



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

دوره ۴۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، صفحه ۱۶۱ تا ۱۶۷  
Vol. 48, No. 2, Summer 2016, pp. 161-167



نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر - مهندسی عمران و محیط زیست

Amirkabir Journal of Science & Research  
Civil and Environmental Engineering  
(ASJR-CEE)

## مطالعه آزمایشگاهی تأثیر غیریکنواختی ذرات رسوبی بر پیشروی دلتای رسوبی در مخزن

مهدی صدیق کیا<sup>۱</sup>، سید علی ایوبزاده<sup>۲\*</sup>، مرتضی حیدری<sup>۳</sup>، جعفر مامی زاده<sup>۴</sup>، الهام جعفرزاده<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکترا، دانشکده سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار، دانشکده سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- کارشناس ارشد، دانشکده سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

۴- استادیار، گروه مهندسی آبیاری، دانشگاه ایلام

۵- کارشناس ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت: ۱۳۹۱/۳/۲۸، پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۹)

### چکیده

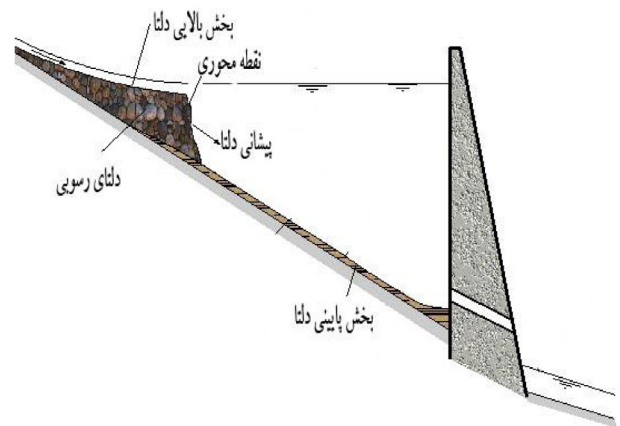
ذرات درشت دانه‌تر تشکیل دلتای رسوبی را در بالادست مخزن می‌دهند که دلتای تشکیل شده به سمت پایین دست و دیواره سد پیشروی می‌کند. در این تحقیق تأثیر غیریکنواختی ذرات رسوبی بر روی پیشروی دلتا در مخزن به طور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است و از ۱۰ نوع منحنی دانه‌بندی استفاده شد. همه منحنی‌ها دارای توزیع نرمال و قطر متوسط یکسان بودند. در تحقیق حاضر برای بررسی تأثیر غیریکنواختی ذرات بر پیشروی دلتا از یک مدل آزمایشگاهی رودخانه به مخزن با زاویه واگرایی تدریجی استفاده شد. با توجه به نتایج تحقیق مشاهده شد که در محدوده بررسی این تحقیق با افزایش میزان غیریکنواختی ذرات، سرعت پیشروی دلتا کاهش داشته است و زمان پیشروی افزایش یافته است. در این تحقیق با توجه به نتایج می‌توان گفت در محدوده انحراف معیار هندسی ۱ تا ۲ تأثیر غیریکنواختی ذرات بر روی پیشروی دلتا در مخزن محسوس نیست، ولی با افزایش بیشتر انحراف از معیار هندسی، این تأثیر بر روی پیشروی دلتا مشاهده شد. با توجه به نتایج آزمایش‌ها دیده شد که با افزایش میزان غیریکنواختی ذرات رسوبی زاویه شیب پیشانی دلتا کاهش می‌یابد.

### کلمات کلیدی:

مطالعه آزمایشگاهی، پیشروی دلتا، ذرات رسوبی غیریکنواخت

## ۱- مقدمه

رسوبگذاری در مخزن سد از عواملی است که با گذشت زمان عمر مخازن را کاهش خواهد داد. تخمین زده شده است که تجمع رسوبات در مخازن سدها می‌تواند سالانه یک درصد از حجم ذخیره آن‌ها را کاهش دهد [۱]. رسوبگذاری در ابتدای مخزن به شکل دلتا در ورودی رودخانه به مخزن اتفاق می‌افتد و ذرات درشت‌دانه‌تر تشکیل دلتای رسوبی می‌دهند. زمانی که دلتای رسوبی با ذرات رسوبی درشت‌دانه مانند شن و ماسه به سازه‌های سد مانند ورودی آبگیر برسد، خسارت زیادی به توربین‌ها و سازه‌های دیگر در سد خواهد رساند. بنابراین تخمین دقیق حرکت و پیشروی دلتا در مخزن امری مهم می‌باشد. در شکل (۱) قسمت‌های مختلف دلتا در مخزن نشان داده شده است.



شکل ۱: قسمت‌های مختلف دلتا

یوسل شرایط ته‌نشینی رسوب در مخازن را در حالت جریان یک بعدی بررسی کرد. هدف اصلی او مقایسه مدل عددی خودش با نتیجه آزمایشگاهی بود. از این‌رو، رشد و پیشرفت دلتای رسوبی در فلومی به طول ۲۰ متر، یک متر عرض، ۰/۵ متر عمق و شیب ۰/۰۵ با استفاده از دبی‌های ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ لیتر بر ثانیه و دو قطر میانه ذرات ۰/۹۸ میلی‌متر و ۱/۸۵ میلی‌متر و عمق‌های آب ۰/۲۵ و ۰/۳۵ متر را بررسی کرد. نتایج تحقیق نشان داد که زاویه بین سطح جلویی دلتا و کف فلوم تقریباً ثابت می‌باشد که این مقدار ثابت در حدود ۴۰ درجه است [۲]. چانگ و مرتن اقدام به بررسی آزمایشگاهی دلتای رسوبی در یک کانال با بازشدگی ناگهانی نمودند. نتایج این محققین نشان داد که در زمان‌های اولیه پیشروی دلتا بیشتر در جهت طولی رشد کرده و پس از آن به دلیل افزایش عرض و کاهش سرعت و مومنتم جریان، رسوبگذاری به صورت جانبی گسترش یافته و دلتا در عرض رشد می‌کند [۳]. موریس و فان در مورد تشکیل دلتا تحقیقی را انجام دادند و در این تحقیق، نتیجه گرفتند که تفاوت دانه‌بندی بین بخش بالایی و پیشانی دلتای رسوبی محسوس است. همچنین تغییر ناگهانی شیب بین بخش فوقانی و پیشانی دلتای رسوبی دیده شد [۴]. در بررسی و حل تحلیلی که توسط اسونسن و همچنین والر و همکاران در خصوص حرکت دلتای رسوبی در یک کانال

مستطیل شکل با عرض ثابت انجام شد، میزان پیشروی دلتا به صورت توانی از زمان و به شکل رابطه (۱) ارائه شده است [۵]:

$$X = A.t^B \quad (1)$$

که در آن، مؤلفه‌های  $A$  و  $B$  متغیرهای وابسته با بعدی از خصوصیات هندسی و فیزیکی مخزن می‌باشند. توان  $B$  برای کانال مستطیلی مورد مطالعه ایشان برابر با ۰/۵ به دست آمده است. کوستیک و پارکر مطالعات آزمایشگاهی و عددی را در ارتباط با تأثیر جریان گل‌آلود و اثر افزایش غلظت آن بر زاویه ایستایی قسمت پیشانی دلتا انجام دادند. آن‌ها سه مطالعه آزمایشگاهی انجام دادند که از ماسه سیاه، رسوب گلی و نمک غیرقابل حل در هر آزمایش استفاده کردند. در آزمایشی که جریان گل‌آلود تأثیرگذاری وجود نداشت، زاویه ایستایی قسمت پیشانی دلتا برابر با ۳۵/۵ درجه به دست آمد. با اضافه‌نمودن جریان گل‌آلود تأثیرگذار، زاویه ایستایی به ۲۵/۴۸ درجه کاهش یافت. در آخر با افزایش غلظت جریان گل‌آلود، زاویه ایستایی پیشانی دلتا به ۱۶/۱ درجه کاهش یافت. این آزمایش‌ها مطابق با نتایج فرمول تئوری بود که کوستیک و همکاران به دست آوردند که طبق این فرمول، زاویه قسمت پیشانی دلتا را با افزایش غلظت جریان گل‌آلود می‌توان به کمتر از یک درجه نیز رساند [۷]. یوگوویچ و همکاران در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به بررسی رسوبگذاری مخازن و فرایند تشکیل و پیشروی دلتا در نواحی کوه‌های آلپ پرداختند. نتایج نشان داد که فرم دلتا عمدتاً به شدت جریان در کانال ورودی بستگی دارد. ارتفاع رسوبات در حین پیشروی دلتا در جهت طولی افزایش می‌یابد و این افزایش ممکن است در اثر افزایش مقاومت در برابر جریان باشد [۸]. و با بررسی ۵ زاویه ۹۰، ۲۳/۵، ۱۵/۴، ۱۱/۵ و ۹/۲ درجه با دانه‌های یکنواخت رسوبی زاویه ۱۵/۴ درجه را به عنوان زاویه مرزی بین الگوی پیشروی متقارن و نامتقارن به دست آورد [۹]. صفی‌یاری و بنی‌هاشمی (۱۳۸۷) تحقیقی به طور آزمایشگاهی انجام دادند و با مصالح یکنواخت رسوبی، مسئله پیشروی دلتا را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در میان عوامل مورد مطالعه پیشروی دلتا به تراز آب دریاچه حساس‌تر است. آن‌ها در مطالعه خود نمای رابطه اسونسن را ۰/۴ بدست آوردند [۱۰]. در تحقیقات گذشته، تأثیر غیریکنواختی ذرات رسوبی بر روی پیشروی دلتا در مخزن بررسی نشده است و اکثر تحقیقات گذشته با دانه‌های یکنواخت رسوبی صورت گرفته است. در حالی‌که در طبیعت در بیشتر مواقع ذرات رسوبی دارای دانه‌بندی غیریکنواخت هستند، در این تحقیق تأثیر دانه‌بندی ذرات رسوبی بر روی پیشروی دلتا در مخزن بررسی شده است و سایر عوامل مؤثر ثابت در نظر گرفته شده‌اند.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- مشخصات مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. این فلوم دارای ۱۷ متر طول و یک متر عرض

گ- شتاب ثقل

بعد از انجام تحلیل ابعادی با روش باکینگهام و حذف عوامل ثابت، رابطه نهایی بدون بعد و به صورت رابطه (۲) به دست آمد:

$$X^* = F(T^*, \sigma, Q_s^*, Q_w^*, W^*, \theta) \quad (2)$$

که در آن،  $X^* = \frac{X}{W}$  و  $T^* = \frac{t}{(W/g)^{0.5}}$ ،  $Q_s^* = \frac{Q_s}{(gW^3)^{0.5}}$ ،  $W^* = \frac{b}{W}$  است.

در روابط بالا  $t$  زمان پیشرو دلتا و  $Q_w$  نیز دبی بدون بعد شده است. در این تحقیق، تأثیر عامل مربوط به غیریکنواختی ذرات بر پیشروی دلتا در مخزن بررسی می‌شود. در واقع سایر عوامل بدون بعد مؤثر مدنظر نیستند و در آزمایش‌ها ثابت هستند. به همین دلیل در بخش نتایج نیز به سایر عوامل بدون بعد پرداخته نشده است و ارزیابی ابعادی صورت گرفته به منظور شناخت خواننده مقاله از عوامل مؤثر در مسئله مطرح شده است.

۲-۳- دانه‌بندی مصالح رسوبی

در تحقیق حاضر، به منظور بررسی تأثیر میزان غیریکنواختی ذرات رسوبی از ۱۰ نوع منحنی دانه‌بندی استفاده شد که همگی دارای توزیع نرمال و قطر متوسط یکسان می‌باشند. از هر نمونه خاک با استفاده از الک‌های مختلف (درسایزهای متنوع) به میزان ۶۰۰ کیلوگرم تهیه شد که به دلیل حجم بالای مصرف رسوب، در حدود ۷ ماه زمان صرف شد. با توجه به تعداد زیاد منحنی‌ها از نمایش آن‌ها در قالب شکل خودداری شده و مشخصات آن‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

لازم به ذکر است در جدول (۱) انحراف معیار هندسی به صورت

$$\frac{D_{86\%}}{D_{16\%}} \text{ و ضریب دانه‌بندی نیز به صورت } \frac{D_{60\%} \cdot D_{10\%}}{D_{30\%}^2} \text{ می‌باشد.}$$

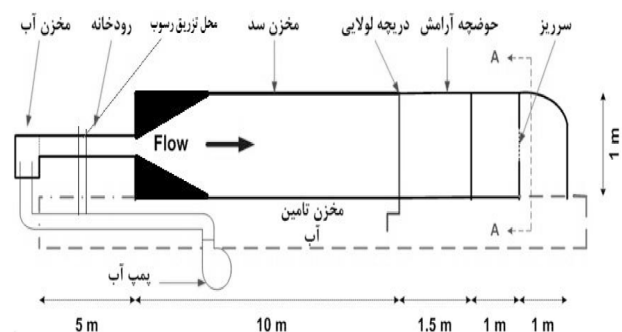
جدول ۱: مشخصات انواع دانه‌بندی‌ها

شماره نمونه	قطر متوسط (میلی‌متر)	انحراف معیار هندسی	ضریب دانه‌بندی
۱	۱/۴	۱/۲	۰/۹۹
۲	۱/۴	۱/۴	۰/۹۸
۳	۱/۴	۱/۶	۰/۹۷
۴	۱/۴	۱/۳۸	۰/۹۷
۵	۱/۴	۲	۰/۹۷
۶	۱/۴	۲/۱۵	۰/۹۸
۷	۱/۴	۲/۳	۰/۹۹
۸	۱/۴	۲/۴	۰/۹۷
۹	۱/۴	۲/۵	۰/۹۹

۲-۴- تعداد و نحوه انجام آزمایش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها ابتدا دبی با استفاده از دستگاه دور متغیر

است. قسمت اولیه فلوم با عمق ۶۰ سانتی‌متر و بدون شیب طولی به عنوان رودخانه اجرا گردید. طول تبدیل ابتدایی برابر ۲ متر و قسمت انتهایی فلوم با عمق ۶۰ سانتی‌متر و شیب طولی ۲ درصد به عنوان مخزن اجرا گردید. سایر مشخصات در شکل (۲) آمده است. لازم به ذکر است که زاویه واگرایی مخزن برابر ۱۱/۵ درجه و طول تبدیل برابر ۲ متر بود. تزریق رسوبات در این آزمایشات به صورت خشک بود که توسط دستگاه در قسمت رودخانه مدل با دبی قابل تنظیم تزریق می‌شد. دبی جریان در کلیه آزمایش‌ها برابر ۹ لیتر بر ثانیه و دبی رسوبی نیز برابر ۴۵ گرم بر ثانیه در نظر گرفته شده بود. با توجه به دور متغیر بودن دستگاه تزریق رسوب قبل از شروع آزمایش‌ها با روش اندازه‌گیری وزنی منحنی دبی رسوبی-فرکانس استخراج شد.



شکل ۲: سیستم گردش آب

۲-۲- تحلیل ابعادی در فرایند پیشروی دلتا در مخزن

انتخاب مؤلفه‌های مؤثر با توجه به اصول اولیه هیدرولیک رسوب و بررسی مطالعات گذشته صورت گرفت. عوامل مؤثر بر طول پیشروی دلتا در خط مرکزی جریان،  $X$ ، به شرح زیر می‌باشند:

(۱) عوامل جریان و سیال:

- وزن مخصوص آب ( $\rho$ )

- لزجت دینامیکی آب ( $\mu$ )

- دبی آب ( $Q_w$ )

- عمق آب در مخزن ( $W$ )

(۲) عوامل مشخصات جریان و ذرات رسوبی:

- وزن مخصوص ذرات ( $\rho_s$ )

- دبی رسوب ( $Q_s$ )

- قطر میانه ذرات رسوبی ( $d_{50}$ )

(۳) عوامل مشخصات هندسی:

- انحراف معیار هندسی ذرات رسوبی ( $\sigma$ )

- زاویه بازشدگی مخزن ( $\theta$ )

- شیب مخزن ( $S_B$ )

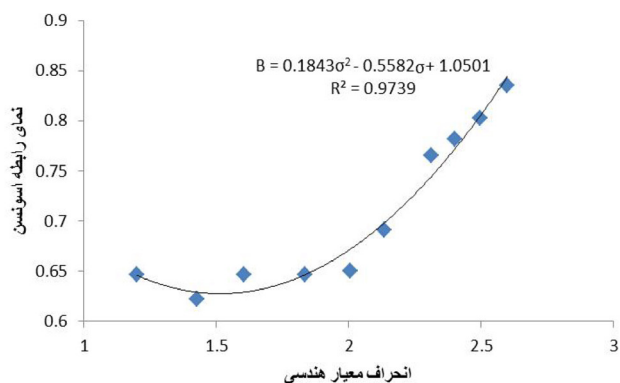
- عرض مخزن ( $B$ )

- عرض رودخانه ( $b$ )

(۴) عوامل محیط:

جدول ۲: مقادیر نمای رابطه توسعه داده شده برای پایه دلتا

انحراف معیار هندسی	نمای رابطه (B)
۱/۲	۰/۶۴۶
۱/۴	۰/۶۲۱
۱/۶	۰/۶۴۶
۱/۸	۰/۶۴۶
۲	۰/۶۵
۲/۱۵	۰/۶۹۱
۲/۳	۰/۷۶۵
۲/۴	۰/۷۸۱
۲/۵	۰/۸۰۲
۲/۶	۰/۸۳۵



شکل ۴: ارتباط بین توان و انحراف معیار هندسی در پایه

پایه دلتا در این تحقیق و تحقیقات گذشته ناشی از اختلاف در هندسه مدل‌ها، میزان بازشدگی مقطع، زمان قطع آزمایش و غیره است. با توجه به محدوده تغییرات این‌طور می‌توان گفت که در محدوده انحراف معیار هندسی بین ۱ تا ۲ و یا ضریب یکنواختی حدود ۱ تا ۳ می‌توان از تأثیر غیریکنواختی ذرات بر روی ضریب رابطه صرف‌نظر کرد؛ ولی برای مقادیر بالاتر تأثیر محسوس بر روی ضریب رابطه خواهد داشت که در محدوده این تحقیق می‌توان به طور متوسط افزایش ۱۹ درصد را برای نما در رابطه اسونسن در نظر گرفت.

با در نظر گرفتن توان متوسط ۰/۶۴۶ در حالت استفاده از ذرات تقریباً یکنواخت میزان تأثیر برای انحراف از معیار هندسی بزرگتر از ۲ به صورت ضریبی در توان رابطه دخالت داده می‌شود که در رابطه (۳) نشان داده شده است.

$$X^* = A.T^{*C_{t.B}} \quad (3)$$

که در آن B توان رابطه در حالت استفاده از ذرات تقریباً یکنواخت (انحراف معیار هندسی کوچکتر از ۲) و  $C_t$  میزان تأثیر غیریکنواختی ذرات بر روی توان رابطه است. ارتباط این ضریب با انحراف معیار هندسی ذرات در رابطه (۴) نشان داده شده است.

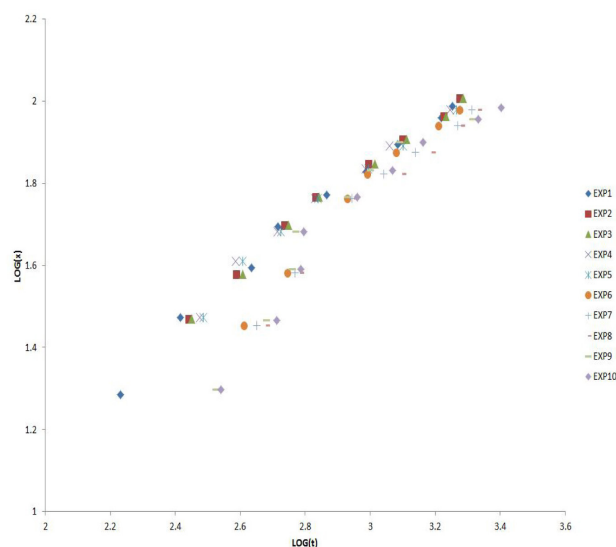
نصب‌شده بر روی موتور پمپ تنظیم شده و سپس با دریچه لولایی انتهایی سطح آب در مخزن در سطح مورد نظر تنظیم و سپس تزریق رسوب آغاز می‌گردد. همزمان با ورود دلتا به مخزن، ثبت زمان با کروномتر شروع شد و زمان پیشروی پایه و تاج دلتا در ایستگاه‌های مختلف با توجه به شاخص‌های قرار داده شده ثبت می‌شد و این کار تا زمانی که دلتا در حدود ۱۲۰ سانتی‌متر در مخزن پیشروی می‌کرد، ادامه می‌یافت. با توجه به حجم بالای مصرف رسوب، برای انجام هر آزمایش حداقل ۳ روز زمان نیاز بود. این زمان با احتساب زمان لازم برای جابجایی رسوبات است. زمان تقریبی آزمایش از زمان تشکیل دلتا در ابتدای مخزن در حدود دو ساعت بود. در این تحقیق در مجموع ۱۰ آزمایش صورت گرفت که شماره آزمایش‌ها منطبق با شماره نمونه‌ها در جدول (۱) می‌باشد. در پایان هر آزمایش، شیب پیشانی دلتا با استفاده از متر لیزری با دقت یک میلی‌متر و خطای دو میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

### ۳- نتایج و بحث

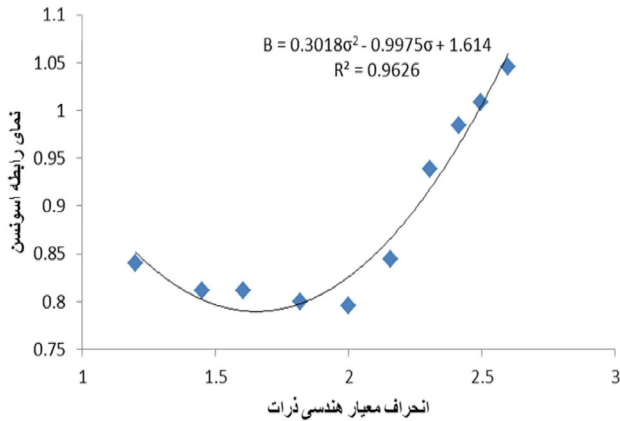
در شکل (۳) منحنی پیشروی دلتا در مخزن برای پایه دلتا در کلیه آزمایش‌ها نشان داده شده است. با توجه به منحنی پیشروی می‌توان رابطه‌ای توانی (مانند رابطه اسونسن) برای پیشروی پایه دلتا توسعه داد که در جدول (۲) مقادیر توان در حالات مختلف آمده است.

در شکل (۴) ارتباط بین تغییرات نمای رابطه برازش داده شده و انحراف معیار هندسی ذرات برای پایه دلتا آمده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، ذرات غیریکنواخت رسوبی هم بر نمای رابطه و هم بر ضریب رابطه تأثیرگذار بوده است و به طور کلی، با افزایش میزان غیریکنواختی رسوبی کاهش سرعت پیشروی دلتا دیده می‌شود. در حالتی که از ذرات کاملاً یکنواخت رسوبی در تحقیق استفاده شده است، میزان توان برابر ۰/۶۴۶ استخراج شد که این مطلب، مطابق با تحقیقات مامی‌زاده می‌باشد. اختلاف در توان استخراج‌شده برای پیشروی



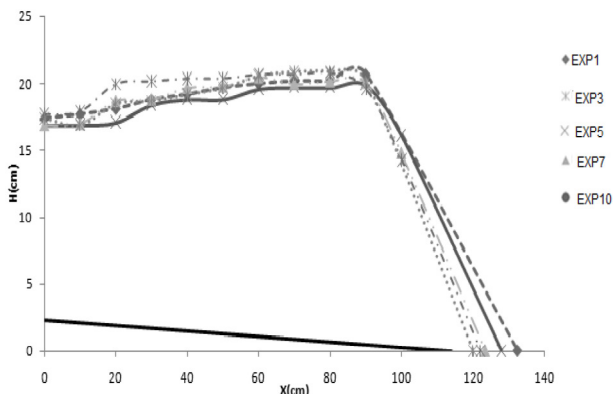
شکل ۳: منحنی پیشروی پایه



شکل ۵: ارتباط بین توان و انحراف معیار هندسی در تاج

به ضرائب تصحیحی مربوط به غیریکنواختی ذرات رسوبی دارند که در این تحقیق، در محدوده ۱۲ درصد طول کل مخزن این ضرائب تصحیح ارائه شده‌اند. نکته دیگر که بر روی پیشروی دلتا در مخزن تأثیرگذار است، زاویه پیشانی دلتاست که به دلیل این که این زاویه بر اختلاف زمان پیشروی پایه و تاج دلتا در مخزن مؤثر است و با افزایش این زاویه اختلاف بیشتری بین زمان پیشروی پایه و تاج دلتا مشاهده می‌شود، به همین دلیل در این قسمت به بررسی تأثیر غیریکنواختی ذرات بر روی شیب پیشانی دلتا پرداخته شده است. در شکل (۶) پروفیل طولی دلتا در آزمایش‌های مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شیب پیشانی دلتا با تغییر دانه‌بندی ذرات تغییرات داشته است. شیب پیشانی یکی از مشخصه‌های مهم دلتاست که در تحقیقات گذشته نیز توجه زیادی به آن شده است. در شکل (۷) رابطه بین تغییرات شیب پیشانی و انحراف از معیار هندسی ذرات نشان داده شده است.

با افزایش غیریکنواختی ذرات رسوبی میزان شیب پیشانی دلتا کاهش می‌یابد و می‌توان رابطه خطی با تطابق خوبی بین تغییرات انحراف معیار هندسی و ضریب یکنواختی با زاویه شیب پیشانی دلتا برقرار کرد و می‌توان گفت با افزایش میزان غیریکنواختی ذرات رسوبی در مخزن میزان پیشروی پایه نسبت به تاج دلتا به دلیل کاهش زاویه شیب افزایش یابد.



شکل ۶: پروفیل دلتا در تعدادی از آزمایش‌ها (در پایان آزمایش)

$$Ct_{TOE} = 0.461\sigma + 0.0966 \quad (4)$$

لازم به یادآوری است که در این تحقیق، دلتا در حدود ۱۲۰ سانتی‌متر در مخزن پیشروی داشت و روابط استخراج شده در محدوده مورد نظر قابل استفاده هستند.

به منظور تحلیل حرکت تاج یا نقطه محوری دلتا در مخزن، همانند تحلیل حرکت پایه عمل می‌شود. در جدول (۳) مقادیر ضریب و توان در حالات مختلف آمده است.

جدول ۳: مقادیر ضریب و نمای رابطه توسعه داده شده برای تاج دلتا

انحراف معیار هندسی	نمای رابطه (B)
۱/۲	-۰/۸۴۲
۱/۴	-۰/۸۱۱
۱/۶	-۰/۸۱۲
۱/۸	۰/۸
۲	۰/۸
۲/۱۵	-۰/۸۵
۲/۳	-۰/۹۳۸
۲/۴	-۰/۹۸۳
۲/۵	۱
۲/۶	۱/۰۴

در شکل (۵)، ارتباط بین تغییرات نمای رابطه برآزش داده شده و انحراف معیار هندسی ذرات برای تاج دلتا آمده است. با در نظر گرفتن میزان متوسط ۰/۸۱ برای ذرات تقریباً یکنواخت همانند پایه رابطه (۵) برای ضریب  $C_t$  در تاج استخراج خواهد شد.

$$Ct_{TOP} = 0.551\sigma - 0.131 \quad (5)$$

با بررسی نمودارهای ارائه شده می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش میزان غیریکنواختی ذرات سرعت پیشروی در محدوده این تحقیق (۱۲ درصد پیشروی در مخزن) کاهش داشته است. البته این تأثیر در محدوده انحراف معیار هندسی ۱ تا ۲ کم به نظر می‌رسد؛ ولی با افزایش بیش از ۲ انحراف از معیار هندسی تأثیر بیشتر خواهد داشت. اما باید به این نکته توجه داشت که تعمیم روابط برای کل طول مخزن صحیح نیست. زیرا با توجه به تأثیر غیریکنواختی ذرات بر ضریب و نمای رابطه توانی پیشروی دلتا نیاز به بررسی و استخراج روابط مربوطه در محدوده‌های مختلف مخزن می‌باشد. اولین نتیجه‌ای که از این تحقیق می‌توان گرفت، تأثیر انکارناپذیر غیریکنواختی ذرات بر روی پیشروی دلتا در مخزن است. در تحقیقات گذشته در مورد پیشروی دلتا در مخزن عاملی مربوط به میزان غیریکنواختی ذرات رسوبی در تحلیل ابعادی وارد نشده بود و به نوعی تمامی روابط مربوط به پیشروی دلتا در مخزن نیاز





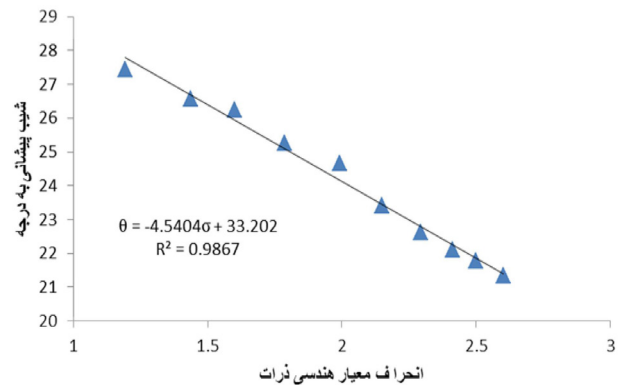
شکل ۸: دستگاه تزریق رسوب



شکل ۹: نمایی از دلتا تشکیل شده در فلوم آزمایشگاهی

#### ۵- مراجع

- [1] Toniolo, H.; and Parker, G.; "1D Numerical Modeling of Reservoir Sedimentation", Proceeding, IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Barcelona, Spain, pp. 457-468,



شکل ۷: تغییرات شیب پیشانی با انحراف معیار هندسی ذرات

همان‌طور که دیده می‌شود، با افزایش غیریکنواختی ذرات رسوبی نسبت پیشروی پایه با تاج افزایش داشته است. البته میزان افزایش مقدار کمی می‌باشد و تأثیر قابل ملاحظه‌ای در پیشروی دلتا در مخزن نداشته است. در شکل‌های (۸) و (۹) نمایی از تجهیزات آزمایشگاهی و همچنین دلتای تشکیل شده در فلوم نشان داده شده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر غیریکنواختی ذرات رسوبی بر روی پیشروی دلتا در مخزن به طور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. مصالح رسوبی مورد استفاده در این تحقیق دارای محدوده غیریکنواختی (انحراف معیار هندسی)  $1/2$  تا  $2/6$  بودند. با توجه به نتایج تحقیق، مشاهده شده که در محدوده بررسی این تحقیق با افزایش میزان غیریکنواختی ذرات، سرعت پیشروی دلتا هم در مورد پایه و هم در مورد تاج دلتا کاهش داشته و زمان پیشروی نیز افزایش یافته است. ذرات غیریکنواخت رسوبی هم بر نمای رابطه و هم بر ضریب رابطه تأثیرگذار بوده است. در حالتی که از ذرات کاملاً یکنواخت رسوبی در تحقیق استفاده شده است، میزان توان برابر  $0/663$  استخراج شد که این مطلب، مطابق با تحقیقات مامی‌زاده می‌باشد. اختلاف در توان استخراج شده برای پیشروی پایه دلتا در این تحقیق و تحقیقات گذشته ناشی از اختلاف در هندسه مدل‌ها، میزان بازشدگی مقطع، زمان قطع آزمایش و غیره می‌باشد. در محدوده مطالعه شده در این تحقیق، با توجه به نتایج می‌توان گفت در محدوده انحراف معیار هندسی  $1$  تا  $2$  تأثیر غیریکنواختی ذرات بر روی پیشروی دلتا در مخزن محسوس نیست. ولی با افزایش بیشتر انحراف از معیار هندسی تأثیر بسیار محسوس غیریکنواختی ذرات بر روی پیشروی دلتا مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج آزمایش‌ها مشاهده شد که با افزایش میزان غیریکنواختی ذرات رسوبی زاویه شیب پیشانی دلتا کاهش می‌یابد که بین این دو عامل، رابطه‌ای خطی برقرار است. همچنین تأثیر غیریکنواختی ذرات رسوبی بر روی سایر مشخصات پروفیل طولی دلتا در مخزن از جمله ارتفاع قسمت بالایی دلتای رسوبی و همچنین زاویه شیب قسمت بالایی دلتا محسوس نیست و می‌توان این‌طور اظهار نظر کرد که غیریکنواختی ذرات رسوبی باعث پیشروی بیشتر پایه نسبت به تاج دلتا می‌گردد.

- on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS 2004, Jyvaskyla , 28 July 2004.
- [7] Kostic, S.; and Parker, G.; "*Progradational Sand-Mud Deltas in Lakes and Reservoirs-Part I*", Theory and Numerical Modeling, Journal of Hydraulic Research, Vol. 41, No. 2, pp. 127-140, 2003.
- [8] Jugovic, J.; Schuster, G.; and Nachtnebel, S.; "*Aggradation of Reservoirs in Alpine Regions*", International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Austria, pp. 275-280, 2005.
- [9] مامی زاده، ج؛ بررسی زاویه واگرایی و مشخصات هیدرولیکی- رسوبی بر نحوه پیشروی دلتا در مخازن سدها، رساله دکتری، رشته سازه های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۸.
- [۱۰] صفی یاری، ا؛ بنی هاشمی، م؛ بررسی پیشروی زبانه رسوبی در مخزن، نشریه دانشکده فنی، دوره ۳، شماره ۴، صفحه ۳۸۳ تا ۳۹۴، آبان ماه ۱۳۸۸.
- 2003.
- [۲] چگنی زاده، ا؛ بررسی آزمایشگاهی رسوب گذاری در مخازن سدها و تشکیل دلتا، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران آب، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۱۳۸۴.
- [3] Raudkivi, A. J.; "*Hydraulic Structure Design Manual, Sedimentation, Exclusion and Removal of Sediment from Diversion Water*", IAHR, p. 164, 1993.
- [4] Fan, J.; and Morris, G.; "*Reservoir Sedimentation. I: Delta and Density Current Deposits*", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 118, pp. 354-369, 1992.
- [5] Swenson, J. B.; Voller, V. R.; Paola, C.; Parker G.; and Marr J. G.; "*Fluvio-Deltaic Sedimentation: A Generalized Stefan Problem*", Euro. J. of App. Math., Vol. 11, pp. 433-452, 2000.
- [6] Voller, V. R.; Swenson, J. B.; Kim, W.; and Paola, C.; "*A Fixed-grid Method for Moving Boundary Problems on the Earth Surface*", European Congress