس داخلی کاهش آن مشاهده می‌گردد. از طرفی در قوسهای ملایم که ناحیه مربوط به گرادیان‌های طولی فشار منفی در مقاطع بعد از میانه قوس، به‌سمت قوس خارجی

منتقل می‌شوند، تأثیر گرادیان طولی فشار مثبت در قوس خارجی کاهش یافته و لذا با افزایش شعاع انحنا، مقدار طول ناحیه اتصال مجدد کاهش می‌یابد و به‌دنبال آن طول گردابه تشکیل شده در این ناحیه نیز کم می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی الگوی جریان سه بعدی و تأثیر تغییرات شعاع انحنای نسبی بر رفتار جریان پیرامون آبشکن تی شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه پرداخته شد. نتایج حاصله نشان داد که الگوی جریان شکل گرفته پیرامون آبشکن تی شکل تشکیل دو گردابه پادساعتگرد در بالادست و پایین ست آبشکن را به‌همراه خواهد داشت. همچنین تشکیل گردابه نخستین در پایه آبشکن و در مجاورت آن که در ادامه جریان رو به پایین در مجاورت بالادست جان آبشکن به‌وجود آمد، نشان داده شد. تغییرات شعاع انحنا برای پارامترهای مختلف الگوی جریان نشان داد که افزایش شعاع انحنا باعث افزایش طول ناحیه جدایی و طول گردابه بالادست می‌شود و همچنین باعث کاهش عرض ناحیه جدایی، طول ناحیه اتصال مجدد و گردابه پایین دست خواهد شد.

۵- مراجع

1-Ahmed, M. (1953). "Experiments on design and behavior of spurdikes." *Proc. International Hydraulic Convention*, ASCE, New York, USA, 145-159.

2-Ettema, R., and Muste, M. (2004). "Scale effects in flume experiments on flow around a spur dike in flat bed dhannel." *J. Hydraulic Engineering*., 130(7), 635-646.

3-Uijttewaal Lehmann, M. (2001). "Exchange processes between a rriver and iits groyne fields: Model experiments." *J. Hydraulic Engineering*, 127(11), 928-936.

4-McCoy, A., and Constantinescu, G., and Webber, L. (2005). "Coherent structures in a channel with groyne fields: A numerical investigation using LES." *Proc. Impacts of Global Climate Change Proceedings of World Water and Environmental Resources Congress*, Anchorage, Alaska, USA, 400-416.

5-Barbhuiya, A., and Dey, S. (2003). "Vortex flow field in a scour hole around abutments." *J. Sediment Research*, 18(4), 310-325.

6-Fazli, M., Godsian, M., and Salehi Neyshabouri, A.A. (2008) "Scour and flow field around a spur dike in a 90° bend." *J. Sediment Research*, 23(1), 56-68.

7- Godsian, M., and Vaghefi, M. (2009). "Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T-shape spur dike in a 90° bend." *J. Sediment Research*, 24(2), 145-158.

8- Salajegheh, A. (2003). "Experimental study on 3D flow filed around a T-shape spur dike in a bend of river." Ph.D. Thesis, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Tehran. (In Persian)

9- Forghani, M. (2007). "Experimental study on flow filed in a 90 degree bend with deformed bed." M.Sc. Thesis of Hydraulic, Dept. of Eng., Tarbiat Modares University, Tehran. (In Persian)

10- Vaghefi, M., Ghodsian, M., and Salehi Neyshabour, A.A. (2008). "Experimental study on 3D flow filed and Scouring in a 90 degree bend." *J. of Hydraulic*, 3(3), 41-57. (In Persian)

11- Yasi, M. (1998). "Study of flow feature and bed topography around a spur dike." *5th Seminar of River Eng.*, Shahid Chamran University, Ahwaz. (In Persian)