# استفاده از دیوار انحراف جریان جهت کنترل رسوبگذاری در بنادر رودخانه‌ای

**داریوش والی‌زاده[۱]، مرتضی کلاهدوزان[۲*]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- استادیار، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

**چکیده**

رسوبگذاری یک مشکل همیشگی در بنادررودخانه‌ای و خورها بوده است. جهت رفع این مشکل و نیز تأمین امنیت ناوبری، عملیات لایروبی بایستی به‌طور مداوم صورت گیرد. در حال حاضر روشهای زیادی جهت جلوگیری از ورود رسوبات به بندرگاه معرفی شده است. هدف از انجام این تحقیق، آشنایی با یک روش سازه‌ای جدید و کم هزینه برای جلوگیری از ورود رسوبات به درون حوضچه بنادر رودخانه‌ای و جزر و مدی می‌باشد. این روش که مبتنی بر تغییر الگوی جریان در ورودی بندر است، استفاده از دیوار انحراف جریان (CDW) می‌باشد.

در این تحقیق به بررسی کارایی سازه دیوار انحراف جریان در جلوگیری از ورود رسوبات به درون بندر و همچنین تأثیر پارامترهای شکلی دیوار روی عملکرد هیدرودینامیکی آن پرداخته شده است. در ابتدا هیدرودینامیک جریان با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی جریان کالیبره شد. سپس مقدار ورود رسوبات به حوضچه بندر با توجه به پارامترهای مختلف از جمله شکل دیوار انحراف، زاویه رأس، طول و محل دیوار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از اینست که با انتخاب دقیق پارامترهای شکلی دیوار، می‌توان رسوبگذاری درون حوضچه را تا حدود ۳۰ درصد کاهش داد.

**کلمات کلیدی:** دیوار انحراف جریان، بندر رودخانه‌ای، هیدرودینامیک، رسوبگذاری

# REDUCING SEDIMENTATION IN RIVERINE HARBORS USING CURRENT DEFLECTING WALL

**D. Valizadeh[1], M. Kolahdoozan[2]**

1- MSc. Candidate, Dep. of Civil Engineering, Amirkabir University of Technology
2- Assistant Professor, Dep. of Civil Engineering, Amirkabir University of Technology

**Abstract**

Siltation is a serious problem occurred in riverine harbors and estuaries. To overcome this problem and navigation control, continuous dredging is needed. To date, many approaches have been developed to reducing siltation in harbors.The objective of the current research study is to intoduce an cost effective structural method to control the siltation in riverine and tidal harbors. This method which is based on the flow pattern control at the entance of the harbor, is implementation of a current deflecting wall (CDW) at the harbor entrance.

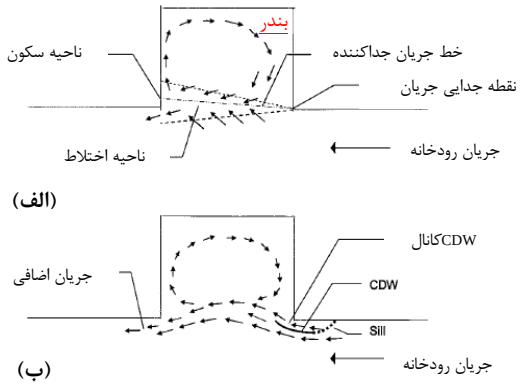
In the current study, the efficiency of the CDW was investigated for reducing sedimentation in reverine harbours and also the influence of geometrical specification of CDW on the hydrodynamic condition inside the harbor have been investigated. In the first step of the study, the hydrodynamic model was calibrated against experimental measurements cited in the literature. Then the model was applied to various alternatives of CDW shape, apex angle, length

* نویسنده مسوول مقاله mklhdzan@aut.ac.ir

and location. Results obtained through numerical modeling experiments showed that around 30 percent reduction in harbor siltation could be achieved.
**Keywords:** Current Deflecting Wall, siltation, Harbor, Hydrodynamics

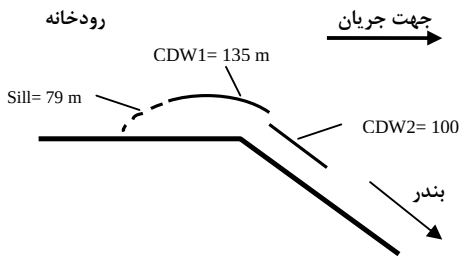
**۱- مقدمه**

رسوبگذاری همیشه به عنوان یک مشکل جدی در بنادر رودخانه‌ای و جزر و مدی مطرح بوده است. هر ساله هزینه‌های بسیار زیادی صرف لایروبی بنادر جهت ایجاد عمق مناسب برای کشتیرانی می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، بررسی عملکرد یک روش سازه‌ای جدید و کم هزینه برای جلوگیری از ورود رسوبات به درون حوضچه بنادر رودخانه‌ای و جزر و مدی می‌باشد. این روش که مبتنی بر تغییر الگوی جریان در ورودی بندر است، استفاده از دیوار انحراف جریان[1](CDW) می‌باشد. این سازه شامل یک دیوار عمودی ثابت است که در صفحه افقی انحنا داشته و در تمام عمق آب توسعه می‌یابد. محل احداث این سازه در ورودی بندرگاه است (شکل ۱- ب) [۱]. شکل ۱ نشان دهنده بندرگاه با و بدون وجود دیوار انحراف جریان و تغییرات حاصل شده در مسیر سیال در هر دو حالت می‌باشد.




**شکل ۱- طرح شماتیک لایه اختلاط: (الف) بدون وجود CDW در ورودی بندر، (ب) با وجود CDW در ورودی**

تحقیقات نشان داده است که با احداث این دیواره نرخ رسوبگذاری در ورودی حوضچه بندر به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد [۲]. هافلند و همکاران (۲۰۰۱) عملکرد CDW و تأثیر آن بر تبادل جریان و به دنبال آن کاهش رسوبگذاری را در شرایطی که اختلاف چگالی نیز وجود دارد، به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند [۳]. مطالعه روی مدل فیزیکی بندر Parkhafen در هامبورگ آلمان برای یافتن بهترین پیکربندی از CDW، از جمله تحقیقات دیگر گزارش شده در این زمینه است [۴]. با توجه به آزمایشات مدل هیدرولیکی Kuijper، یک دیوار انحراف جریان دوقسمتی که با یک فاصله (گپ) از هم جدا شده‌اند و شکلی شبیه بال هواپیما دارد (شکل ۲)، به عنوان مناسب‌ترین طرح که از جدایی جریان جلوگیری می‌کند و موجب تشکیل گردابه آزاد می‌شود، مورد توجه قرار گرفت [۴]. بررسی عملکرد CDW همچنین به صورت عددی توسط Stoschek و همکاران [۵]، Ditschke و همکاران [۶] انجام شده است.




**شکل ۲- پیکربندی نهایی دیوار انحراف جریان و آب پایه برای بندر Parkhafen [٤]**

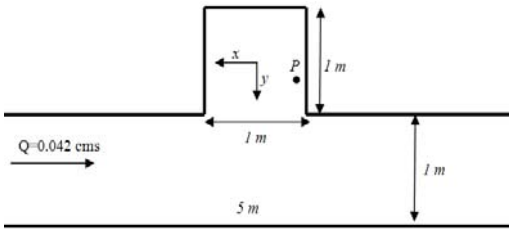
در سالهای اخیر نیز تحقیقات بسیاری روی رسوبگذاری در بنادر رودخانه‌ای و خورها انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات رودریگز [۷] و کرنر [۸] اشاره کرد.

تحقیقاتی که تاکنون در مورد اثر CDW بر رسوبگذاری درون حوضچه بنادر به صورت آزمایشگاهی و عددی انجام شده است مربوط به چند بندر خاص (واقعی) است که CDW در آنها نصب شده است. مطالعه حاضر اثر CDW را به صورت عمومی در یک بندر مربعی که در اکثر تحقیقات آزمایشگاهی استفاده می‌شود، بررسی می‌کند و اثر پارامترهای مختلف رسوب و جریان را در بندر مورد مطالعه قرار می‌دهد.

در این تحقیق به بررسی کارایی سازه دیوار انحراف جریان در جلوگیری از ورود رسوبات به درون بندر و همچنین تأثیر پارامترهای شکلی دیوار روی عملکرد آن پرداخته شده است. در ابتدا هیدرودینامیک جریان با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی جریان کالیبره می‌شود. سپس مکانیزم تبادل جریان بین رودخانه و بندر تشریح می‌گردد. در ادامه با در نظر گرفتن سازه انحراف جریان به بررسی میزان رسوب ورودی به بندر در حالهای مختلف زاویه دیوار، چرخش دیوار حول رأس، طول دیوار، عرض کانال CDW و انحنای دیوار پرداخته شده است. در هر حالت میزان رسوبگذاری با حالت بدون وجود دیواره مقایسه شده است.

## ۲- مدل فیزیکی و شرایط مرزی

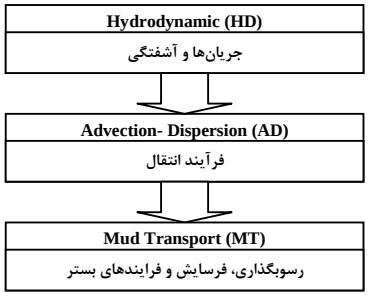
جهت کالیبراسیون مدل هیدرودینامیکی برای جریان ماندگار، از داده‌های تجربی Langendoen (۱۹۹۲) استفاده شده است [۹]. اندازه‌گیری‌های مزبور بر روی یک جریان حفره‌ای دائمی و همگن با سطح آزاد در یک بندر مربعی شکل با ابعاد ۱×۱ متر انجام گرفته است. جریان گردش آب ایجاد شده در این مدل بندر به واسطه یک دبی ثابت رودخانه به مقدار ۰/۰۴۲ متر مکعب بر ثانیه بوجود می‌آید که در آن عمق آب برابر ۰/۱۱ متر و طول و عرض رودخانه به ترتیب ۵ متر و ۱ متر هستند. همچنین دیوارهای جانبی مدل بصورت عمودی می‌باشند. طرح شماتیک بندر در شکل ۲ دیده می‌شود.




**شکل ۳- طرح کلی مدل بندر و رودخانه با جریان ماندگار**

## ۳- مدل عددی

با توجه به ماهیت پیچیده و سه‌بعدی جریان در ورودی بنادر، مدلسازی عددی سه‌بعدی به عنوان روش حل برگزیده شد. به همین جهت از نرم‌افزار MIKE 3 استفاده شد. مجموعه MIKE 3 بر پایه جریان آب در مهندسی سواحل و هیدرولیک بنا شده است و فرضیات مورد استفاده در مهندسی آب در آن لحاظ گشته است و از این جهت برای مدلسازی مورد نظر بسیار مناسب می‌باشد. مدل MIKE 3 یک مدل جریان کاملاً سه‌بعدی است. در مجموعه مدل MIKE 3، انتقال مواد ریزدانه در زیربرنامه Mud Transport (MT) و در ارتباط با زیربرنامه هیدرودینامیک Hydrodynamic (HD) و زیربرنامه انتقال- انتشار Advection (AD) تعبیه شده است (شکل ۴) [۱۰].




**شکل ٤- جریان داده و فرایندهای فیزیکی برای مدل عددی**

## ۴- مدلسازی هیدرودینامیک

هندسه‌ی بندر موردنظر (شکل ۳) در مدل عددی پیاده شده و شبکه‌بندی گردید. برای شبکه‌بندی از شبکه بدون سازمان مثلثی استفاده شد. برای مثلث‌بندی، حداکثر مساحت المان برابر با ۰/۰۰۴ متر مربع و کوچکترین زاویه ممکن برابر با ۲۶ درجه قرار داده شد. برای دستیابی به دقت بالاتر در ناحیه ورودی، حداکثر مساحت المان‌ها در این ناحیه به میزان تقریباً یک سوم کاهش یافت و برابر با ۰/۰۰۱۵ مترمربع قرار داده شد. این ابعاد با توجه به نتایج تحلیل حساسیت روی اندازه شبکه انتخاب شدند. نتایج تحلیل حساسیت در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. این شکل‌ها پروفیل‌های سرعت پیش‌بینی شده از مدل عددی و آزمایش را بر روی دو محور اصلی عمود برهم بندر (محورهای x و y در شکل ۳) نشان می‌دهند.

جهت مدلسازی سه‌بعدی، محدوده مورد نظر در ۱۰ لایه حل شده است. شرایط مرزی جهت مدلسازی بدین صورت انتخاب شده‌اند که شرط مرزی بالادست از نوع

دبی و برابر با ۰/۰۴۲ متر مکعب در ثانیه و شرط مرزی پایین‌دست از نوع سطح آب ثابت می‌باشند. برای مدلسازی آشفتگی، از مدل اسماگورینسکی در راستای افقی، و از مدل $\varepsilon k$- در راستای قائم استفاده شد (جدول ۱). این رویکرد بطور گسترده‌ای در انستیتو فرانزیوس آلمان استفاده شده است و به عنوان بهترین گزینه در مدلسازی آشفتگی شناخته شده است [۱۱]. همچنین مدلسازی عددی Langendoen (1994) نشان می‌دهد که مدل $\varepsilon k$- بهترین برآورد را از الگوی جریان درون حوضچه بندر بدست می‌دهد [۹]. در جدول ۱ ضرایب مورد استفاده در این مدل‌های آشفتگی آمده است. مطابق این جدول محدوده موردنظر در ۱۰ لایه و با گام زمانی ۰/۰۰۶۵ ثانیه حل می‌شود. جهت کالیبراسیون مدل هیدرودینامیک، پارامتر ارتفاع زبری بستر به عنوان پارامتر کالیبراسیون در نظر گرفته شد. نتایج ارائه شده در شکل ۷ نشان می دهد که اندازه ارتفاع زبری برابر با ۰/۰۰۱ میلیمتر نتایج نزدیکتری را نسبت به مقادیر آزمایشگاهی به دست می‌دهد. در شکل ۷ پروفیل عمقی سرعت‌ها در نقطه‌ای به فاصله ۰/۱ متر از دیوار پایین‌دست و ۰/۴ متر درون بندر ( نقطه P در شکل ۳)، نشان داده شده است.

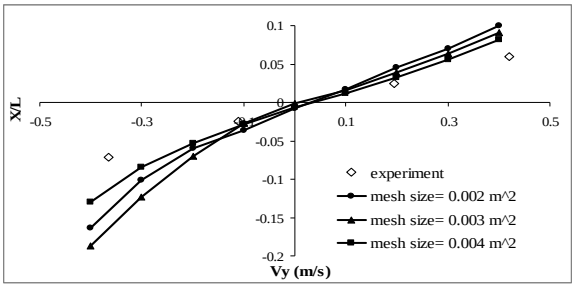
در برنامه انتقال رسوب غلظت ثابت $0.5kg/m^3$ در مرز ورودی به عنوان شرط مرزی در نظر گرفته شد. اثرات فولوکوله شدن در اینجا در نظر گرفته نشده است و از سرعت سقوط ثابت استفاده می‌شود. جدول ۲ پارامترهای مورد استفاده در مدل انتقال رسوب را نشان می‌دهد. منظور از Fraction 1,2,3 در جدول ۲، سه جزء رسوب معلق می‌باشد. بدین صورت که رسوب معلق درون سیستم دارای سه جزء رسوب با سرعت‌های سقوط متفاوت است. دلیل انتخاب سه اندازه رسوب، ایجاد یک گرادیان غلظت رسوب در ستون آب است. اندازه دانه‌های رسوب‌در نظر گرفته شده در محدوده سیلت ریز، سیلت متوسط، و سیلت درشت می‌باشد. سرعت‌های سقوط با توجه به جداول ارائه شده در مراجع انتخاب شده‌اند. مطابق جدول ۲ بستر محیط مورد مطالعه به صورت یک لایه از mud به ضخامت ۱ متر و با چگالی ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شده است. تنش برشی بحرانی برای ته‌نشینی ۰/۰۷ و برای فرسایش ۱ نیوتن بر متر مربع می‌باشد.

**جدول ۱- پارامترهای مدلسازی هیدرودینامیک جریان**

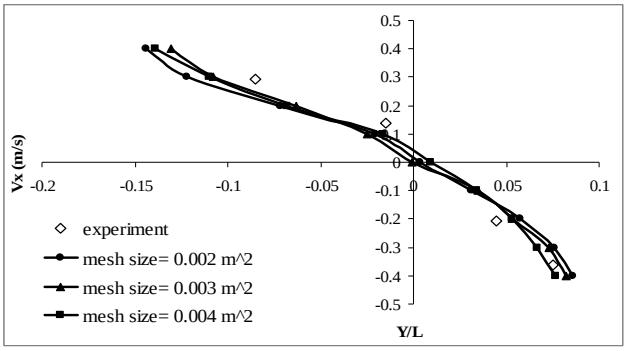
| |
|---|
| *Δt=0.0065 sec, No. of layers=10,* |
| ضرایب مورد استفاده در مدل‌های آشفتگی |
| *k-ε model initial condition (vertical): k=1e-007 [$m^2/s^2$], ε=5e-010 [$m^2/s^2$]* *Smogorinsky model (horizontal): $c_s$=0.28* |
| *c1e=1.44, c2e=1.92, c3e=0, Prandtle number =0.9, cmy=0.09,* $\sigma_k = 1$ ، $\sigma_\varepsilon = 1.3$ |

**جدول ۲- مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل انتقال رسوب**

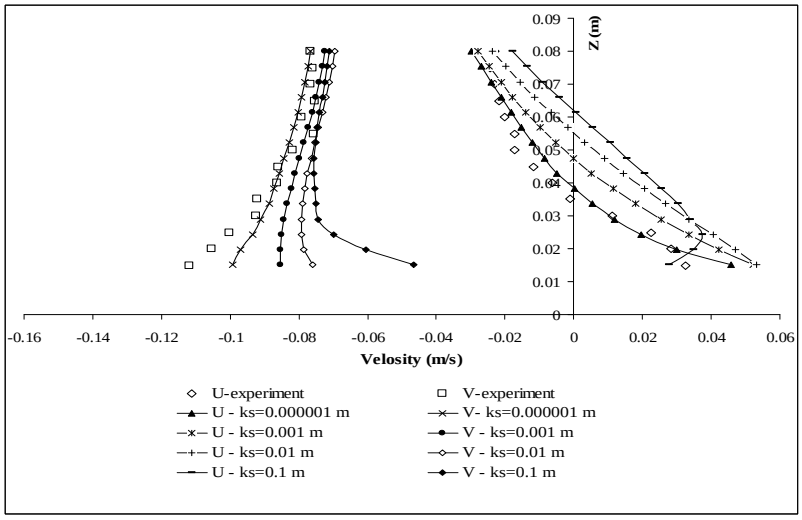
| | | |
|---|---|---|
| *Settling velocity* | *No. of layars=1* | *Critical shear stress for deposition= 0.07 $N/m^2$* |
| *Fraction 1: 0.6 (mm/s)* | *Erosion description: Hard mud* | |
| *Fraction 2: 0.45 (mm/s)* | *Layer density= 600 $kg/m^3$* | *Critical shear stress for erosion= 1 $N/m^2$* |
| *Fraction 3: 0.2 (mm/s)* | *Layer thickness= 1m* | |




**شکل ۵- تحلیل حساسیت روی اندازه شبکه‌بندی (مقادیر سرعت در جهت y روی محور x)**




**شکل ٦- تحلیل حساسیت روی اندازه شبکه‌بندی (مقادیر سرعت در جهت x روی محور y)**




**شکل ۷- مقایسه پروفیل‌های سرعت حاصل از مدلسازی به ازای ارتفاع زبری‌های مختلف در راستای عمق در نقطه *P***

## ۵- بررسی مکانیزم‌های تبادل آب بین بندر و رودخانه

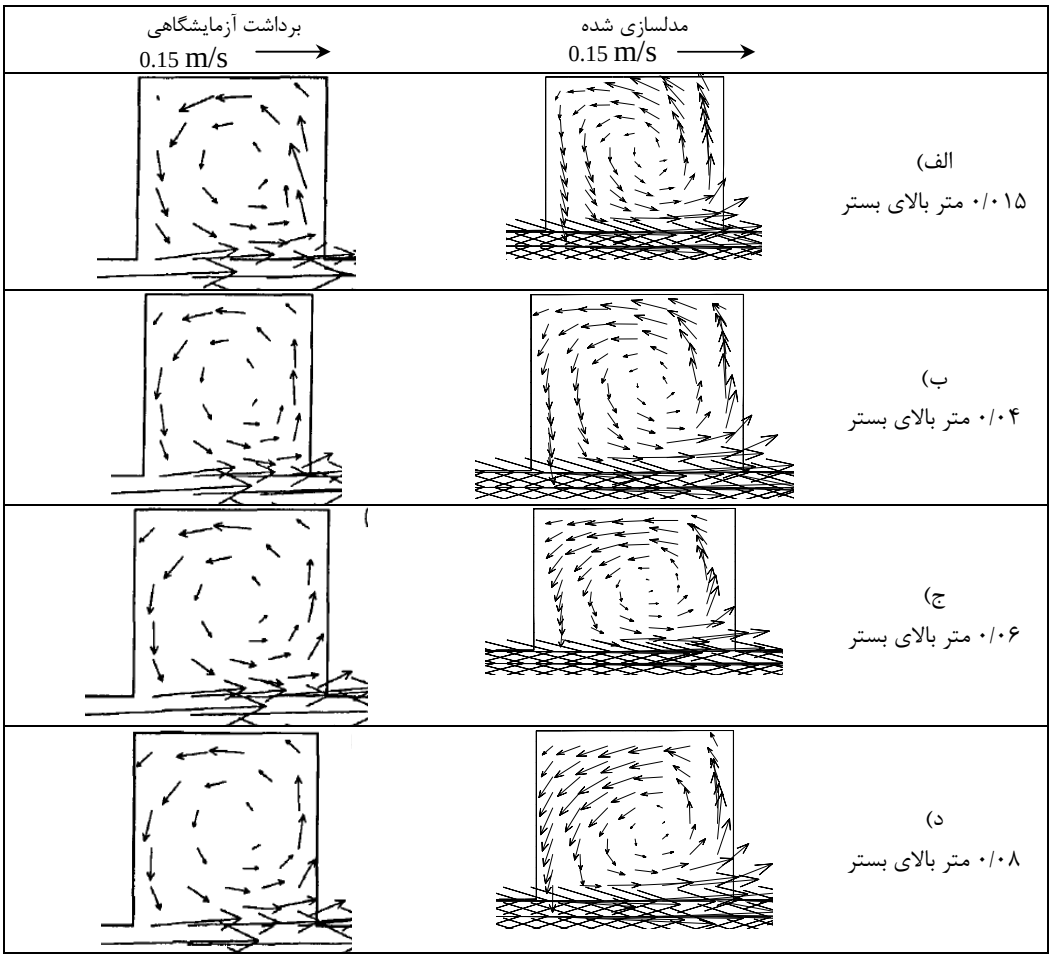
در شکل ۸ مقایسه الگوی جریان حاصله از نتایج آزمایشگاهی و مدلسازی عددی درون حوضچه در چهار عمق متفاوت نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود الگوی غالب جریان یک گردابه واحد است که تمام سطح بندر را در بر گرفته است. با توجه به شکل ۱ می‌توان علت شکل‌گیری این الگوی جریان و چگونگی تبادل آب بین بندر و رودخانه را تشریح کرد. سرعت جریان در رودخانه معمولاً بزرگتر از سرعت جریان در ورودی بندر است. اختلاف سرعت از جدایی جریان در رودخانه، در محل گوشه بالادستی ورودی بندر ناشی می‌شود (شکل ۱- ب). لایه برشی آزاد در محل گذر از رودخانه به ورودی بندر ناپایدار است و باعث تشکیل لایه اختلاط۲ می‌شود. با فرض اینکه سرعت جریان در رودخانه، در بیرون از لایه اختلاط ثابت است و سرعت جریان درون لایه اختلاط کمتر از سرعت جریان در رودخانه است، قانون بقای جرم ایجاب می‌کند که خط جریان جدا شده از گوشه بالادستی ورودی بندر به سمت داخل بندر باشد. بخشی از آب لایه اختلاط به درون رودخانه جریان می‌یابد و بخش دیگر در نقطه سکون۳ نزدیک گوشه پایین‌دست ورودی بندر، به درون بندر می‌رود (شکل ۱- ب). نقطه سکون جایی است که خط جریان جدا شده با دیوار پایین‌دست بندر برخورد می‌کند. محل نقطه سکون به وسیله مقدار آب رودخانه و آب بندر که وارد لایه

اختلاط می‌شود تعیین می‌شود. درون بندر یک جریان چرخشی، یک گردابه، در نتیجه ورود آب از بندر به داخل لایه اختلاط و در مقابل تغذیه آب از لایه اختلاط به بندر در محل دیوار جانبی پایین‌دست آن، تشکیل می‌شود. بنابراین برای انتقال ماده از رودخانه به بندر و در داخل خود بندر دو پدیده دارای اهمیت هستند: (۱) لایه اختلاط در گذر از بندر به رودخانه و (۲) گردابه در ورودی بندر.

مقایسه نتایج حاصله از برداشت آزمایشگاهی و مدلسازی عددی در شکل ۸ نمایشگر دقت و صحت کمی و کیفی مقادیر محاسباتی می باشد.

## ۶- بررسی تأثیر دیوار انحراف جریان روی رسوبگذاری درون بندر

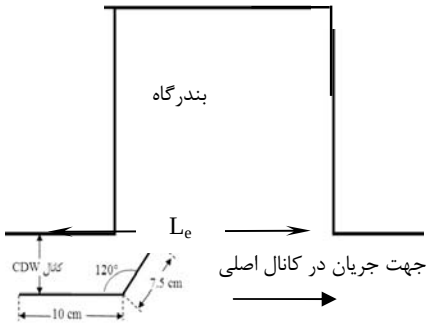
در این بخش با نصب یک CDW در ورودی بندر، تأثیر این سازه روی الگوی جریان در ورودی و رسوبگذاری درون حوضچه بندر بررسی می‌شود. در ادامه به بررسی اثر پارامترهای مختلف مانند طول دیوار، زاویه رأس دیوار و چرخش دیوار حول رأس روی عملکرد CDW پرداخته خواهد شد.




**شکل ۸- الگوی جریان چرخشی درون حوضچه بندر**

از آنجا که مدل آزمایشگاهی جهت بررسی هیدرودینامیک جریان و همچنین میزان رسوبگذاری در بندر با حضور دیوار انحراف جریان موجود نیست، لذا در این تحقیق به بررسی پارامترهای موثر و مقایسه آنها با حالت بدون حضور دیواره پرداخته شده است.

در شکل ۹ یک CDW با زاویه راس ۱۲۰ درجه و طول $0.175L_e$ در گوشه بالادست ورودی بندر نمایش داده شده است. $L_e$ عرض ورودی بندر و در اینجا برابر با ۱ متر می‌باشد. لذا طول دیواره ۱۷/۵ سانتیمتر خواهد بود.

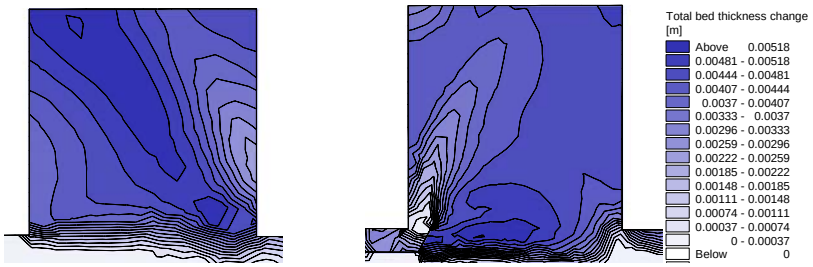



**شکل ۹- طرح شماتیک CDW در ورودی بندر**

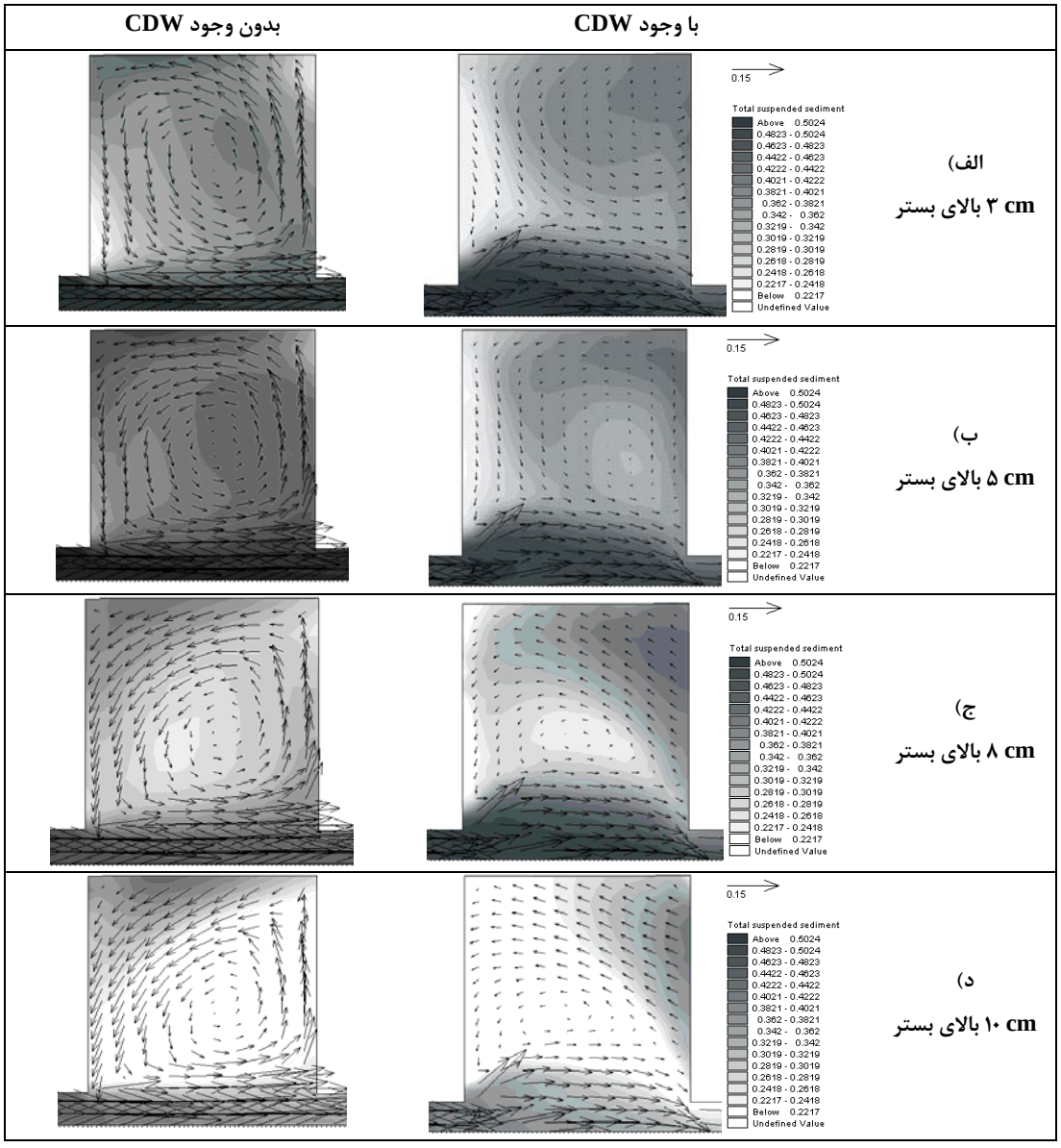
شکل ۱۰ الگوی رسوبگذاری درون حوضچه را قبل و بعد از نصب CDW نشان می‌دهند. این نتایج برای زمان ۳ ساعت مدلسازی ترسیم گردیده‌اند. حجم رسوبات ته‌نشین‌شده داخل حوضچه بعد از نصب CDW حدود ۱۳ درصد کمتر می‌شود. همچنین الگوی ته‌نشینی رسوبات داخل حوضچه نیز متفاوت از حالت ابتدایی است. در شکل ۱۱ الگوی جریان چرخشی و ورود رسوبات معلق به درون حوضچه در دو حالت قبل و بعد از نصب CDW در ورودی بندر نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود، CDW الگوی جریان در ورودی را به کلی تغییر می‌دهد.

عمده‌ترین تغییر ایجاد شده مربوط به حذف و یا به عبارتی تضعیف گردابه تشکیل‌شده درون حوضچه است. جریان اضافی خروجی از پشت CDW هنگام بازگشت به درون رودخانه باعث بیرون راندن لایه اختلاط به درون کانال اصلی شده و گردابه تشکیل‌شده درون حوضچه را تضعیف می‌کند. همچنین ملاحظه می‌شود که این جت خروجی در تمام ستون آب، به عنوان مانعی در مقابل ورود رسوبات معلق عمل می‌کند. در لایه‌های بالاتر ستون آب می‌توان یک گردابه در صفحه افقی را تشخیص داد. اما با مقایسه بردارهای سرعت در دو حالت مشخص می‌شود که این گردابه بسیار ضعیف‌تر از گردابه تشکیل‌شده در حالت بدون وجود CDW می‌باشد و به نظر نمی‌رسد تأثیر چندانی در تبادل جریان بین رودخانه و حوضچه داشته باشد. با توجه به شکل ۱۰-الف بیشترین مقدار رسوبگذاری در قسمت ورودی بندر و در ناحیه پشت CDW رخ می‌دهد. این موضوع با توجه به شکل ۱۲ مربوط به تشکیل یک گردابه در ناحیه پشت CDW می‌باشد. در قسمت پشت CDW بدلیل جدایی جریان از نوک دیوار یک ناحیه کم‌فشار ایجاد می‌شود که باعث ظهور یک گردابه در پشت CDW می‌شود که انتظار می‌رود بیشترین مقدار رسوبگذاری در این ناحیه رخ بدهد. پروفیل‌های عمقی در امتداد محور عرضی بندر نشان می‌دهند که بعد از نصب CDW، یک گردابه در صفحه قائم بوجود می‌آید که آب با غلظت کمتر رسوب را از لایه‌های بالایی به لایه‌های پایینی منتقل می‌کند و این موضوع می‌تواند به ته‌نشینی کمتر رسوبات معلق کمک کند (شکل ۱۲).

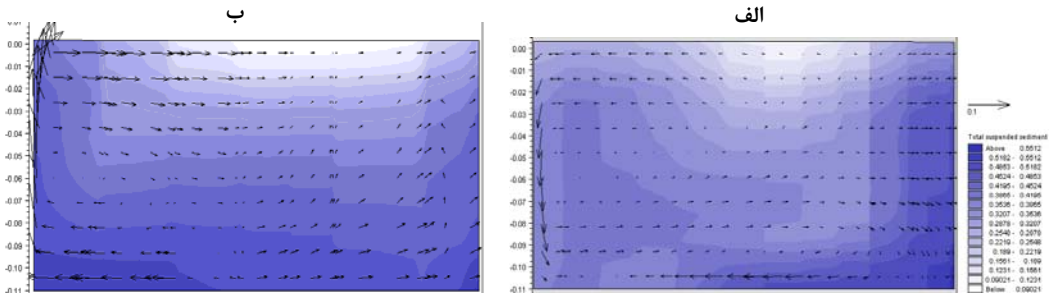
برآیند بحث فوق این است که CDW در مجموع در یک بندر رودخانه‌ای با جریان ماندگار باعث کاهش تبادل آب و رسوبات معلق بین بندر و رودخانه می‌شود و می‌تواند باعث کاهش رسوبگذاری درون حوضچه شود.



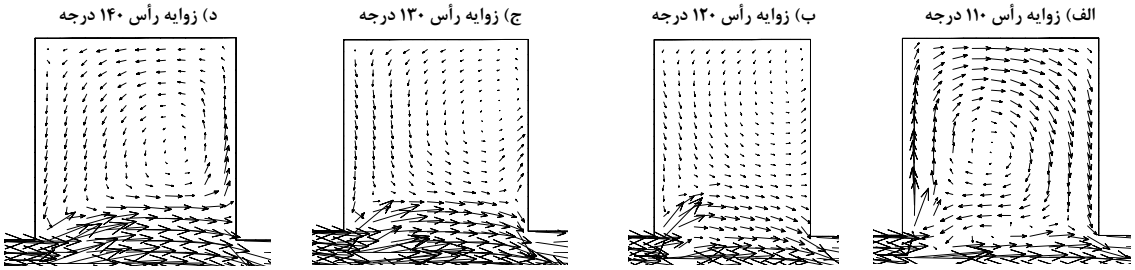

**شکل ۱۰- الگوی رسوبگذاری درون حوضچه بندر: الف) بعد از نصب CDW ب) قبل از نصب CDW**




**شکل ۱۱- الگوی جریان و ورود رسوبات معلق به درون حوضچه قبل و بعد از نصب CDW در ورودی در بندر**



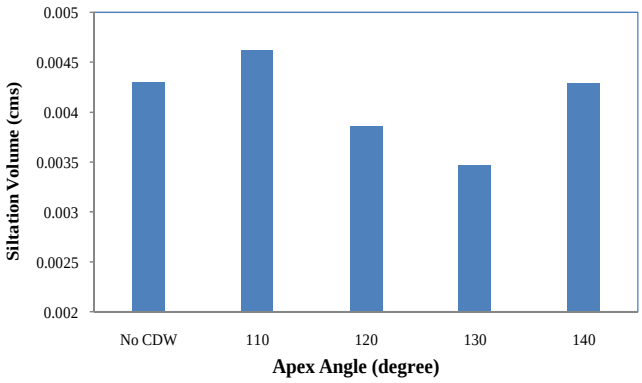

**شکل ۱۲- پروفیل عمقی غلظت رسوب و بردارهای جریان در صفحه قائم در امتداد محور عرضی بندر (y): الف) بعد از نصب CDW ب) قبل از نصب CDW**




**شکل ۱۳- الگوی جریان درون حوضچه در عمق ۳ سانتیمتر بالای بستر**

**۶-۱- تأثیر زاویه رأس دیوار روی عملکرد CDW**

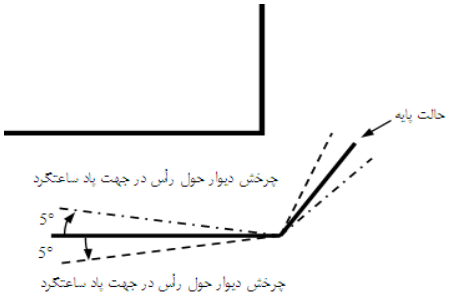
برای بررسی تأثیر زاویه رأس دیوار روی عملکرد CDW در کاهش ورود رسوبات معلق به درون حوضچه، چهار زاویه ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰ و ۱۴۰ درجه در نظر گرفته شد. شکل ۱۴ نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که زاویه رأس ۱۳۰ درجه منجر به کمترین میزان رسوبگذاری (۱۹/۳٪ کاهش رسوبگذاری) و زاویه رأس ۱۱۰ درجه منجر به بیشترین مقدار رسوبگذاری (۷/۵٪ افزایش رسوبگذاری) درون حوضچه بندر می‌شود. با توجه به شکل ۱۳- الف می‌توان این موضوع را بدینصورت توضیح داد که با زاویه رأس کوچکتر، جریان خروجی از پشت CDW بیشتر درون بندر متمرکز می‌شود و لذا رسوبات معلق بیشتری درون حوضچه وارد می‌شوند. همچنین با برخورد این جریان به دیوارهای داخلی حوضچه و کاهش سرعت آن، پتانسیل ته‌نشینی رسوبات معلق افزایش می‌یابد. اما در مورد دیوار با زاویه‌رأس ۱۳۰ درجه اینگونه نیست و جریان خروجی از پشت CDW به درون رودخانه برمی‌گردد و وظیفه خود را در ایجاد یک مانع برای ورود رسوبات به درون حوضچه به خوبی انجام می‌دهد (شکل ۱۳- ج). همچنین با زاویه رأس بازتر جدایی خطوط جریان از نوک دیوارِ مایل کمتر شده و ناحیه گردابی پشت دیوار ضعیف‌تر می‌شود و به تبع آن رسوبگذاری کمتری در آن ناحیه اتفاق می‌افتد. با توجه به روند کاهش رسوبگذاری از زاویه ۱۱۰ درجه تا ۱۳۰ درجه، انتظار می‌رود که برای زاویه ۱۴۰ درجه میزان رسوبگذاری کمتر باشد، اما ملاحظه می‌شود که برای زاویه رأس ۱۴۰ درجه میزان رسوبگذاری بسیار بیشتر از زاویه ۱۳۰ درجه است. دلیل این موضوع را با توجه به شکل ۱۳- د می‌توان اینگونه بیان کرد که قسمتی از جریان اضافی که از کانال CDW وارد حوضچه می‌شود با برخورد به دیوار جانبی پایین‌دست بندر، درون حوضچه متمرکز می‌شود و تشکیل یک گردابه نسبتاً قوی می‌دهد که رسوبات معلق را به درون خود می‌کشد و در نهایت باعث نشست رسوبات می‌گردد.




**شکل ۱۴- میزان رسوبگذاری درون حوضچه به ازای زاویه‌های رأس متفاوت برای CDW**

### ۶-۲- تأثیر چرخش دیـوار حـول رأس روی عملکـرد CDW

برای بررسی تأثیر پارامتر چرخش دیوار حول رأس روی عملکرد CDW سه حالت در نظر گرفته شده است. این سه حالت به ترتیب یک چرخش ۵ درجه‌ای در خلاف جهت عقربه‌های ساعت و دو چرخش ۵ و ۱۰ درجه‌ای در جهت عقربه‌های ساعت می‌باشند. در شکل ۱۵ چگونگی چرخش دیواره حول رأس بصورت شماتیک نشان داده شده است.



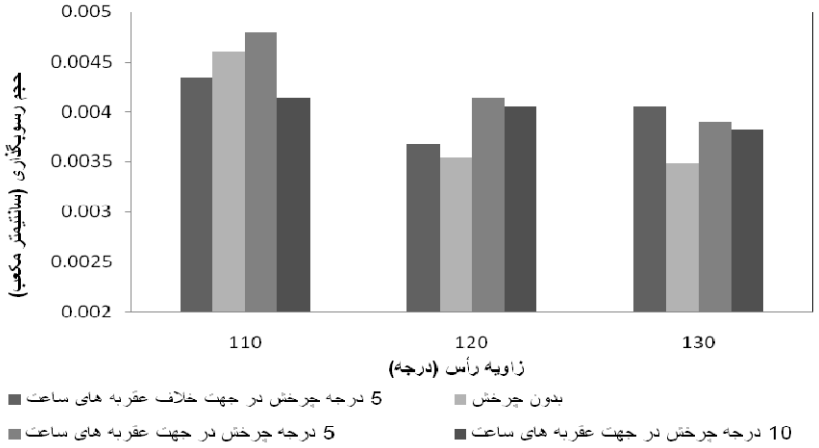

**شکل ۱۵- چگونگی چرخش دیواره حول رأس**

شکل ۱۶ نتایج این بررسی را نشان می‌دهند. آنچه که از این شکل استنباط می‌شود اینست که بجز در حالت با زاویه رأس ۱۱۰ درجه که در یک حالت خاص یعنی چرخش دیوار به اندازه ۱۰ درجه در جهت عقربه‌های ساعت، رسوبگذاری کم می‌شود، در مجموع چرخش دیوار روی عملکرد CDW در بندر رودخانه‌ای با جریان ماندگار چندان تأثیر مثبتی ندارد. با توجه به اینکه در جریان ماندگار رسوبات بطور پیوسته وارد سیستم می‌شود، این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که با چرخش دیوار در جهت پادساعتگرد جریان خروجی از پشت CDW بیشتر درون بندر متمرکز شده و دوباره باعث ایجاد یک گردابه قوی درون بندر می‌شود که عملاً با حالت بدون وجود CDW تفاوتی ندارد و حتی در بعضی موارد رسوبگذاری درون بندر را تشدید می‌کند. با چرخش دیوارها در جهت ساعتگرد، حجم جریان اضافی از پشت CDW کم می‌شود و لذا هنگام بازگشت به درون رودخانه قدرت لازم را برای بیرون راندن لایه اختلاط به درون رودخانه و جلوگیری از ورود رسوبات معلق به داخل حوضچه نخواهد داشت.

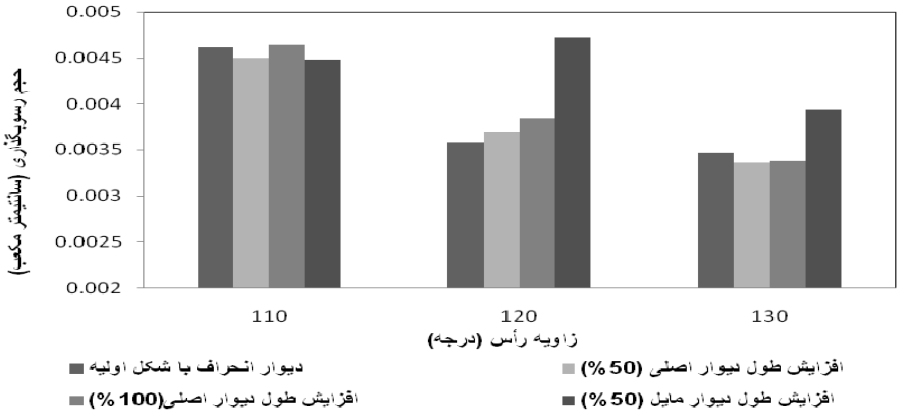
### ۶-۳- تأثیر طول دیوار روی عملکرد CDW

برای بررسی تأثیر افزایش طول CDW روی رسوبگذاری درون حوضچه ، طول هرکدام از دیوارهای اصلی و مایل به صورت جداگانه و به میزان ۵۰٪ افزایش داده شد. با افزایش طول دیوار اصلی (دیواری که به موازات رودخانه قرار گرفته است)، تغییر چندانی در میزان رسوبگذاری حاصل نمی‌شود (شکل ۱۷). این موضوع را می‌توان به این صورت تفسیر کرد که این دیوار تا زمانیکه موازی جهت جریان است صرفاً به عنوان یک تیغه برای جدا کردن جریان عمل می‌کند و

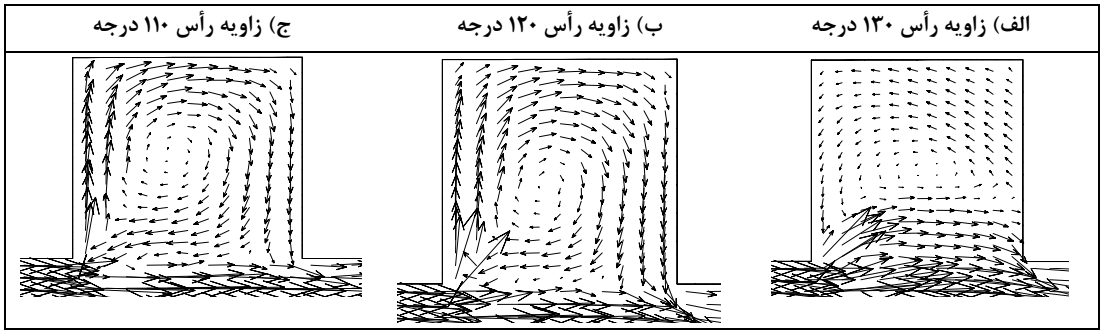
افزایش یا کاهش طول آن تأثیر چندانی در کارایی آن ندارد، اما به جهت بررسی بیشتر، طول این دیوار به میزان ۱۰۰٪ افزایش داده شد تا اثر آن بهتر دیده شود. همانطور که ملاحظه می‌شود با دو برابر کردن طول دیوار رسوبگذاری تا حدی بیشتر می‌شود. لذا در مجموع می‌توان گفت که افزایش طول دیوار اصلی تأثیر چندان مثبتی در کاهش رسوبگذاری ندارد و تنها منجر به افزایش هزینه‌ها خواهد شد. با افزایش طول دیوار مایل، میزان رسوبگذاری بیشتر است. این موضوع به این دلیل است که افزایش طول باعث می‌شود که جریان خروجی از پشت CDW بیشتر درون حوضچه متمرکز شده و از حوضچه خارج نشود و لذا وظیفه خود را در از بین بردن گردابه تشکیل شده در ورودی و همچنین جلوگیری از ایجاد جریان چگالی به خوبی انجام ندهد. الگوهای جریان در شکل ۱۸ این موضوع را تأیید می‌کند.



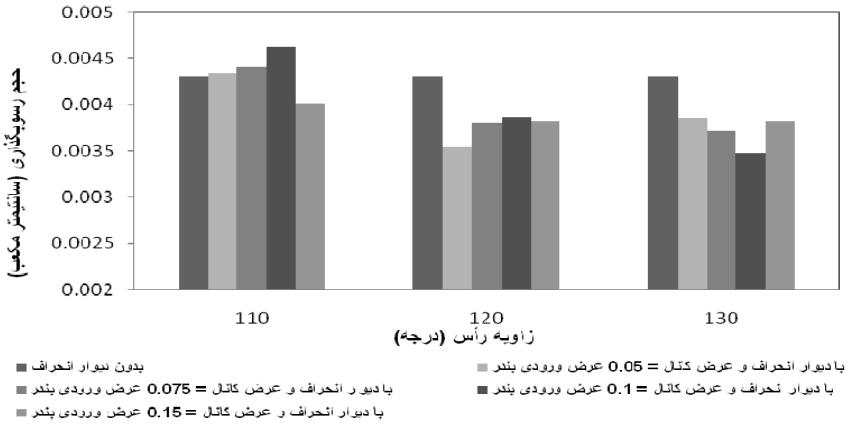

**شکل ۱۶- تأثیر چرخش دیوار حول رأس روی عملکرد CDW**




**شکل ۱۷- تأثیر افزایش طول دیوار اصلی روی عملکرد CDW**



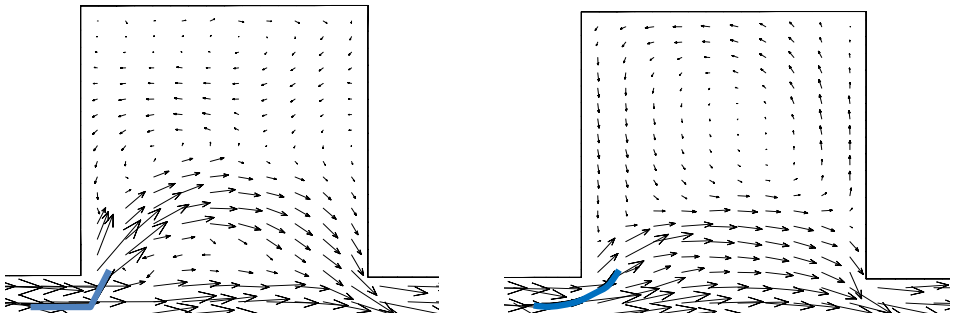

**شکل ۱۸- الگوی جریان درون بندر به ازای افزایش طول دیوار مایل**



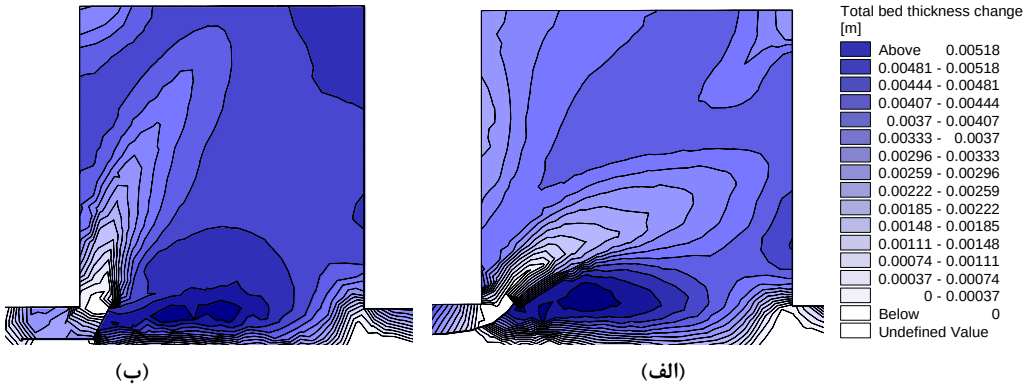

**شکل ۱۹- تأثیر عرض کانال CDW (فاصله بین دیوار و ساحل) روی عملکرد CDW**

**۶-۴- تأثیر عرض کانال CDW (فاصله بین CDW و ساحل) روی عملکرد CDW**

در این قسمت برای بررسی تأثیر عرض کانال CDW روی کاهش رسوبگذاری درون بندر، چهار مقدار $0.05L_e$، $0.075L_e$، $0.1L_e$ و $0.15L_e$ برای عرض کانال CDW در نظر گرفته شد. $L_e$ عرض ورودی بندر و برابر با یک متر می‌باشد، لذا عرض کانال CDW در این حالت‌ها به ترتیب ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ سانتیمتر خواهد بود. شکل ۱۹ نتایج را برای دیوارهای با زاویه‌های رأس متفاوت نشان می‌دهد. بیشترین میزان تأثیر این پارامتر روی کاهش یا افزایش عملکرد حدود (۱۸/۶۸) درصد و مربوط به کاهش میزان رسوبگذاری برای دیوار ۱۲۰ درجه با عرض کانال $0.05L_e$ نسبت به حالت ابتدایی (بدون CDW) می‌باشد. با کاهش فاصله، بدلیل کاهش حجم جریان اضافی از کانال CDW، رسوبگذاری کمتر از حالت ابتدایی (فاصله $0.1L_e$) می‌شود. یادآوری می‌شود که در اینجا عرض کانال CDW می‌توانست نسبت به عرض کانال اصلی بی‌بعد شود، اما واضح است که حجم جریان تبادلی بین بندر و رودخانه به عرض کانال CDW و همچنین عرض ورودی بندر بستگی داشته و به عرض کانال اصلی بستگی ندارد.




**شکل ۲۰- الگوی جریان در ورودی بندر: الف) CDW با دیوار منحنی، ب) CDW با دیوار مستقیم**




**شکل ۲۱- الگوی رسوبگذاری درون حوضچه بندر ، الف) CDW با دیوار منحنی ب) CDW با دیوار مستقیم**

### ۶-۵- تأثیر انحنای دیوار روی عملکرد CDW

همانطوری که در شکل (۱۸-الف) ملاحظه می‌شود در قسمت پشت CDW در جلوی ورودی بندر یک ناحیه گردابی تشکیل می‌شود. به همین دلیل بیشترین پشته رسوبگذاری در این ناحیه ایجاد می‌گردد. لذا باید به طریقی از ایجاد این ناحیه گردابی جلوگیری کرد. با توجه به اینکه این گردابه در اثر جدایی جریان از قسمت رأس CDW ایجاد می‌شود، می‌توان با انحنا دادن و هموار کردن قسمت رأس از جدایی جریان در این ناحیه جلوگیری به عمل آورد. شکل ۲۰- ب تأثیر انحنای دیوار را در جلوگیری از جدایی خطوط جریان و ایجاد ناحیه کم‌فشار در قسمت بیرونی CDW را به خوبی نشان می‌دهد. انحنای دیوار باعث بهبود عملکرد ۱۱ درصدی نسبت به حالت اصلی یعنی دیوارهای مستقیم می‌شود (شکل ۲۱).

## ۷- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه ابتدا مکانیسم‌های تبادل جریان بین بندر و رودخانه در حالت جریان ماندگار مورد بررسی قرار گرفتند. الگوی غالب جریان در بندر یک گردابه واحد است که تمام سطح بندر را در بر می‌گیرد. مکانیزم تبادل اصلی در این حالت نفوذ افقی از طریق لایه اختلاط ایجاد شده بین بندر و رودخانه است. در قدم بعدی تأثیر وجود سازه دیوار انحراف جریان روی الگوی جریان و در نتیجه روی رسوبگذاری درون حوضچه بندر بررسی گردید.

پر واضح است که هندسه بندر و دانه‌بندی رسوبات از عوامل تعیین‌کننده الگوی رسوبگذاری درون حوضچه می‌باشند. در این تحقیق از هندسه بندر و دانه‌بندی رسوب ثابت استفاده شده است. البته ذکر این نکته لازم به نظر می رسد که استفاده از دیوار انحراف جریان در

واقع روشی برای تغییر هندسه ورودی بندر و در نتیجه اصلاح هندسه بندراست.

نتایج تحقیق را در مورد وجود جریان ماندگار در کانال اصلی می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- CDW با تغییر الگوی جریان در ورودی می‌تواند باعث کاهش تبادل جریان بین بندر و رودخانه شود.
- زاویه رأس روی عملکرد CDW تأثیر دارد و زاویه‌های رأس بازتر منجر به رسوبگذاری کمتری درون حوضچه می‌شوند.
- فاصله بین دیوار و ساحل پارامتری بسیار مهم است و باید با آزمایش مقدار بهینه آن تعیین شود. این پارامتر با زاویه رأس ارتباط دارد. به گونه‌ای که در بررسی تأثیر زاویه رأس، زاویه ۱۳۰ درجه رسوبگذاری کمتری را نشان داد در حالیکه با تغییر فاصله دیوار از ساحل، CDW با زاویه رأس ۱۲۰ درجه و فاصله $0.05L_e$ عملکرد بهتری را نسبت به CDW با زاویه ۱۳۰ درجه نشان داد.
- با چرخش CDW با زاویه رأس ۱۲۰ درجه در جهت پادساعتگرد رسوبگذاری به طرز قابل توجهی کم می‌شود. اما در تمامی حالت‌ها چرخش در جهت ساعتگرد به افزایش رسوبگذاری نسبت به حالت بدون چرخش منجر می‌شود.
- افزایش طول دیوار تأثیر چندان مثبتی در کاهش رسوبگذاری ندارد و باتوجه به هزینه‌های طرح باید با دقت تعیین شود.
- انحنای دیوار تأثیر بسیار مهمی در جلوگیری از جدایی جریان و ایجاد گردابه در ناحیه پشت CDW در جلوی ورودی بندر دارد. با استفاده از دیوار منحنی به جای دیوار مستقیم، میزان رسوبگذاری ۱۱ درصد کاهش پیدا می‌کند.

با توجه به موارد فوق یک دیوار منحنی‌با طول $0.175L_e$ یعنی ۱۷/۵ سانتیمتر و با زاویه رأس ۱۳۰ درجه و با فاصله $0.1L_e$ یعنی ۱۰ سانتیمتر از ساحل به عنوان بهترین گزینه در این حالت شناخته شد. این پروفیل از CDW در نهایت منجر به حدود ۳۰ درصد کاهش رسوبگذاری درون حوضچه می‌شود.

**کلید واژگان**

1-Current Deflecting Wall
2-Mixing layer
3-Stagnation Point

## ۸- مراجع

1-Cristiansen, H., (1989), Flow Modification at the Bifurcation of a Branch Channel from a Main Channel Carrying a Water Flow. United States of America Patent 4,88,917. December 5.

2-Winterwerp, J.C., Eysink, W.D., Kruiningen, F.W., Christiansen, H., Kirby, R. and Smith, T.J., (1994), The current deflecting wall: A device to Minimise Harbor Siltation., Dock Harbour Auth. 74, no. 849 : 243–247.

3-Hofland, B., Christiansen, H., Crowder, R.A., Kirby, R., Van Leeuwen, C.W., and Winterwerp, J.C., (2001), The Current Defflection Wall in an Estuarine Harbour., *XXIX IAHR Congress.* Beiging, China, 613-621.

4-Kuijper, C., Christiansen, H., Comelisse, M.J., and Winterwerp, J.C., (2005), Reducing Harbor Siltation. II: Case Study of Parkhafen in Hamburg. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* (ASCE), 267-276.

5-Stoschek, O., Matheja, A., Geils, J., and Zimmerman., C., (2003), Dredging Alternatives- The Current Defflectin Wall Minimizing Dredging Activities in Harbours. *CEDA Dredging* . Amsterdam, Netherlands.

6-Ditschke, D., and Markofsky, M., (2003), Optimization of a Structure to Reduce Sedimentation in an Estuarian Harbor., *COPEDEC VI.* Colombo, Sri Lannka.

7-Rodriguez, J. and Castillo, T., (2008), The use of pile groynes to reduce sedimentation exchange. MSc Thesis, Delft university of technology.

8-Kerner, Martin. (2007), Effects of deepening the Elbe Estuary on sediment regime and water quality. Estuarian, Coastal and shelf science (75) 492-500.

9-Langendoen, E. J. (1992), Flow Patterns and Transport of Dissolved Matters in Tidal

Harbours., Phd Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
10-Danish Hydraulic Institute – DHI, (2007), MIKE 3: Sediment transport, Mud Transport Module Scientific Ducumentation, Horsholm, Denmark.

11-Matheja, A., stoschek, O., Geils, J., & Zimmermann, C., (2003), Effects of a Current Defflection Wall in a Tidal Harbour Entrance. *COPEDEC VI.* Colombo, Sri lanka.