

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر تراکم پوشش گیاهی بر مشخصه‌های جریان غلیظ

آتنا خلیلی نفت چالی<sup>۱\*</sup>، حسین خزیمه نژاد<sup>۲</sup>، ابوالفضل اکبرپور<sup>۳</sup>، پیمان ورجاوند<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱/۲۶

### چکیده

جریان غلیظ یکی از مهم‌ترین عوامل در رسوب‌گذاری و کاهش عمر مفید مخازن می‌باشد. از مهم‌ترین بخش‌های این جریان، قسمت پیشانی جریان غلیظ می‌باشد که تحت تأثیر عوامل زیادی است. در تحقیق حاضر، با انجام آزمایش به تأثیر پوشش گیاهی در کاهش سرعت پیشانی جریان غلیظ پرداخته شد. بدین منظور جریان غلیظ با غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ گرم بر لیتر وارد فلوم شد و پوشش گیاهی با ارتفاع ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر و تحت ۵ تراکم ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲ و ۱/۴ درصد در مسیر جریان قرار گرفت. اندازه‌گیری سرعت در ۶ مقطع به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم انجام گرفت. پروفیل غلظت در راستای قائم در ۳ مقطع به فاصله یک متر از هم اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که با افزایش تراکم پوشش گیاهی در ارتفاع‌های مختلف، سرعت پیشروی جریان نسبت به بستر صاف به میزان ۱۳ تا ۲۸/۵ درصد و غلظت جریان بین ۵۳/۵۴ تا ۸۱/۲۸ درصد کاهش می‌یابد. هم‌چنین تراکم ۱/۴ درصد مؤثرترین تراکم برای کاهش سرعت و غلظت پیشانی جریان غلیظ می‌باشد. در نهایت رابطه‌ای برای محاسبه سرعت در بستر صاف و بستر داری پوشش گیاهی با تراکم‌های مختلف ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: تراکم پوشش گیاهی، پروفیل غلظت، جریان غلیظ، سرعت پیشانی

### مقدمه

شرایط جریان آن‌ها به‌صورت زیر و فوق بحرانی بوده - است (Sequeiro et al. 2010). آلتیناکار و همکاران با استفاده از مدل آزمایشگاهی و اندازه‌گیری پروفیل‌های سرعت در شرایط جریان غلیظ با ته‌نشینی رسوب بسیار کم در شیب‌های کم به بررسی نسبت مشخصه‌های جریان غلیظ و روابط تخمین پروفیل‌های بدون بعد سرعت پرداختند (Altinakar et al, 1996). لاروکا و همکاران با استفاده از شبیه‌سازی عددی و آزمایشگاهی، دینامیک یک جریان غلیظ سه بعدی را بر روی سطوح زبر مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که مقدار کاهش سرعت پیشروی جریان در زبری‌های مختلف یکنواخت نیست و پس از رسیدن به مقدار مشخصی، مقدار کاهش سرعت پیشروی ثابت است (Larocca et al, 2008). حسینی و همکاران با استفاده از دستگاه ADV پروفیل‌های سرعت و غلظت را اندازه‌گیری کرده و با مطالعات پیشین مقایسه نمودند، در نهایت نیز روابطی را برای پروفیل‌های حاصله ارائه نموده و نسبت مشخصه‌های پروفیل سرعت را به‌دست آوردند (Hosseini et al, 2006). کرم‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) در یک مطالعه آزمایشگاهی، تغییرات شیب و غلظت بر روی سرعت رأس و بدنه جریان‌های غلیظ را بررسی کردند و نشان دادند که با افزایش شیب و غلظت، سرعت بدنه و رأس جریان غلیظ افزایش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش غلظت، ارتفاع بدنه جریان غلیظ کاهش می‌یابد.

اصولاً جریان غلیظ را می‌توان ورود یک سیال با جرم مخصوص معلوم به یک توده سیال با جرم مخصوص متفاوت، به‌دلیل تأثیر شتاب ثقل بر روی اختلاف جرم مخصوص توصیف کرد. اختلاف در جرم مخصوص می‌تواند ناشی از وجود مواد معلق، مواد محلول، اختلاف دما و یا ترکیبی از آن‌ها باشد (Graf, 1983). جریان‌های غلیظ را می‌توان به دو دسته جریان‌های غلیظ پایستار مانند جریان آب نمک و جریان‌های غلیظ ناپایستار مانند جریان رسوبی تقسیم کرد (Huppert and Simpson, 1980). بل مطالعات آزمایشگاهی وسیعی را در زمینه بررسی جریان‌های غلیظ در فلوم‌های متعدد انجام داد و به اهمیت جریان‌های غلیظ در مسأله رسوبگذاری مخازن پی برد و بررسی جریان‌های غلیظ از آن به بعد ادامه پیدا کرد (Bell, 1942). سکیورس و همکاران پروفیل‌های سرعت و غلظت را برای جریان کدر نمکی بر روی بستر متحرک به‌صورت آزمایشگاهی بررسی کردند.

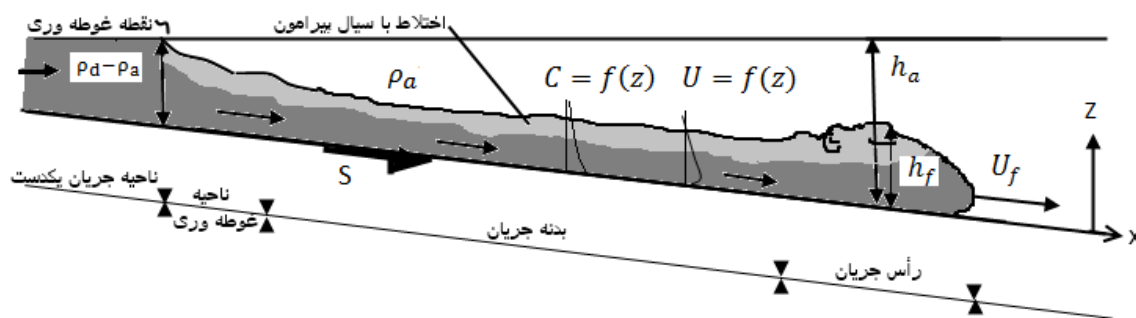
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۴- دانش آموخته دکتری سازه‌های آبی دانشگاه تبریز

(\*نویسنده مسئول: Email: Atenakhalili\_2014@yahoo.com)



شکل ۱- شماتیک اجزای تشکیل‌دهنده جریان غلیظ (صدیق، ۱۳۸۶)

سیال غلیظ می‌باشد (Graf, 1998). در حرکت یک جریان غلیظ بر روی بستری با شیب کف  $S = \tan(\theta)$  می‌توان عدد فرود حجمی<sup>۱</sup> جریان غلیظ را به صورت زیر نوشت:

$$Fr_D = U / \sqrt{g' h \cos \theta} \quad (2)$$

$U$  سرعت متوسط،  $h$  عمق جریان و  $\theta$  زاویه بستر با افق می‌باشند. به  $Fr_D$  عدد فرود حجمی می‌گویند (Turner, 1973).

آزمایش‌های تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی بیرجند انجام شد. جهت انجام آزمایش‌ها از یک فلوم به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۴۶ متر استفاده شد. به فاصله ۱ متر در ابتدای فلوم یک آرام‌کننده و به فاصله ۱ متر بعد از آرام‌کننده، یک دریچه کشویی قرار دارد. میزان بازشدگی این دریچه به‌منظور دسترسی هر چه بیش‌تر به شرایط جریان یکنواخت ۵ سانتی‌متر و فاصله شروع پوشش گیاهی از دریچه ۲ متر می‌باشد. فلوم قابلیت تغییر شیب تا ۵ درصد را به‌وسیله یک اهرم در پایین‌دست دارا می‌باشد. در انتهای فلوم یک سرریز برای کنترل سطح آب سیال پیرامون نصب شده است. همچنین یک شیر فلکه تخلیه در انتهای فلوم پیش‌بینی شده که به‌منظور تخلیه جریان غلیظ از انتها و جلوگیری از برگشت آن استفاده می‌گردد. برای ایجاد جریان غلیظ از یک مخزن اختلاط به حجم مفید ۳/۱۲۵ متر مکعب استفاده گردید (شکل ۲).

به‌منظور ایجاد جریان غلیظ نمکی از نمک پودری استفاده شد. در همه آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق، پیشروی جریان غلیظ در طول فلوم با استفاده از یک دوربین فیلمبرداری (Canon PowerShot A3400 IS)، دارای سرعت ۱/۱۰۰۰ ثانیه، تصویربرداری شد و در نهایت متوسط سرعت پیشروی پیشانی جریان غلیظ در فواصل ۵۰ سانتی‌متری از ابتدای پوشش در ۶ مقطع اندازه‌گیری شد. نمونه‌گیری غلظت از پیشانی جریان غلیظ با استفاده از شش سیفون به حجم ۶۰ سی‌سی و به صورت پروفیل قائم غلظت در

پورکاید و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر هم‌زمان زبری و شیب بستر بر روی سرعت پیشانی جریان غلیظ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش ارتفاع زبری، سرعت پیشانی جریان غلیظ کاهش و با افزایش شیب، افزایش می‌یابد. در انتها با استفاده از نرم افزارهای Datafit و SPSS روابطی به‌منظور پیش‌بینی سرعت پیشانی جریان غلیظ با در نظر گرفتن زبری و شیب ارائه گردید.

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه سرعت پیشروی جریان‌های غلیظ در سراسر دنیا انجام گرفته است. با توجه به اینکه خصوصیات جریان غلیظ تحت تأثیر شرایط بستر قرار دارد، طبق بررسی منابع انجام شده، مطالعه آزمایشگاهی در زمینه تأثیر تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی بر روی سرعت پیشروی جریان غلیظ انجام نشده است. در تحقیق حاضر سعی بر آن شد تا با تغییر تراکم پوشش گیاهی در غلظت‌های مختلف به بررسی رفتار جریان غلیظ نمکی پرداخته شود. پس از آن به مقایسه نتایج تحقیق حاضر با کار دیگر محققین در زمینه سرعت پیشانی جریان غلیظ پرداخته شد و در انتها تغییر غلظت جریان غلیظ، در طول پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

یکی از قسمت‌های مهم جریان غلیظ، پیشانی یا رأس جریان غلیظ بوده که به قسمت گریزی شکل جلوی جریان اطلاق می‌گردد (شکل ۱).

جریان غلیظ جریانی با چگالی ( $\rho_d$ ) است که ذاتاً در اثر اختلاف چگالی ( $\Delta\rho$ ) بر روی شتاب جاذبه ( $g$ ) به‌وجود می‌آید. این جریان تا زمانی که جاذبه به وسیله نسبت  $\Delta\rho/\rho_a$  تغییر یافته است، رخ می‌دهد.

$$g' = g(\rho_d - \rho_a/\rho_a) = g\Delta\rho/\rho_a \quad (1)$$

در این رابطه  $g'$  شتاب ثقل کاهش یافته،  $g$  شتاب ثقل زمین ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) و  $\rho_d$  و  $\rho_a$  به ترتیب جرم مخصوص سیال پیرامون و

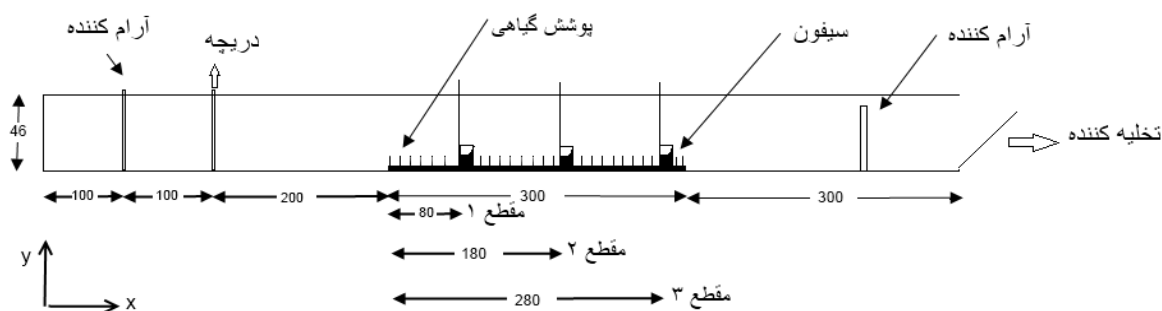
1- Densimetric Froude Number

در ۵ تراکم متغیر به یک صفحه گالوانیزه با ضخامت ۲ میلی‌متر متصل گردید و در مقطع آزمایش قرار گرفت (شکل ۳). آزمایش‌ها برای ۴ غلظت (C) مختلف و ۵ تراکم (N) متفاوت در ۲ ارتفاع (H) با شیب ثابت ۱٪ انجام شد. تراکم به صورت نسبت سطح اشغال شده توسط پوشش گیاهی به سطح کل پوشش گیاهی بیان شده است. در شکل ۴ نمونه‌ای از جریان غلیظ تشکیل شده، نشان داده شد. جدول ۱ خلاصه‌ای از آزمایش‌های انجام شده را نشان می‌دهد.

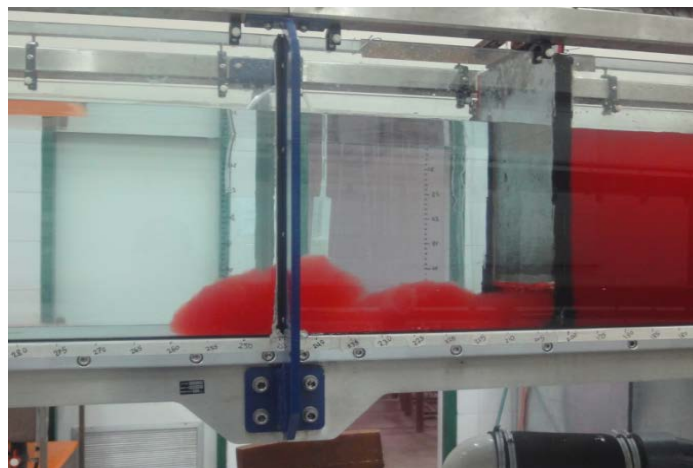
مرکز فلوم انجام شد. اندازه‌گیری غلظت در ۳ مقطع به فاصله ۸۰، ۱۸۰ و ۲۸۰ سانتی‌متر از ابتدای پوشش گیاهی انجام گردید. در هر مقطع ۶ غلظت به فاصله ۲/۵ سانتی‌متر نسبت به هم، برداشت شد و فاصله اولین نقطه نمونه‌گیری از کف فلوم نیز ۲/۵ سانتی‌متر بوده است. به‌منظور تعیین میزان نمک نمونه‌های جریان غلیظ نمکی، از یک EC متر مدل Neo Met 815pdc استفاده گردید. برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی از لوله‌های پلاستیکی باریک ارتجاع‌پذیر با ضخامت ۸/۵ میلی‌متر استفاده شد. این لوله‌ها با آرایش ثابت موازی و



شکل ۲- فلوم آزمایشگاهی و متعلقات آن



شکل ۳- ابعاد فلوم و فواصل تجهیزات (اندازه‌ها به سانتی‌متر)



شکل ۴- نمونه‌ای از جریان غلیظ ایجاد شده در غلظت ۲۰ گرم بر لیتر

جدول ۱- خلاصه‌ای از آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق

تعداد آزمایش	عدد فرود حجمی	عدد رینولدز $\times 10^4$	ارتفاع (سانتی‌متر)	غلظت (گرم بر لیتر)	تراکم (درصد)	سری آزمایش
۸	۰/۵۱-۰/۷۷	۱/۰۷-۱/۷۹	۲۰، ۱۵	۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰	۰/۶	۱
۸	۰/۵-۰/۶۷	۰/۹۳۵-۱/۷۶	۲۰، ۱۵	۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰	۰/۸	۲
۸	۰/۴۶-۰/۶۵	۰/۸۸-۱/۷۳	۲۰، ۱۵	۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰	۱	۳
۸	۰/۴۴-۰/۶۴	۰/۸۵-۱/۷۱	۲۰، ۱۵	۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰	۱/۲	۴
۸	۰/۴۱-۰/۶۳	۰/۷۲-۱/۷۱	۲۰، ۱۵	۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰	۱/۴	۵
۴	۰/۵۷-۰/۷۴	۰/۱۳-۲/۳۲	۰	۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰	آزمون شاهد	۶

بدون بعد زیر ارائه گردید.

$$A^* = f^* \left( \frac{H}{h_f}, N, \frac{\Delta_c}{\rho_a}, \frac{X}{h_f}, \frac{h_b}{h_f}, \frac{u_f}{\sqrt{g' \times h_f}}, \frac{\mu_{a,c}}{\rho_a \times V \times h_f} \right) \quad (4)$$

$$F_{r,d,c} = \frac{u_f}{\sqrt{g' \times h_f}} = f^* \left( \frac{H}{h_f}, N, \frac{\Delta_c}{\rho_a}, \frac{h_b}{h_f}, \frac{X}{h_f} \right) \quad (5)$$

در رابطه فوق  $\frac{u_f}{\sqrt{g' \times h_f}}$  بیانگر عدد فرود جریان می‌باشد و

پارامترهای مؤثر بر آن در رابطه ۵ نشان داده شده است. از آنجا که آزمایش‌های این تحقیق در فلوم و در شرایط جریان آزاد صورت پذیرفت و از طرفی عدد رینولدز جریان غلیظ  $\frac{\rho_a \times V \times h_f}{\mu_{a,c}}$  همواره در محدوده جریان متلاطم قرار داشت، از بررسی آن صرف نظر شده است.

## نتایج و بحث

باتوجه به آزمایش‌های صورت گرفته، در این قسمت نتایج به تفکیک در دو بخش آورده و تحلیل خواهند شد. در بخش اول نتایج بررسی تأثیر پارامترها بر سرعت پیشانی جریان غلیظ و در بخش دوم تغییر پروفیل غلظت در طول مسیر جریان، مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

## تجزیه و تحلیل ابعادی

اثر تراکم پوشش گیاهی بر پیشروی جریان را می‌توان وابسته به متغیرهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی زیر دانست:

$$f(P, X, W, S, H, N, d, \Delta_c, h_f, h_b, h_a, \mu_{a,c}, \rho_a, \tau, g' \cos \theta) = 0 \quad (3)$$

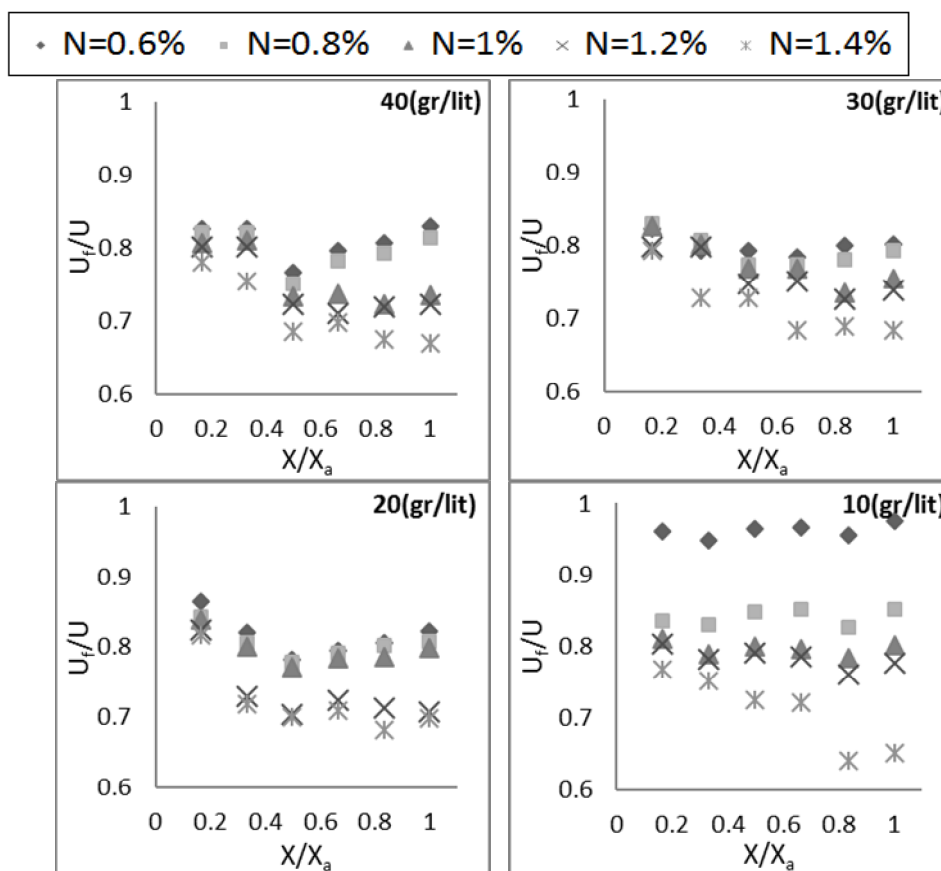
که در این رابطه،  $P$  آرایش پوشش گیاهی (که در اینجا پوشش گیاهی به صورت موازی با هم و در جهت عمود بر جریان قرار گرفتند)،  $X$  طول پوشش گیاهی،  $W$  عرض پوشش گیاهی،  $S$  شیب کف،  $H$  ارتفاع پوشش گیاهی،  $N$  تراکم پوشش گیاه،  $d$  قطر پوشش گیاهی،  $\Delta_c$  غلظت جریان غلیظ،  $h_f$  ارتفاع پیشانی جریان غلیظ،  $h_b$  ارتفاع بدنه جریان غلیظ،  $h_a$  ارتفاع سیال پیرامون،  $\mu_{a,c}$  لزجت دینامیکی جریان غلیظ،  $\rho_a$  جرم مخصوص سیال پیرامون،  $\tau$  زمان پیشروی موج جریان غلیظ،  $\theta$  زاویه با افق و  $g' \cos \theta$  شتاب ثقل کاهش یافته می‌باشد که در رابطه فوق آرایش پوشش گیاهی، عرض پوشش گیاهی، قطر پوشش گیاهی، شیب کف و ارتفاع سیال پیرامون ثابت در نظر گرفته شده است و چون مقدار  $\cos \theta$  ناچیز است، صرف نظر گردید. به منظور بررسی تأثیر سرعت جریان غلیظ بر سایر پارامترها، با استفاده از آنالیز ابعادی به روش پی بوکینگهام روابط

غلیظ می‌باشد که در نتیجه آن اختلاف چگالی سیال غلیظ با سیال پیرامون کاهش یافته و قدرت جریان کم می‌شود اما برای تراکم‌های ۰/۶ و ۰/۸ و ۱ درصد، پس از طی حدود نیمی از مسیر جریان، مجدداً سرعت بی‌بعد افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد که در این تراکم‌ها، از مقطع چهارم کارایی پوشش گیاهی برای کنترل جریان کم‌تر می‌شود. دلیل این امر آن است که با حرکت جریان غلیظ در طول فلوم، سیال پیرامون وارد جریان غلیظ می‌شود و از طرفی پوشش گیاهی که عامل اصطکاک است در طول فلوم بیش‌تر می‌شود و در نتیجه، شتاب ثقل کاهش یافته که عامل چسبیدن و حرکت جریان در کف فلوم است، کاهش می‌یابد. به دنبال کاهش شتاب ثقل کاهش یافته، بخش عمده‌ای از جریان تمایل به عبور از روی مانع و رسیدن به وضعیت نرمال با میزان انرژی کم‌تر را پیدا می‌کند. در نتیجه سرعت نسبت به بستر صاف افزایش می‌یابد. و از طرفی با افزایش تراکم به دلیل وجود مانع در مسیر جریان و ایجاد اصطکاک و کاهش قدرت محرکه جریان، سرعت پیشانی جریان از پوشش گیاهی تأثیر بیش‌تری می‌پذیرد و کاهش بیش‌تری دارد. از این پدیده به‌عنوان پدیده برخاستگی یاد شده است (ورجاوند، ۱۳۹۳).

سپس، رابطه‌ای برای محاسبه سرعت جریان غلیظ در هر یک از تراکم‌های پوشش گیاهی استخراج می‌گردد و در نهایت به مقایسه نتایج تحقیق حاضر با دیگر محققین پرداخته می‌شود.

### بررسی سرعت

در این قسمت تغییرات سرعت پیشانی جریان غلیظ تحت تأثیر تراکم پوشش گیاهی و غلظت مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل ۵ محدوده تغییرات سرعت بی‌بعد پیشروی جریان در ۵ تراکم نسبت به طول مسیر جریان برای ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر پوشش گیاهی در غلظت‌های مختلف نشان داده شده است. اندازه‌گیری سرعت از ابتدای پوشش گیاهی و در ۶ نقطه به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم انجام شده است و نتایج با بستر صاف مقایسه شد.  $U/U_0$  سرعت در بستر صاف و  $U/U_0$  طول کل پوشش گیاهی است. نشان‌دهنده میزان قابلیت پوشش گیاهی برای کنترل جریان غلیظ نسبت به بستر صاف می‌باشد. همانطور که در شکل مشخص است در اثر برخورد جریان غلیظ با پوشش گیاهی، سرعت بی‌بعد به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد و این به دو دلیل برخورد جریان غلیظ با پوشش گیاهی و ایجاد اصطکاک و هم‌چنین افزایش ورود سیال پیرامون به پیشانی جریان



شکل ۵- تغییرات سرعت بی‌بعد به طول مسیر جریان در  $\epsilon$  غلظت

پیشانی جریان نسبت به تغییر تراکم، واکنش کمتری نشان می‌دهد. علت آن را می‌توان چنین بیان کرد که در غلظت بالا اختلاف چگالی و به دنبال آن شتاب ثقل کاهش یافته که عامل حرکت جریان غلیظ است، زیاد می‌باشد و در اثر پدیده درون آمیختگی آب زلال به درون جریان غلیظ و افزایش اصطکاک در اثر برخورد با پوشش گیاهی، غلظت افت زیادی می‌یابد و سرعت کاهش بیش‌تری را نمایان می‌سازد.

بررسی ارتفاع متوسط پیشانی جریان غلیظ نشان می‌دهد که با حرکت جریان غلیظ در طول فلوام ارتفاع پیشانی آن کاهش می‌یابد اما افزایش تراکم تأثیری در ارتفاع پیشانی جریان غلیظ ندارد و جریان با ارتفاع یکسانی پیشروی می‌کند. شکل ۸ نتایج این مقایسه‌ها را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از مقایسه عدد فرود نسبت به تراکم در ۴ غلظت متفاوت برای ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر پوشش گیاهی در شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، عدد فرود در طول مسیر جریان کاهش می‌یابد. این به این دلیل است که سرعت و ارتفاع پیشانی جریان در طول مسیر کم می‌شود اما میزان کاهش سرعت بیش‌تر از کاهش ارتفاع پیشانی جریان می‌باشد و عدد فرود کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش غلظت اولیه جریان، شتاب ثقل کاهش یافته، کاهش می‌یابد و کشش جریان به کف فلوام کم‌تر می‌شود و جریان تمایل بیش‌تری به عبور از ناحیه با انرژی کم‌تر را پیدا می‌کند و در نتیجه عدد فرود افزایش می‌یابد. پراکندگی عدد فرود در تراکم‌های پایین‌تر، کم‌تر می‌باشد چون در تراکم‌های پایین‌تر سرعت جریان یکنواخت‌تر می‌باشد.

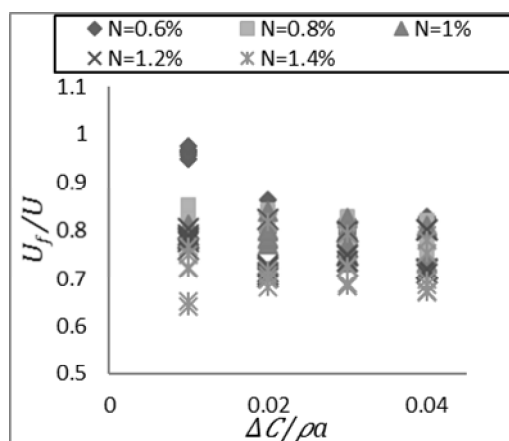
درصد کاهش سرعت پیشروی جریان غلیظ در مقایسه با بستر صاف برای هر دو ارتفاع در جدول ۲ ارائه شد. آزمایش‌ها برای هر دو ارتفاع نتایج مشابهی را نشان داده است.

جدول ۲- درصد کاهش سرعت در بستر دارای پوشش گیاهی نسبت به بستر صاف در تمامی غلظت‌ها با توجه به تراکم‌ها و ارتفاع‌های

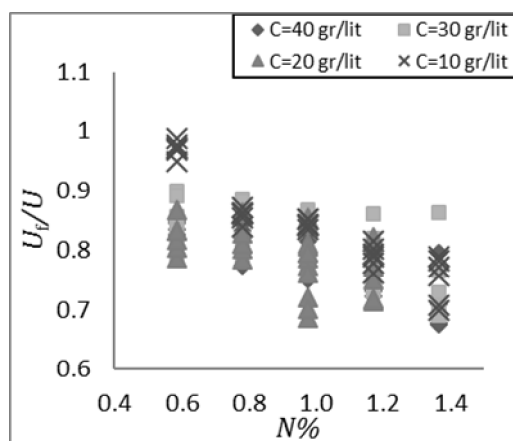
مختلف پوشش گیاهی					
تراکم (%)	۰/۶	۰/۸	۱	۱/۲	۱/۴
ارتفاع (متر)	۰/۱۵	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵
۰/۱۵	۱۳	۱۷	۱۹	۲۲/۸	۲۶/۳
۰/۲	۱۵/۴	۱۹/۱	۲۱/۸	۲۴/۴	۲۸/۵

شکل ۶ تغییرات سرعت بی‌بعد نسبت به تراکم در غلظت‌های مختلف برای ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر پوشش گیاهی را نشان داده است. با افزایش تراکم سرعت کاهش می‌یابد اما این کاهش سرعت در غلظت‌های پایین‌تر کم‌تر است و با افزایش غلظت، میزان افت سرعت نسبت به سرعت در بستر صاف، بیش‌تر است. این نتایج برای ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر پوشش گیاهی به‌طور مشابه حاصل گردید.

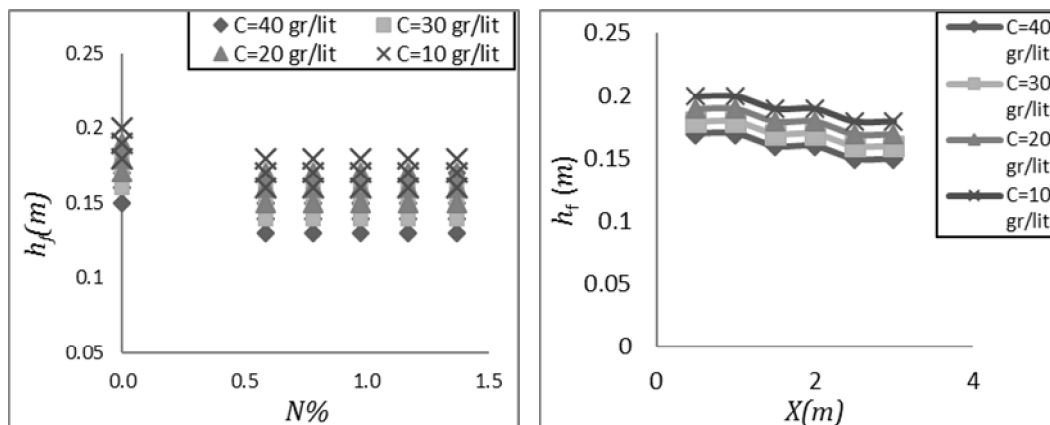
در شکل ۷ تغییرات سرعت در برابر غلظت، به‌عنوان نمونه برای ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر در تراکم‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود در تراکم پایین با افزایش غلظت میزان افت سرعت نسبت به سرعت در بستر صاف بیش‌تر است اما با افزایش تراکم افت سرعت در تمامی غلظت‌ها میزان تقریباً یکسانی دارد. همچنین در غلظت‌های بالاتر افزایش تراکم تأثیری بیش‌تری در کاهش سرعت پیشانی جریان غلیظ دارد و با کاهش غلظت، سرعت



شکل ۷- تغییر سرعت پیشروی جریان غلیظ نسبت به غلظت در تراکم‌های مختلف



شکل ۸- تغییر سرعت بی‌بعد نسبت به تراکم



ب- تغییر ارتفاع پیشانی جریان غلیظ در تراکم‌های مختلف

الف- تغییر ارتفاع پیشانی جریان غلیظ در طول مسیر جریان

شکل ۸- بررسی تغییر ارتفاع پیشانی جریان غلیظ

تحقیق حاضر از ۰/۵۱۵ تا ۰/۶۴۹ متغیر می‌باشد.

روابط موجود در جدول ۳ برای ۹ مقدار  $g'H_f$  با اندازه‌های ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۳، ۰/۰۴، ۰/۰۵، ۰/۰۶، ۰/۰۷، ۰/۰۸، ۰/۰۹ مقایسه شده اند. نتایج در شکل ۱۰ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود، سرعت پیشانی جریان غلیظ در رابطه ترنر بیش‌ترین مقدار را دارا است. زیرا ترنر از ارتفاع بدنه جریان برای محاسبه سرعت پیشانی استفاده کرده است در صورتی‌که سایر محققین از ارتفاع پیشانی جریان استفاده کردند. همچنین شکل نشان می‌دهد که ضرایب آزمون حاضر، سرعت کم‌تری را نسبت به دیگر روابط نتیجه می‌دهد و با افزایش تراکم، سرعت جریان بیش‌تر کاهش می‌یابد که این نشان- دهنده تأثیر پوشش گیاهی در کاهش سرعت جریان می‌باشد. همچنین با استفاده از نرم افزار SAS رابطه خطی چندگانه بین متغیرهای سرعت و  $(g'H_f)^{0.5}$  و تراکم پوشش گیاهی، برای هر دو ارتفاع پوشش گیاهی برازش داده شد.

### مقایسه سرعت و ارائه روابط

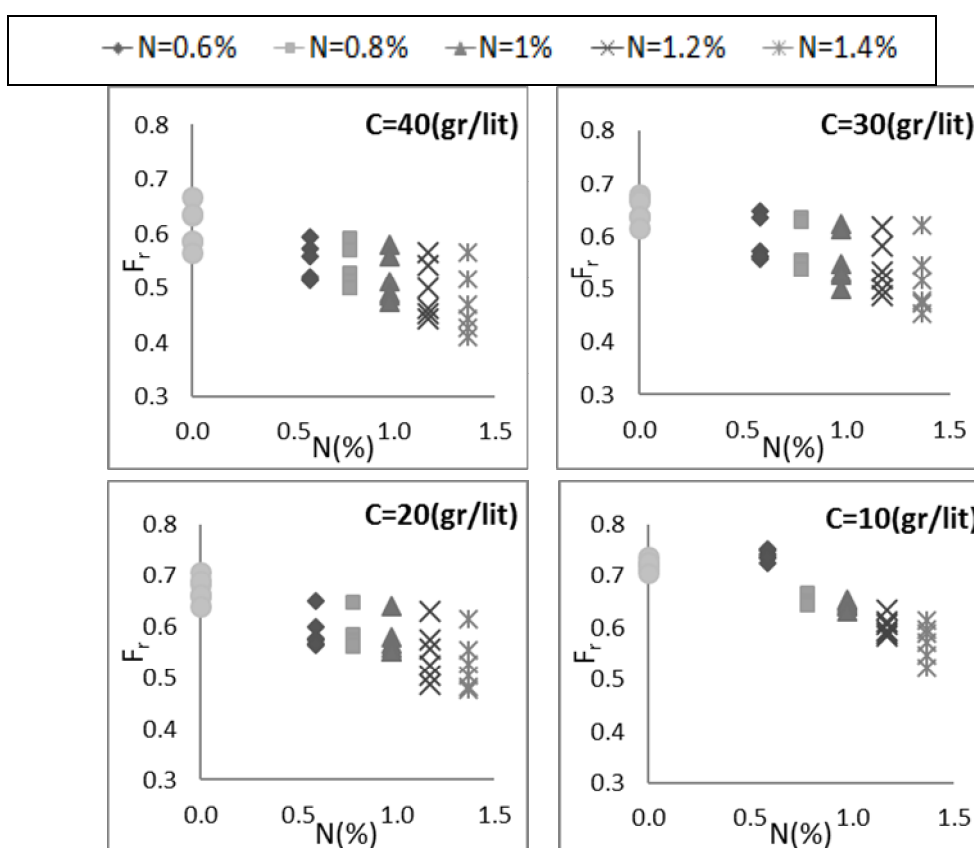
به‌منظور مقایسه سرعت پیشانی جریان غلیظ در تحقیق حاضر با دیگر محققین از رابطه ۶ استفاده شده است (Keulegan, 1957, 1958).

$$U_f = C_e (g'H_f)^{0.5} \quad (6)$$

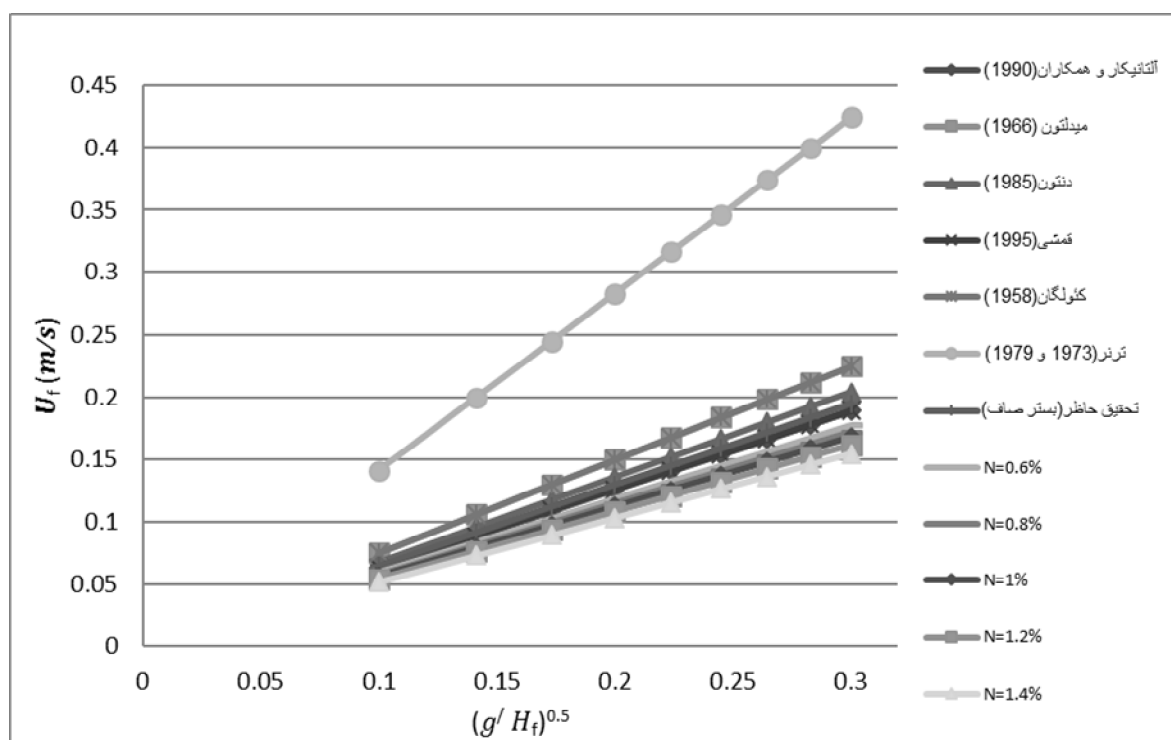
که در آن  $U_f$  سرعت پیشانی جریان،  $C_e$  ضریب تجربی،  $g'$  شتاب ثقل کاهش یافته و  $H_f$  ضخامت پیشانی جریان می‌باشد. در جدول ۳ ضرایب تجربی ارائه شده برای رابطه فوق در تحقیق حاضر و سایر محققین بیان شده است. در جدول حاضر مشاهده می‌شود که ضریب C برای جریان‌های نمکی بیش‌تر از جریان‌های رسوبی است که این بدان دلیل است که سرعت در جریان نمکی در شرایط مشابه بدلیل اختلاف در شناوری و نوسانات چگالی بیش‌تر از جریان رسوبی است. همچنین در جدول مشاهده می‌شود که ضرایب تحقیق حاضر نزدیک به ضرایب ارائه شده قبلی می‌باشند و بیش‌ترین مقدار ( $R^2$ ) و کم‌ترین مقدار (RMSE) برای تراکم ۰/۸ درصد می‌باشد. ضرایب

جدول ۳- مقادیر ضریب رابطه ۶

نام محقق	سال ارائه	شیب	نوع جریان	$C_e$	$R^2$	RMSE (m/s)
آلتیناکار و همکاران	۱۹۹۰	۰/۰۲۹	نمکی و رسوبی	۰/۶۳	-	-
میدلتون	۱۹۶۶	۰/۰۴	نمکی	۰/۷۵	-	-
دنتون	۱۹۸۵	۰/۱۵	رسوبی	۰/۶۸	-	-
قمشی	۱۹۹۵	۰/۰۶۳۵	نمکی و رسوبی	۰/۶۳	-	-
کنولگان	۱۹۵۸	۰/۰۴۰۵	نمکی	۰/۷۵	-	-
ترنر	۱۹۷۳ و ۱۹۷۹	-	رسوبی	۱/۴۱	-	-
تحقیق حاضر	بستر صاف		نمکی	۰/۶۴۹	۰/۸۸۷	۰/۰۰۷۳
	تراکم (۰/۶ درصد)		نمکی	۰/۵۹۳	۰/۵۷۳	۰/۰۱
	تراکم (۰/۸ درصد)		نمکی	۰/۵۷۴	۰/۸۱۷	۰/۰۰۷۴
	تراکم (۱ درصد)		نمکی	۰/۵۵۹	۰/۷۷۶	۰/۰۰۸۲
	تراکم (۱/۲ درصد)		نمکی	۰/۵۳۹	۰/۷۷۹	۰/۰۰۸۴
	تراکم (۱/۴ درصد)		نمکی	۰/۵۱۵	۰/۷۵۸	۰/۰۰۸۸



شکل ۹- تغییر عدد فرود نسبت به تراکم پوشش گیاهی در ارتفاع ۱۵ سانتی متر پوشش گیاهی و  $\epsilon$  غلظت متفاوت



شکل ۱۰- مقایسه نتایج تحقیقات و تحقیق حاضر



نشان داده شده است. مقطع ۱ بالادست و مقطع ۳ پایین دست می‌باشد. در هر مقطع شش غلظت به طور عمودی قرائت شد. شکل نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع و فاصله از کف فلوم غلظت کم‌تر می‌شود و با حرکت جریان در طول فلوم از غلظت آن کاسته می‌شود که دلیل آن هم پدیده درون آمیختگی و ورود آب زلال به درون جریان غلیظ به دلیل وجود برش در فصل مشترک آن‌ها می‌باشد. همچنین در غلظت‌های پایین‌تر این کاهش غلظت در طول فلوم کم‌تر اتفاق می‌افتد چون در جریان‌هایی با غلظت کم‌تر، به دلیل کم‌تر شدن تنش بین جریان غلیظ و سیال پیرامون، کاهش محسوس غلظت در نزدیکی مرز مشترک دو سیال کم‌تر می‌شود و همچنین از آنجایی که در این جریان‌ها، ارتفاع پیشانی بزرگ‌تر است، یکنواختی غلظت بیش‌تر دیده می‌شود، جریان با غلظت یکنواخت‌تری در طول فلوم حرکت می‌کند.

(۷) ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر پوشش گیاهی

$$U_F = 0.037 + 0.413(g'H_F)^{0.5} - 0.015(N)$$

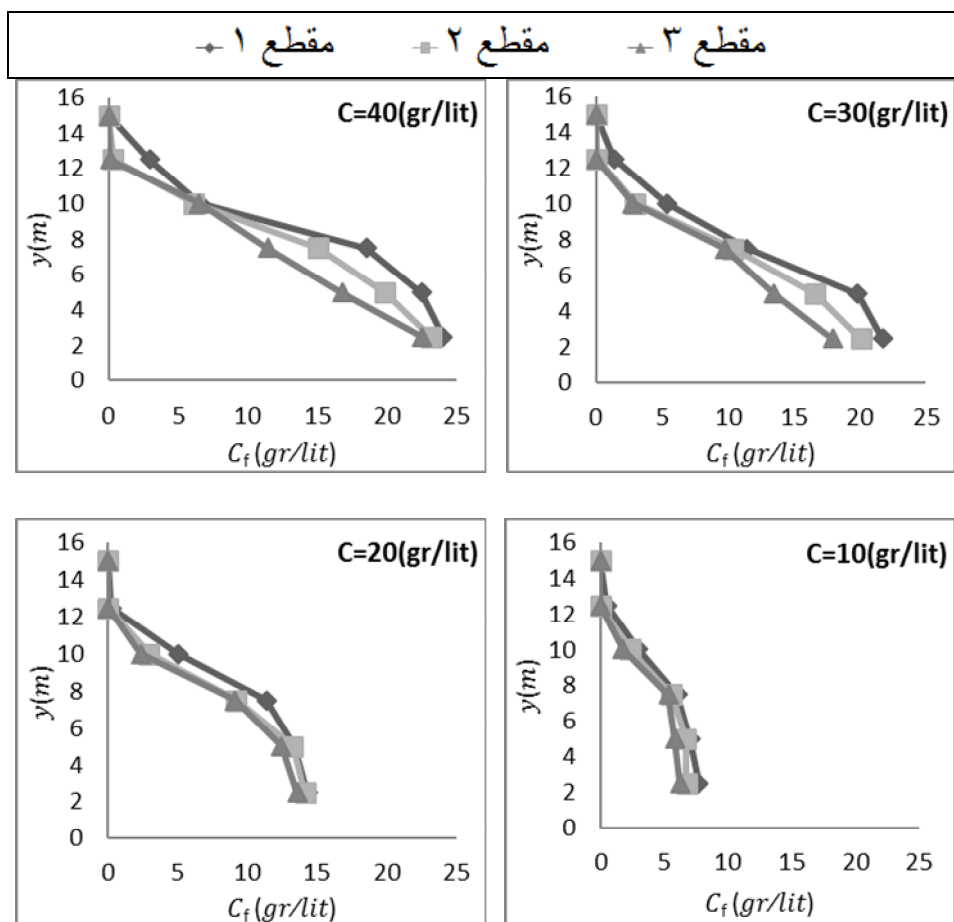
(۸) ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر پوشش گیاهی

$$U_F = 0.039 + 0.409(g'H_F)^{0.5} - 0.016(N)$$

که در این روابط  $U_F$  سرعت پیشانی جریان غلیظ،  $g'$  شتاب ثقل کاهش یافته،  $H_F$  ارتفاع پیشانی جریان غلیظ و  $N$  درصد تراکم پوشش گیاهی می‌باشد. در رابطه ۷ ضریب  $R^2$  برابر ۰/۸۲۷ و RMSE برابر ۰/۰۰۷ و در رابطه ۸ ضریب  $R^2$  برابر ۰/۸۰۶ و RMSE برابر ۰/۰۰۷ می‌باشد که نشان می‌دهد روابط مذکور از دقت کافی برخوردار است.

### بررسی تغییرات غلظت جریان غلیظ

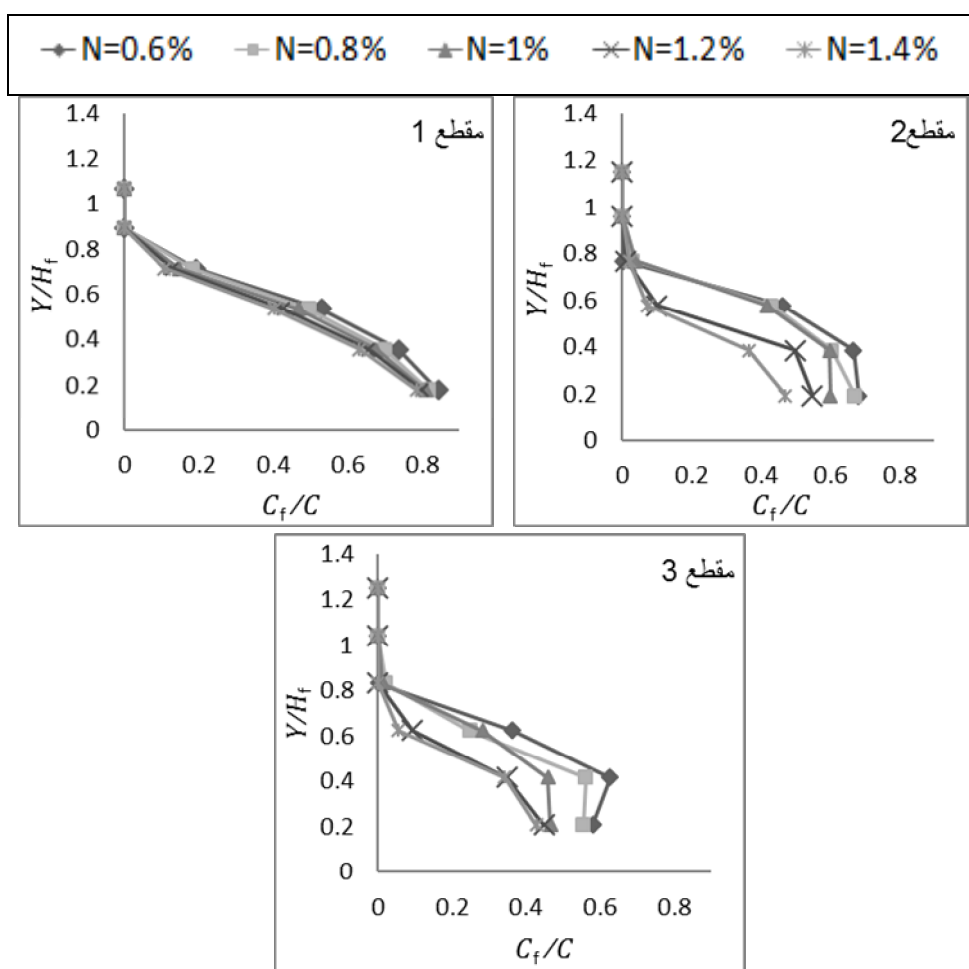
نتایج حاصل از اندازه‌گیری تغییرات غلظت در راستای قائم در سه مقطع به فاصله یک متر از هم برای حالت بستر صاف در شکل ۱۱



شکل ۱۱- توزیع قائم غلظت در بستر صاف در مقاطع مختلف و غلظت‌های متفاوت

شکل میزان کاهش غلظت نسبت به بستر صاف در مقطع اول، دوم و سوم، برای تراکم‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است، با قرار دادن پوشش گیاهی غلظت نسبت به بستر صاف، کاهش بیشتری دارد و تراکم  $1/4$  درصد پوشش گیاهی، کاهش چشم‌گیری در غلظت را نتیجه می‌دهد. در جدول ۴ و ۵ درصد کاهش غلظت پیشانی جریان غلیظ نسبت به بستر صاف در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی و غلظت‌های مورد نظر آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد، پوشش گیاهی با ارتفاع  $0/15$  و  $0/2$  می‌تواند به ترتیب  $53/54$  تا  $77/72$  و  $57/25$  تا  $81/28$  درصد کاهش غلظت را نسبت به بستر صاف افزایش دهد.

سیس پوشش گیاهی با تراکم‌های مختلف، در ۳ متر از طول فلوم قرار گرفت و تغییرات غلظت در همان سه مقطع به فاصله یک متر از هم فرائت شد. این کار برای غلظت‌های  $10$ ،  $20$ ،  $30$  و  $40$  گرم بر لیتر و برای هر  $2$  ارتفاع  $15$  و  $20$  سانتی متر پوشش گیاهی انجام شد و نتایج مشابهی حاصل شد. در شکل ۱۲ نمونه‌ای از این اندازه‌گیری برای غلظت  $40$  گرم بر لیتر و ارتفاع  $20$  سانتی متر پوشش گیاهی به صورت بی‌بعد نشان داده شده است. برای بی‌بعد سازی محور افقی، نسبت غلظت در هر نقطه به غلظت در بستر صاف محاسبه شد و برای بی‌بعد سازی محور عمودی، فاصله قائم نقطه اندازه‌گیری نسبت به کف، به ارتفاع پیشانی جریان غلیظ در آن مقطع تقسیم شد. این



شکل ۱۲- مقایسه توزیع قائم غلظت در طول پوشش گیاهی در ارتفاع  $20$  سانتی متری و تراکم‌های مختلف

جدول ۴- درصد کاهش نسبی غلظت نسبت به بستر صاف در حالت‌های مختلف و ارتفاع ۰/۲ متر پوشش گیاهی

تراکم (درصد)	غلظت				
	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸	۰/۶
۴۰	۷۵/۴۳	۷۳/۳۸	۶۷/۱۵	۶۴/۸۵	۶۲/۰۷
۳۰	۶۸/۷۲	۶۶/۰۴	۶۳/۷۳	۶۰/۶۲	۵۷/۲۵
۲۰	۸۱/۲۸	۷۱/۰۸	۷۳/۶۱	۶۶/۹۰	۶۲/۸۳
۱۰	۸۱/۱۳	۷۶/۷۰	۷۳/۲۸	۶۷/۰۸	۶۱/۷۱

جدول ۵- درصد کاهش نسبی غلظت نسبت به بستر صاف در حالت‌های مختلف و ارتفاع ۰/۱۵ متر پوشش گیاهی

تراکم (درصد)	غلظت				
	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸	۰/۶
۴۰	۷۵/۵۰	۷۲/۶۲	۶۴/۰۱	۵۹/۸۵	۵۳/۵۴
۳۰	۶۶/۸۰	۶۵/۲۱	۶۱/۲۱	۵۸/۵۷	۵۳/۷۱
۲۰	۷۷/۰۴	۷۰/۳۷	۶۴/۸۸	۶۰/۶۲	۵۶/۳۷
۱۰	۷۳/۷۱	۷۴/۰۹	۷۷/۷۲	۶۴/۱۷	۶۰/۰۴

## نتیجه گیری

پیشروی جریان غلیظ به عوامل زیادی از جمله اصطکاک بستر بستگی دارد. در این تحقیق به بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش سرعت و غلظت جریان غلیظ نمکی پرداخته شد. آزمایش‌ها نشان داد که با قرار دادن پوشش گیاهی در مسیر جریان غلیظ به دلیل برخورد جریان با پوشش گیاهی و ایجاد اصطکاک و کمک به افزایش تنش در فصل مشترک دو سیال، سرعت پیشروی جریان به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد و تراکم ۱/۴ درصد پوشش گیاهی بهترین تراکم برای کاهش سرعت پیشانی جریان غلیظ می‌باشد و در این تراکم پروفیل غلظت در مقطع قائم کاهش چشمگیری می‌یابد. در مقایسه پروفیل‌های بدون بعد سرعت جریان غلیظ مشاهده شد که در تراکم‌های ۰/۶ و ۰/۸ درصد بعد از طی نیمی از مسیر جریان، سرعت پیشانی به دلیل پدیده برخاستگی، افزایش یافت. غلظت در طول فلووم به دلیل پدیده درون‌آمیختگی ذرات آب به درون جریان غلیظ کاهش می‌یابد و با افزایش غلظت، تأثیر افزایش تراکم در کاهش سرعت بیش تر می‌شود.

## منابع

- صدیق، م. ۱۳۸۶. شبیه‌سازی عددی پیشروی دلتا و جریان کدر در مخازن سدها، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده عمران، دانشگاه تهران.
- کرم‌زاده، ن. محمودیان شوشتری، م. و قمشی، م. ۱۳۸۵. مطالعه آزمایشگاهی تغییرات سرعت در جریان‌های غلیظ، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران.
- ورجواند، پ.، قمشی، م.، حسین زاده دلیر، ع. و فرسادی زاده، د. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی تأثیر زبری‌های مصنوعی بر مشخصات هیدرولیکی جریان غلیظ نمکی، نشریه آب و خاک، علوم و صنایع کشاورزی. ۳۷: ۳-۱۰۵-۹۶
- Altinakar, M.S. Graf, W.H and Hopfinger, E.J. 1990. Weakly depositing Gravity current on a small slope. Journal of Hydraulic Research. 28:5:
- Altinakar, M.S. Graf, W.H and Hopfinger, E.J. 1996. Flow structure in Gravity currents, Journal of Hydraulics, Resorce, 34: 713-718.
- Bell, H.S. 1942. Density currents as agents for transporting sediments. Journal of Geology. 5.
- Denton, R.A. 1985. Density current inflows to run of the river reservoirs. Proceedings of 21th IAHR congress.
- Ghomeshi, M. 1995. Reservoir sedimentation Modeling, Ph.Dthesis, University of Wollongong, Australia, 219.
- Graf, W.H. 1983. Hydraulics of reservoir sedimentation, International Water Power and Dam Construction, 35(4).
- Graf, W.H and Altinakar, M.S. 1998. Fluvial Hydraulics-Flow and transport processes in

پور کاید، س. حسونی زاده، ه. کاشفی پور، م. و دریایی، م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر هم‌زمان شیب طولی و زبری بر روی سرعت پیشانی جریان غلیظ رسوبی با استفاده از مدل فیزیکی، نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهیدچمران اهواز.

- Pinzon, A.B. 2008. Experimental and numerical simulation of three-dimensional gravity currents on smooth and rough bottom, *Physics of Fluids*, 20.
- Middleton, G.V. 1966. Experiments on density and Gravity currents, motion of the head, *Canadian Journal of Earth Science*, 3:523-546.
- Sequeiro, O.E. Spinewine, B. Beaubouef, R.T., Sun, T., Garcia, M.H and Parker, G. 2010. Characteristics of Velocity and Excess Density Profiles of Saline Underflows and Gravity currents Flowing over a Mobile Bed, *Journal of hydraulic engineering*. 412-433.
- Turner, J.S. 1973. *Buoyancy Effects in Fluids*, Cambridge University Press London, U.K.
- Turner, J.S. 1979. *Buoyancy effects in fluids*, Cambridge University Press, London. England.
- channels of simple geometry, Chapter 7, Wiley, New-York. John Wiley and Sons, 681.
- Hosseini, S.A. Shamsai, A and Ataie-Ashtiani, B. 2006. Synchronous measurements of the velocity and concentration in low density Gravity currents using an Acoustic Doppler Velocimeter, *Journal of Flow Measurement and Instrument*. 17: 59-68.
- Huppert, H.E and Simpson, J.E. 1980. The slumping of gravity currents. *Journal of Fluid Mech*, 99:785-799.
- Keulegan, G.H. 1957. The motion of saline fronts in still water, Twelfth Progress Report on model laws for density currents, US National Bureau of Standards Report.
- Keulegan, G.H. 1958. The motion of saline fronts in still water, US National Bureau of Standards Report, 5831:29.
- LaRocca, M., Adduce, C., Sciortino, G and

## Experimental Study on the Effects of Artificial Vegetation Density on Gravity Current's flow Characteristics

A.Khalili<sup>1\*</sup>, H.Khozeymehnezhad<sup>2</sup>, A.Akbarpour<sup>3</sup>, P.Varjavand<sup>4</sup>

Recived: Nov.12, 2014

Accepted: Apr.15, 2015

### Abstract

Gravity current is one of the most important factors in sedimentation and reduction of life expectancy of reservoirs. Forehead part of gravity currents is one of the important parts of these currents that are under influence of many factors. The present research has surveyed the effects of vegetation cover in reducing the velocity of forehead gravity current. To do so, the gravity current is entered the flume with 10, 20, 30 and 40 g/l concentration. Then, vegetation covers with 15 and 20 cm heights and five densities of 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, and 1.4 percent are located across the currents. Measuring the velocity is done in 6 sections of 50 cm distance. The vertical concentration profile is measured in 3 sections with 1m distance. The results showed that as the density of vegetation cover with different heights increases, the development velocity of current proportion to smooth bed reduces to 13 to 28.5 % and also the gravity current concentration reduces between 53.54 to 81.28 %. The 1.4% density is the most effective density for reducing velocity and concentration of forehead gravity current. Finally, a relation has been presented for calculating the velocity in smooth bed and the vegetation cover beds with different densities.

**Keywords:** Currentflow, Velocity of forehead, Vegetation density, Concentration profil

1- Graduate Student of Water Engineering Department , University of Birjand

2- Assistant professor, Department of water Engineering, University of Birjand

3- Associate professor, Department of civil Engineering, University of Birjand

4- Ph.D. candidate, Department of water structures Engineering, University of Tabriz

(\*- Corresponding Author Email: Atenakhalili\_2014@yahoo.com)