

## بررسی تأثیر شوری بر تغییرات زمانی غلظت رسوبات چسبنده معلق با استفاده از فلوم دوار

محمود اسکینی<sup>۱\*</sup>، حسین صمدی بروجنی<sup>۲</sup>، روح اله فتاحی ناوچی<sup>۳</sup> و محمد بزاز<sup>۴</sup>

\*- نویسنده مسئول، دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی - کشاورزی - دانشگاه شهرکرد. Mahmood\_eskini@yahoo.com

۲- دانشیار دانشگاه شهرکرد - گروه مهندسی علوم آب - دانشکده کشاورزی

۳- استادیار دانشگاه شهرکرد - گروه مهندسی علوم آب - دانشکده کشاورزی

۴- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی - کشاورزی - دانشگاه شهرکرد.

تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۲

### چکیده

رفتار رسوبات چسبنده به دلیل خاصیت فلوکوله شدن، به عوامل متعدد فیزیکی و شیمیایی وابسته است. در این تحقیق، به منظور بررسی تأثیر شوری بر ته نشینی رسوبات چسبنده معلق آزمایش‌هایی در فلوم دوار انجام شد. رسوبات مورد استفاده متشکل از ۶۳/۲ درصد رس، ۳۶/۱ درصد سیلت و ۰/۷ درصد ماسه بود. پروفیل سرعت و تنش برشی جریان با استفاده از دستگاه سرعت سنج ADV اندازه‌گیری شد. مدت هر آزمایش ۳۶۰ دقیقه و زمان لازم برای رسیدن به غلظت تعادلی برای آزمایش‌های مختلف بین ۴۰ دقیقه تا ۲ ساعت بود. نتایج نشان می‌داد که سطوح مختلف شوری تقریباً نقش یکسانی در میزان ته‌نشینی رسوبات دارند و به طور کلی روند ته‌نشینی رسوبات را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در تنش برشی بالا ( $0.593 \text{ N/m}^2$ ) اعمال شوری در به تعادل رسیدن غلظت رسوبات معلق تأثیر ندارد و همانند آزمایش‌های انجام شده در آب غیرشور بین بستر و جریان حاوی رسوب به لحاظ ته‌نشین شدن رسوبات و جدا شدن رسوبات ته‌نشین شده از بستر تعادل به وجود آمد. اما در تنش برشی‌های پایین ( $0.299 \text{ N/m}^2$  و  $0.109$ ) تأثیر شوری بیشتر نمایان بود. همچنین نتایج نشان داد در فرآیند ته‌نشینی پارامتر غالب تنش برشی است و تأثیر املاح موجود در آب به دلیل خصوصیات الکتروشیمیایی در تنش‌های برشی کوچک نمایان گردیده است.

کلید واژه‌ها: رسوبات چسبنده، فلوم دوار، شوری، تنش برشی.

## Experimental Study of Salinity Effects on Time Variation of Suspended cohesive Sediment Concentration Using an Annular Flume

M. Eskini<sup>1</sup>, H. Samadi-Boroujeni<sup>2</sup>, R. Fattahi<sup>3</sup> and M. Bazaz<sup>4</sup>

1- M.Sc. of Water structure, Shahrekord University

2- Associate Professor, Shahrekord University

3- Assistant Professor, Shahrekord University

4- M.Sc. of Water structure, Shahrekord University

Received: 2Jan2013

Accepted: 8July2013

### Abstract

Behaviors of cohesive sediments are influenced by many physicochemical properties. In this study in order to investigate salinity effects on time variation of suspended cohesive sediment concentration some experimental tests were conducted in an annular flume. Sediment samples were composed 63.2% of clay, 36.1 % of silt and 0.7% of sand. Velocity and shear stress profiles were measured by ADV velocimeter. Duration for each experiment was 360 minutes and the equilibrium condition was occurred in ranging of 40 min to 2 hours, for different tests. The results showed that different level of salinity has similar effect on flocculation of cohesive sediments. In a higher value of shear stress (i.e.  $0.593 \text{ N/m}^2$ ) the salinity hadn't significant effect on reaching of suspended cohesive sediment to an equilibrium condition, but in a lower value of shear stress (i.e.  $0.299 \text{ N/m}^2$ ) the salinity had more significant effect. The results also showed that in flocculation processes of cohesive sediments shear stress was an effective parameter comparing to salinity.

**Keywords:** Cohesive sediments, Annular flume, Salinity, Shear stress.

### مقدمه

عدم توجه به رفتار رسوبات در رودخانه‌ها و چگونگی روند رسوب‌گذاری و فرسایش در آنها و در نظر نگرفتن تغییر مسیر، تغییر شکل و شیب طولی رودخانه، در بسیاری از موارد بهره‌بردارانی از سازه‌های احداث شده در مسیر رودخانه را با مشکلات فراوانی رو به رو ساخته است. در کانال‌های انتقال آب نیز عدم توجه به رفتار رسوب و چگونگی حرکت مواد جامد در آن‌ها و میزان انباشتگی و محل رسوب‌گذاری در قسمت‌های مختلف هر کانال، در بهره‌برداری از برخی کانال‌ها مشکلاتی را ایجاد نموده است. از جمله این مشکلات می‌توان به انباشته شدن رسوبات در کانال و پر شدن قسمتی از سطح مقطع مفید کانال و کاهش حجم آب قابل انتقال اشاره نمود. بنابراین ارزیابی و بررسی روند ته‌نشینی و تحکیم رسوبات چسبنده در مخازن سدها و سواحل رودخانه‌ها و کانال‌های انتقال آب یکی از موضوعات و مسائل مهمی است که در طرح‌ها و مسائل مختلف رسوب‌زدایی و کنترل رسوب، از جمله پروژه‌های لایروبی و عملیات رسوب‌شویی هیدرولیکی نقش موثری دارد.

رسوبات چسبنده رسوباتی هستند که اندازه‌های کوچک، در حد چند دهم میکرون تا چندین میکرون، داشته و دارای خاصیت چسبندگی می‌باشند. وزن یک ذره رسوب چسبنده معلق به اندازه‌ای نیست که قادر به ته‌نشینی باشد زیرا هرگونه آشفتگی و یا نوسان در جریان، بر وزن آن غالب می‌شود. هر چند اندازه این ذرات ناچیز می‌باشد اما خاصیت چسبندگی این گونه رسوبات باعث به هم چسبیدن تعدادی از آنها و به وجود آمدن ذرات بزرگ‌تری که آنها را فلوک می‌نامند خواهد شد. به این عمل اصطلاحاً فلوکوله‌شدن گویند و خواص فیزیکی و شیمیایی آب و رسوب و تاثیر متقابل آنها موجب شدت یا ضعف این فرآیند می‌شود ( به نقل از صمدی بروجنی، ۲۰۰۴). فلوکولاسیون مهم‌ترین عاملی است که ته‌نشینی رسوبات چسبنده، سرعت سقوط و انتقال آنها را متفاوت از رسوبات غیرچسبنده می‌کند.

فلوک‌ها خصوصیات هیدرودینامیکی متفاوتی با دانه‌های رسوبی مجزا دارند و از نظر اندازه و وزن سریع‌تر از ذرات منفرد رسوب شرایط ته‌نشینی را خواهند داشت. سرعت ته‌نشینی هر فلوک را

خصوصیاتی هم چون اندازه، چگالی و شکل آن فلوک مشخص می‌کند.

### مواد و روش‌ها

#### رسوب مورد آزمایش

جهت انجام تحقیق حاضر، رسوبات از بستر خشک مخزن سد خاکی پیربلوط واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب غربی شهرکرد برداشت گردید. این رسوبات شامل ۶۳/۲ درصد رس، ۳۶/۱ درصد سیلت و ۰/۷ درصد ماسه بود. برای مشخص کردن خصوصیات فیزیکی این نوع رسوبات آزمایش‌های لازم بر روی نمونه‌ها انجام گردید که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است:

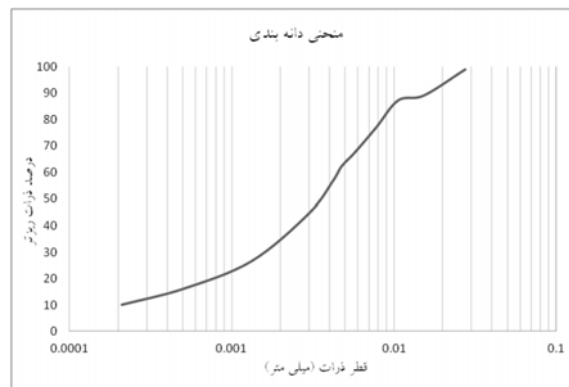
همچنین آزمایش‌های دانه‌بندی بر روی نمونه‌های رسوب انجام گرفت. نتیجه این آزمایش‌های در شکل ۱ آمده است.  $D_{10}$ ،  $D_{16}$ ،  $D_{30}$ ،  $D_{60}$  و  $D_{84}$  قطر ذراتی هستند که به ترتیب ۱۰، ۱۶، ۳۰، ۶۰ و ۸۴ درصد وزنی ذرات خاک از آن‌ها ریزترند و این مقادیر برای نمونه رسوب مورد استفاده پس از اصلاح آن به وسیله الک به ترتیب برابر ۰/۰۰۰۲۱، ۰/۰۰۰۰۵، ۰/۰۰۱۶، ۰/۰۰۳۶، ۰/۰۰۶۴ و ۰/۰۰۹ میلی‌متر می‌باشد.

#### نمک طبیعی

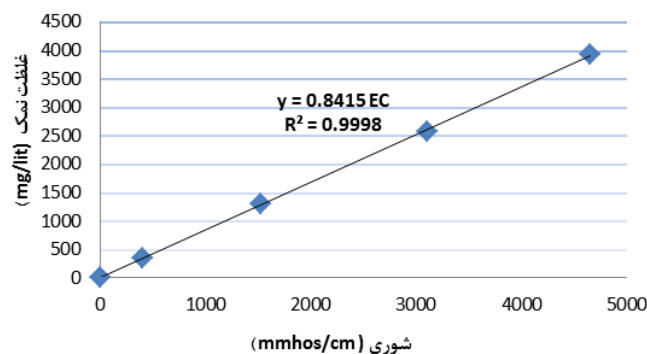
در پژوهش حاضر تاثیر سطوح مختلف شوری بر نرخ ته‌نشینی مورد بررسی قرار گرفت. نمک مورد نیاز از چشمه‌های آب شور کوهرنگ برداشت شد که رابطه بین جرم نمک (بر حسب میلی-گرم) و میزان شوری (بر حسب میلی‌موس بر سانتی‌متر) به شرح شکل (۲) می‌باشد. در این تحقیق میزان شوری با استفاده از دستگاه الکتروود هدایت سنج اندازه‌گیری شد. برای تعیین تاثیر شوری بر روند ته‌نشینی علاوه بر آب غیر شور از شوری‌های ۴۵۰۰ و ۲۵۰۰، ۱۰۰۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر استفاده شد.

### جدول ۱- خصوصیات فیزیکی نمونه‌های آزمایشی

حدود آتربرگ		چگالی دانه‌ها	
حد خمیری (PL)	حد روانی (LL)	(کیلوگرم بر متر مکعب)	درصد رطوبت
		$G_s (kg/m^3)$	
۴۷/۵	۲۹/۲۸	۲/۶۹	۰/۱۳



شکل ۱ - نمودار آزمایش دانه‌بندی رسوبات



شکل ۲- رابطه میزان شوری با غلظت نمک محلول در آب

است که دارای اجزای زیر می‌باشد (صمدی بروجنی و همکاران، ۱۳۸۹):

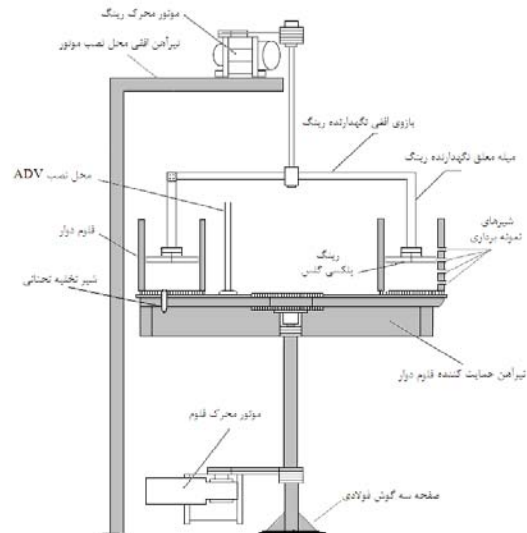
- ۱- فلومی با مقطع عرضی مستطیل شکل
- ۲- رینگ (یا درپوش) مستقر در بالای فلوم
- ۳- موتور چرخاننده فلوم به همراه سیستم تنظیم کننده دور آن
- ۴- موتور چرخاننده رینگ به همراه سیستم تنظیم کننده دور آن

فلوم و رینگ می‌توانند به طور همزمان و البته مجزا از هم در یک جهت و یا در جهت مخالف یکدیگر بچرخند، بنابراین برای ایجاد سرعت‌های مختلف جریان آب در داخل فلوم، می‌توان آنها را با سرعت‌های متفاوت چرخاند. چرخش همزمان آنها در جهت عکس یکدیگر از تشکیل جریان‌های ثانویه چشمگیری که در گوشه‌های فلوم تشکیل می‌گردد، جلوگیری کرده و باعث به وجود آمدن یک جریان یکنواخت آشفته می‌گردد. بنابراین با این روش می‌توان تنشینی یکنواختی در عرض بستر کانال به وجود آورد.

در شکل (۳) نمای شماتیک فلوم دوار موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد و در شکل (۴) نمایی از رینگ بالا به همراه بازوی نگاه‌دارنده مشاهده می‌شود (اسکینی، ۱۳۹۰).

### فلوم آزمایشگاهی

برای مطالعه‌ای معتبر بر روی رفتار رسوبات چسبنده در هنگام ته‌نشینی یک وسیله آزمایشگاهی قابل اطمینان مورد نیاز می‌باشد. به گونه‌ای که اولاً بتوان با این وسیله در تمام نواحی جریان، برش مرزی یکنواختی را ایجاد نمود و ثانیاً مقدار آن را به آسانی تعیین کرد. واضح است که یک فلوم آزمایشگاهی مرسوم نمی‌تواند این شرایط را فراهم کند. چون برای انتقال مخلوط آب-رسوب به ابتدای فلوم باید از یک لوله‌ی بازگشت استفاده کرد که شرایط جریان در آن با شرایط جریان درون فلوم تفاوت بسیار زیادی دارد. بنابراین ضروری است که برای فراهم کردن این شرایط یک مدل تحقیقاتی ویژه طراحی و ساخته شود. چنین مدلی برای اولین بار در سال ۱۹۶۳ و در موسسه تکنولوژی ماساچوست (MIT) طراحی و ساخته شد که از این سال تا سال ۱۹۶۸ اولین مطالعات تفصیلی بر روی ته‌نشینی انجام گرفت. پس از آن و در بین سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۸۳ جهت تحقیقات بیشتر بر روی ته‌نشینی رسوبات چسبنده دستگاهی بزرگ‌تر و شبیه دستگاه قبلی توسط دانشگاه فلوریدا ساخته شد (پارتنیادس، ۲۰۰۹). فلوم مورد استفاده در این تحقیق فلوم دوار مستقر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد



شکل ۳- نمایی شماتیک فلوم دوار موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهر کرد



شکل ۴- نمایی از رینگ بالا و بازوی نگهدارنده

#### اندازه گیری سرعت و تنش برش

کریشناپان و انجل<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) در تحقیقات خود پیرامون توزیع تنش برشی در فلوم دوار با استفاده از لوله پرستن (ابزار اندازه گیری مستقیم تنش برشی) و معادله‌ها دینامیک سیالات دریافتند در حالتی که سرعت چرخشی رینگ نسبت به سرعت چرخشی فلوم کمی بیشتر باشد، توزیع تنش برشی در عرض فلوم از یکنواختی بیشتری برخوردار است. نسبت سرعت‌های مذکور ( $\alpha$ ) از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\alpha = \frac{N_r}{N_f} \quad (1)$$

#### دستگاه سرعت سنج

شگردهای اندازه گیری جدید سرعت همچون سرعت سنج سه بعدی صوتی امکان بررسی خصوصیات آشفتگی جریان را برای کاربر ایجاد می‌کند. ADV نسل جدید سرعت سنج‌های سه بعدی ساخت شرکت نور تک نروژ است که به علت ساختار کابلی آن، امکان اندازه گیری با زوایای مختلف را برای کاربر فراهم می‌کند. واسنجی این دستگاه در کارخانه سازنده صورت گرفته و نیازی به واسنجی توسط کاربر نمی‌باشد. این واسنجی تا زمانی که دستگاه از لحاظ فیزیکی صدمه‌ای ندیده است تغییر نمی‌کند، با این وجود بهتر است در چند مورد سرعت‌های نقطه‌ای اندازه گیری شده توسط این دستگاه، با سرعت‌های اندازه گیری شده با دستگاه دیگری همچون مولینه یا لوله پیتو مقایسه گردد (مقبل، ۱۳۸۷). در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهر کرد یک دستگاه سرعت سنج ADV مدل Vectrino+ موجود است که در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفت.

1- Krishnappan & Engel.

جدول ۲- سرعت و تنش برشی متوسط در سرعت‌های مختلف چرخش فلوم و رینگ بالا

مجموع سرعت چرخش فلوم و رینگ بالا (دور بر دقیقه)					پارامتر اندازه‌گیری شده
۶/۱	۴/۹	۴/۲	۳/۴	۲/۵	
۰/۳۳۸	۰/۲۶۸	۰/۲۳۷	۰/۱۸۸	۰/۱۳۹	سرعت متوسط جریان (m/s)
۰/۶۵	۰/۴۵	۰/۳۲	۰/۲۰	۰/۱۳	تنش برشی متوسط (N/m <sup>2</sup> )

جدول ۳- نام و مشخصات آزمایش‌های انجام گرفته در این تحقیق

غلظت اولیه ۲۰ گرم بر لیتر		غلظت اولیه ۱۰ گرم بر لیتر		غلظت اولیه ۵ گرم بر لیتر	
میزان نسوری اعمالی (mmhos/cm)	مجموع سرعت فلوم و رینگ (cm/s)	میزان نسوری اعمالی (mmhos/cm)	مجموع سرعت فلوم و رینگ (cm/s)	میزان نسوری اعمالی (mmhos/cm)	مجموع سرعت فلوم و رینگ (cm/s)
نام آزمایش	نام آزمایش	نام آزمایش	نام آزمایش	نام آزمایش	نام آزمایش
۰	۲۲/۳۸	۰	۲۲/۳۸	۰	۲۲/۳۸
۰	۳۹/۴۷	۰	۳۹/۴۷	۰	۳۹/۴۷
۰	۵۸/۵۱	۰	۵۸/۵۱	۰	۵۸/۵۱
۱۰۰۰	۲۲/۳۸	۱۰۰۰	۲۲/۳۸	۱۰۰۰	۲۲/۳۸
۱۰۰۰	۳۹/۴۷	۱۰۰۰	۳۹/۴۷	۱۰۰۰	۳۹/۴۷
۱۰۰۰	۵۸/۵۱	۱۰۰۰	۵۸/۵۱	۱۰۰۰	۵۸/۵۱
۲۵۰۰	۲۲/۳۸	۲۵۰۰	۲۲/۳۸	۲۵۰۰	۲۲/۳۸
۲۵۰۰	۳۹/۴۷	۲۵۰۰	۳۹/۴۷	۲۵۰۰	۳۹/۴۷
۲۵۰۰	۵۸/۵۱	۲۵۰۰	۵۸/۵۱	۲۵۰۰	۵۸/۵۱
۴۵۰۰	۲۲/۳۸	۴۵۰۰	۲۲/۳۸	۴۵۰۰	۲۲/۳۸
۴۵۰۰	۳۹/۴۷	۴۵۰۰	۳۹/۴۷	۴۵۰۰	۳۹/۴۷
۴۵۰۰	۵۸/۵۱	۴۵۰۰	۵۸/۵۱	۴۵۰۰	۵۸/۵۱

که در آن  $N_r$ : سرعت چرخشی رینگ و  $N_f$ : سرعت

چرخشی فلوم برحسب دور بر دقیقه می‌باشد. این نسبت برای فلوم دوار مورد استفاده در این تحقیق (فلوم دوار موجود در دانشگاه شهرکرد) برابر ۱/۱ به دست آمده است (خواستار بروجنی، ۱۳۹۰).

در آزمایش‌های تعیین سرعت و تنش برشی شرایط آزمایش‌های اصلی (سرعت چرخش فلوم و رینگ، عمق آب) اعمال گردید، با این تفاوت که اندازه‌گیری‌ها در آب زلال و بدون حضور رسوب صورت گرفت. سرعت متوسط جریان براساس منطقه تأثیر سرعت‌های نقطه‌ای، به صورت وزنی محاسبه شده است. لازم به ذکر است که در تعیین سرعت متوسط به روش میانگین وزنی، رینگ و فلوم نیز منطقه‌ای را به خود اختصاص دادند. سرعت جریان در کف برابر با سرعت چرخشی فلوم و در سطح آب برابر با مجموع سرعت چرخشی فلوم و درپوش در نظر گرفته شد. بر اساس اندازه‌گیری‌های سرعت و تنش برشی جریان (جدول ۲) روابط زیر بین خصوصیات هیدرولیکی جریان در فلوم و سرعت چرخش فلوم و رینگ به دست آمد:

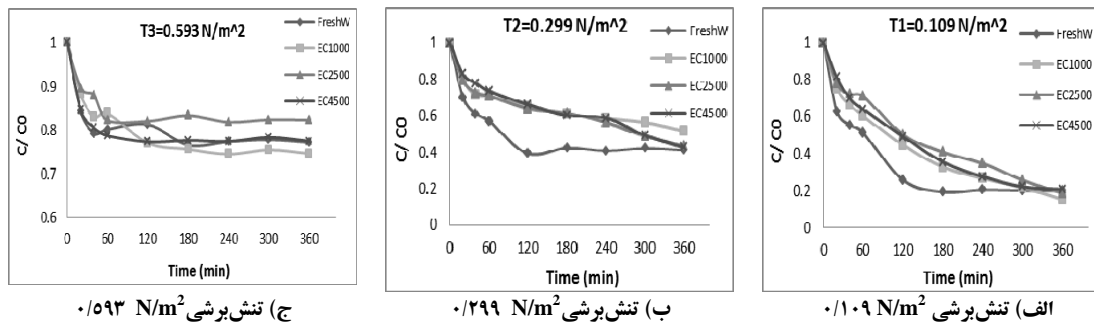
$$\tau = 0.0256(\Omega^{1.7715}) \quad (2)$$

$$R^2 = 0.99$$

$$V = 0.2085 \ln(\Omega) - 0.0556 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.98$$

در این روابط  $\Omega$ : مجموع سرعت چرخش فلوم و رینگ برحسب (rpm) و  $V$ : سرعت متوسط جریان برحسب (m/s) می‌باشد و  $\tau$ : متوسط تنش برشی جریان برحسب (N/m<sup>2</sup>) می‌باشد. هوکوانگ‌هو (۲۰۰۸) نیز در تحقیقات خود، رابطه بین تنش برشی و سرعت چرخش فلوم دوار را به صورت نمایی به دست آورد.



شکل ۵- تأثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه ۵ گرم بر لیتر و تنش برشی مشخص شده

کاهش می‌یابد. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌گردد برای هر غلظت در آب غیر شور، در تنش‌های بزرگ‌تر رسیدن به حالت تعادلی در زمان کمتری اتفاق می‌افتد. این موضوع نشان دهنده‌ی این امر است که تنش برشی جریان نقشی دو جانبه در فرآیند فلوکولاسیون بازی می‌کند. وجود تنش برشی بالاتر از طرفی به دلیل توربلانس ایجاد شده سبب افزایش احتمال برخورد بین ذرات و به‌دنبال آن سبب آرایش فلوک‌ها و افزایش فرآیند فلوکولاسیون شده و ته‌نشینی را افزایش می‌دهد، از طرف دیگر شدت بیش از حد تنش‌های برشی بزرگ‌تر موجب خرد شدن توده‌های رسوبی (فلوک) شده و به دنبال آن نرخ ته‌نشینی را کاهش می‌دهد.

به منظور کنترل تأثیر زمان بر عدم حصول غلظت تعادلی در تنش‌های پایین  $0.109$  و  $0.299$  نیوتن بر متر مربع (معادل سرعت‌های  $0.141$  و  $0.256$  متر بر ثانیه) در آزمایش - **T1-EC4500-C10** و آزمایش **T2-EC4500-C10**، به ترتیب  $17/5$  و  $19$  ساعت پس از شروع آزمایش نمونه برداری انجام شد که نتیجه آن در شکل (۸) قابل مشاهده می‌باشد. برای بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر غلظت رسوبات معلق جدول‌های (۴) تا (۶) ارائه گردیده است. همان‌طور که در این جدول‌ها ملاحظه می‌گردد در مقایسه با تنش برشی‌های کوچک‌تر در بالاترین تنش برشی تغییر شوری تأثیری ناچیز و ناهمگونی بر غلظت رسوبات معلق داشته است اما در تنش برشی‌های  $0.109$  و  $0.299$  نیوتن بر متر مربع) و در مدت زمان آزمایش، اعمال شوری عموماً باعث افزایش غلظت رسوبات معلق شده، به طوری که در یک ساعت ابتدایی این افزایشی بیشتر از  $10\%$  درصد بوده اما با نزدیک شدن به ساعات پایانی آزمایش این افزایش غلظت رفته رفته از بین می‌رود.

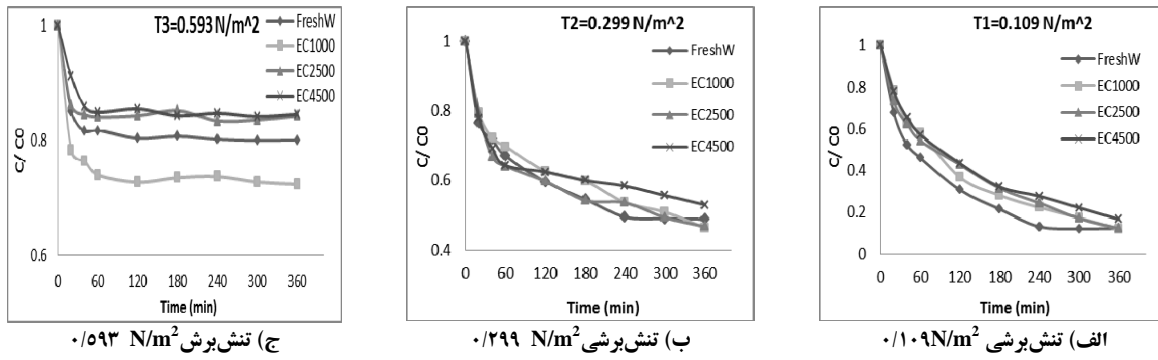
### آزمایش‌های اصلی

برای انجام آزمایش‌های سرعت آستانه ته‌نشینی رسوبات چسبنده، ابتدا با استفاده از آب تصفیه شده شبکه لوله‌کشی آزمایشگاه، فلوم تا ارتفاع  $20 \text{ cm}$  از آب پر گردید. سپس از آب درون فلوم به میزان کافی جهت ساخت مخلوط آب و رسوب خارج گردید. از آنجایی که مساحت بستر فلوم  $1/508$  متر مربع می‌باشد که با داشتن عمق  $0.2$  متر، حجم آب و رسوب برابر  $30.1/6$  لیتر خواهد بود بنابراین جرم رسوب در غلظت‌های  $5$ ،  $10$  و  $20$  گرم بر لیتر به ترتیب  $150.8$ ،  $30.16$  و  $60.32$  گرم به دست آمد. سپس برای هر غلظت مقدار رسوب مورد نیاز، به میزان محاسبه شده توسط ترازوی دیجیتال با دقت  $0.1$  گرم توزین و آماده گردید. آزمایش‌های اصلی بر اساس سرعت چرخش و غلظت رسوبات و میزان شوری نام‌گذاری شد که در جدول (۳) قابل مشاهده است.

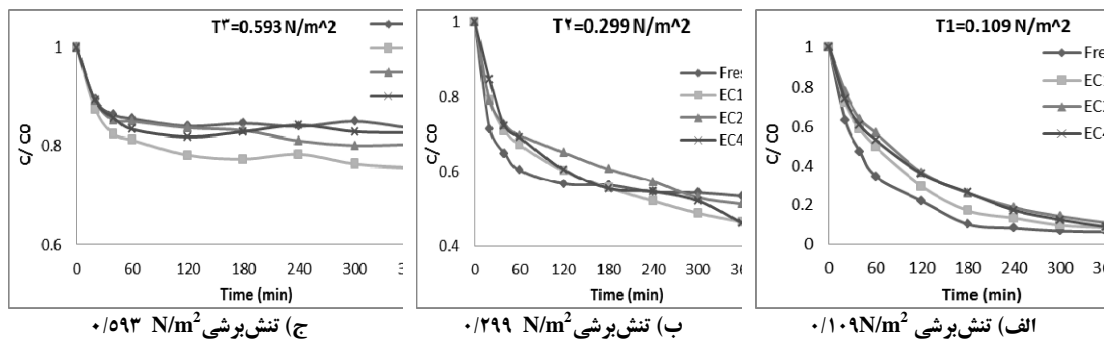
### نتایج و بحث

#### الف) تغییرات زمانی غلظت متوسط رسوبات معلق

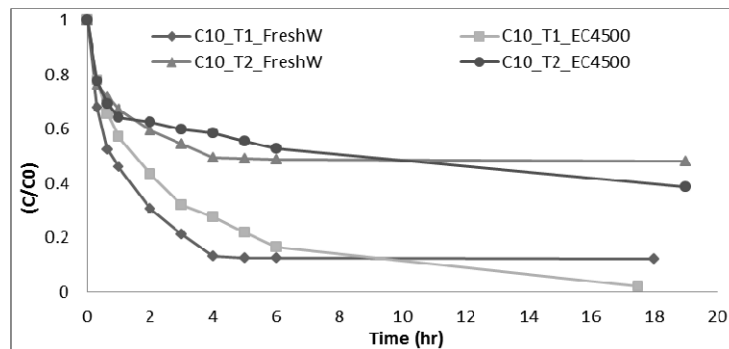
برای نشان دادن تغییرات زمانی غلظت رسوبات معلق، لازم است غلظت متوسط رسوبات برای کل عمق محاسبه گردد. برای تعیین غلظت متوسط در هر زمان تأثیر فاصله شیرهای نمونه‌گیری در نظر گرفته شد. برای بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر روند ته‌نشینی رسوبات معلق در نمودارهای (۵) تا (۷) به ازای تنش - برشی و غلظت اولیه‌ی ثابت هم در آب غیر شور و هم در سه سطح شوری مذکور در هر غلظت اولیه‌ی تغییرات غلظت نسبی در مقابل زمان ترسیم شده است. با توجه به شکل‌های مذکور نتایج به دست آمده برای آزمایش‌های در آب غیر شور و آزمایش‌های در سطوح مختلف شوری نشان داد که به ازای هر غلظت اولیه‌ی و هر تنش - برشی اعمال شده‌ی غلظت رسوبات معلق در  $40$  دقیقه ابتدایی دارای یک افت ناگهانی شده و پس از آن به صورت تدریجی



شکل ۶- تأثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه ۱۰ گرم بر لیتر و تنش برشی مشخص شده



شکل ۷- تأثیر مقادیر مختلف شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق برای غلظت اولیه ۲۰ گرم بر لیتر و تنش برشی مشخص شده



شکل ۸- تأثیر بلندمدت شوری در روند ته‌نشینی رسوبات معلق

**جدول ۴- تفاوت غلظت رسوبات معلق در شوری‌های متفاوت نسبت به آب غیر شور در هر زمان بر حسب درصد برای غلظت اولیه ۵ گرم بر لیتر**

زمان (دقیقه)	نیوتن بر متر مربع T1= 0.109			نیوتن بر متر مربع T2 = 0.299			نیوتن بر متر مربع T3 = 0.593		
	EC1000	EC2500	EC4500	t(min)	EC2500	EC4500	EC1000	EC2500	EC4500
۲۰	۱۲/۳۸	۱۵/۱۷	۱۸/۵۱	۲۰	۹/۳۷	۱۲/۷۷	۳/۷۸	۵/۲۷	-۰/۳۵
۴۰	۱۰/۹۲	۱۶/۶۶	۱۴/۴۵	۴۰	۱۱/۶۴	۱۶/۷۸	۳/۷۲	۸/۶۴	۱/۳۷
۶۰	۹/۰۸	۱۹/۸۴	۱۲/۷۹	۶۰	۱۳/۸۰	۱۶/۵۲	۳/۷۵	۲/۰۹	-۱/۳۹
۱۲۰	۱۹/۰۳	۲۴/۶۵	۲۳/۵۶	۱۲۰	۲۴/۹۳	۲۷/۱۱	-۴/۲۴	-۰/۷۹	-۳/۹۸
۱۸۰	۱۳/۵۶	۲۱/۶۱	۱۶/۳۶	۱۸۰	۱۹/۱۷	۱۷/۸۹	-۰/۹۹	۶/۸۳	۱/۰۹
۲۴۰	۶/۲۷	۱۴/۳۶	۷/۲۵	۲۴۰	۱۵/۵۳	۱۸/۰۲	-۲/۹۷	۴/۴۸	-۰/۰۳
۳۰۰	۱/۲۶	۵/۷۶	۲/۱۸	۳۰۰	۶/۶۳	۷/۱۴	-۲/۴۲	۴/۶۱	-۰/۵۷
۳۶۰	-۴/۷۲	-۱/۳۴	-۰/۸۷	۳۶۰	۲/۴۶	۱/۷۱	-۲/۶۸	۵/۱۳	-۰/۲۹

**جدول ۵- تفاوت غلظت رسوبات معلق در شوری‌های متفاوت نسبت به آب غیر شور در هر زمان بر حسب درصد برای غلظت اولیه ۱۰ گرم بر لیتر**

زمان (دقیقه)	نیوتن بر متر مربع T1= 0.109			نیوتن بر متر مربع T2 = 0.299			نیوتن بر متر مربع T3 = 0.593		
	EC1000	EC2500	EC4500	EC1000	EC2500	EC4500	EC1000	EC2500	EC4500
۲۰	۱۰/۸۸	۵/۴۳	۱۰/۰۴	۳/۰۵	۲/۷۰	۱/۳۴	-۶/۸۴	۱/۰۳	۶/۰۳
۴۰	۱۰/۳۸	۹/۷۶	۱۳/۱۶	۰/۵۰	-۴/۸۶	-۲/۶۰	-۲/۲۶	۲/۹۲	۴/۲۴
۶۰	۱۲/۰۱	۸/۱۹	۱۱/۰۳	۲/۷۳	-۲/۹۱	-۲/۷۲	-۴/۷۵	۲/۳۳	۳/۱۳
۱۲۰	۶/۰۸	۱۲/۲۲	۱۲/۸۹	۳/۱۲	-۰/۰۹	۲/۸۴	-۴/۵۸	۳/۹۷	۵/۱۳
۱۸۰	۶/۶۳	۱۰/۰۴	۱۲/۷۵	۵/۲۳	-۰/۳۱	۵/۴۷	-۴/۱۹	۴/۴۶	۳/۵۹
۲۴۰	۹/۰۰	۱۱/۱۸	۱۴/۴۷	۴/۱۲	۴/۰۸	۸/۹۳	-۳/۴۵	۳/۲۸	۴/۵۹
۳۰۰	۵/۲۵	۴/۸۹	۹/۹۱	۱/۸۵	-۰/۳۱	۶/۶۱	-۴/۱۴	۳/۶۷	۴/۲۵
۳۶۰	-۰/۳۸	-۰/۰۴	۴/۲۱	-۲/۴۱	-۲/۰۹	۴/۰۸	-۴/۶۱	۴/۲۳	۴/۵۳

**جدول ۶- تفاوت غلظت رسوبات معلق در شوری‌های متفاوت نسبت به آب غیر شور در هر زمان بر حسب درصد برای غلظت اولیه ۲۰ گرم بر لیتر**

زمان (دقیقه)	نیوتن بر متر مربع T1= 0.109			نیوتن بر متر مربع T2 = 0.299			نیوتن بر متر مربع T3 = 0.593		
	EC1000	EC2500	EC4500	EC1000	EC2500	EC4500	EC1000	EC2500	EC4500
۲۰	۸/۶۰	۱۴/۴۶	۱۰/۴۷	۷/۶۸	۷/۳۳	۱۳/۱۸	-۱/۹۲	-۰/۲۳	-۰/۲۰
۴۰	۱۱/۴۳	۱۶/۵۳	۱۳/۵۶	۶/۱۷	۷/۷۱	۷/۴۱	-۳/۹۶	-۱/۱۴	-۰/۶۴
۶۰	۱۵/۰۸	۲۲/۲۲	۱۸/۵۰	۶/۷۴	۹/۳۴	۸/۷۱	-۴/۳۷	-۰/۵۲	-۲/۱۷
۱۲۰	۷/۵۱	۱۴/۴۰	۱۳/۷۱	۳/۴۵	۸/۳۵	۳/۸۱	-۵/۹۵	-۰/۳۴	-۲/۲۰
۱۸۰	۶/۸۴	۱۵/۸۷	۱۶/۱۴	-۰/۷۵	۴/۳۰	-۰/۹۳	-۷/۳۳	-۱/۴۸	-۱/۷۱
۲۴۰	۵/۲۰	۱۰/۵۴	۹/۱۸	-۲/۴۹	۲/۷۵	-۰/۰۸	-۵/۶۹	-۲/۹۴	-۰/۲۷
۳۰۰	۳/۰۴	۷/۵۳	۵/۸۰	-۵/۵۲	-۱/۳۳	-۲/۲۴	-۸/۷۳	-۴/۹۵	-۲/۱۲
۳۶۰	۲/۱۷	۴/۶۹	۲/۵۷	-۶/۹۴	-۲/۱۶	-۷/۲۵	-۸/۰۸	-۳/۳۲	-۰/۹۴



### نتیجه‌گیری

برشی کوچک نمایان گردیده است و هر چه مقدار تنش برشی کمتر باشد تاثیرگذاری املاح بیشتر است. برای آب غیر شور و سطوح مختلف شوری مشاهده شد که در هر غلظت اولیه‌ای و به ازای هر تنش برشی اعمال شده‌ای در ۴۰ دقیقه ابتدایی، غلظت رسوبات معلق دارای یک افت ناگهانی است و پس از آن به صورت تدریجی کاهش یافته تا اینکه در ساعات پایانی این آزمایش‌ها بین بستر و جریان حاوی رسوب به لحاظ ته‌نشین شدن رسوبات و جداشدن رسوبات ته‌نشین شده از بستر تعادل به وجود آمد.

سطوح مختلف شوری تقریباً نقش یکسانی در میزان ته‌نشینی رسوبات دارند و به طور کلی روند ته‌نشینی رسوبات را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در تنش برشی بالا ( $0/593N/m^2$ ) متناظر با سرعت متوسط جریان ( $0/350m/s$ ) اعمال شوری در به تعادل رسیدن غلظت تأثیر ندارد و همانند آزمایش‌های انجام شده در آب غیر شور بین بستر و جریان حاوی رسوب به لحاظ ته‌نشین شدن رسوبات و جدا شدن رسوبات ته‌نشین شده از بستر تعادل به وجود آمد اما در تنش برشی‌های پایین ( $0/299N/m^2$  و  $0/109$ ) متناظر با سرعت‌های متوسط جریان ( $0/256 m/s$  و  $0/141$ ) وجود شوری باعث می‌شود غلظت رسوبات معلق هرگز به تعادل نرسد. در فرآیند ته‌نشینی پارامتر غالب تنش برشی است و تأثیر املاح موجود در آب به دلیل خصوصیات الکتروشمیایی در تنش‌های

### منابع

- ۱- اسکینی، م. ۱۳۹۰. بررسی سرعت آستانه ته‌نشینی رسوبات معلق چسبنده در جریان های باز در سطوح مختلف شوری با استفاده از مدل فیزیکی فوم دوار. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهرکرد.
- ۲- خواستار بروجنی، م. ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی تأثیر پساب بر فلوکوله‌شدن رسوبات چسبنده در کانال‌های انتقال آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۳- صمدی بروجنی، ح. نادری بلداجی، م و فتاحی، ر. ۱۳۸۹. بررسی آستانه ته‌نشینی رسوبات چسبنده معلق با استفاده از مدل آزمایشگاهی فوم دایره‌ای. مجله پژوهش آب ایران، ۴(۶): ۷۵-۸۲.
- ۴- مقبل، ر. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر پوشش گیاهی در کف و دیواره های کانال بر نیمرخ سرعت جریان و برآورد ضریب زبری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- 5- SamadiBorujeni, H. 2004. Modeling of deposition and self weight consolidation of cohesive sediments. Ph. D. dissertation, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.
- 6- Partheniades, E. 2009. Cohesive sediments in open channels (1st ed). Elsevier, Burlington, USA.
- 7- Krishnappan, B. G. and P, Engel. 2004. Distribution of bed shear stress in rotating circular flume. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 130:324-331.
- 8- Ho Kyung, Ha. 2008. Acoustic measurements of cohesive sediment transport suspension to consolidation. Ph. D. dissertation, University Park Pennsylvania.