

## بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در خلیج میانی

فاطمه زهرا اسدی<sup>۱</sup>، مهدی مفتاح هلقی<sup>۲\*</sup>، اسماعیل کردی<sup>۳</sup>، امیراحمد دهقانی<sup>۴</sup>

تاریخ ارسال: 1399/06/29

تاریخ پذیرش: 1399/08/25

مقاله پژوهشی

### چکیده

خلیج‌های میانی یا حفره‌های جانبی بعنوان یکی از عوارض طبیعی یا مصنوعی ایجاد شده، به نوبه خود بر شرایط هیدرولیکی جریان اثر می‌گذارند. این عوارض با ایجاد ساختارهای ثانویه و لایه‌های برشی، فرآیندهای مهم هیدرودینامیکی که در اغلب مسائل مهندسی هیدرولیک نقش مهمی در شکل‌گیری رفتار عمومی جریان دارند را کاملاً تحت تأثیر قرار می‌دهند. در تحقیق حاضر به بررسی الگوی جریان در محدوده خلیج میانی پرداخته شده است. آزمایش‌ها برای خلیجی به ابعاد  $0/3 \times 0/3$  متر و در مجاورت کانالی به عرض  $0/5$  متر و با اندازه‌گیری سرعت‌ها در شبکه تعریف شده با استفاده از سرعت‌سنج سه‌بعدی Vectrino انجام گرفت. نتایج مشاهداتی وجود یک سیکل گردشی بزرگ‌مقیاس در محدوده داخلی خلیج را تایید نمود. در ادامه بررسی داده‌ها نشان داد میزان سرعت در راستای مختلف از جریان کانال اصلی متأثر بوده و با افزایش جریان کانال اصلی، سرعت در خلیج نیز افزایش می‌یابد. همچنین بررسی نتایج نشان داد در دبی ثابت عبوری از کانال اصلی، با افزایش عمق جریان، سرعت در نیمه خارجی خلیج همانند کانال اصلی کاهش می‌یابد ولی در نیمه داخلی، سرعت جریان با افزایش عمق، افزایش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده نفوذ بیشتر جریان به داخل خلیج می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان، خلیج مصنوعی، سرعت‌سنج سه‌بعدی، مدل آزمایشگاهی

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، 09119241527، fzasadi.2018@yahoo.com

<sup>۲\*</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، 09113759614، [mefthahlaghi@gmail.com](mailto:mefthahlaghi@gmail.com) (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> استادیار گروه عمران، موسسه آموزش عالی میرداماد گرگان، ایران، ۰۹۱۱۷۳۰۴۸۲۸، [esmaeilkordi@gmail.com](mailto:esmaeilkordi@gmail.com)

<sup>۴</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، 09113778297، [amirahmad.dehghani@gmail.com](mailto:amirahmad.dehghani@gmail.com)



## مقدمه

رفتار رودخانه شامل پدیده‌های دینامیکی می‌باشد که مدام در حال تغییر است. تغییرات و جابجایی‌هایی که در اثر عوامل طبیعی یا مصنوعی در مسیر رودخانه رخ می‌دهد، نتیجه منطقی عکس‌العمل سامانه رودخانه برای برقراری موازنه جدید بین فرآیندهای مختلف هیدرولیک جریان و رسوب است. از این رو انجام اقدامات ساماندهی و دخالت در نظام رودخانه‌ای مستلزم شناخت قواعد خاص حاکم بر آن بوده و بررسی و پیش‌بینی عکس‌العمل رودخانه قبل از هر اقدامی ضروری است.

بررسی‌ها حاکی از آن است که یافته‌ها و مشاهدات و داده‌های اندازه‌گیری شده بر فرآیندهای غالب هیدرودینامیکی و اکوسیستمی بر خلیج‌ها کم و بیش محدود می‌باشند لذا هنوز هم ادراک محققین از جزییات این فرآیندها کاملاً شکل نگرفته است. برخی از مطالعات پیشین به علت عدم وجود ابزار مناسب جهت اندازه‌گیری نوسانات سرعت و تنش برشی دچار محدودیت بوده‌اند (Faccenda, 2002).

همچنین در رابطه با فرآیندهای پیچیده‌تر نظیر جریان همراه با رسوب معلق و بار بستر، مورفولوژی بسترهای قابل حرکت و نحوه پخش آلودگی در خلیج‌های میانه (مقاطع در مسیر رودخانه)، درک عمیق مسیله بسیار بغرنج‌تر خواهد شد. به همین دلیل تاکنون روابط منسجم و قاطعی که بتواند یکی از موارد بالا را تعریف کند ارایه نشده است. جهت نیل به این هدف آزمایشات بسیار زیاد با دقت بالا همراه با ادوات اندازه‌گیری سرعت که خود باعث آشفتنگی محلی نشوند مانند LDV, PIV مورد نیاز است. این تحقیق تلاش دارد بر روی بخشی از فقدان اطلاعات شامل یافته‌ها و مشاهدات دیداری و قابل اندازه‌گیری، در حوزه هیدرودینامیک خلیج مصنوعی، در حالت ماندگار متمرکز گردد.

جیرکا (2001) جریان‌های کم‌عمق را به صورت جریان‌های افقی غالب که در آن‌ها ابعاد افقی میدان

جریان بسیار وسیع‌تر از بعد قائم باشد، تعریف کرده است. مشخصه اصلی چنین جریان‌هایی توسعه شدید افقی ساختارهای جریان‌های آشفته به واسطه محدود بودن عمق جریان می‌باشد. به عبارت بهتر به واسطه محدود بودن راستای قائم میدان، گردابه‌های لحظه‌ای<sup>1</sup>، شرایط توسعه در عمق بصورت کشیدگی<sup>2</sup> را نداشته و به همین علت در راستای افقی گسترش می‌یابند. گردابه‌های افقی توسعه یافته تحت این شرایط به ساختارهای منسجم بزرگ مقیاس دوبعدی<sup>3</sup> معروف بوده و نقش بسیار مهمی در تبادل مومنتم و شکل‌گیری ساختار کلی جریان ایفا می‌کنند (Jirka, 2001).

با توجه به اینکه در جریان‌های کم‌عمق، عمق جریان بسیار کوچکتر از طول و عرض است، تغییرات قائم میدان در مقایسه با راستای افقی کم اهمیت بوده و می‌توان جریان در چنین حالاتی را بصورت دوبعدی و بصورت متوسط در عمق مطالعه کرد (Babarutsi & Ganoulis, 1989).

خلیج‌ها که به طور کلی به صورت طبیعی و یا مصنوعی شکل می‌گیرند، درحقیقت جزئی از یک اکوسیستم بزرگ مقیاس آبی و همچنین سیکل هیدرولوژی به شمار می‌آیند. یک خلیج می‌تواند بصورت میانه<sup>4</sup> یا انتهایی<sup>5</sup> جانمایی گردد که هر یک هیدرودینامیک کاملاً متفاوتی خواهند داشت. خلیج‌های متقاطع با مسیر رودخانه می‌توانند جهت کارکردهای مختلفی از جمله اهداف تفریحی، حمل و نقل، کنترل آلودگی، کنترل رسوب و اهداف زیست محیطی شکل گرفته باشند.

مطالعات انجام شده قبلی نشان می‌دهد جریان چرخشی در یک خلیج از سه قسمت مشخص تشکیل می‌شود (Babarutsi & Ganoulis, 1989; Kimura & Hosoda, 1997; Uijttewaa et al, 2001)

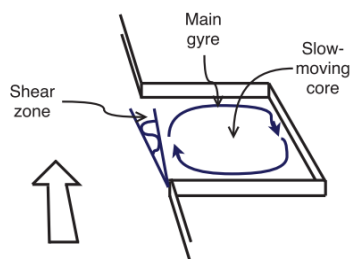
1 Vortices

2 Vertical stretching

3 Large scale coherent structures (2DSC)

4 Mid-Point

5 End-Point



شکل (1): نمایش کلی از مشخصه‌های بزرگ مقیاس مشاهده شده در یک خلیج مصنوعی کلاسیک. (برگرفته از Babarutsi & Ganoulis, Kimura & Hosoda,; Uijttewaa et al)

مطابق با شکل 1، سه مشخصه بزرگ مقیاس از دیدگاه متوسط در عمق مشاهده می‌شود:

1) یک منطقه‌ای با سرعت بسیار پایین یا " ناحیه مرده"<sup>1</sup>، قرار گرفته در مرکز خلیج

2) یک حلقه<sup>2</sup> بزرگ مقیاس در جهت عقربه‌های ساعت. البته تعداد و جهت گردش این حلقه‌ها لزوماً برابر با یک و جهت عقربه‌های ساعت نیست لیکن همواره یک حلقه اصلی وجود دارد.

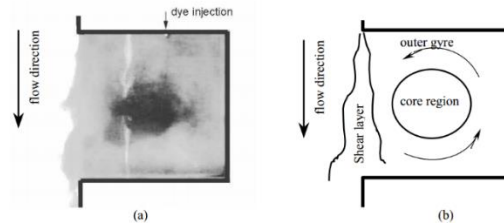
3) یک ناحیه برشی<sup>3</sup> در مرز خلیج و رودخانه اصلی که قابلیت توسعه نیز دارد.

در شکل 2 مشاهدات آزمایشگاهی فاسیندا در سال 2002 برای رفتار جریان در یک خلیج مربعی آمده است (Faccenda, 2002). همانطور که در تصویر مشخص است در مرکز هسته سرعت جریان کمتر بوده و غلظت ماده رنگی بیشتر می‌باشد و نیز یک حرکت مماسی در اطراف حلقه میانی وجود دارد

1 Dead zone

2 Gyre

3 Shear zone



شکل (2): الف) تصویر ویدویی از توزیع غلظت رنگ در یک سیکل گردش در خلیج کم عمق (ب) نمایش منطقه هسته، لایه بیرونی و لایه برشی (Faccenda, 2002).

تنش رینولدز در محل خلیج، مکانیسم تولید گردش افقی و همچنین تأثیر انرژی کانال اصلی در تشکیل چرخش بوده است. ایشان اندازه‌گیری PIV را در فلوم آزمایشگاهی به طول 9 متر و عرض 1/5 متر برای نسبت‌های مختلف انجام دادند (نسبت طول به عرض خلیج؛  $L_w / B_w = 1, 2, 3$ ). توزیع افقی بردارهای سرعت در مطالعات ایشان نشان می‌دهد که نسبت ابعاد خلیج به طور چشمگیری بر تشکیل گردش تأثیر می‌گذارد. در نسبت  $L_w / B_w = 1$  تنها یک سیکل گردش وجود دارد در حالیکه برای نسبت‌های بالاتر، دو سیکل گردش وجود دارد. در ادامه ایشان نتایج آزمایشات را با نتایج حاصل از روش‌های تئوری مقایسه کردند که پروفیل‌های طولی پیش‌بینی و داده‌های اندازه‌گیری شده هماهنگی خوبی داشتند. همچنین توزیع افقی متوسط بردارهای سرعت برای فلوم‌های با عرض 0/4 و 1/5 متری با خلیج‌هایی که نسبت شکل-های یکسان داشتند مقایسه گردید و مشاهده شد توزیع سرعت افقی در حفره‌هایی با نسبت ابعاد یکسان مشابه می‌باشد (Sanjou & Nezu, 2017).

مطالعات گذشته بیانگر فقدان تحقیقات کافی پیرامون خلیج‌های میانی است به خصوص اینکه در ایران تاکنون هیچگونه مطالعاتی در خصوص خلیج‌های میانی انجام نشده است. به همین منظور در این تحقیق به بررسی رفتار هیدرولیکی جریان در محدوده خلیج میانی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی پرداخته شده است.

گاسکین و همکاران (2002) برای درک بهتر الگوهای جریان به ردیابی لاگرانژی ذرات در یک خلیج کم‌عمق پرداختند. آن‌ها در مطالعات خود از ذرات فسفر و منبع نور UVA استفاده کردند و مسیر گردش ذرات به همراه جریان را در قسمت‌های مختلف خلیج مورد بررسی قرار دادند (Gaskin et al, 2002).

پروچین و اویجتوال (۲۰۰۲) با تمرکز بر لایه اختلاط، یک مدل تئوری بدست آمده از معادلات عمق متوسط در جریان کم‌عمق پیشنهاد کردند. همچنین توسعه جهت جریان در سرعت‌های بالا و پایین، توسعه عرض لایه مرزی و توزیع افقی مولفه جهت جریان را بررسی و پیش‌بینی‌های خود را با داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه نموده و به تعیین سیر تکاملی انرژی و مقیاس طول مشخصه براساس تجزیه و تحلیل پایداری خطی پرداختند (Prooijen and Uijttewaal, 2002).

آکوتینا و همکاران (2014) با تحقیق تجربی در مورد مکانیزم اختلاط در یک خلیج کم‌عمق و بررسی ساختارهای سه‌بعدی جریان، شکل، شدت و شرایط تشکیل آن‌ها را تعیین نمودند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های 3D-PTV آن‌ها نشان می‌دهد یک حلقه چرخشی شبه دوبعدی منظم در خلیج وجود دارد و فرآیند تبادل بین فروافتادگی و جریان کانال سه‌بعدی است (Akutina et al, 2014).

سانجو و نزو (2017) مطالعاتی بر روی لایه اختلاط و گردش افقی در ناحیه خلیج مستطیلی داشتند. مطالعه آن‌ها با هدف اندازه‌گیری آشفتگی‌ها و

## مواد و روش‌ها

### مدل آزمایشگاهی

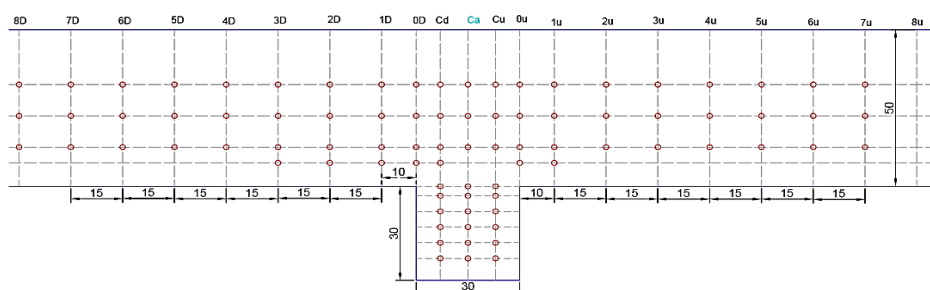
ساخت خلیج به ابعاد  $0/3 \times 0/3$  متر در ساحل چپ کانال و با استفاده از برش و شکل دادن قطعات ورق گالوانیزه و آببندی مدل توسط چسب آکواریوم انجام گرفت. محل خلیج با فاصله کافی از ورودی و خروجی کانال اصلی در نظر گرفته شد به طوری که جریان ورودی مخزن از بالادست و همچنین خروجی در پایین دست تاثیری در محدوده حجم کنترل خلیج نداشته باشند. همچنین ورق گالوانیزه در انتها بصورت زاویه دار به سمت دیواره فلوم قرار گرفت تا جریان بصورت تدریجی از عرض 50 سانتی متری محدوده آزمایش به عرض 80 سانتی متر برسد.

برای انجام آزمایش‌ها در ابتدا آزمون توسعه یافتگی جریان هیدرولیک روباز انجام و محدوده حجم کنترل مشخص گردید. سپس شبکه بندی محدوده انجام گرفت. اندازه گیری‌ها در مرکز خلیج، فاصله هفت سانتیمتری از جداره‌های خلیج، در لبه‌های بیرونی، به فاصله ده سانتیمتر اول از بالادست و پایین دست خلیج و سپس به فاصله هر 15 سانتیمتری به صورت مقطع و در هر مقطع برای کانال اصلی در سه نقطه و در حفره خلیج با فاصله 5 سانتیمتر و در عمق  $0/6$  از سطح انجام شد. در شکل 4 شبکه بندی محدوده و محل نقاط اندازه گیری آمده است.

برای رسیدن به اهداف تحقیق آزمایش‌هایی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گرفت. فلوم مورد استفاده یک کانال شیب پذیر به طول 12 متر، عرض و عمق 80 سانتیمتر با دیواره‌هایی از جنس شیشه می باشد (شکل 3). به منظور آرام کردن جریان در ورودی کانال دو صفحه مشبک فلزی به فاصله 20 سانتیمتری از هم قرار داده شده است. مکانیزم جریان در فلوم چرخشی بوده بطوری که جریان آب در حین خروج از فلوم وارد مخزن شده و توسط پمپ مجدداً به ابتدای فلوم پمپاژ می شود. کنترل دبی ورودی به فلوم به کمک اوریفیس در ورودی انجام گردید. در ادامه برای برقراری جریان مورد نظر در هر آزمایش از تنظیم دور موتور الکتروپمپ به کمک یک دستگاه اینورتر هیوندای مدل N700E انجام گرفت



شکل (3): کانال آزمایشگاهی آزمایشگاه هیدرولیک گروه آب دانشگاه صنعتی شاهرود

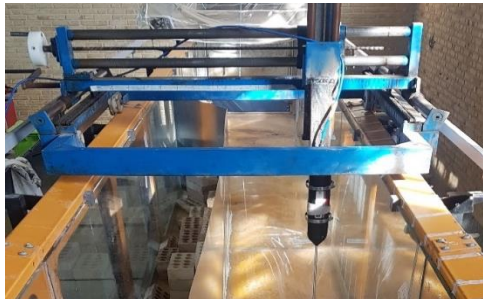


شکل (4): شبکه اندازه گیری سرعت در خلیج میانی و کانال اصلی



می‌باشد و یک کالسکه متحرک با قابلیت حرکت در طول و عرض کانال دارد، استفاده شده است (شکل 5).

برای اندازه‌گیری مولفه‌های سرعت و تعیین الگوی جریان از دستگاه سرعت‌سنج سه بعدی Vectrino که یکی از پیشرفته‌ترین انواع سرعت‌سنج‌های ADV



شکل (5): سرعت‌سنج سه بعدی به همراه کالسکه قابل حرکت بر روی کانال

محدوده سرعت در این دستگاه از  $\pm 0.01$  تا  $\pm 7$  متر بر ثانیه توسط کاربر قابل تنظیم بوده و دقت آن  $\pm 0.5\%$  مقدار اندازه‌گیری شده ( $\pm 1 \text{ mm/s}$ ) می‌باشد (Nortek, 2013).

برای انجام آزمایش‌ها، با فرکانس 25 هرتز و در نظر گرفتن زمان 2 دقیقه، در هر نقطه و در هر جهت 3000 داده سرعت خروجی دستگاه Vectrino بوده که این داده‌ها با استفاده از الگوریتم Whal (2000, 2003) و با فرض همبستگی<sup>1</sup> بزرگتر از 70، نسبت سیگنال به نویز<sup>2</sup> SNR بزرگتر از 15 و در نظر گرفتن معیار (Nikora & Goring, 2002) در نرم‌افزار WinADV فیلتر شده‌اند.

در ادامه با استفاده از نرم‌افزار Tecplot خطوط جریان ترسیم و داده‌های برداشت شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

#### آنالیز ابعادی و پارامترهای موثر

با استفاده از آنالیز ابعادی می‌توان به انتخاب پارامترهای مورد مطالعه پرداخت. از روش آنالیز ابعادی برای بدون بعد نمودن پارامترها و تعیین روند آزمایش‌ها و همچنین تعمیم نتایج آزمایشگاهی به نمونه اصلی استفاده می‌گردد. انتخاب پارامترهای مؤثر

برای جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها، قانون دست راست بایستی مورد توجه قرار گیرد. مطابق تعریف محور X در جهت طول کانال و به سمت پائین دست، محور Y در جهت عرض کانال و به سمت دیواره سمت چپ، و محور Z عمود بر کف کانال و به سمت بالا (سطح آب) مثبت تعریف می‌شوند.

عملکرد دستگاه براساس ارسال یک موج صوتی با فرکانس معلوم و دریافت بازتاب آن از جریان و تشخیص سرعت جریان از میزان تغییر در فرکانس اولیه می‌باشد. در واقع این سرعت سنج از یک قسمت ارسال صوت و از چهار دریافت کننده آن استفاده می‌کند. صوت از طریق قسمت مرکزی probe فرستاده شده و توسط چهار شاخک (Beam) دریافت می‌شود. تغییر فرکانس موج رفت و برگشت براساس رابطه 1 اندازه‌گیری شده و سرعت متناسب با فرکانس‌های ورودی و خروجی تعیین می‌شود.

$$F_{Doppler} = -F_{Source} \left( \frac{V}{C} \right) \quad (1)$$

که در آن:

$F_{Doppler}$ : تغییر فرکانس صوت دریافت شده توسط گیرنده-ها

$F_{Source}$ : فرکانس صوتی فرستنده

V: نسبت صوت ارسال شده به صوت دریافت شده

C: سرعت صوت در سیال

<sup>1</sup> Correlation

<sup>2</sup> Signal Noise Ratio

این روش و در نظر گرفتن سرعت، عمق و چگالی سیال ( $V, y, \rho_w$ ) بعنوان پارامترهای تکراری:

$$\varphi = f\left(\frac{L_1}{L_2}, \frac{a}{b}, \frac{g \cdot y \cdot s_0}{V^2}, \frac{\rho_w \cdot V \cdot y}{\mu}, \frac{V^2}{g \cdot y}, \frac{V \cdot t}{y}\right) \quad (3)$$

$$\varphi = f\left(\frac{L_1}{L_2}, \frac{a}{b}, \frac{\tau_b}{V^2}, \frac{V \cdot t}{y}, Re, Fr\right) \quad (4)$$

در این تحقیق ابعاد خلیج میانی و کانال اصلی ثابت در نظر گرفته شده و آزمایش‌ها در دو سری (الف) عمق ثابت و دبی متغیر، (ب) عمق و دبی متغیر و با رژیم زیربحرانی آشفته مطابق با جدول 1 انجام گرفت. در سری (الف) عمق جریان توسط دریچه انتهایی ثابت نگه داشته شده و برداشت عمق و سرعت جریان در دبی‌های مختلف انجام گرفت. در آزمایش‌های سری (ب) با قراردادن یک سرریز لبه‌تیز در انتهای کانال (بوجود آمدن عمق کافی برای سرعت-سنج) اجازه تغییر عمق با تغییر دبی ورودی به جریان داده شد. بنابراین در آزمایش‌های سری (ب) با افزایش دبی شاهد افزایش عمق جریان در کانال اصلی بوده‌ایم.

با توجه به اصول اولیه هیدرولیک جریان و بررسی مطالعات گذشته صورت می‌گیرد. پارامترهای مؤثر بر سیستم را می‌توان به شرح ذیل نام برد:

**پارامترهای مربوط به کانال اصلی:** عرض کانال

اصلی  $L_2$ ، عمق  $y$ ، شیب  $S_0$ ، ضریب زبری کف کانال  $n_1$

**پارامترهای مربوط به حفره خلیج:** عرض

خلیج  $b$ ، طول خلیج  $a$ ، ضریب زبری محدوده حفره خلیج  $n_2$

**پارامترهای جریان:** سرعت  $V$ ، زمان  $t$ ،

**پارامترهای سیال:** چگالی سیال  $\rho_w$ ، لزجت  $\mu$

**پارامترهای محیط:** شتاب ثقل  $g$

$$\varphi = f(\rho_w, V, y, L_1, L_2, a, b, t, g, \mu, n, s_0) \quad (2)$$

روش‌های مختلفی برای آنالیز ابعادی وجود دارد از جمله روش ماتریسی. این روش زمانی مناسب است که تعداد متغیرهای دخیل زیاد باشند. با استفاده از

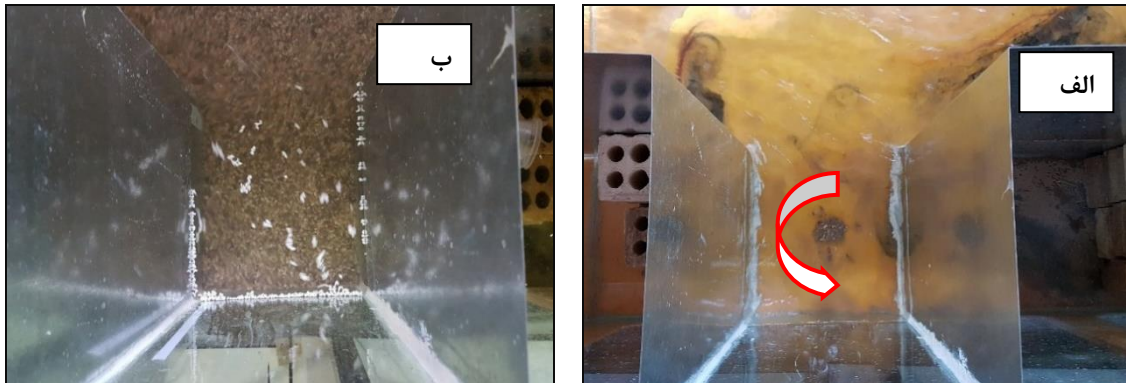
جدول (1): شرایط هیدرولیکی جریان

	عرض کانال اصلی (متر)	عمق جریان در بالادست خلیج (متر)	دبی ورودی به کانال اصلی (لیتر بر ثانیه)	متوسط سرعت		
				کانال اصلی (متر بر ثانیه)	Re	Fr
سری الف	0/5	0/15	17	0/23	21,250	0/19
	0/5	0/15	23	0/31	28,750	0/25
	0/5	0/15	28	0/37	35,000	0/31
سری ب	0/5	0/15	33	0/44	41,250	0/36
	0/5	0/11	17	0/31	23,611	0/30
	0/5	0/12	23	0/38	31,081	0/35
ب	0/5	0/13	28	0/43	36,842	0/38
	0/5	0/14	33	0/47	42,308	0/40

ای و افزودن رسوب معلق ورودی مورد تایید قرار گرفت. در مراحل انجام آزمایش نیز چرخش جریان با استفاده از دوربین فیلمبرداری ثبت گردید. در شکل 6 الف، ته نشینی رسوب معلق با کاهش سرعت جریان در ناحیه سکون خلیج میانی و در شکل 6 ب، چرخش مواد واریزه‌ای در سطح آمده است

## نتایج و بحث

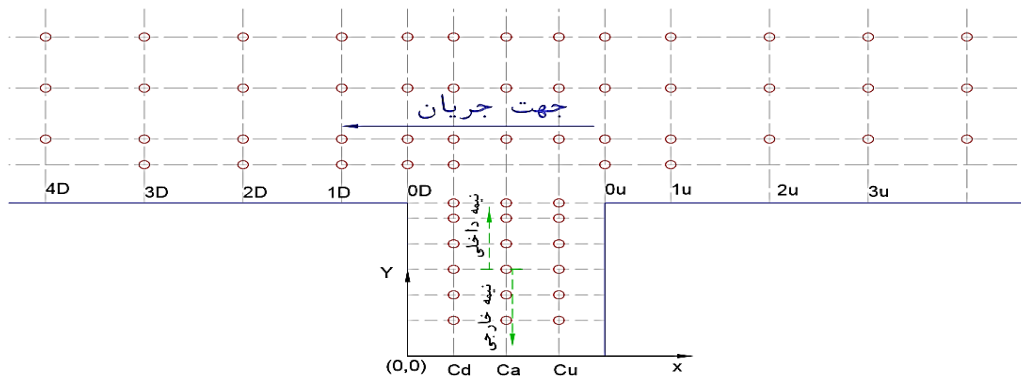
با توجه به اینکه نسبت عرض خلیج به عرض رودخانه یکی از پارامترهای مؤثر در هیدرولیک حفره خلیج می‌باشد، در آزمایش‌های اولیه مسیرهای جریان با استفاده از مشاهدات عینی مورد بررسی و وجود هیدرولیک خلیج در حجم کنترل با کمک مواد واریزه-



شکل (6): مشاهدات وجود یک سیکل گردش در داخل خلیج

راستای طولی و عرضی کانال کفایت می‌شود. همچنین نکته قابل ذکر اینکه سیستم مختصاتی در نظر گرفته شده برای رسم نمودارها از گوشه انتهایی خلیج در ساحل چپ کانال می‌باشد (شکل 7).

در ادامه به بررسی و تحلیل داده‌های برداشت شده سرعت می‌پردازیم. نکته قابل ذکر اینکه با توجه به اختلاف اندک تغییرات سرعت در عمق، این سرعت به صورت میانگین در عمق در نظر گرفته شده است و در این بخش به بررسی الگوی جریان کل، سرعت در



شکل (7): مختصات و مشخصات مورد استفاده پلان طولی خلیج در تحلیل نتایج

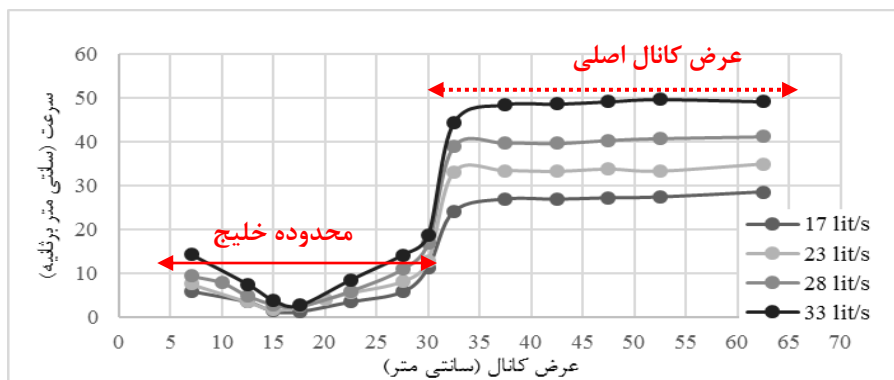
اصلی بدون محدودیت عمق، عمق و سرعت همزمان افزایش خواهند داشت.

نکته قابل توجه نتایج وجود نقطه کمینه در مرکز خلیج می‌باشد. به طوریکه تغییرات نمودار سرعت در نیمه خارجی خلیج نزولی بوده و در نیمه داخلی خلیج (نیمه تا محل اتصال به کانال اصلی) بصورت صعودی می‌باشد

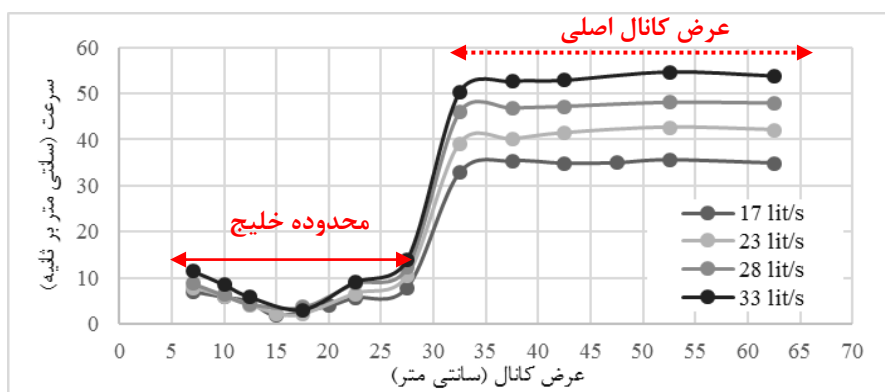
### بررسی تغییرات سرعت کل $V$ در راستای مرکز خلیج:

بررسی تغییرات سرعت در مرکز خلیج (نشکل‌های 8 و 9) نشان می‌دهد؛ در یک عمق ثابت با افزایش دبی در کانال اصلی سرعت جریان در محدوده خلیج نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دبی در کانال





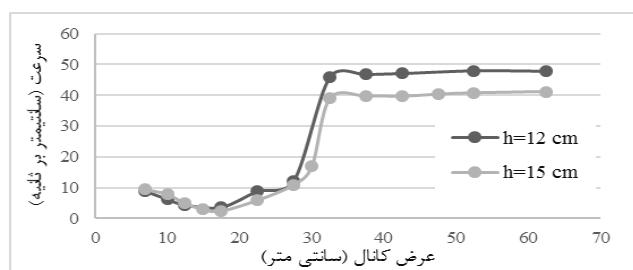
شکل (8): تغییرات سرعت در راستای مرکز خلیج با افزایش دبی در عمق ثابت



شکل (9): تغییرات سرعت در راستای مرکز خلیج با افزایش دبی و عمق

عمق در دبی ثابت کانال اصلی، افزایش سرعت نیز خواهیم داشت که در شکل 10 برای نمونه تغییرات سرعت در دبی 28 لیتر بر ثانیه آمده است.

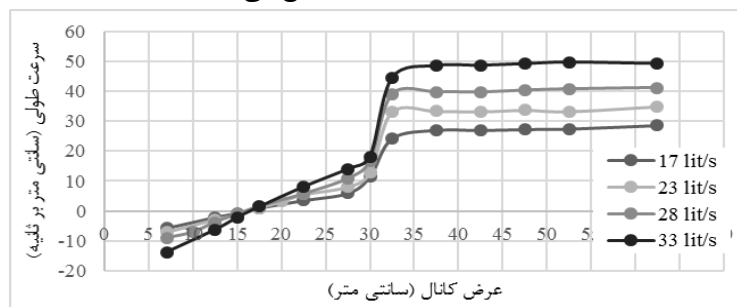
بررسی نتایج نشان می‌دهد در دبی ثابت همانطور که انتظار می‌رود با افزایش عمق جریان، سرعت کاهش می‌یابد. این روند در نیمه خارجی خلیج میانی نیز مشاهده می‌شود ولی در نیمه داخلی با افزایش



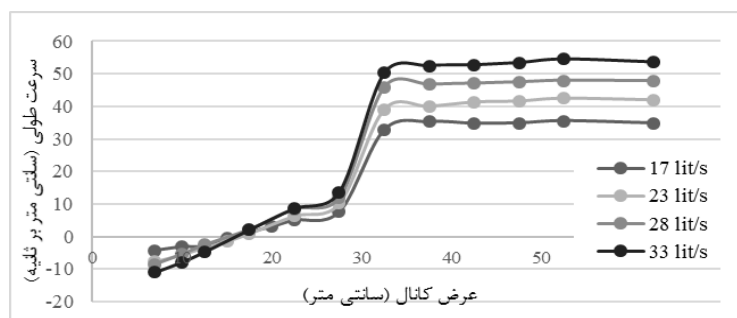
شکل (10): تغییرات سرعت در دبی 28 لیتر بر ثانیه در دو عمق 12 و 15 سانتیمتر

سرعت طولی در کانال اصلی و نیمه داخلی خلیج افزایش می‌یابد (شکل‌های 11 و 12).

همچنین در مرکز خلیج (فاصله 15-20 س. م) شاهد تغییر جهت سرعت طولی می‌باشیم. به عبارتی در نیمه خارجی خلیج همواره سرعت منفی و در نیمه داخلی مرکز خلیج سرعت دارای جهت مثبت می‌باشد. این تغییر جهت، نشان‌دهنده سیکل گردشی داخل خلیج می‌باشد.



شکل (11): تغییرات سرعت طولی  $V_x$  در راستای مرکز خلیج با افزایش دبی در عمق ثابت (15 سانتی متر)



شکل (12): تغییرات سرعت طولی  $V_x$  در راستای مرکز خلیج با افزایش دبی و عمق

- سری (ب) آزمایش‌ها نشان داد با افزایش دبی در کانال اصلی عمق و بزرگی سرعت عرضی همزمان افزایش می‌یابد.

- همچنین نتایج نشان می‌دهد در محدوده خلیج، هرچه از سمت بیرونی خلیج به سمت کانال اصلی پیش رویم اندازه سرعت عرضی کاهش می‌یابد. به عبارتی در سمت خارجی خلیج سرعت عرضی قویتری خواهیم داشت.

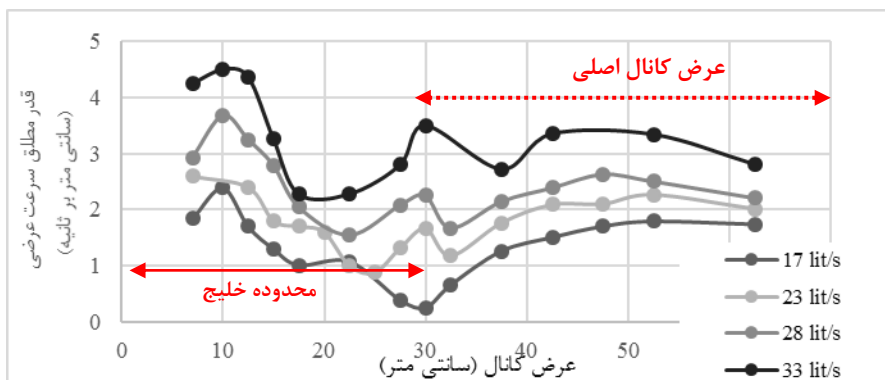
### بررسی تغییرات طولی سرعت $V_x$ در راستای مرکز خلیج

با توجه به بزرگی مقادیر سرعت طولی نسبت به سرعت‌های عرضی و عمقی، این سرعت در سرعت کل تاثیرگذار بوده و روندی مشابه با سرعت کل دارد. به طوریکه با افزایش دبی در کانال اصلی، عمق جریان و

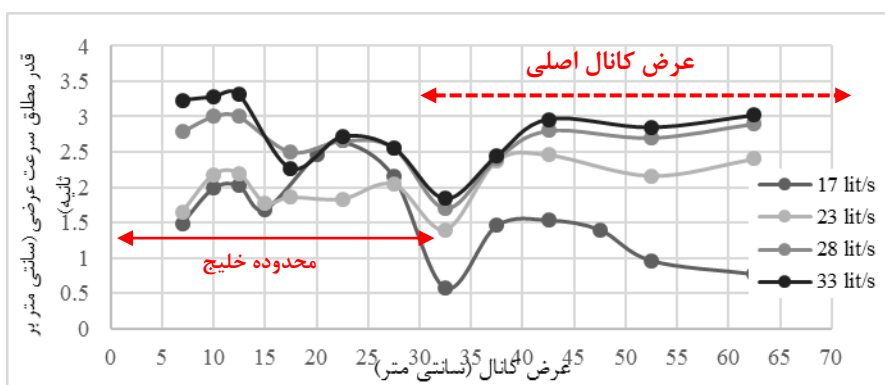
### بررسی تغییرات سرعت عرضی $V_y$ در راستای مرکز خلیج

در این بخش با توجه به اینکه این جهت سرعت عرضی در مرکز خلیج همواره منفی بوده و هدف بررسی تغییرات سرعت عرضی بوده برای مقایسه بهتر داده‌ها از قدر مطلق  $V_y$  استفاده گردید. مطابق با شکل‌های 13 و 14 که در ادامه آمده است:

- در یک عمق ثابت، با افزایش دبی در کانال اصلی، اندازه سرعت عرضی نیز افزایش می‌یابد.



شکل (13): تغییرات قدر مطلق سرعت عرضی  $V_y$  در راستای مرکز خلیج با افزایش دبی در عمق ثابت (15 سانتی متر)



شکل (14): تغییرات قدر مطلق سرعت عرضی  $V_y$  در راستای مرکز خلیج با افزایش دبی و عمق

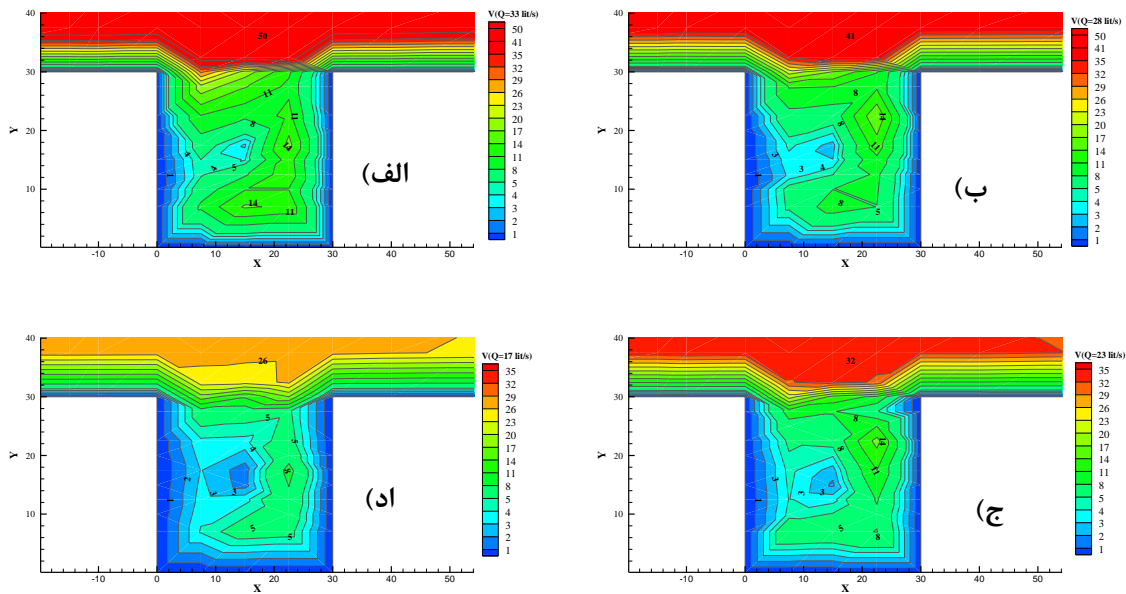
محدوده خلیج شده و از میزان سرعت به میزان قابل توجهی کاسته می‌شود. در مرکز خلیج و در مجاورت دیواره‌ها کمترین میزان سرعت مشاهده می‌شود که این امر می‌تواند در خلیج‌هایی که به عنوان استخرهای پرورش ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرند مورد توجه باشد. با افزایش دبی در کانال اصلی، جریان در محدوده خلیج نیز دارای سرعت بیشتری خواهد بود.

#### بررسی الگوی جریان در محدوده خلیج میانی

در این بخش برای جلوگیری از ارائه حجم زیاد نمودارها تنها نتایج آزمایش‌های سری الف (شرایط عمق یکسان) آمده است. نتایج آزمایش‌های سری ب مشابه بوده است.

#### بررسی الگوی سرعت کل $V$

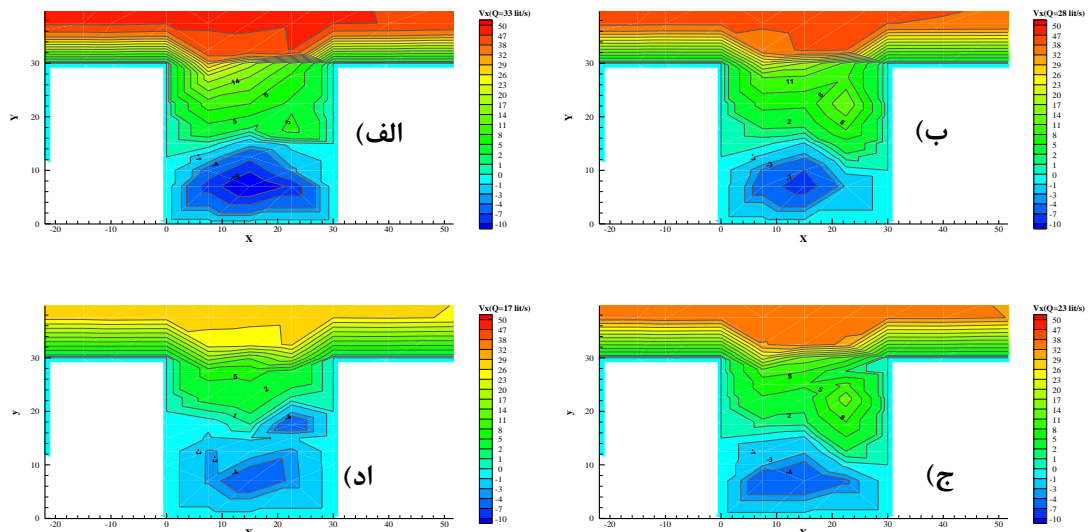
در شکل 15 کنتورهای سرعت در محدوده خلیج میانی آمده است. همانطور که در این شکل مشخص است جریان از کانال اصلی بصورت چرخشی وارد



شکل (15): الگوی سرعت در خلیج میانی با افزایش دبی در عمق ثابت الف (33 lit/s ، ب) 28 lit/s (ج) 23 lit/s (د) 17 lit/s

داخلی و خارجی خلیج (به عبارتی اختلاف میان سرعت مثبت و منفی) بیشتر شده و سرعت چرخش نیز بیشتر می‌شود. به نظر می‌رسد با افزایش دبی کانال اصلی سیکل گردشی بزرگتری خواهیم داشت

بررسی الگوی جریان در راستای طولی  $V_x$  همانطور که در شکل 16 مشخص است سرعت طولی ( $V_x$ ) در خلیج میانی شامل دو ناحیه مثبت و منفی می‌باشد که نشان دهنده وجود سیکل گردشی است. با افزایش دبی، اختلاف سرعت طولی در نیمه

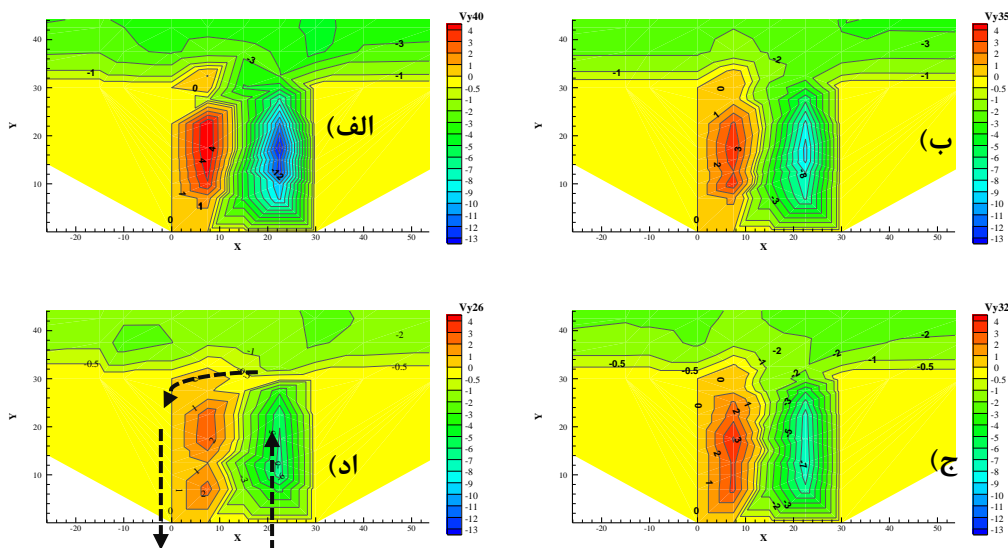


شکل (16): الگوی سرعت طولی  $V_x$  در خلیج میانی با افزایش دبی در عمق ثابت الف (33 lit/s ، ب) 28 lit/s (ج) 23 lit/s (د) 17 lit/s

می‌شود. در نیمه ابتدایی خلیج سرعت عرضی مثبت می‌باشد. همچنین با افزایش دبی در کانال اصلی، اختلاف سرعت عرضی در محدوده خلیج نیز بیشتر می‌گردد

### بررسی الگوی سرعت عرضی $V_y$

در شکل ۱۷ نمایش کنترهای سرعت عرضی آمده است. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد جریان از پایین دست وارد حفره خلیج شده و با چرخش خارج



شکل (۱۷): الگوی سرعت عرضی  $V_y$  در خلیج میانی با افزایش دبی در عمق ثابت الف ( 33 lit/s ، ب) 28 lit/s ج) 23 lit/s د) 17 lit/s

ورودی به خلیج نیز بیشتر شده و سرعت افزایش می‌یابد. سرعت طولی ( $V_x$ ) در نیمه خارجی خلیج منفی و در نیمه داخلی مثبت می‌باشد این در حالی است که سرعت عرضی ( $V_y$ ) دارای دو بخش منفی و مثبت در محدوده نیمه بالادست و پایین دست می‌باشد. بررسی پروفیل‌های سرعت در مقطع مرکزی خلیج نشان می‌دهد سرعت‌های طولی و عرضی دارای تقارن مرکزی بوده و با افزایش جریان ورودی علاوه بر افزایش عمق جریان، سرعت‌ها نیز افزایش می‌یابند.

### نتیجه‌گیری

با توجه به مشاهدات آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل اطلاعات برداشت شده در این مطالعه، به طور کلی نتایج زیر حاصل گردید:

در خلیج میانی با مشخصات ذکر شده، یک سیکل گردشی بزرگ مقیاس ایجاد شده که نتایج مشاهداتی بابروتسی، کیمورا و ایچتیوال را تایید می‌نماید (Babarutsi & Ganoulis, 1989; Kimura & Hosoda, 1997; Uijtewaa et al, 2001). سرعت در محدوده خلیج بسیار کمتر از کانال اصلی بوده و کمترین مقدار سرعت در مرکز خلیج رخ می‌دهد. با افزایش دبی در کانال اصلی جریان

### منابع

- Akutina Y., Gaskin S. J., Mydlarski L.B., Entrainment mechanisms in river embayments. River Flow. 2014, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02674-2  
Barbarutsi S., Ganoulis J., and Chu V.H. Experimental investigation of shallow recirculating flows. J. Hydraul. Eng. 1989, 128(10), pp. 891-900.



Faccenda, F. Experimental studies on recirculating flow patterns in a cavity, Department of Civil Engineering, McGill University, Master's project. 2002.

Gaskin S., Kemp L., Nicell J. Lagrangian tracking of specified flow parcels in an open channel embayment using phosphorescent particles. *Hydraulic Measurements and Experimental Methods* 2002

Jirka, G.H. Large scale flow structures and mixing processes in shallow flows, *J. Hydraul. Res.* 2001, 39(6), pp. 567-574.

Kimura, I., Hosoda, T. Fundamental properties of flows in open channels with dead zone. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1997. Vol. 123, No. 2, 98-107.

Nikora, V. I., and Goring, D. G., "Despiking Acoustic Doppler Velocimeter Data." *Journal of Hydraulic Engineering*, (2002), 124(6), 630–634.

Sanjou M., Nezu I. Fundamental study on mixing layer and horizontal circulation in open-channel flows with rectangular embayment zone. *Journal of Hydrodynamics*. 2017, 29(1):75-88

Uijtewaal W.S.J., Lehmann, D., van Mazijk, A. Exchange processes between a river and its groyne fields: model experiments, *Journal of Hydraulic Engineering*. 2001. Vol. 127, No. 11, 928-936.

Van Prooijen B. C., Uijtewaal W. S. J. A linear approach for the evolution of coherent structures in shallow mixing layers [J]. *Physics of Fluids*, 2002, 14(12): 4105-4114.

Nortek, A. S. Vectrino velocimeter user guide. Nortek AS, Vangkroken, Norway. 2013.

Wahl, T., "Analyzing ADV data using WinADV", Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management ASCE, Minneapolis, 2000.

Wahl, T., "Discussion of despiking acoustic dopplervelocimeter data.", *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 2003, 129 484–487.



## Experimental Investigation of the flow pattern in the Embayment

Fatemeh Zahra Asadi<sup>1</sup>, Mehdy Meftah Halaghi<sup>4</sup>, Amir Ahmad Dehghani<sup>3</sup>, Esmail Kordi<sup>2\*</sup>

### Abstract

Embayment or Side-cavities are built as a natural or artificial complication, which generally has shallow flow conditions, as affecting the hydraulic conditions of the flow. These complications affect important hydrodynamic processes that play an important role in the general behavior of the flow by creating secondary structures and shear layers. Therefore, the experiments were performed in an Embayment with a size of 0.3 \* 0.3 m, adjacent to a canal 0.5 m wide. Speed measurements in the defined network were performed using the Vectrino 3D Velocimeter. Observational results confirmed the existence of a large-scale gyre in the interior of the embayment. Further analysis of the data showed that the velocity in different directions is affected by flow of the main canal and with increasing current in the main canal flow, the velocity in the embayment also increases. Also, the results showed that at a constant flow through the main channel, with increasing flow depth, the speed in the outer half of the embayment decreases as the main channel but in the inner half, the speed increases with increasing depth. This indicates as increasing depth, a greater advancing of the stream into the embayment would be observed.

**Keywords:** Artificial Embayment, Flow pattern, 3D Velocimeter, Experimental Model

---

1 PhD Student, Water Science Engineering Department. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. Iran.09119241527. fzasadi.2018@yahoo.com

2 \*Associate Professor, Water Science Engineering Department. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. Iran.09113759614. meftahhalaghi@gmail.com. (Responsible author)

3 Assistant Professor, Department of Civil Engineering. Mirdamad Institute of Higher Education. Gorgan. Iran. 09117304828. esmaeilkordi@gmail.com

4 Associate Professor, Water Science Engineering Department. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. Iran. 09113778297. amirahmad.dehghani@gmail.com

## Research Paper

## Experimental Investigation of the flow pattern in the Embayment

Fatemeh Zahra Asadi<sup>1</sup>, Mehdy Meftah Halaghi<sup>2</sup>, Esmail Kordi<sup>3</sup>, Amir Ahmad Dehghani<sup>4</sup>

1 PhD Student, Water Science Engineering Department. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. Iran.09119241527. fzasadi.2018@yahoo.com

1 \*Associate Professor, Water Science Engineering Department. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. Iran.09113759614. meftahhalaghi@gmail.com. (Responsible author)

1 Assistant Professor, Department of Civil Engineering. Mirdamad Institute of Higher Education. Gorgan. Iran. 09117304828. esmaeilkordi@gmail.com

1 Associate Professor, Water Science Engineering Department. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. Iran. 09113778297. amirahmad.dehghani@gmail.com



10.22125/IWE.2020.249107.1417.

Received:  
**September 19, 2020**  
Accepted:  
**November 15, 2020**  
Available online:  
**March.13.2022**

**Keywords:**  
**Artificial Embayment,**  
**Flow pattern, 3D**  
**Velocimeter,**  
**Experimental Model**

**Abstract**

Embayment or Side-cavities are built as a natural or artificial complication, which generally has shallow flow conditions, as affecting the hydraulic conditions of the flow. These complications affect important hydrodynamic processes that play an important role in the general behavior of the flow by creating secondary structures and shear layers. Therefore, the experiments were performed in an Embayment with a size of 0.3 \* 0.3 m, adjacent to a canal 0.5 m wide. Speed measurements in the defined network were performed using the Vectrino 3D Velocimeter. Observational results confirmed the existence of a large-scale gyre in the interior of the embayment. Further analysis of the data showed that the velocity in different directions is affected by flow of the main canal and with increasing current in the main canal flow, the velocity in the embayment also increases. Also, the results showed that at a constant flow through the main channel, with increasing flow depth, the speed in the outer half of the embayment decreases as the main channel but in the inner half, the speed increases with increasing depth. This indicates as increasing depth, a greater advancing of the stream into the embayment would be observed.

**1. Introduction**

The Embayment, which are generally formed naturally or artificially, are in fact part of a large-scale aquatic ecosystem as well as the hydrological cycle. An embayment can be located in the middle or at the end, each of which will have completely different hydrodynamics. Embayments that cross the river can be formed for a variety of functions, including recreational purposes, transportation, pollution control, sediment control, and environmental purposes. Studies show that the findings and observations and measured data on the dominant hydrodynamic and ecosystem processes in the embayments are more or less limited, so researchers' perceptions of the details of these processes are not yet fully formed. Previous studies show that the rotational flow in an embayment flows consist of three distinct regions:

- i) a large-scale rotating gyre driven by the shear,
- ii) a mixing zone, situated in the shear layer between the main flow and the embayment



iii) the “dead zone” (or the core), that is situated in the center of the rotating gyre and is a low-speed region.

Past studies indicate a lack of adequate research on the Middle embayment Especially in Iran, no studies have been conducted on the Middle embayment. For this purpose, in this study, the hydraulic behavior of the flow in the middle embayment area has been investigated using laboratory data.

## 2. Materials and Methods

To achieve the research objectives, experiments were performed in the hydraulic laboratory of the Faculty of Agriculture, Shahroud University of Technology. The flume used was a sloping channel with 12 m length, 80 cm depth with glass walls and in order to calm the flow at the entrance, two mesh plates were used. The flow mechanism in the flume is rotating and the inlet flow control was performed with the help of Orifice and a Hyundai N700E inverter device. The construction of the embayment with dimensions of 0.3 \* 0.3 m on the left bank of the flume was done by cutting and shaping the galvanized sheet parts and sealing the model with aquarium glue. First, the open hydraulic flow development test was performed and the control volume range was determined. Then the area was networked. The experiments were performed in two series with turbulent subcritical regime: a) constant depth and variable flow, b) variable depth and flow. To measure velocity components and determine the flow pattern, the Vectrino 3D velocimeter, one of the most advanced types of ADV, is used and has a moving carriage that can move along the length and width of the channel. Then, the flow lines were drawn and the collected data were analyzed using Tecplot software.

## 3. Results

Considering that the ratio of the width of the embayment to the river is one of the effective parameters in the hydraulics of the embayment cavity, in the initial experiments the flow paths were examined using objective observations and the presence of embayment hydraulics in the control volume with the help of debris materials. Addition of suspended sediment to the inlet was approved. During the experiment, current rotation was recorded using a video camera.

### - Investigation of total velocity ( $V$ ):

Examination of speed changes in the center of the embayment shows; at a constant depth, as the flow in the main channel increases, the flow velocity in the embayment area also increases. Also, with increasing flow in the main channel without depth limit, depth and speed will increase simultaneously. A noteworthy result is the existence of a minimum point in the center of the embayment. So that the velocity chart changes in the outer half of the embayment are descending and in the inner half of the embayment (half to the connection to the main canal) is ascending. Also at constant flow, as expected, the velocity decreases with increasing flow depth. This trend is also observed in the outer half of the middle embayment, but in the inner half, with increasing depth in the constant flow of the main canal, we will also have an increase in speed.

### Investigation of longitudinal changes in velocity ( $V_x$ ):

Due to the magnitude of the values of longitudinal velocity relative to transverse and deep velocities, this velocity affects the total velocity and has a process similar to the total velocity. Also in the center of the embayment (distance 15-20 cm) we see a change in the direction of longitudinal velocity. In other words, in the outer half of the embayment, the velocity is always negative and in the inner half of the center of the embayment, the velocity has a positive direction. This change of direction indicates the cycling cycle inside the embayment.

### -Investigation of transverse velocity changes ( $V_y$ ):

The results show that at a constant depth, with increasing flow in the main channel, the transverse velocity magnitude also increases. Also, with increasing flow in the main channel, the depth and magnitude of the transverse velocity increase simultaneously. In the embayment area, as we move from the outside of the embayment to the main channel, the magnitude of the transverse velocity

decreases. In other words, on the outside of the embayment, we will have a stronger transverse velocity.

#### 4. Discussion and Conclusion

In the Middle embayment with the mentioned characteristics, a large-scale circulatory cycle has been established, which confirms the observational results of previous studies (Babarutsi & Ganoulis, 1989; Kimura & Hosoda, 1997; Uijttewaa et al, 2001). The velocity in the embayment area is much lower than the main canal and the lowest velocity occurs in the center of the embayment. As the flow in the main channel increases, the inflow to the bay also increases and the speed increases. The longitudinal velocity  $V_x$  is negative in the outer half of the embayment and positive in the inner half this is while the transverse velocity  $V_y$  has two negative and positive parts in the upstream and downstream. Examination of velocity profiles of the embayment shows that longitudinal and transverse velocities have central symmetry and with increasing inlet flow, in addition to increasing the depth of flow, velocities also increase.

#### 5. Six important references

1. Akutina Y., Gaskin S. J., Mydlarski L.B., Entrainment mechanisms in river embayments. River Flow. 2014, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02674-2
2. Barbarutsi S., Ganoulis J., and Chu V.H. Experimental investigation of shallow recirculating flows. J. Hydraul. Eng.1989, 128(10), pp. 891-900.
3. Faccenda, F. Experimental studies on recirculating flow patterns in a cavity, Department of Civil Engineering, McGill University, Master's project. 2002.
4. Sanjou M., Nezu I. Fundamental study on mixing layer and horizontal circulation in open-channel flows with rectangular embayment zone. Journal of Hydrodynamics. 2017, 29(1):75-88
5. Uijttewaal W.S.J., Lehmann, D., van Mazijk, A. Exchange processes between a river and its groyne fields: model experiments, Journal of Hydraulic Engineering.2001. Vol. 127, No. 11, 928-936.
6. Van Prooijen B. C., Uijttewaal W. S. J. A linear approach for the evolution of coherent structures in shallow mixing layers [J]. Physics of Fluids, 2002, 14(12): 4105-4114.

#### Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

#### Acknowledgments

We are grateful to .....