

بررسی آزمایشگاهی اثر تخلخل صفحه نفوذ پذیر بر کنترل جریان غلیظ

مهدی زینی وند^۱، سید محمود کاشفی پور^{۲*} و مهدی قمشی^۳

۱- دانشجوی دکتری سازه های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- نویسنده مسئول، استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز kashefipour@scu.ac.ir

۳- استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۹

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۳

چکیده

جریان غلیظ پدیده ای است که به خاطر تغییرات چگالی بین دو سیال به وجود می آید و در اثر این پدیده رسوبات ریزدانه می توانند تا نزدیکی بدنه سد حرکت کرده و مشکلاتی را برای دریچه های آبیگری ایجاد کنند. از این رو کنترل این جریان می تواند از مشکلات احتمالی بکاهد. در تحقیق حاضر یک صفحه متخلخل به عنوان یک مانع نفوذپذیر برای کنترل جریان غلیظ نمکی به کار گرفته شد. متغیرهای این تحقیق شامل تخلخل صفحات و غلظت جریان غلیظ می باشند. دبی و همچنین غلظت جریان غلیظ در بالادست و پایین دست صفحه اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که کارایی صفحه در کنترل جریان غلیظ با افزایش تخلخل کاهش می یابد. نتایج حاصل از بررسی غلظت های اندازه گیری شده نیز همین نتیجه را بیان نمود. نتایج نهایی با بررسی بار رسوبی و مشاهده روند مشابه، تایید شد. پس از به دست آوردن حجم سیال ورودی به جریان غلیظ در اثر عبور از صفحه مشبک، مشاهده شد که با افزایش تخلخل صفحه مشبک، حجم سیال ورودی به جریان غلیظ کاهش می یابد. لذا می توان نتیجه گرفت به دلیل کاهش حجم سیال ورودی به آن، راندمان کارایی صفحات در کنترل جریان غلیظ با استفاده از صفحه نفوذپذیر کاهش می یابد، همچنین حداکثر میزان راندمان کنترل جریان غلیظ برابر ۷۳/۲ درصد محاسبه شد.

کلید واژه ها: جریان غلیظ نمکی، کنترل جریان غلیظ، ورود سیال پیرامون، موانع مشبک.

Laboratory Investigation The Effect of Porosity of Permeable Obstacle on Control of Gravity Current

M. Zeinivand¹, S. M. Kashefipour^{2*} and M. Ghomshi³

- 1- Ph.D. Student, Hydraulic Structures Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
- 2* - Corresponding Author, Professor, Hydraulic Structures Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
- 3- Professor, Hydraulic Structures Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 24 December 2014

Accepted: 31 October 2015

Abstract

Gravity current is a phenomenon caused by density difference between two fluids and due to this phenomenon the fine sediments can be moved to the body dam and as a result causes for many serious problems for dam intake. Therefore, controlling the flow can reduce the potential problems. In this study a permeable obstacle was used to evaluate the performance of permeable obstacles for control of turbidity current. The variables were the porosity percentage of the obstacle and different concentrations of the currents. The gravity current discharges and concentrations were measured

upstream and downstream of the obstacle. The results of the measured discharges showed that the obstacle efficiency in control of gravity current reduces with increasing porosity. The results of the measured concentrations also showed the same conclusion. The final results of the review sediment load and view similar trend was confirmed. After calculating water entrainment to the gravity current passing through the permeable obstacle, it was observed that with increasing porosity of permeable obstacle, the volume of water entrainment is reduced. Therefore it can be concluded due to lower volume of water entrainment, processing efficiency in controlling the gravity current using the permeable obstacle is reduced. Also, the maximum efficiency of the controlling the gravity current was measured about 73.2%.

Keywords: Salty turbidity current, Control of gravity current, Water entrainment, Permeable obstacle.

مقدمه

جمله این شیوه ها می توان به استفاده از زبری، ترکیب مانع و زبری، استفاده از حباب هوا، استفاده از موانع (نفوذپذیر و نفوذناپذیر) و همچنین استفاده از جت آب برای کنترل جریان غلیظ اشاره نمود. اصغری پری (۱۳۸۸) در مطالعه ای به بررسی اثر ارتفاع مانع بر رسوب گذاری در مخازن سدها در جریان غلیظ پرداخت. اهداف اصلی و مهم این تحقیق بررسی و شناخت جریان غلیظ رسوبی و نمکی در شرایط مختلف ورودی با در نظر گرفتن اثر شیب، دبی و غلظت و بدون اثر مانع و سپس تعیین ارتفاع نسبی مانع برای توقف جریان غلیظ در شرایط زیر بحرانی و فوق بحرانی می باشد. همچنین در این تحقیق به بررسی شرایط رسوب گذاری در جریان غلیظ رسوبی و اثر کنترلی آن با مانع و مقایسه آن جریان غلیظ نمکی پرداخته شد. در نهایت برای ارتفاع مانع برای کنترل جریان غلیظ نمکی و رسوبی روابطی ارائه شد. همچنین مشاهده شد که با افزایش شیب و تبدیل جریان از زیر بحرانی به فوق بحرانی، اثر ارتفاع مانع در توقف جریان کاهش می یابد. دریایی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه ای به بررسی آزمایشگاهی اثر شیب و زبری کف روی سرعت پیشانی و بدنه جریان غلیظ پرداختند. این مطالعه در چهار ارتفاع زبری و چهار شیب و دو غلظت انجام شد. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش ارتفاع زبری، سرعت پیشانی و بدنه جریان غلیظ کاهش و با افزایش شیب بستر افزایش می یابد. همچنین افزایش شیب باعث کاهش تاثیر زبری در کم کردن سرعت بدنه و پیشانی می شود. کاهه و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی سرعت پیشروی جریان غلیظ روی سطوح زبر پرداختند. در این تحقیق اندازه سطوح زبر، دبی و غلظت جریان غلیظ نمکی و همچنین شیب بستر تغییر داده شد و اثر هر کدام بر سرعت پیشانی بررسی شد و در نهایت مدل رگرسیون خطی با ضریب همبستگی ۹۰ درصد ارائه شد. لیندن و سیمپسون^۴ (۱۹۸۶) تشکیل و همچنین از بین رفتن جریان غلیظ را در یک کانال آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. آنها در آزمایش های خود جریان غلیظ را بصورت رها شدن ناگهانی، ایجاد کرده و با ایجاد تلاطم در سیال پیرامون به بررسی

جریان های غلیظ در بسیاری از محیط های طبیعی و کاربردهای مهندسی هنگامی رخ می دهد که یک سیال با گرانشی بالاتر در سیال سبکتری جریان یابد (لانگ و همکاران^۱، ۲۰۰۶). عامل اصلی حرکت جریان غلیظ، اختلاف چگالی بین دو سیال می باشد که با تغییری که در شتاب ثقل ایجاد می کند باعث پیشروی سیال با چگالی بالاتر می شود. این پدیده در طبیعت به شکل های مختلف و متنوعی مشاهده می شود. مواردی چون سقوط بهمین ها، سرازیر شدن گدازه های آتشفشان، حرکت جبهه های هوای گرم و سرد، تندرها و گرد و غبار، جریان های رسوبی در دریاها و مصب رودخانه ها نمونه های بارزی از جریان غلیظ در طبیعت می باشند. جریان های غلیظ، جریان هایی مملو از رسوب می باشند که اغلب در اقیانوس ها، دریاها، دریاچه ها، مخازن سدها و مصب رودخانه ها اتفاق می افتد و مکانیزم مهمی در انتقال رسوب در آبهای عمیق دارد (پارکر و همکاران^۲، ۱۹۸۶). اولین مشاهده ثبت شده جریان غلیظ توسط محققى بنام فارل در سال ۱۸۸۵ در دریاچه جنوا در کشور سوئیس گزارش شده است. مشاهدات وی نشان داد که رسوبات رودخانه رن که به دریاچه جنوا منتهی می شود باعث ایجاد جریان های غلیظ می گردد. برداشت توپوگرافی کف دریاچه در سال های بعد نشان داد که معبری به شکل کانال به طول ۹ کیلومتر از مصب رودخانه تا درون دریاچه به وجود آمده است. عرض این کانال ۲۰۰ متر و عمق آن ۱۵ متر بوده است (گارسیا^۳، ۱۹۹۲). در زمینه جریان غلیظ و مسائل مرتبط با آن مطالعات فراوان و متنوعی صورت گرفته است. این مطالعات عموماً بر شناخت جریان غلیظ و تاثیر عوامل مختلف بر این پدیده و همچنین تحلیل و شناخت بیشتر اجزای جریان غلیظ و در نهایت بررسی کنترل و جلوگیری از انتقال جریان غلیظ به پایین دست متمرکز می شوند. در زمینه کنترل جریان غلیظ تاکنون روش ها و شیوه های متنوعی به کار گرفته شده است. از

1- Leong *et al.*

2- Parker *et al.*

3- Garcia

4-Linden and Simpson

دیگر به بررسی اثر مانع نفوذپذیر و مقایسه آن با مانع نفوذناپذیر پرداختند. در این مطالعه ابتدا با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی اثر مانع نفوذپذیر و همچنین نفوذناپذیر در کنترل جریان غلیظ رسوبی پرداخته شد. در ادامه با استفاده از نرم افزار CFX-4.4 به شبیه سازی رفتار جریان غلیظ در برخورد به این نوع موانع پرداخته شد. در این تحقیق مانع نفوذناپذیر به ارتفاع ۲۴ سانتی متر و در فاصله پنج متری از محل ورود جریان غلیظ به فلوم، قرار گرفت و آزمایش های انجام شد. در ادامه از دو نوع صفحه ژئوتکستایل به عنوان مانع نفوذپذیر استفاده شد. ارتفاع این صفحات ۵۰ سانتی متر و فاصله آنها از محل ورود جریان غلیظ نیز ۵ متر انتخاب شد. این صفحات که به صورت تک صفحه عمودی و در دو شب ۴/۶۴ درصد و صفر درصد (افقی) نصب شدند از دو نوع ژئوتکستایل تریکوپر ۱۱۸ و ۱۲۰ استفاده شدند. تفاوت این دو نوع ناشی از تفاوت در تخلخل و ضخامت و ضرایب مقاومت آنها می باشد. لازم به ذکر است تمامی این آزمایش ها با نرم افزار ذکر شده شبیه سازی شد و نتایج آن با نتایج حاصل از آزمایش ها مقایسه شد. نتایج به دست آمده از بررسی مانع نفوذپذیر نشان داد که بیشترین راندمان در کم کردن سرعت جریان غلیظ در تخلخل های ۳۶ و ۴۱ درصد مشاهده می شود. همچنین نتایج آزمایش ها و نتایج شبیه سازی نشان داد که جریان غلیظ پس از برخورد به مانع نفوذپذیر به سمت سطح آب حرکت می کند در نتیجه باید ارتفاع صفحه به گونه ای انتخاب شود تا جریان غلیظ از روی آن عبور نکند. لذا نتایج نشان داد که ارتفاع صفحه حداقل سه برابر ارتفاع جریان غلیظ باشد تا این شرایط مهیا شود و نتیجه مطلوب حاصل شود. هدف از مقاله حاضر، کنترل دبی و همچنین کنترل غلظت جریان غلیظ با استفاده از صفحات نفوذپذیر در غلظت ها و تخلخل های مختلف با استفاده از تک صفحه نفوذپذیر می باشد.

مواد و روش ها

این تحقیق در آزمایشگاه مدل های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و روی یک فلوم با عرض ۳۵ سانتی متر و طول کلی ۱۰ متر و ارتفاع ۵۰ سانتی متر انجام شد. در این تحقیق از جریان غلیظ نمکی استفاده شد و برای مشاهده و بررسی رفتار این جریان و فیلم برداری از آن، از ماده رنگی پرمگنات پتاسیم به منظور رنگی کردن جریان استفاده شد. از ورق پانچ شده موجود در بازار از جنس آهن و به ضخامت ۱ میلی متر به عنوان صفحه مشبک استفاده شد. این ورق ها دارای روزنه هایی دایره ای شکل بودند. لذا تصمیم گرفته شد تا از منافذ با قطر ۲، ۳ و ۴ میلی متر استفاده شود که به ترتیب نفوذپذیری ۱۱، ۳۸ و ۶۵ درصد را داشتند. این صفحات با عرض ۳۵ سانتی متر و با ارتفاع فلوم (۵۰ سانتی متر) برش داده شد و برای جلوگیری از هر گونه

تأثیر آن در از بین رفتن جریان غلیظ پرداختند. در این تحقیق فاصله تقریبی که جریان غلیظ طی می کند تا از بین برود، بررسی شد و روابطی برای آنها ارائه گشت. وودز و همکاران^۱ (۱۹۹۸) به بررسی برخورد جریان غلیظ ناشی از خاکستر های آتشفشانی با مانع به صورت آزمایشگاهی و با استفاده از مدل تئوری پرداختند. آنها در مدل آزمایشگاهی اثر یک مانع و دومانع را روی جریان بررسی نمودند. نتایج آنها از آزمایش ها بیشتر به توصیف جریان در برخورد با مانع معطوف شده و تنها نتیجه کمی آنها از آزمایش ها روند نمایی رسوب گذاری بوده است. آنها عنوان نمودند که تنها مانعی می تواند بر الگوی رسوب گذاری تأثیر بگذارد که باعث توقف و پس زدن جریان غلیظ شود. پرینز^۲ (۱۹۹۹) اثر شکل مانع را با دو شکل نیم دایره و مثلثی با ارتفاع یکسان و برای حرکت دو بعدی روی فلوم افقی، روی جریان غلیظ مطالعه نمود. او دریافت که هندسه این دو مانع روی سرعت پیشانی جریان و نسبت جریان عبوری از روی مانع اثر قابل ملاحظه ای ندارد. نگویرا و همکاران^۳ (۲۰۱۳) در مطالعه ای آزمایشگاهی به بررسی حرکت جریان غلیظ در سطوح زبر و صاف پرداختند. در این مطالعه آزمایش های متنوعی روی این سطوح به صورت جداگانه انجام شد. نتایج آنها نشان داد که میزان زبری بستر تأثیر موثری در میزان پیشرفت و حرکت جریان غلیظ دارد. بولر و همکاران^۴ (۲۰۱۳) در مطالعه ای به بررسی اثر انواع جت بر روند رسوب گذاری در مخازن سدها با مدل آزمایشگاهی تحت اثر جریان غلیظ پرداختند. در این مطالعه پس از انجام آزمایش ها و مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از معادله های پیوستگی و مومنتم، این نتیجه حاصل شد که نتایج حاصل از جت مخالف همخوانی بیشتری با نتایج حاصل از معادله های فوق دارد. تونیولو و همکاران^۵ (۲۰۰۷) سعی کردند به صورت آزمایشگاهی با ایجاد مخزن ثانویه در آب پیرامون، راندمان تله اندازی رسوبات توسط مخزن سد را کاهش داده و عمر مفید مخزن سد را افزایش دهند. آنها پس از بررسی روند انتقال جریان غلیظ در مخازن، موفق به ارائه یک مدل یک بعدی برای شبیه سازی رفتار رسوب گذاری در مخزن شدند. اوهی و اشلایز^۶ (۲۰۱۰) نیز تأثیر جت را بروی رفتار و همچنین کنترل جریان غلیظ مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل را با نتایج دیگر محققین مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که اثر جت مخالف بر کنترل جریان غلیظ بیشتر از جت عمودی می باشد. اوهی و همکاران^۷ (۲۰۰۷) در مطالعه ای

- 1-Woods *et al.*
- 2-Prinos
- 3-Nogueira *et al.*
- 4-Buhler *et al.*
- 5-Toniolo *et al.*
- 6-Ohey *et al.*
- 7-Ohey and Schleiss

زینی وند و همکاران: بررسی آزمایشگاهی اثر تخلخل صفحه نفوذ پذیر...

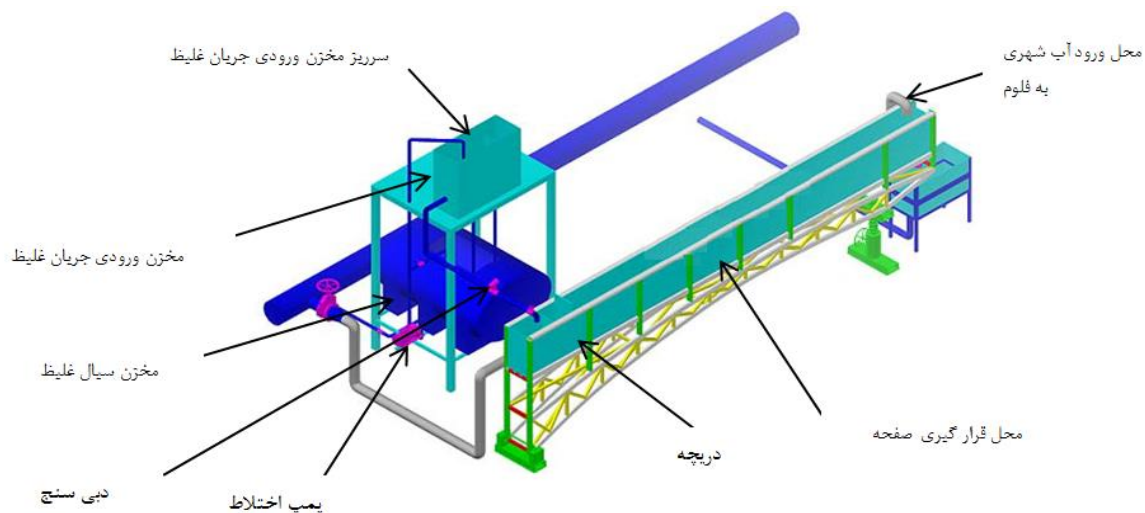
تشکیل نقطه غوطه وری، شکل می گرفت. بررسی سرعت پیشانی و به تبع آن دبی جریان غلیظ از فاصله ۱/۵ متری آغاز می شد و تا محل صفحه ادامه می یافت و فاصله مناسبی برای بررسی دقیق در اختیار قرار می داد. همچنین با توجه با طول مفید فلوم، که ۶ متر می باشد، طول مناسبی برای بررسی دبی جریان غلیظ پایین دست در اختیار می باشد. پس از نصب صفحه، دریچه ورود جریان غلیظ بسته می شد و فلوم از قسمت انتها با آب شهری پر می شد. برای جلوگیری از هر گونه اغتشاش و تلاطم در محل ورود، لوله ورودی با طول نسبتاً زیاد به کف فلوم نزدیک شده و پس از مستغرق شدن، هیچ گونه تلاطم و موج سطحی ایجاد نموده و به آرامی فلوم از آب شهری پر می شد. این عمل تا زمانی ادامه می یافت که سرریز انتهایی فعال شده و عمق آب تقریباً به ۴۳ سانتی متر می رسید. پس از این مرحله شیر ورودی سیال غلیظ به فلوم را باز نموده تا سطح سیال در پشت دریچه بالا بیاید. در این مرحله به دقت سطح سیال غلیظ چک می شود و در لحظه ای که سطح آب و جریان غلیظ یکی شد، دریچه ورودی جریان غلیظ به اندازه ۵/۵ سانتی متر باز گردید و باعث می شود که تنها عامل حرکت همان تغییر چگالی دو سیال باشد. پس از باز کردن ناگهانی دریچه، فیلمبرداری از پیشانی جریان غلیظ آغاز می شد و فیلمبردار همراه با پیشانی به سمت صفحه نفوذپذیر و سپس به سمت انتهای فلوم حرکت می کرد. در انتها پس از بررسی فیلم و استفاده از ایستگاههای مشخص شده روی فلوم، سرعت و با داشتن عمق متوسط جریان غلیظ در محل پیشانی، دبی جریان غلیظ قبل و بعد از صفحات به دست می آمد. در شکل (۲) نیز تصاویری از نحوه حرکت جریان غلیظ قبل از صفحه، حین برخورد با صفحه و همچنین بعد از عبور از صفحه نشان داده شده است.

نشت از اطراف این صفحات، از نوارهای درزگیر نازک استفاده شد. به منظور مطالعه کارایی صفحات از پیشانی جریان غلیظ فیلمبرداری شد. شروع فیلم برداری از لحظه بالا کشیدن دریچه و حرکت جریان غلیظ انجام می شد و تا لحظه رسیدن به صفحات نفوذپذیر ادامه می یافت و بعد به صورت پیوسته فیلمبرداری تا عبور جریان غلیظ از بدنه صفحه و تشکیل پیشانی در پایین دست و حرکت آن به سمت انتهای فلوم ادامه می یافت. بستر فلوم به صورت افقی و با شیب صفر تنظیم شد. برای تشکیل ساختار جریان غلیظ با دبی ثابت، میزان باز شدگی دریچه ۵/۵ سانتی متر تنظیم گردید. غلظت های جریان غلیظ برابر ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ گرم بر لیتر انتخاب شدند.

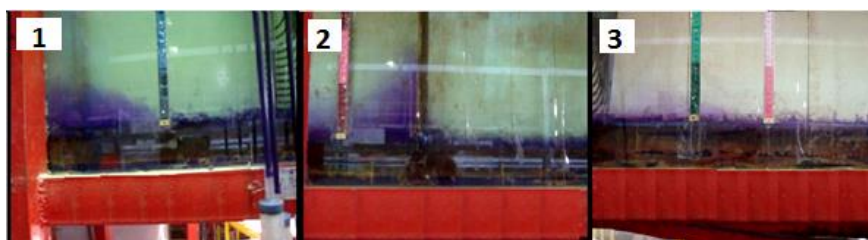
در شکل (۱) شماتیک کلی از فلوم و سایر تاسیسات مربوطه آزمایشگاهی آمده است. همان گونه که در این مجموعه مشاهده می شود، جریان غلیظ در یک مخزن به حجم ۲۵۰۰ لیتر ساخته می شد. شیوه کار بدین شکل بود که ابتدا به میزان ۱۰۰۰ لیتر در مخزن آب شهری ریخته و سپس با توجه به غلظت مورد نظر مقدار مشخصی از نمک صنعتی به کمک ترازو تهیه و پس از حل کردن به صورت کامل، به مخزن ریخته و در نهایت حجم آب به ۲۰۰۰ لیتر رسانده می شد و ماده رنگی پرمنگنات پتاسیم نیز اضافه می شد. سپس پمپ اختلاط را روشن نموده تا همزمان با مخلوط کردن مجدد محلول ایجاد شده، مخزن ورودی بالا را پر نموده و پس از فعال شدن سرریز این مخزن، شرایط برای اجرای آزمایش مهیا می شد.

مراحل انجام آزمایش

برای شروع آزمایش ها فاصله صفحه مشبک از دریچه ورودی جریان غلیظ ۳/۵ متر انتخاب شد. علت انتخاب این فاصله این بود که جریان غلیظ در فاصله ۱ متری دریچه ابتدای فلوم، پس از



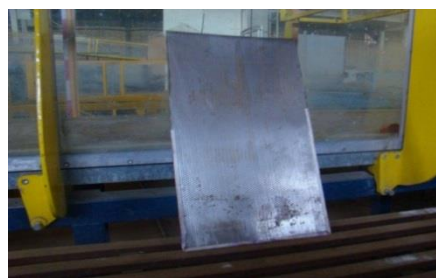
شکل ۱- شماتیک از فلوم و تجهیزات مورد استفاده



شکل ۲- تصاویری از حرکت جریان غلیظ و شیوه برخورد آن با صفحه مشبک و ادامه حرکت بعد از صفحه

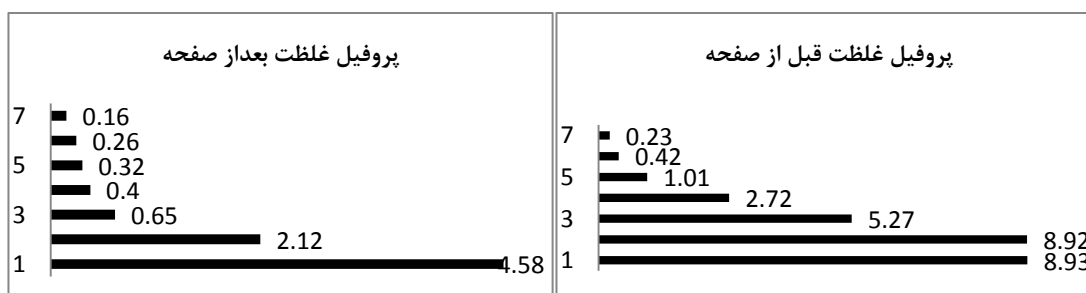


ب) دستگاه نمونه گیر غلظت



الف) صفحه مشبک استفاده شده

شکل ۳- الف) تصویری از صفحه مشبک نمونه مورد استفاده و ب) و دستگاه نمونه گیر غلظت



شکل ۴- نمونه پروفیل غلظت (گرم در لیتر) قبل و بعد از صفحه مشبک

غلظت در هر ارتفاع و به تبع آن غلظت میانگین قبل و بعد از صفحات به دست می آید و با مقایسه آنها میزان کارایی صفحات محاسبه می شود. لازم به ذکر است که یکی از دلایلی که سنجش هدایت الکتریکی بلافاصله بعد از نمونه گیری انجام شد این است که دمای نمونه ها تغییر نکند و شرایط محلول به هم نخورد. لازم به توضیح است تبدیل هدایت الکتریکی به هدایت الکتریکی به کمک منحنی تهیه شده بین این دو و در آزمایشگاه انجام گرفت. رابطه مورد استفاده به شرح زیر می باشد.

$$C = 0.0019(EC)^2 + 0.5502(EC) - 1.031 \quad R^2 = 0.99 \quad (1)$$

نمونه گیری از پروفیل غلظت

دستگاه های نمونه گیر غلظت در فاصله ۱/۵ متری بالادست صفحه و پایین دست صفحه قرار داده شدند و به محض عبور پیشانی جریان غلیظ، پروفیل غلظت برداشته می شد. دستگاه نمونه گیر از هفت سرنگ نصب شده در ارتفاعات مشخص تشکیل شده بود. نکته مهم در برداشت نمونه های قبل از صفحات این است که جریان غلیظ پس از برخورد به صفحه به سمت بالادست برگشت داده می شد. لذا تا قبل از رسیدن موج برگشتی به محل دستگاه نمونه گیر باید عمل نمونه گیری به صورت کامل انجام شده باشد. پس از اتمام نمونه گیری، بلافاصله توسط دستگاه سنجش هدایت الکتریکی، میزان هدایت الکتریکی آنها اندازه گیری می شد و بر اساس آن

زینی وند و همکاران: بررسی آزمایشگاهی اثر تخلخل صفحه نفوذ پذیر...

به عرض فلوم (۳۵ سانتی متر) می توان به دبی جریان غلیظ قبل و بعد از صفحات دست یافت و با مقایسه آنها و استفاده از رابطه (۲) می توان به راندمان کارایی صفحات در هر آزمایش دست یافت. جدول (۲) نتایج حاصل از بررسی دبی جریان غلیظ و پارامترهای برداشت شده را نشان می دهد:

$$\%R = \frac{Q_b - Q_a}{Q_b} \times 100 \quad (2)$$

که در آن $\%R$ درصد کارایی، Q_b دبی جریان غلیظ قبل از صفحه مشبک و Q_a دبی جریان غلیظ بعد از صفحه مشبک می باشد. نتایج برای آزمایش های مختلف در جدول (۲) خلاصه شده اند. در شکل (۵) نیز تغییرات راندمان کارایی صفحات بر حسب تخلخل در غلظت های مختلف نشان داده شده است. در این جدول V_b : سرعت پیشانی جریان غلیظ قبل از صفحه مشبک، V_a : سرعت پیشانی جریان غلیظ بعد از صفحه مشبک، H_b : ارتفاع پیشانی جریان غلیظ قبل از صفحه مشبک و H_a ارتفاع پیشانی جریان غلیظ بعد از صفحه مشبک می باشد.

همان گونه که در شکل (۵) مشاهده می شود با افزایش تخلخل راندمان کارایی صفحات کاهش می یابد. به عبارت دیگر با افزایش سطح مقطع برای عبور جریان غلیظ، میزان راندمان تله اندازی آنها کاهش می یابد و عبور جریان غلیظ بیشتر می گردد. این روند در تمامی غلظت ها مشاهده می شود. از دیگر نکات مهم و قابل بحث درباره شکل (۵) می توان به افزایش راندمان کارایی صفحات با افزایش غلظت در هر تخلخل اشاره نمود. در واقع با افزایش غلظت جریان غلیظ، میزان ورود سیال ساکن به جریان غلیظ بیشتر می شود و با ورود سیال ساکن، از میزان غلظت بعد از صفحات کاسته می شود و به تبع آن راندمان کارایی صفحات بالا می رود. برای بررسی دقیق تر از نحوه تغییرات راندمان کارایی صفحات، مقایسه ای بین تغییرات راندمان انجام شده در غلظت های مختلف بعمل آمد که در جدول (۳) خلاصه شده است.

در رابطه فوق، C : غلظت بر حسب گرم در لیتر و EC : هدایت الکتریکی به دست آمده در آزمایشگاه می باشد. در شکل (۳) تصویری از صفحه مشبک و دستگاه نمونه گیر غلظت مشاهده می شود. همچنین در شکل (۴) نمونه پروفیل غلظت قبل و بعد از صفحات مشاهده می شود. در این شکل، محور افقی، غلظت نمونه ها و محور عمودی، شماره نمونه ها می باشد که از بستر فلوم به بالا شماره گذاری شده اند.

لازم به ذکر است در نمونه گیری برای غلظت، به دلیل اینکه بدنه جریان غلیظ پایدار بوده، گذشت زمان اثری روی آن ندارد و نمونه گیری در یک حالت کافی خواهد بود.

همان گونه که قبلا بیان شد با توجه به تعداد غلظت ها و همچنین تخلخل های مورد استفاده در این تحقیق، تعداد ۱۲ آزمایش انجام گردید. در جدول (۱) نام آزمایش ها که از ۱ تا ۱۲ می باشد و مشخصات هر آزمایش مشاهده می گردد.

نتایج و بحث

در بررسی کارایی صفحات نفوذپذیر، دبی جریان غلیظ یکی از مهمترین پارامترها می باشد. اما با توجه به کاهش غلظت جریان غلیظ بعد از عبور از صفحه مشبک، نتیجه گرفته شد که غلظت جریان غلیظ هم می تواند بیانگر نتایجی باشد. لذا نتایج باید بصورت جداگانه بررسی گردد. در ادامه به بررسی کنترل بار رسوبی، که شامل اثر همزمان دبی و غلظت جریان غلیظ می باشد، پرداخته می شود. در خاتمه نیز ورود سیال پیرامون به جریان غلیظ به عنوان مهمترین علت کاهش غلظت و کارایی صفحات، مورد بررسی قرار گرفت و در این قسمت نتایج به صورت جداگانه بیان می شوند.

بررسی اثر صفحه مشبک بر تغییر دبی جریان غلیظ

برای بررسی دبی جریان غلیظ، پس از بررسی فیلم های تهیه شده از پیشانی جریان غلیظ با استفاده از نرم افزارهای تخصصی ویرایش و بررسی فیلم و همچنین استفاده از اشل های نصب شده روی فلوم و همچنین رنگی بودن سیال غلیظ مورد استفاده، سرعت و ارتفاع جریان غلیظ بالادست و پایین دست صفحات به دست آمد و با توجه

جدول ۱- مشخصات آزمایش های انجام شده

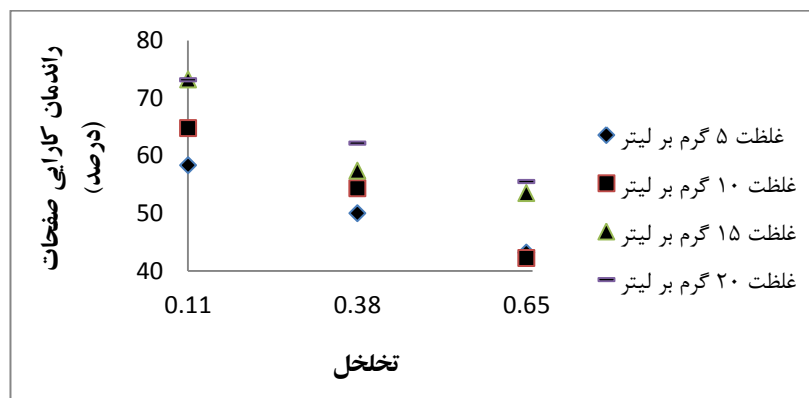
تخلخل ۰/۱۱	تخلخل ۰/۳۸	تخلخل ۰/۶۵	
۱	۲	۳	غلظت ۵ گرم بر لیتر
۴	۵	۶	غلظت ۱۰ گرم بر لیتر
۷	۸	۹	غلظت ۱۵ گرم بر لیتر
۱۰	۱۱	۱۲	غلظت ۲۰ گرم بر لیتر

جدول ۲- نتایج حاصل از بررسی دبی جریان غلیظ

شماره آزمایش	V_b (cm/sec)	H_b (cm)	Q_b (lit/sec)	V_a (cm/sec)	H_a (cm)	Q_a (lit/sec)	%R
۱	۳/۱	۱۰	۱/۱	۱/۸	۷	۰/۶	۵۸/۳
۲	۲/۸	۱۱	۱/۱	۱/۹	۸	۰/۵	۵۰
۳	۲/۹	۱۰	۱	۲/۱	۸	۰/۶	۴۳/۱
۴	۳/۳	۹	۱/۱	۲/۱	۵	۰/۴	۶۴/۸
۵	۳/۳	۹	۱/۱	۲/۳	۶	۰/۵	۵۴/۳
۶	۳/۴	۹	۱/۱	۲/۶	۷	۰/۶	۴۲/۲
۷	۳/۹	۹	۱/۲	۲/۳	۴	۰/۳	۷۳/۲
۸	۴/۱	۸	۱/۲	۲/۸	۵	۰/۵	۵۷/۴
۹	۴/۱	۹	۱/۳	۰/۹	۶	۰/۴	۵۳/۵
۱۰	۴/۳	۸	۱/۲	۲/۳	۴	۰/۳	۷۳/۱
۱۱	۳/۳	۹	۱	۲/۸	۴	۰/۴	۶۲/۱
۱۲	۴/۳	۸	۱/۲	۳	۵	۰/۵	۵۵/۵

جدول ۳- میزان تغییر راندمان با تغییر تخلخل در غلظت های مختلف

تغییر تخلخل	غلظت ۵ گرم بر لیتر	غلظت ۱۰ گرم بر لیتر	غلظت ۱۵ گرم بر لیتر	غلظت ۲۰ گرم بر لیتر	میانگین گرم بر لیتر
تغییر تخلخل بین ۰/۳۸ و ۰/۱۱	۸/۳	۱۰/۵	۱۵/۸	۱۱	۱۱/۴
تغییر تخلخل بین ۰/۶۵ و ۰/۳۸	۶/۹	۱۲/۱	۳/۹	۶/۷	۷/۴



شکل ۵- روند تغییرات راندمان کارایی صفحه مشبک بر حسب تخلخل در غلظت های مختلف حاصل از بررسی دبی جریان غلیظ

از تغییر تخلخل بین ۰/۳۸ و ۰/۱۱ در غلظت های مختلف، بیشتر از میانگین حسابی تغییر راندمان های ناشی از تغییر تخلخل بین ۰/۳۸ و ۰/۶۵ در تمامی غلظت ها می باشد که از نظر کمی نیز می توان به بزرگ تر بودن ۱۱/۳۹ نسبت به ۷/۳۸ اشاره نمود. پس در کل می توان بیان نمود که در تخلخل های کمتر، می توان شاهد افزایش راندمان بیشتری بود. در ادامه رابطه ارائه شده توسط اوهی و اشلاز (۲۰۰۷) در مورد عبور جریان از منافذ صفحات مشبک ارائه می گردد:

همان گونه که در جدول فوق مشاهده می گردد در تمامی غلظت ها، میزان تغییر راندمان از تخلخل ۰/۳۸ به ۰/۱۱ بیشتر از تغییر راندمان از تخلخل ۰/۶۵ به ۰/۳۸ می باشد. این نتیجه بیانگر این می باشد که راندمان تله اندازی جریان غلیظ توسط صفحات متخلخل در تخلخل های بالا کمتر تغییر می کند اما در تخلخل های کمتر میزان تغییر بالاتری نشان می دهد. در ادامه از میانگین گیری حسابی استفاده شد و نتایج به صورت کمی و جامع تر تحلیل گردید. همان گونه که مشاهده می شود میانگین حسابی تغییر راندمان های ناشی

زینی وند و همکاران: بررسی آزمایشگاهی اثر تخلخل صفحه نفوذ پذیر...

$$\%R = \frac{C_b - C_a}{C_b} \times 100 \quad (5)$$

در رابطه فوق $\%R$: درصد راندمان کارایی صفحات نفوذپذیر،
 C_b : میانگین غلظت قبل از صفحات و C_a : میانگین غلظت بعد از
 صفحات می باشد و نتایج در جدول (۴) مشاهده می شوند.
 یکی از نکات مهم و حائز اهمیت در این جدول، مشاهده کاهش
 غلظت در تمامی آزمایش ها می باشد. بطوری که حداقل راندمان ۴۳
 درصد می باشد. همین مسئله به نوعی تایید کننده مفید بودن
 صفحات می باشد. به عبارتی دیگر در هر صورت علاوه بر کاهش
 دبی جریان غلیظ، میزان غلظت جریان غلیظ نیز کاهش می یابد.
 علت اصلی این امر را می توان ورود سیال پیرامون به جریان غلیظ
 بیان نمود که پس از تشکیل مجدد ساختار آن در پایین دست صفحه،
 اتفاق می افتد و غلظت را کاهش می دهد. در ادامه روند تغییرات
 راندمان کارایی صفحات نسبت به تخلخل صفحات نفوذپذیر در
 غلظت های مختلف در شکل (۶) نشان داده شده است.

همان گونه که مشاهده می شود در این نمودار با افزایش تخلخل
 صفحات، راندمان کارایی صفحات نیز کاهش می یابد. همچنین با
 افزایش غلظت در هر تخلخل ثابت، راندمان کارایی صفحات افزایش
 می یابد که در واقع تایید کننده نتایج بررسی دبی جریان می باشند.
 علت این امر را می توان این گونه بیان کرد که پس از برخورد جریان
 غلیظ به صفحه مشبک و عبور جریان غلیظ از منافذ آن، ساختار اولیه
 جریان به هم می خورد و سیال پیرامون وارد جریان غلیظ می گردد و
 از غلظت آن می کاهد و پس از تشکیل مجدد ساختار جریان غلیظ،
 به میزان قابل توجهی از غلظت آن کاسته می شود. همچنین هرچه قدر
 غلظت قبل از صفحه مشبک بیشتر باشد میزان تفاوت غلظت قبل و
 بعد از صفحه بیشتر می شود و راندمان کارایی بیشتر می شود. در
 ادامه برای بررسی دقیق تر، میزان تغییر راندمان با تغییر تخلخل در
 غلظت های مختلف، در جدول (۵) مشاهده می شود.

$$\delta q = u_2 \delta z = u_c \delta z_c = u_c C_c p_g \delta z \quad (3)$$

در رابطه فوق δq : دبی در واحد عرض در بازه δz ، u_2 :
 سرعت در بالادست صفحه، u_c : سرعت در محل متراکم شدن
 سیال عبوری از روزنه در بازه δz_c ، C_c : ضریب تراکم سیال و p_g :
 نسبت مساحت بازشدگی به مساحت کل صفحه می باشد. همانگونه
 مشاهده می شود در رابطه فوق نیز می توان دریافت که با افزایش
 تخلخل، دبی عبوری از جریان غلیظ نیز افزایش می یابد و با افزایش
 دبی عبوری، راندمان کارایی صفحات، کاهش می یابد.

بررسی اثر صفحه مشبک بر تغییر غلظت جریان غلیظ

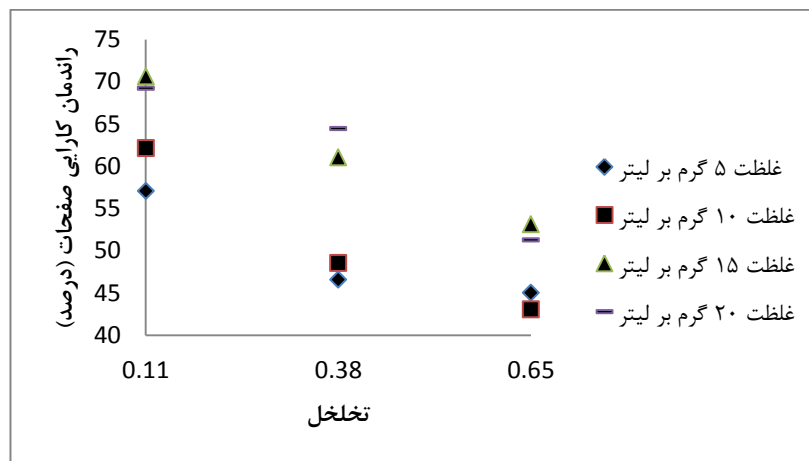
جدول (۴) نتایج حاصل از بررسی نمونه های غلظت جریان غلیظ
 قبل و بعد از صفحات را نشان می دهد. در این جدول میانگین غلظت
 قبل و بعد از صفحات به دست آمد و با مقایسه آنها و بررسی میزان
 کم شدن غلظت، میزان راندمان تله اندازی رسوبات تعیین گردید.
 لازم به ذکر است که میانگین غلظت های به دست آمده از رابطه (۴) به
 دست آمده است:

$$C = \frac{1}{y} \sum_{i=1}^7 \frac{c_i + c_{i+1}}{2} \Delta y \quad (4)$$

در رابطه فوق C : غلظت متوسط، y : عمق جریان غلیظ و C :
 نیز غلظت نمونه های گرفته شده می باشد. در رابطه فوق Δy :
 همان فاصله بین دهانه نمونه گیر در ارتفاع های مختلف می باشد
 این فاصله برای دستگاه های نمونه گیر مورد استفاده در این تحقیق
 برابر ۱/۵ سانتی متر می باشد. همچنین برای به دست آوردن راندمان
 کارایی صفحات از رابطه (۵) استفاده شد.

جدول ۴- نتایج حاصل از بررسی تغییر غلظت جریان غلیظ در آزمایش های مختلف

شماره آزمایش	C_b (g/Lit)	C_a (g/Lit)	$\%R$
۱	۱/۷	۰/۷	۵۷/۱
۲	۱/۹	۱	۴۶/۶
۳	۱/۷	۰/۸	۳۹/۴
۴	۲/۴	۰/۹	۶۲/۱
۵	۲/۱	۱/۱	۴۸/۵
۶	۲/۶	۱/۵	۱۴۳/۱
۷	۳/۶	۱/۱	۷۰/۱۱
۸	۴/۱	۱/۶	۶۱
۹	۳/۵	۱/۶	۵۳/۱
۱۰	۳/۹	۱/۲	۶۹
۱۱	۳/۳	۱/۴	۵۶
۱۲	۳/۹	۲/۲	۴۵



شکل ۶- راندمان کارایی صفحات بر حسب تخلخل در غلظت های مختلف حاصل از بررسی غلظت جریان

جدول ۵- میزان تغییر راندمان با تغییر تخلخل در غلظت های مختلف

تغییر تخلخل	غلظت ۵ گرم بر لیتر	غلظت ۱۰ گرم بر لیتر	غلظت ۱۵ گرم بر لیتر	غلظت ۲۰ گرم بر لیتر	میانگین (درصد)
تغییر تخلخل بین ۰/۳۸ و ۰/۱۱	۱۰/۵	۱۳/۶	۹/۶	۴/۸	۹/۶
تغییر تخلخل بین ۰/۶۵ و ۰/۳۸	۱/۶	۵/۵	۷/۹	۱۳/۲	۷

جدول ۶- درصد راندمان کارایی صفحات در کنترل بار رسوبی

تخلخل	غلظت ۵ گرم بر لیتر	غلظت ۱۰ گرم بر لیتر	غلظت ۱۵ گرم بر لیتر	غلظت ۲۰ گرم بر لیتر	میانگین (درصد)
۰/۱۱	۸۲/۱	۸۶/۷	۹۲/۱	۹۱/۷	۸۸/۱
۰/۳۸	۷۳/۳	۷۶/۵	۸۳/۴	۸۶/۵	۷۹/۹
۰/۶۵	۶۸/۸	۶۷/۱	۸۶/۹	۷۸/۳	۷۵/۳

غلظت به دست می آید. این پارامتر که در واقع مهمترین معیار برای جمع بندی و بررسی نهایی اثر کارایی صفحات مشبک می باشد، هم بیانگر اثر دبی و هم بیانگر اثر غلظت جریان غلیظ و تغییرات هر کدام از آنها می باشد. لذا برای هر آزمایش، قبل و بعد از صفحات، حاصل ضرب دبی در غلظت محاسبه شد و با استفاده از رابطه (۵) راندمان کارایی صفحات در کنترل بار رسوبی جریان غلیظ در هر آزمایش محاسبه شد و نتایج در جدول (۶) مشاهده می شود:

$$\%R = \frac{Q_b C_b - Q_a C_a}{Q_b C_b} \times 100 \quad (6)$$

در ادامه روند تغییر راندمان کارایی صفحات در کنترل بار رسوبی در شکل (۷) مشاهده می شود.

نتایج حاصل از جدول فوق بیانگر این مطلب می باشد که میزان تغییر راندمان ناشی از تغییر تخلخل های بین ۰/۳۸ و ۰/۱۱ در تمامی غلظت ها، از میزان تغییر راندمان ناشی از تغییر تخلخل های بین ۰/۶۵ و ۰/۳۸ بیشتر می باشد که در واقع با توجه به جدول (۵) می توان به بزرگ تر بودن ۹/۶ نسبت به ۷/۰۲ اشاره نمود. در واقع این همان نتیجه ای بود که در بررسی دبی جریان به دست آمد. این امر بدان معنی می باشد که با کاهش تخلخل، صفحات توانایی کاهش غلظت بالاتری از خود نشان می دهند اما در تخلخل های بالاتر این امر به خوبی مشاهده نمی شود.

بررسی اثر صفحه مشبک بر کنترل بار رسوبی جریان غلیظ

پارامتر مهم دیگر که در بررسی کنترل جریان غلیظ استفاده می شود بار رسوبی می باشد که از حاصل ضرب دبی در غلظت جریان

زینی وند و همکاران: بررسی آزمایشگاهی اثر تخلخل صفحه نفوذ پذیر...

غلیظ، ضعیف تر شود. لذا در این مرحله به محاسبه حجم سیال ورودی به جریان غلیظ پرداخته می شود. رابطه (۶) برای محاسبه حجم سیال ورودی مورد استفاده قرار گرفت.

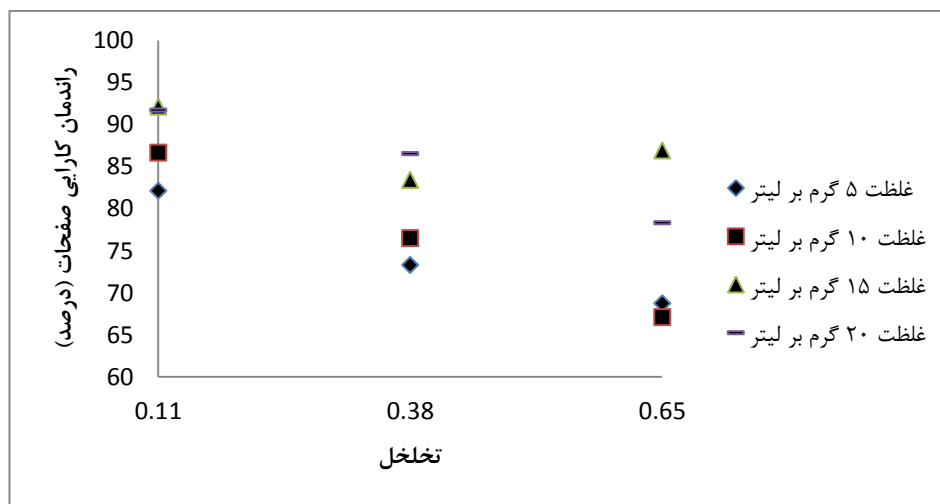
$$\frac{C_1(g)}{(1000 + x)(cc)} = \frac{C_2(g)}{1000(cc)} \quad (۶)$$

در این رابطه، C_1 : غلظت قبل از صفحه، C_2 : غلظت بعد از صفحه و X : حجم سیال ورودی به جریان غلیظ در اثر عبور از صفحه مشبک بر حسب میلی لیتر می باشد که برای هر آزمایش محاسبه و نتایج آن در جدول (۷) مشاهده می شود.

همان گونه در شکل (۷) مشاهده می شود، با افزایش تخلخل راندمان کارایی صفحات در کنترل بار رسوبی کاهش می یابد. این نتیجه، مشابه نتایج گرفته شده از بررسی کنترل دبی و همچنین بررسی کنترل غلظت جریان غلیظ می باشد.

ورود سیال پیرامون به جریان غلیظ

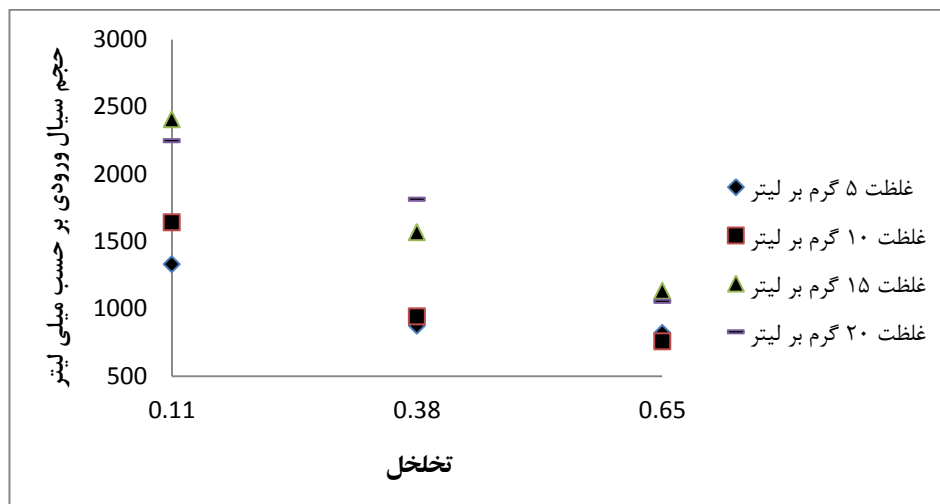
با بررسی مشاهدات آزمایشگاهی و با توجه به برخورد جریان غلیظ به صفحه مشبک و عبور بخشی از آن از بدنه صفحات و سپس تشکیل ساختار مجدد آن، می توان به این نتیجه دست یافت که در اثر عبور جریان غلیظ از صفحه نفوذپذیر، مقداری از سیال پیرامون وارد جریان غلیظ می شود و باعث می شود که غلظت جریان غلیظ به غلظت سیال محیطی نزدیک تر شود و عامل اصلی حرکت جریان



شکل ۷- راندمان کارایی صفحات بر حسب تخلخل در غلظت های مختلف حاصل از بررسی بار رسوبی

جدول ۷- حجم ورود سیال پیرامون به جریان غلیظ بر حسب میلی لیتر

تخلخل	غلظت ۵ گرم بر لیتر	غلظت ۱۰ گرم بر لیتر	غلظت ۱۵ گرم بر لیتر	غلظت ۲۰ گرم بر لیتر	میانگین(درصد)
۰/۱۱	۱۳۲۹	۱۶۴۱	۲۴۰۵	۲۲۴۸	۱۹۰۶
۰/۳۸	۸۷۳	۹۴۳	۱۵۶۷	۱۸۱۲	۱۳۰۰
۰/۶۵	۸۱۹	۷۵۷	۱۱۳۳	۱۰۵۳	۹۴۰



شکل ۸- حجم سیال ورودی بر حسب تخلخل در غلظت های مختلف

بررسی تغییر این دو پارامتر، به همراه بررسی بار رسوبی، پرداخته شد. در ادامه عبور جریان غلیظ از صفحه مشبک و تشکیل مجدد ساختار آن و حجم سیال ورودی بررسی گردید. پس از جمع بندی نهایی، مشاهده شد که با افزایش تخلخل، حجم سیال ورودی به جریان غلیظ کاهش می یابد و باعث می شود تا راندمان کارایی صفحات در کنترل جریان غلیظ کاهش یابد. لذا مفید بودن این روش را می توان در وارد نمودن سیال پیرامون به جریان غلیظ و در نتیجه کنترل آن بیان نمود، بگونه ای که با افزایش تخلخل از ۰/۱۱ تا ۰/۶۵، حجم سیال ورودی به جریان غلیظ از ۱۹۰۰ به ۹۴۰ میلی لیتر کاهش یافته و به تبع آن، راندمان کارایی صفحات از ۸۸/۱٪ به ۷۵/۳٪ تنزل یافت. با کمک این روش از کنترل جریان غلیظ، به طور مثال صفحه با تخلخل ۰/۱۱ قادر بود حداکثر تا ۹۲ درصد جریان غلیظ را کنترل نماید. همچنین مشاهده شد که با افزایش غلظت، صفحات کارایی بیشتری در کنترل جریان غلیظ نمکی از خود نشان می دهند.

در شکل (۸) نیز نحوه تغییر حجم سیال ورودی به جریان غلیظ در غلظت های مختلف با تغییر تخلخل مشاهده می شود. همان گونه مشاهده می شود با افزایش تخلخل، حجم سیال ورودی به جریان غلیظ کاهش می یابد. همچنین این روند در تمامی غلظت ها به خوبی مشاهده می شود. با مقایسه این شکل با شکل های (۵)، (۶) و (۷) مشاهده می شود که همگی از یک روند تبعیت نموده و بیانگر این واقعیت می باشد که با افزایش تخلخل، به دلیل کاهش حجم سیال ورودی، راندمان کارایی صفحه نفوذپذیر در کنترل جریان غلیظ کم می شود.

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به بررسی استفاده از صفحات مشبک برای کنترل جریان غلیظ نمکی پرداخته شد. لذا به برداشت و محاسبه دبی و غلظت جریان غلیظ در بالادست و پایین دست صفحه مشبک و

منابع

- ۱- اصغری پری، س. ا. ۱۳۸۸. بررسی اثر ارتفاع مانع بر رسوبگذاری مخزن در جریان غلیظ، رساله دکتری، رشته سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- دریایی، م.، کاشفی پور، س. م. و م. قمشی، ۱۳۹۳، بررسی آزمایشگاهی اثر شیب و زبری کف روی سرعت پیشانی و بدنه جریان غلیظ رسوبی، مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، (۳): ۳۷-۲۱.
- ۳- کاهه، م.، قمشی، م. و س. ح. موسوی جهرمی، ۱۳۹۰، بررسی آزمایشگاهی سرعت پیشروی جریان غلیظ روی سطوح زبر، مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، (۱): ۳۵-۱۰۹.
- 4- Buhler, J., Oehy, Ch., and A.J. Schleiss, 2013. Jets opposing turbidity currents and open channel flows. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 139(1):55-59.

- 5- Garcia, M.H. 1992. Turbidity currents. Encyclopedia of Earth System Science, ASCE, 4:399-408.
- 6- Leong, K. K., Mok, K. M. and H. Yeh. 2006. Fluctuation of the front propagation speed of developed gravity current. Journal of Hydrodynamics, 18(3): 351-355.
- 7- Linden, P.F. and J.E. Simpson, 1986. Gravity-driven flows in a turbulent fluid. Journal of Fluid Mechanics, 172:481-497.
- 8- Nogueira, H.I.S., Adduce, C., Alves, E., And M.J. Franca, 2013. Analysis of lock-exchange gravity currents over smooth and rough beds. Journal of Hydraulic Research, 51(4):417-431.
- 9- Ohey, C.D. and Schleiss, A.J. 2007. Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles. Hydraulic Engineering, ASCE, 133(6): 637-648.
- 10-Ohey, C.D., Cesar, G.D. and A.J. Schleiss, 2010. Effect of inclined jet screen on turbidity current. Journal of Hydraulic Research, IAHR, 48(1): 81-90.
- 11-Parker, G., Y. Fukushima and H. M. Pantin. 1986. Self-accelerating turbidity currents. Journal of Fluid Mechanics, 171:145-181.
- 12-Prinos, P. 1999. Two-dimensional density currents over obstacles. Proceedings of The 28th IAHR Congress, Graz, Austria.
- 13-Toniolo, H., Parker, G. and V. Voller, 2007. Role of ponded turbidity currents in reservoir trap efficiency. Hydraulic Engineering, ASCE, 133(6): 579-595.
- 14-Woods, A.W., Bursik, M.I. and A.V. Kurbatov, 1998. The interaction of ash flows with ridges, Bulletin of Volcanology, 60:38-51.