

## بررسی اثر وجود دو مانع متخلل با فاصله و اثر ضخامت آن‌ها بر کنترل پیشانی جریان گل آلود به صورت آزمایشگاهی

مجتبی کردنائیج<sup>۱</sup>، سید امین اصغری پری<sup>۲\*</sup>، سید محسن سجادی<sup>۳</sup>، محمود شفاعی بجزستان<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶-۱۱-۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸-۰۷-۱۰ تاریخ چاپ: ۱۳۹۹-۰۲-۲۲

### چکیده

در تحقیق حاضر به مقایسه‌ی آزمایشگاهی اثر افزایش تعداد ردیف‌های مانع متخلخل سه بعدی و دو مانع متخلخل سه بعدی با فاصله یک متر به‌عنوان یک مانع نفوذپذیر جهت کنترل جریان گل آلود رسوبی در ارتفاع‌های مختلف پرداخته شده است. از موانع مکعبی شکل متخلخل (چینه) به ابعاد ۲/۱ سانتی‌متر با تخلخل سطحی ۲۵ درصد استفاده شد. فلوم مورد استفاده با محدوده شیب‌پذیری  $\pm 2/5$  درصد و دارای طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ و ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر بوده است. دبی ورودی جریان غلیظ ۰/۷ لیتر در ثانیه و غلظت ورودی برابر با ۲۰ گرم بر لیتر بود. در حالت وجود مانع متخلخل سه بعدی، جریان در دو راستای عمود برهم وارد تخلخل‌ها می‌شود. نتایج نشان داد در اثر ورود همزمان جریان گل آلود در دو جهت عمود بر هم، خطوط جریان در تخلخل‌ها با یکدیگر برخورد کرده و با ایجاد جریان چرخشی در تخلخل باعث استهلاک بیش‌تر انرژی جریان عبوری از درون تخلخل می‌شود. استفاده از دو ردیف مانع با فاصله باعث کاهش ارتفاع مانع مورد نیاز جهت کنترل جریان گل آلود می‌گردد. در مورد دو مانع با ارتفاع مختلف قرار گرفتن مانع با ارتفاع بیش‌تر در ابتدا باعث استهلاک بیش‌تر جریان می‌گردد. در حالت شیب‌دار به‌دلیل افزایش مومنتوم جریان عبوری، بخش بیش‌تری از رسوبات از مانع اول عبور کرده و این امر سبب می‌شود اثر مانع دوم در کنترل جریان گل آلود در این حالت نسبت به حالت بدون شیب بیش‌تر گردد. هم‌چنین با افزایش ضخامت مانع به دو برابر، عملکرد مانع متخلخل افزایش می‌یابد و عملکرد دو مانع با فاصله از عملکرد تک مانع با ضخامت دو برابر بیش‌تر می‌باشد.

**واژه های کلیدی:** جریان گل آلود، مانع متخلخل سه بعدی، فاصله موانع، ضخامت مانع، ارتفاع مانع.

<sup>۱</sup> گروه عمران دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء(ص) بهبهان، بهبهان، ایران

<sup>۲</sup> گروه عمران دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء(ص) بهبهان، بهبهان، ایران

<sup>۳</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه؛ دانشیار دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء(ص) بهبهان

<sup>۴</sup> استادیار؛ و استاد گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

\* نویسنده مسئول: Asghari\_amin@bkatu.ac.ir

## مقدمه

جریان غلیظ به جریانی گفته می‌شود که یک سیال با سرعت مخالف صفر و چگالی متفاوت از چگالی سیالی که نسبتاً ساکن است وارد آن شود و در امتداد یکی از لایه‌های سیال ساکن به حرکت خود ادامه دهد. اختلاف در جرم مخصوص ممکن است ناشی از مواد معلق، مواد محلول، دما و یا ترکیبی از آن‌ها باشد (گراف و آلتیناکار، ۱۹۹۸). اگر جریان غلیظ ورودی به داخل سیال ساکن دارای چگالی بیش‌تر از سیال ساکن باشد، به‌صورت جریان زیرین به حرکت خود ادامه خواهد داد. اگر سیال ساکن دارای لایه‌بندی چگالی باشد، جریان غلیظ، چگالی مناسب محیط خود را پیدا خواهد کرد و به‌صورت میان‌جریان حرکت می‌کند (گراف، ۱۹۸۳). جریان غلیظی که ماهیت رسوبی دارد با نام جریان‌های گل‌آلود شناخته می‌شوند و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل رسوب‌گذاری در مخازن سدها می‌باشند که با انتقال این رسوب‌ها به نزدیکی بدنه سد، و با تأثیر بر اجزای اصلی آن موجب ناکارآمدی سد پیش از زمان پیش‌بینی شده برای عمر مفید آن می‌گردند. این مشکل در مناطقی که فرسایش و بده جریان‌های رسوبی در آن‌ها زیاد است، حادث می‌باشد. رسوب‌گذاری در مخازن سدها علاوه بر کاهش حجم ذخیره آب، اثرات نامطلوب دیگری از جمله انسداد دریچه‌ها، تخلیه‌کننده‌های عمقی، خرابی تأسیسات توزیع آب شرب و کشاورزی، زیان به تجهیزات برق‌آبی و تجهیزات هیدرودینامیک نیز به‌همراه دارد (کشتکار و همکاران، ۱۳۸۷). برای کنترل جریان گل‌آلود در مدل‌های آزمایشگاهی می‌توان به شیوه‌های متفاوتی از جمله استفاده از ناهمواری بستر، ترکیب مانع و ناهمواری بستر، استفاده از حباب هوا، استفاده از موانع (نفوذپذیر و نفوذناپذیر)، استفاده از جت آب و هم-چنین ایجاد مخزن یا دریاچه جهت کنترل جریان گل‌آلود اشاره نمود. روش‌های مختلف احداث مانع برای کنترل جریان گل‌آلود از جمله احداث مانع، احداث مانع مشبک و دیواره حباب در شرایط زیربحرانی مناسب است (اوهی و اشلایدز، ۲۰۰۷). نتایج آزمایشگاهی اثر ارتفاع مانع در کنترل جریان گل‌آلود با شرایط متفاوت ورودی جریان و عدد فرود دنسیومتریک نشان داد که جریان غلیظ نمکی با عدد فرود ورودی کم‌تر، به حضور مانع عکس‌العمل سریع‌تری نسبت به جریان غلیظ نمکی با عدد فرود ورودی بالاتر نشان می‌دهد. عبور از روی مانع برای جریان با عدد فرود

ورودی کم‌تر سبب می‌شود جریان بیش‌تر تحت تأثیر مانع قرار گیرد و جریان‌های برگشتی قوی‌تر ایجاد کند (اوشافی و همکاران، ۲۰۱۳).

ایجاد تنگ‌شدگی و بازشدگی کوچک با مانع بر کنترل مسیر جریان تنها زمانی بر الگوی رسوب‌گذاری جریان مؤثر است که مانع باعث توقف نسبی جریان شود (برسیک و وودز، ۲۰۰۰). بررسی عددی ایجاد گودال‌های کنترلی به شکل‌های مستطیل، نیم‌دایره و مثلثی در بستر مخزن برای کنترل جریان گل‌آلود در ورودی مخزن سد نشان می‌دهد که گودال‌های کنترلی تا حد زیادی توانایی کنترل جریان گل‌آلود هم در حالت زیربحرانی و فوق‌بحرانی را دارند (اصغری‌پری و محققیان، ۱۳۹۳). برای توقف جریان گل‌آلود با مانع با شرایط مختلف ورودی جریان که عدد فرود دنسیومتریک در محدوده ۰/۷ تا ۱/۳۷ را شامل گردد، با افزایش عدد فرود دنسیومتریک، ارتفاع مانع مورد نیاز جهت توقف جریان نیز بیش‌تر می‌شود. به‌طوری که برای توقف جریان گل‌آلود با مانع در جریان زیربحرانی ارتفاع مانع باید ۲ تا ۲/۷۵ برابر ارتفاع بدنه جریان باشد و در جریان فوق‌بحرانی این مقدار باید ۳/۲ تا ۵ برابر ارتفاع بدنه جریان باشد (اصغری‌پری و همکاران، ۲۰۱۰-۲۰۱۶). شکل مانع مثلثی و نیم‌دایره در موقعیت شیب افقی و در محدوده عدد فرود چگال ۰/۷ تا ۰/۸ تأثیری در بلوکه کردن جریان ندارد (پرینز و همکاران، ۱۹۹۹). اطراف موانع استوانه‌ای که در مسیر جریان گل‌آلود قرار می‌گیرند، جریان متلاطم و گردابه تولید می‌شود که این امر سبب برهم زنی جریان در مقیاس کوچک می‌گردد. قرار گرفتن مانع استوانه‌ای بعدی در انتهای ناحیه گردابه مانع اول سبب تشدید خطوط برخورد جریان با مانع می‌شود و تلاطم و برهم‌زنی جریان حداکثر می‌گردد. قرار گرفتن مانع استوانه‌ای دوم در ناحیه گردابه مانع اول سبب می‌شود که راندمان در کنترل سرعت در حضور مانع به حداقل برسد (قربان‌مقدم و قمشی، ۱۳۹۴). وودز و همکاران (۱۹۹۸) به بررسی برخورد جریان گل‌آلود ناشی از خاکسترهای آتشفشانی با مانع به‌صورت آزمایشگاهی و با استفاده از مدل تئوری پرداختند. آن‌ها در مدل آزمایشگاهی اثر یک مانع و دومانع را بر روی جریان بررسی نمودند. نتایج آن‌ها از آزمایشات بیش‌تر به توصیف جریان در برخورد با مانع معطوف شده و تنها نتیجه کمی آن‌ها از آزمایشات روند نمایی رسوب‌گذاری در طول فلوم بوده است. آن‌ها عنوان

جریان گل آلود صورت نگرفته است. لذا در مقاله حاضر با الگوگیری از مکعب مستطیل‌های پلاستیکی توخالی (به شکل چینه) پیش‌ساخته، پرداخته شده است و مقایسه‌ی نتایج برای به‌دست آوردن الگوی ارتفاع بهینه برای کنترل جریان گل آلود در غلظت و دبی ثابت صورت گرفته است. هدف تحقیق حاضر بررسی اثر مانع بر روی دبی جریان رسوبی حاصل از پیشانی جریان گل آلود در چند آرایش مختلف چینه می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر بر روی فلوم با محدوده شیب‌پذیری  $\pm 2/5$  درصد و طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ و ارتفاع ۴۵ سانتی-متر انجام شد و از جریان گل آلود رسوبی با اندازه متوسط رسوبات ( $D_{50}$ ) ۸۶ میکرومتر استفاده گردید. آزمایشات در سه شیب ۰، ۱/۵ و ۲/۵ درصد انجام گردید. ابعاد چینه‌های مکعبی موجود ۲/۱ سانتی‌متر و قطر دایره درون ۱۱ میلی-متر بوده است. کروی بودن شکل تخلخل چینه و ورود جریان در دو راستا، شرایط بهتری را برای تشکیل گردابه فراهم می‌کند. با در کنار هم قرار دادن چینه‌ها موانع به ارتفاع‌های مورد نظر ساخته می‌شدند. میزان تخلخل سطحی در مانع متخلخل ۲۵ درصد و تخلخل حجمی حدود ۴۵ درصد بوده است. زاویه نصب مانع متخلخل در داخل فلوم ۹۰ درجه بوده است. شکل ۱ موقعیت قرارگیری مانع متخلخل در داخل فلوم را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت قرارگیری مانع متخلخل و مانع متخلخل با فاصله و ۳ ردیف مانع متخلخل در فلوم

نمودند که تنها مانعی می‌تواند بر الگوی رسوب‌گذاری تأثیر بگذارد که باعث انسداد نسبی جریان شود. هم‌چنین آن‌ها با استفاده از مدل تئوری حداقل ارتفاع مورد نیاز برای توقف کامل جریان را، که برای جریان بحرانی به‌دست می‌آید  $2/1$  برابر عمق بحرانی محاسبه نمودند. تأثیر ایجاد مانع نفوذناپذیر در جریان زیربحرانی بسیار بیش‌تر از جریان فوق‌بحرانی می‌باشد. برای عملکرد بهتر صفحات مشبک باید ارتفاع مانع حداقل ۳ برابر ارتفاع بدنه جریان باشد. جریان گل آلود پس از برخورد به مانع نفوذپذیر به سمت سطح آب حرکت می‌کند در نتیجه باید ارتفاع صفحه به-گونه‌ای انتخاب شود تا جریان گل آلود از روی آن عبور نکند. لذا ارتفاع صفحه حداقل ۳ برابر ارتفاع بدنه جریان گل آلود باشد تا این شرایط مهیا شود و نتیجه مطلوب حاصل شود (اوهی و اشلاپدز، ۲۰۰۷). بررسی آزمایشگاهی اثر دو مانع متوالی مثلثی شکل در رفتار جریان غلیظ نمکی با شیب مختلف فلوم و ارتفاع‌های مختلف نشان داد که متوسط غلظت در بالادست مانع به‌طور محسوس بیش‌تر از پایین دست مانع می‌باشد. هم‌چنین برای اعداد فرود در محدوده‌ی زیربحرانی، متوسط غلظت پایین‌دست با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد و برای اعداد فرود در محدوده‌ی فوق-بحرانی، متوسط سرعت و متوسط غلظت با وجود افزایش ارتفاع مانع تقریباً ثابت باقی می‌ماند و ارتفاع موانع در این شرایط چندان مؤثر نیستند (یعقوبی و همکاران، ۲۰۱۳). با قرار دادن صفحات نفوذناپذیر در مسیر جریان غلیظ نمکی به‌دلیل برخورد جریان با صفحه و ایجاد اصطکاک و کمک به افزایش تنش در فصل مشترک دو سیال، سرعت پیش‌روی جریان به‌میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. در ابتدای مسیر، صفحه‌ها باعث کاهش ارتفاع پیشانی جریان می‌شوند اما در ادامه و به تدریج در انتهای مسیر باعث افزایش پیشانی جریان می‌شوند و بنابراین عدد فرود در طول مسیر جریان روند کاهشی خواهد داشت (قربانی و همکاران، ۱۳۹۵). با افزایش غلظت، صفحات مشبک کارایی بیش‌تری در کنترل جریان غلیظ نمکی از خود نشان می‌دهند. با افزایش تخلخل، حجم سیال ورودی به جریان غلیظ نمکی کاهش می‌یابد و باعث می‌شود تا راندمان کارایی صفحات در کنترل جریان غلیظ نمکی کاهش یابد (زینی‌وند و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به مطالعات پیشین تاکنون تحقیقی مبنی بر اثر موانع متخلخل با فاصله و اثر ضخامت موانع متخلخل در کنترل

داشته و لوله‌های دیگر به فاصله مرکز به مرکز ۲ سانتی‌متر از یکدیگر قرار داشتند. ۱۰ نقطه جهت برداشت غلظت در هر نمونه‌گیر قرار داشتند. میزان غلظت نمونه‌ها پس از آزمایش با استفاده از دستگاه کدورت‌سنج قرائت می‌شدند و با توجه به نمودار تبدیل کدورت به غلظت که از قبل تهیه شده بود، نتایج غلظت بر حسب گرم بر لیتر ثبت گردید. دما در کلیه‌ی آزمایشات برای مخزن جریان غلیظ و هم‌چنین آب ساکن درون فلوم اندازه‌گیری شد. عدد فرود دنسیومتریک پیشانی جریان از رابطه ۲ محاسبه شده است.

$$Fr_{an} = \frac{U_f}{\sqrt{g'H_f \cos \theta}} \quad (2)$$

در این رابطه  $\theta$  شیب کف بستر،  $U_f$  سرعت پیشانی جریان و  $H_f$  ارتفاع پیشانی جریان می‌باشد. برای محاسبه عدد رینولدز نیز از رابطه ۳ استفاده شد.

$$Re = \frac{\rho_t U_f H_f}{\mu} \quad (3)$$

در این رابطه  $\rho_t$ : جرم واحد حجم در مقطع اندازه-گیری جریان گل‌آلود و  $\mu$ : لزوجت دینامیکی جریان گل‌آلود می‌باشد. به‌منظور کنترل میزان جریان گل‌آلود از دبی واحد عرض رسوبی پیشانی جریان گل‌آلود استفاده شد. دبی واحد عرض رسوبی پیشانی جریان گل‌آلود از رابطه ۴ تعیین گردید.

$$q_s = U_f \times H_f \times C \quad (4)$$

در این رابطه  $q_s$ : دبی پیشانی جریان گل‌آلود و  $C$ : متوسط غلظت حجمی پیشانی جریان گل‌آلود حاصل از پروفیل غلظت پیشانی جریان گرفته شده با استفاده از نمونه‌گیر سیفونی می‌باشد. در تحقیق حاضر ۳۶ آزمایش در غلظت ثابت ۲۰ گرم بر لیتر و دبی ثابت ۰/۷ لیتر بر ثانیه در سه شیب ۰، ۱/۵ و ۲/۵ درصد انجام شد.

### آنالیز ابعادی

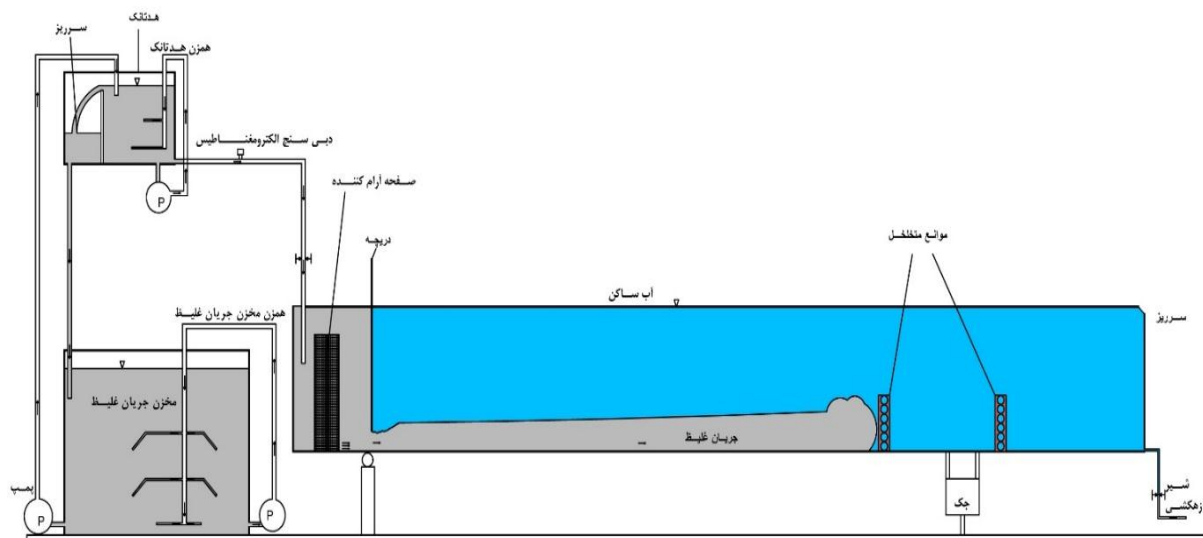
متغیرهای حاکم برای انجام آنالیز ابعادی با استفاده از روش باکینگهام شامل ارتفاع پیشانی، ارتفاع مانع، سرعت پیشانی، شیب، آرایش، تعداد ردیف، ثقل کاهش یافته، چگالی و لزجت دینامیکی بوده‌اند. متغیرها دارای سه بعد اصلی  $L$ ،  $M$ ، و  $T$  هستند،  $\rho$  (چگالی)،  $h$  (ارتفاع پیشانی) و  $V$  (سرعت پیشانی جریان) به‌عنوان متغیرهای تکراری انتخاب و پارامترهای بدون بعد به‌دست آمده در این آزمایش شامل شیب، عدد رینولدز، آرایش، عدد فرود

ارتفاع‌های ۱۵، ۲۴ و ۳۰ سانتی‌متر برای یک ردیف مانع متخلخل، ۱۵ و ۲۴ سانتی‌متر برای اثر ضخامت ۲ و ۳ ردیف و برای دو ردیف مانع متخلخل نیز آرایش‌های ۱۵-۱۵، ۱۵-۲۴، ۲۴-۱۵ و ۲۴-۲۴ سانتی‌متر با فاصله یک متر از یکدیگر انتخاب شدند. اولین مانع به‌منظور رعایت فاصله مورد نظر برای تشکیل پیشانی جریان و توسعه-یافتگی جریان، در فاصله ۴/۵ متری از ورودی فلوم قرار گرفت. جهت ثبت و اندازه‌گیری سرعت و ارتفاع پیشانی جریان گل‌آلود، فیلم‌برداری از لحظه بالا کشیدن دریچه تا انتهای فلوم انجام شده است. هم‌زمان میزان ارتفاع (با اشل) و زمان رسیدن پیشانی جریان (با کرنومتر) به محل‌های مشخص، که به فاصله ۰/۵ متر از یکدیگر و از ورودی فلوم تا انتهای آن قرار داشتند ثبت شده و سپس با تصاویر فیلم-برداری، محاسبات کنترل شدند. پودرسنگ به‌عنوان رسوبات به‌میزان محاسبه شده در مخزن آب شفاف که با پمپ اختلاط در حال گردش بود، اضافه شده و سپس با یک پمپ انتقال به مخزن هد ثابت منتقل گشت. در مخزن هد ثابت نیز جهت جلوگیری از ته‌نشین شدن رسوبات از پمپ اختلاط استفاده شد. جریان رسوبی از مخزن هد ثابت با استفاده از یک شیر و دبی‌سنج الکترومغناطیسی، دبی ثابت ۰/۷ لیتر در ثانیه را به فلوم منتقل می‌کرد. در قسمت ورودی فلوم نیز از یک دریچه برای جداسازی آب شفاف و جریان رسوبی استفاده شد که به‌صورت ناگهانی باز می‌شد. در غلظت ثابت جریان گل‌آلود، ارتفاع بازشدگی دریچه ورودی جریان گل‌آلود با عدد فرود ورودی رابطه معکوس دارد (کشتکار و همکاران، ۱۳۸۹) که تغییرات عدد فرود ورودی بر طول توسعه یافتگی جریان تأثیر گذار می‌باشد. در تحقیق حاضر ارتفاع بازشدگی به‌میزان ثابت ۴/۵ سانتی‌متر با توجه به ارتفاع آب ساکن درون فلوم و مطالعات (اوهی، ۲۰۰۲، اصغری پری ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ و کشتکار و همکاران، ۱۳۸۹) در نظر گرفته شده است. همچنین اولین مقطع اندازه‌گیری در فاصله ۴ متری از ورودی که جریان کاملاً توسعه یافته، اندازه‌گیری شده است. غلظت جریان در مخزن جریان گل‌آلود، ۲۰ گرم بر لیتر بود.

برای اندازه‌گیری غلظت، از سیفون‌هایی که شامل سرنگ با حجم مشخص ۵۰ سی سی بودند استفاده گردید. قطر داخلی لوله و شیلنگ متصل به آن ۶ میلی‌متر بوده است. نمونه‌گیرهای سیفونی در فاصله ۰/۵ متر قبل از مانع و ۱ متر بعد از مانع قرار گرفتند. اولین لوله در کف قرار

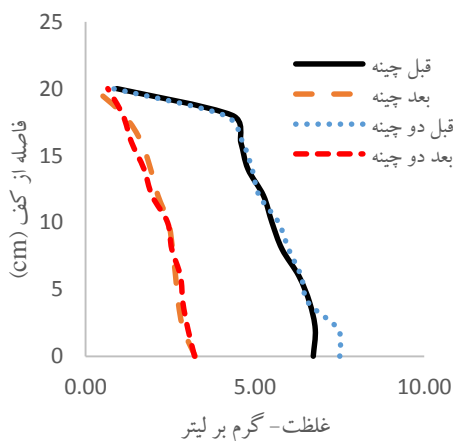
مانع است، در آزمایشات به عنوان پارامتر بی بعد مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۲ شماتیک فلوم را نشان می دهد.

دنسیومتریکی پیشانی جریان، ردیف و  $\frac{\text{ارتفاع مانع}}{\text{ارتفاع هد}}$  می باشند. در ادامه عدد فرود دنسیومتریکی پیشانی جریان به عنوان مهم ترین پارامتر که نشان دهنده وضعیت جریان قبل از



شکل ۲- شماتیک فلوم و تجهیزات وابسته

پروفیل غلظت چینه با ارتفاع ۱۵ سانتی متر و چینه ۱۵- در شیب صفر نشان داده شده است.



شکل ۳- پروفیل غلظت قبل و بعد مانع متخلخل برای ارتفاع ۱۵ سانتی متر در آرایش ۱۵-۱۵ شیب صفر

با توجه به شکل ۳ مشاهده می شود که پروفیل های غلظت قبل از چینه، دارای اندکی اختلاف هستند که با توجه به ماهیت ذرات مورد آزمایش که رسوبی بوده اند، این اختلاف ناچیز طبیعی می باشد. در مورد پروفیل های غلظت بعد از چینه تک ردیف و دو ردیف چینه با فاصله، میزان عملکرد دو ردیف چینه با فاصله و چینه تک ردیفه در کاهش غلظت تقریباً برابر بوده است ولی ارتفاع جریان

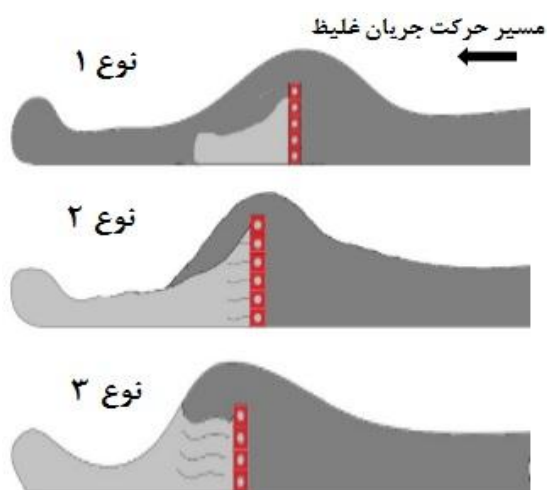
در جریان گل آلود، ارتفاع پیشانی جریان گل آلود نسبت به بدنه بیش تر بوده، از طرفی سرعت بدنه جریان از پیشانی بیش تر است و این شرایط باعث یکپارچگی و اتصال بدنه به پیشانی می شود و همچنین پیشانی از بدنه جریان غلیظ تغذیه می شود. بنا به دو دلیل ذکر شده همواره مقدار عدد فرود دنسیومتریکی پیشانی جریان گل آلود، از بدنه کم تر می باشد. محدوده ی عدد فرود دنسیومتریکی پیشانی جریان گل آلود در تحقیق حاضر در محدوده ی ۰/۲۱۹ تا ۰/۳۳۲ بوده است.

## نتایج و بحث

وجود تخلخل در چینه سبب می شود که جریان گل آلود عبوری علاوه بر عبور از روی مانع، از داخل تخلخل های چینه نیز عبور کند. غلظت جریان عبوری از روی مانع به دلیل تداخل با آب ساکن پیرامون چه در زمان بالا رفتن از مانع و چه در زمان عبور از روی مانع، کاهش می یابد، لذا با توجه به این شرایط، مقادیر غلظت اندازه گیری شده برای پیشانی جریان در این حالت نسبت به حالت های دیگر کم تر بوده و از این رو میزان اختلاف کاهش دبی رسوبی می تواند برای این حالت افزایش یابد. برای محاسبه میزان دبی رسوبی پیشانی جریان گل آلود با توجه به رابطه ۴، از متوسط غلظت استفاده شده است. در شکل ۳ نمونه ای از

گل‌آلود عبوری نیازمند مانعی با ارتفاع ۲ الی ۲/۷۵ برابر ارتفاع بدنه جریان در حالت جریان زیربحرانی می‌باشد (اصغری پری و همکاران، ۲۰۱۰-۲۰۱۶). ایجاد مانع با ارتفاع زیاد در عمل در بسیاری از موارد اجرایی و یا به لحاظ اقتصادی به صرفه نمی‌باشد، لذا لازم است اثر استفاده از چند مانع برای کنترل جریان گل‌آلود بررسی گردد.

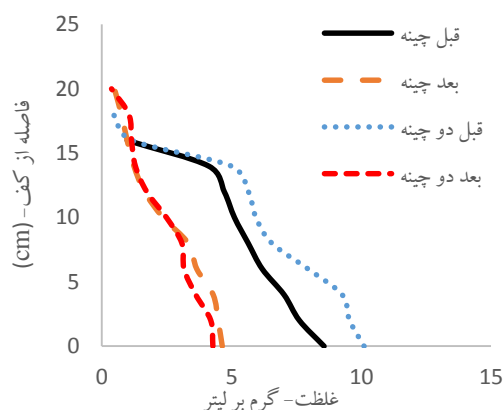
در برخورد جریان گل‌آلود با مانع متخلخل (چینه)، بخشی از جریان گل‌آلود در برخورد با مانع متخلخل از درون تخلخل‌ها عبور می‌کند و بخشی از جریان از روی مانع عبور می‌کند. در مانع غیرمتخلخل که جریان گل‌آلود با آن برخورد می‌کند، در صورتی که جریان شرایط عبور از مانع را داشته باشد، فقط از روی مانع عبور خواهد کرد. این تفاوت عملکرد متفاوت مانع متخلخل نسبت به مانع کامل، سبب ایجاد حالت‌های مختلف جریان پس از برخورد می‌گردد. جریان گل‌آلود پس از برخورد با مانع متخلخل از داخل تخلخل‌ها عبور می‌کند. بخشی نیز پس از برخورد افزایش عمق می‌دهد تا از روی آن عبور کند. عبور جریان از روی مانع متخلخل بستگی به ارتفاع آن دارد به طوری که با افزایش ارتفاع نسبی، این مقدار کاهش می‌یابد. جریان پس از برخورد با چینه شرایط متفاوت دارد و بسته به ارتفاع چینه و شیب بستر نوع جریان پس از مانع به ۳ نوع تبدیل می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵- حالت‌های مختلف تشکیل پیشانی پس از برخورد با مانع متخلخل (چینه).

**نوع اول:** در این حالت پیشانی جریان گل‌آلود عبوری از روی مانع متخلخل جلوتر از جریان گل‌آلود عبوری از داخل مانع متخلخل می‌باشد. با پیش‌روی جریان

عبوری متفاوت می‌باشد. در حالت شیب‌دار به دلیل این که رسوبات حمل شده تا مانع دوم پیش‌تر بوده، عملکرد دو مانع در حالت شیب‌دار (شکل ۴) محسوس‌تر می‌باشد.



شکل ۴- پروفیل غلظت قبل و بعد مانع برای مانع متخلخل با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و آرایش ۱۵-۱۵ در شیب ۲/۵.

با توجه به شکل ۴ ملاحظه می‌گردد که بیش‌ترین مقدار غلظت اندازه‌گیری شده مربوط به بستر با شیب ۲/۵ درصد بوده و این مقدار برابر با ۱۰/۱ گرم بر لیتر است و متوسطی از غلظت برای سایر آزمایشات در این شیب نیز می‌باشد. مقدار ورودی به درون مخزن ۲۰ گرم بر لیتر بوده است که حتی با وجود سیستم‌های سیرکولاسیون تعبیه شده در مخزن جریان گل‌آلود و مخزن ارتفاع ثابت، فقط ۵۰ درصد از ذرات توانستند تا محل اندازه‌گیری غلظت قبل از مانع در فاصله ۴ متری از ورودی فلوم برسند.

بخشی از ذرات رسوب در مخازن جریان گل‌آلود و هدتانک و بخشی در فاصله ورودی فلوم تا قبل از مانع ته‌نشین شده‌اند. بخشی دیگر نیز توسط مانع متخلخل ته‌نشین شده است. باقیمانده رسوبات در واقع ذرات ریزی هستند که در محدوده‌ی لای قرار می‌گیرند و پروفیل‌های غلظت بعد از مانع در هر دو حالت بدون شیب و شیب‌دار نشان می‌دهند که به حالت قائم نزدیک شده‌اند. در این خصوص توربولانس ایجاد شده بعد از عبور جریان از روی مانع می‌تواند باعث تعلیق بیش‌تر ذرات گردد اما با توجه به رسوبات درشت‌تر ته‌نشین شده در اطراف مانع و خصوصاً قبل از مانع، به نظر می‌رسد این یکنواختی در پروفیل غلظت نشان از برابر بودن قطر ذرات عبوری در این مقطع باشد. برای به‌دام انداختن کامل رسوبات و توقف جریان

## جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری غلظت قبل و بعد از مانع.

شماره آزمایش	نوع مانع متخلخل	ارتفاع مانع (cm)	شیب (%)	متوسط غلظت قبل	متوسط غلظت بعد
۱	بدون مانع	۰	۰	۵/۴۲	۳/۶۰
۲	بدون مانع	۰	۱/۵	۵/۵۹	۳/۸۸
۳	بدون مانع	۰	۲/۵	۵/۴۶	۳/۶۷
۴	یک ردیف چینه	۱۵	۰	۵/۲۳	۲/۱۵
۵	یک ردیف چینه	۱۵	۱/۵	۵/۷۶	۲/۰۶
۶	یک ردیف چینه	۱۵	۲/۵	۵/۵۵	۲/۵۵
۷	یک ردیف چینه	۲۴	۰	۵/۷۸	۱/۹۱
۸	یک ردیف چینه	۲۴	۱/۵	۵/۸۵	۲/۰۷
۹	یک ردیف چینه	۲۴	۲/۵	۵/۵۵	۱/۹۶
۱۰	یک ردیف چینه	۳۰	۰	۵/۷۳	۱/۲۹
۱۱	یک ردیف چینه	۳۰	۱/۵	۵/۵۰	۱/۸۸
۱۲	یک ردیف چینه	۳۰	۲/۵	۵/۹۲	۱/۸۹
۱۳	دو ردیف چینه	۱۵	۰	۴/۴۱	۱/۱۴
۱۴	دو ردیف چینه	۱۵	۱/۵	۵/۰۶	۰/۷۵
۱۵	دو ردیف چینه	۱۵	۲/۵	۶/۲۳	۱/۸۶
۱۶	دو ردیف چینه	۲۴	۰	۴/۷۴	۱/۶۸
۱۷	دو ردیف چینه	۲۴	۱/۵	۵/۶۵	۲/۷۵
۱۸	دو ردیف چینه	۲۴	۲/۵	۵/۹۶	۱/۹۵
۱۹	سه ردیف چینه	۱۵	۰	۵/۲۷	۲/۶۰
۲۰	سه ردیف چینه	۱۵	۱/۵	۶/۲۵	۲/۸۹
۲۱	سه ردیف چینه	۱۵	۲/۵	۶/۱۷	۲/۶۰
۲۲	سه ردیف چینه	۲۴	۰	۴/۹۷	۱/۷۷
۲۳	سه ردیف چینه	۲۴	۱/۵	۶/۳۷	۲/۶۸
۲۴	سه ردیف چینه	۲۴	۲/۵	۵/۹۸	۲/۵۴
۲۵	چینه اول ۱۵-۱۵	۱۵-۱۵	۰	۵/۳۵	۲/۱۵
۲۶	چینه اول ۱۵-۱۵	۱۵-۱۵	۱/۵	۷/۵۱	۳/۳۱
۲۷	چینه اول ۱۵-۱۵	۱۵-۱۵	۲/۵	۶/۱۹	۲/۴۰
۲۸	چینه اول ۱۵-۲۴	۱۵-۲۴	۰	۵/۴۲	۲/۱۸
۲۹	چینه اول ۱۵-۲۴	۱۵-۲۴	۱/۵	۵/۹۶	۲/۵۱
۳۰	چینه اول ۱۵-۲۴	۱۵-۲۴	۲/۵	۶/۲۹	۲/۱۲
۳۱	چینه اول ۱۵-۲۴	۱۵-۲۴	۰	۵/۹۹	۱/۶۵
۳۲	چینه اول ۱۵-۲۴	۱۵-۲۴	۱/۵	۷/۰۷	۲/۹۷
۳۳	چینه اول ۱۵-۲۴	۱۵-۲۴	۲/۵	۶/۴۴	۱/۰۳
۳۴	چینه اول ۲۴-۲۴	۲۴-۲۴	۰	۵/۹۹	۱/۸۳
۳۵	چینه اول ۲۴-۲۴	۲۴-۲۴	۱/۵	۶/۹۸	۱/۷۵
۳۶	چینه اول ۲۴-۲۴	۲۴-۲۴	۲/۵	۶/۷۸	۲/۲۰

بعد از مانع متخلخل تشخیص پیشانی جریان عبوری از درون مانع که کمی عقب‌تر قرار دارد سخت می‌باشد. نوع

دوم: پیشانی جریان عبوری از داخل چینه از پیشانی جریان عبوری از روی چینه جلوتر می‌باشد.

**نوع سوم:** در این حالت جریان عبوری از روی چینه و داخل آن پس از عبور از چینه با فاصله کم به یکدیگر می‌پیوندند و با تشکیل یک پیشانی واحد به مسیر ادامه می‌دهند.

با توجه به سه حالت بیان شده، مقادیر غلظت پیشانی جریان از دو پیشانی که در حالت اول و دوم جلوتر در حرکت بوده‌اند، اندازه‌گیری شدند. از این رو نتایج به‌دست آمده در دو حالت اول و دوم قابل مقایسه با حالت سوم که با پیشانی واحد پس از مانع متخلخل در حرکت بود، نمی‌باشند. لذا جهت همسانی و امکان مقایسه بین نتایج حاصل، فقط جریان‌های عبوری پس از مانع که از نوع سوم می‌باشند با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

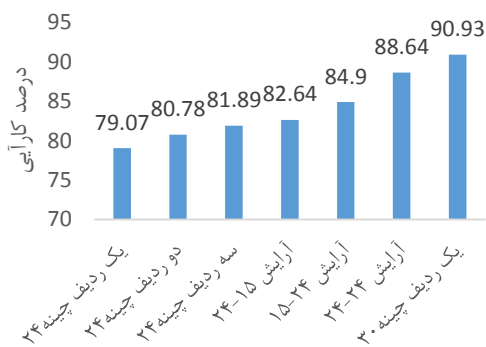
## جدول ۱- مقایسه کاهش غلظت بعد از مانع.

آرایش مانع ۲۴ cm	شیب %	ارتفاع نسبی ارتفاع مانع (ارتفاع هد)	کاهش غلظت %
یک ردیف	۰	۱/۱۴	۶۶/۹۶
دو ردیف	۰	۱/۰۹	۶۴/۵۶
سه ردیف	۰	۱/۱۴	۶۴/۳۹
چینه ۲۴-۲۴	۰	۱/۱۴	۶۹/۴۵
یک ردیف	۲/۵	۱/۵۰	۶۴/۶۸
دو ردیف	۲/۵	۱/۴۱	۶۷/۲۸
سه ردیف	۲/۵	۱/۴۱	۵۷/۵۳
چینه ۲۴-۲۴	۲/۵	۱/۴۵	۶۷/۵۵

متوسط غلظت اندازه‌گیری شده بعد از مانع متخلخل برای مانع به ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر (جدول ۱) نشان می‌دهد که در شیب ثابت با افزایش ارتفاع نسبی، درصد کاهش غلظت افزایش می‌یابد. در حالت بدون شیب با افزایش تعداد ردیف مانع متخلخل میزان کاهش غلظت تقریباً برابر بوده و این مقدار در مقایسه با دو مانع با فاصله به‌میزان ۵٪ اختلاف عملکرد دارد. در شیب ۲/۵٪ نیز بررسی غلظت نشان می‌دهد که عملکرد دو چینه با فاصله در کاهش غلظت از سایر حالت‌ها بهتر بوده است. با افزایش شیب به‌طور کلی عملکرد مانع در کاهش غلظت، کاهش می‌یابد. در جدول شماره ۲ نتایج کلی مربوط به میزان کاهش غلظت آورده شده است.

ردیف با همان ارتفاع عملکرد بهتری داشته است. مقایسه نتایج بین حالت تک، دو و سه ردیف چینه متخلخل به ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر نشان می‌دهد که در هر دو حالت شیب‌دار و بدون شیب، با افزایش تعداد ردیف چینه، عملکرد مانع افزایش می‌یابد. با افزایش ضخامت (تعداد ردیف)، جریان عبوری از داخل مانع باید از تخلخل‌های کروی بیشتری عبور کند و در نتیجه استهلاک انرژی بیشتر خواهد شد.

چینه با آرایش ۲۴-۲۴ سانتی‌متری در شیب صفر (آزمایش ۳۴) مقدار ۸۸/۵۹ درصد از جریان را متوقف کرده است که در مقایسه با چینه با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متری در این شیب (آزمایش ۷)، به میزان ۹/۷۱ درصد عملکرد بهتر داشته است. آرایش ۲۴-۲۴ سانتی‌متری در شیب صفر با چینه تک ردیف با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر (آزمایش ۹-۹۱/۹۱ درصد)، ۲/۳۲ درصد اختلاف دارد این اختلاف در شیب ۱/۵ درصد برای آرایش ۲۴-۲۴ سانتی‌متری (آزمایش ۳۵-۸۳/۹۳ درصد) با چینه ۳۰ سانتی‌متری (آزمایش ۱۱-۷۹/۷۰ درصد) برابر با ۴/۲۳ درصد می‌باشد. در شیب ۲/۵ درصد اختلاف به ۱۲/۰۱ درصد (آرایش ۲۴-۲۴ برابر ۸۲/۲ درصد و چینه ۳۰ برابر ۷۰/۱۹ درصد) می‌رسد.



شکل ۶- مقایسه اثر ضخامت (افزایش چینه در ردیف) و فاصله در شیب ۰٪

نتایج (جدول ۳) و شکل ۶، نشان می‌دهد که در حالت بدون شیب اثر دو مانع با فاصله با وضعیت مختلف قرارگیری دو مانع نسبت به یک مانع دارای یک، دو و سه ردیف چینه بهتر می‌باشد. در حالت شیب‌دار نیز دو مانع با فاصله عملکرد بهتری نسبت به حالت سه ردیف هم ارتفاع و یک ردیف با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر داشته است (شکل ۷). علت این برتری در حالت شیب‌دار عبور آن مقدار از جریان می‌باشد که مانع اول حتی با وجود دو و سه ردیف چینه

با توجه به جدول نتایج اندازه‌گیری غلظت (جدول ۲) می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد دو مانع متخلخل با فاصله نسبت به مانع متخلخل تک ردیف، دو ردیف و سه ردیف با شرایط یکسان ارتفاع در کاهش غلظت برای هر دو حالت بدون شیب و شیب‌دار بهتر بوده است. جهت محاسبه دبی رسوبی جریان گل‌آلود قبل و بعد از مانع از رابطه ۴ استفاده شده است و با مقایسه آن‌ها و استفاده از رابطه ۵ می‌توان کارایی موانع متخلخل در هر آزمایش را به صورت زیر محاسبه نمود که در آن R درصد کارایی می‌باشد.

$$R\% = \frac{\text{دبی بعد از مانع} - \text{دبی قبل از مانع}}{\text{دبی قبل از مانع}} \times 100 \quad (5)$$

نتایج آزمایش‌های بدون مانع در شیب‌های مختلف نشان داد که با افزایش عدد فرود چگال ورودی بعد از دریچه، مقادیر ضخامت جریان در طول کانال افزایش می‌یابد (جدول ۳) که با نتایج (کشتکار و همکاران، ۱۳۸۹) مطابقت دارد.

با توجه به نتایج (جدول ۳) مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع مانع متخلخل تک ردیف، درصد کارایی افزایش می‌یابد و این حالت برای حالت بدون شیب و شیب‌دار حاکم می‌باشد. این اثر با افزایش شیب، کاهش می‌یابد.

جریان به صورت همزمان در دو جهت، یکی در راستای مسیر حرکت جریان غلیظ و دیگری عمودی بر آن وارد تخلخل‌های چینه که از لحاظ حجمی به شکل کره است، می‌شود. ورود همزمان جریان در دو جهت به داخل کره باعث ایجاد حرکت چرخشی جریان در درون تخلخل و برخورد خطوط جریان با یکدیگر شده که این عمل باعث مستهلک شدن بخشی از انرژی جریان می‌شود.

با توجه به نتایج (جدول ۳) در شیب صفر میزان کارایی چینه با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۰/۷۵) برابر با ۷۲/۵۶ درصد می‌باشد و این مقدار برای آرایش ۱۵-۲۴ (ارتفاع نسبی ۰/۷۵) برابر با ۸۰/۰۸ درصد و برای چینه با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر (ارتفاع نسبی ۱/۲) برابر با ۷۸/۸۸ درصد می‌باشد. میزان اختلاف کارایی چینه تک ردیف با چینه آرایش ۱۵-۱۵ سانتی‌متری در این شرایط برابر با ۷/۵۲ درصد و با چینه به ارتفاع ۲۴ سانتی‌متری برابر با ۱/۲ درصد می‌باشد. با توجه به این نتایج دو ردیف چینه با فاصله با ارتفاع موانع ۱۵ سانتی‌متری نسبت به چینه تک



جدول ۳- نتایج حاصل از بررسی دبی رسوبی جریان گل آلود

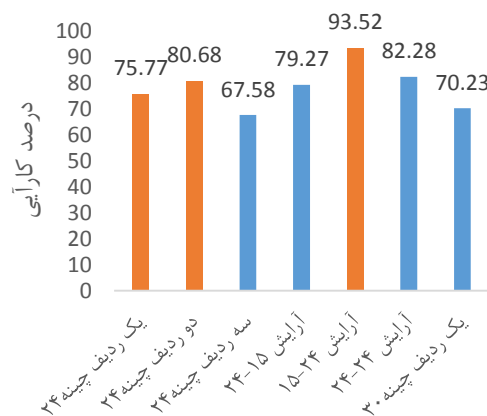
شماره آزمایش	نوع مانع متخلخل	ارتفاع مانع (cm)	شیب (%)	تعداد جریان	ارتفاع نسبی ( $\frac{\text{ارتفاع مانع}}{\text{ارتفاع هد}}$ )	عدد فرود دنسیومتریک پیشانی	سرعت ۴ متری ( $m^2/s$ )	سرعت ۱۵ متری	R (کرایبی)
۱	بدون مانع	۰	۰	--	----	۰/۲۱۹	۰/۰۶۶۰	۰/۰۳۶۳	۴۳/۵۲
۲	بدون مانع	۰	۱/۵	--	----	۰/۳۲۳	۰/۰۸۱۷	۰/۰۵۰۰	۳۸/۷۸
۳	بدون مانع	۰	۲/۵	--	----	۰/۳۳۲	۰/۰۷۴۰	۰/۰۴۸۳	۳۴/۶۸
۴	یک ردیف چینه	۱۵	۰	۳	۰/۷۵	۰/۲۵۸	۰/۰۷۱۷	۰/۰۱۹۷	۷۲/۵۶
۵	یک ردیف چینه	۱۵	۱/۵	۱	۰/۸۸	۰/۲۷۸	۰/۰۷۰۳	۰/۰۱۵۳	۸۱/۵۲
۶	یک ردیف چینه	۱۵	۲/۵	۳	۰/۹۴	۰/۲۹۶	۰/۰۶۴۷	۰/۰۲۲۰	۶۵/۹۸
۷	یک ردیف چینه	۲۴	۰	۳	۱/۱۴	۰/۲۲۲	۰/۰۷۷۳	۰/۰۱۶۳	۷۸/۸۸
۸	یک ردیف چینه	۲۴	۱/۵	۲	۱/۳۳	۰/۲۸۶	۰/۰۸۰۳	۰/۰۱۵۷	۸۰/۵۰
۹	یک ردیف چینه	۲۴	۲/۵	۲	۱/۵	۰/۲۹۶	۰/۰۶۴۷	۰/۰۱۵۷	۷۵/۷۷
۱۰	یک ردیف چینه	۳۰	۰	۳	۱/۴۳	۰/۲۳۴	۰/۰۸۰۷	۰/۰۰۷۳	۹۰/۹۱
۱۱	یک ردیف چینه	۳۰	۱/۵	۳	۱/۶۷	۰/۲۵۶	۰/۰۶۵۷	۰/۰۱۳۳	۷۹/۷۰
۱۲	یک ردیف چینه	۳۰	۲/۵	۳	۱/۸۷	۰/۲۹۲	۰/۰۷۰۰	۰/۰۲۱۰	۷۰/۱۹
۱۳	دو ردیف چینه	۱۵	۰	۱	۰/۷۱	۰/۲۳۸	۰/۰۵۵۳	۰/۰۰۶۰	۸۹/۱۱
۱۴	دو ردیف چینه	۱۵	۱/۵	۱	۰/۸۳	۰/۲۵۶	۰/۰۵۸۰	۰/۰۰۴۷	۹۱/۸۵
۱۵	دو ردیف چینه	۱۵	۲/۵	۱	۰/۹۱	۰/۲۵۵	۰/۰۶۹۳	۰/۰۱۰۰	۸۵/۶۱
۱۶	دو ردیف چینه	۲۴	۰	۳	۱/۰۹	۰/۲۲۱	۰/۰۶۱۳	۰/۰۱۱۷	۸۰/۷۸
۱۷	دو ردیف چینه	۲۴	۱/۵	۳	۱/۳۳	۰/۲۵۰	۰/۰۶۶۷	۰/۰۲۲۰	۶۷/۱۰
۱۸	دو ردیف چینه	۲۴	۲/۵	۱	۱/۴۱	۰/۲۷۶	۰/۰۷۳۳	۰/۰۱۴۰	۸۰/۶۸
۱۹	سه ردیف چینه	۱۵	۰	۱	۰/۷۱	۰/۲۴۳	۰/۰۷۳۷	۰/۰۱۶۷	۷۷/۴۱
۲۰	سه ردیف چینه	۱۵	۱/۵	۳	۰/۸۳	۰/۲۷۰	۰/۰۸۴۰	۰/۰۲۵۲	۶۲/۹۶
۲۱	سه ردیف چینه	۱۵	۲/۵	۱	۰/۹۱	۰/۲۸۵	۰/۰۷۶۳	۰/۰۲۷۳	۶۴/۰۴
۲۲	سه ردیف چینه	۲۴	۰	۳	۱/۱۴	۰/۲۵۹	۰/۰۷۲۰	۰/۰۱۳۰	۸۱/۸۹
۲۳	سه ردیف چینه	۲۴	۱/۵	۳	۱/۳۳	۰/۲۹۶	۰/۰۹۴۷	۰/۰۲۸۰	۷۰/۵۹
۲۴	سه ردیف چینه	۲۴	۲/۵	۳	۱/۴۱	۰/۳۰۱	۰/۰۸۰۳	۰/۰۲۶۰	۶۷/۵۸
۲۵	چینه اول ۱۵- دوم ۱۵	۱۵-۱۵	۰	۳	۰/۷	۰/۲۴۵	۰/۰۷۸۷	۰/۰۱۵۷	۸۰/۰۸
۲۶	چینه اول ۱۵- دوم ۱۵	۱۵-۱۵	۱/۵	۳	۰/۸۳	۰/۳۰۲	۰/۱۲۳۳	۰/۰۳۴۳	۷۲/۱۶
۲۷	چینه اول ۱۵- دوم ۱۵	۱۵-۱۵	۲/۵	۱	۰/۸۸	۰/۲۷۸	۰/۰۷۸۳	۰/۰۱۶۳	۷۹/۱۵
۲۸	چینه اول ۱۵- دوم ۲۴	۱۵-۲۴	۰	۳	۰/۷۵	۰/۲۶۹	۰/۰۷۹۰	۰/۰۱۳۷	۸۲/۷
۲۹	چینه اول ۱۵- دوم ۲۴	۱۵-۲۴	۱/۵	۳	۰/۸۵	۰/۲۸۸	۰/۰۸۰۰	۰/۰۲۲۰	۷۲/۵
۳۰	چینه اول ۱۵- دوم ۲۴	۱۵-۲۴	۲/۵	۳	۰/۸۸	۰/۲۹۸	۰/۰۸۶۰	۰/۰۱۷۷	۷۹/۴۶
۳۱	چینه اول ۲۴- دوم ۱۵	۲۴-۱۵	۰	۳	۱/۱	۰/۲۲۲	۰/۰۸۷۳	۰/۰۱۳۳	۸۴/۷۳
۳۲	چینه اول ۲۴- دوم ۱۵	۲۴-۱۵	۱/۵	۳	۱/۳۷	۰/۲۸۵	۰/۱۰۲۳	۰/۰۲۴۳	۷۶/۲۲
۳۳	چینه اول ۲۴- دوم ۱۵	۲۴-۱۵	۲/۵	۱	۱/۵	۰/۲۸۵	۰/۰۷۷۷	۰/۰۰۵۰	۹۳/۵۶
۳۴	چینه اول ۲۴- دوم ۲۴	۲۴-۲۴	۰	۳	۱/۱۴	۰/۲۳۸	۰/۰۸۷۷	۰/۰۱۰۰	۸۸/۵۹
۳۵	چینه اول ۲۴- دوم ۲۴	۲۴-۲۴	۱/۵	۳	۱/۳۷	۰/۲۸۹	۰/۱۰۱۷	۰/۰۱۶۳	۸۳/۹۳
۳۶	چینه اول ۲۴- دوم ۲۴	۲۴-۲۴	۲/۵	۳	۱/۴۶	۰/۲۸۷	۰/۰۸۸۳	۰/۰۱۵۷	۸۲/۲

این اختلاف در مقایسه بین سه ردیف چینه نیز (آزمایش-های ۲۲ و ۲۴) برقرار می‌باشد. در نتیجه دو مانع با فاصله برای مخازن با بستر شیب‌دار عملکرد بسیار بهتری خواهد داشت.

با توجه به نتایج عملکرد دو مانع هم ارتفاع با فاصله از اثر ضخامت بیش‌تر می‌باشد. این برتری در حالت بدون شیب نسبت به حالت شیب‌دار بیش‌تر می‌باشد.

در شیب صفر آرایش ۱۵-۲۴ (آزمایش ۳۱- مانع اول ۲۴ و مانع دوم ۱۵ سانتی‌متر) مقدار ۸۴/۷۳ درصد و آرایش ۱۵-۲۴ (آزمایش ۲۸)، مقدار ۸۲/۷ درصد از جریان را متوقف کرده‌اند. اختلاف در دو حالت برابر با ۲/۰۳ درصد می‌باشد که آرایش ۱۵-۲۴ بهتر بوده است و میزان اختلاف با افزایش شیب، افزایش می‌یابد. علت این عملکرد بدین-صورت می‌باشد که وقتی مانع اولی که در مسیر جریان قرار می‌گیرد دارای ارتفاع بیش‌تری باشد، بخش بیش‌تری از جریان را مستهلک می‌کند و در ادامه برای به‌دام انداختن مابقی جریان یک مانع با ارتفاع کم‌تر نیز کافی می‌باشد. ولی وقتی مانع با ارتفاع کم‌تر در ابتدا قرار می‌گیرد تأثیر زیادی بر جریان عبوری ندارد و این اختلاف با افزایش شیب به دلیل مومنوم عبوری جریان، بیش‌تر می‌باشد (شکل‌های ۶ و ۷). در نتیجه بهتر است که مانع متخلل با ارتفاع بیش‌تر در ابتدا قرار بگیرد. در مقایسه با نتایج مانع کامل، محققان و اصغری‌پری (۱۳۹۲) بیان نمودند که در چینش موانع متوالی غیر هم‌اندازه، از کوتاه‌تر به بلندتر (صعودی) نسبت به بلندتر به کوتاه‌تر (نزولی) تأثیر بیش‌تری در کنترل جریان گل‌آلود دارد. این روند با توجه به نتایج تحقیق حاضر برای مانع متخلل معکوس می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که علت این تفاوت در عملکرد مانع متخلل نسبت به مانع کامل، امکان تأثیرگذاری مانع متخلل با ارتفاع نسبی کم‌تر دوم بر جریان عبوری از داخل مانع اول می‌باشد. در حالت مانع کامل جریان عبوری از مانع اول با ارتفاع نسبی بیش‌تر سبب پخشیدگی جریان عبوری از روی مانع گردیده و تأثیر مانع دوم با ارتفاع نسبی کم‌تر را کاهش می‌دهد. در شکل‌های ۸ و ۹ به‌ترتیب برخورد جریان گل‌آلود با چینه با آرایش (۱۵-۲۴) در شیب ۱/۵ درصد و ۳ ردیف چینه با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر در شیب صفر را نشان می‌دهد.

به‌دلیل مومنوم زیاد جریان نتوانسته آن را کنترل کند. عبور رسوبات بیش‌تر از مانع اول در حالت شیب‌دار سبب گردید تا مانع متخلل دوم بتواند در مقابل جریان گل‌آلود فعال شده و عملکرد بهتری نشان بدهد. همچنین تأثیر شیب در ایجاد برتری حالت دو مانع با فاصله نسبت به سایر آرایش‌های این تحقیق برای سایر ارتفاعات نسبی تحقیق حاضر نیز برقرار می‌باشد.



شکل ۷- مقایسه اثر ضخامت (افزایش چینه در ردیف) و فاصله در شیب ۱۵٪

با توجه به جدول ۳ و شکل‌های ۶ و ۷، برای دو مانع با فاصله مقایسه اختلاف بین نتایج در حالت شیب‌دار و حالت بدون شیب نشان می‌دهد که این اختلاف بین عملکرد به‌طور محسوس کاهش می‌یابد و این در حالی است که برای یک، دو و سه ردیف مانع اختلاف بین حالت بدون شیب و شیب‌دار زیاد می‌باشد. به‌عنوان نمونه یک ردیف چینه با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در شیب صفر (آزمایش ۱۰) میزان ۹۰/۹۳٪ از جریان را مستهلک کرده و این مقدار برای شیب ۲/۵٪ (آزمایش ۱۲) برابر با ۷۰/۲۳٪ است. اختلاف بین این دو حالت ۲۰/۷٪ می‌باشد. مقایسه این اختلاف برای سه ردیف چینه با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر برابر با ۱۴/۳۱٪ (اختلاف بین کارایی آزمایش ۲۲ و ۲۴) می‌باشد. اختلاف برای دو چینه با فاصله با ارتفاع ۲۴ سانتی-متر (آزمایش ۳۴ و ۳۶) برابر ۶/۳۶٪ می‌باشد. از طرفی در مقایسه نتایج عملکرد در حالت بدون شیب مانع با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر (آزمایش ۱۰) به میزان ۲/۲۹٪ از دو چینه با فاصله با ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر (آزمایش ۳۴) بهتر بوده است و در حالت شیب‌دار این برتری در عملکرد برای دو چینه با فاصله (آزمایش ۳۶) است و اختلاف با یک ردیف چینه با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر (آزمایش ۱۲) ۱۲/۰۵٪ است.

مانع با ارتفاع نابرابر بهتر است که مانع با ارتفاع بیش تر در ابتدا قرار گیرد. زیرا با این عمل بخش بیش تری از جریان مستهلک می گردد و در ادامه به یک مانع با ارتفاع کم تر نیاز می باشد. استفاده از دو مانع متخلخل در مقایسه با یک مانع متخلخل، سبب کاهش ارتفاع مانع و اقتصادی تر شدن طرح می گردد.

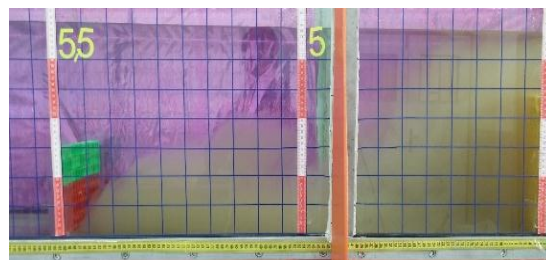
هم چنین عملکرد دو مانع هم ارتفاع با فاصله از اثر ضخامت در مانع با ارتفاع یکسان (در محدوده تحقیق حاضر)، بیش تر می باشد.

### تقدیر و تشکر

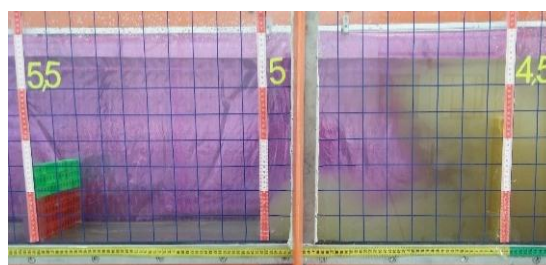
تحقیق حاضر با حمایت های مالی دفتر پژوهش های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان انجام گردیده است و بدین وسیله از ایشان تشکر و قدردانی می گردد.

### منابع

- اصغری پری س، ا، محقیان س م، ۱۳۹۲. بررسی عددی اثر تغییر فاصله برای موانع متوالی هم اندازه و تغییر اولویت قرارگیری برای موانع متوالی غیر هم اندازه در کنترل جریان غلیظ. اولین همایش ملی چالش های منابع آب و کشاورزی، انجمن آبیاری و زهکشی ایران- دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان اصفهان- ۲۴ بهمن.
- اصغری پری س، ا، محقیان س م، ۱۳۹۳. بررسی عددی تأثیر ایجاد گودال های حفاظتی در بستر بر مهار کردن جریان غلیظ. مجله مهندسی آب. (۷): ۲۳-۱۲.
- زینی وند م، کاشفی پور س م، قمشی م، ۱۳۹۶. بررسی آزمایشگاهی اثر تخلخل صفحات نفوذپذیر بر کنترل جریان غلیظ. مجله علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری. (۱): ۴۰-۱۳-۲۴.
- قربان مقدم ع، قمشی م، ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی تأثیر نوع چیدمان موانع استوانه ای شکل بر سرعت و ضخامت بدنه ی جریان غلیظ نمکی. مجله علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری. (۳۸): ۴-۳۳-۴۵.
- قربانی ز، خزیمه نژاد ح، رضانی ی، ۱۳۹۵. بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل، آرایش و مساحت صفحه های نفوذناپذیر مستغرق بر مشخصه های جریان غلیظ. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. (۲۳): ۶-۱۴۳-۱۶۲.
- کشتکار ش، ایوب زاده، س ع، فیروزآبادی ب، ۱۳۸۷. بررسی آزمایشگاهی تأثیر تغییرات عدد فرود جریان گل- آلود ورودی به مخزن بر روی ضخامت جریان گل آلود.



شکل ۸- برخورد جریان با چینه ۱۵-۲۴ سانتی متری در شیب ۱/۵ درصد و تشکیل پیشانی پس از مانع اول



شکل ۹- برخورد و عبور جریان از سه ردیف چینه با ارتفاع ۲۴ سانتی متر در شیب صفر

### نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به بررسی و مقایسه اثر استفاده از دو ردیف مانع متخلخل با فاصله یک متر با آرایش مختلف از لحاظ ارتفاع موانع و اثر افزایش تعداد ردیف های چینه (اثر ضخامت) جهت کنترل جریان گل آلود پرداخته شد. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع مانع متخلخل، میزان دبی رسوبی عبوری کاهش می یابد. با افزایش ضخامت چینه از یک ردیف به سه ردیف به دلیل افزایش تعداد طولی تخلخل هایی که جریان از داخل آن می گذرد، استهلاک انرژی در هر دو حالت شیب دار و بدون شیب افزایش می یابد. دو ردیف مانع متخلخل با فاصله نسبت به مانع متخلخل هم ارتفاع تک ردیف، در حالت بدون شیب، عملکرد بهتری داشته است و در مقایسه با مانع متخلخل تک ردیف بلندتر (در محدوده تحقیق حاضر) کم تر بوده است و این عملکرد با افزایش شیب برای دو ردیف چینه با فاصله نسبت به استفاده از موانع متخلخل تک ردیف نه تنها از مانع هم ارتفاع بهتر بوده، بلکه از مانع با ارتفاع بلندتر نیز به طور محسوس بهتر بوده است. دلیل آن افزایش عبور جریان از مانع متخلخل تک ردیف در حالت شیب دار می باشد که در مانع دوم مستهلک می شوند. در قرار دادن دو

دومین کنفرانس نیروگاه‌های آبی کشور، تهران- شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.

۷) کشتکار ش، ایوب‌زاده س ع، فیروزآبادی ب، ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی ضخامت و پروفیل‌های سرعت جریان گل‌آلود. نشریه آب و خاک. (۲۴): ۶: ۱۰۷۳-۱۰۸۲.

۸) Asghari Pari SA, Kashefipour SM, Ghomeshi M. 2016. An Experimental Study to determine the obstacle height required for the control of subcritical and supercritical gravity currents. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*.

9) Asghari Pari SA, Kashefipour S M, Ghomeshi M, Shafai Bajestan M. 2010. Effects of obstacle heights on controlling turbidity currents with different Concentrations and discharges. *Journal of food agriculture & Environment*. 8(2):930-935.

10) Bursik M I, Woods A. 2000. The Effect of Topography on Sedimentation from Particle-laden Turbulent Density Currents. *Journal of Sedimentary Research*. 70(1):53-63.

11) Graf W H. 1983. *Hydraulics of Reservoir Sedimentation*. *International Water Power & Dam Construction*. 35(4)

12) Graf W H, Altinakar M S. 1998. *Fluvial Hydraulics-Flow and Transport Processes in Channels of Simple Geometry*. Chapter 7. Wiley. New-York. 681 pp.

13) Oehy C D. 2002. Effects of Obstacles and Jets on Reservoir Sedimentation due to Turbidity Currents, Communication No.15 of the Laboratory of Hydraulic Structures LCH. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. EPFL. Switzerland.

14) Oehy C D, Schleiss A J. 2007. Control of Turbidity Currents in Reservoirs by Solid and Permeable Obstacles. *Journal of Hydraulic Engineering*. 133(6):637-648.

15) Oshaghi m, Afshin H, Firoozabadi B. 2013. Experimental investigation of effect of obstacles on the behavior of the density currents. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 40(4):343-352.

16) Prinos P. 1999. Two-Dimensional Density Currents over Obstacles. Proc. 28 the IAHR Congress (CD-ROM). August. 22-27-1999. Graz. Austria.

17) Woods A W, Bursik M I, Kurbatov A V. 1998. The interaction of ash flows with ridges. *Bull Volcano* 1.60:38-51.

18) Yaghubi S, Abbaszadeh S H, Golchoubian P, Afshin H, Firoozabadi B. 2013. Experimental Investigation of the Effect of Two Consecutive Obstacles on Turbidity Current. *Journal of Selcuk University Natural and Applied Science*. 615-627.