

## بررسی عددی تأثیر مانع دوزنقه‌ای شکل در اختلاط جریان گل آلود

سکینه صفری<sup>۱</sup>، محمد گیوه‌چی<sup>۲\*</sup>، بهاره پیرزاده<sup>۲</sup>

### چکیده

جریان‌های گل‌آلود، جریان‌های گرانشی هستند که در آنها اختلاف چگالی یا اختلاف وزن واحد حجم بین دو سیال بواسطه مواد معلق است. به واسطه فراوانی این جریان‌ها در طبیعت، شناخت و بررسی ویژگی‌ها و عوامل مؤثر بر آنها امری ضروری و اجتناب ناپذیر هستند. ایجاد مانع در مسیر جریان گل‌آلود می‌تواند بر مشخصات این جریان، از جمله میزان اختلاط و غلظت آن تأثیر داشته باشد. در این مقاله، با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D به بررسی تأثیر مانع دوزنقه‌ای شکل در ویژگی‌های جریان گل‌آلود به خصوص میزان اختلاط آن، پرداخته شده است. به منظور صحت‌سنجی، نتایج شبیه‌سازی عددی حاضر، با دستاوردهای آزمایشگاهی ناجی ابهری و همکاران (۱۳۹۴) مقایسه گردید. مشاهده شد که قرارگیری مانع دوزنقه‌ای سبب افزایش کارمایه آشفستگی در بالادست مانع به میزان حدود ۱۰۰۰ درصد، نسبت به حالت بدون مانع می‌گردد. نمودار تغییرات غلظت در عمق برای نهر بامانع و بدون مانع، حاکی از آن بود که چگالی جریان عبوری در حالت با مانع کمتر از حالت بدون مانع است. همچنین، با افزایش یک درصدی ارتفاع مانع دوزنقه‌ای، به طور میانگین ۲ درصد کارمایه آشفستگی افزایش می‌یابد، و با افزایش یک درصد زاویه ورودی مانع (زاویه مانع در جهت جریان)، به طور میانگین ۱/۳۶ درصد افزایش کارمایه آشفستگی را در پی دارد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی انجام شده با سرعت‌های مختلف بیانگر آن بودند که با افزایش یک درصدی سرعت ورودی جریان آب زلال، به طور میانگین کارمایه آشفستگی ۲/۹ درصد افزایش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** جریان گل‌آلود، مانع دوزنقه‌ای، Flow-3D، اختلاط جریان، کارمایه جنبشی آشفستگی.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری آب و سازه‌های هیدرولیکی گروه مهندسی عمران - دانشگاه سیستان و بلوچستان

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی عمران - دانشگاه سیستان و بلوچستان

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی عمران - دانشگاه سیستان و بلوچستان

\* نویسنده مسئول: M.Givehchi@eng.usb.ac.ir, 09034045032

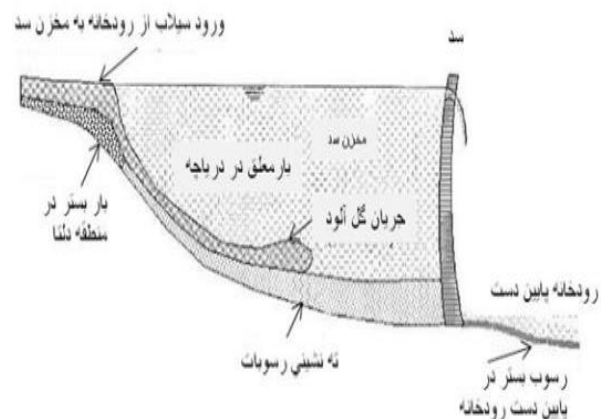
## مقدمه

ایجاد مانع در مسیر جریان گل‌آلود می‌تواند تأثیر بسزایی را در ساختار این جریان ایجاد کند. از این رو، بررسی اثر مانع در ساختار جریان گل‌آلود، به خصوص اختلاط دو جریان، امری مهم است که در این مقاله به بررسی آن پرداخته شده است.

مطالعات مختلفی به منظور بررسی جریان گل‌آلود انجام شده است که در اینجا به شماری از آنها اشاره شده است. حسینی و عبدی‌پور (۱۳۸۹) به منظور بررسی فرانسج‌های هیدرولیکی جریان گل‌آلود از شبیه‌سازی با نرم‌افزار Flow-3D کمک گرفتند. نتایج شبیه‌سازی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کردند که شبیه‌سازی عددی برای فرانسج‌های سرعت جریان، خطایی در حدود ۸ درصد و برای ارتفاع جریان، به طور متوسط خطایی در حدود ۱۴ درصد را نشان داد. سروری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) اثر همگرایی مقطع نهر را در شدت اختلاط جریان‌های غلیظ به صورت آزمایشگاهی بررسی کرده‌اند. نتایج حاکی از آن بودند که با افزایش زاویه‌ی همگرایی مقاطع، مقدارها شدت اختلاط جریان غلیظ نیز افزایش یافته است. برهمند و موسوی (۱۳۹۲)، با استفاده از نرم‌افزار FLUENT، جریان‌های شور عبوری را از روی یک بستر حاوی ناپیوستگی شیب بررسی کرده‌اند. نتایج شبیه‌سازی عددی بیانگر آن بودند که استفاده از شبیه‌آشفستگی K-E (از نوع RNG)، و شبکه‌ای با ابعاد بهینه، به خوبی می‌تواند ویژگی‌های جریان چگال شور را با توجه به مسئله‌ی شکست شیب شبیه‌سازی نماید. اصغری‌پری و محققیان (۱۳۹۳) به بررسی تأثیر ایجاد گودال‌های مهارکننده در بستر با اشکال متفاوت از جمله مستطیل، نیم‌دایره، دوزنقه، مثلث متساوی‌الساقین و مثلث قائم‌الزاویه، در مهار کردن جریان غلیظ ورودی به مخزن سد-ها پرداخته‌اند. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که ایجاد گودال حفاظتی در بستر می‌تواند هم برای جریان زیر-بحرانی و هم برای جریان فوق‌بحرانی اندازه‌ی بسیار زیادی از جریان غلیظ را مهار کند. ماروسی و همکاران (۲۰۱۵) اثر ارتفاع مانع مثلثی در جریان گل‌آلود را بر غلظت این جریان با هدف مهار کردن رسوب در مخزن، به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج این آزمایش‌ها نشان دادند که تأثیر حضور مانع در مهار کردن جریان برای شیب‌های تند نسبت به بستر افقی کمتر بود. لوبرسن و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی اثر تنگ شدگی

جریان غلیظ یا گرانشی را می‌توان ورود یک سیال با جرم مخصوص معلوم در یک توده‌ی سیال با جرم مخصوص متفاوت، به دلیل تأثیر شتاب گرانشی بر اختلاف جرم مخصوص توصیف کرد. این اختلاف چگالی بین سیال جریان غلیظ و سیال محیطی ساکن ممکن است ناشی از عوامل متعددی باشد که عبارتند از: اختلاف در دما، وجود مواد معلق، مواد جامد حل نشده و تفاوت شوری. اگر جریان غلیظ حاوی ذرات جامد معلق باشد، این جریان را جریان گل‌آلود می‌نامند.

گرچه جریان غلیظ دارای شباهت‌هایی با جریان در مجاری روباز است، اما وجود یک تفاوت اساسی این دو جریان را از هم متمایز می‌کند. این تفاوت از آنجا ناشی می‌شود که سیال محیط تأثیر کاهنده‌ای بر نیروی گرانش دارد (منصوری هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۵). وجود جریان‌های غلیظ می‌تواند مشکلاتی از قبیل رسوب‌گذاری در آبگیرها، که باعث کاهش ظرفیت ذخیره آب می‌گردد، زیان به قابلیت کشتیرانی آبگیرها، زیان به تجهیزات نیروگاه‌های برقی آبی، انسداد دریچه‌های آبگیری، به وجود آورد. در شکل ۱ جریان چگال و قسمت‌های مختلف آن نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود یک جریان چگال از دو بخش پیشانی و بدنه تشکیل شده است. بدنه‌ی جریان چگال بخشی شبه یکنواخت جریان بوده و جریان در آن تقریباً دائمی می‌باشد. در واقع تغییرات زمانی و مکانی سرعت در بدنه جریان ناچیز است، بخش دیگر پیشانی که جریان در آن به صورت غیردائمی بوده و ارتفاع تقریباً ۲ برابر بدنه‌ی جریان است (حسینی و عبدی‌پور، ۱۳۸۹).



شکل ۱- یک جریان گل‌آلود پیوسته در آبگیر سد (حسینی و عبدی‌پور، ۱۳۸۹).

بود. همچنین تأثیر آرایش موانع در محدوده‌ی جریان بحرانی به شدت کاهش یافت.

ترابی و همکاران (۱۳۸۶)، به بررسی تأثیر تغییرات میزان گذر جریان غلیظ و شیب بستر در اندازه‌ی پخش و پراکندگی و سرعت جبهه‌ی جریان غلیظ و اندازه‌ی اختلاط در یک مقطع واگرا پرداختند. فرانسج‌های ارتفاع و سرعت جبهه جریان، سرعت بدنه‌ی جریان اصلی و عدد ریچاردسون به صورت اعداد بی‌بعد تعیین، و به طور جداگانه بررسی شدند. اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان دادند که میزان اختلاط در بدنه‌ی جریان غلیظ در مقطع واگرا نسبت به مقطع ثابت با شدت بیشتری انجام می‌گیرد.

محققین خصوصیات جریان گل‌آلود را از جنبه‌های مختلفی از جمله سرعت، غلظت و چگالی بررسی کرده‌اند. آنچه در تحقیقات گذشته کمتر به آن توجه شده است بررسی اثر مانع، به ویژه مانع دوزنقه‌ای شکل، در ویژگی‌های جریان گل‌آلود است. در پژوهش حاضر، با استفاده از یک شبیه‌سازی عددی به بررسی تأثیر مانع دوزنقه‌ای شکل در ویژگی‌های جریان گل‌آلود به ویژه میزان اختلاط آن، پرداخته شده است. روش عددی انتخابی، نرم‌افزار Flow-3D می‌باشد.

### شبیه‌سازی عددی

به منظور شبیه‌سازی جریان گل‌آلود در این مقاله، نرم‌افزار عددی Flow-3D به کار گرفته شده است. نرم‌افزار یاد شده یکی از نرم‌افزارهای قوی در زمینه‌ی پویایی سیالات است که قابلیت تحلیل یک، دو و سه‌بعدی میدان جریان را دارد (واقفی و همکاران، ۱۳۹۴). در Flow-3D معادلات حاکم بر حرکت سیال را با استفاده از تقریبات حجم محدود حل می‌کند. محیط جریان به شبکه‌هایی با سلول‌های مستطیلی ثابت تقسیم می‌شود که برای هر سلول مقادیر میانگین کمیت‌های وابسته وجود دارد (حق‌آبی و همکاران، ۱۳۹۵). در این نرم‌افزار از دو روش عددی برای شبیه‌سازی سطوح استفاده می‌شود: ۱- روش حجم سیال (VOF): برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد. ۲- روش کسر مساحت- حجم مانع (FAVOR) برای شبیه‌سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزها کاربرد دارد (واقفی و همکاران، ۱۳۹۴).

مقطع با قرارگیری مانع به عنوان راه حل تمرکز ذرات معلق پرداختند. نتایج نشان دادند که وجود مانع اثر متقابل در افزایش غلظت دارد. در واقع مانع توان تأثیر را در غلظت جریان حاوی ذرات دارد. ورجاوند و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر زبری مصنوعی بستر را بر جریان شور و چگال بررسی کردند. نتایج بیانگر آن بودند که حضور مانع باعث افزایش غلظت، کاهش بیشینه‌ی سرعت و افزایش فاصله نقطه‌ی اوج سرعت از بستر، شده بود. ناجی ابهری و همکاران (۱۳۹۴) در کاری آزمایشگاهی تأثیر حضور مانع مثلثی شکل را بر سازوکار حرکت جریان‌های گل‌آلود، بررسی قرار کردند. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن بودند که وجود مانع سبب کاهش میانگین سرعت پیشروی جریان گل‌آلود در طول نهر، تا ۳۵ درصد شده است. یعقوبی و همکاران (۲۰۱۷)، اثر غلظت ورودی را بر رفتار جریان‌های گل‌آلود در حضور دو مانع مثلثی متوالی به صورت تجربی بررسی کردند. بررسی نیم‌رخ غلظت و سرعت نشان داد که با افزایش غلظت ورودی، یک منطقه با سرعت ناچیز و غلظت بیشتر نسبت به حالت قبلی، در بالادست هر مانع توسعه یافته که با افزایش بیشتر، این منطقه بزرگتر می‌شود. کشتکار و همکاران (۱۳۹۶)، در کاری آزمایشگاهی به بررسی ارتفاع مانع در سرعت جریان گل‌آلود پرداختند. بررسی نیم‌رخ‌های بی‌بعد شده‌ی سرعت حاکی از این است که وجود مانع در مسیر جریان باعث کاهش غلظت جریان گل‌آلود عبوری از روی مانع گشته، و با افزایش ارتفاع مانع، عملکرد آن در جهت تنظیم رسوب‌گذاری جریان بیشتر شده است.

طباطبائی و همکاران (۱۳۹۶)، در کاری آزمایشگاهی به بررسی اثر شیب بستر و آرایش موانع بر ارتفاع پیشانی، سرعت پیشانی و عدد فرود جریان غلیظ پرداختند. آزمایش‌ها در نهر به طول ۱۰ متر و در سه شیب ۰، ۱ و ۲ درصد با آرایش همگراهای مشابه، واگرا-های مشابه، موازی، Z شکل، کنگره‌ای و شطرنجی در دو غلظت ۴۰ و ۸۰ گرم بر لیتر انجام شدند. نتایج حاکی از آن بودند که به ترتیب آرایش همگراهای مشابه، شطرنجی، واگراهای مشابه، کنگره‌ای، موازی و Z شکل بیشترین تأثیر را بر مشخصه‌های هیدرولیکی جریان غلیظ داشته‌اند. تأثیر آرایش‌های مختلف موانع بر مشخصه‌های هیدرولیکی جریان غلیظ در بستر بدون شیب بیشتر از بستر شیب‌دار

## معادله‌های حاکم

به طور کلی، معادله پیوستگی جرم به صورت زیر است:

$$(1)$$

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) + \xi \frac{\partial \rho u A_x}{x} = 0$$

که  $V_F$  کسر حجمی جریان،  $\rho$  چگالی سیال است. اجزاء سرعت  $(u, v, w)$  در جهات  $(x, y, z)$  یا  $(r, \theta, z)$  هستند.  $A_x, A_y, A_z$  برابر کسرهای سطحی برای جریان در جهتهای  $x, y$  و  $z$  است و مقدار ضرایب  $\xi$  و  $R$  بستگی به نوع سامانه‌ی مختصات دارد و در مختصات کارتزین  $\xi=0$  و  $R=1$  (آندرسون<sup>۱</sup>، ۱۹۹۵).

معادلات حرکت ناویر-استوکس سیال با مولفه‌های سرعت  $(u_x, u_y, u_z)$  در مختصات سه بعدی به شکل زیر نمایش داده می‌شود (آندرسون، ۱۹۹۵):

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial u_i}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial u_i}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u_i}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial i} + G_i + f_i \quad (2)$$

در این معادلات  $(G_x, G_y, G_z)$  جمله‌های شتاب جرم،  $(f_x, f_y, f_z)$  جمله‌های شتاب لزج،  $i$  سه راستای  $x, y, z$  و  $z$  است.

از آنجا که هدف اصلی در این تحقیق بررسی اختلاط بوده و شبیه‌آشفنگی RNG توانایی خوبی در شبیه‌سازی جریان‌های چرخشی و جریان‌های ثانویه دارد (دیوربین و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰)، در نتیجه این مدل آشفنگی برای شبیه‌سازی انتخاب شده است.

## نحوه شبیه‌سازی

مراحل شبیه‌سازی جریان گل آلود در مطالعه‌ی حاضر به شرح زیر اند:

۱- ایجاد مدل سه بعدی: از نهر پایه‌دار آزمایشگاهی که در شکل ۲ نشان داده شده است (Flow-3D Help).

۲- شبکه‌بندی مدل: یکی از حساس‌ترین مراحل شبیه‌سازی انتخاب شبکه مناسب برای شبیه‌سازی کردن هندسه مطلوب است. این شبکه باید بر اساس تحلیل حساسیت برای ابعاد آن، در هر شبیه‌سازی انتخاب گردد. در این تحقیق شبیه‌سازی با اندازه‌های شبکه ۲، ۳ و ۱/۵ سانتی‌متر، و ترکیبی از دو اندازه‌ی شبکه ۳ و ۲ سانتی-

متر انجام شد، که با توجه به زمان شبیه‌سازی و توانایی شبیه کردن مانع در مسیر جریان شبکه مناسب انتخاب گردید. شبکه بهینه انتخابی در این شبیه‌سازی، شبکه ۳ سانتی‌متری برای ابتدا و انتهای نهر و ۲ سانتی‌متری برای فاصله‌ی ۳ تا ۵ متری از ورودی نهر می‌باشد.

۳- ویژگی‌های سیال: در شبیه‌سازی دو سیال تعریف شدند یکی آب ساکن با چگالی  $998/53 \text{ kg/m}^3$  و لزجت  $1/014 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$  و چگالی جریان گل آلود متناسب با غلظت ۳ گرم برلیتر،  $1001/869 \text{ kg/m}^3$  می‌شود.

۴- اعمال شرایط مرزی: شرایط مرزی برای هر یک از مرزها به صورت جداگانه به شرح زیر تعریف می‌شود:

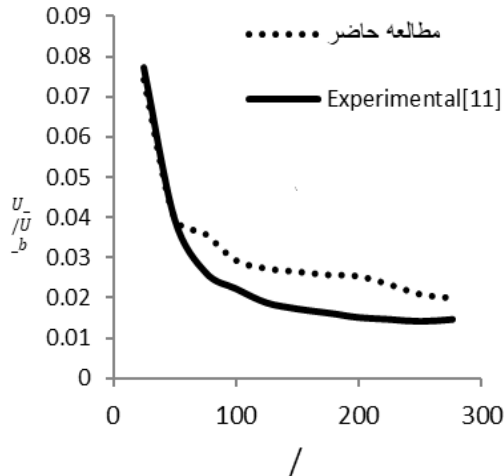
- ورودی نهر: سرعت ثابت
- خروجی نهر: بار هیدرولیکی ثابت
- کف نهر و دیواره‌های کناری نهر: دیوار
- سطح آزاد: تقارن

## نمونه‌ی آزمایشگاهی

در این پژوهش به منظور صحت‌سنجی نتایج شبیه‌سازی عددی از نتایج کار آزمایشگاهی ناجی‌ابهری و همکاران در سال ۱۳۹۴ بهره‌وری شده است. در این آزمایش‌ها، برای تأمین جریان گل آلود آبگیر استوانه‌ای شکل را با حجم ۳ متر مکعب در بالادست نهر و در ارتفاع ۳/۵۶ متری از سطح زمین نصب کردند. از کائولین به عنوان مواد معلق موجود در جریان گل آلود استفاده گردید. این کائولین دارای چگالی مخصوص ۲/۶۵ و قطر متوسط ۵ میکرون است. آزمایش‌ها در نهر پایه‌داری به طول ۱۱ متر، عرض ۰/۶ متر، ارتفاع یک متر و با شیب طولی ۰/۲۵ درصد انجام گرفتند. شکل ۲، قسمت الف، نمایی را از نهر پایه‌دار آزمایشگاهی نمایش می‌دهد (ناجی‌ابهری و همکاران، ۱۳۹۴). در این نهر مانع مثلثی شکلی در مسیر جریان تعبیه شده بود تا اثر آن در ویژگی‌های جریان بررسی شود. جزئیات مانع در شکل ۲ قسمت ب، نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Anderson

<sup>2</sup> Durbin et al

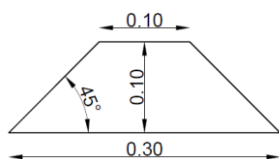


شکل ۳- مقایسه تغییرات سرعت پیشانی در طول نهر

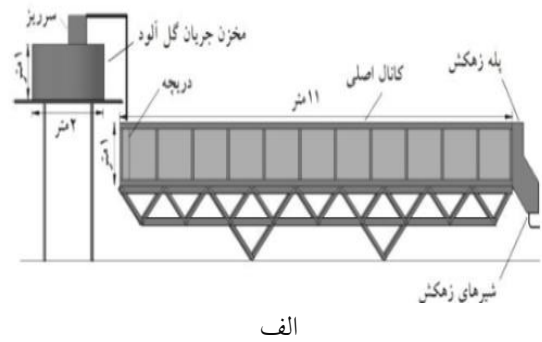
در شکل ۳،  $h_0$  ارتفاع بازشدگی ورودی جریان چگال تر،  $x$  طول نهر،  $U_f$  سرعت پیشانی جریان و  $U_b$  سرعت شناوری است که به صورت  $U_b = (h_0 g)^{1/2}$  تعریف می شود. رابطه  $g' = g (\rho_{mix} - \rho_w / \rho_w)$  برای به دست آوردن گرانیوی کاهش یافته استفاده می شود که در آن  $\rho_{mix}$  چگالی مخلوط ورودی،  $\rho_w$  چگالی آب صاف و  $g$  شتاب گرانش زمین است (ناجی ابهری و همکاران، ۱۳۹۴).

خطای متوسط در روند شبیه سازی کمتر از ۳۰ درصد است. از آنجا که برای اندازه گیری سرعت در آزمایشگاه فقط از یک راستا در مقطع عرضی، و همچنین از ۶ مقطع در طول نهر استفاده شده است، و این تعداد نقاط اندازه گیری نمی توانند به دقت سرعت بیشینه را تخمین بزنند، بنابراین وجود خطا دور از انتظار نیست. از عوامل دیگر می توان از خطای ناشی از اندازه گیری نام برد.

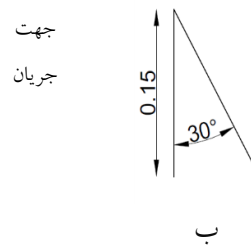
مقایسه ی نتایج خروجی نرم افزار یاد شده با نتایج آزمایشگاهی، نشان دهنده ی توانایی نرم افزار در شبیه سازی جریان گل آلود است. سپس به جای مانع مثلی در مطالعه ی آزمایشگاهی مرجع، مانعی دوزنقه ای با ابعاد نشان داده شده در شکل ۴، قرار داده شد و مجدداً نهر شبیه سازی گردید.



شکل ۴- مشخصات مانع دوزنقه ای شکل



الف



شکل ۲- الف) مشخصات نهر پایه دار آزمایشگاهی، ب) مانع مثلی شکل در نهر پایه دار آزمایشگاهی (ناجی- ابهری و همکاران، ۱۳۹۴).

نتایج اوهی و همکاران (۲۰۰۸) درباره ی ارتفاع مانع حاکی از آن بودند که اگر ارتفاع مانع حداقل دو برابر ارتفاع جریان گل آلود نزدیک شونده باشد، وجود مانع تأثیر قابل ملاحظه ای را خواهد داشت. این نتایج مبنای انتخاب اولیه ی ارتفاع مانع قرار گرفتند چون ارتفاع جریان گل-آلود در این شبیه سازی ها ۰/۰۴ متر است ارتفاع مانع بیشتر از ۰/۰۸ متر در نظر گرفته شده است.

### تجزیه و تحلیل نتایج

#### تأثیر قرار گرفتن مانع در مسیر جریان

در راستای اهداف این تحقیق، ابتدا با نرم افزار Flow-3D نهر بدون مانع شبیه سازی شده است. در مرحله ی بعد، نهر آزمایشگاهی با مانع مثلی مطابق با مطالعه ی مرجع صحت سنجی شد (ناجی ابهری و همکاران، ۱۳۹۴). در شکل ۳ نیمروخ تغییرات سرعت پیشانی جریان چگال تر در راستای طول نهر، حاصل از شبیه سازی با نرم افزار Flow-3D با کار آزمایشگاهی مقایسه شده است.

با مقایسه‌ی دو شکل ۵ و ۶ مشاهده می‌شود که حضور مانع تأثیر چشم‌گیری را در افزایش ارتفاع متوسط جریان گل‌آلود دارد. در محدوده‌ی پیرامون مانع (حدود یک متر بعد از آن) افزایش ۷۰ درصدی در مقدار متوسط ارتفاع جریان گل‌آلود مشاهده می‌گردد.

در جدول ۱ مقایسه‌ای عددی بین کارمایه آشفستگی در نهر بدون مانع و با مانع انجام شده است. مشاهده می‌شود که مقدار افزایش کارمایه آشفستگی در مقاطع مختلف در طول نهر با مانع، نسبت به نهر بدون مانع بسیار چشمگیر است. بیشینه درصد افزایش کارمایه جنبشی آشفستگی تحت تأثیر وجود مانع، به میزان تقریباً ۱۰۰۰ درصد است.

جدول ۱- مقایسه کارمایه آشفستگی بیشینه در نهر با مانع

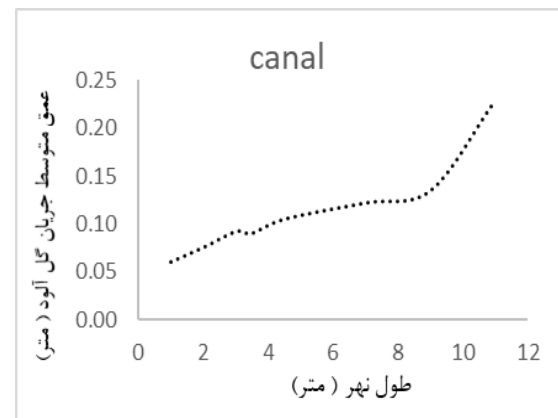
و بدون مانع

فاصله از ورودی نهر	کارمایه آشفستگی برای نهر با مانع (ژول)	کارمایه آشفستگی بیشینه برای نهر بدون مانع (ژول)	درصد اختلاف
۱/۰۰۵	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۹	۰
۱/۹۹۵	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۰۲	۰/۴۱۴
۳/۰۱	۰/۰۰۳۰۱	۰/۰۰۰۳۰	۱/۱۷
۳/۹۹	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۴	۶۳/۹۷
۴/۲۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱۳	۱۳۲/۳۱
۴/۴۸	۰/۰۱۴۷	۰/۰۰۱۲۵	۱۰۷۶
۶/۰۰۵	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۱۱	۲۴۶/۰۹
۶/۹۹۵	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۱۱۳	۱۱۴/۱۶
۷/۹۸۵	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۱۲	۴۳/۷۵
۹/۰۰۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۱	۶۰/۹۱
۹/۹۹۶	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۰۳	۴۱/۷۵
۱۰/۵	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۳۵	۵/۳

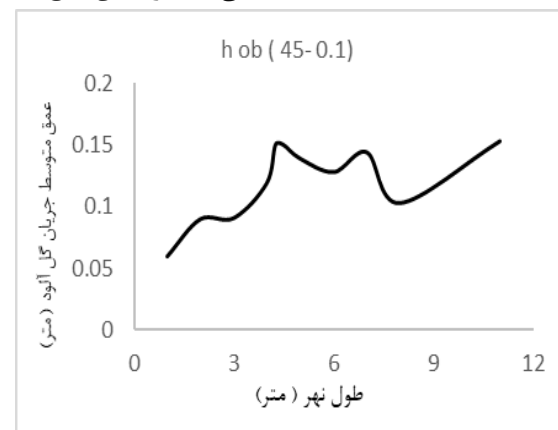
در شکل ۷ مقایسه‌ای بین تغییرات کارمایه آشفستگی در راستای عمق جریان برای مقاطعی مختلفی از طول کارمایه انجام گردیده است. مقدار کارمایه آشفستگی بیشینه در مقاطع مختلف از طول نهر، در نزدیکی کف نهر و در فصل مشترک جریان گل‌آلود و آب زلال، رخ

در هر دو شبیه‌سازی انجام شده برای نهر با مانع و بدون مانع، سرعت و اندازه‌ی شبکه و سایر مشخصات یکسان در نظر گرفته شدند. از میان خروجی‌های نرم‌افزار Flow-3D مقدار کارمایه آشفستگی و چگالی برای بررسی اختلاط دو جریان، انتخاب گردید.

شکل‌های ۵ و ۶ تغییرات ارتفاع متوسط جریان گل‌آلود برای دو حالت نهر با مانع و نهر بدون مانع به صورت جداگانه رسم گردیده است. از آنجا که با دور شدن از محل ورود جریان غلیظ، تداخل سیال پیرامون به داخل جریان غلیظ بیشتر شده و از نیروی رانش کاسته می‌شود، در نتیجه، ارتفاع جریان در طول نهر روندی افزایشی دارد (طباطبائی و همکاران، ۱۳۹۶).



کل ۵- بیشینه کارمایه آشفستگی در نهر بدون مانع

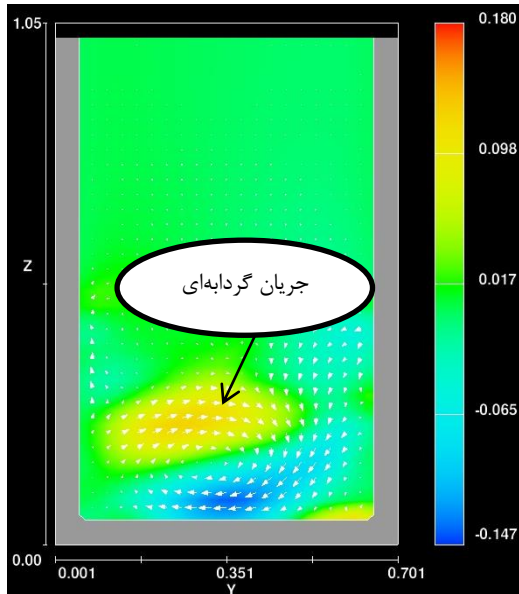


شکل ۶- مقدار بیشینه کارمایه آشفستگی در مقاطع

طولی نهر با مانع

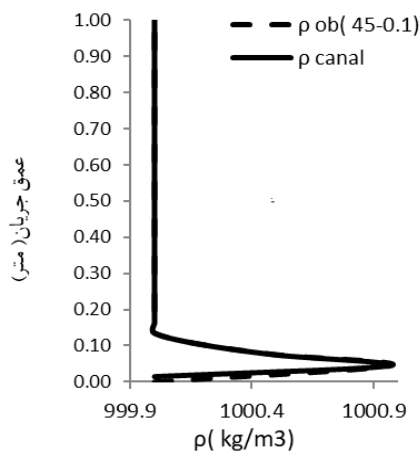
مطابق با شکل ۶، پس از برخورد جریان گل‌آلود با مانع، تنش برشی افزایش یافته و گردابه‌های عرضی و ناپایداری‌های کلوین پدید می‌آیند که باعث افزایش اختلاط جریان گل‌آلود و جریان پیرامون شده و ارتفاع ناحیه اختلاط بین دو سیال بیشتر می‌گردد.





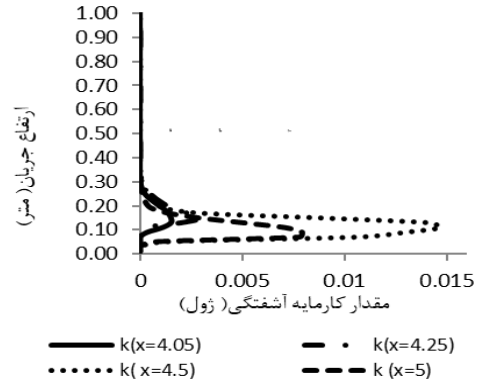
شکل ۹- مقطع طولی در مقطع  $x=4/5$  برای نهر با مانع

اختلاط دو جریان گل آلود و آب زلال باعث بروز تغییراتی در چگالی جریان می‌شود. جریان گل آلود ورودی با چگالی  $1001/89$  کیلوگرم بر متر مکعب، بر اثر ورود آب زلال به داخل آن کاهشی را در چگالی نشان می‌دهد که این نشان از اختلاط دو جریان دارد. شکل ۱۰ تغییرات چگالی را برای نمونه در دو مقطع از نهر نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رود، قبل از مانع نمودار چگالی جریان در دو نهر با مانع و بدون مانع مطابق بر هم هستند؛ در واقع این پدیده بیانگر آن است که دو نهر قبل از مانع دارای شرایط یکسانی هستند. وجود مانع در نمودار چگالی جریان مانند نمودار کارمایه آشفتگی تغییراتی مشهود را ایجاد می‌کند.



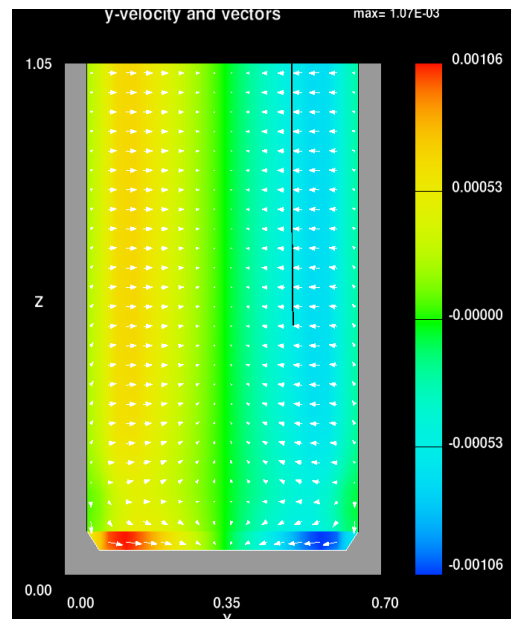
الف)  $x = 1$

می‌دهد. این نتایج کاملاً با نتایج فیروزآبادی و همکاران (۱۳۸۷) هم‌خوانی دارند.

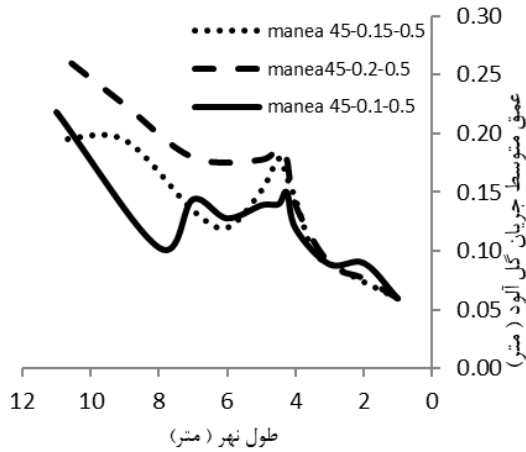


شکل ۷- تغییرات مقدار کارمایه آشفتگی برای نهر با مانع در مقاطع مختلف از نهر

در شکل‌های ۸ و ۹ خروجی دوبعدی مقاطعی طولی از نهر، برای خروجی سرعت در راستای  $y$  نرم‌افزار Flow-3D ارائه شده است. برای مقایسه بهتر، خروجی برای نهر با مانع و بدون مانع به صورت جداگانه انتخاب شده است. در شکل ۹ مشاهده می‌شود که برای نهر با مانع در تصویر جریان‌های گردابه‌ای وجود دارد، در حالی که در نهر بدون مانع (شکل ۸) جریان با حالت قبل از مانع به حرکت خود ادامه می‌دهد. این جریان‌های گردابه‌ای می‌توانند اختلاطی را بین دو جریان ایجاد نمایند.

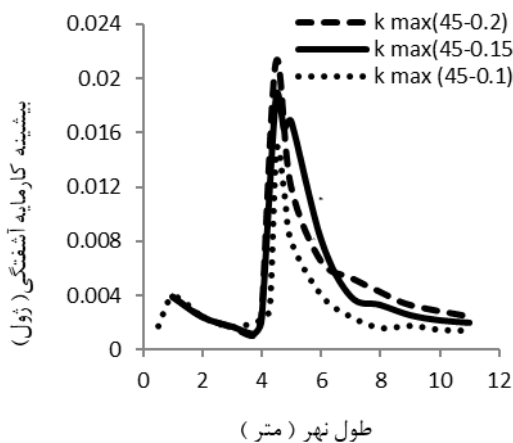


شکل ۸- مقطع طولی در مقطع  $x=4/5$  برای نهر بدون مانع



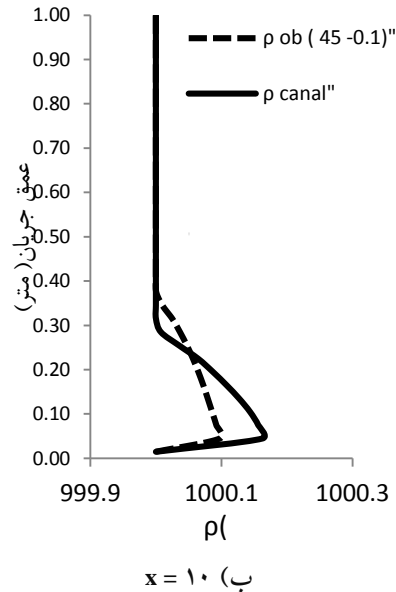
شکل ۱۲- تغییرات متوسط ارتفاع جریان گل‌آلود در طول نهر دارای مانع با ارتفاع‌های مختلف

در شکل ۱۳، مقدارهای بیشینه کارمایه آشفتگی برای سه مانع یاد شده آورده شده‌اند. مشاهده می‌گردد که اندازه‌های کارمایه آشفتگی قبل از مانع در سه شبیه‌سازی تقریباً بر هم منطبق هستند، اما بعد از مانع، اندازه‌های تفاوت در مقدارهای کارمایه آشفتگی بیشتر می‌باشد. مقدار کارمایه آشفتگی در نهر با ارتفاع ۰/۲ متر، بیشتر از مقدار کارمایه آشفتگی در مانع با سایر ارتفاع‌ها است. می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزایش ارتفاع مانع باعث افزایش کارمایه آشفتگی جریان عبوری از مانع می‌گردد.



شکل ۱۳- تغییرات کارمایه آشفتگی بیشینه در طول نهر برای مانع با ارتفاع‌های مختلف

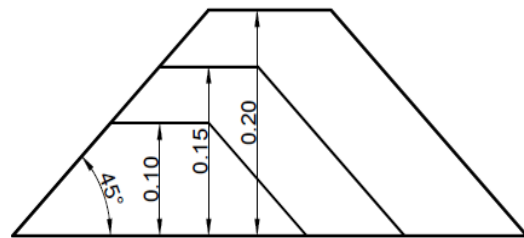
برای بیان واضح‌تر مقدار افزایش کارمایه آشفتگی با تغییر ارتفاع، شبیه‌سازی انجام شده با ارتفاع ۰/۱ را به عنوان مبنای مقایسه در نظر گرفته و سایر شبیه‌سازی‌ها با آن مقایسه کردند. جدول ۲، خلاصه‌ای از نتایج این مقایسه عرضه گردیده‌اند، که نشان‌دهنده‌ی افزایش دو



شکل ۱۰- تغییرات چگالی نسبت به عمق در مقطع طولی (الف)  $x=1$  (ب)  $x=10$

### تأثیر تغییر ارتفاع مانع بر خصوصیات جریان

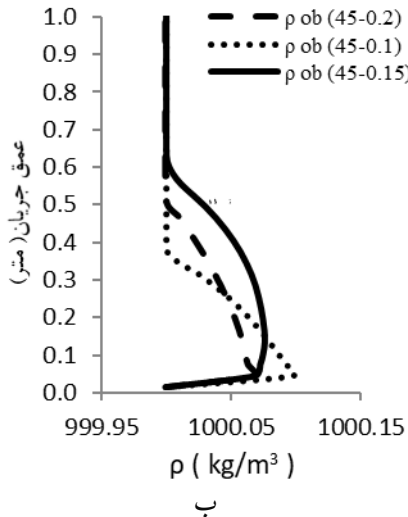
در این قسمت سعی شده است تا تأثیر تغییر ارتفاع مانع در اختلاط جریان گل‌آلود بررسی گردد. بدین منظور، سه مانع با ارتفاع‌های مختلف انتخاب گردیدند که در شکل ۱۱ مشخصات آنها ذکر گردیده‌اند.



شکل ۱۱- تغییرات ارتفاع مانع در زاویه ثابت ۴۵ درجه

در شکل ۱۲ مقایسه‌ای بین متوسط ارتفاع جریان گل‌آلود در حضور موانعی با ارتفاع‌های مختلف صورت گرفته است. نمودار نشان می‌دهد که مانع با ارتفاع بیشتر باعث افزایش زیادتر متوسط عمق جریان گل‌آلود شده است؛ در نتیجه، میزان اختلاط در این حالت بیشتر است.





شکل ۱۴- تغییرات چگالی نسبت به عمق در مقاطع

الف)  $x=1$ ، ب)  $x=1.0$

### تأثیر تغییر زاویه مانع در خصوصیات جریان

از دیگر اهداف این پژوهش، بررسی اثر تغییر در زاویه مانع در چگونگی اختلاط جریان گل‌آلود با آب زلال است. بدین منظور، سه مانع دوزنقه‌ای در نظر گرفته شده‌اند که در آنها فراسنج متغیر فقط زاویه هست. مشخصات سه مانع در زیر آمده‌اند:

- مانع دوزنقه‌ای شکل با ارتفاع ۰/۱ متر و زاویه ۴۵ درجه (ob 45-0.1)

- مانع دوزنقه‌ای شکل با ارتفاع ۰/۱ متر و زاویه ۶۰ درجه (ob 60-0.1)

- مانع دوزنقه‌ای شکل با ارتفاع ۰/۱ متر و زاویه ۷۵ درجه (ob 75-0.1)

برای سه مانع به طور جداگانه تغییرات متوسط عمق جریان گل‌آلود در طول نهر رسم گردید. مقایسه‌ی نمودارها حاکی از آن بود که با افزایش زاویه مانع، اختلاط دو جریان نیز افزایش می‌یابد.

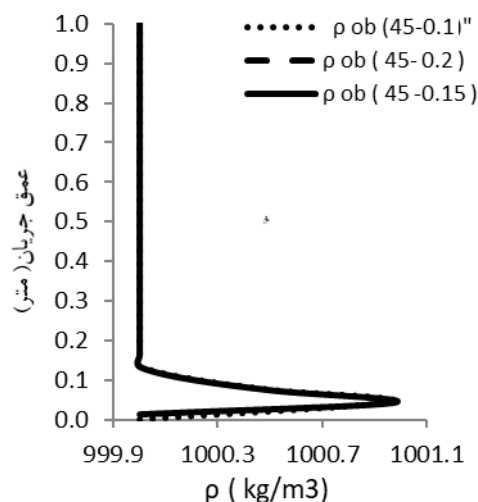
شکل ۱۵، تغییرات بیشینه کارمایه آشفستگی در طول نهر برای سه مانع نمایش می‌دهد. مشاهده می‌شود که افزایش زاویه مانع، باعث افزایش بیشینه کارمایه آشفستگی گردیده است. یکی از دلایل پدیده مشاهده شده می‌تواند این باشد که با نزدیک شدن دیواره‌ی شیبدار به دیواره‌ی قائم (افزایش زاویه)، خطوط جریان بعد از برخورد با مانع، فرصت تغییرات متناسب با هندسه‌ی مانع را پیدا نکرده، و در نتیجه، انحنای خطوط بیشتر شده است. با بیشتر شدن انحنای خطوط، اختلاط و در نتیجه آشفستگی

درصدی کارمایه آشفستگی تحت تأثیر افزایش یک درصدی ارتفاع مانع است.

جدول ۲- خلاصه نتایج تأثیر افزایش ارتفاع بر مقدار بیشینه کارمایه آشفستگی

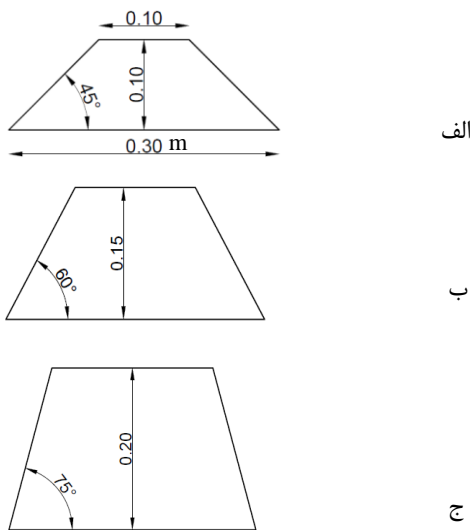
درصد افزایش	درصد افزایش	شیب‌سازی
کارمایه جنبشی آشفستگی	ارتفاع	
۱۱۴	۵۰	k max ob (45-0/15 -0/5)
۱۶۳	۱۰۰	k max ob (45-0/2-0/5)

بررسی نیمروخ تغییر چگالی در عمق، که در شکل ۱۴ ارائه شده است، نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع بیشینه چگالی نیز کاهش می‌یابد. که این مطلب خود می‌تواند حاکی از اختلاط بیشتر دو جریان است (کشتکار و همکاران، ۱۳۹۶). بررسی نمودار چگالی نشان دهنده‌ی آن است که در مقطع قبل از مانع ( $x=1$ )، چگالی برای هر سه مانع یکسان بوده و تقریباً مانع نقشی در جریان نداشته است. اما در مقاطع بعد از مانع ( $x=1.0$ )، اثر آن در نمودار تغییرات چگالی نسبت به عمق قابل مشاهده است. با افزایش ارتفاع مانع، جریان با چگالی کمتر و یا به عبارت دیگر با غلظت کمتر از مانع عبور می‌کند. این نتیجه با نتایج کار ماروسی و همکاران (۱۳۸۸) هم‌خوانی دارند.



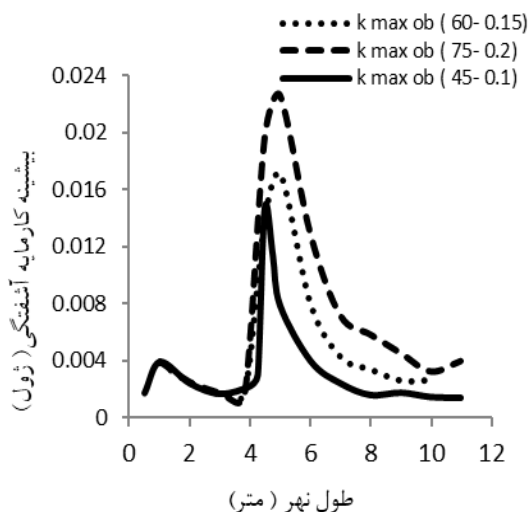
الف

در موانع دوزنقه‌ای شکل، علاوه بر تغییر در ارتفاع، زاویه-ی آن نیز تغییر داده شد. در شکل ۱۶، مشخصات موانع قابل مشاهده هستند.



شکل ۱۶- مشخصات مانع الف) ۴۵ درجه ب) ۶۰ درجه ج) ۷۵ درجه

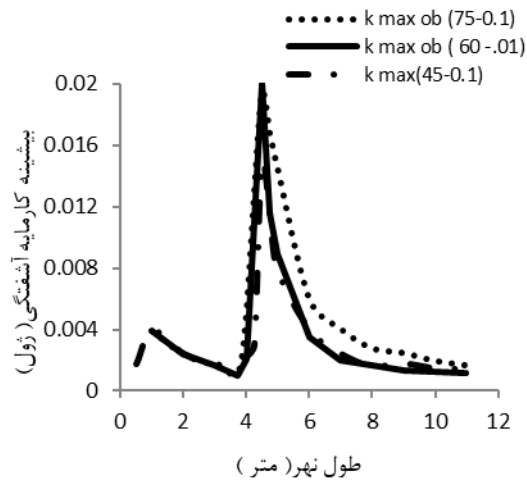
تغییر مقدار کارمایه آشفستگی می‌تواند بیانگر تغییرات میزان اختلاط باشد. شکل ۱۷، تغییرات بیشینه مقدار کارمایه آشفستگی را نشان می‌دهد که با افزایش زاویه و ارتفاع در هر مرحله، نسبت به مرحله‌ی قبل بیشینه کارمایه آشفستگی افزایش می‌یابد.



شکل ۱۷- تغییرات بیشینه کارمایه آشفستگی در طول نهر برای موانع مختلف

به منظور بررسی تغییرات اختلاط دو جریان آب زلال و آب گل‌آلود، تغییرات چگالی نیز بررسی گردید. در این بند تأثیر تغییر هم‌زمان زاویه و ارتفاع بر چگالی

افزایش می‌یابد. مقایسه‌ی عددی نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان دهنده‌ی آن بود که با افزایش یک درصد زاویه‌ی ورودی مانع، متوسط ۱/۳۶ درصد افزایش کارمایه آشفستگی را در پی داشته است.



شکل ۱۵- تغییرات بیشینه کارمایه آشفستگی در طول نهر برای مانع با زاویه‌های مختلف

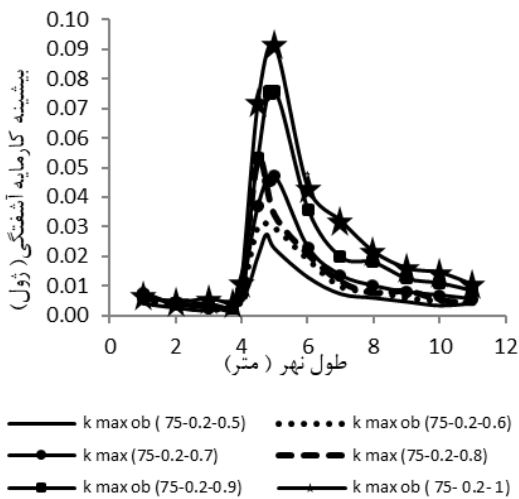
تغییرات چگالی یکی دیگر از پارامترهای بررسی شده در روند تحقیق بود. انتظار می‌رفت که تغییرات چگالی در مقطع قبل از مانع برای هر سه مانع تقریباً یکسان باشد، اما اختلاف در بین موانع در فاصله‌ی بعد از مانع مشخص می‌شود. در واقع بعد از مانع، چون وجود مانع در چگالی جریان اثر گذاشته و جریان عبوری از آن دارای چگالی کمتری نسبت به جریان ورودی بود، این اختلافات بیشتر شده است. کاهش چگالی بیانگر کاهش غلظت جریان عبوری است، که این نتیجه از شبیه‌سازی عددی با کار سایر محققین از جمله عادل و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد. بعد از مانع، علاوه بر مشاهده‌ی کاهش چگالی، ارتفاع جریان گل‌آلود به دلیل کاهش کارمایه جنبشی افزایش را نشان می‌دهد.

### تأثیر هم‌زمان تغییر در زاویه و ارتفاع مانع بر ساختار جریان گل‌آلود

در بخش‌های قبل به بررسی اثر تغییر در زاویه و ارتفاع مانع به صورت جداگانه بر اندازه اختلاط جریان گل‌آلود پرداخته شد. مشاهده گردید که این تغییرات باعث افزایش میزان اختلاط جریان گل‌آلود و جریان آب زلال شده‌اند. در این قسمت سعی بر آن است تا تأثیر تغییرات هم‌زمان زاویه و ارتفاع بررسی شود. بدین منظور

یکی از فراسنج‌های متغیر در ورودی نهرها، مقدار بدهی ورودی جریان، چه آب زلال و چه گل‌آلود است. از آنجا که اندازه‌ی بدهی می‌تواند تأثیر بسزایی بر مشخصات جریان عبوری داشته باشد، در نتیجه، نادیده رفتن اثر این فراسنج جایز نیست، بدین منظور، نهر با مانع ذوزنقه‌ای با زاویه‌ی ۷۵ درجه و ارتفاع ۰/۲ متر، به صورت جداگانه با سرعت‌های متفاوت آب زلال بین ۰/۵ تا ۱ متر بر ثانیه شبیه‌سازی گردید.

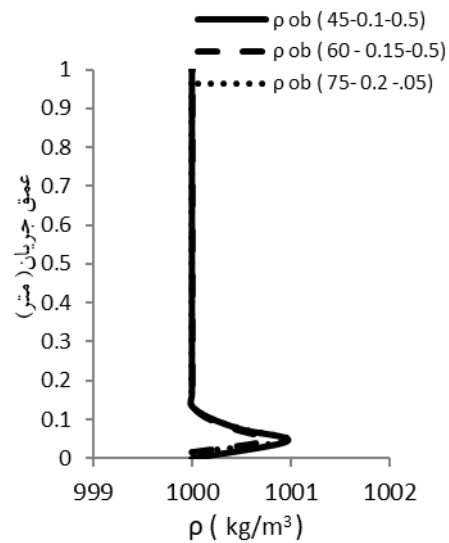
شکل ۱۹، تغییرات کارمایه آشفستگی بیشینه را در سرعت‌های مختلف نشان می‌دهد. در این شکل مشخصات هر شبیه‌سازی به اختصار ذکر شده است. به عنوان مثال،  $k_{max\ ob} (75-0.2-0.5)$  این گونه تعریف می‌گردد: کارمایه آشفستگی بیشینه برای نهر با مانع (ob) ذوزنقه‌ای با زاویه‌ی ۷۵ و ارتفاع ۰/۲ و سرعت ورودی برابر با ۰/۵ متر بر ثانیه می‌باشد. شکل ۱۹ بیانگر آن است که افزایش سرعت (به عبارت دیگر افزایش بدهی ورودی)، باعث افزایش آشفستگی در جریان شده است. این افزایش آشفستگی خود دلیلی بر افزایش میزان اختلاط جریان چگال و آب زلال می‌باشد.



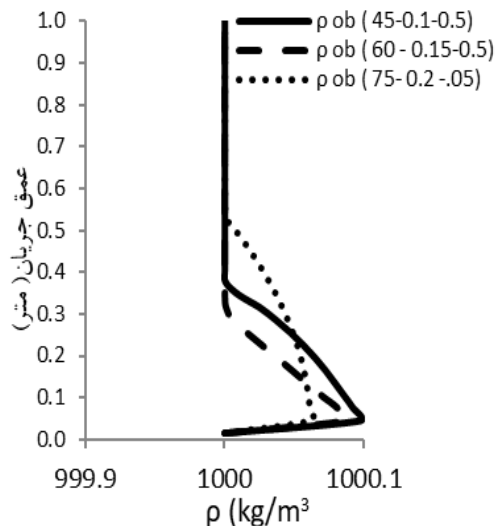
شکل ۱۹- تغییرات بیشینه کارمایه آشفستگی در طول نهر با مانع ذوزنقه‌ای ۷۵ درجه در سرعت‌های مختلف.

مقایسه‌ی عددی بین نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده با سرعت‌های مختلف، بیانگر آن است که هرچه درصد افزایش سرعت بیشتر می‌شود مقدار افزایش بیشینه کارمایه آشفستگی نیز افزایش می‌یابد. در حالت کلی می‌توان گفت، افزایش یک درصدی سرعت ورودی میزان کارمایه آشفستگی را به طور میانگین ۲/۹ درصد

بررسی گردید. وجود مانع شرایطی را فراهم کرد تا جریان عبوری از آن دارای چگالی کمتری باشد. در شکل ۱۸، مشاهده می‌شود که چگالی جریان قبل از مانع برای هر سه مانع بر هم منطبق هستند، اما بعد از مانع، جریان تحت تأثیر وجود مانع قرار گرفته و بیشینه چگالی آن کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که بیشینه مانع ذوزنقه‌ای ۶۰ درجه کمتر از مانع ۴۵ درجه، و بیشینه مانع ۷۵ درجه کمتر از مانع ۶۰ درجه است.



الف



ب

شکل ۱۸- تغییرات چگالی نسبت به عمق در دو مقطع

(الف)  $x=10$  (ب)  $x=10$

تأثیر تغییرات بدهی ورودی بر میزان اختلاط جریان

Journal of Water Resources Engineering. 7 (23): 1-12 (In Persian).

2) Barahmand, n. And Mousavi, S. R. 2014. Comparison of different turbulence simulations in order to properly simulate dense currents in the vicinity of the bed slope reduction. Journal of Water Resources Engineering, 6 (16): 79-93 (In Persian).

3) Hosseini, A. And Abdiipour, A. 2011. Application of Flow-3D software in modeling hydrodynamic structure of continuous muddy flow streams entering dams. 9th Iranian Hydraulic Conference. Tarbiat Modares University (In Persian).

4) Haqqabi, A. H., Abbaspour, B., Maleki, AS. And Torabi Poodeh, h. 2016. Numerical Simulation of Flow Pattern on Triangular Overflows and Comparison with Linear Overflow Using Flow-3D Software. Journal of Water Resources Engineering. 9 (29): 125-137 (In Persian).

5) Torabi Poudeh, H., Fathi Moghadam, M., M. Ghomeshi and M. Shafai-Bajestan, 2007. Head Velocity and Entrainment of Density Current in an Expansion Reach, Iranian Water Resources Research. Volume 3, No. 1, 56-67 (In Persian).

6) Tabatabai, S. M., Khazimehnejad, H., Akbarpour, A. And Varjavand, p. 2017. Experimental Investigation of the Effect of Permeable Barrier Arrangement and Bed Slope on Concentrated Hydraulic Characteristics. Dam and Hydroelectric Power Plant. 4 year. No 13 (In Persian).

7) Sarvinejad, B., Ghomashi, M. And Bina, M. 2013. Investigation of concentration mixing intensity in converged sections and comparison with constant and diverging sections. Irrigation Science and Engineering (Journal of Agricultural Science). Vol. 36. No. 3 (In Persian).

8) Salajeghah, A., Ghaini Hesarouieh, M., 2016. Numerical modeling of inlet flow to drinking water tanks. 15th Iranian Hydraulic Conference, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin (In Persian).

می‌افزاید. از این نتیجه می‌توان برای انتخاب سرعت مناسب بر مبنای اختلاط لازم استفاده کرد.

## نتیجه‌گیری

در این مقاله، به منظور بررسی اثر مانع ذوزنقه‌ای شکل در میزان اختلاط جریان، ابتدا نهر بدون مانع با نرم‌افزار Flow-3D شبیه‌سازی گردید. در مرحله‌ی بعدی در همان نهر، مانع ذوزنقه‌ای قرار داده شد و مجدداً شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان دادند که وجود مانع باعث افزایش کارمایه جنبشی آشفتگی نهر به میزان تقریباً ۱۰۰۰ درصد بیشتر از حالت بدون مانع گردید. همچنین، حضور مانع، روند نزولی کاهش کارمایه آشفتگی در نهر را بدون مانع به حالت صعودی- نزولی تغییر داد. تغییرات ارتفاع متوسط جریان گل‌آلود در حضور مانع نشان از افزایش اختلاط دو جریان است. بررسی نمودار تغییرات چگالی در عمق برای دو نهر نشان داد که چگالی جریان در حالت با مانع کمتر از حالت بدون مانع است. نتایج شبیه‌سازی انجام شده به منظور تغییر در هندسه‌ی مانع، مانند تغییر در ارتفاع و زاویه‌ی مانع ذوزنقه‌ای شکل نشان داد که با افزایش یک درصدی ارتفاع مانع، به طور میانگین ۲ درصدی کارمایه آشفتگی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش یک درصدی زاویه‌ی ورودی مانع، متوسط ۱/۳۶ درصد افزایش کارمایه آشفتگی را در پی دارد. پس، افزایش ارتفاع مانع نسبت به افزایش زاویه‌ی مانع، گزینه‌ی مناسب‌تری برای افزایش اختلاط است. به منظور بررسی تغییرات بده، شبیه‌سازی‌هایی با سرعت‌های ورودی مختلف برای جریان آب زلال صورت گرفتند. بررسی نتایج حاکی از آن بود که افزایش یک درصدی سرعت ورودی کارمایه آشفتگی را به طور میانگین ۲/۹ درصد افزایش می‌دهد. در حالت کلی می‌توان گفت که قرارگیری مانع در مسیر جریان باعث افزایش اختلاط دو جریان آب زلال و جریان گل‌آلود می‌گردد، در نتیجه، وجود مانع راه کار مناسبی در ورودی رود به دریاچه و یا آبگیر، به منظور افزایش اختلاط دو جریان زلال و گل‌آلود و کاهش چگالی جریان ورودی می‌شود.

## منابع

1) Asgharipri, S. A. And Mohagheghin, S. M. 2015. Numerical Investigation of the Effect of Creating Protective Pits on the Bed on Concentrated Flow Discharge.

- located at 90 degree arc with rigid bed with Flow-3D software results. *Journal of Water Resources Engineering*. 8 (25): 31-46. (In Persian)
- 17) Anderson, J.D .1995. *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*. New York.
- 18) De Cesare, G., D.oehy,C., and J.Schleiss, A. 2008. Experiments on turbidity currents influenced by solid and permeable obstacles and water jet screens.
- 19) Durbin, P.A. and Pettersson Reif, B.A. 2010. *Statistical Theory and Modeling for Turbulent*. Norway.
- 20) Flow-3D Help. Version 11.1.
- 21) Lubbersen, Y.S., Fasaai, F., kroon.P., Boom. R.M. and Schutyser. M.A.I. 2015. Particle suspension concentration with sparse obstacle arrays in a flow channel. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*.
- 22) Marosi, M., Ghomeshi, M. and Sarkardeh, H. 2015. Sedimentation control in the reservoirs by using an obstacle. *Indian Academy of Sciences*. Vol. 40, Part 4. June. pp. 1373-1383.
- 23) Varjavand, P., Ghomashi, M., Hosseinzadeh Dalir, A., Farsadizadeh, B. and Docheshmeh Gorgij, A. 2015. Experimental observation of saline underflows and turbidity currents, flowing over rough beds. *Journal Of Civil Engineering*. August.
- 24) Yaghoubi, S., Afshin, H., Firoozabadi, B. and Farizan, A. 2017. Experimental Investigation of the Effect of Inlet Concentration on the Behavior of Turbidity Currents in the Presence of Two Consecutive Obstacles. *J. Waterway. Port. Coastal. Ocean Eng.* V.143.
- 9) Adeli, A., Barani, Gh. And Zineamat Kermani, M. 2013. Investigation of barrier current condensation control in dams using Fluent software. 5th Iranian Water Resources Management Conference. Shahid Beheshti University (In Persian).
- 10) Firoozabad, B. Bagherpour, A. And Afshin, H., 2008. Experimental study of turbulence parameters in brine condensate flow. 11th Fluid Dynamics Conference. Khaje Nasir al-Din Tusi University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering (In Persian).
- 11) Firoozabad, B. Bagherpour, A. And Afshin, H., 2008. Experimental study of turbulence parameters in brine condensate flow. 11th Fluid Dynamics Conference. Khaje Nasir al-Din Tusi University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering (In Persian).
- 12) Keshtkar, Sh., Ayubzadeh, SA and Ghodsian, M.Sc. 2017. Experimental study of the effect of barrier height on inhibition of turbulent flow velocity under abrupt change of reservoir bed slope. *Journal of Water Resources Engineering*. 10 (32): 55-70 (In Persian).
- 13) Marousi, M., Qomashi, M. And Basharvard, h. 2009. Barrier deposition control in dams reservoirs. Eighth International Seminar on River Engineering. Shahid Chamran University. Ahwaz (In Persian).
- 14) Mansouri Hafshajani, M., Ghomashi, M. Shafi'i Bejestan, m. 2016. Estimation of mixing intensity in fluid moving around in opposite direction with concentrated flow motion. 6th Iranian National Water Resources Management Conference. The University of Kordestan (In Persian).
- 15) Naji Abhari, M., Iranshahi, M., Ghodsian, M. And Firoozabad, b. 2015. Investigation of laboratory observations of the effect of triangular barrier on reservoir floor on muddy stream structure. *Journal of Hydraulic*. Volume 10. No. 4 (In Persian).
- 16) 17- Waghefi, M., Akbari, M. And Fayoz, A. 2015. In vitro comparison of three-dimensional flow velocity components around a T-shaped borehole