

## معرفی روش جدید جداساز رسوب بندمانند در کاهش رسوبگذاری مخازن سدها

رضا پیشگر<sup>1</sup>، علیرضا کشاورزی<sup>2\*</sup>

1- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شیراز

2- استاد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

\* شیراز، منطقه باجگاه، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

Keshavrz@shirazu.ac.ir

**چکیده-** در این مقاله روشی جدید برای کاهش مسأله رسوبگذاری مخازن معرفی می‌شود و کارایی آن بررسی می‌شود. این روش شامل سازه‌ای خودپالا با عملکرد دائمی است که شبیه بند کوتاه بوده و در عرض رودخانه منتهی به سد احداث می‌شود. سازه ارائه شده، با نام جداساز رسوب بندمانند، رسوبات معلق جریان آب رودخانه‌ها در بالادست مخازن سدها را توسط یک بازشدگی (دریچه) میانی جدا می‌کند و مانع ورود آن به مخزن می‌شود. در این تحقیق، با استفاده از آزمایش‌های آزمایشگاهی، عملکرد روش جداساز رسوب معرفی شده در سه دبی ورودی، سه ارتفاع نسبی بازشدگی میانی و سه نسبت دبی خروجی به ورودی 0/1، 0/2 و 0/3 بررسی شد. نتایج نشان داد؛ (1) افزایش ارتفاع بازشدگی میانی موجب افزایش عملکرد مدل می‌شود، (2) با افزایش نسبت دبی خروجی به ورودی، عملکرد مدل افزایش می‌یابد، اما از غلظت جریان خروجی کاسته می‌شود. از این رو، بین سه نسبت دبی، نسبت دبی 0/2 نسبت دبی بهینه است، زیرا ضمن عملکرد مناسب، دارای اتلاف آب 20 درصد می‌باشد، (3) حداکثر کارایی روش معرفی شده حدود 40 درصد است و عملکرد متوسط روش برای نسبت دبی 0/2 حدود 26 درصد است. بنابراین، روش جدید جداساز رسوب بندمانند در مقایسه با روش‌های رایج کاهش مسأله رسوبگذاری مخازن، مانند رهاسازی جریان گل‌آلود که دارای عملکرد غالب 20 درصد است، کارایی مؤثری دارد.

**کلیدواژگان:** بار معلق، جداسازی، راندمان، رسوبگذاری مخازن، روش جدید.

### 1- مقدمه

سرعت و ظرفیت حمل رسوبات جریان، رژیم رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تأثیر سبب می‌شود حجم عظیمی از رسوبات در مخزن ته‌نشین شوند و از حجم مفید مخزن بکاهند. در مناطق خشک و نیمه خشک، بخاطر ضعف پوشش گیاهی، در بارش‌ها فرسایش خاک

سدهای مخزنی از روش‌های رایج ذخیره آب برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعتی در همه کشورها، خصوصاً کشورهای دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشند. احداث سد در عرض رودخانه، از طریق کاهش

Verstraeten et al. (2003) با بررسی تغییرات رسوبدهی ویژه 22 حوزه آبخیز مخازن در کشور اسپانیا نتیجه گرفتند که مساحت تنها توضیح دهنده 17 درصد از تغییرات رسوب ویژه حوزه‌ها می‌باشد و 78 درصد تغییرات رسوبدهی حوزه‌ها به 5 عامل ناهمواری، پوشش گیاهی، شکل، سنگ‌شناسی و حضور آبراهه‌های فرسایش یافته گالی در حوزه‌ها اختصاص دارد.

روش‌های زیادی توسط محققان مختلف برای استفاده پایدار از ظرفیت ذخیره مخازن سدها ارائه شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برخی از این روش‌ها موجب نگهداشت رسوب در سطح حوزه آبخیز می‌شوند.

Heede (1976) از جمله افرادی بود که روی این روش‌ها کار کرد و برای کنترل شیب توصیه کرد از تعداد زیادی بندهای کوتاه با ارتفاع کمتر از 0/5 متر با فاصله‌ای که تراز کف بند 1 با شیب مناسب بند 2 را در تراز فوقانی آن قطع کند استفاده شود. احداث کانال‌های کنارگذر<sup>1</sup> برای عبور جریان‌های پرسوب از دیگر روش‌ها می‌باشد. عبور جریان پرسوب از کنارگذر در سد ناگل<sup>2</sup> آفریقای جنوبی توسط Annandale (1987) گزارش شد. دریاچه سد ناگل در محدوده مئاندر رودخانه قرار دارد و سیلاب از کانالی که خم مئاندر را به هم متصل می‌کند به پایین دست منتقل می‌شود. دریاچه‌های سیلاب بصورت عادی بسته بودند و در مواقع جریان‌های پرسوب باز می‌شدند. این روش هم برای بار معلق و هم برای بار بستر بکار می‌رفت. همچنین این روش در سد هوکو<sup>3</sup> در تایوان نیز بکار رفت Hwang (1985). مخازن خارج از مسیر<sup>4</sup> نیز از دیگر روش‌های کنترل رسوب ورودی به مخازن است که آب آن از رودخانه‌ها آگیری می‌شود. Wu (1991) گزارش کرد که مخازن سان‌مون<sup>5</sup> و کورال‌لیک<sup>6</sup> کشور تایوان

بیشتر و کاهش عمر مفید مخازن شدیدتر است. همچنین یافتن مکانی مناسب برای احداث سد مخزنی جدید که قابلیت ذخیره میزان قابل توجهی آب را همراه با شرایط مناسب ژئوتکنیکی و هیدرولوژیکی داشته باشد، بسیار مشکل و رو به کاهش است. از این‌رو، رسوبگذاری و کاهش حجم مخازن به‌عنوان یک مشکل مهندسی و زیست‌محیطی مطرح است.

مجموع ذخیره مخازن سدها در سطح جهان در حدود 700 میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود که از این مقدار سالانه به طور میانگین بین 0/5 تا 1 درصد به علت رسوبگذاری از دست می‌رود (Jacobsen, 2009).

جدول 1 متوسط نرخ رسوبگذاری مخازن سدها در برخی کشورها را نشان می‌دهد. محدوده نرخ رسوبگذاری سالانه در ایران 0/55 تا 0/75 درصد تخمین زده شد (Imanshoar et al., 2009).

در کشور ایران، طبق آمار وزارت نیرو در انتهای سال آبی 1390-1391، تعداد 320 سد با مجموع حجم مخزنی حدود 42/6 میلیارد متر مکعب در حال بهره‌برداری بود (بی‌نام، 1391). با احتساب مجموع حجم مخازن 42/6 میلیارد مترمکعب و نرخ رسوبگذاری متوسط 0/65 درصد در ایران، سالانه معادل 277 میلیون مترمکعب رسوب وارد سدهای کشور می‌شوند.

جدول 1 متوسط رسوبگذاری سالانه در مخازن سدها

در برخی کشورها (Jacobsen, 2009)

کشور	متوسط نرخ رسوبگذاری سالانه، %
چین	2/3
ترکیه	1/5
هندوستان	0/72
ایران	0/65
مراکش	0/45
آمریکا	0/22
ژاپن	0/15

1. Bypass Channels
2. Nagle
3. Ho-Ku
4. Off Stream Reservoirs
5. Sun Moon
6. Coral Lake

آبستگی افزایش می‌یابد و موجب فرسایش ذرات با فاصله بیشتری از خروجی شده و در نتیجه حجم رسوبات رها شده را نیز افزایش می‌دهد. در کنار روش‌های بالا، لایروبی مکانیکی<sup>3</sup> رسوبات، از جمله روش‌هایی است که به‌عنوان گزینه آخر برای حل مسأله رسوبگذاری بکار می‌رود.

با وجود روش‌های متعدد موجود، هر یک از این روش‌ها در شرایط خاصی قابلیت انجام دارند و هدررفت آب، ایجاد وقفه در بهره‌برداری و هزینه‌ای که در برخی روش‌ها وجود دارد، کاربرد آن‌ها را نیز بسیار محدود کرده است. با وجود استفاده ترکیبی از روش‌های فوق برای کاهش مسأله رسوبگذاری، رسوب مخازن همچنان به‌عنوان مشکل مطرح است و نیاز جدی به مطالعه روش‌های کارتر را آشکار می‌سازد. سیدی (1387) مدل جدیدی را مورد بررسی قرار داد که کارکرد آن جداسازی بار معلق در آبراه‌ها بود. مدل ارائه شده شبیه یک بند کوتاه در آبراهه عمل می‌کرد و دارای یک بازشدگی برای جداسازی بار معلق بود. وی با انجام چندین آزمایش بر نتیجه گرفت که افزایش دبی ورودی ابتدا اثر افزایشی بر نسبت غلظت جریان بازشدگی میانی و جریان اصلی دارد و سپس اثر کاهشی دارد. وی بیان کرد، از بین سه دبی جریان اصلی 15، 20 و 25 لیتر بر ثانیه، نسبت غلظت‌ها در دبی 20 لیتر بر ثانیه حداکثر است.

این مطالعه، روش بکار رفته توسط سیدی (1387) را توسعه داده است و بصورت کلی یک روش جدید جداسازی بار معلق را ارائه نموده است. این روش شامل سازه‌ای با نام جداساز رسوب بندمانند<sup>4</sup> است. این سازه شبیه بند بوده و از طریق بازشدگی میانی رسوبات معلق را از جریان آب بالادست سدها جدا می‌کند. در این مطالعه، عملکرد روش در شرایط مختلف دبی ورودی، دبی خروجی و اندازه بازشدگی بار معلق (میانی) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بصورت خارج از مسیر آبیگری می‌شوند. آب مخزن سان‌مون توسط 49/5 درصد از کل جریان یک آبراهه به همراه تنها 3/5 درصد از رسوبات تأمین می‌شود، و مخزن کورال‌لیک با 29/6 درصد از جریان یک آبراهه با 12/2 از رسوبات آن آبراهه تأمین می‌شود. تخلیه جریان‌های گل-آلود<sup>1</sup> که موجب رهاسازی جریان‌های سیلابی چگال از طریق دریچه تخلیه تحتانی می‌شود، نیز از دیگر روش‌های کنترل رسوب می‌باشد. Fan (1986) بر اساس داده‌های میدانی رابطه‌ای نه چندان دقیق برای پیش‌بینی حداکثر قطر ذرات حمل شونده توسط جریان گل‌آلود ارائه کرد. Tolouie (1993) گزارش کرد که رسوبات حمل شده توسط جریان گل‌آلود در سد سفید رود بزرگتر از ذرات گزارش شده در سدهای کشور چین می‌باشد. Zhao yin and Chunhong (2009) بیان کردند راندمان روش رهاسازی جریان گل‌آلود معمولاً حدود 20 درصد است. روش آبشویی<sup>2</sup> که موجب خروج رسوبات نزدیک سد از دریچه‌های تحتانی می‌شود و به دو صورت آزاد و تحت فشار رایج است، از دیگر روش‌های پرکاربرد است. Talebbeydokhti and Naghshineh (2004) مخزنی یک بعدی را در یک فلوم مدل کرده و با استفاده از ذرات پلیمر (شبیه‌سازی ذرات بسیار ریز و غیرچسبنده) عملیات آبشویی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌های آنها نشان داد که آبشویی رسوبات به شدت با نرخ جریان خروجی، شیب سطح آب با مقطع سد، و عرض کانال آبشویی ارتباط دارد.

Meshkati et al. (2010) نیز تأثیر سطح مقطع خروجی تحتانی بر ابعاد حفره آبستگی را، در عمق‌های مختلف آب بالای خروجی و دبی‌های مختلف خروجی، بصورت آزمایشگاهی بررسی کردند. نتیجه نشان داد که حجم و ابعاد حفره آبستگی وابستگی زیادی به قطر خروجی تحتانی دارند و با افزایش قطر خروجی تحتانی ابعاد حفره

3. Mechanical Dredging

4. Dam-Type Sediment Excluder (DTSE)

1. Density Currents

2. Flushing

## 2- روش تحقیق

### 1-2- معرفی سازه جداساز رسوب بندمانند

سازه جداساز رسوب بندمانند سازه‌ای خودپالا با عملکرد دائمی است که شبیه بند کوتاه بوده، در عرض رودخانه منتهی به مخازن سدها احداث می‌شود و برای جداسازی بار معلق بکار می‌رود. شکل کلی سازه ارائه شده در این تحقیق شبیه جداساز رسوب تونلی<sup>1</sup> است، با این تفاوت که جداساز رسوب تونلی برای جداسازی بار بستر بکار می‌رود و غالباً در مجاری مصنوعی و درکف کانال‌ها نصب می‌شود، در حالی که مدل حاضر بار معلق را جدا می‌کند و کانال تخلیه رسوب بر روی سازه‌ای که شبیه به بند است، نصب می‌شود.

### 2-2- چگونگی ساز و کار سازه جداساز رسوب بندمانند

فن راین (1993) شکل 1 را برای انتقال بار معلق در ترازهای مختلف جریان از کف بستر ارائه کرد. در شکل 1 حالت کلی پروفیل لگاریتمی سرعت و پروفیل سهموی<sup>2</sup> بار رسوبات، به ترتیب، از سمت چپ به تصویر کشیده شده است. پروفیل سهموی بار رسوبات به پروفیل غلظت رز<sup>3</sup> معروف است و بر اساس مدل‌های پخشیدگی<sup>4</sup> ذرات بدست آمده است. پروفیل سوم از سمت چپ حاصلضرب پروفیل‌های سرعت و غلظت است که بار عبوری در عمق را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود اگرچه غلظت بار رسوبات از سطح آب به کف آبراهه افزایش می‌یابد، اما بخاطر اینکه سرعت جریان دارای روندی عکس است، در مجموع بیشترین میزان بار رسوبی در بستر حمل نمی‌شود، بلکه از بخش میانی و متمایل به جریان کف انتقال می‌یابد.

ایده تحقیق حاضر نیز از مفاهیم پروفیل‌های ارائه شده در شکل 1 بدست آمده است. به‌نوعی در این مطالعه سعی

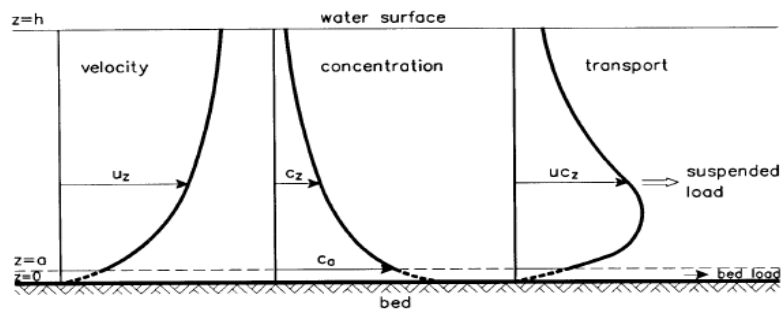
شده بازشدگی میانی در مقابل تراز از جریان که حامل بیشترین بار رسوبات عبوری (بار معلق) است، قرار گیرد. ساز و کار سازه جداساز رسوب بندمانند بصورت شماتیک در شکل 2 نشان داده شده است. همانطور که گفته شد سازه جداساز رسوب بندمانند در رودخانه‌های منتهی به سد مخزنی بکار می‌رود و محل احداث سازه مورد نظر در کل یا بخشی از عرض رودخانه، قبل از دریاچه مخزن سد و در تراز بالاتر از تراز حداکثر بهره‌برداری مخزن می‌باشد. در آبراهه‌ها مواقعی که جریان حاوی رسوبات است، با رسیدن پروفیل بار رسوبات به سازه جداساز رسوب، مواد رسوبی که روی بستر و در نزدیکی بستر حمل می‌شوند، توسط بازشدگی کف عبور می‌کنند و ضخامتی از پروفیل بار معلق که روبروی بازشدگی میانی قرار می‌گیرد، همراه دبی نظیر، تله‌اندازی و از مسیر جریان اصلی خارج می‌شود. بخش سوم رسوبات که در قست فوقانی بدنه جریان در حال عبور هستند و امکان ورود به بازشدگی میانی را نمی‌یابند، به‌همراه جریان از روی سازه سرریز می‌شوند و به جریان عبور کرده از کف، در پائین‌دست آبراهه، می‌پیوندند. تنها بخش میانی جریان که دارای بار معلق و طبق نظر فن‌راین (1993) حامل بیشترین مقدار بار عبوری است، توسط بازشدگی میانی تله‌اندازی و خارج می‌شوند. جریان تله‌اندازی شده از بازشدگی میانی نیز توسط گالری تخلیه به کناره آبراهه منحرف شده، و پس از برداشتن رسوبات آن، آب صاف می‌تواند به سمت مخزن هدایت شود.

### 3-2- ویژگی‌های سازه جداساز رسوب بندمانند

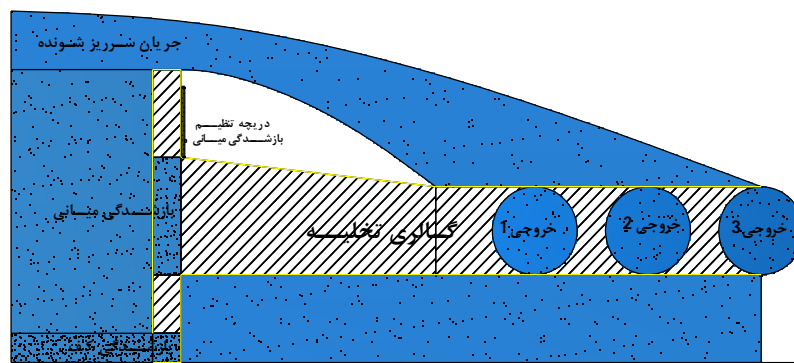
#### 1-3-2- خودپالایی و حفظ پروفیل بار معلق

مدل سازه جداساز رسوب بندمانند به‌گونه‌ای طراحی شده است که بتواند حداکثر بار معلق عبوری را تله‌اندازی کرده و از مسیر رودخانه خارج سازد و در مقابل به رسوباتی که در نزدیکی بستر حرکت می‌کنند (شامل بار معلق و بار بستر) اجازه عبور دهد تا 2 هدف را تأمین سازد؛

1. Tunnel Type Sediment Excluder
2. Parabolic
3. Rouse Concentration Profile
4. Diffusion Models



شکل 1 حالت کلی انتقال بار معلق (van Rijn, 1993)



شکل 2 نمای شماتیک نحوه عملکرد سازه جداساز رسوب بندمانند، دید از جانب

رفته‌رفته ذرات رسوب در بالادست مدل تشکیل لایه‌های رسوبی را می‌دهند و تا تراز بازشدگی میانی بالا می‌آیند و موجب می‌شود تراز بازشدگی میانی نسبت به کف رودخانه صفر شود. در نتیجه رسوبات بستر و درشت‌دانه وارد سازه رسوبگیر می‌شوند، در حالی که این سازه برای جداسازی بار معلق طراحی شده است و قدرت تخلیه رسوبات درشت‌دانه را ندارد. از این رو، در طراحی سعی شده است با ثابت نگه داشتن تراز کف رودخانه توسط بازشدگی کف و عبور آب از سه ناحیه تحتانی، میانی و فوقانی سازه، اثر سازه بر پروفیل انتقال رسوبات حداقل شده و پروفیل اولیه بار معلق حفظ شود.

### 2-3-2- قابلیت تنظیم بازشدگی میانی و انطباق با شرایط مختلف جریان رودخانه‌ای

یکی دیگر از ویژگی‌های سازه جداساز رسوب بندمانند قابلیت تنظیم بازشدگی میانی است. قابلیت تنظیم

(1) از ته‌نشینی رسوبات در بالادست مدل ممانعت کند (خودپالایی)، و (2) با جلوگیری از پس‌زدگی جریان ناشی از بند، تأثیر بند را بر پروفیل بار معلق عبوری حداقل کند. این دو هدف توسط بازشدگی کف تأمین می‌شود. بازشدگی کف همواره بخش زیادی از جریان را همراه با رسوباتی که در نزدیکی بستر حمل می‌شوند عبور می‌دهد و موجب می‌شود رسوبات اندکی در بالادست مدل ته‌نشین شود. رسوبات ته‌نشین شده نیز در سیلاب‌ها شسته شده و از بازشدگی کف تخلیه می‌شوند (خودپالایی). همچنین اساس طرح سازه معرفی شده، بر جداسازی رسوب در تراز از بستر است که حداکثر بار معلق عبوری وجود دارد. این امر مستلزم آن است که جریان در نزدیکی به سازه، پروفیل بار معلق خود را در عمق حفظ کند، در حالی که، سازه انسداد شدید در جریان ایجاد می‌کند و موجب برهم‌زدن پروفیل پایدار بار معلق می‌شود. همچنین، در صورت نبود بازشدگی کف،

پارامترهای بی‌بعد زیر استخراج می‌شوند:

$$f \left\{ \frac{gH^5}{Q_{in}^2}, \frac{\mu H}{\rho Q_{in}}, \frac{C_{in}}{\rho}, \frac{Q_{DTSE}}{Q_{in}}, \frac{C_{DTSE}}{\rho}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{d_{50}}{H}, \frac{d}{H}, \frac{D}{H}, \frac{b_1}{H}, \frac{b_2}{H}, \frac{h}{H}, \frac{H_0}{H}, \frac{B_0}{H}, S \right\} = 0 \quad (2)$$

در پارامترهای فوق  $gH^5/Q_{in}^2$  نسبت نیروی اینرسی به ثقل یا عکس عدد فرود جریان بالادست مدل، پارامتر  $\mu H/\rho Q_{in}$  نسبت نیروی اینرسی به لزوجت یا عکس عدد رینولدز جریان بالادست مدل می‌باشد. در این تحقیق محدوده عدد رینولدز و عدد فرود جریان بالادست، به ترتیب،  $10^5 \times 2/5 - 1/5$  (جریان آشفته) و  $0/032 - 0/011$  می‌باشند. در این مقاله اثر تغییرات پارامترهای  $D/H$  و  $Q_{DTSE}/Q_{in}$  بر عملکرد مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد، از این رو، جزء متغیرهای مستقل تحقیق می‌باشند.

### 5-2- تعریف عملکرد مدل

عملکرد مدل جداساز رسوب بندمانند عبارتست از نسبت جرم رسوبات خارج شده توسط بازشدگی میانی به جرم رسوبات کل تزریق شده به جریان:

$$\eta = \frac{\dot{m}_{DTSE}}{\dot{m}_{in}} = \frac{Q_{DTSE} C_{DTSE}}{Q_{in} C_{in}} \quad (3)$$

در معادله فوق  $\eta$  راندمان مدل،  $\dot{m}_{in}$  جرم کل ورودی به جریان،  $\dot{m}_{DTSE}$  جرم خارج شده از بازشدگی میانی می‌باشد.

بازشدگی میانی این امکان را می‌دهد که در شرایط مختلف جریان رودخانه و سیلابی بتوان بازشدگی را در حالت بهینه تنظیم کرد تا حداکثر رسوبات خارج شود.

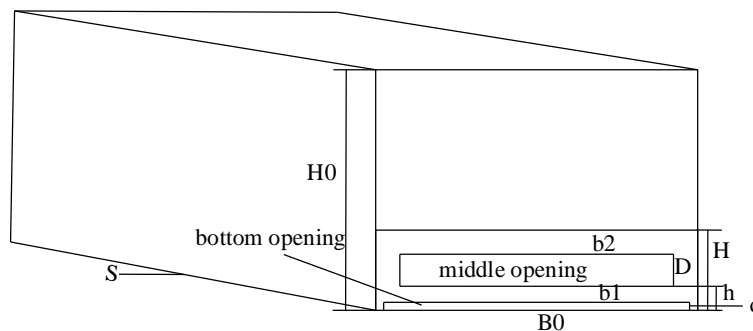
### 4-2- تحلیل ابعادی

پارامترهای مؤثر در عملکرد روش عبارتند از: شتاب ثقل،  $g$ ، پارامترهای سیال شامل دانسیته سیال،  $\rho$  و لزوجت دینامیک سیال،  $\mu$ ، پارامترهای جریان شامل دبی جریان بالادست مدل،  $Q_{in}$ ، غلظت جریان بالادست مدل،  $C_{in}$ ، دبی جریان خروجی از بازشدگی میانی،  $Q_{DTSE}$  و غلظت جریان خروجی از بازشدگی میانی،  $C_{DTSE}$ ، پارامترهای رسوبی شامل دانسیته نسبی ذرات،  $\rho_s$  و قطر متوسط ذرات،  $d_{50}$  و پارامترهای مدل جداساز رسوب بندمانند شامل ارتفاع کل سازه،  $H$ ، ارتفاع بازشدگی کف،  $d$ ، ارتفاع بازشدگی میانی،  $D$ ، عرض بازشدگی کف،  $b_1$ ، عرض بازشدگی میانی،  $b_2$ ، تراز لبه پایین بازشدگی میانی نسبت به کف فلوم،  $h$ ، پارامترهای فلوم شامل ارتفاع،  $H_0$ ، عرض  $B_0$  و شیب کف  $S$  (شکل 3).

با توجه به پارامترهای مشخصه خواهیم داشت:

$$f(g, \rho, \mu, Q_{in}, C_{in}, Q_{DTSE}, C_{DTSE}, \rho_s, d_{50}, H, d, D, b_1, b_2, h, H_0, B_0, S) = 0 \quad (1)$$

با انجام تحلیل ابعادی به روش پی-باکینگهام و انتخاب سه متغیر  $\rho, Q_{in}, H$  به عنوان متغیرهای تکراری،



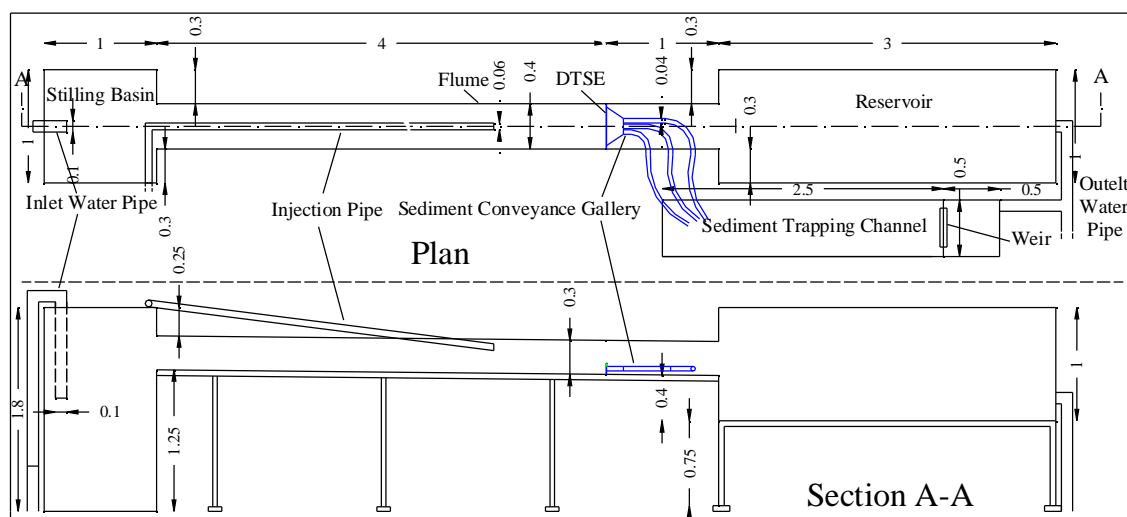
شکل 3 شماتیک سه بعدی مدل جداساز رسوب بندمانند و فلوم بالادست

**2-6- اصلاحات انجام شده بر مدل جداساز رسوب بندمانند**  
 مدل سیدی (1387) (شکل 5) دارای ابعاد 0/09 و 0/4 متر، به ترتیب، ارتفاع و عرض، و دارای یک بازشدگی ثابت به ضخامت 0/02 متر در بدنه مدل بود. گالری تخلیه مدل مذکور، همانطور که در شکل مشخص است، دارای زاویه‌های 90 درجه بود که باعث افت شدید می‌شدند. در این تحقیق سازه جداساز رسوب بندمانند با افزودن یک بازشدگی به کف آن، دریچه‌دار کردن بازشدگی میانی و قوس‌دار کردن گالری تخلیه رسوب بهبود داده شد. هدف از ایجاد یک بازشدگی در کف مدل جداساز رسوب، دریچه‌دار کردن بازشدگی میانی و قوس‌دار کردن گالری تخلیه، به ترتیب، جلوگیری از ته‌نشینی بار بستر در بالادست سازه، ایجاد قابلیت تنظیم میزان بازشدگی میانی و کاهش اتلاف انرژی ناشی از زاویه 90 درجه مجاری گالری تخلیه بود. تصویر شماتیک مدل بهبود یافته جداساز رسوب بندمانند، تصویر وضعیت آزمایشگاهی و ابعاد بخش‌های مختلف مدل، به ترتیب، در شکل‌های 6 تا 8 نشان داده شده است.

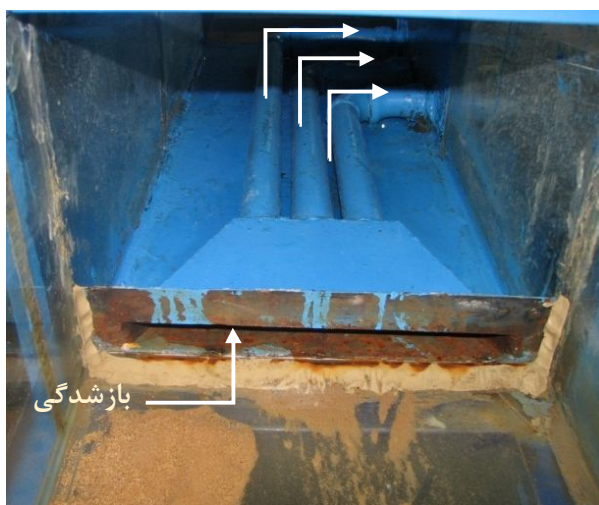
اگر پارامتر بدون بعد  $Q_{DTSE}/Q_{in}$  ارائه شده در رابطه (2) را با  $\varphi$  و نسبت دو پارامتر بدون بعد  $C_{DTSE}/\rho$  و  $C_{in}/\rho$  که بیانگر نسبت غلظت می‌باشد را با  $\Omega$  نمایش دهیم، رابطه (3) به درصد خواهد شد:

$$\eta = \varphi \cdot \Omega \times 100 \quad (4)$$

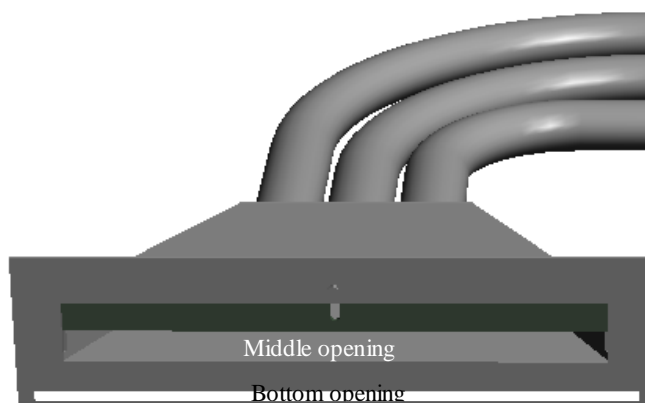
در این تحقیق از مدل فیزیکی رودخانه و مخزن سد موجود در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز استفاده شد. مدل فیزیکی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب شامل مدل فیزیکی رودخانه از جنس شیشه و به ابعاد  $5 \times 0/4 \times 0/3$  متر (ارتفاع  $\times$  عرض  $\times$  طول)، و مخزن از جنس پلاکسی‌گلاس به ابعاد  $3 \times 1 \times 1$  متر (ارتفاع  $\times$  عرض  $\times$  طول) می‌باشد. پلان و مقطع عرضی مدل فیزیکی مخزن سد و رودخانه و جانمایی سازه جداساز رسوب بندمانند در شکل 4 نشان داده شده است. همانطور که در شکل 4 مشخص است، مخزن در پائین‌دست فلوم قرار گرفته است و سازه جداساز رسوب در بالادست مخزن داخل فلوم قرار دارد. شیب کف فلوم 1 درصد می‌باشد.



شکل 4 پلان و مقطع عرضی مدل فیزیکی رودخانه، مخزن و مدل جداساز رسوب بندمانند



شکل 5 مدل جداساز رسوب بندمانند، ارائه شده توسط سیدی (1387)

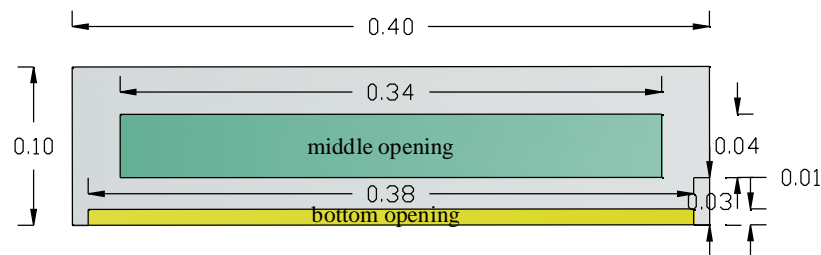


شکل 6 تصویر شماتیک مدل بهبود یافته جداساز رسوب بندمانند



شکل 7 تصویر وضعیت آزمایشگی مدل جداساز رسوب بندمانند





شکل 8 دید از جلو مدل جداساز رسوب بندمانند

تحقیق در سه دبی ورودی 15، 20 و 25 لیتر بر ثانیه، سه نسبت بی‌بعد دبی خارج شده از مدل 0/1، 0/2 و 0/3 و سه نسبت بی‌بعد ارتفاع بازشدگی میانی 0/2، 0/3 و 0/4 انجام شد. تنظیم دبی خروجی از بازشدگی میانی توسط شیرهایی که بر روی لوله‌های با قطر داخلی 0/04 متر نصب شده است، انجام می‌شود. برای ایجاد بار معلق از رسوبات غیر چسبنده با قطر متوسط 0/2 میلی‌متر استفاده شد. برای اختلاط رسوبات معلق با آب و انتقال به فلوم، یک مخزن تغذیه رسوب ساخته شد و از روش تزریق تر استفاده شده است. پیش از شروع هر آزمایش، ابتدا همزن مخزن تغذیه رسوب را روشن کرده و به تدریج رسوب خشک با وزن 38 کیلوگرم وارد آن می‌شد. پس از اختلاط کامل آب و رسوب، آزمایش شروع می‌شد و جریان تزریقی با نرخ مشخصی، در فاصله یک متری در بالادست مدل، وارد فلوم می‌شد.

برای ثابت نگه‌داشتن نرخ تزریق رسوب، دبی خروجی از مخزن اختلاط در طول زمان ثابت نگه داشته شد. این کار با باز کردن شیر تخلیه مخزن اختلاط در دو مرحله انجام شد. در 5 دقیقه اول که مخزن پر بود شیر تا 50 درصد باز می‌شد و در 5 دقیقه دوم آزمایش شیر کامل باز می‌شد. با استفاده از یک صفحه فلزی شیار دار در انتهای لوله انتقال، رسوبات به‌گونه‌ای تزریق می‌شد که بطور یکنواخت در عرض وارد جریان می‌شود. از آنجا که وزن رسوبات مختلط شونده برای همه آزمایش‌ها ثابت بوده است، میزان رسوبی که طی آزمایش‌ها وارد جریان فلوم می‌شد ثابت بود، و در صورت افزایش دبی جریان فلوم از غلظت آن

عرض و ارتفاع مدل، به ترتیب، 0/4 و 0/3 متر است. ابعاد بازشدگی کف در طول آزمایش‌ها ثابت و 0/38×0/01 متر است، در حالیکه ابعاد بازشدگی میانی توسط یک دریچه کشویی از 0/34×0/02 تا 0/34×0/04 متر قابلیت تنظیم دارد. نسبت ارتفاع بازشدگی میانی به ارتفاع مدل حدود 0/45 می‌باشد، از این رو بازشدگی میانی قادر است بار معلق عبوری را تله‌اندازی کند و از جریان خارج کند. این مدل، که از جنس ورق گالوانیزه 3 میلی‌متر می‌باشد، در عرض مسیر جریان قرار می‌گیرد، بطوری که بازشدگی‌ها عمود بر جهت جریان می‌باشند. در مدل جریان آب و رسوبات کف از طریق بازشدگی کف از بالادست به پایین‌دست عبور می‌کنند، اما جریان حاوی رسوبات معلق در تراز بازشدگی میانی تله‌اندازی می‌شود و توسط سه لوله با قطر 0/04 متر به خارج از مسیر جریان منتقل می‌شود.

با توجه به ابعاد مدل ارائه شده در شکل بالا مقدار پارامترهای بی‌بعد رابطه (2) که در این تحقیق ثابت هستند به شرح جدول 2 می‌باشد.

جدول 2 مقدار پارامترهای بی‌بعد ثابت در این تحقیق

پارامتر بی‌بعد	$\frac{\rho_s}{\rho}$	$\frac{d_{50}}{H}$	$\frac{d}{H}$	$\frac{b_1}{H}$	$\frac{b_2}{H}$	$\frac{h}{H}$	$\frac{H_0}{H}$	$\frac{B_0}{H}$	S
مقدار	2/65	0/002	0/1	3/8	3/4	0/3	3	4	0/01

## 2-4- نحوه انجام آزمایش‌ها

همان‌طور که پیش از این ذکر شد، آزمایش‌های این

حال عبور امکان ورود به داخل بازشدگی و خروج از طریق گالری تخلیه را می‌یابد. مشاهده می‌شود وقتی ارتفاع نسبی بازشدگی از  $0/2$  به  $0/4$  افزایش می‌یابد، بار رسوب بیشتری توسط مدل خارج می‌شود و راندمان مدل از حدود 30 درصد به 40 درصد افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر می‌توان گفت، افزایش بازشدگی میانی یعنی تحت پوشش قرار دادن دامنه وسیع‌تری از پروفیل بار معلق عبوری و جداسازی مقدار بیشتری از بار معلق که توسط جریان حمل می‌شود. روند گفته شده برای نسبت دبی  $0/2$  و  $0/3$  نیز به همین صورت بوده است. لذا در محدوده آزمایش‌های انجام شده مشاهده می‌شود تأثیر بازشدگی میانی بر عملکرد مدل مستقیم و مثبت است.

از طرف دیگر مشاهده می‌شود در شکل 9 هر چه ابعاد بازشدگی میانی بزرگتر شود، اختلاف بین راندمان مدل در دبی‌های مختلف ورودی بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت اثر دبی ورودی بر عملکرد مدل در بازشدگی‌های بزرگتر بیشتر است. برای مثال در ارتفاع نسبی بازشدگی  $0/2$ ، اختلاف میان حداکثر و حداقل راندمان حدود 20 درصد است، اما برای ارتفاع بازشدگی  $0/4$ ، این اختلاف حدود 38 درصد است.

### 3-2- تأثیر نسبت دبی خروجی به ورودی، $\phi$ ، بر عملکرد مدل

شکل 10 اثر نسبت دبی خروجی به ورودی،  $\phi$ ، بر عملکرد مدل،  $\eta$ ، را نشان می‌دهد. با توجه به شکل 10 در هر سه ارتفاع نسبی بازشدگی  $0/2$ ،  $0/3$  و  $0/4$ ، با افزایش نسبت دبی خروجی به ورودی، میزان رسوبات خارج شده در طول آزمایش افزایش می‌یابد. هر چه میزان جریان تله‌اندازی شده بیشتر شود، یا بخش بزرگتری از جریان فلوم -حد فاصل بازشدگی کف و جریان سرریز شونده- جدا شود، رسوبات بیشتری نیز همراه جریان جدا شده و از طریق گالری تخلیه خارج می‌شوند.

کاسته می‌شد. از این‌رو، غلظت متوسط جریان بالادست مدل برای سه دبی 15، 20 و 25 لیتر بر ثانیه به ترتیب  $3/9$ ،  $2/97$  و  $2/41$  گرم بر لیتر می‌باشد. جریان حاوی رسوبات مربوط به بازشدگی میانی کف توسط گالری تخلیه وارد تله‌انداز پارچه‌ای شده و بعد از گرفتن رسوبات آن، آب صاف وارد کانالی می‌شد که در انتهای آن یک سرریز مثالی 60 درجه وظیفه اندازه‌گیری جریان را بر عهده داشت. کل رسوب تجمع یافته در تله انداز پارچه‌ای ابتدا در هوای آزاد رطوبت خود را از دست می‌داد و سپس نمونه ای از آن به همراه نمونه اولیه رسوبی که وارد مخزن تغذیه شده توسط آن<sup>1</sup> کاملاً خشک و درصد رطوبت آن بدست می‌آمد. غلظت جریان بازشدگی میانی از تقسیم وزن خشک رسوبات بر کل جریان منحرف شده توسط بازشدگی میانی بدست می‌آمد. پس از پایان هر آزمایش وزن خشک رسوباتی که در بالادست مدل، داخل فلوم، ته‌نشین شدند نیز اندازه گرفته می‌شد.

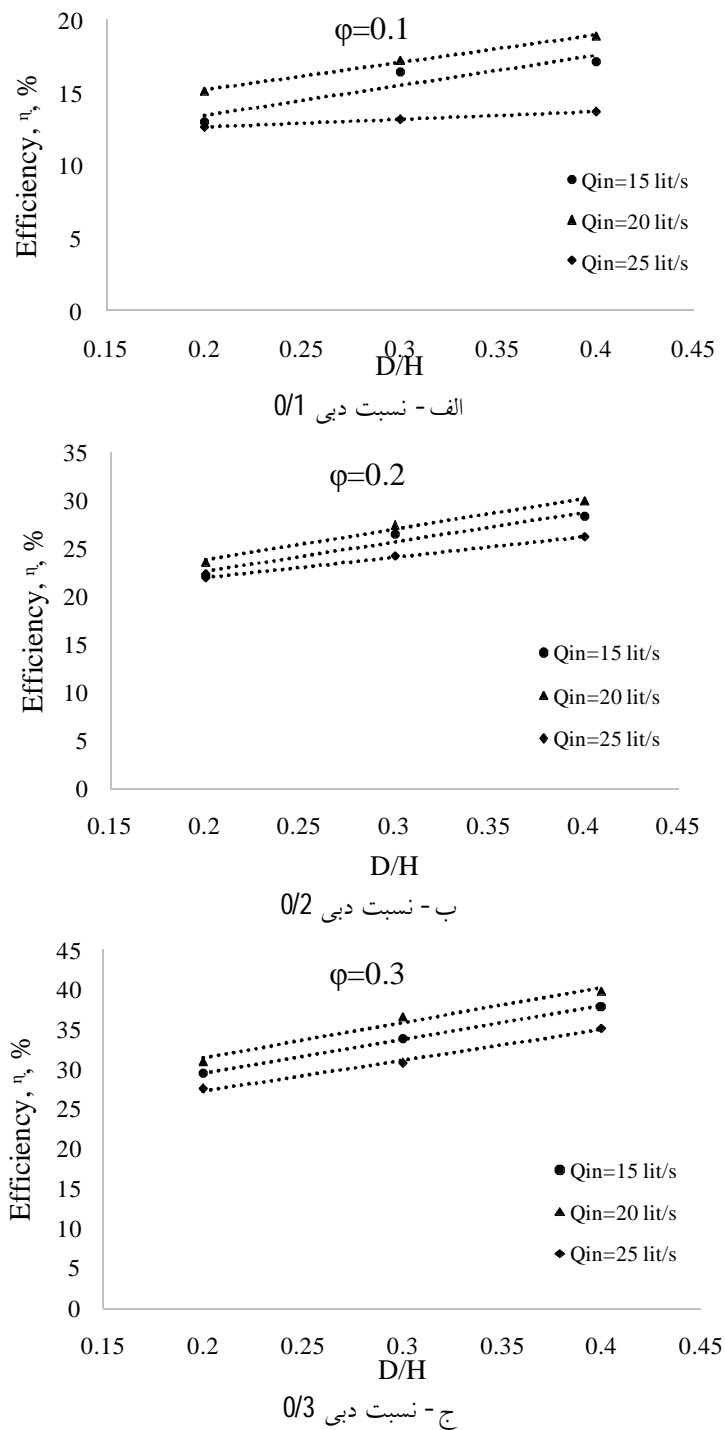
### 3- نتایج و بحث

**3-1- تأثیر ارتفاع بازشدگی میانی،  $D/H$  بر عملکرد مدل**  
نتایج اثر اندازه بازشدگی میانی در شکل 9 نشان داده شده است. این شکل نتایج اثر ارتفاع بازشدگی میانی بر عملکرد مدل را در سه نسبت دبی خروجی به ورودی،  $0/1$ ،  $0/2$  و  $0/3$  و سه دبی ورودی 15، 20 و 25 لیتر بر ثانیه نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است، در یک دبی ثابت، افزایش نسبت دبی خروجی به ورودی موجب کاهش ارتفاع جریان بالادست مدل می‌شود. محدوده ارتفاع جریان برای سه دبی 15، 20 و 25 لیتر بر ثانیه، به ترتیب، 14-15، 15/3-16/3 و 16/9-18/1 می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد، برای مثال در نسبت دبی  $0/1$ ، هر چه دریچه بازشدگی میانی بالاتر کشیده شود و بازشدگی میانی دارای ابعاد بزرگتری گردد، ضخامت بیشتری از بار معلق در

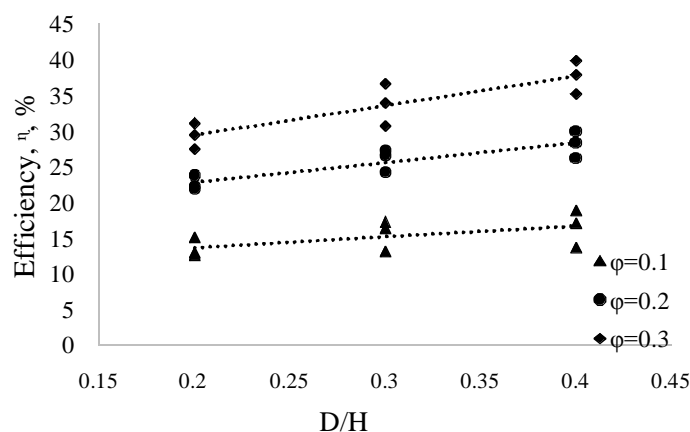
1. Oven

خروجی 6 لیتر بر ثانیه ( $\varphi = 0.3$ )،  $\eta = 39.84\%$ ، در مقایسه با رسوبات تخلیه شده برای دبی خروجی 2 لیتر بر ثانیه ( $\varphi = 0.1$ )،  $\eta = 18.86\%$ ، بیشتر است.

همان‌طور که گفته شد، افزایش  $\varphi$  موجب افزایش عملکرد مدل می‌شود. یعنی اگر دبی ورودی 20 لیتر بر ثانیه و  $D/H = 0.4$  باشد، رسوبات تخلیه شده برای دبی



شکل 9 تأثیر اندازه بازشدگی دریاچه میانی،  $D/H$ ، و دبی ورودی بر عملکرد مدل



شکل 10 تأثیر نسبت دبی،  $\varphi$ ، بر عملکرد مدل

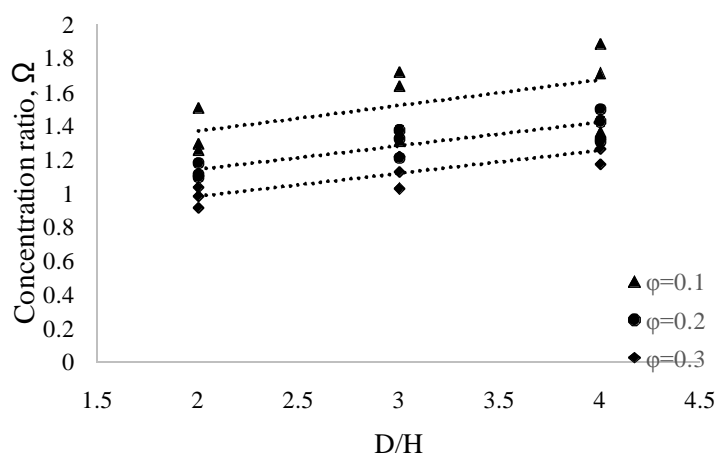
افقی به همراه سه سری داده که مربوط به نسبت‌های دبی  $0/1$ ،  $0/2$  و  $0/3$  می‌باشند، ارائه شده‌اند. ملاحظه می‌شود نسبت غلظت خروجی به ورودی،  $\Omega$ ، برای  $\varphi = 0.1$  بیشتر از  $\varphi = 0.2$  و برای  $\varphi = 0.2$  نیز بیشتر از  $\varphi = 0.3$  است. باید توجه داشت در این نمودار نسبت غلظت‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند نه راندمان مدل (که عبارت بود از میزان کل رسوب خروجی به ورودی در طول آزمایش،  $\eta = \varphi \cdot \Omega$ ). شکل 11 نشان می‌دهد در یک بازشدگی ثابت، برای مثال  $D/H = 0.3$ ، وقتی میزان جریان تله‌اندازی شده توسط مدل افزایش می‌یابد، یعنی بخش بیشتری از جریان داخل فلوم توسط بازشدگی میانی از مسیر فلوم خارج می‌شود، ذرات رسوبی قادر نیستند به همان اندازه از جریان تبعیت کنند و همراه جریان جدا شده از مدل خارج شوند، لذا از غلظت جریان خروجی کاسته می‌شود و  $\Omega$  کاهش می‌یابد. در همین شکل، برای مقادیر  $0/2$ ،  $0/4$  ارتفاع نسبی بازشدگی میانی نیز این روند مشاهده می‌شود.

برای  $D/H = 0.2$ ، در  $\varphi = 0.1$ ، نسبت غلظت‌ها حدود  $1/4$  است در حالی که در  $\varphi = 0.3$  این مقدار حدود 1 است. همین‌طور برای  $D/H = 0.4$ ، در  $\varphi = 0.1$ ، نسبت غلظت‌ها حدود  $1/65$  است در حالی که در  $\varphi = 0.3$  این مقدار حدود  $1/25$  است.

اما شرایط گفته شده یک شرایط بهینه از نظر هدر رفت آب یا هیدرولیکی نمی‌باشد. زیرا در شرایطی بیشترین راندمان هیدرولیکی برای یک مدل جداساز رسوب وجود دارد که با حداقل جریان خروجی حداکثر رسوبات خارج شوند. از منظر دیگر می‌توان گفت، هر چه غلظت جریان خروجی از غلظت جریان داخل فلوم بیشتر باشد، مدل از نظر هیدرولیکی راندمان بیشتری خواهد داشت. از این رو باید بررسی کرد در چه حالتی با حداقل جریان، حداکثر رسوبات توسط مدل جداساز رسوب بندمانند جدا می‌شود. در نهایت تعادلی بین عملکرد مدل و راندمان هیدرولیکی مدل در نظر گرفت که مدل در آن حالت تعادلی با حداقل جریان خارج شده حداکثر رسوبات را خارج سازد. از این‌رو در بخش بعدی اثر نسبت دبی بر نسبت غلظت‌ها (غلظت خروجی از بازشدگی میانی به غلظت متوسط جریان اصلی) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### 3-3- تأثیر نسبت دبی خروجی به ورودی، $\varphi$ ، بر نسبت غلظت‌ها، $\Omega$

برای بررسی اثر نسبت دبی خروجی به ورودی،  $\varphi$ ، به شکل 11 توجه شود. در این شکل نسبت غلظت جریان تله‌اندازی شده توسط مدل به غلظت متوسط جریان فلوم،  $\Omega$ ، در محور قائم و اندازه بازشدگی میانی،  $d$ ، در محور



شکل 11 تأثیر نسبت دبی،  $\phi$ ، بر نسبت غلظت‌ها،  $\Omega$

آبراهه که توسط بازشدگی میانی تلف نشده است را می‌توان راندمان هیدرولیکی مدل تعریف کرد. طبق این تعریف، با افزایش دبی منحرف شده از بازشدگی میانی راندمان هیدرولیکی کاهش می‌یابد. در جدول 3 ملاحظه می‌شود، عملکرد متوسط مدل برای سه نسبت دبی 0/1، 0/2 و 0/3، به ترتیب، 15/2، 25/6 و 33/6 درصد است. از بین سه نسبت دبی، مدل در نسبت دبی 0/2 هم عملکرد مناسب (25/6%) و هم راندمان هیدرولیکی مناسب دارد. از این‌رو عملکرد 25/6 درصد می‌تواند به‌عنوان عملکرد بهینه و متوسط مدل تلقی شود. بنابراین، با تقریب می‌توان گفت برای محدوده شرایط تحقیق حاضر عملکرد مدل جداساز رسوب بندمانند 25 درصد است، در حالی که راندمان روش رهاسازی جریان گل‌آلود معمولاً حدود 20 درصد است (Zhaoyin and Chunhong, 2009). قابل ذکر است که حداکثر عملکرد مدل، در دبی 20 لیتر بر ثانیه، ارتفاع نسبی بازشدگی 0/4 و نسبت دبی 0/3 حدود 40 درصد می‌باشد.

جدول 3 عملکرد متوسط مدل

راندمان هیدرولیکی	عملکرد، $\eta$	نسبت دبی، $\phi$
90 درصد	15/2	0/1
80 درصد	25/6	0/2
70 درصد	33/6	0/3

در بخش قبل ملاحظه شد اثر نسبت دبی بر عملکرد مدل مستقیم و مثبت است. در این بخش نتایج نشان داد که تأثیر نسبت دبی بر نسبت غلظت‌ها اثر عکس دارد. یعنی با افزایش نسبی جریان تله‌اندازی شده، میزان رسوبات خروجی نیز به همان نسبت افزایش نمی‌یابد، به عبارت بهتر هر چه جریان تله‌اندازی شده بیشتر باشد، غلظت رسوبات جریان خروجی کمتر می‌شود. لذا می‌توان یک نسبت دبی تعادلی را انتخاب کرد که ضمن تلفات کمتر جریان (راندمان هیدرولیکی مناسب) میزان رسوبات مناسبی را خارج نماید.

### 3-4- مقایسه عملکرد مدل جداساز رسوب بندمانند و راندمان رهاسازی جریان‌های گل‌آلود

در این قسمت عملکرد روش جدید با عملکرد یکی از روش‌های رایج در کاهش رسوبگذاری مخازن سدها، برای نمونه رهاسازی جریان‌های گل‌آلود، مقایسه می‌شود تا کارایی روش جدید مشخص شود.

میانگین عملکرد و راندمان هیدرولیکی مدل برای سه نسبت دبی در جدول 3 ارائه شده است. ذکر این نکته ضروری است که اگر فرض شود دبی منحرف شده از بازشدگی میانی قابل برگشت نباشد و به‌عنوان اتلاف جریان آبراهه در نظر گرفته شود، درصدی از جریان

#### 4- نتیجه گیری

در این تحقیق یک روش جدید برای کاهش مسأله رسوبگذاری مخازن ارائه شد. در این روش یک سازه جداساز رسوب بندمانند برای جداسازی رسوبات معلق در مسیر رودخانه، بالادست سد مخزنی احداث می شود که از ورود رسوبات به داخل مخزن جلوگیری می کند. برای بررسی عملکرد روش معرفی شده، آزمایش های آزمایشگاهی زیادی در سه دبی ورودی 15، 20 و 25 لیتر بر ثانیه، سه ارتفاع نسبی بازشدگی میانی مدل 0/2، 0/3 و 0/4 و سه نسبت دبی خروجی به ورودی انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش بازشدگی میانی موجب افزایش عملکرد مدل می شود و مدل در  $D/H=0.4$  دارای بیشترین عملکرد است و از بین سه دبی ورودی، مدل در دبی 20 لیتر بر ثانیه بیشترین عملکرد را دارد. نتایج همچنین نشان داد هر چه دبی خروجی از مدل افزایش می یابد - یا نسبت دبی خروجی به ورودی افزایش می یابد - عملکرد مدل افزایش می یابد، اما از غلظت جریان خروجی کاسته می شود. از این رو نسبت دبی  $\phi=0.2$  نسبت دبی بهینه برای مدل، در شرایط آزمایش های انجام شده می باشد، زیرا علاوه بر عملکرد قابل قبول، تنها 20 درصد جریان از مسیر اصلی خارج می شود. نهایتاً حداکثر عملکرد مدل حدود 40 درصد و عملکرد متوسط مدل حدود 26 درصد است. لذا روش جدید در مقایسه با روش رایج رهاسازی جریان گل آلود که دارای عملکرد غالب 20 درصد می باشد، دارای کارایی قابل قبول است. از آنجا که این روش بر خلاف سایر روش های تخلیه رسوب مخازن مانند آبشویی و رهاسازی جریان گل آلود، موجب اتلاف آب مخزن نمی شود، در بهره برداری مخزن وقفه ایجاد نمی کند، موجب سایش سیستم تخلیه نمی شود و اثر نامطلوب بر محیط زیست پایین دست نمی گذارد، لذا قابل توصیه برای تحقیقات بیشتر و استفاده برای کاهش مسأله رسوبگذاری مخازن

می باشد.

#### 5- فهرست علائم

$B_0$	عرض فلوم
$b_1$	عرض بازشدگی دریاچه کف
$b_2$	عرض بازشدگی دریاچه میانی
$C_{in}$	غلظت جریان ورودی
$C_{DTSE}$	غلظت جریان خارج شده از بازشدگی میانی
$D$	ارتفاع بازشدگی دریاچه میانی
$d$	ارتفاع بازشدگی دریاچه کف
$d_{50}$	قطر متوسط ذرات رسوب
$g$	شتاب ثقل
$H_0$	ارتفاع فلوم
$H$	ارتفاع مدل جداساز رسوب بندمانند
$h$	ارتفاع لبه پایین بازشدگی میانی نسبت به تراز کف فلوم
$\dot{m}_{DTSE}$	جرم خارج شده از بازشدگی میانی
$\dot{m}_{in}$	جرم کل ورودی به جریان
$Q_{DTSE}$	دبی جریان خارج شده از بازشدگی میانی
$Q_{in}$	دبی جریان ورودی
$S$	شیب کف
$\eta$	راندمان مدل
$\mu$	لزوجت سینماتیک سیال
$\rho$	دانسیته آب
$\rho_s$	دانسیته ذرات
$\phi$	نسبت دبی خروجی از مدل به دبی ورودی
$\Omega$	نسبت غلظت خروجی از مدل به غلظت ورودی

#### 6- منابع

- ایمان شعاع، ف، حسن زاده، ی، اعلمی، م. ت. و داننده مهر، ع.، (1392). "تحلیل عدم قطعیت در تعیین جرم مخصوص رسوبات ته نشین شده در مخازن سدها"، نشریه آب و خاک، جلد 23 شماره 1، ص. 27-37.
- بی نام، سیستم شناسنامه ملی سدهای ایران، شرکت مدیریت منابع آب ایران، (<http://daminfo.wrm.ir>).

- Meshkati Shahmirzadi, M.E., Dehghani, A.A., Sumi, T., Naser, Gh. and Ahadpour, A., (2010), "Experimental investigation of local half-cone scouring against dam", River Flow 2010.
- Talebeydokhti, N. and Naghshineh, A., (2004). "Flushing sediment through reservoirs", Iranian Journal of Science & Technology Transaction B 28, pp. 119-136.
- Tolouie, E., (1993). "Reservoir sedimentation and de-siltation", Ph.D. Thesis, U. Birmingham, U.K.
- van Rijn L.C. (1993). *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*. Published by Aqua publication, Amsterdam, pp. 7-51.
- Verstraeten, G., Poesen, J., Vente, J. and Koninckx, X., (2003). "Sediment yield variability in Spain: A quantitative and semi-qualitative analysis using reservoir sedimentation rates", Journal of Geomorphology, Vol. 50, Issue 4, pp. 327-348.
- White, R., (2001). *Evacuation of sediments from reservoirs*, Thomas Telford Publishing, London, p. 280.
- Wu, C.M., (1991). "Reservoir capacity preserving practice in Taiwan", Proc. 5th Federal Interagency Sedimentation Conf., Las Vegas, pp. 10.75-10.81,
- Zhaoyin, W. and Chunhong, H., (2009). "Strategies for managing reservoir sedimentation", International Journal of Sediment Research, Vol. 24, No. 4, pp. 369-384 (in Chinese).
- سیدی، ح.، (1387). "ارائه روش جدید جداسازی رسوبات از آب بالادست سدهای انحرافی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، شیراز.
- Annandale, G.W., (1987). *Reservoir Sedimentation*. Elsevier Science Publishers, New York.
- Fan, J., (1986). "Turbid density currents in reservoirs", Water International, 11 (3), pp. 107-116.
- Heede, B.H., (1976). "Gully development and control: the status of our knowledge", USDA Forest Service Research Paper RM-169, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colo.
- Hwang, J.S., (1985). "The study and planning of reservoir desilting in Taiwan", Water International, 10 (1), pp. 7-13.
- Imanshoar, F., Hassanzadeh, Y. and Aalami, M.T., (2009). "An introduction to environmental impacts of sedimentation and erosion due to dam's construction", Workshop on Reservoir Sedimentation Control, Regional Centre on Urban Flood Management, Karaj, Iran.
- Jacobsen, T., (2009). "Some aspects of reservoir sedimentation", Workshop on Reservoir Sedimentation Control", Regional Centre on Urban Flood Management, Karaj, Iran.