

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی علوم آب

گروه سازه های آبی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

گرایش سازه های آبی

عنوان:

تأثیر زاویه جت مستغرق همگرا در پلان روی طول اختلاط

جت در منبع آب پذیرنده

نگارنده:

پویا نیکخواه

استاد راهنما:

دکتر سید حبیب موسوی جهرمی

استاد مشاور:

دکتر منوچهر فتحی مقدم

شهریور ۸۸

تقدیم به مادر م

تشکر و قدردانی

لازم است که مراتب سپاس و تشکر را از تمام کسانی که در انجام این تحقیق مرا یاری نمودند به جا آورم. در ابتدا لازم می‌دانم از خانواده عزیزم به خصوص مادر گرامی‌ام بابت زحمات بی‌شائبه ایشان در تمام مراحل کار تشکر و قدردانی کنم. از جناب آقای دکتر موسوی جهرمی و آقای دکتر فتحی مقدم به خاطر رهنمودهای ارزشمند ایشان در انجام این پژوهش کمال تشکر را دارم. همچنین از آقای مهندس احدیان بابت راهنمایی‌های ایشان درباره نحوه انجام آزمایشات تشکر فراوان دارم. از پرسنل دانشکده مهندسی علوم آب، آقای سواری مسئول خدمات، آقای مهندس زینی‌وند مسئول آزمایشگاه هیدرولیک، جناب آقای تاجی و سرکار خانم مهندس افتخار نیز به خاطر همکاری‌های ایشان در طی انجام این پژوهش کمال تشکر را دارم. همچنین از سرکار خانم عامری و سرکار خانم نیک‌روش بابت مساعدت در انجام آزمایشات کمال سپاس را دارم.

چکیده پایان نامه

نام خانوادگی دانشجو: نیکخواه	نام: پویا
عنوان پایان نامه: تأثیر زاویه جت مستغرق همگرا در پلان روی طول اختلاط جت در منبع آب پذیرنده	
استاد راهنما: دکتر سید حبیب موسوی جهرمی	استاد مشاور: دکتر منوچهر فتحی مقدم
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: سازه‌های آبی
محل تحصیل: دانشگاه شهید چمران اهواز	دانشکده: مهندسی علوم آب
تاریخ فراغت از تحصیل: شهریور ماه ۱۳۸۸	تعداد صفحات: ۱۲۱
کلمات کلیدی: جت مستغرق، جریان پذیرنده، منحنی پرتابه سه بعدی، شناوری	
<p>حدود نیم قرن است که تحقیقات در مورد استفاده از جت‌ها برای تخلیه پساب در محیط پذیرنده به نحوی که کمترین زیان را برای محیط زیست داشته باشد شروع شده است. در این زمینه مسیر حرکت جت از اهمیت خاصی برخوردار است. به صورتی که در بعضی از کشورهای پیشرفته مشخص کردن آن در هنگام طراحی اجباری شده است. در بسیاری از موارد جت چگال به صورت افقی در رودخانه تخلیه می‌شود، که در این صورت منحنی پرتابه جت به صورت سه بعدی خواهد بود. در بسیاری از این موارد امکان تخلیه جت با زاویه ۹۰ درجه نسبت به جریان پذیرنده وجود ندارد. از این رو تصمیم گرفته شد تا تأثیر زاویه حمله جت در پلان بر طول اختلاط و منحنی پرتابه جت مورد بررسی قرار گیرد. برای نیل به این هدف متغیرهای نهایی با توجه به آنالیز ابعادی زاویه حمله جت، نسبت دبی جت به جریان پذیرنده و درصد اختلاف چگالی در نظر گرفته شدند. با توجه به محدودیت‌های مدل فیزیکی امکان انجام ۴ زاویه، ۲ نسبت دبی و ۳ اختلاف چگالی به وجود آمد. در ادامه نتایج به دست آمده از این آزمایشات شرح داده شده‌اند. همانطور که انتظار می‌رفت منحنی پرتابه جت‌های سه بعدی نیز از یک معادله توانی تبعیت می‌کند. مشخص شد که جریان در صفحه مومنتم مانند رژیم MDNF (Momentum Dominated Near Field) رفتار می‌کند در صورتی که جریان در صفحه شناوری از دو رژیم مجزای MDNF و BDNF (Buoyancy Dominated Near Field) تشکیل می‌شود. برای تمایز این دو رژیم، از شاخص طولی جت-پلوم و برای نرمال سازی منحنی پرتابه از l_m^* در MDNF و از l_b در BDNF استفاده شد. از بررسی نتایج مشخص شد که منحنی پرتابه جت در MDNF در صفحه مومنتم از قانون توانی $\frac{1}{3}$ تبعیت می‌کند و به زاویه حمله جت وابسته می‌باشد و بر خلاف انتظار نیز مشاهده شد که منحنی پرتابه جت در صفحه شناوری هم در BDNF و هم در MDNF به زاویه حمله جت بستگی دارد و قانون توانی حاکم بر آن‌ها برای زوایای متفاوت تفاوت می‌کند. در مورد طول اختلاط نیز، با توجه به نتایج آنالیز ابعادی طول اختلاط نسبت به $\frac{lmv}{lb}$ و α رسم گردید ولی همبستگی مناسبی میان طول اختلاط جت و پارامترهای ذکر شده به دست نیامد. این مسئله می‌تواند به دلیل خطای بالای برداشت نقاط انتهایی فلاکس جت باشد. از این رو پیشنهاد می‌گردد که طول اختلاط جت از محاسبات منحنی پرتابه جت محاسبه شود.</p>	

فهرست

۲	فصل اول.....
۲	مقدمه
۲	۱-۱ اهمیت مسئله.....
۳	۲-۱ فرضیه تحقیق
۳	۳-۱ اهداف
۴	۴-۱ روش کار
۶	فصل دوم
۶	مروری بر منابع
۱۸	فصل سوم
۱۸	تئوری جریان جت‌ها و پلوم‌ها
۱۸	۱-۳ مقدمه
۲۱	۲-۳ رژیم های جریان جت‌ها
۲۲	۱-۲-۳ جت در سیال پذیرنده ساکن (جت خالص)
۲۲	۲-۲-۳ بویانت جت در سیال پذیرنده ساکن
۲۳	۳-۲-۳ جت در coflow
۲۳	۴-۲-۳ بویانت جت در coflow
۲۳	۵-۲-۳ جت در crossflow
۲۴	۶-۲-۳ بویانت جت در crossflow
۲۵	۷-۲-۳ جت در counter-flow
۲۵	۸-۲-۳ بویانت جت در counter-flow
۲۶	۳-۳ آنالیز ابعادی
۲۹	۴-۳ تحلیل جریان
۲۹	۱-۴-۳ جت آرام دو بعدی در سیال پذیرنده ساکن
۳۲	۲-۴-۳ جت توربولنت
۴۰	۳-۴-۳ پلوم توربولنت

۵۰	..... (MDFF) cross flow در ۴-۴-۳ جت
۵۲	..... (BDFF) crossflow در ۵-۴-۳ پلوم
۵۲	..... crossflow در ۶-۴-۳ جت های بویانت
۵۵	..... فصل چهارم
۵۵	..... مواد و روش ها
۵۵	..... ۱-۴ مقدمه
۵۶	..... ۲-۴ مراحل انجام آزمایش
۵۶	..... ۱-۲-۴ مراحل انجام آزمایش در فاز اول
۵۷	..... ۲-۲-۴ مراحل انجام آزمایشات در فاز دوم
۵۹	..... ۳-۴ وسایل و ادوات مورد استفاده
۶۲	..... ۴-۴ روش های اندازه گیری پارامترها
۶۲	..... ۱-۴-۴ روش اندازه گیری دبی جریان پذیرنده
۶۲	..... ۲-۴-۴ روش اندازه گیری دبی جت
۶۲	..... ۳-۴-۴ روش اندازه گیری عمق آب جریان پذیرنده
۶۲	..... ۴-۴-۴ روش اندازه گیری چگالی
۶۳	..... ۵-۴ برداشت منحنی تراکتوری از عکس
۶۶	..... فصل پنجم
۶۶	..... نتایج و بحث
۶۶	..... ۱-۵ مقدمه
۶۷	..... ۲-۵ نتایج
۶۷	..... ۱-۲-۵ آزمایشات فاز اول
۷۶	..... ۲-۲-۵ آزمایشات فاز دوم
۱۰۰	..... فصل ششم
۱۰۰	..... نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۰	..... ۱-۶ نتیجه گیری
۱۰۱	..... ۲-۶ پیشنهادات

فهرست اشکال

۳	.....	شکل ۱-۱ طرح شماتیک تخلیه پساب به اقیانوس
۱۴	.....	شکل ۲-۲ نمودار نسبت رقیق‌شدگی نسبت Z به صورت بدون بعد ارائه شده توسط Wright ۱۹۷۷
۱۵	.....	شکل ۳-۲ تراکتوری جت در crossflow عکس از Wright ۱۹۷۷
۱۶	.....	شکل ۴-۲ کلاس‌بندی جت بویانت منفی در crossflow
۱۹	.....	شکل ۱-۳ جت توربولنت
۱۹	.....	شکل ۲-۳ پلوم توربولنت
۲۰	.....	شکل ۳-۳ پف در اثر انفجار یکباره آتشفشان
۲۱	.....	شکل ۴-۳ جت بویانت عمودی
۲۲	.....	شکل ۵-۳ جت خالص
۲۲	.....	شکل ۶-۳ جت بویانت در سیال پذیرنده ساکن
۲۳	.....	شکل ۷-۳ جت در coflow
۲۳	.....	شکل ۸-۳ جت در crossflow
۲۴	.....	شکل ۹-۳ جت بویانت در crossflow با تراکتوری سه بعدی
۲۴	.....	شکل ۱۰-۳ جت بویانت در crossflow با تراکتوری دو بعدی
۲۵	.....	شکل ۱۱-۳ بویانت جت منفی در counter-flow
۲۹	.....	شکل ۱۲-۳ جت آرام دایره‌ای و ورتکس انتهایی آن
۳۰	.....	شکل ۱۳-۳ جت آرام دوبعدی
۳۲	.....	شکل ۱۴-۳ جت توربولنت
۳۴	.....	شکل ۱۵-۳ طرح شماتیک مرزهای جت توربولنت French ۱۹۸۵
۳۴	.....	شکل ۱۶-۳ طرح شماتیک مرزهای جت توربولنت Lee و Chu ۲۰۰۳
۳۶	.....	شکل ۱۷-۳ خودمتشابهی پروفیل سرعت در جت‌های توربولنت
۴۳	.....	شکل ۱۸-۳ مشخصات پروفیل Top-hat
۴۹	.....	شکل ۱۹-۳ نتایج آزمایشگاهی برای تمایز رژیم‌های شبه جت و شبه پلوم در جت بویانت عمودی
۵۹	.....	شکل ۱-۴ مخزن آب و رنگ شکل
۵۹	.....	شکل ۲-۴ مخزن ذخیره آب برای جریان پذیرنده
۶۰	.....	شکل ۳-۴ الکتروموتور پمپ برای تامین انرژی پمپ جریان پذیرنده
۶۰	.....	شکل ۴-۴ پمپ تامین هد مورد نیاز جریان پذیرنده
۶۰	.....	شکل ۵-۴ شیر ورودی ۲/۵ اینچ
۶۰	.....	شکل ۶-۴ پمپ جریان جت
۶۰	.....	شکل ۷-۴ سیستم گردشی برای جلوگیری از ته نشینی نمک و رنگ
۶۰	.....	شکل ۸-۴ دهانه ورودی جریان پذیرنده
۶۱	.....	شکل ۹-۴ فلوم آزمایشگاهی جت
۶۱	.....	شکل ۱۰-۴ شیر خروجی ۴ اینچ جریان پذیرنده
۶۱	.....	شکل ۱۱-۴ کلاهک‌های جت همگرا، سمت راست به قطر ۷ میلیمتر و سمت چپ به قطر ۵ میلیمتر
۶۴	.....	شکل ۱۲-۴ محیط کاری برنامه CCHE_MESH GENERATOR

- شکل ۱-۵ تراکتوری جت در زاویه ۴۵ درجه، بدون اختلاف چگالی، آزمایش ۱-۴۵، $I_{mv}=0.11$ ۶۷
- شکل ۳-۵ تراکتوری جت در زاویه ۷۵ درجه، بدون اختلاف چگالی، آزمایش ۱-۷۵، $I_{mv}=0.14$ ۶۸
- شکل ۲-۵ تراکتوری جت در زاویه ۶۰ درجه، بدون اختلاف چگالی، آزمایش ۱-۶۰، $I_{mv}=0.12$ ۶۸
- شکل ۴-۵ تراکتوری جت در زاویه ۹۰ درجه، بدون اختلاف چگالی، آزمایش ۱-۹۰، $I_{mv}=0.14$ ۶۹
- شکل ۵-۵ تراکتوری جت در زاویه ۴۵ درجه، بدون اختلاف چگالی، آزمایش ۲-۴۵، $I_{mv}=0.18$ ۶۹
- شکل ۶-۵ اثر افزایش I_{mv} بر تراکتوری جت ۷۰
- شکل ۷-۵ تعیین ضریب C_1 برای زاویه ۴۵ درجه ۷۱
- شکل ۸-۵ تعیین ضریب C_1 برای زاویه ۶۰ درجه ۷۲
- شکل ۹-۵ تعیین ضریب C_1 برای زاویه ۷۵ درجه ۷۲
- شکل ۱۰-۵ ضریب C_2 برای زاویه ۴۵ درجه، بدون اختلاف چگالی، آزمایش ۱-۴۵ ۷۴
- شکل ۱۱-۵ ضریب C_2 برای زاویه ۶۰ درجه، بدون اختلاف چگالی، آزمایش ۱-۶۰ ۷۴
- شکل ۱۳-۵ ضریب C_2 برای زاویه ۹۰ درجه، بدون اختلاف چگالی، آزمایش ۱-۹۰ ۷۵
- شکل ۱۲-۵ ضریب C_2 برای زاویه ۷۵ درجه، بدون اختلاف چگالی، آزمایش ۱-۷۵ ۷۵
- شکل ۱۴-۵ ضریب C_2 برای زاویه ۴۵ درجه، بدون اختلاف چگالی، آزمایش ۲-۴۵ ۷۶
- شکل ۱۵-۵ طول اختلاط جت در زاویه ۴۵ ۷۷
- شکل ۱۶-۵ طول اختلاط جت در زاویه ۶۰ درجه ۷۷
- شکل ۱۷-۵ طول اختلاط جت در زاویه ۷۵ درجه ۷۸
- شکل ۱۸-۵ روند کاهش طول اختلاط جت با افزایش زاویه بین جت و جریان پذیرنده هر خط مربوط به یک سری آزمایش با دبی و اختلاف چگالی یکسان می‌باشد. ۸۰
- شکل ۱۹-۵ تراکتوری جت در آزمایش ۱-۴۵A ۸۱
- شکل ۲۰-۵ تراکتوری جت در آزمایش ۲-۴۵A ۸۱
- شکل ۲۱-۵ تراکتوری جت در آزمایش ۱-۴۵B ۸۲
- شکل ۲۲-۵ تراکتوری جت در آزمایش ۲-۴۵B ۸۲
- شکل ۲۳-۵ تراکتوری جت در آزمایش ۱-۴۵C ۸۳
- شکل ۲۴-۵ تراکتوری جت در آزمایش ۲-۴۵C ۸۳
- شکل ۲۵-۵ ضریب C در آزمایش ۱-۴۵A ۸۵
- شکل ۲۶-۵ ضریب C در آزمایش ۲-۴۵A ۸۵
- شکل ۲۷-۵ ضریب C در آزمایش ۱-۴۵B ۸۶
- شکل ۲۸-۵ ضریب C در آزمایش ۲-۴۵B ۸۶
- شکل ۲۹-۵ ضریب C در آزمایش ۱-۴۵C ۸۷
- شکل ۳۰-۵ ضریب C در آزمایش ۲-۴۵C ۸۷
- شکل ۳۱-۵ قانون توانی و ضریب ثابت معادله در MDNF برای آزمایش ۱-۴۵A ۹۰
- شکل ۳۲-۵ قانون توانی و ضریب ثابت معادله در MDNF برای آزمایش ۲-۴۵A ۹۰
- شکل ۳۳-۵ قانون توانی و ضریب ثابت معادله در MDNF برای آزمایش ۲-۴۵B ۹۱
- شکل ۳۴-۵ قانون توانی و ضریب ثابت معادله در MDNF برای آزمایش ۱-۴۵C ۹۱
- شکل ۳۵-۵ قانون توانی و ضریب ثابت معادله در MDNF برای آزمایش ۲-۴۵C ۹۲

- شکل ۳۶-۵ قانون توانی و ضریب ثابت معادله در BDNF برای آزمایش ۱-۴۵A ۹۳
- شکل ۳۷-۵ قانون توانی و ضریب ثابت معادله در BDNF برای آزمایش ۲-۴۵A ۹۳
- شکل ۳۸-۵ قانون توانی و ضریب ثابت معادله در BDNF برای آزمایش ۱-۴۵B ۹۴
- شکل ۳۹-۵ قانون توانی و ضریب ثابت معادله در BDNF برای آزمایش ۲-۴۵B ۹۴
- شکل ۴۰-۵ قانون توانی و ضریب ثابت معادله در BDNF برای آزمایش ۲-۴۵C ۹۵
- شکل ۴۱-۵ نمودار حاصل از برازش نقاط برداشت شده از تراکتوری جت در زاویه ۴۵ درجه در MDNF ۹۶
- شکل ۴۲-۵ نمودار حاصل از برازش نقاط برداشت شده از تراکتوری جت در زاویه ۶۰ درجه در MDNF ۹۶
- شکل ۴۳-۵ نمودار حاصل از برازش نقاط برداشت شده از تراکتوری جت در زاویه ۴۵ درجه در BDNF ۹۷
- شکل ۴۴-۵ نمودار حاصل از برازش نقاط برداشت شده از تراکتوری جت در زاویه ۶۰ درجه در BDNF ۹۷
- شکل ۴۵-۵ نمودار حاصل از برازش نقاط برداشت شده از تراکتوری جت در زاویه ۷۵ درجه در BDNF ۹۸
- شکل ۴۶-۵ نمودار حاصل از برازش نقاط برداشت شده از تراکتوری جت در زاویه ۹۰ درجه در BDNF ۹۸

فهرست جداول

جدول ۱-۳	روابط به دست آمده برای مشخصات جتهای صفحه‌ای و دایره‌ای	۴۱
جدول ۱-۵	ضریب C _۱ برای آزمایشات فاز اول در زوایای مختلف	۷۱
جدول ۲-۵	ضریب C _۲ در آزمایشات فاز اول و مقدار متوسط	۷۳
جدول ۳-۵	مقادیر a و b برای زوایای مختلف	۸۰
جدول ۴-۵	ضریب C در پلان برای MDNF، آزمایشات فاز دوم	۸۹
جدول ۵-۵	مقادیر میانگین ضریب C در پلان به تفکیک هر زاویه	۸۹
جدول ج-۱	داده‌های به دست آمده از آزمایشات فاز اول	XIV
ادامه جدول ج-۱	داده‌های به دست آمده از آزمایشات فاز اول	XIV
جدول ج-۲	داده‌های به دست آمده از آزمایشات فاز دوم	XV
ادامه جدول ج-۲	داده‌های به دست آمده از آزمایشات فاز دوم	XVI
ادامه جدول ج-۲	داده‌های به دست آمده از آزمایشات فاز دوم	XVII
ادامه جدول ج-۲	داده‌های به دست آمده از آزمایشات فاز دوم	XVIII

فصل اول

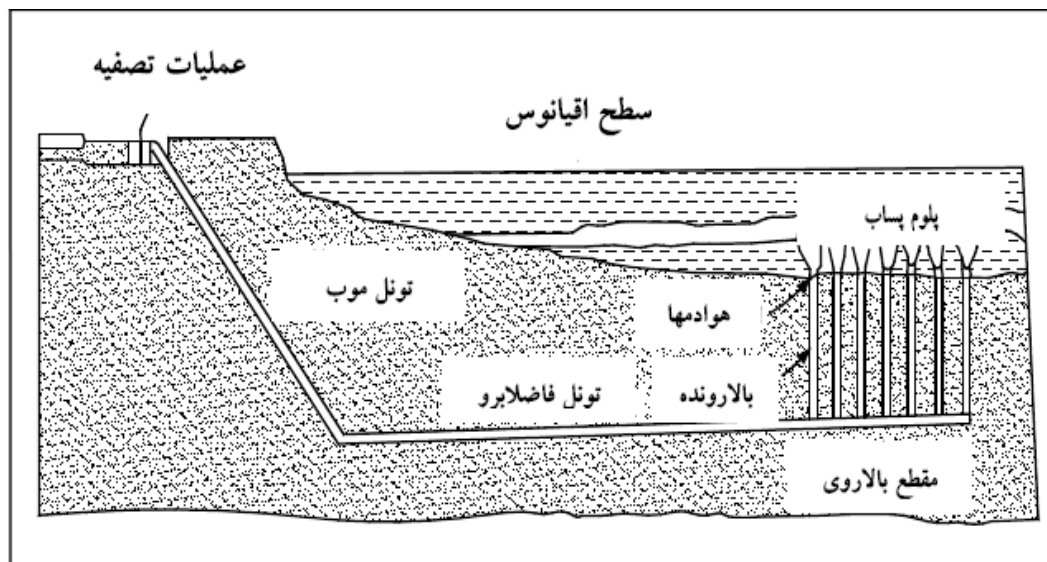
مقدمه

فصل اول

مقدمه

۱-۱ اهمیت مسئله

با توجه به اهمیت روزافزون محیط زیست و پرهیز از آسیب رساندن به آن تلاش حکومت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی بر این است که قوانین زیست محیطی را با شدت هر چه تمام‌تر در تمام نقاط جهان مقرر کنند. با توجه به این مسئله قوانینی برای حداکثر غلظت آلودگی وضع شده است، و حتی در بعضی کشورها مشخص کردن مسیر حرکت آلودگی در هنگام طراحی اجباری است. متأسفانه در کشور ما به این مسئله توجه چندانی نمی‌شود و آلودگی بدون هیچ تمهیدات خاصی به درون محیط زیست رها می‌شود. در این موارد مشاهده می‌شود که آلودگی در منبع پذیرنده در مناطقی تجمع می‌کند که برای سلامت انسان و محیط زیست بسیار خطرناک است. یکی از روش‌هایی که پخشیدگی بالایی را تأمین می‌کند و آلودگی را با سرعت هر چه تمام‌تر در منبع پذیرنده پخش می‌کند استفاده از خروجی‌های جت می‌باشد. جت‌ها امروزه کاربردهای بسیاری در تخلیه پساب دارند. مخصوصاً برای تخلیه فاضلاب شهرهای ساحلی به دریاها و اقیانوس‌ها می‌توان از این روش استفاده کرد (شکل ۱-۱). به این صورت که پس از تصفیه مقدماتی پساب را به وسیله لوله‌هایی از زیر بستر دریا عبور داده و پس از رسیدن به فاصله مناسب فاضلاب توسط دیفیوزرها به دریا تخلیه می‌شود (تکدستان، حاجی‌زاده و جعفرزاده ۱۳۸۳).



شکل ۱-۱ طرح شماتیک تخلیه پساب به اقیانوس

مهمترین مزیت این روش دور بودن محل تخلیه پساب از محل‌های گردشگری و صید ماهی می‌باشد. از جت‌ها علاوه بر تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی می‌توان در خنک‌سازی نیروگاه‌های تولید برق و تخلیه شوراب خروجی از آب‌شیرین‌کن‌ها نیز استفاده کرد. از دیگر موارد کاربرد جت‌ها می‌توان از برشکاری در صنایع و تلقی جریان فوق بحرانی در سازه‌های هیدرولیکی به عنوان جت نام برد.

۲-۱ فرضیه تحقیق

یکی از مواردی که در مطالعات جت چندان به آن پرداخته نشده است تأثیر زاویه افقی جت با جریان پذیرنده بر پخشیدگی، کلاس جریان و منحنی تراکتوری می‌باشد. در این زمینه فقط Jirka و Doneker (۱۹۹۱) در طبقه‌بندی جت‌ها زاویه ۴۵ درجه را مرز بین کلاس‌های *coflow* و *crossflow* دانسته‌اند. چون در موارد طراحی ممکن است مواردی پیش آید که زاویه جت با جریان پذیرنده لزوماً ۹۰ و یا ۴۵ درجه نباشد نیاز به تحقیق بیشتر در این مورد می‌باشد.

۳-۱ اهداف

در این تحقیق پارامتری به نام طول اختلاط جت تعریف می‌شود. این پارامتر فاصله طولی از محل خروجی جت می‌باشد که فلاکس جت به مرز پایین برخورد می‌کند (موارد بویانسی منفی). از این پارامتر می‌توان

برای پیشبینی تماس با سطح (Boundary Attachment) استفاده کرد. تماس با سطح موجب کاهش اختلاط جت‌ها می‌شود و باید حتی الامکان از آن جلوگیری کرد. در این تحقیق سعی بر این است تا تأثیر زاویه در پلان جت با جریان پذیرنده روی طول اختلاط جت و منحنی تراجکتوری در دو رژیم جت در crossflow و بویانت جت افقی در crossflow مورد بررسی قرار گیرد.

۴-۱ روش کار

برای انجام آزمایشات از فلوم آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران استفاده شده است. این فلوم به طور خاص برای انجام آزمایشات جت ساخته شده و قابلیت تنظیم برای انواع کلاس جریان را داراست. این آزمایشات در دو گروه آزمایشی انجام شده است. گروه اول آزمایشات بدون اختلاف چگالی و گروه دوم آزمایشات با اختلاف چگالی می‌باشد.

در گروه آزمایشی اول ۱۰ آزمایش و در گروه آزمایشی دوم ۲۴ آزمایش انجام شده است که جمعاً ۳۴ آزمایش انجام گرفته است. در این آزمایشات در دبی‌های مختلف جریان پذیرنده و جریان جت و همچنین تغییرات چگالی، منحنی تراجکتوری و طول اختلاط جت برداشت شده‌اند. اندازه‌گیری دبی به روش حجم‌سنجی و اندازه‌گیری چگالی در یک مورد توسط هیدرومتر و در موارد دیگر به صورت محاسباتی انجام شد.

فصل دوم

مروری بر منابع

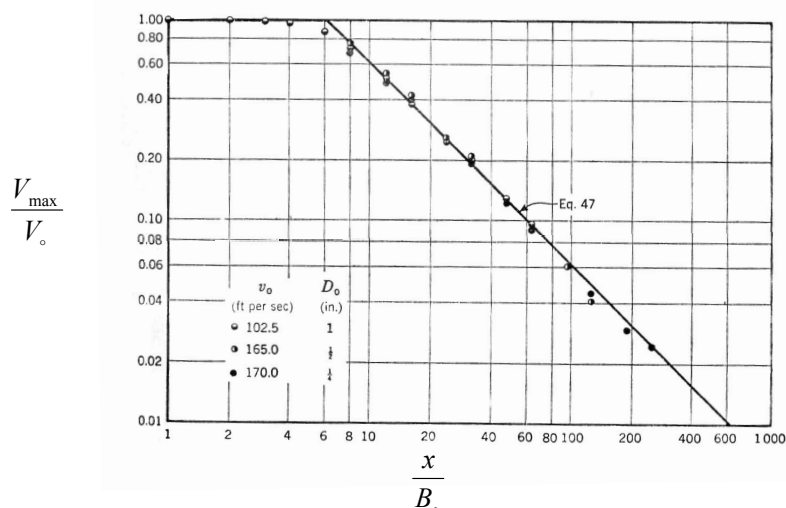
فصل دوم

مروری بر منابع

Abramovich در سال ۱۹۳۶ اولین مقاله را در مورد تئوری جت‌ها با عنوان "Theory of free jet and its application" ارائه داد. از آن زمان تحقیقات گسترده‌ای توسط محققین دیگر در این زمینه صورت گرفت که از آن جمله می‌توان از Doneker, Wright, Rajarantam, Albertson, Lee, Cheung و Chu در سطح جهان و از احدیان، حسینی، عظیمی و اعتماد شهیدی در ایران نام برد.

پس از Albertson, Abramovich به بررسی پخشیدگی جت‌های مستغرق پرداخت و نتیجه مطالعات خود را طی مقاله‌ای در سال ۱۹۸۴ با عنوان Diffusion of Submerged Jets منتشر کرد. Albertson و همکارانش در آزمایشات خود از سیال هوا استفاده کردند و با اندازه‌گیری پروفیل سرعت موفق به تشخیص دو ناحیه Zone of Flow Establishment و Zone of Established Flow در فلاکس جت‌ها شدند. ایشان همچنین با ترسیم $\frac{V_{\max}}{V}$ نسبت به $\frac{x}{B_0}$ برای جت گوشه‌دار و دایره‌ای تغییرات خطی سرعت محور جت را نسبت به X نشان دادند. نمونه‌ای از نمودارهای سرعت

ماکزیمم نسبت به $\frac{x}{B_0}$ در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. ایشان همچنین به نتایج ارزشمندی درباره تغییرات انرژی کینتیک، دبی و مونتم جت در مقاطع عرضی در Xهای مختلف دست پیدا کردند که مهمترین آنها ثابت بودن شار مومنتم در طول فلاکس جت می باشد.



شکل ۱-۲ تغییرات سرعت محور فلاکس جت در طول Xها

از دیگر محققینی که تحقیقات بسیاری را در زمینه جت‌ها انجام داده است می توان از Rajarantam نام برد. البته موضوع اغلب تحقیقات او جت‌های دیواره‌ای یا Wall jets می باشد. جت‌های دیواره‌ای در جریان زیر دریچه‌های لجن کش سدها به وجود می آیند. ایشان در کتاب *Developments in water science: volumes. Turbulent jets* (۱۹۷۶) به شرح تحقیقات خود در زمینه جت‌های دیواره‌ای و تحقیقات دیگر محققین درباره رژیم‌های دیگر جریان جت‌ها پرداخته است. یکی از نکات مهم در مورد این کتاب طرح رژیم جریان جت در cross flow توسط Rajarantam در مباحث آن می باشد.

پس از پیشرفت‌های اولیه‌ای که طی دو دهه در زمینه جت‌های توربولنت به دست آمد Abramovich کتابی را با عنوان *The Theory of Turbulent Jets* در سال ۱۹۶۳ منتشر کرد. او در این کتاب

جریان جتها را به دو بخش جتهای جریان غیر قابل تراکم و قابل تراکم تقسیمبندی کرد. در بخش غیرقابل تراکم که مربوط به مباحث مطرح شده در این نوشته می باشد به بررسی جتها در محیط پذیرنده ساکن، ویکها، اثر مرز بر جریان جت و جت مستغرق در جریان پذیرنده متحرک (coflow) پرداخت.

پس از چند دهه تلاشهای محققان در مورد جتهای خالص، پیشرفتهایی در این زمینه به دست آمده بود تا بتوان به بررسی رژیمهای پیچیدهتر جریان پرداخت. Wright در سال ۱۹۷۷ در پایان نامه دکتری خود به بررسی جامع رژیم جریان جتهای بویانت در cross flow به صورت دوبعدی (زمانی که شاربویانسی و شارمونتیم یکسو باشند جریان جت به صورت دوبعدی تحلیل می شود) پرداخت. او خصوصیات جریان را در شرایط جریان پذیرنده لایه ای و بدون لایه بندی چگالی (سیال پذیرنده همگن) بررسی کرد. پایان نامه ایشان از مهمترین منابع در این زمینه به حساب می آید. ایشان با عکسبرداری از تراجکتوری جت، اندازه گیری غلظت در طول فلاکس جت و با ایجاد جریان پذیرنده لایه ای به صورت مصنوعی به بررسی تراجکتوری و ترقیق جتهای بویانت در crossflow (دو بعدی) پرداخت. در شکل های ۲-۲ و ۳-۲ نمونه ای از نمودارهای ترقیق نسبت به ارتفاع به صورت بدون بعد و عکسهای برداشت شده از تراجکتوری جت توسط Wright نشان داده شده است.

Wright توانست جریانهای بویانت در cross flow (دو بعدی) را با استفاده از آنالیز شاخص طولی تبیین نماید. معادلات ارائه شده توسط Wright پس از گذشت سه دهه هنوز در طراحی خروجی پسابها به منابع پذیرنده استفاده می شوند و تنها ضرایب ثابت به دست آمده توسط Wright به روشهای دقیق تر به روز رسانی شده اند. Wright همچنین توانست با استفاده از مفهوم شاخص طولی غالبیت بویانسی و مومنتم را تبیین کند. او جریان جتهای بویانت در cross flow (دو بعدی) را به چهار منطقه تقسیم کرد که در هر جریان امکان حضور سه عدد از آنها وجود دارد که به ترتیب از چپ به راست به دو صورت MDNF, MDFF, BDNF, BDNF, BDNF یا MDNF, MDFF, BDNF می باشند. او

این مسئله را بیان کرد که در جریان‌های بویانت سرانجام بویانسی نیروی غالب در منطقه دور خواهد شد.

Doneker و Jerika مطالعات بسیاری را در زمینه جت‌ها انجام داده‌اند که از جمله آنها می‌توان طبقه‌بندی جت‌های مستغرق تک دهانه در سال ۱۹۹۱ نام برد ایشان با استفاده از مفهوم شاخص طولی به طبقه‌بندی رژیم‌های مختلف جریان براساس خصوصیات جت مانند سرعت، دبی، زاویه و خصوصیات جریان پذیرنده مانند سیال همگن یا لایه‌ای پرداختند. ایشان دیاگرام‌هایی را همانطور که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است بر پایه نتایج آزمایشات تجربی و مشاهدات صحرایی بسیار ترسیم کردند و توانستند رژیم‌های مختلف جریان جت‌ها را کاملاً طبقه‌بندی کنند. ایشان جریان جت‌ها را به چهار شاخه اصلی طبقه‌بندی کردند: ۱- جریان‌هایی که تحت تأثیر لایه بندی خطی جریان پذیرنده به دام می‌افتند؛ ۲- جریان‌های بویانت در محیط پذیرنده همگن؛ ۳- جریان‌های بویانت منفی در محیط پذیرنده همگن؛ ۴- جریان‌هایی که با کف تماس پیدا کرده‌اند. هر کدام از این شاخه‌ها به زیر گروه‌هایی تقسیم بندی می‌شوند و کلاس‌های مختلف جریان را مشخص می‌کنند ایشان همین روش را برای خروجی‌های جت چند دهانه نیز به کار گرفته‌اند.

Doneker و Jerika همچنین مدل Cormix را برای تحلیل جت‌های مستغرق طراحی کرده‌اند. این مدل با استفاده از آنالیز شاخص طولی به تحلیل جریان می‌پردازد و مبنای آن همان کلاس‌بندی جریان جت‌ها می‌باشد. Jerika همچنین در سال ۲۰۰۷ مدلی انتگرالی برای خروجی‌های سطحی بویانت ارائه کرده است. او در این مقاله به بررسی پارامترهای جریان در شرایط مختلف پرداخته است او با تقسیم جریان به دو گروه تخلیه شونده در سیال پذیرنده عمیق و کم عمق شرایط جریان را برای Zone of Flow Establishment و Zone of Established Flow بدست آورد. او همچنین از محدود دانشمندی است که به بررسی شرایط جریان پس از تماس با کف (Bottom attachment) پرداخته