

مطالعه رفتار جریان چگال در دریاچه سد با استفاده از مدل هیدرولیکی*

صاحب شبان عباسی^(۳)محمدجواد خانجانی^(۲)غلامعباس بارانی^(۱)

چکیده رسوب گذاری در دریاچه پشت سد سبب کاهش تدریجی حجم دریاچه و در نتیجه کاهش عمر مفید آن می‌گردد. اطلاع از چگونگی توزیع رسوبات در دریاچه پشت سد می‌تواند برای تخلیه به موقع این رسوبات مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه با استفاده از یک مدل هیدرولیکی، تغییر غلظت جریان چگال در طول مخزن سد و نرخ رسوب گذاری آن مورد بررسی قرار گرفت. از ذرات ماسه به عنوان ذرات غیرچسبیده و از یک خاک با بافت رسی به عنوان ذرات چسبیده استفاده شد. به منظور بررسی اثر دبی ورودی جریان چگال بر توزیع رسوبات ته نشین شده و نرخ رسوب گذاری در مقاطع مختلف مخزن، آزمایش‌هایی با دبی‌ها و شیب‌های مختلف انجام شدند. بعد از ته نشینی بیشتر ذرات معلق، آب مخزن به آرامی تخلیه و از رسوبات ته نشین شده در فواصل مناسب نمونه برداری گردید که به منظور تعیین دانه بندی رسوبات ته نشین شده و محاسبه نرخ رسوب گذاری جریان چگال، به آزمایشگاه منتقل شدند. نتایج نشان دادند که بیشتر ذرات درشت دانه در ناحیه قبل از نقطه پلانج یا در مسافت کمی در پایین دست آن رسوب کردند در حالی که ذرات ریزدانه در ناحیه پایین دست نقطه پلانج به سمت دیواره سد قرار گرفتند. همچنین، نرخ رسوب گذاری به سمت پایین دست مخزن سد کاهش یافت. معادلات تعیین نرخ رسوب گذاری و محاسبه غلظت جریان چگال در طول مخزن ارائه گردید.

واژه های کلیدی مدل هیدرولیکی، نرخ رسوب گذاری، جریان چگال، مخزن سد.

Investigation of Density Current Behavior in Reservoir using Hydraulic Model

G. A. Barani

M. J. Khanjani

S. Shaban Abbasi

Abstract Reservoir sedimentation decreases the useful storage or the useful life of a reservoir. Knowledge of the sediment distribution in reservoirs can be used as a useful tool to discharge them at a proper time. In this study, using a hydraulic model, the concentration of density current along the reservoir and the sedimentation rate have been investigated experimentally. Two types of sediment particles, sand as non-cohesive and clay as cohesive particles were used. Experiments were done for different density current flow rates on several reservoir bed slopes to consider the effect of flow rates on sediment particles size distribution and sedimentation rate along the reservoir. After sedimentation of most suspended particles, reservoir water was discharged slowly, then, samples were taken from the sediments in proper distances along the reservoir. These samples were transferred to the laboratory for particle size testing and calculation of the sedimentation rate. Results were shown that most of the coarse particles were deposited before the plunge point or a short distance down the plunge, while, the fine particles were located between the plunge point and the dam, overall, sedimentation rate decreases along the reservoir toward the dam. Equations to calculate sedimentation rate and the concentration of density current along the reservoir, were introduced.

Key Words Hydraulic Model, Sedimentation Rate, Density Current, Reservoir.

* نسخه اولیه مقاله در تاریخ ۸۱/۱۰/۱۰ و نسخه نهایی آن در تاریخ ۸۲/۵/۱۸ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) استاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده مهندسی عمران

(۲) استاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده مهندسی عمران

(۳) دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده مهندسی کشاورزی

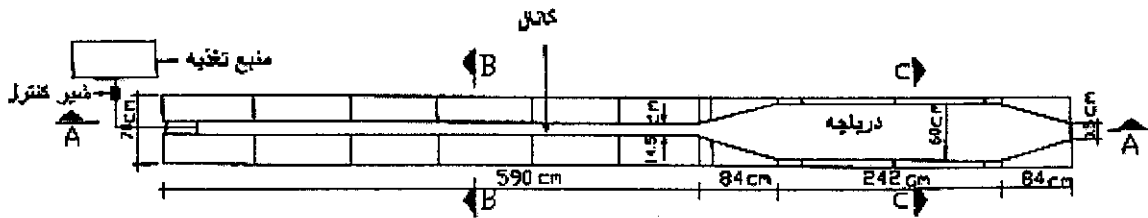
مقدمه

تحلیل نموده و برای توزیع سرعت و غلظت متوسط جریان چگال، معادله‌های پیشنهاد کردند [6]. در این مطالعه، به منظور بررسی تغییرات غلظت و رسوب گذاری جریان چگال در دریاچه پشت سد، مدل هیدرولیکی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک بازسازی شد [9]. با انجام آزمایشات متعدد به وسیله این مدل با رسوبات چسبنده و غیر چسبنده و اندازه گیری غلظت جریان چگال و میزان رسوب ته نشین شده در مقاطع مختلف در طول مخزن سد، تغییرات غلظت و نرخ رسوب گذاری جریان چگال محاسبه گردید. از طریق آنالیز ابعادی و رگرسیون، مدل ریاضی به منظور محاسبه غلظت جریان چگال و نرخ رسوب گذاری جریان‌های چگال حاوی ذرات چسبنده و غیرچسبنده در طول مخزن سد ارائه شد.

شرح مدل هیدرولیکی

به منظور مطالعه رفتار رسوب گذاری جریان چگال در دریاچه پشت سد، مدل هیدرولیکی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک بازسازی شد. این مدل دارای دو قسمت کانال و مخزن سد است. کانال دارای طول ۵/۹ متر، عرض ۱۴/۵ سانتیمتر و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر است. مخزن به طول ۴/۱ متر، ارتفاع ۴۰ سانتیمتر و عرض متغیر می‌باشد. عرض مخزن بعد از کانال، در طول ۸۴ سانتیمتر بتدریج افزایش می‌یابد و پس از آن در طول ۲/۴۲ متر ثابت مانده و سپس در طول ۸۴ سانتیمتر تدریجاً کاهش می‌یابد. عرض مخزن در محل اتصال آن به کانال ۱۴/۵ سانتیمتر، در وسط ۶۰ سانتیمتر و در محل تعبیه سد، ۱۵ سانتیمتر می‌باشد. دیواره های کانال و مخزن از شیشه با ضخامت ۶ میلی‌متر و کف از شیشه با ضخامت ۱۰ میلی‌متر تهیه شده است. مدل کانال و مخزن سد، بر روی یک خریای مکعب مستطیل شکل سه بعدی قرار داده شده است. این خریا که دارای طول ۱۰ متر، عرض ۷۰ سانتیمتر و ارتفاع ۴۵ سانتیمتر می‌باشد با استفاده از انواع نیشی و قوطی که به هم جوش داده

دریاچه پشت سد ممکن است به صورت تله ای برای انباشت رسوبات جریان ورودی رودخانه در بیاید [1]. معمولاً در نواحی خشک، جریان رودخانه حاوی رسوبات فراوانی دارد و عدم تخلیه آن از مخزن پشت سد حجم ذخیره آب را با سرعت کاهش می‌دهد [2]. جریان آب رودخانه حاوی رسوب، گل آلود بوده و به علت وزن مخصوص بالا در موقع رسیدن به دریاچه آب زلال به عمق آن فرو رفته و جریان چگال را تشکیل می‌دهد. مطالعه جریان‌های چگال، برای مدیریت مخازن پشت سد و کیفیت آب آن از اهمیت خاصی برخوردار است [3]. جریان چگال در امتداد بستر دریاچه، ابتدا ذرات درشت دانه‌تر را رسوب داده و در ناحیه بالادست مخزن دلتا بوجود می‌آورد. ذرات ریزدانه‌تر پس از عبور از دلتا، در امتداد مسیر خود به دلیل کاهش سرعت جریان، بتدریج ته نشین می‌گردند [5]. ممکن است رسوبات حمل شده به وسیله جریان چگال، تحت شرایط معین و مناسب در هنگام برخورد با سد، از خروجی‌های تعبیه شده در آن تخلیه گردند [6]. فن و مورینسن [1]، رسوبزدایی و حفظ ظرفیت ذخیره طولانی مدت سد را مورد بررسی قرار دادند و برای نگهداری ظرفیت مخزن روشهایی را پیشنهاد نمودند. یو و همکاران [5]، در آزمایشگاه رفتار رسوب گذاری جریان چگال را مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که ذرات درشت‌تر در ناحیه دلتا و کمی در پایین دست نقطه پلانچ ته نشین می‌گردند اما ذرات ریزدانه در طول مسیر جریان چگال و دریاچه گل آلود ته نشین می‌گردند. آلتیناکار و همکاران [7]، با انجام آزمایشات و با بکارگیری پودر کوارتز، پی بردند که رسوب گذاری سرعت پیشروی جریان چگال را کند می‌نماید و ضخامت پیشانی آن را افزایش می‌دهد. جینگ دچانگ (Jing Dechun) و میائو شاتیان (Miao Shoutian)، داده‌های مشاهداتی از جریان‌های چگال در کانال کوینگ‌شان (Qing Shan Canal) را تجزیه و



شکل ۱. پلان مدل هیدرولیکی با ابعاد آن بر حسب سانتیمتر

- ۱- مخلوط آب و مواد رسوبی درون منبع تغذیه به کمک پمپ به ابتدای کانال هدایت می‌شد.
- ۲- دبی جریان ورودی تعیین می‌شد و به منظور تعیین غلظت آن نمونه‌برداری انجام می‌گردید.
- ۳- بعد از اتمام هر آزمایش، آب درون مخزن پشت سد به آرامی تخلیه می‌شد و از رسوب ته نشین شده در کف آن در فواصل یک متری در باریکه های ۳ سانتیمتری نمونه‌برداری صورت می‌گرفت.

آزمایشات تعیین غلظت جریان چگال در طول

مخزن

به منظور بررسی غلظت جریان چگال در طول مخزن سد (C_L)، سه آزمایش بر روی مدل هیدرولیکی با شیب ۰/۰۴ صورت گرفت. در هر آزمایش دبی جریان ورودی متفاوت بوده ولی غلظت آن ثابت گرفته شد. همچنین از فاصله بین ایستگاه ۵ تا ۱۰ متر بالادست کانال به فواصل یک متری از جریان چگال نمونه برداری شده است. نمونه‌ها، بلافاصله بعد از عبور پیشانی جریان چگال از هر مقطع و از فاصله یک سانتیمتر بالای کف مخزن برداشت شده اند. غلظت و سایر مشخصات این نمونه ها تعیین و در جدول (۱) آورده شده است. نمایی از حرکت جریان چگال بر روی مدل هیدرولیکی در شکل (۲) نشان داده شده است.

شده‌اند ساخته گردیده است [۱۰]. برای تراز نمودن و افزایش تحمل فشار مخلوط آب و رسوب در کف و دیواره های مدل، بین شیشه و سطح صلب خریا بالشتک‌هایی از چسب آکواریوم با تکه هایی از لوله پلاستیکی قرار داده شد، شکل (۱).

به منظور تهیه مخلوط آب و رسوب، سیستم تغذیه و چرخه جریان از یک منبع استوانه ای از جنس آهن گالوانیزه با ضخامت دو میلیمتر، قطر ۹۵ سانتیمتر و ارتفاع یک متر ساخته شد. در داخل منبع، یک پمپ مکندۀ شناور با دبی هشت لیتر در ثانیه برای اختلاط آب و رسوب قرار داد. این پمپ با توجه به سیستم لوله کشی، برای بهم زدن و چرخش سیال درون منبع و همچنین تهیه ارتفاع ثابت برای بالادست مدل عمل می‌نمود. پمپ از طریق یک لوله دو اینچی که در انتهای آن یک شیر فلکه قرار دارد، مخلوط آب و رسوب را وارد ورودی کانال می‌نمود. مازاد مخلوط آب و رسوب از طریق یک انشعاب، به درون منبع، برگشت داده می‌شد و دوباره وارد چرخه جریان می‌گردید. با استفاده از زانوی ۹۰ درجه در انتهای لوله برگشتی به درون منبع، مخلوط موجود درون منبع مغشوش و بهم زده می‌شد [۹ و ۱۰]. برای همه آزمایش‌ها مخزن در آغاز از آب شهری پر می‌گشت و دمای آب درون مخزن یادداشت می‌گردید. مراحل مختلف هر آزمایش به شرح زیر انجام شده است:

Archive of SID

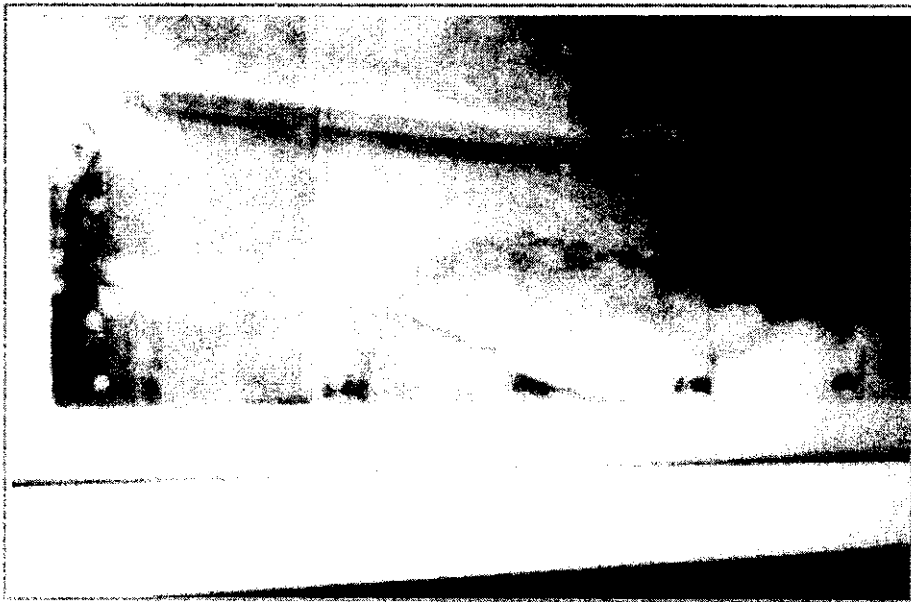
کف مخزن ۰/۰۵، ۰/۰۴، ۰/۰۳، ۰/۰۲ و ۰/۰۱ صورت گرفت. با استفاده از رابطه $D_R = \frac{W_s}{B \cdot \Delta x \cdot \Delta t \cdot \rho_f}$ [5] نرخ رسوب گذاری در هر مقطع از مخزن پشت سد تعیین می‌گردد که در آن D_R نرخ رسوب گذاری بر حسب سانتیمتر بر ثانیه، W_s وزن رسوب ته نشین شده در هر باریکه نمونه برداری بر حسب گرم، B عرض مخزن در مقطع نمونه برداری بر حسب سانتیمتر، Δx عرض باریکه نمونه برداری بر حسب سانتیمتر، Δt مدت زمان

آزمایشات تعیین نرخ رسوب گذاری جریان چگال در طول مخزن

برای بررسی نرخ رسوب گذاری جریان چگال در طول مخزن سد، از ذرات ماسه بادی به عنوان ذرات غیر چسبنده و از خاک رس به عنوان ذرات چسبنده استفاده گردید. آزمایشات مربوط به ذرات چسبنده با شش شیب کف مخزن ۰/۰۵، ۰/۰۴، ۰/۰۳، ۰/۰۲، ۰/۰۱ و ۰/۰۱۵ و برای ذرات غیر چسبنده با پنج شیب

جدول ۱ مشخصات آزمایش‌های انجام شده برای تعیین غلظت جریان چگال در مدل هیدرولیکی

آزمایش	فاصله از ورودی کانال $L(\text{cm})$	عمق جریان چگال $h_d(\text{cm})$	دبی جریان ورودی $Q_i(\text{cm}^3/\text{s})$	غلظت جریان ورودی $C_i(\text{gr}/\text{lit})$	غلظت جریان چگال در طول مخزن $C_j(\text{gr}/\text{lit})$	نسبت غلظت جریان چگال به جریان ورودی C_j/C_i	پارامتر بی بعد ϕ
LC41	۵۰۰	۱/۳	۲۳۸/۸	۱۷/۹	۱۷	۰/۹۵۰	۳/۲۸۰۱۱
	۶۰۰	۱/۳	۲۳۸/۸	۱۷/۹	۱۶	۰/۸۹۴	۳/۳۹۸۸۲
	۷۰۰	۱/۳	۲۳۸/۸	۱۷/۹	۱۰/۴	۰/۵۸۱	۳/۴۹۹۳۰۲
	۸۰۰	۱/۳	۲۳۸/۸	۱۷/۹	۸/۱	۰/۴۵۳	۳/۵۸۶۲۹
	۹۰۰	۱/۳	۲۳۸/۸	۱۷/۹	۷/۶	۰/۴۲۵	۳/۶۶۳۰۱۹
	۱۰۰۰	۱/۳	۲۳۸/۸	۱۷/۹	۷/۱	۰/۳۹۷	۳/۷۳۱۶۵۵
LC42	۵۰۰	۱/۵	۲۷۴/۹	۱۷/۹	۱۷/۲	۰/۹۶۱	۳/۲۸۱۱۱۷
	۶۰۰	۱/۵	۲۷۴/۹	۱۷/۹	۱۶/۸	۰/۹۳۹	۳/۳۹۸۸۱۹
	۷۰۰	۱/۵	۲۷۴/۹	۱۷/۹	۱۲/۴۷	۰/۶۹۷	۳/۵۰۰۹۱
	۸۰۰	۱/۵	۲۷۴/۹	۱۷/۹	۹/۵۶	۰/۵۳۴	۳/۵۸۷۲۹۷
	۹۰۰	۱/۵	۲۷۴/۹	۱۷/۹	۸/۸۰	۰/۴۹۲	۳/۶۶۴۰۲۶
	۱۰۰۰	۱/۵	۲۷۴/۹	۱۷/۹	۸/۵۳	۰/۴۷۷	۳/۷۳۲۶۶۲
LC43	۵۰۰	۲/۱	۳۶۰/۴	۱۷/۹	۱۷/۴	۰/۹۷۲	۳/۳۰۹۶۳۵
	۶۰۰	۲/۱	۳۶۰/۴	۱۷/۹	۱۶/۹	۰/۹۴۴	۳/۴۲۸۴۰۷
	۷۰۰	۲/۱	۳۶۰/۴	۱۷/۹	۱۳/۵۹	۰/۷۵۹	۳/۵۲۸۸۲۸
	۸۰۰	۲/۱	۳۶۰/۴	۱۷/۹	۱۰/۶۴	۰/۵۹۴	۳/۶۱۵۸۱۵
	۹۰۰	۲/۱	۳۶۰/۴	۱۷/۹	۹/۸۱	۰/۵۴۸	۳/۶۹۲۵۴۴
	۱۰۰۰	۲/۱	۳۶۰/۴	۱۷/۹	۹/۶	۰/۵۳۷	۳/۷۶۱۱۱۸



شکل ۲. نمای جانبی حرکت پیشانی جریان چگال در مدل هیدرولیکی

تعیین معادله نرخ رسوب گذاری در طول مخزن سد با استفاده از آنالیز ابعادی

از مهمترین پارامترهای حاکم بر نرخ رسوب گذاری ذرات چسبیده می توان Q دبی جریان ورودی، C غلظت جریان ورودی، D_{50} قطر متوسط ذرات چسبیده ته نشین شده، ρ_a دانسیته آب مخزن، $\Delta\rho$ اختلاف دانسیته جریان ورودی و آب مخزن، L فاصله از ورودی کانال، h_d عمق جریان چگال، v لزجت سینماتیک آب مخزن، S شیب کف مخزن و g شتاب ثقل، را نام برد چنانکه می توان نوشت:

$$f(D_R, Q, C, D_{50}, \rho_a, \Delta\rho, L, h_d, v, S, g) = 0 \quad (1)$$

که با استفاده از تئوری بوکینگهام [8] پس از آنالیز ابعادی می توان آن را به صورت زیر نوشت:

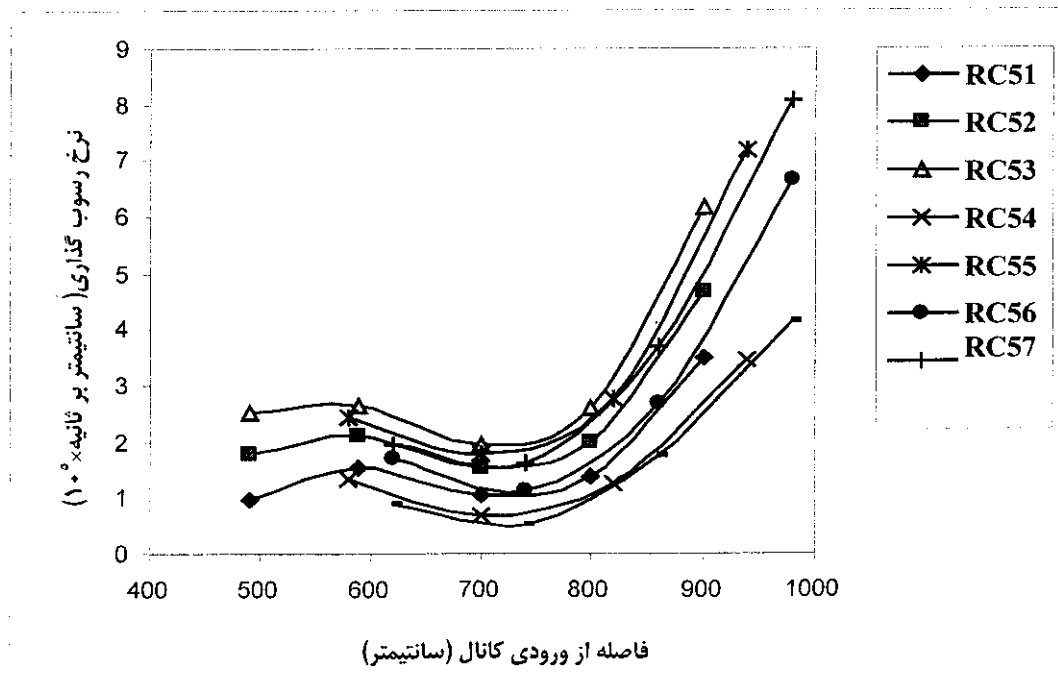
$$f\left(\frac{L^2 \cdot D_R}{Q}, \frac{D_{50}}{L}, \frac{C}{\rho_a}, \frac{\Delta\rho}{C}, \frac{h_d}{L}, \frac{L \cdot D_R}{v}, S, \frac{D_R^2}{g \cdot L}\right) = 0 \quad (2)$$

ته نشینی رسوبات بر حسب ثابته و ρ_a دانسیته جریان ورودی بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد. برای تعیین نرخ رسوب گذاری ذرات چسبیده در طول مخزن سد تعداد ۳۸ آزمایش در شش شیب مختلف کف مخزن و دبی های متفاوت انجام گرفت. برای نمونه، نتایج اندازه گیری شده بر روی شیب ۰/۰۵ در جدول (۲) و نرخ رسوب گذاری جریان چگال در طول مخزن سد برای شیب های ۰/۰۳، ۰/۰۴، ۰/۰۵ در شکل های (۳) تا (۵) داده شده است.

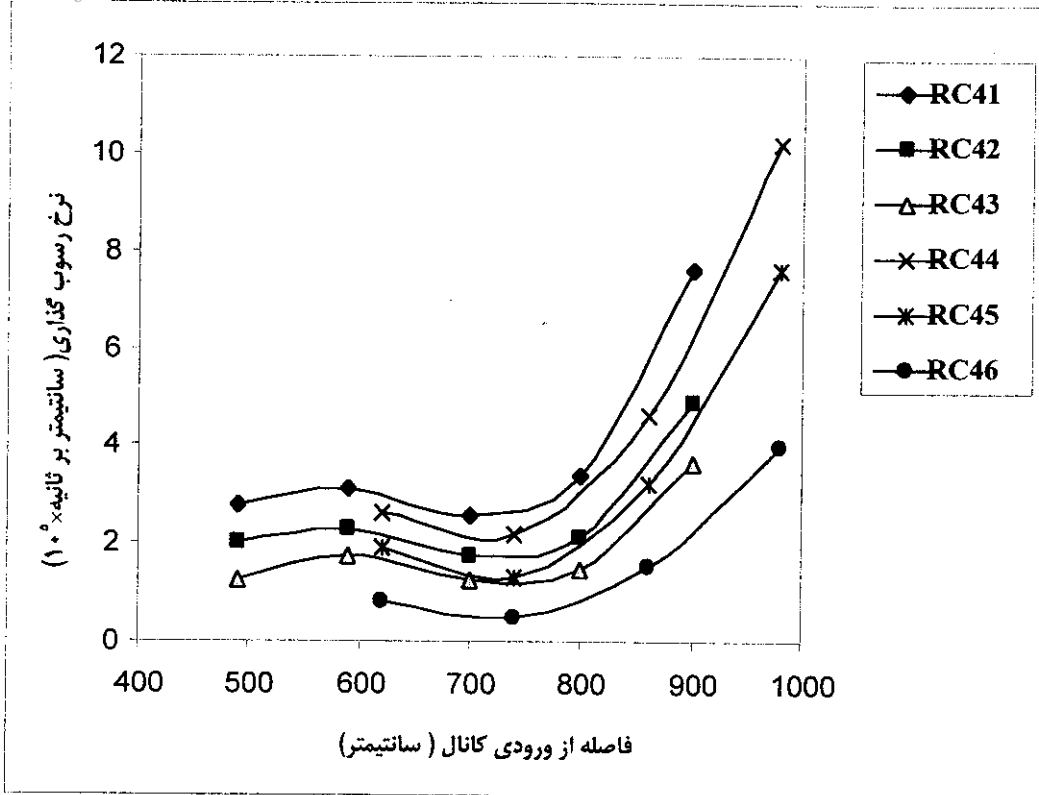
برای تعیین نرخ رسوب گذاری ذرات غیر چسبیده در طول مخزن سد تعداد ۱۵ آزمایش برای پنج شیب مختلف کف مخزن و دبی های متفاوت انجام گرفت. برای نمونه، نتایج آزمایش های انجام شده با شیب های ۰/۰۳، ۰/۰۴، ۰/۰۵ در جدول (۳) و نرخ رسوب گذاری جریان چگال در طول مخزن سد برای این شیب ها و دبی ها در شکل های (۶) تا (۸) داده شده است.

جدول ۲ مشخصات آزمایش های انجام شده بر روی شیب کف ۰/۰۵ برای جریان چگال حاوی ذرات چسبده

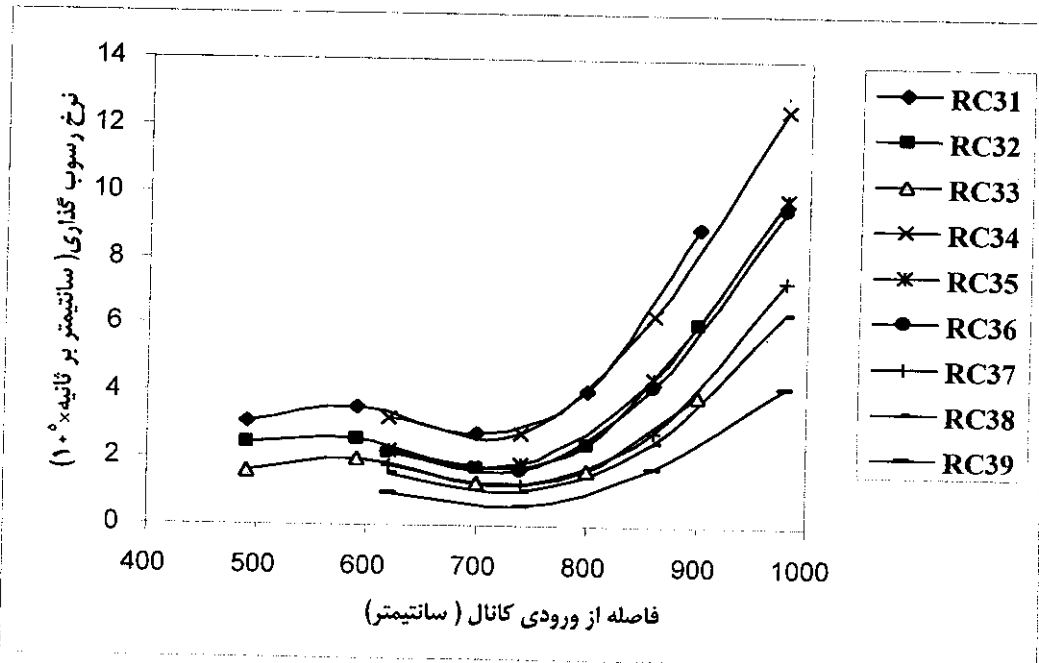
آزمایش	دبی جریان ورودی Q_i (lit/s)	غلظت جریان ورودی C_i (gr/lit)	درجه حرارت آب مخزن T (°C)	اختلاف دانسیته نسبی جریان ورودی و آب مخزن $\epsilon_0 = \frac{\Delta\rho}{\rho_a}$	عمق جریان چگال h_d (cm)	شیب کف مخزن S
RC51	۰/۱۰۵۳	۱۵/۴۴	۲۳/۹	۰/۰۰۷۷۲	۲	۰/۰۵
RC52	۰/۲۲۸	۱۵/۴۴	۲۳/۹	۰/۰۰۷۷۲	۲/۵	۰/۰۵
RC53	۰/۴۰۰۰	۱۵/۴۴	۲۳/۲	۰/۰۰۷۵۶	۳	۰/۰۵
RC54	۰/۱۴۸۱	۳/۲	۲۳/۵	۰/۰۰۹۷۲	۱/۸	۰/۰۵
RC55	۰/۵۱۲۸	۳/۲	۲۲/۸	۰/۰۰۸۱۸	۴	۰/۰۵
RC56	۰/۱۸۱۴	۹/۲	۲۳	۰/۰۰۳۱۶	۱/۵	۰/۰۵
RC57	۰/۳۸۰۹	۹/۲	۲۳	۰/۰۰۳۱۶	۴	۰/۰۵
RC58	۰/۰۷۴۰	۹/۲	۲۳	۰/۰۰۳۰۰	۱/۸	۰/۰۵



شکل ۳ نرخ رسوب گذاری جریان چگال حاوی ذرات چسبده در مقاطع مختلف مخزن با شیب کف ۰/۰۵



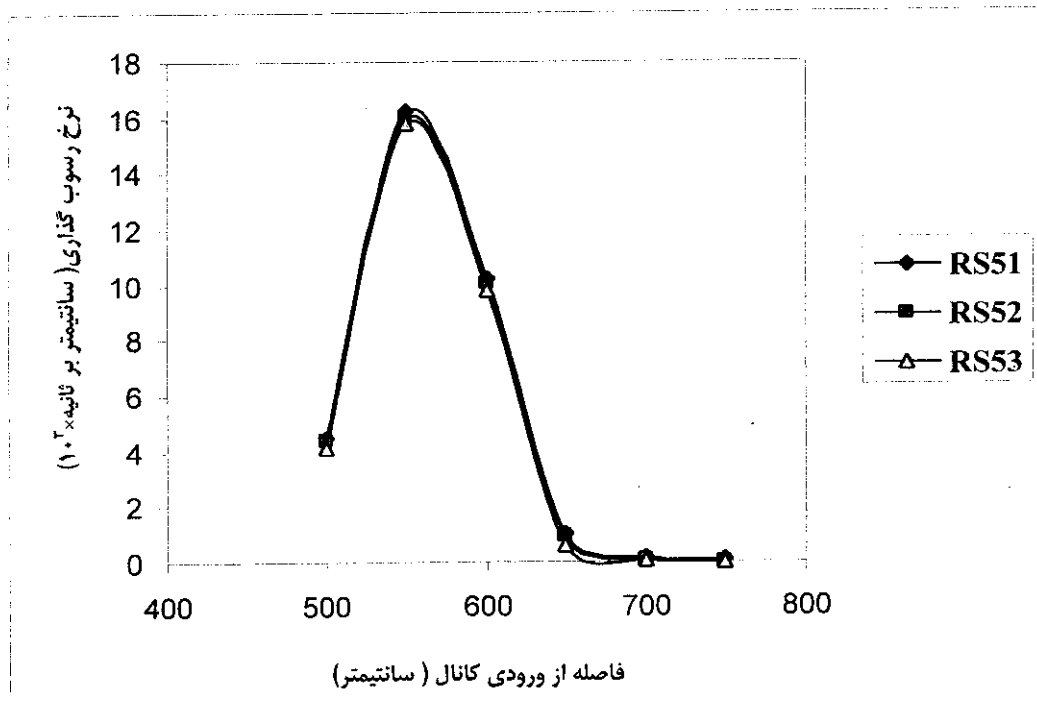
شکل ۴ نرخ رسوب گذاری جریان چگال حاوی ذرات چسبنده در مقاطع مختلف مخزن با شیب کف ۰/۰۴



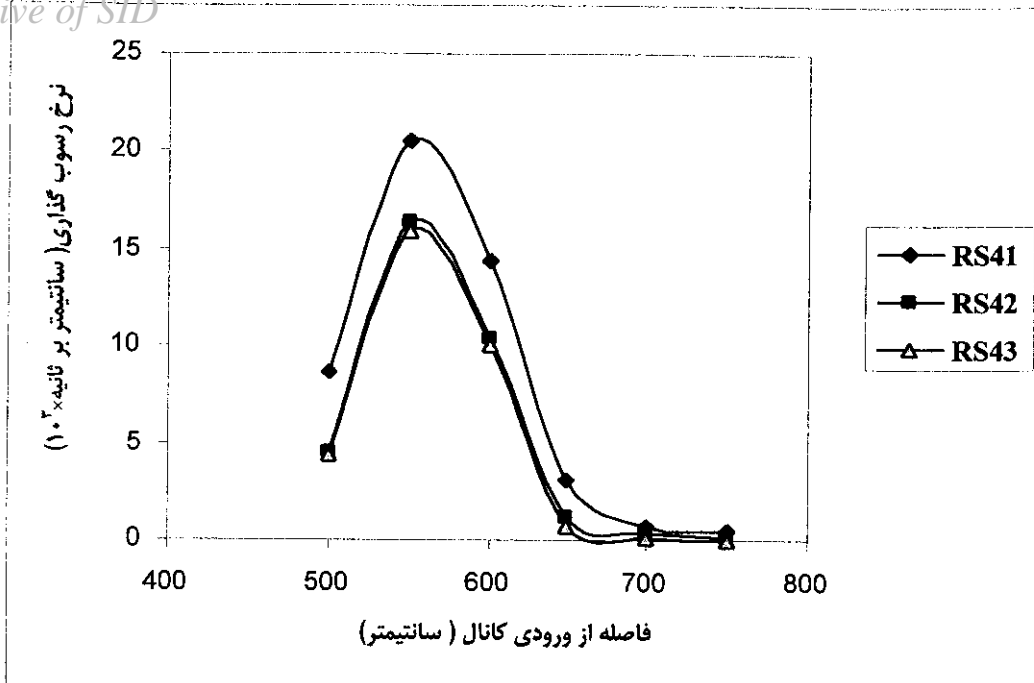
شکل ۵ نرخ رسوب گذاری جریان چگال حاوی ذرات چسبنده در مقاطع مختلف مخزن با شیب کف ۰/۰۳

جدول ۳ مشخصات آزمایش‌های انجام شده بر روی شیب کف ۰/۰۵، ۰/۰۴، و ۰/۰۳ برای جریان چگال حاوی ذرات غیر چسبیده

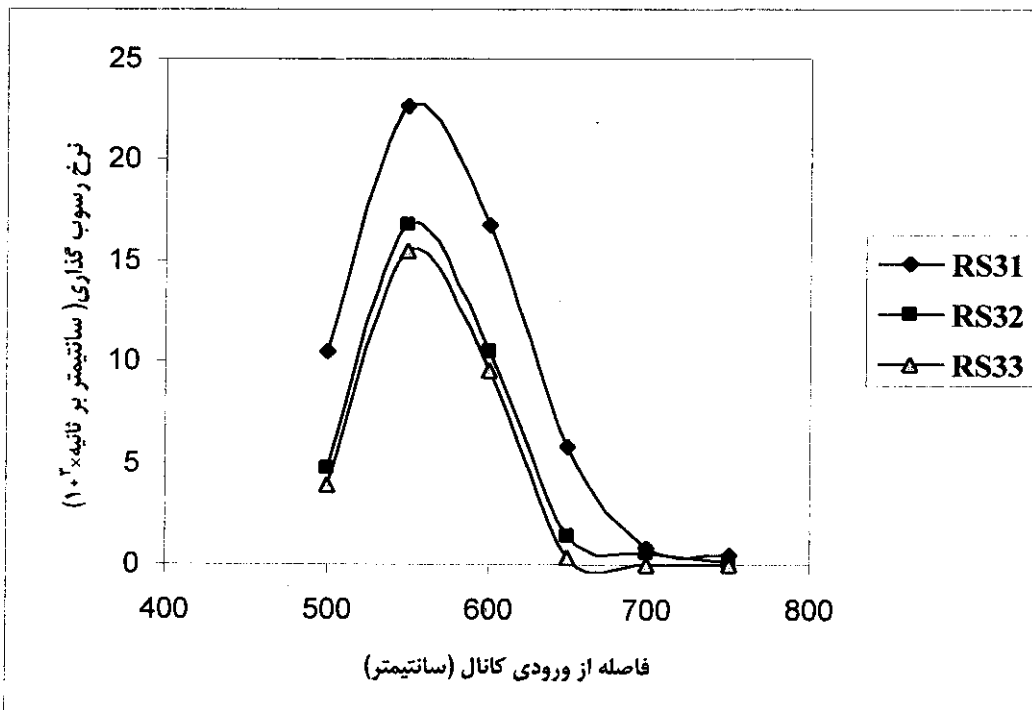
آزمایش	دبی جریان ورودی Q_i (lit/s)	غلظت جریان ورودی C_i (gr/lit)	دمای آب مخزن T (c°)	اختلاف دانسیته نسبی جریان ورودی و آب مخزن $\epsilon_0 = \frac{\Delta\rho}{\rho_a}$	شیب کف مخزن S
RS51	۰/۷۸۱۲	۴/۴۰	۲۴	۰/۰۰۲۴۴	۰/۰۵
RS52	۰/۷۷۰۷	۴/۴۰	۲۴	۰/۰۰۲۴۴	۰/۰۵
RS53	۰/۷۱۵۶	۴/۴۰	۲۴	۰/۰۰۲۴۴	۰/۰۵
RS41	۰/۸۱۴۷	۱۶/۱۳	۲۴	۰/۰۰۸۱۱	۰/۰۴
RS42	۰/۷۶۶۳	۱۶/۱۳	۲۴	۰/۰۰۸۱۱	۰/۰۴
RS43	۰/۷۱۰۵	۱۶/۱۳	۲۴	۰/۰۰۸۱۱	۰/۰۴
RS31	۱/۱۶۶۲	۱۸/۲۷	۲۵	۰/۰۰۹۲۷	۰/۰۳
RS32	۰/۷۶۱۹	۱۸/۲۷	۲۴	۰/۰۰۹۰۴	۰/۰۳
RS33	۰/۵۲۰۹	۱۸/۲۷	۲۴/۵	۰/۰۰۹۱۵	۰/۰۳



شکل ۷ نرخ رسوب گذاری جریان چگال حاوی ذرات غیر چسبیده در مقاطع مختلف مخزن برای شیب کف ۰/۰۵



شکل ۷ نرخ رسوب گذاری جریان چگال حاوی ذرات غیر چسبیده در مقاطع مختلف مخزن با شیب کف ۰/۰۴



شکل ۸ نرخ رسوب گذاری جریان چگال حاوی ذرات غیر چسبیده در مقاطع مختلف مخزن با شیب کف ۰/۰۳

Archive of SID

بوده و به صورت $u_* = \sqrt{gRS}$ بیان می‌گردد. R شعاع هیدرولیکی جریان چگال می‌باشد که برای جریان‌های عریض معادل h_d (عمق جریان) در نظر گرفته می‌شود و $\varepsilon_0 = (\Delta\rho/\rho_a)$. از رسم دو پارامتر y و x در برابر هم یک دسته منحنی بدست می‌آید که این منحنی‌ها را می‌توان به صورت معادله (۱۳) تعریف کرد $(R^2 = 0.8739)$. بنابراین معادله نرخ رسوب‌گذاری

برای ذرات چسبنده به صورت زیر پیشنهاد می‌گردد.

$$y_c = 0.211 x_c^4 + 3.2524 x_c^3 - 18.36 x_c^2 + 45.792 x_c - 26.498 \quad (13)$$

آنالیز ابعادی پارامترهای مهم حاکم بر نرخ رسوب

گذاری ذرات غیرچسبنده همانند ذرات چسبنده تحلیل شده بالا نشان می‌دهد که پارامتر بی بعد $y_{nc} = -\text{Log}(D_R \cdot C \cdot \varepsilon_0 \cdot D_{50}^2 / \rho_a \cdot Q)$ تابعی از پارامتر بی بعد $x_{nc} = -\text{Log}(R'_e \cdot D_{50} / L \cdot S^{9/8})$ می‌باشد که در آن $R'_e = [\sqrt{g} \cdot D_{50} \cdot S \cdot D_{50}] / \nu^{1/2}$ و بقیه پارامترها قبلاً معرفی شده‌اند. از ترسیم این دو پارامتر بی بعد در برابر هم، یک دسته منحنی بدست می‌آید که از مجموعه این منحنی‌ها معادله (۱۴) حاصل می‌گردد $(R^2 = 0.7494)$. بنابراین معادله نرخ رسوب‌گذاری ذرات غیر چسبنده به صورت زیر پیشنهاد می‌گردد.

$$y_{nc} = 3.4408x_{nc}^4 - 59.455x_{nc}^3 + 380.75x_{nc}^2 - 1068.5x_{nc} + 1121.1 \quad (14)$$

محاسبه غلظت جریان چگال در طول مخزن

غلظت جریان چگال در طول مخزن سد (C_p) تابعی از پارامترهای C_i غلظت جریان ورودی، Q_i دبی جریان ورودی، x فاصله از ورودی کانال، g شتاب ثقل و h_d عمق جریان چگال می‌باشد، چنانکه می‌توان نوشت:

$$f(C_i, C_p, Q_i, L, g, h_d) = 0 \quad (15)$$

این رابطه را پس از آنالیز ابعادی می‌توان به صورت زیر نوشت:

اگر در معادله (۲) بجای پارامتر ε_0 جایگزین گردد، رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$\frac{L^2 D_R}{Q} \cdot \frac{C}{\rho_a} \cdot \varepsilon_0 \left(\frac{D_{50}}{L} \right)^2 = f_1 \left(\left(\frac{h_d}{L} \right)^{1/2}, \frac{L D_R}{\nu}, \frac{D_R}{(gL)^{1/2}} \left(\frac{D_{50}}{L} \right)^2, S^{-3/8} \right) \quad (3)$$

با قرار دادن Y برای سمت چپ معادله (۳)، معادله زیر بدست می‌آید.

$$Y = \frac{L^2 D_R}{Q} \cdot \frac{C}{\rho_a} \cdot \varepsilon_0 \left(\frac{D_{50}}{L} \right)^2 \quad (4)$$

و با ساده سازی سمت راست معادله (۳):

$$Y = f_1 \left(\left(\frac{h_d}{L} \right)^{1/2}, \frac{L D_R}{\nu}, \frac{(gL)^{1/2}}{D_R}, \left(\frac{D_{50}}{L} \right)^2, S^{-3/8} \right) \quad (5)$$

$$Y = f_1 \left(\left(\frac{h_d}{L} \right)^{1/2}, \frac{L(gL)^{1/2}}{\nu}, \left(\frac{D_{50}}{L} \right)^2, S^{-3/8} \right) \quad (6)$$

$$Y = f_1 \left(\frac{\sqrt{gh_d S} \cdot D_{50} D_{50}}{L \nu S^{7/8}} \right) \quad (7)$$

$$Y = f_1 \left(\frac{R_e \cdot D_{50}}{L S^{7/8}} \right) \quad (8)$$

$$-\text{Log} Y = f_2 \left(-\text{Log} \left(\frac{R_e D_{50}}{L S^{7/8}} \right) \right) \quad (9)$$

در نتیجه:

$$y_c = f_2(x_c) \quad (10)$$

بطوری که

$$y_c = -\text{Log} \left(\frac{D_R \cdot C \cdot \varepsilon_0 \cdot D_{50}^2}{\rho_a \cdot Q} \right) \quad (11)$$

$$x_c = -\text{Log} \left(\frac{R_e \cdot D_{50}}{L \cdot S^{7/8}} \right) \quad (12)$$

در معادله R_e عدد رینولدز مرزی می‌باشد که عبارت است از $R_e = \frac{u_* \cdot D_{50}}{\nu}$ که در آن u_* سرعت برشی

شد. همه این آزمایش‌ها نشان می‌دهند که با افزایش دبی جریان نرخ رسوب گذاری در طول مخزن افزایش می‌یابد.

نرخ رسوب‌گذاری ذرات چسبیده در همه آزمایشات از یک مقدار کم شروع شده و در حوالی نقطه پلانچ به یک مقدار بیشینه می‌رسد. از این نقطه به بعد نرخ رسوب‌گذاری پس از کاهش مختصر به‌طور ناگهانی افزایش نشان می‌دهد که این افزایش در نرخ رسوب‌گذاری تا نزدیکی سد ادامه دارد. افزایش مختصر نرخ رسوب‌گذاری ذرات چسبیده در حوالی نقطه پلانچ می‌تواند نتیجه کاهش انرژی جنبشی جریان ورودی به مخزن در اثر فرو روی آن در نقطه پلانچ باشد. ذرات ته‌نشین شده در واقع ذرات چسبیده درشت می‌باشند.

برگشت منحنی نرخ رسوب‌گذاری این ذرات و سپس افزایش ناگهانی آن بسمت دیواره سد نتیجه کاهش تدریجی انرژی جنبشی جریان و به حداقل رسیدن این انرژی در محل دیواره سد می‌باشد. در این آزمایشات با ثابت نگهداشتن دبی ورودی، نرخ رسوب‌گذاری با افزایش غلظت جریان ورودی افزایش نشان می‌دهد.

آزمایشات مربوط به ذرات غیرچسبیده، نشان دادند که رفتار رسوب‌گذاری که این گونه ذرات و ذرات چسبیده همانند است با این تفاوت که نرخ رسوب‌گذاری بعد از رسیدن به یک مقدار بیشینه روندی روبه کاهش دارد و بر خلاف رفتار رسوب‌گذاری ذرات چسبیده افزایش ناگهانی نشان نمی‌دهد. همچنین، در کلیه آزمایشات مربوط به تعیین نرخ رسوب گذاری ذرات غیرچسبیده مشاهده شد که بیشتر آنها در ابتدای مخزن سد و تا ناحیه پلانچ ته‌نشین می‌شوند و از ناحیه پلانچ به طرف پایین دست مخزن سد، از ضخامت رسوبات ته نشین می‌شوند به شدت کاسته می‌شود به طوری که از اواسط مخزن به طرف محل

$$f\left(\frac{C_i}{C_i}, \frac{Q_i^2}{L^5 \cdot g}, \frac{L}{h_d}\right) = 0 \quad (16)$$

$$\frac{C_i}{C_i} = f(\Phi) \quad \text{و} \quad \Phi = -\text{Log}(Q_i / L^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot h_d) \quad (17)$$

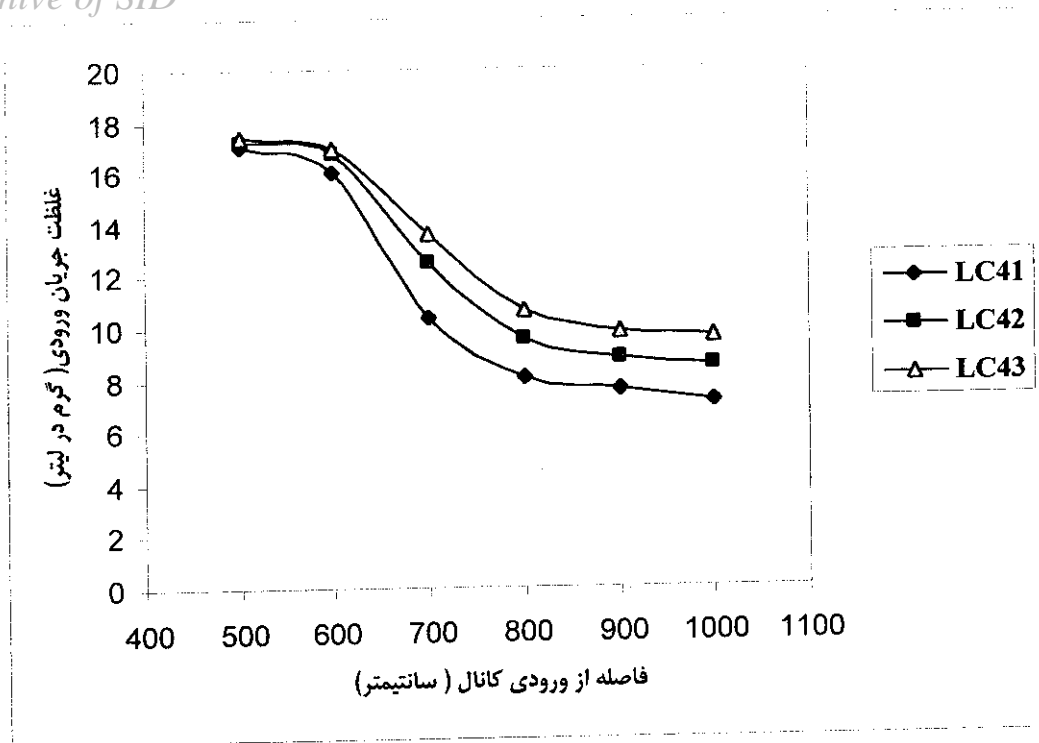
آزمایشات نشان دادند که با پیشروی جریان چگال به طرف سد غلظت آن کاهش می‌یابد، جدول (۱) و شکل (۹). همچنین با ثابت گرفتن غلظت جریان ورودی، در هر مقطع از مخزن با افزایش دبی جریان ورودی غلظت جریان چگال نیز افزایش پیدا می‌کند. شکل (۱۰) غلظت را به صورت تابعی از پارامتر بی بعد Φ نشان می‌دهد که پس از برازش آن، معادله غلظت جریان چگال در طول مخزن به صورت زیر بدست می‌آید ($R^2 = 0.9054$).

$$\frac{C_i}{C_i} = 20.226\Phi^3 - 212.53\Phi^2 + 742.3\Phi - 861.03 \quad (18)$$

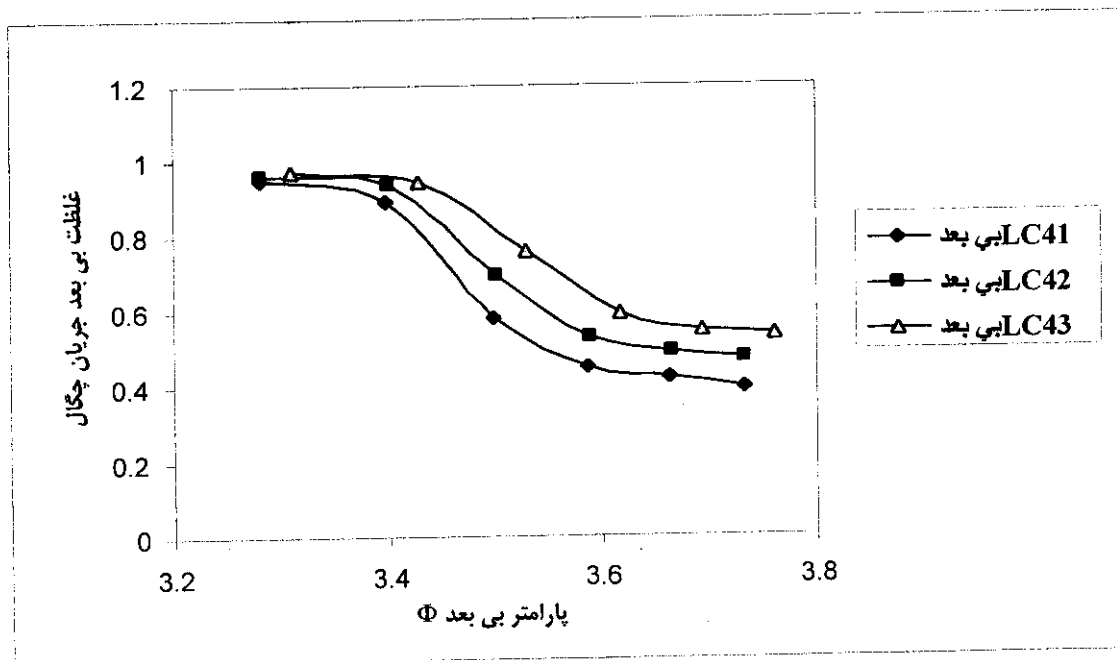
نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به منظور بررسی غلظت جریان چگال و تعیین نرخ رسوب گذاری این گونه جریان‌ها در طول مخزن سد، یک مدل هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفت. مخلوط آب و رسوب در یک منبع تغذیه تهیه و به وسیله یک پمپ وارد سیستم کانال و مخزن گردید. آزمایشات لازم با دبی و غلظت متفاوت انجام شد و نمونه برداریهای مورد نیاز انجام پذیرفت. پس از آنالیز نمونه‌ها، معادله غلظت جریان چگال در طول مخزن سد پیشنهاد شد.

نتایج بدست آمده از آزمایشات نشان دادند که با پیشروی جریان چگال به طرف سد از غلظت آن کاسته می‌شود. این کاهش غلظت می‌تواند به دلیل رسوب گذاری جریان چگال در طول مخزن سد و نفوذ آب محیط اطراف به درون آن باشد. همچنین، برای تعیین نرخ رسوب گذاری جریان چگال در طول مخزن سد آزمایشات لازم برای ذرات چسبیده و غیرچسبیده انجام

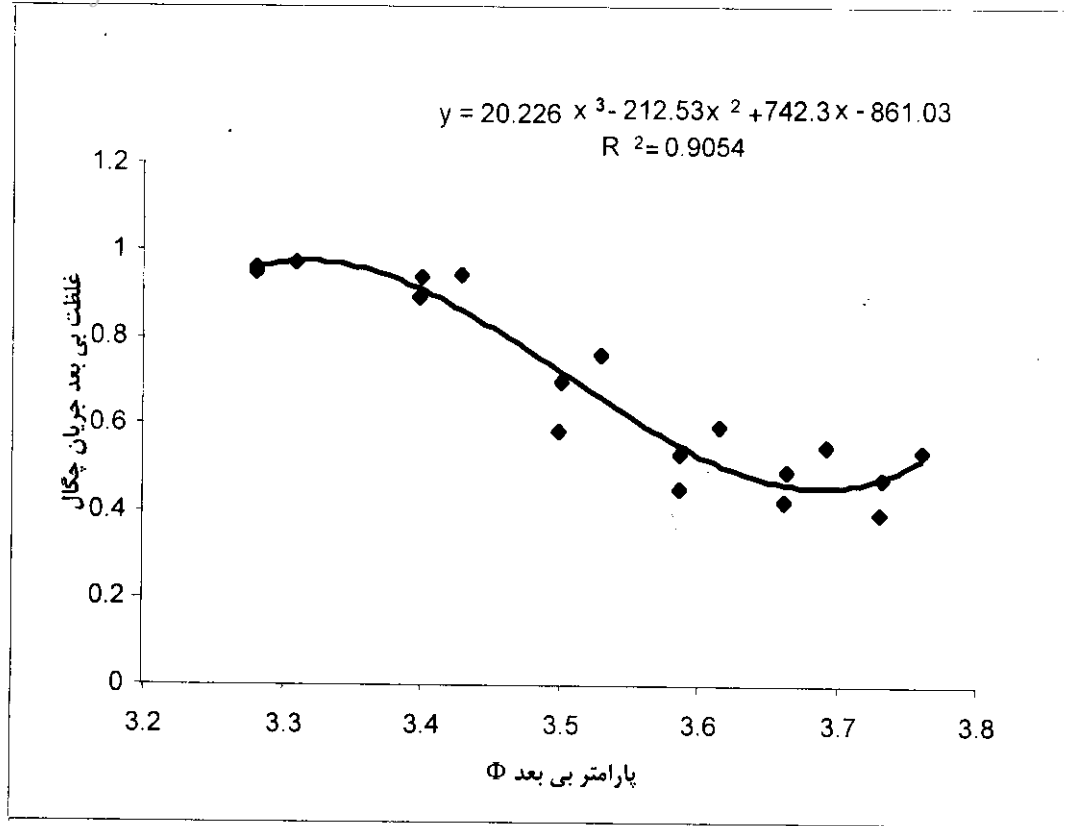


شکل ۹ تغییرات غلظت جریان چگال در طول مخزن برای سه آزمایش LC41 ، LC41 ، LC41 و LC41



شکل ۱۰ تغییرات غلظت بی بعد جریان چگال در طول مخزن نسبت به پارامتر بی بعد Φ برای سه آزمایش

LC41 ، LC41 ، LC41



شکل ۱۱ منحنی برازش شده جهت تعیین غلظت جریان چگال در طول مخزن

ته نشینی ذرات غیر چسبنده را سبب می‌شود. همانند نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام شده با ذرات چسبنده، در آزمایشات مربوط به ذرات غیر چسبنده در دبی ثابت، با افزایش غلظت جریان ورودی نرخ رسوب‌گذاری بیشتری مشاهده گردید.

سد دیگر رسوب غیر چسبنده چشمگیری وجود ندارد. این پدیده به دلیل درشت بودن نسبی ذرات غیر چسبنده طبیعی می‌باشد. در نقطه پلانچ به دلیل فرو روی جریان در آب ساکن و تشکیل جریان چگال، انرژی جنبشی آن تقلیل یافته و به این ترتیب حداکثر

مراجع

1. Fan, J., and Morris, G. L., "Reservoir sedimentation. II: Reservoir desiltation and long-term storage capacity", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 118(3), pp. 370-385. (1992).
2. Fan, J., and Morris, G. L., "Reservoir sedimentation. I: Delta and density current deposits", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 118(3), pp. 354- 369. (1992).
3. Bourent, P. E., Dartus, D., Tassin, B., and Vincon-Leite, B., "Numerical investigation of plunging density currents", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 125(6), pp. 584-594. (1999).
4. Alavian, V., Jirka, G. H., and Denton, R. A., "Density currents entering lakes and reservoirs", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 118(11), pp. 1464-1489. (1999).

Archive of SID

5. Yu, W., Lee, H., and Hsu, Sh. M., "Experiments on deposition behavior of fine sediment in a reservoir", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 126(12), pp. 912-920. (2000).
6. Fan, J., "Analysis of the sediment deposition in density currents", *Scientia Sinica, Beijing, China*, 23(4), pp. 526-538. (1980).
7. Altinakar, M. S., Graf, W. H., and Hopfinger, E. J., "Weakly depositing turbidity current on a small slope", *J. Hydr. Res., Delft, The Netherlands*, 28(1), pp. 55-80. (1990).
8. Effena, R., "Hydraulic Modeling: Concepts and Practice," *ASCE, Manual No. 97*, (2000).
۹. شبان عباسی، صاحب، "بررسی مدلی رسوب‌گذاری جریان‌های چگال در مخازن پشت سدها"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته تاسیسات آبیاری، بخش آبیاری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۸۱).
۱۰. شفیعی، عین‌الله، "مطالعه مدلی جریان‌های غلیظ در مخازن"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سازه‌های هیدرولیکی، بخش عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۷۴).