





بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

خانم ماندانا ناجی ابهری رساله ۲۴ واحدی خود را با عنوان مطالعه آزمایشگاهی اثر
موانع بر حرکت جریان غلیظ در تاریخ ۱۳۹۲/۹/۱۷ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش
آنها برای تکمیل درجه دکتری مهندسی عمران - مهندسی آب پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مسعود قدسیان	استاد	
استاد راهنمای دوم	دکتر بهار فیروزآبادی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علی اکبر صالحی نیشابوری	استاد	
استاد ناظر	دکتر سیدعلی ایوب زاده	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مهدی قمشی	استاد	
استاد ناظر	دکتر سیدمحمدعلی بنی هاشمی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علی اکبر صالحی نیشابوری	استاد	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب ماندانا ناجی ابهری دانشجوی رشته مهندسی عمران ورودی سال تحصیلی ۱۳۸۷ مقطع دکتری

دانشکده عمران و محیط زیست متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آیین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله براساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم.»

امضا

تاریخ

آئین‌نامه پایان‌نامه (رساله)‌های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی پژوهشی دانشگاه است. بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به‌طور کتبی به دفتر "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

" کتاب حاضر، حاصل رساله دکتری نگارنده ماندانا ناجی ابهری در رشته مهندسی عمران-هیدرولیک است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر قدسیان و سرکار خانم دکتر بهار فیروزآبادی از آن دفاع شده است.

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اهداء کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

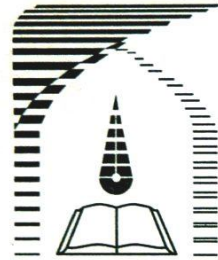
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به‌عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت‌های بهای خسارت، دانشگاه مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب ماندانا ناجی ابهری دانشجوی رشته مهندسی عمران-هیدرولیک مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی

تاریخ و امضا



دانشگاه تربیت مدرس

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

رساله دکتری رشته عمران - هیدرولیک

مطالعه آزمایشگاهی اثر موانع بر حرکت جریان غلیظ رسوبی

دانشجو

ماندانا ناجی ابهری

استاد راهنما

دکتر مسعود قدسیان

دکتر بهار فیروزآبادی

آذر ۱۳۹۲

با کمال افتخار تقدیم به:

همسر عزیز و فداکارم

و

پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

حمد و ستایش از آن خداوندی است که الطاف بی کرانش چراغ راه و روشنایی بخش ذهنم بود. نگارش پایان نامه حاضر ممکن نبود مگر به لطف پروردگار، کمک‌ها و راهنمایی‌های بی‌دریغ همسر فداکار و دلسوزم، دعا‌های خیر پدر و مادرم و راهنمایی اساتید گرامی. لازم می‌دانم از زحمات بی‌دریغ استاد ارجمند جناب دکتر مسعود قدسیان، که در تمامی مراحل تحصیلی اینجانب در مقطع دکتری، پیوسته پشتیبان و راه‌گشای مشکلات بودند، سپاسگزاری نمایم. همچنین از استاد محترم سرکار خانم بهار فیروزآبادی که در تمامی مراحل تحقیق، با ارائه راهنمایی‌های ارزشمند در جلسات متعددی که با ایشان داشتم، مرا یاری نمودند قدردانی و سپاسگزاری می‌نمایم. از همسر عزیز و فداکارم که در تمامی مراحل این دوره صبورانه مرا حمایت و پشتیبانی نمودند، سپاسگزارم و امیدوارم بتوانم قدردان محبت‌های ایشان باشم. از پدر و مادر عزیزم که همواره دعای خیرشان بدرقه راهم بوده تشکر نموده و از خداوند منان سلامتی و طول عمر این عزیزان را خواستارم. از خواهران و برادر عزیزم که همواره مشوق و حامی بنده بودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از دوست عزیزم خانم مهندس مرضیه ایرانشاهی که در طول انجام تحقیق پشتیبان من بودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. در پایان از کلیه دوستانی که در طی مراحل مختلف این پایان‌نامه مرا یاری رساندند کمال تشکر را داشته و از درگاه خداوند برای تمامی این عزیزان موفقیت و بهروزی آرزومندم.

ماندانا ناجی ابهری

چکیده

جریان‌های گل‌آلود عامل اصلی انتقال رسوب در مخازن سدها هستند. اگر پیشروی جریان‌های گل‌آلود به سمت بدنه سد و سازه‌های حساس مانند آبگیرها و تخلیه‌کننده‌های تحتانی محدود شود، میزان کارایی و عمر مفید سد به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر با احداث موانع در کانال، پیشروی جریان گل‌آلود در طول کانال بررسی و میزان تغییرات رسوبگذاری به دلیل حضور مانع/موانع محاسبه شده است. آزمایش‌ها در سه دسته کلی بدون مانع، یک مانع و دو مانع انجام شده‌اند. نتایج بدست آمده در حالت بدون مانع نشان می‌دهد که تغییرات عدد رینولدز ورودی بر سرعت بی‌بعد پیشانی جریان گل‌آلود موثرتر از تغییرات عدد فرود چگالی ورودی است. مقادیر سرعت و غلظت بی‌بعد در بدنه جریان با کاهش عدد فرود چگالی ورودی افزایش می‌یابد. در آزمایش‌ها با حضور یک مانع، تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی، ارتفاع مانع و هندسه مانع بر ساختار حرکت جریان گل‌آلود مطالعه شده‌اند. نتایج بدست آمده در حالت یک مانع نشان می‌دهد که سرعت بی‌بعد جریان گل‌آلود پس از برخورد به مانع در مقایسه با حالت بدون مانع بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند ناشی از رسوبگذاری و یا بدام افتادن ذرات در حوضچه تشکیل شده قبل از مانع باشد. تغییرات عدد فرود چگالی محلی نشان می‌دهد که رژیم جریان ضمن عبور از روی مانع از زیربحرانی به فوق‌بحرانی تغییر حالت داده و در پایین‌دست مانع پرش هیدرولیکی رخ می‌دهد. نرخ انتقال بار معلق بطور میانگین در پایین‌دست مانع نسبت به حالت بدون مانع ۹۰ درصد کاهش یافته است. تاثیر ارتفاع مانع بر ساختار حرکت جریان گل‌آلود بسیار موثرتر از شکل هندسی مانع است. در آزمایش‌های با حضور دو مانع، تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی، و وجود مانع دوم بر ساختار حرکت جریان گل‌آلود مطالعه شده‌اند. مقایسه پروفیل‌های سرعت بی‌بعد در حالت دو مانع و یک مانع نشان می‌دهد احداث مانع دوم سبب شده مقادیر سرعت در فضای بین دو مانع و پایین‌دست مانع دوم نسبت به حالت یک مانع کاهش یابد. کاهش مقادیر غلظت بی‌بعد در طول کانال در حالت دو مانع به مقدار قابل ملاحظه‌ای بیشتر از کاهش مقادیر غلظت بی‌بعد در حالت بدون مانع است. در این حالت پیشروی جریان گل‌آلود در طول کانال نیز در مقایسه با حالت بدون مانع به مقدار قابل ملاحظه‌ای محدود شده و راندمان تله‌اندازی رسوبات افزایش یافته است. مقایسه تاثیرات یک مانع بلند و دو مانع کوتاه نشان می‌دهد که در حالت یک مانع با ارتفاع بلند اگر جریان توسط مانع بلوکه شده و احتمال ناپدید شدن جریان افزایش یابد احداث یک مانع بلند در کنترل پیشروی جریان گل‌آلود موثرتر از احداث دو مانع کوتاه است. اما اگر جریان در پایین‌دست مانع ناپدید نشود اختلاف سرعت در پایین‌دست مانع دوم در حالت یک مانع بلند و دو مانع کوتاه ناچیز است و می‌توان بر اساس هزینه‌های مربوط به ساخت موانع، لایروبی و توپوگرافی مخزن سد گزینه مورد نظر را جهت افزایش عمر سد انتخاب کرد.

کلید واژه‌ها: ارتفاع مانع، سرعت جریان، غلظت جریان، نرخ انتقال بار معلق، عدد فرود چگالی ورودی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱
۱	مقدمه و کلیات
۱-۱	۱- مقدمه
۱	۲- انواع جریان های ثقلی
۲	۳-۱- تعریف جریان گل آلود
۳	۴-۱- مشخصات فیزیکی جریان گل آلود
۹	۵-۱- اعداد بی بعد موثر در جریان گل آلود
۱۰	۶-۱- نیروهای حاکم بر جریان گل آلود
۱۰	۱-۶-۱- شیب صفر (بستر افقی)
۱۱	۲-۶-۱- شیب ملایم
۱۱	۳-۶-۱- شیب تند
۱۲	۷-۱- برخورد جریان ثقلی با مانع
۱۵	۸-۱- ضرورت انجام تحقیق
۱۶	۹-۱- معرفی ساختار رساله
۱۷	فصل ۲
۱۷	مروری بر تحقیقات گذشته
۱۷	۱-۲- مقدمه
۱۷	۲-۲- مروری بر مطالعات انجام شده در حالت بدون مانع
۱۷	۱-۲-۲- مطالعات انجام شده در زمینه پیشانی جریان
۲۱	۲-۲-۲- مطالعات انجام شده در زمینه بدنه جریان
۲۴	۳-۲- مروری بر مطالعات انجام شده در حالت با مانع
۲۴	۱-۳-۲- برخورد جریان های پایستار با مانع
۳۳	۲-۳-۲- برخورد جریان های ناپایستار با مانع
۴۴	۴-۲- اهداف تحقیق حاضر
۴۴	۵-۲- جمع بندی

۴۶.....	فصل ۳
۴۶.....	آنالیز ابعادی و معرفی تجهیزات آزمایشگاهی.....
۴۶.....	۱-۳- مقدمه.....
۴۷.....	۲-۳- بررسی پارامترهای موثر.....
۴۷.....	۱-۲-۳- عوامل موثر بر الگوی جریانهای گل آلود اطراف موانع.....
۴۷.....	۱-۱-۲-۳- پارامترهای مربوط به کانال.....
۴۷.....	۲-۱-۲-۳- پارامترهای مربوط به جریان ورودی.....
۴۸.....	۳-۱-۲-۳- پارامترهای مربوط به هندسه مانع.....
۴۸.....	۴-۱-۲-۳- پارامترهای مربوط به ذرات معلق موجود در جریان.....
۴۸.....	۵-۱-۲-۳- پارامترهای مرتبط با مشخصات جریان.....
۴۹.....	۶-۱-۲-۳- پارامترهای مربوط به خواص سیال پیرامونی و محیط.....
۴۹.....	۳-۳- انجام تحلیل ابعادی و مشخص کردن پارامترهای بدون بعد.....
۵۰.....	۴-۳- تعیین محدوده تغییرات پارامترها و طراحی آزمایشها.....
۵۰.....	۱-۴-۳- آزمایشهای اصلی.....
۵۴.....	۲-۴-۳- آزمایشهای صحت سنجی سرعت سنج به منظور تعیین غلظت جریان گل آلود.....
۵۴.....	۱-۲-۴-۳- تئوری ABS جهت تعیین غلظت ذرات.....
۵۸.....	۲-۲-۴-۳- تعیین غلظت با استفاده از روش ABS.....
۶۰.....	۵-۳- بررسی تغییرات عرضی جریان در طول کانال.....
۶۲.....	۶-۳- طراحی، ساخت و آماده سازی تجهیزات آزمایشگاهی.....
۶۲.....	۱-۶-۳- تعیین مشخصات کلی کانال آزمایشگاهی و اجزاء مربوطه.....
۶۳.....	۱-۱-۶-۳- مخزن هوایی تولید سیال گل آلود.....
۶۴.....	۲-۱-۶-۳- کانال شیب پذیر.....
۶۵.....	۳-۱-۶-۳- مخزن سیال گل آلود.....
۶۶.....	۴-۱-۶-۳- پله زهکش در پایین دست کانال.....
۶۷.....	۲-۶-۳- ربات حرکت دهنده سرعت سنج و نمونه گیر نقطه ای.....
۶۸.....	۳-۶-۳- ترازو.....
۶۹.....	۴-۶-۳- اجاق.....
۶۹.....	۵-۶-۳- موانع مورد استفاده.....
۷۰.....	۶-۶-۳- دوربین فیلم برداری.....
۷۱.....	۷-۶-۳- ذرات رسوب معلق.....
۷۲.....	۸-۶-۳- دستگاه سرعت سنج سه بعدی.....
۷۳.....	۷-۳- نحوه انجام آزمایشات.....
۷۵.....	۸-۳- فیلتر کردن اطلاعات.....
۷۶.....	۹-۳- تحلیل اطلاعات.....

۳-۱۰- محدودیتهای موجود در تحقیق انجام شده ۷۷

فصل ۴ ۷۸

تحلیل نتایج آزمایشگاهی ساختار جریان گل آلود در حالت بدون مانع ۷۸

۴-۱- مقدمه ۷۸

۴-۲- ورود جریان گل آلود به داخل مخزن ۷۹

۴-۳- پیشانی جریان گل آلود ۸۰

۴-۴- تاثیر تغییرات شرایط هیدرولیکی ورودی بر سرعت پیشانی جریان گل آلود ۸۲

۴-۴-۱- تاثیر تغییرات عدد رینولدز ورودی بر سرعت پیشانی جریان گل آلود ۸۳

۴-۴-۲- تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر سرعت پیشانی جریان گل آلود ۸۶

۴-۵- رابطه پیشنهادی برای سرعت پیشانی ۸۸

۴-۶- تاثیر تغییرات شرایط هیدرولیکی ورودی بر مشخصه‌های متوسط عمقی جریان گل آلود ۹۰

۴-۶-۱- تاثیر تغییرات عدد رینولدز ورودی بر مشخصه‌های متوسط عمقی جریان گل آلود ۹۰

۴-۶-۱-۱- ارتفاع متوسط ۹۱

۴-۶-۱-۲- سرعت متوسط ۹۲

۴-۶-۲- تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر مشخصه‌های متوسط عمقی جریان گل آلود ۹۳

۴-۶-۲-۱- ارتفاع متوسط ۹۳

۴-۶-۲-۲- سرعت متوسط ۹۵

۴-۷- بدنه جریان گل آلود ۹۶

۴-۸- تاثیر تغییرات شرایط هیدرولیکی ورودی بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود ۹۷

۴-۸-۱- تاثیر تغییرات عدد رینولدز ورودی بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود ۹۸

۴-۸-۲- تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود ۱۰۰

۴-۹- تعیین پروفیل کلی سرعت جریان گل آلود ۱۰۳

۴-۱۰- غلظت جریان گل آلود ۱۰۶

۴-۱۱- تاثیر تغییرات شرایط هیدرولیکی ورودی بر پروفیل‌های غلظت جریان گل آلود ۱۰۸

۴-۱۱-۱- تاثیر تغییرات عدد رینولدز ورودی بر پروفیل‌های غلظت جریان گل آلود ۱۰۸

۴-۱۱-۲- تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر پروفیل‌های غلظت جریان گل آلود ۱۱۱

۴-۱۲- تعیین پروفیل کلی غلظت جریان گل آلود ۱۱۴

۴-۱۳- نتیجه‌گیری ۱۱۷

فصل ۵ ۱۱۹

تحلیل نتایج آزمایشگاهی ساختار جریان گل آلود در حالت یک مانع ۱۱۹

۵-۱- مقدمه ۱۱۹

۵-۲- برخورد جریان گل آلود با مانع ۱۲۰

۵-۳- شکل‌گیری خیزاب در بالادست مانع ۱۲۴

۱۲۹.....	۴-۵- تاثیر مانع بر سرعت پیشانی جریان گل آلود و سرعت خیزاب
۱۲۹.....	۴-۵-۱- مقایسه سرعت پیشانی جریان گل آلود در حالت با مانع و بدون مانع.....
۱۳۲.....	۴-۵-۲- تاثیر تغییرات ارتفاع نسبی مانع بر سرعت پیشانی جریان گل آلود.....
۱۳۵.....	۴-۵-۳- تاثیر تغییرات ارتفاع نسبی مانع و شرایط هیدرولیکی ورودی بر سرعت خیزاب.....
۱۳۸.....	۴-۵-۴- تاثیر هندسه مانع بر سرعت پیشانی جریان گل آلود.....
۱۴۰.....	۵-۵- تاثیر مانع بر مشخصه‌های متوسط عمقی جریان گل آلود.....
۱۴۰.....	۵-۵-۱- مقایسه مشخصه‌های متوسط عمقی در حالت با مانع و بدون مانع.....
۱۴۱.....	۵-۵-۱- ارتفاع متوسط.....
۱۴۳.....	۵-۵-۲- سرعت متوسط.....
۱۴۹.....	۵-۵-۲- تاثیر تغییرات ارتفاع مانع بر مشخصه‌های متوسط عمقی جریان گل آلود.....
۱۴۹.....	۵-۵-۲-۱- ارتفاع متوسط.....
۱۵۲.....	۵-۵-۲-۲- سرعت متوسط.....
۱۵۵.....	۵-۵-۳- تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر مشخصه‌های متوسط عمقی جریان گل آلود.....
۱۵۵.....	۵-۵-۳-۱- ارتفاع متوسط.....
۱۵۷.....	۵-۵-۳-۲- سرعت متوسط.....
۱۶۰.....	۵-۶- تاثیر مانع بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود.....
۱۶۰.....	۵-۶-۱- مقایسه پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود در حالت با مانع و بدون مانع.....
۱۶۴.....	۵-۶-۲- تاثیر تغییرات هندسه مانع بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود.....
۱۶۶.....	۵-۶-۳- تاثیر تغییرات ارتفاع مانع بر سرعت بدنه جریان گل آلود.....
۱۶۹.....	۵-۶-۴- تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود.....
۱۷۲.....	۵-۷- تاثیر مانع بر پروفیل‌های غلظت جریان گل آلود.....
۱۷۲.....	۵-۷-۱- مقایسه پروفیل‌های غلظت جریان در حالت با مانع و بدون مانع.....
۱۷۷.....	۵-۷-۲- بررسی تاثیر تغییرات شکل مانع بر پروفیل‌های غلظت جریان.....
۱۷۹.....	۵-۷-۳- بررسی تاثیر تغییرات ارتفاع مانع بر پروفیل‌های غلظت جریان.....
۱۸۳.....	۵-۷-۴- بررسی تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر پروفیل‌های غلظت جریان.....
۱۸۶.....	۵-۸- نتیجه‌گیری.....

فصل ۶ ۱۸۹

۱۸۹.....	تحلیل نتایج آزمایشگاهی ساختار جریان گل آلود در حالت دو مانع.....
۱۸۹.....	۶-۱- مقدمه.....
۱۹۰.....	۶-۲- برخورد جریان گل آلود با دو مانع.....
۱۹۳.....	۶-۳- تاثیر مانع بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود.....
۱۹۳.....	۶-۳-۱- مقایسه پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود در حالت دو مانع و بدون مانع.....
۱۹۷.....	۶-۳-۲- مقایسه پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود در حالت دو مانع و یک مانع.....
۱۹۹.....	۶-۴- تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل آلود در حالت دو مانع.....

- ۲۰۲.....۵-۶- تاثیر مانع بر پروفیل‌های غلظت بدنه جریان گل‌آلود.....
- ۲۰۲.....۱-۵-۶- مقایسه پروفیل‌های غلظت بدنه جریان گل‌آلود در حالت دو مانع و بدون مانع.....
- ۲۰۵.....۲-۵-۶- مقایسه پروفیل‌های غلظت بدنه جریان گل‌آلود در حالت دو مانع و یک مانع.....
- ۲۰۸.....۶-۶- تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر پروفیل‌های غلظت بدنه جریان گل‌آلود در حالت دو مانع.....
- ۲۱۱.....۷-۶- مقایسه تاثیرات یک مانع بلند و دو مانع کوتاه بر پروفیل‌های سرعت و نرخ انتقال بار معلق.....
- ۲۱۴.....۸-۶- نتیجه‌گیری.....

فصل ۷ ۲۱۶.....

- ۲۱۶.....نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات.....
- ۲۱۶.....۱-۷- موارد کلی.....
- ۲۱۷.....۲-۷- نتایج مربوط به ساختار جریان گل‌آلود در حالت بدون مانع.....
- ۲۱۸.....۳-۷- نتایج مربوط به ساختار جریان گل‌آلود در حالت یک مانع.....
- ۲۱۹.....۴-۷- نتایج مربوط به ساختار جریان گل‌آلود در حالت دو مانع.....
- ۲۲۱.....۵-۷- پیشنهاداتی جهت ادامه تحقیق.....
- ۲۲۲.....مراجع.....

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

فصل ۱.....	۱
شکل ۱-۱: ورود جریان گل‌آلود به مخزن سد و شکل‌گیری نقطه غوطه‌وری (Schleiss و Oehy, ۲۰۰۷).....	۳
شکل ۱-۲: جریان گل‌آلود جریان یافته بر روی شیب (Hosseini و همکاران, ۲۰۰۶).....	۴
شکل ۱-۳: شکل‌گیری گردابه‌های کلوین‌هلمهلتز (Simpson, ۱۹۶۹).....	۷
شکل ۱-۴: عبور جریان چگال از روی مانع (Schleiss و Oehy, ۲۰۰۷).....	۱۲
شکل ۱-۵: پرش هیدرولیکی منعکس شده و جریانی که بر روی مانع ادامه مییابد (Lane-Serff و همکاران, ۱۹۹۵).....	۱۴
شکل ۱-۶: جریان غلیظ و تغییرات آن در نتیجه برخورد با مانع (B) ارتفاع مانع خیلی بیشتر از ضخامت جریان است (C) ارتفاع مانع بلندتر از ضخامت پیشانی جریان و کمتر از ارتفاع جریان هنگام برخورد با مانع (D) ارتفاع مانع تقریباً برابر ارتفاع ضخامت پیشانی جریان (E) ارتفاع مانع خیلی کمتر از ضخامت جریان است (Morris و Alexander, ۱۹۹۴).....	۱۵
فصل ۲.....	۱۷
شکل ۲-۱: منحنی‌های هم‌سرعت پیشانی جریان در زمان‌های مختلف (Zhu و همکاران, ۲۰۰۶).....	۲۱
شکل ۲-۲: کنترل پرش چگال بوسیله سرریز لبه‌پهن (Wood و Wilkinson, ۱۹۷۱).....	۲۵
شکل ۲-۳: مقطع طولی کانال آزمایشگاهی.....	۲۷
شکل ۲-۴: مراحل مختلف گسترش زمانی ناپایداری‌های شکل‌گرفته در جریان‌های لایه‌بندی شده هنگام عبور از روی موانع (Armi و Farmer در سال ۱۹۹۹).....	۲۹
شکل ۲-۵: الگوی جریان: الف) دو مانع و ب) یک مانع، جهت جریان از چپ به راست است (Janosi و Gyüre, ۲۰۰۳).....	۳۰
شکل ۲-۶: برخورد جریان گل‌آلود با مانع مورب: الف) انتشار شعاعی در لبه مانع و ب) انعکاس امواج منفرد داخلی (Kneller و همکاران, ۱۹۹۱).....	۳۴
شکل ۲-۷: نمایی از کانالهای آزمایشگاهی: الف) تانک باریک و ب) تانک عریض (Alexander, ۱۹۹۴).....	۳۵
شکل ۲-۸: پرش هیدرولیکی و گسترش گردابه‌ها بر روی لبه مانع (Alexander, ۱۹۹۴).....	۳۵
شکل ۲-۹: حالت‌های مختلف انعکاس جریان غلیظ از روی مانع (Wood و همکاران, ۱۹۹۸).....	۳۷
شکل ۲-۱۰: تقسیم خطوط جریان براساس عدد فرود داخلی و نسبت hz (Kneller و McCaffrey, ۱۹۹۹).....	۳۸
شکل ۲-۱۱: عبور جریان از روی مانع در آزمایشهای Woods و Bursik (۲۰۰۰).....	۳۹
شکل ۲-۱۲: نمایی از مخزن و موانع آزمایشهای Morris و Alexander (۲۰۰۳).....	۴۰
شکل ۲-۱۳: توپوگرافی‌های مورد استفاده در آزمایشهای Kubo (۲۰۰۳): الف) سطح شیبدار و ب) موانع سری.....	۴۱

فصل ۳..... ۴۶

- شکل ۳-۱: منحنی کالیبراسیون: الف) سرعت سنج شماره ۱ و ب) سرعت سنج شماره ۲ ۵۹
- شکل ۳-۲: مقایسه غلظت‌های اندازه‌گیری شده و غلظت‌های محاسبه شده با استفاده از روش ABS ۵۹
- شکل ۳-۴: تغییرات سرعت متوسط جریان در عرض کانال: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ ۶۱
- شکل ۳-۵: نمایی از آزمایشگاه و کانال مورد استفاده ۶۲
- شکل ۳-۶: قسمتهای مختلف مخزن تولید سیال گل‌آلود: الف) نمای کلی مخزن، ب) همزن و ج) مخزن سرریز ۶۳
- شکل ۳-۷: نمایی از کانال شیبپذیر ۶۴
- شکل ۳-۸: الف) مخزن سیال گل‌آلود ب) دریاچه جدا کننده و جک ۶۵
- شکل ۳-۹: پله زهکش در پایین دست کانال ۶۶
- شکل ۳-۱۰: نمایی از ربات حرکت‌دهنده سرعت‌سنج ۶۸
- شکل ۳-۱۱: ترازوهای استفاده شده در آزمایشها: الف) ترازو با دقت بالا و ب) ترازو با دقت معمولی ۶۹
- شکل ۳-۱۲: شکل‌های مختلف موانع و جزئیات مربوطه ۷۰
- شکل ۳-۱۳: توزیع دانه‌بندی کائولین ۷۱
- شکل ۳-۱۴: الف) سرعت سنج جانب نگر و ب) پروب سرعت‌سنج پایین‌نگر ۷۳

فصل ۴..... ۷۸

- شکل ۴-۱: وقوع پرش هیدرولیکی هنگام ورود جریان گل‌آلود به داخل سیال پیرامونی: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۸۰
- شکل ۴-۲: قسمتهای مختلف جریان گل‌آلود: الف) Middleton (۱۹۹۳) و ب) تحقیق حاضر ۸۲
- شکل ۴-۳: تاثیر تغییرات عدد رینولدز ورودی بر سرعت پیشانی: الف) $CO=3$ ، ب) $CO=5$ و ج) $CO=7$ گرم در لیتر ۸۶
- شکل ۴-۴: تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر سرعت پیشانی: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۸۷
- شکل ۴-۵: مقایسه بین داده‌های آزمایشگاهی و روابط ارائه شده در این تحقیق و Altinakar و همکاران (۱۹۹۰) ۹۰
- شکل ۴-۶: تاثیر تغییرات عدد رینولدز ورودی بر ارتفاع متوسط جریان: الف) $CO=3$ ، ب) $CO=5$ و ج) $CO=7$ گرم در لیتر ۹۲
- شکل ۴-۷: تاثیر تغییرات عدد رینولدز ورودی بر سرعت متوسط جریان گل‌آلود: الف) $CO=3$ ، ب) $CO=5$ و ج) $CO=7$ گرم در لیتر ۹۳
- شکل ۴-۸: تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر ارتفاع متوسط جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۹۴
- شکل ۴-۹: تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر سرعت متوسط جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۹۶
- شکل ۴-۱۰: پروفیل بی‌بعد سرعت (Altinakar و همکاران ۱۹۹۶) ۹۷
- شکل ۴-۱۱: تاثیر تغییرات عدد رینولدز ورودی بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $CO=3$ ، ب) $CO=5$ و ج) $CO=7$ گرم در لیتر ۱۰۰

- شکل ۴-۱۲: تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۰۳
- شکل ۴-۱۳: پروفیل بی‌بعد سرعت ۱۰۵
- شکل ۴-۱۴: پروفیل غلظت: الف) ملایم و صاف در جریانهای چگال زیربحرانی و ب) پلکانی در جریانهای فوق‌بحرانی Hosseini و همکاران (۲۰۰۶) ۱۰۸
- شکل ۴-۱۵: تاثیر تغییرات عدد رینولدز ورودی بر پروفیل‌های غلظت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $CO=3$ ، ب) $CO=5$ و ج) $CO=7$ گرم در لیتر ۱۱۱
- شکل ۴-۱۶: تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر پروفیل‌های غلظت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۱۳
- شکل ۴-۱۷: پروفیل بی‌بعد غلظت ۱۱۵
- ۱۱۹..... **فصل ۵**
- شکل ۵-۱: برخورد جریان گل‌آلود با مانع در بازه‌های زمانی ۱۰ ثانیه: الف) نسبی $Hh_0 = 2.5$ ، ب) $Hh_0 = 3.75$ و ج) $Hh_0 = 5$ ۱۲۳
- شکل ۵-۲: انواع امواج شکل گرفته در بالادست مانع (Rottman و Simpson، ۱۹۸۹) ۱۲۵
- شکل ۵-۳: انتشار دنباله‌های امواج در مقاطع مختلف بالادست مانع: الف) مقطع ۲ متر و ب) مقطع ۱ متر ۱۲۸
- شکل ۵-۴: مقایسه سرعت پیشانی جریان گل‌آلود در حالت بدون مانع و مانعی با $Hh_0 = 3.75$ در شرایط مختلف هیدرولیکی الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۳۰
- شکل ۵-۵: تغییر شار شناوری جریان به علت وجود مانع ۱۳۱
- شکل ۵-۶: تاثیر تغییرات ارتفاع نسبی مانع بر سرعت پیشانی جریان گلاکود: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۳۳
- شکل ۵-۷: الف) شروع سرریز مجدد جریان از روی مانع، ب) و ج) پیشروی جریان سرریز شده از روی مانع ۱۳۵
- شکل ۵-۸: عبور پیشانی جریان گل‌آلود از روی موانع با هندسه‌های مختلف در بازه‌های زمانی ۱۰ ثانیه: الف) مثلثی، ب) نیم‌دایره‌ای و ج) دوزنقه‌ای ۱۳۹
- شکل ۵-۹: مقایسه ارتفاع متوسط جریان گل‌آلود در حالت بدون مانع و مانعی با $Hh_0 = 3.75$ در شرایط هیدرولیکی مختلف: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۴۳
- شکل ۵-۱۰: مقایسه سرعت متوسط جریان گل‌آلود در حالت بدون مانع و مانعی با $Hh_0 = 3.75$ در شرایط هیدرولیکی مختلف: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۴۵
- شکل ۵-۱۱: شکل‌گیری پرش هیدرولیکی در پایین‌دست مانعی با $Hh_0 = 3.75$ در شرایط هیدرولیکی مختلف: الف) $Re_0 = 1.99$ ، $Fr_0 = 3.85$ ، ب) $Re_0 = 4167$ ، $Fr_0 = 5.13$ و ج) $Re_0 = 5556$ ، $Fr_0 = 5.13$ ۱۴۵
- شکل ۵-۱۲: رژیم‌های مختلف جریان اطراف مانع در جریان‌های دو لایه‌ای (Lawrence، ۱۹۹۳) ۱۴۸
- شکل ۵-۱۳: مقایسه عدد فرود چگالی محلی جریان گلاکود در حالت بدون مانع و مانعی با $Hh_0 = 3.75$ ۱۴۹
- شکل ۵-۱۴: بررسی تاثیر تغییرات ارتفاع مانع بر ارتفاع متوسط جریان گل‌آلود در شرایط مختلف هیدرولیکی: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۵۱

شکل ۵- ۱۵: بررسی تاثیر تغییرات ارتفاع مانع بر سرعت متوسط جریان گل‌آلود در شرایط مختلف هیدرولیکی: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۵۴

شکل ۵- ۱۶: بلوکه شدن بخش عمده جریان در بالادست مانع ۱۵۵

شکل ۵- ۱۷: بررسی تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر ارتفاع متوسط جریان گل‌آلود در شرایط هیدرولیکی مختلف: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۵۷

شکل ۵- ۱۸: بررسی تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر سرعت متوسط جریان گل‌آلود در شرایط هیدرولیکی مختلف: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۶۰

شکل ۵- ۱۹: مقایسه پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل‌آلود در حالت با مانع و بدون مانع: الف) $CO=3$ ، ب) $CO=5$ و ج) $CO=7$ گرم در لیتر ۱۶۳

شکل ۵- ۲۰: تاثیر تغییرات هندسه مانع بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۶۶

شکل ۵- ۲۱: تاثیر تغییرات ارتفاع مانع بر سرعت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۶۸

شکل ۵- ۲۲: تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۷۲

شکل ۵- ۲۳: مقایسه پروفیل‌های غلظت جریان گل‌آلود در حالت با مانع و بدون مانع: الف) $CO=3$ ، ب) $CO=5$ و ج) $CO=7$ گرم در لیتر ۱۷۵

شکل ۵- ۲۴: تقسیم‌بندی نواحی مختلف جریان: الف) بر اساس پروفیل غلظت ب) نواحی متناظر در پروفیل سرعت ۱۷۶

شکل ۵- ۲۵: مقایسه نرخ انتقال بار معلق در حالت بدون مانع و مانعی با $Hh_0 = 3.75$ ۱۷۷

شکل ۵- ۲۶: تاثیر تغییرات هندسه مانع بر غلظت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۷۹

شکل ۵- ۲۷: تاثیر تغییرات ارتفاع مانع بر غلظت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۸۲

شکل ۵- ۲۸: بررسی تاثیر تغییرات ارتفاع مانع بر نرخ انتقال بار معلق در شرایط مختلف هیدرولیکی: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۸۳

شکل ۵- ۲۹: تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر غلظت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$ ، ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۱۸۶

فصل ۶ ۱۸۹

شکل ۶- ۱: برخورد جریان گل‌آلود با دو مانع در بازه‌های زمانی ۱۰ ثانیه ۱۹۳

شکل ۶- ۲: مقایسه پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل‌آلود در حالت دو مانع و بدون مانع: الف) $CO=3$ ، ب) $CO=5$ و ج) $CO=7$ گرم در لیتر ۱۹۶

شکل ۶- ۳: مقایسه پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل‌آلود در حالت دو مانع و یک مانع: الف) $CO=3$ ، ب) $CO=5$ و ج) $CO=7$ گرم در لیتر ۱۹۹

شکل ۶-۴: تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر سرعت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$, ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۲۰۲

شکل ۶-۵: مقایسه پروفیل‌های غلظت بدنه جریان گل‌آلود در حالت دو مانع و بدون مانع: الف) $C_0=3$, ب) $C_0=5$ و ج) $C_0=7$ گرم در لیتر..... ۲۰۵

شکل ۶-۶: مقایسه پروفیل‌های غلظت بدنه جریان گل‌آلود در حالت دو مانع و یک مانع: الف) $C_0=3$, ب) $C_0=5$ و ج) $C_0=7$ گرم در لیتر..... ۲۰۸

شکل ۶-۷: تاثیر تغییرات عدد فرود چگالی ورودی بر غلظت بدنه جریان گل‌آلود: الف) $Re_0 = 2778$, ب) $Re_0 = 4167$ و ج) $Re_0 = 5556$ ۲۱۰

شکل ۶-۸: مقایسه پروفیل‌های سرعت بدنه جریان گل‌آلود در حالت دو مانع کوتاه و یک مانع بلند: الف) $Re_0 = 4167$ ب) $Re_0 = 5556$ ۲۱۲

شکل ۶-۹: مقایسه نرخ انتقال بار معلق در حالت دو مانع کوتاه و یک مانع بلند: الف) $Re_0 = 4167$ ب) $Re_0 = 5556$ ۲۱۳

فهرست جداول

صفحه

عنوان

فصل ۳.....	۴۷
جدول ۳-۱: تقسیم‌بندی آزمایشها.....	۵۱
جدول ۳-۲: آزمایشهای واسنجی VECTRINO در آزمایش‌های بدون مانع.....	۶۱
فصل ۴.....	۷۹
جدول ۴-۱: ضرایب رابطه سرعت پیشانی جریان گل‌آلود.....	۸۹
جدول ۴-۲: محدوده ضرایب ثابت در رابطه پیشنهادی برای پروفیل بی‌بعد سرعت در بدنه جریان گل‌آلود.....	۱۰۶
جدول ۴-۳: محدوده ضرایب ثابت در رابطه پیشنهادی برای پروفیل بی‌بعد غلظت در بدنه جریان گل‌آلود.....	۱۱۷
فصل ۵.....	۱۱۹
جدول ۵-۱: نوع امواج شکل گرفته در بالادست مانع.....	۱۲۶
جدول ۵-۲: سرعت‌های لحظه‌ای و متوسط خیزاب در ارتفاع‌های متفاوت مانع مثلثی شکل.....	۱۳۷
جدول ۵-۳: سرعت بی‌بعد شده پیشانی جریان گل‌آلود در هندسه‌های مختلف مانع.....	۱۴۱

فهرست علائم و نشانه‌ها

B:	عرض کانال
S_0 :	شیب طولی کانال
h_0 :	ارتفاع جریان ورودی
b_0 :	عرض جریان ورودی
U_0 :	سرعت جریان ورودی
H:	ارتفاع مانع
W:	عرض مانع
N:	تعداد مانع
S:	شکل مانع
θ :	زاویه برخورد جریان با مانع
I:	فاصله بین موانع
X:	موقعیت مانع نسبت به ورودی جریان
d_{50} :	قطر متوسط ذرات
ρ_s :	چگالی ذرات رسوب
σ_g :	انحراف معیار ذرات رسوب
\emptyset :	زاویه اصطکاک داخلی ذرات رسوب
g:	شتاب ثقل
v:	لزجت سینماتیکی سیال
ρ_w :	چگالی سیال پیرامونی
C_0 :	غلظت جریان ورودی
n:	ضریب زبری کانال
Re_0 :	عدد رینولدز ورودی
Fr_0 :	عدد فرود چگالی ورودی
c_s :	غلظت جریان حاوی بار معلق
g' :	گرانش کاهش یافته
ρ_t :	چگالی جریان گل‌آلود
ρ_a :	چگالی سیال پیرامونی
\bar{U} :	سرعت متوسط در راستای جریان
h:	ارتفاع جریان گل‌آلود