

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران – آب

تحقیقات آزمایشگاهی بررسی الگوی جریان در جت های سه بعدی دیواره ای آشفته

با مقطع دایره ای

دانشجو:

علی شجاعی زاده

استاد راهنما:

دکتر مسعود قدسیان

استاد مشاور:

دکتر سید علی اکبر صالحی نیشابوری

بهار ۱۳۸۹

## تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: علی شجاعی زاده

را با عنوان:

تحقیقات آزمایشگاهی بررسی الگوی جریان در جت های سه بعدی دیواره ای آشفته با مقطع دایره ای

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی تأیید می کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
			۱- استاد راهنما
			۲- استاد مشاور
			۳- استاد مشاور
			۴- استاد ممتحن
			۵- استاد ممتحن
			۶- نماینده گروه

تقدیم

این پایان نامه را تقدیم می‌کنم به

پدرم، پشتوانه جاودانه تمام عمرم

مادرم، اسوه آرامش و صبرم

برادرانم، مشاوران تنهاییام

و خواهرانم، شیرینی‌های تمام لحظاتم

## تشکر و قدردانی

بر خود لازم می دانم از زحمات و راهنماییهای ارزنده جناب آقای دکتر مسعود قدسیان که استاد راهنمای اینجانب در انجام این پایان نامه بودند تقدیر و تشکر نمایم. همچنین از زحمات استاد محترم جناب آقای دکتر علی اکبر صالحی نیشابوری به عنوان استاد مشاور این پایان نامه تشکر نموده و جا دارد از اساتید محترم جناب آقای دکتر فرزین نصیری صالح و جناب آقای دکتر جلال عطاری که زحمت داوری پایان نامه را بر عهده داشتند نیز سپاسگزاری نمایم.

علی شجاعی زاده

بهار ۱۳۸۹

## چکیده

هر گاه جریان دارای ضخامت نسبتاً کم و سرعت زیاد وارد سیالی با سرعت کمتر از خود شود، میدان حاصل از تداخل این دو جریان جت نامیده می شود. در مسائل مهندسی، اکثر جت ها را در محدوده جت های آشفته مورد بحث قرار می دهند. جت های آرام در سرعت های پایین سیالات با ویسکوزیته بالا و در مقیاس های کوچک رخ می دهند. برای جریان عبوری از یک شکاف، عدد رینولدز معمولاً به صورت  $Re = \rho v d / \mu$  بیان می شود که در آن  $v$  سرعت متوسط در محور شکاف،  $d$  بازشدگی شکاف و  $\rho$  و  $\mu$  به ترتیب چگالی و ویسکوزیته دینامیکی سیال است.

جت های محصور در ارتباط با مرزهایی در نزدیکی جریان هستند که آنها را نیز می توان از لحاظ ارتباط با مرزها به دو دسته جت آفست و جت دیواره ای تقسیم بندی کرد که در جت دیواره ای، یک دیواره موازی محور جت، منطبق بر محل انتشار قرار دارد. جریان عبوری از زیر دریچه در گروه این نوع جت ها قرار می گیرد. در جت های دیواره ای، میدان جریان را بر اساس استهلاک سرعت ماکزیمم می توان به سه منطقه هسته پتانسیل، منطقه استهلاک مشخصات و منطقه استهلاک شعاعی تقسیم بندی کرد.

تحقیقات زیادی از گذشته درباره جت های دیواره ای انجام شده است که نشان از کاربرد عمده آنها و همچنین اهمیت آنها می باشد. با وجود تحقیقات فراوانی که بر روی این جت ها انجام شده است ولی تعداد کمی از کارهای انجام شده به بررسی پارامترهای آشفتهگی در این گونه جت ها پرداخته اند. همچنین بیشتر آزمایش های انجام شده بر روی سطوح صاف انجام شده و آزمایشاتی که در آنها پارامترهای آشفتهگی مورد بحث قرار گرفته و بر روی سطوح مختلف زبر و صاف انجام شده اند غالباً به صورت دو بعدی بوده اند.

در این نوشتار به بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان پیرامون جت دیواره ای به منظور بررسی تاثیر تغییرات زبری بستر بر الگوی جریان شکل گرفته، میدان سرعت و تنش های رینولدز پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا با انجام آزمایشات با استفاده از سرعت سنج سه بعدی برای برداشت هر سه مولفه سرعت جریان، داده های برداشت شده را مورد پردازش قرار داده و بعد از آن به ترسیم الگوهای جریان و مشخصه های آشفتهگی با در نظر گرفتن تغییرات مورد نظر پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش زبری بستر نرخ رشد مقیاس طولی کاهش و نرخ استهلاک سرعت جت افزایش می یابد. مولفه  $u$  شدت آشفتهگی نیز با افزایش زبری بستر، افزایش یافته است. همچنین با فاصله گرفتن از جت، تنش برشی بستر کاهش یافته و با افزایش زبری بستر، تنش برشی هم روند افزایش داشته است.

**کلید واژه:** جت دیواره ای، الگوی جریان، تنش های رینولدز، مشخصه های آشفتهگی، تنش برشی بستر، زبری، استهلاک سرعت

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
د	فهرست جدول‌ها.....
ه	فهرست شکل‌ها .....
۱	<b>فصل ۱- مقدمه.....</b>
۱	۱-۱- پیشگفتار.....
۱	۲-۱- ضرورت تحقیق.....
۲	۳-۱- اهداف و ساختار پایان نامه .....
۴	<b>فصل ۲- مفاهیم پایه.....</b>
۴	۱-۲- مقدمه.....
۴	۲-۲- تعریف عمومی جت‌ها.....
۵	۳-۲- انواع جت‌ها.....
۶	۴-۲- روند توسعه جت‌ها .....
۶	۱-۴-۲- روند توسعه جت آزاد.....
۷	۲-۴-۲- روند توسعه جت دیواره ای.....
۸	۵-۲- زبری.....
۹	۱-۵-۲- زبری معادل ماسه ای $(k_s)$ Nikuradse.....
۱۰	۲-۵-۲- مشخصه های رسوب.....
۱۰	۳-۵-۲- منحنی دانه بندی.....
۱۱	۶-۲- جریان های آشفته و خصوصیات آشفتهگی.....
۱۱	۱-۶-۲- تعریف جریان آشفته.....
۱۳	۲-۶-۲- تنش برشی در جریانات آشفته.....
۱۳	۳-۶-۲- لایه مرزی.....
۱۴	۴-۶-۲- خصوصیات آشفتهگی.....
۱۸	<b>فصل ۳- مروری بر تحقیقات گذشته.....</b>
۱۸	۱-۳- مقدمه.....
۱۸	۲-۳- مروری بر کارهای صورت گرفته.....
۳۸	<b>فصل ۴- تجهیزات مورد استفاده و برنامه ریزی انجام آزمایشات.....</b>
۳۸	۱-۴- مقدمه.....
۳۸	۲-۴- تجهیزات مورد استفاده در آزمایشها.....
۳۸	۱-۲-۴- کانال مستقیم.....

۳۹	دبی سنج.....	۲-۲-۴
۳۹	عمق سنج.....	۳-۲-۴
۴۰	صاف کن.....	۴-۲-۴
۴۰	دریچه انتهایی کانال.....	۵-۲-۴
۴۱	جت.....	۶-۲-۴
۴۱	بسترهای مورد آزمایش.....	۷-۲-۴
۴۱	بسترهای زبر.....	۱-۷-۲-۴
۴۵	بستر صاف.....	۲-۷-۲-۴
۴۵	وسایل اندازه گیری سرعت.....	۸-۲-۴
۴۸	مختصری در مورد عملکرد سرعت سنج.....	۱-۸-۲-۴
۵۰	برنامه ریزی به منظور انجام آزمایشات.....	۳-۴
۵۰	شبکه بندی.....	۱-۳-۴
۵۰	تعداد آزمایشها.....	۲-۳-۴
۵۱	پردازش داده ها.....	۳-۳-۴
۵۱	مقدمه بر فیلترینگ داده ها.....	۱-۳-۳-۴
۵۴	الگوریتم ها.....	۲-۳-۳-۴
۵۶	مراحل انجام آزمایشات.....	۴-۳-۴

## فصل ۵- مشاهدات و تجزیه و تحلیل نتایج..... ۵۹

۵۹	مقدمه.....	۱-۵
۵۹	بررسی الگوی جریان پیرامون جت دیواره ای.....	۲-۵
۵۹	توزیع سرعت در صفحه مرکزی جت:.....	۱-۲-۵
۶۰	تاثیر زبری بر روی مقیاس طولی.....	۲-۲-۵
۶۲	تاثیر زبری بر روی استهلاك سرعت.....	۳-۲-۵
۶۳	تاثیر زبری بر روی میدان جریان.....	۴-۲-۵
۶۶	ترسیم بردارهای سرعت.....	۵-۲-۵
۶۶	بردارهای سرعت در صفحه مرکزی جت.....	۱-۵-۲-۵
۶۷	بردارهای سرعت در راستای طولی.....	۲-۵-۲-۵
۶۹	بردارهای سرعت در پلان و تاثیر زبری بر آن.....	۳-۵-۲-۵
۷۲	بردارهای سرعت در راستای عرضی.....	۴-۵-۲-۵
۷۳	تاثیر زبری بر روی تنش های رینولدز و شدت آشفتگی.....	۳-۵
۷۳	تاثیر زبری بر روی تنش های رینولدز.....	۱-۳-۵
۷۵	تاثیر زبری بر روی شدت آشفتگی.....	۲-۳-۵
۷۷	بررسی مشخصه های آشفتگی.....	۳-۳-۵
۸۰	تاثیر زبری بر روی تنش برشی بستر.....	۴-۵

## فصل ۶- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها..... ۸۳

۸۳	نتیجه گیری.....	۱-۶
----	-----------------	-----



۸۳	.....	۱-۱-۶	نتایج مربوط به الگوی جریان
۸۳	.....	۲-۱-۶	نتایج مربوط به تنش های رینولدز و شدت آشفتگی
۸۴	.....	۲-۶	پیشنهادها
۸۵	.....		فهرست مراجع

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳: خلاصه ای از تحقیقات انجام شده بر روی جت های دیواره ای سه بعدی.....	۳۶
جدول ۱-۴: کنترل یکنواختی مصالح با قطر متوسط 1.05 mm.....	۴۳
جدول ۲-۴: کنترل یکنواختی مصالح با قطر متوسط 1.6 mm.....	۴۴
جدول ۳-۴: کنترل یکنواختی مصالح با قطر متوسط 3.28 mm.....	۴۴
جدول ۴-۴: مشخصات آزمایشها.....	۵۱
جدول ۱-۵ : مشخصات آزمایش های Wu و Rajaratnam.....	۶۱

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: پخش میدان جت [Launder and Rodi (1981)]	۱
شکل ۲-۱: توزیع سرعت ناشی از جت دیواره ای [Eriksson, 2003]	۱
شکل ۱-۲: انتشار جت در داخل محیط سیال [برومند، (۱۳۸۳)]	۴
شکل ۲-۲: روند توسعه جت آزاد [برومند، (۱۳۸۳)]	۶
شکل ۳-۲: پروفیل سرعت در نواحی مختلف در یک جت دیواره ای، (a) منطقه هسته پتانسیل، (b) مناطق استهلاک مشخصات و استهلاک شعاعی [Padmanabham and Gowda (1991)]	۷
شکل ۴-۲: توسعه سه منطقه در جت دیواره ای (a) $h/d=0.8$ ، (b) $h/d=0.23$ [Padmanabham and Gowda (1991)]	۷
شکل ۵-۲: تعریف $h/d$ [Padmanabham and Gowda (1991)]	۸
شکل ۶-۲: روند توسعه جت دیواره ای دو بعدی [Syoginus et al. (2007)]	۸
شکل ۷-۲: ارتفاع زبری، $k$ و ارتفاع زبری ماسه ای $k_s$ ، Nikuradse	۹
شکل ۸-۲: رشد لایه مرزی بر روی یک صفحه تخت [صنّعی نژاد (۱۳۸۳)]	۱۱
شکل ۹-۲: پروفیل عرضی سرعت در جت دیواره ای [صنّعی نژاد (۱۳۸۳)]	۱۲
شکل ۱۰-۲: لایه مرزی هیدرو دینامیکی تشکیل شده بر روی یک صفحه تخت [صنّعی نژاد (۱۳۸۳)]	۱۴
شکل ۱۱-۲: پروفیل سرعت در یک جریان آشفته و لایه های مختلف جریان مجاور دیواره [صنّعی نژاد (۱۳۸۳)]	۱۶
شکل ۱-۳: جت دیواره ای سه بعدی [Launder and Rodi (1983)]	۱۹
شکل ۲-۳: پخش طولی و جانبی جت دیواره ای سه بعدی، (a) جت دیواره ای آشفته با $Re=1100$ ، (b) جت دیواره ای آشفته با $Re=4000$ [Launder and Rodi (1983)]	۱۹
شکل ۳-۳: طرح شماتیک جت دیواره ای دو بعدی	۲۰
شکل ۴-۳: پروفیل سرعت متوسط در نیم پهنای جت، مقایسه بین سطح صاف و زبر	۲۰
شکل ۵-۳: میدان سرعت جریان در جت دیواره ای سه بعدی [Launder and Rodi (1983)]	۲۱
شکل ۶-۳: (b) تجهیزات آزمایشگاهی (c) زبری بستر [Wu and Rajaratnam (1990)]	۲۱
شکل ۷-۳: پروفیل سرعت و متغیرهای استفاده شده [Wu and Rajaratnam (1990)]	۲۲
شکل ۸-۳: تشابه پروفیل سرعت در جهت های مختلف [Wu and Rajaratnam (1990)]	۲۳
شکل ۹-۳: پروفیل ساختار سرعت در جت دیواره ای سه بعدی [Law and Herlina (2002)]	۲۴
شکل ۱۰-۳: تشابه پروفیل سرعت در جهت جریان در صفحه مرکز جت با $Re=5500$	۲۴
شکل ۱۱-۳: تشابه پروفیل سرعت در جهت جریان در صفحه مرکز جت برای عدد رینولدزهای مختلف	۲۵
شکل ۱۲-۳: پروفیل سرعت $W$ با $Re=12200$	۲۵

- شکل ۳-۱۳: (a) تشابه پروفیل سرعت  $U$  در جهت عرضی در  $z=z_m$  برای  $Re=5500$  ،  
 (b) تشابه پروفیل سرعت  $U$  در جهت عرضی در  $z=z_m$  ..... ۲۶
- شکل ۳-۱۴: استهلاك ماکزیمم سرعت میانگین [Law , Herlina(2002)] ..... ۲۷
- شکل ۳-۱۵: (a) تغییرات نیم ارتفاع سرعت در امتداد خط مرکزی جت (b) تغییرات نیم پهنای  
 سرعت [Law , Herlina(2002)] ..... ۲۷
- شکل ۳-۱۶: (a) تغییرات شدت آشفتگی مولفه  $u$  در جهت جریان (b) تغییرات شدت آشفتگی مولفه  $w$   
 در جهت جریان [Law , Herlina(2002)] ..... ۲۸
- شکل ۳-۱۷: تغییرات شدت آشفتگی مولفه  $u$  در جهت عرضی جریان [Law , Herlina(2002)] ..... ۲۹
- شکل ۳-۱۸: تشابه پروفیل های سرعت (همه آزمایشات) ..... ۳۱
- شکل ۳-۱۹: توزیع عمودی  $u$  برای  $U=1.21$  m/s روی بسترهایی با زبری (a) [Dey ,Sarkar(2008)]  
 ..... ۳۳  $d_{50}=0.49$  mm, (b)  $d_{50}=0.8$  mm, (c)  $d_{50}=1.86$  mm, (d)  $d_{50}=3$  mm
- شکل ۳-۲۰: بردارهای سرعت بی بعد شده برای  $U=1.21$  m/s روی بسترهایی با زبری [Dey  
 ..... ۳۴  $d_{50}=0.49$  mm, (b)  $d_{50}=0.8$  mm, (c)  $d_{50}=1.86$  mm, (d)  $d_{50}=3$  mm, Sarkar(2008)]
- شکل ۳-۲۱: توزیع افقی  $\tau$  برای آزمایش های مختلف [Dey ,Sarkar(2008)] ..... ۳۵
- شکل ۴-۱: (a) نمای کلی از کانال آزمایشگاهی مستقیم ، (b) نمای شماتیک از محدوده مورد آزمایش ..... ۳۸
- شکل ۴-۲: دبی سنج ..... ۳۹
- شکل ۴-۳: عمق سنج ..... ۳۹
- شکل ۴-۴: صاف کن ..... ۴۰
- شکل ۴-۵: دریچه انتهایی کانال ..... ۴۰
- شکل ۴-۶: نمای شماتیک از کانال با تجهیزات مربوطه ..... ۴۱
- شکل ۴-۷: جت ورودی به کانال ..... ۴۱
- شکل ۴-۸: مصالح با قطر متوسط  $1/0.5$  میلیمتر ..... ۴۲
- شکل ۴-۹: (a) درصد وزنی رد شده و مانده بر روی الک ها برای مصالح با قطر متوسط  $1/0.5$  میلیمتر، (b)  
 نمودار دانه بندی مصالح با قطر متوسط  $1/0.5$  میلیمتر ..... ۴۳
- شکل ۴-۱۰: نمودار دانه بندی مصالح با قطر متوسط  $1/6$  میلیمتر ..... ۴۴
- شکل ۴-۱۱: نمودار دانه بندی مصالح با قطر متوسط  $3/28$  میلیمتر ..... ۴۴
- شکل ۴-۱۲: (a) مصالح با قطر  $3/28$  میلیمتر ، (b) مصالح با قطر  $1/6$  میلیمتر ..... ۴۵
- شکل ۴-۱۳: بستر صاف ..... ۴۵
- شکل ۴-۱۴: دستگاه ADV حین برداشت داده ..... ۴۶
- شکل ۴-۱۵: مقایسه بین سرعت سنج و کترینو و سرعت سنج میکرو [Lohrmann, Malzone  
 ..... ۴۷ ADV] (2004)
- شکل ۴-۱۶: اجزاء تشکیل دهنده سرعت سنج سه بعدی Vectrino ..... ۴۸
- شکل ۴-۱۷: نحوه عملکرد شماتیک پروب در Vectrino ..... ۴۹
- شکل ۴-۱۸: نحوه تقاطع شاخکهای پروب ..... ۴۹

شکل ۴-۱۹: جهات محورهای مربوط به مولفه های سرعت..... ۴۹

شکل ۴-۲۰: نمونه ای از شبکه بندی انجام شده برای برداشت میدان سرعت..... ۵۰

شکل ۴-۲۱: مثالی از داده ADV که شامل spikeهایی از اندازه گیری در نزدیکی بستر می باشد [Goring and Nikora,(2002)]..... ۵۲

شکل ۴-۲۲: ابری از داده های اندازه گیری توسط ADV که مشتقات توسط  $g$  مقیاس دار شده اند توسط فضای فازی نشان داده شده است [Goring and Nikora (2002)]..... ۵۴

شکل ۵-۱: نمای شماتیک جت دیواره ای سه بعدی..... ۵۹

شکل ۵-۲: توزیع سرعت در صفحه مرکزی جت برای  $U=1.671$  m/s و  $d_{50}=1.05$  mm..... ۶۰

شکل ۵-۳: توزیع سرعت در صفحه مرکزی جت [Wu and Rajaratnam(1990)]..... ۶۰

شکل ۵-۴: نرخ رشد مقیاس طولی برای زبری های مختلف..... ۶۱

شکل ۵-۵: نرخ رشد مقیاس طولی برای آزمایش های مختلف [Wu and Rajaratnam(1990)]..... ۶۱

شکل ۵-۶: نرخ رشد مقیاس طولی برای عدد رینولدزهای مختلف [Law and Herlina(2002)]..... ۶۲

شکل ۵-۷: نرخ استهلاک سرعت جت برای زبری های مختلف..... ۶۲

شکل ۵-۸: استهلاک سرعت به ازای رینولدز های مختلف..... ۶۳

شکل ۵-۹: توزیع عمودی  $u$  برای  $u=1.671$  m/s و زبری بستر  $d_{50}=1.6$  mm(b)  $d_{50}=1.05$  mm(a)..... ۶۴

شکل ۵-۱۰: توزیع عمودی  $w$  برای  $u=1.671$  m/s و زبری بستر  $d_{50}=1.6$  mm(b)  $d_{50}=1.05$  mm(a)..... ۶۴

شکل ۵-۱۱: توزیع عمودی  $v$  برای  $u=1.21$  m/s و زبری های بستر  $d_{50}=0.49$ mm, (b)  $d_{50}=0.8$  mm, (c)  $d_{50}=1.86$ mm [Dey ,Sarkar (2008)]..... ۶۶

شکل ۵-۱۲: بردارهای سرعت رسم شده برای  $u=1.671$  m/s و زبری های بستر  $d_{50}=3.28$  mm(b)  $d_{50}=1.05$  mm(a)..... ۶۷

شکل ۵-۱۳: بردارهای سرعت در راستای طولی برای  $U=1.67$  m/s در  $y=10$  cm و برای زبری های بستر  $d_{50}=3.28$  mm(b)  $d_{50}=1.05$  mm(a)..... ۶۸

شکل ۵-۱۴: بردارهای سرعت در راستای طولی برای  $U=1.67$  m/s در  $y=20$  cm و برای زبری های بستر  $d_{50}=3.28$  mm(b)  $d_{50}=1.05$  mm(a)..... ۶۸

شکل ۵-۱۵: الگوی جریان برای جت در تراز  $0.5$  سانتیمتری از کف برای  $u=1.671$  m/s و برای زبری های بستر  $d_{50}=3.28$  mm(b)  $d_{50}=1.05$  mm(a)..... ۶۹

شکل ۵-۱۶: الگوی جریان برای جت در تراز  $3$  سانتیمتری از کف برای  $u=1.671$  m/s و برای زبری های بستر  $d_{50}=3.28$  mm(b)  $d_{50}=1.05$  mm(a)..... ۷۰

شکل ۵-۱۷: الگوی جریان برای جت در تراز  $6$  سانتیمتری از کف برای  $u=1.671$  m/s و برای زبری های بستر  $d_{50}=3.28$  mm(b)  $d_{50}=1.05$  mm(a)..... ۷۰

شکل ۵-۱۸: الگوی جریان برای جت در تراز  $12$  سانتیمتری از کف برای  $u=1.671$  m/s و برای زبری های بستر  $d_{50}=3.28$  mm(b)  $d_{50}=1.05$  mm(a)..... ۷۱

- شکل ۵-۱۹: الگوی جریان برای جت در تراز ۱۸ سانتیمتری از کف برای  $u=1.671$  m/s و برای زبری های بستر (a)  $d_{50}=1.05$  mm (b)  $d_{50}=3.28$  mm ..... ۷۱
- شکل ۵-۲۰: خطوط جریان عرضی به فاصله  $x/d=3.25$  از جت و برای  $u=1.671$  m/s و برای زبری های بستر (a)  $d_{50}=1.05$  mm (b)  $d_{50}=3.28$  mm ..... ۷۲
- شکل ۵-۲۱: خطوط جریان عرضی به فاصله  $x/d=15$  از جت و برای  $u=1.671$  m/s و برای زبری های بستر (a)  $d_{50}=1.05$  mm (b)  $d_{50}=3.28$  mm ..... ۷۲
- شکل ۵-۲۲: خطوط جریان عرضی به فاصله  $x/d=35$  از جت و برای  $u=1.671$  m/s و برای زبری های بستر (a)  $d_{50}=1.05$  mm (b)  $d_{50}=3.28$  mm ..... ۷۳
- شکل ۵-۲۳: خطوط جریان عرضی به فاصله  $x/d=45$  از جت و برای  $u=1.671$  m/s و برای زبری های بستر (a)  $d_{50}=1.05$  mm (b)  $d_{50}=3.28$  mm ..... ۷۳
- شکل ۵-۲۴: توزیع عمودی  $uw +$  برای  $U=1.67$  m/s و برای زبری های مختلف، (b)  $d_{50}=1.6$  mm (a)  $d_{50}=1.05$  mm (c)  $d_{50}=3.28$  mm ..... ۷۴
- شکل ۵-۲۵: توزیع عمودی  $uv +$  برای  $U=1.21$  m/s روی بسترهایی با زبری [Dey, Sarkar (2008)] (a)  $d_{50}=0.49$  mm, (b)  $d_{50}=0.8$  mm, (c)  $d_{50}=1.86$  mm, (d)  $d_{50}=3$  mm ..... ۷۵
- شکل ۵-۲۶: توزیع عمودی  $u +$  برای  $U=1.67$  m/s و برای زبری های مختلف، (b)  $d_{50}=1.6$  mm (a)  $d_{50}=1.05$  mm (c)  $d_{50}=3.28$  mm ..... ۷۶
- شکل ۵-۲۷: توزیع عمودی  $v +$  و  $w +$  برای  $U=1.67$  m/s و برای زبری بستر  $d_{50}=3.28$  mm ..... ۷۷
- شکل ۵-۲۸: تغییرات در جهت طول مولفه  $u$  شدت آشفتگی برای زبری های بستر (b)  $d_{50}=3.28$  mm (a)  $d_{50}=1.05$  mm ..... ۷۸
- شکل ۵-۲۹: تغییرات در جهت طول مولفه  $w$  شدت آشفتگی برای زبری های بستر (b)  $d_{50}=3.28$  mm (a)  $d_{50}=1.05$  mm ..... ۸۰
- شکل ۵-۳۰: توزیع افقی  $\tau$  برای زبری های مختلف ..... ۸۱
- شکل ۵-۳۱: روند افزایشی تنش برشی بی بعد شده بستر نسبت به افزایش زبری ..... ۸۱

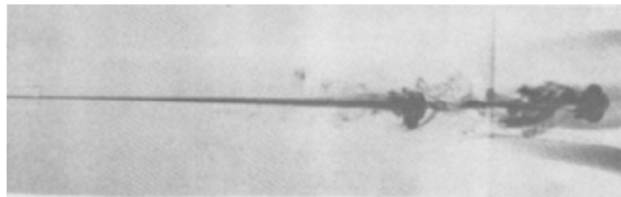
**فصل اول**

**مقدمه**

## فصل ۱- مقدمه

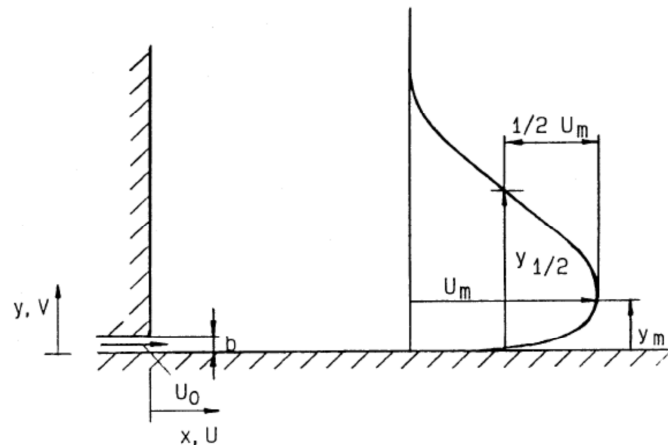
### ۱-۱- پیشگفتار

هرگاه جریان دارای ضخامت نسبتاً کم و سرعت زیاد، وارد سیال با سرعت کمتر از خود گردد، میدان حاصل از تداخل این دو جریان جت نامیده می شود (شکل ۱-۱). جت ها را می توان از جهت حد فاصل محل تخلیه تا مرزهای محدود کننده به دو دسته جت های آزاد و جت های محصور تقسیم بندی کرد. در جت های دیواره ای، یک دیواره موازی محور جت، منطبق بر محل انتشار قرار دارد. جریان عبوری از زیر دریچه در گروه این نوع جت ها قرار می گیرد.



شکل ۱-۱: پخش میدان جت [Launder and Rodi (1981)]

توزیع سرعت ناشی از جت دیواره ای نشان می دهد که دو ناحیه جریان وجود دارد، منطقه بین جداره (بستر) و محلی که سرعت ماکزیمم است به منطقه لایه مرزی موسوم است و منطقه ما بین سرعت ماکزیمم و سطح آزاد که به منطقه اختلاط آزاد موسوم است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲: توزیع سرعت ناشی از جت دیواره ای [Eriksson, 2003]

### ۱-۲- ضرورت تحقیق

در مقایسه با تحقیقاتی که روی جت های دیواره ای دو بعدی با نازل های مختلف انجام شده است بر روی جت دیواره ای سه بعدی تحقیقات محدودی انجام شده است. اولین مطالعات آزمایشگاهی روی جت



دیواره ای سه بعدی توسط Sforza و همکاران وی در سال ۱۹۶۶ آغاز شد. در ادامه نیز تحقیقات زیادی در مورد این گونه جت ها، بویژه جت های دیواره ای دو بعدی انجام شده است. اما آنچه که مسلم است و بایستی به آن توجه کرد این است که با توجه به تحقیقاتی که بر روی جت های دیواره ای تا به امروز انجام شده است، تحقیقات کاملی در مورد تاثیر زبری بستر بر روی پارامترهای آشفستگی این نوع جتها در ابعاد سه بعدی انجام نشده است و آزمایشاتی هم که در آنها پارامترهای آشفستگی مورد بحث قرار گرفته و بر روی سطوح مختلف زبر و صاف انجام شده اند غالباً به صورت دو بعدی بوده اند و این حاکی از آن است که هنوز جای تحقیق بر روی این گونه جت ها وجود دارد و ضرورت تحقیق را بر روی این گونه جت ها نشان می دهد.

### ۱-۳- اهداف و ساختار پایان نامه

در این تحقیق بررسی تاثیرات زبری بستر بر روی پارامترهای آشفستگی در این نوع جت ها در شرایط کف صلب انجام می شود. هدف از انجام این تحقیق بررسی میدان جریان ایجاد شده توسط جت های دیواره ای و بررسی برخی از پارامترهای آشفستگی این نوع جت ها در شرایط هیدرولیکی مختلف (عدد رینولدزها و زبری های مختلف) می باشد.

سوالاتی که در مورد تحقیقات آزمایشگاهی روی جت دیواره ای می تواند مطرح شود و در این تحقیق سعی بر آن است که پاسخ این سوالات با توجه به تحقیقات آزمایشگاهی بررسی شود عبارتند از: اثر تغییر زبری بستر بر پارامترهای آشفستگی (نوسانات سرعت، تنش های رینولدز، پارامترهای آشفستگی و ...)، میدان جریان سرعت میانگین جت چگونه است؟

در ادامه در فصل دوم به مرور مفاهیم پایه راجع به زبری و آشفستگی و معرفی جت دیواره ای پرداخته می شود. در فصل سوم مروری بر تحقیقات گذشته انجام شده است. در فصل چهارم تجهیزات مورد استفاده و برنامه ریزی انجام آزمایشات بیان شده است. در فصل پنجم مشاهدات و تجزیه و تحلیل نتایج آورده شده است و در نهایت در فصل ششم نتایج حاصل ارائه و پیشنهادها بیان شده است.

**فصل دوم**  
**مفاهیم پایه**

## فصل ۲- مفاهیم پایه

### ۲-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا مروری بر تعریف جت ها ، انواع آنها و همچنین روند توسعه آنها انجام شده و در ادامه کلیاتی در مورد مفهوم زبری ، بررسی مشخصه های رسوب، زبری معادل ماسه ای، همچنین بسترهایی که از نظر هیدرولیکی یکنواخت نامیده می شوند و در نهایت تعریف و خصوصیات جریان آشفته، صورت گرفته است.

### ۲-۲- تعریف عمومی جت ها

هر گاه جریان دارای ضخامت نسبتاً کم و سرعت زیاد وارد سیالی با سرعت کمتر از خود شود، میدان حاصل از تداخل این دو جریان جت نامیده می شود. در شکل شماره ۲-۱ طرح شماتیکی از انتشار یک جت در داخل سیال اطرافش نشان داده شده است.



شکل ۲-۱: انتشار جت در داخل محیط سیال [برومند، (۱۳۸۳)]

در مسائل مهندسی، اکثر جت ها را در محدوده جت های آشفته مورد بحث قرار می دهند. جت های آرام در سرعت های پایین سیالات با ویسکوزیته بالا و در مقیاس های کوچک رخ می دهند. برای جریان عبوری از یک شکاف، عدد رینولدز معمولاً به صورت  $Re = \rho v d / \mu$  بیان می شود که در آن  $v$  سرعت متوسط در محور شکاف،  $d$  بازشدگی شکاف و  $\rho$  و  $\mu$  به ترتیب چگالی و ویسکوزیته دینامیکی سیال است. در جریان داخل لوله ها، ناحیه انتقالی از حالت آرام به آشفته در محدوده اعداد رینولدز  $Re < 2 * 10^3$  تعریف می شود. در مورد جت ها زمانی که  $Re > 3 * 10^4$  باشد، جریان به صورت کاملاً آشفته مورد بحث قرار می گیرد [Johnston, 1978].

## ۲-۳- انواع جت ها

جت های مورد بحث از لحاظ مقطع ورودی، می توانند به دسته های زیر تقسیم بندی شوند:

- جت صفحه ای دو بعدی<sup>۱</sup>: جتی که از نواری خارج شده و وارد سیال ساکن می شود. این جت در جهات طول و عمق توسعه یافته و سیستم مختصات کارتزین دو بعدی  $(x,y)$  برای آن تعریف می شود.
- جت صفحه ای سه بعدی<sup>۲</sup>: از روزنه مستطیل شکلی که هم عرض کانال نیست، جریان با سرعت زیاد خارج شده و علاوه بر جهات عمق و طول در جهت عرضی نیز داخل سیال کم سرعت پخش می شود.
- جت دایره ای<sup>۳</sup>: این جت از داخل شکاف دایره ای شکل و یا لوله حلقوی خارج می شود. برای چنین جتی سیستم مختصات استوانه ای  $(z,r,\theta)$  معرفی می شود.
- جت استوانه ای<sup>۴</sup>: استوانه ای داخل سیالی با سرعت کم قرار دارد. در اطراف استوانه شکاف هایی وجود دارد که سیالی با سرعت زیاد از این شکاف ها خارج شده و تشکیل جت استوانه ای را می دهد.

از نظر مرزهای جامد محدود کننده، جت ها را می توان به دو دسته اصلی تقسیم بندی نمود:

- جت های آزاد<sup>۵</sup>: اگر مرزها به حد کافی از منشا جت دور باشند، می توان جریان را در زمره یک جت آزاد مورد بحث قرار داد.
- جت های محصور<sup>۶</sup>: این جت ها در ارتباط با مرزهایی در نزدیکی جریان هستند که آنها را نیز می توان از لحاظ ارتباط با مرزها به صورت زیر طبقه بندی نمود:
  - جت سطحی<sup>۷</sup>: در این جت، محل انتشار منطبق بر سطح آزاد سیال و محور جت موازی آن بوده که جت پس از انتشار بر روی این سطح حرکت می کند. به عنوان نمونه، جریان آب رودخانه در حین ورود به مخزن سد، از این نوع جت ها می باشد.
  - جت دیواره ای<sup>۸</sup>: در این نوع جت، یک دیواره موازی محور جت، منطبق بر محل انتشار قرار دارد. جریان عبوری از زیر دریچه در گروه این نوع جت ها قرار می گیرد.

<sup>1</sup> 2D-Plane Jet

<sup>2</sup> 3D-Plane Jet

<sup>3</sup> Circular Jet

<sup>4</sup> Radial Jet

<sup>5</sup> Free Jet

<sup>6</sup> Confined Jet

<sup>7</sup> Surface Jet

<sup>8</sup> Wall Jet