



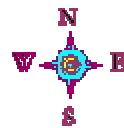
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشکده مهندسی عمران
گروه مهندسی محیط زیست

تخلیه فاضلاب در دریا

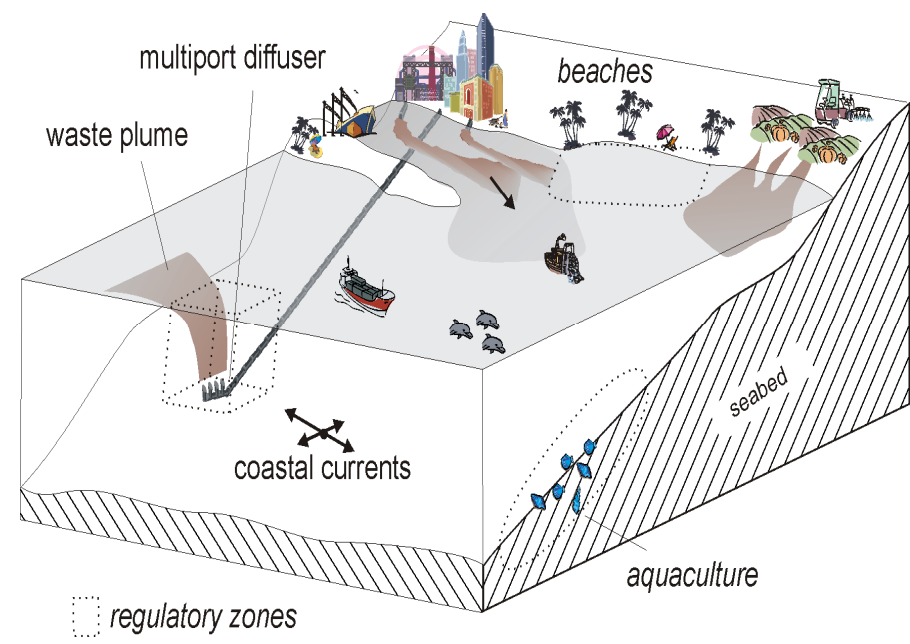
ارائه دهنده: عزیز عباسی





تخلیه فاضلاب در دریا

- تخلیه فاضلاب در دریا در بسیاری از موارد تنها گزینه ممکن به شمار رفته و علاوه بر اقتصادی بودن به عنوان یک گزینه محیط زیست دوست نیز (در مقابل تخلیه در خشکی) مورد پذیرش سازمانهای محیط زیستی مختلف قرار گرفته است.
- بیش از ۹۰ درصد از فاضلابهای تخلیه شونده به دریا فاضلابهای شهری و ۱۰ درصد مابقی فاضلابهای صنعتی هستند.
- در حوزه مدیترانه تنها ۳۰ درصد از فاضلابهایی که در ۷۰۰ شهر و روستای ساحلی تولید می شود تحت تصفیه قرار گرفته و بقیه مستقیماً بدون هر گونه تصفیه وارد دریا می گردند.
- سطح تیمار و تصفیه فاضلابهای ورودی به دریا پیش از تخلیه میتواند متغییر باشد.
- فاضلابهای تصفیه شده (شهری یا صنعتی) حتی پس از تصفیه نیز به میزان قابل توجهی مواد آلی، مواد قابل تجزیه، مواد معلق، نیترات و فسفات، ویروس، فلزات سنگین، سموم و آفتکش دارند .





اعتراض متفاوت به 'آلوده کردن خلیج فارس'

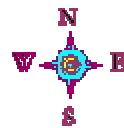
یک عضو شورای شهر بندرعباس که اعتراض‌هایش برای توقف تخلیه پساب شهری به خلیج فارس بی‌نتیجه مانده، شیوه دیگری برای نشان دادن اعتراض خود در پیش گرفت. کیانوش جهانبخش که رئیس کمیسیون بهداشت، سلامت و خدمات شهری شورای شهر بندرعباس است خودش را درمقابل کانال خور گورسوزان، یکی از کانال‌های اصلی ورود فاضلاب به دریا قرار داد.

روزانه ۵۷ هزار مترمکعب فاضلاب شهر بندرعباس وارد دریا می‌شود. شورای شهر بندرعباس می‌گوید در صورت ادامه‌ی ورود فاضلاب به دریا، باید از ورود مردم به دریا و شنا در سواحل خودداری شود.









دفع فاضلاب در محیط دریا (Waste water discharge in marine environment)

✓ دیدگاه سازمانهای بین المللی

- USEPA(1982)

- Royal commission on Env pol (1984)

✓ اثرات اقتصادی

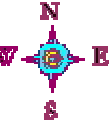
- عدم نیاز به تاسیسات پرهزینه تصفیه ثانویه و دفع لجن و زائدات جامد
- دفع پسابهای حجیم تولیدی صنایع ساحلی با حداقل هزینه
- ترفیق فاضلاب تا ۱۰۰ برابر برای رسیدن به استانداردهای تصفیه نهایی فاضلاب

✓ اثرات زیست محیطی

- دفع نهایی فاضلاب در محیط بدون اثرات زیست محیطی مخرب
- تخلیه فاضلابهای غیرتجمعی (فاضلابهای آلی و آلایندههای طبیعی) در حد توانایی سیستم در پذیرش آن از طریق طراحی درست
- در امان ماندن محیط خشکی و محل زندگی انسان از فاضلاب تولیدی

تخلیه فاضلاب در بندر
ماهشهر





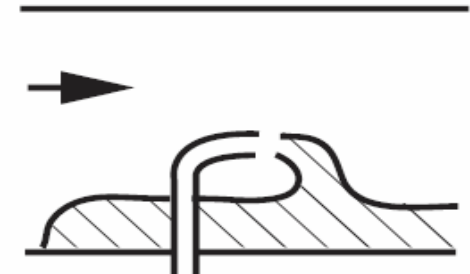
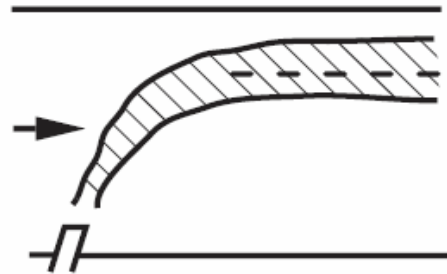
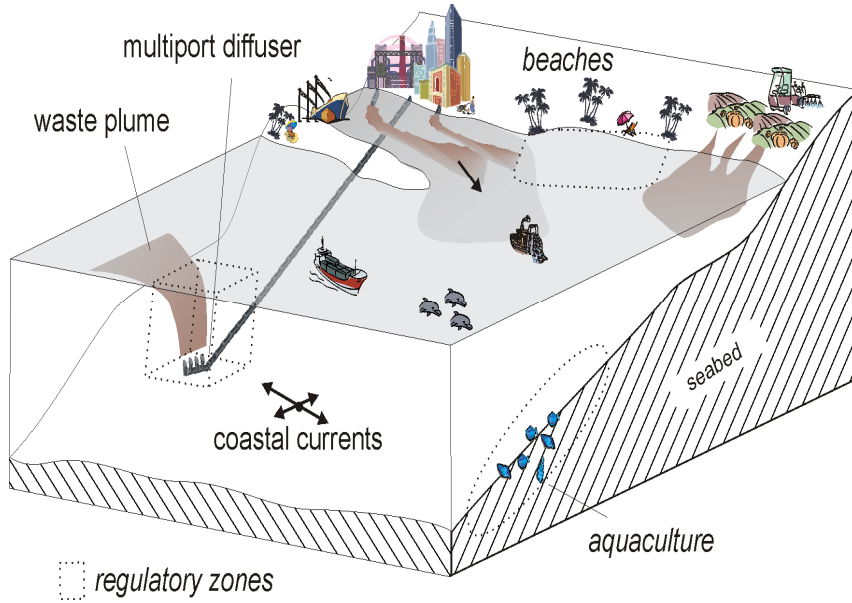
انواع پسابها

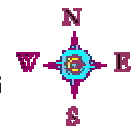
✓ از منظر منبع تولید کننده فاضلاب

- پسابهای شهری
- پسابهای صنعتی و معدنی

✓ از منظر مشخصات فاضلاب

- پسابهای با شناوری مثبت (فاضلابهای سبک)
- پسابهای با شناوری خنثی
- پسابهای با شناوری منفی (فاضلابهای سنگین)





دیدگاه سازمانهای بین المللی

تخلیه نا مناسب = تخریب محیط
تخلیه علمی = راه حل



- USEPA (1982)
- Royal commission on Env pol (1984)

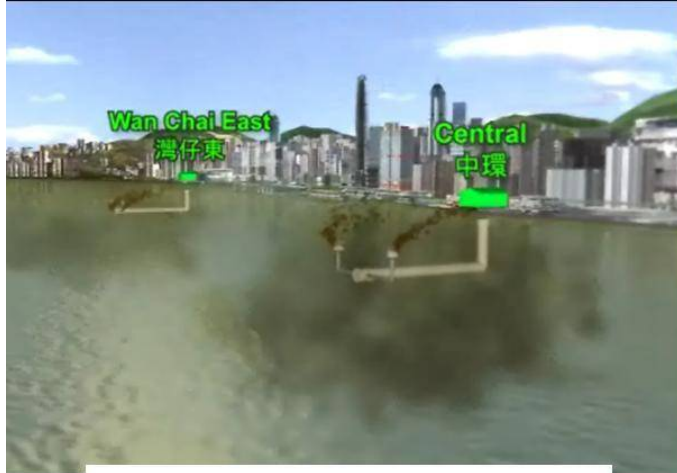




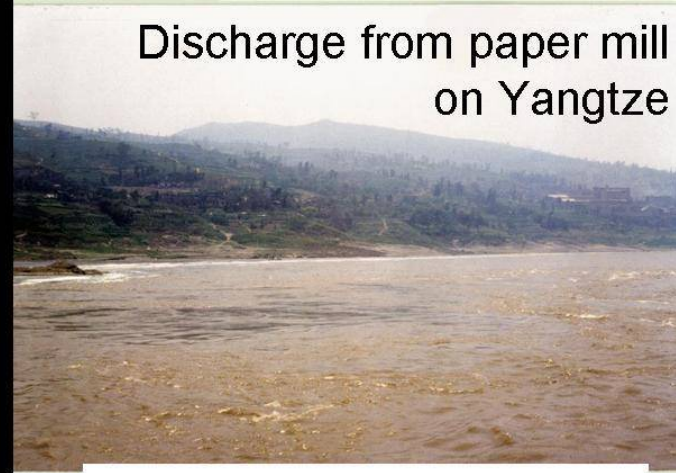
انواع تخلیه کننده‌ها (Outfall types)

- پخش‌کننده‌های چندمجرای (Multiport diffuser)
- پخش‌کننده‌های تک مجرای (Single port diffuser)
- تخلیه کننده‌های سطحی (Surface discharge)





Domestic sewage



Discharge from paper mill
on Yangtze

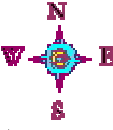
Industrial effluent



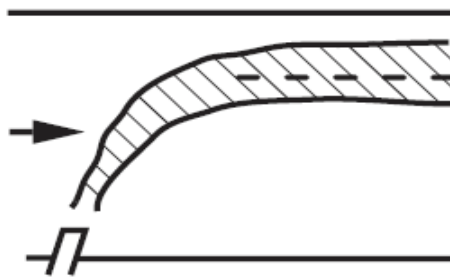
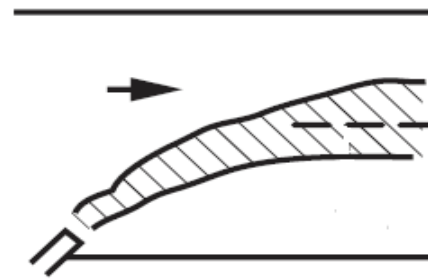
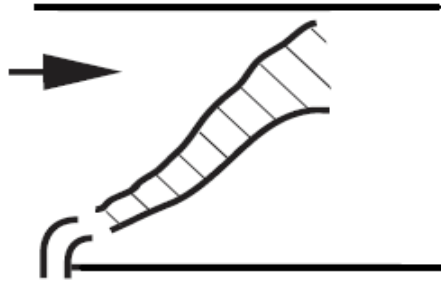
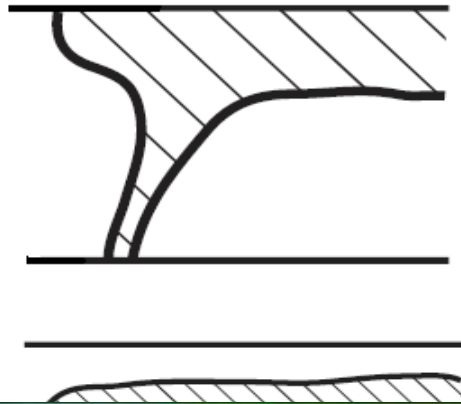
Storwater

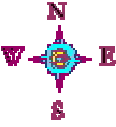


Thermal discharge

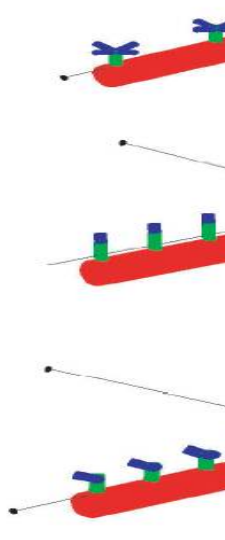
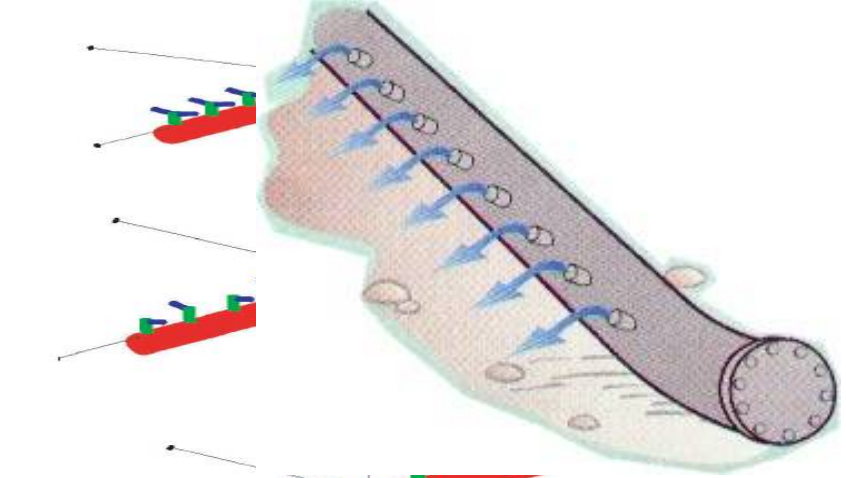
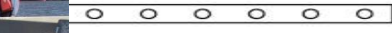
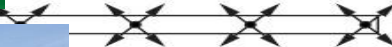
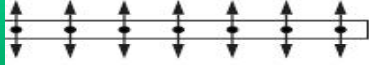


تخلیه کننده های تک مجرایي Single port diffusers



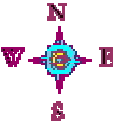


تخلیه کننده های چند مجرایایی Multiport diffusers

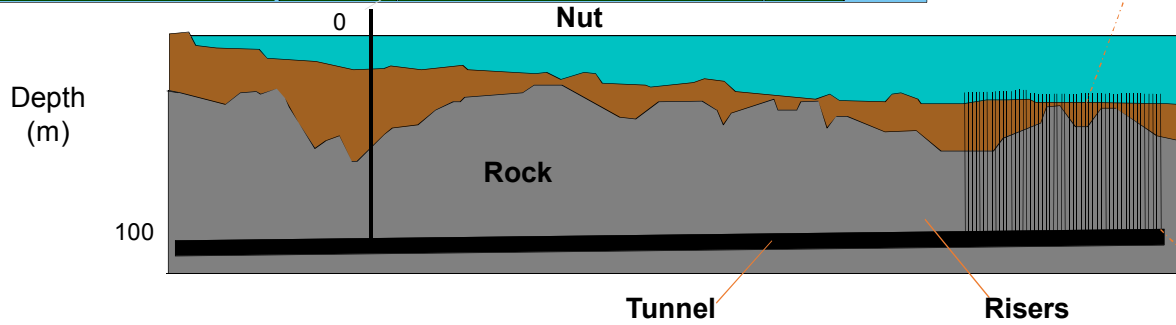




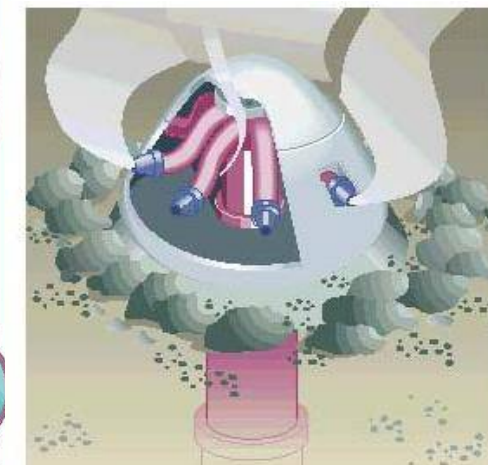
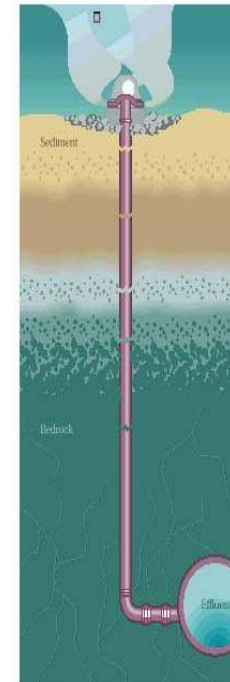
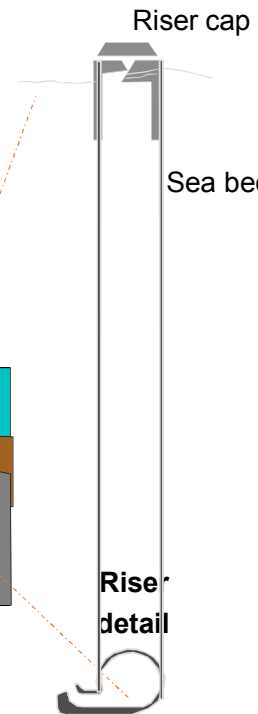




Boston outfall



Schematic of Boston Harbor Wastewater Project

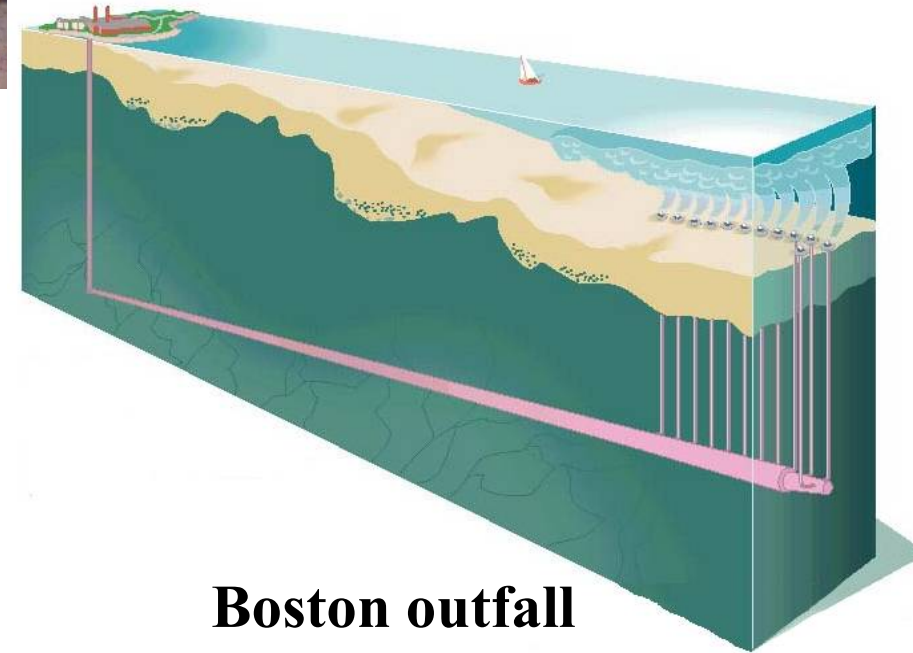




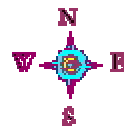
جنس لوله ها

سیستمها تخلیه لوله هایی قطور با ابعاد بالا هستند که می تواند از جنس:

- لوله های فلزی (Steel pipes)
 - High-density polyethylene (HDPE)
 - Glass fiber reinforced plastics (GRP)
- باشند.



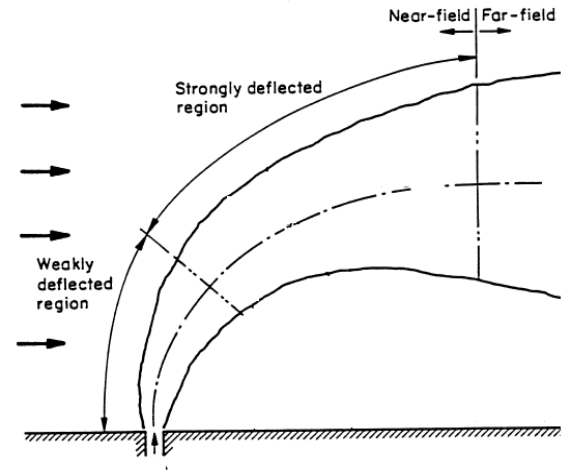
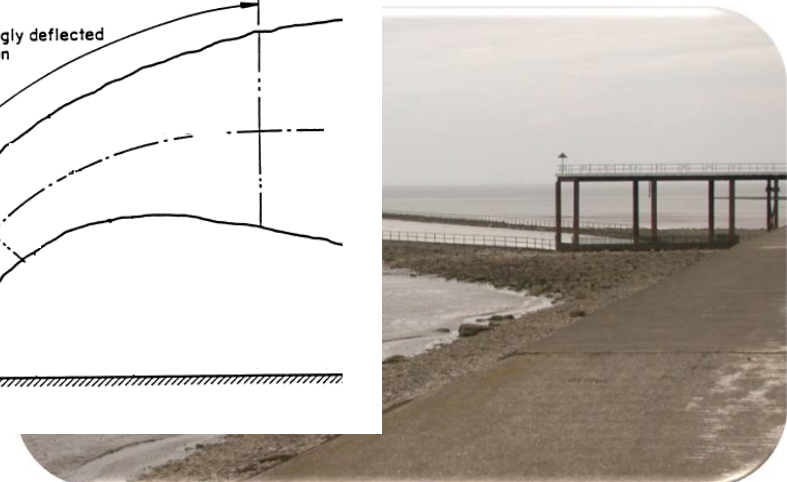
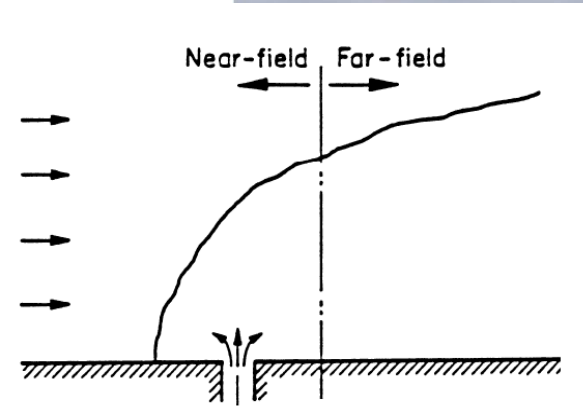
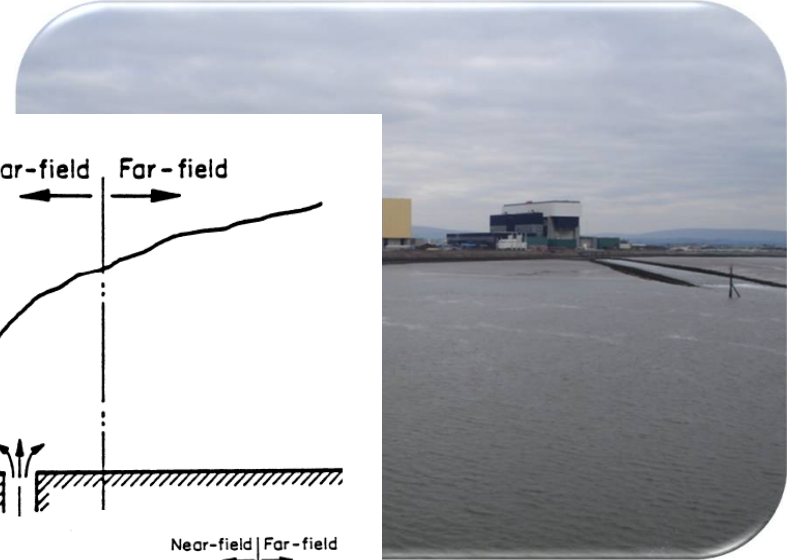
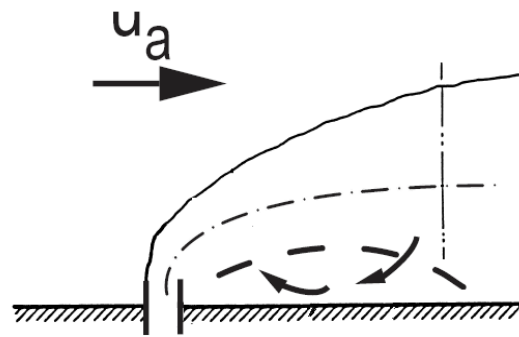
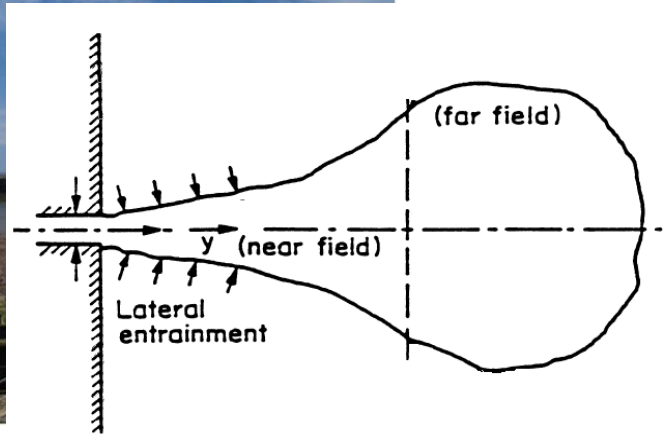
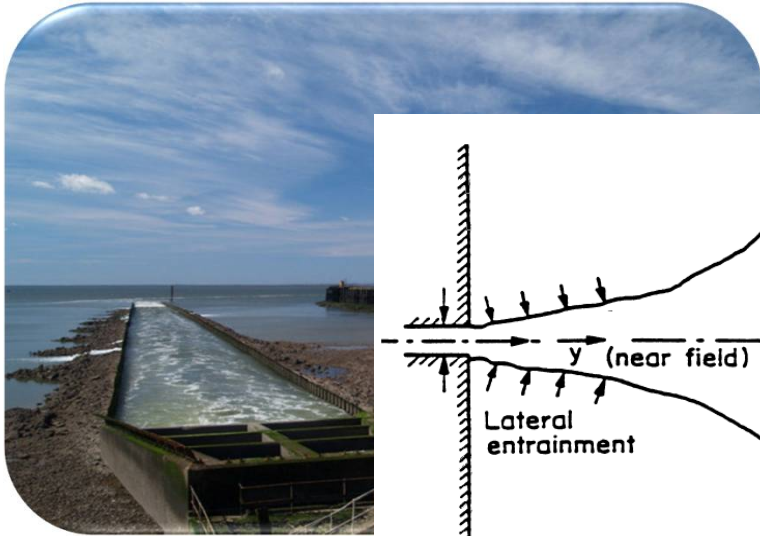
Boston outfall

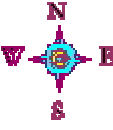


تونل‌های کف اقیانوسی

- طراحی
- اجرا





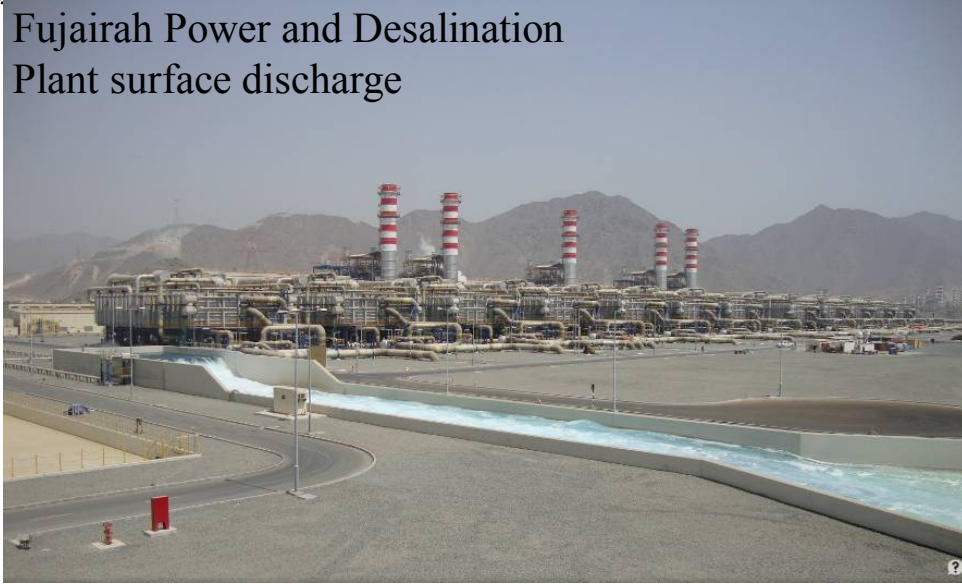


نمونه تخلیه کننده های سطحی (Surface discharges)

تخلیه کننده سطحی نیروگاه نکا

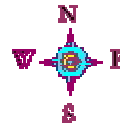


Fujairah Power and Desalination Plant surface discharge



تخلیه کننده سطحی نیروگاه بندر عباس





تخلیه کننده‌ها دریایی بیشماری در نقاط مختلف دنیا جهت تخلیه فاضلابهای بهداشتی و صنعتی شهرهای ساحلی در حال فعالیت می‌باشند.

از مهمترین این تاسیسات می‌توان به:

در آفریقا: تخلیه کننده Casablanca در مراکش

در آسیا: تخلیه کننده خلیج مانیل در فیلیپین، آتفال Mumbai در کشور هند، آتفال Saida در لبنان

در اقیانوسیه: آتفال شهرهای سیدنی و ملبورن در استرالیا، آتفال شهر Christchurch در نیوزلند

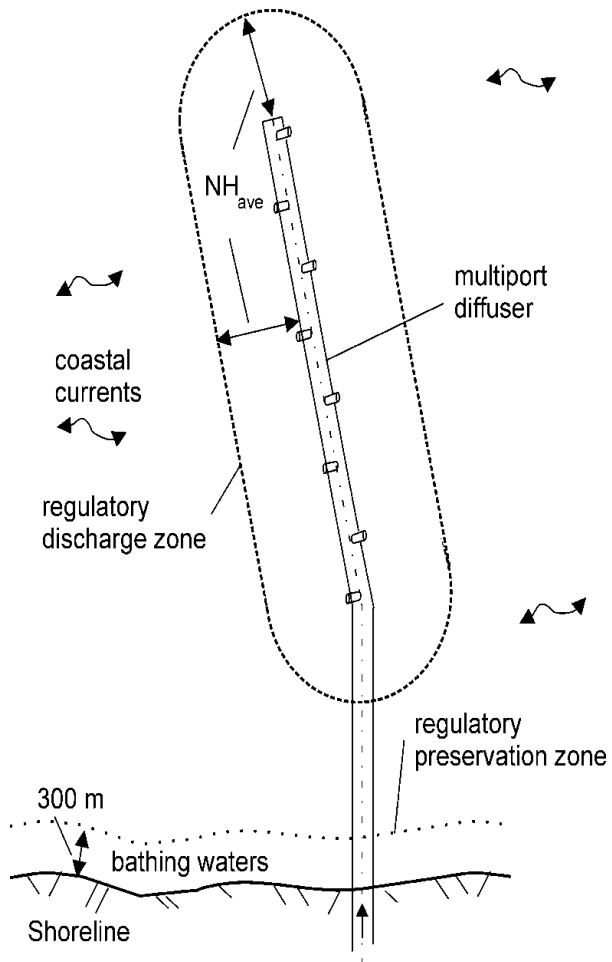
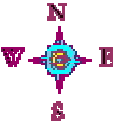
در اروپا: آتفال Sosua در جمهوری دومینیکن، آتفال Navia، Barcelona و San Sebastian در اسپانیا، آتفال Costa do Estoril در پرتغال، آتفال دریای مرمره در استانبول ترکیه، آتفال خور تامیز در بریتانیا، آتفال Edinburgh در اسکاتلند

در آمریکای شمالی: آتفال خلیج نیویورک، خلیج کالیفرنیا جنوبی، نیوجرسی، Honolulu و San dingo در ایالات متحد، آتفال Victoria (British Columbia) در کانادا

در آمریکای لاتین: آتفال Cartagena در کلمبیا، آتفال Ipanema در ریودوژانیرو برزیل، آتفال پاناما در کشور پاناما، آتفال Lima در کشور پرو، آتفال Montevideo در اروگوئه، آتفالهای Las Caracas و Irapa Edo در کشور ونزوئلا را اشاره کرد.

□ دفع نامناسب و غیر علمی فاضلاب در محیط دریا به دلیل عدم دستیابی به میزان ترقیق کافی تخریب محیط زیست دریا، از بین رفتن زیستگاههای دریایی و نابودن گیاهان و جانوران در مجاورت محل‌های تخلیه را میتواند به دنبال داشته باشد.

□ پسابهای تولیدی با پخش در محیط دریا بصورت غیر متمرکز، علاوه بر ارضای استانداردهای زیست محیطی پیکره‌های آبی و کاهش اثرات محلی و مخرب تخلیه فاضلاب، از طریق واگذاری بخشی از فرایند تصفیه به دریاها و اقیانوسها، بخشی از حجم عظیم سرمایه و بودجه مورد نیاز جهت احداث سیستمهای تصفیه را نیز کاهش داده یا حذف می‌کنند.



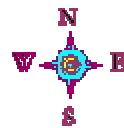
France



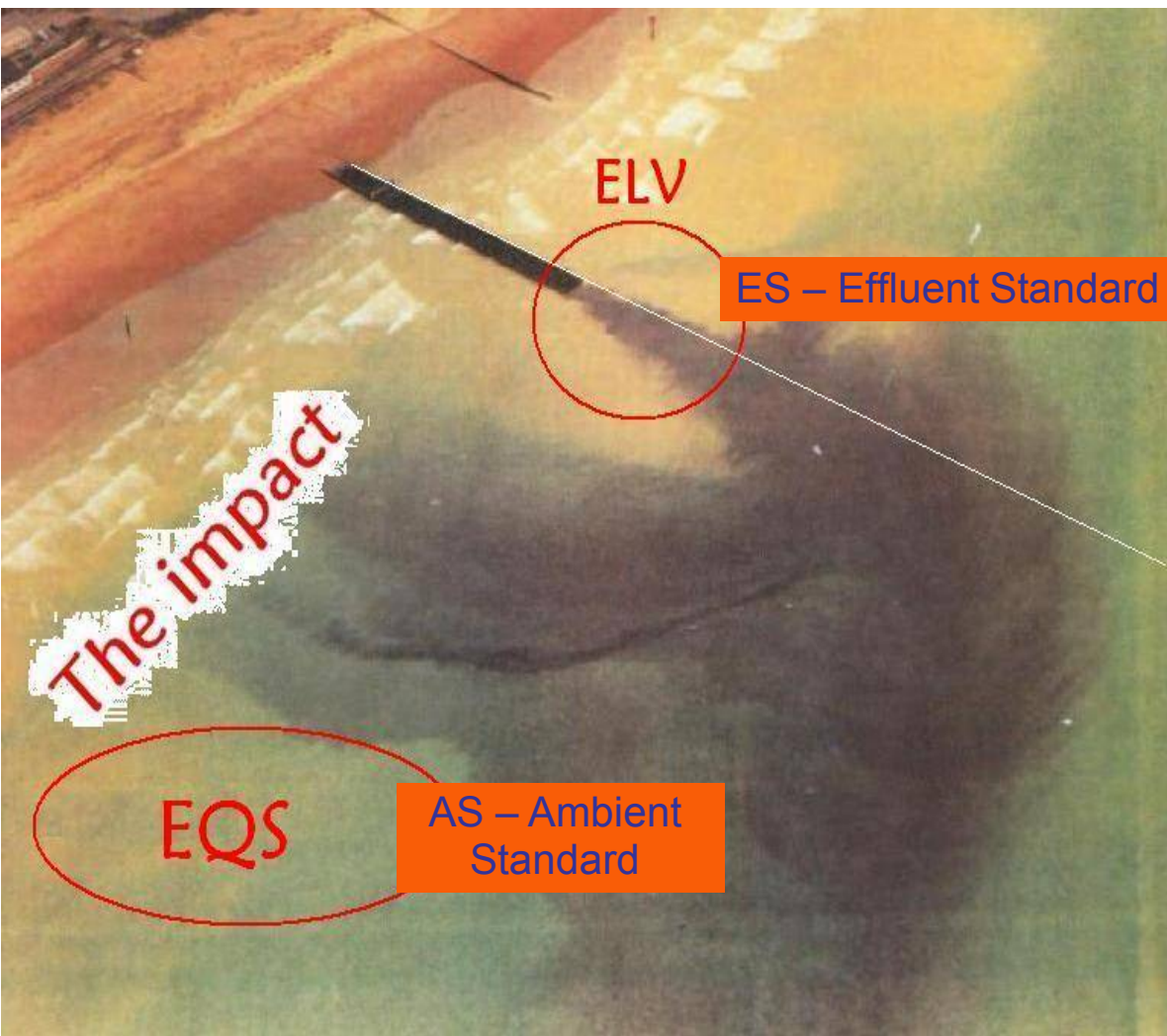
Chile



Turkey



استانداردهای تخلیه فاضلاب در پیکره‌های آبی



□ استانداردهای محدوده کننده غلظت آلاینده در جریان خروجی (effluent standard, ES)

+ کاهش از منبع (کاهش غلظت یا کاهش شار جرمی آلاینده ورودی)

+ پایش آسان از طریق نمونه برداری در محل خروجی

- در نظر گرفتن پاسخهای محیطی و وضعیت کیفیت آب در محیط پذیرنده

- عدم مسئولیت در مقابل محیط پذیرنده

□ استانداردهای حاکم بر کیفیت محیط پذیرنده (ambient standard, AS)

+ در نظر گرفتن پاسخهای محیط پذیرنده به تخلیه

+ تخلیه بر اساس کیفیت آب در محیط پذیرنده

- بررسی و پایش سخت تر

- نیاز به مدل‌های پیش بینی کننده و شبیه ساز

□ استراتژی جدید ترکیبی از دو نگاه فوق (Combined approach)



قوانین سازمانهای بین المللی (International legislations)

❑ ضرورت ترقیق فیزیکی آلاینده ها با توجه به استانداردهای تخلیه و محیط پذیرنده

✓ سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (USEPA 1976, 1973)

✓ قانون حفاظت از محیط زیست اروپا (EUWFD 2000)



Table 3. Examples for emission limit values (ELV) and environmental quality standards (EQS) for two selected pollutants

Pollutant example	Emission standard (ES)	Ambient standard (AS)	ES/AS
Copper	500 µg/l (World Bank Group, 1998)	4.8 µg/l (US EPA, 2006)	104
Chlorine	200 µg/l (World Bank Group, 1998)	7.5 µg/l (US EPA, 2006)	27

آلاینده	استانداردهای جریان خروجی (ES)	استانداردهای محیط پذیرنده (AS)	ES/AS
مس	500 µg/l (Worldbank)	4.8 µg/l (USEPA)	104
کلرین	200 µg/l (Worldbank)	7.5 µg/l (USEPA)	27
حرارت	بالاتر از محیط پذیرنده 10°C (Worldbank)	بالاتر از محیط پذیرنده 3°C (Worldbank)	3
شوری	موجود نمی باشد (RO causes up to 35ppt above ambient)	5-10% from ambient (Spain) (e.g. for Meditteranean (36ppt) → 3.6ppt)	10

acute effects

chronic effects

dilution requirement
5 to 100

AS: Ambient standard
ES: Effluent standard



روش ترکیبی در تخلیه فاضلابها در پیکره های آبی

ترکیب دو دیدگاه فوق در تخلیه فاضلاب در پیکره های آبی بر در نظر گرفتن توامان

- تکنولوژی تصفیه (treatment technology)

به همراه

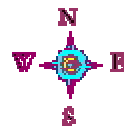
- تکنولوژی اختلاط مناسب جریان (appropriate mixing technology)

تاکید دارد.



✓ ضرورت تخلیه مناسب فاضلاب در دریا

- شناخت رفتار جریان در حالات مختلف
- کمی سازی فرایند ترقیق و اختلاط جریان در پیکره آبی پذیرنده
- طراحی تخلیه کننده ها براساس پارامترهای درگیر به منظور ارضای استانداردهای حاکم



مزایای دفع فاضلاب در دریا اقتصادی - محیط زیستی

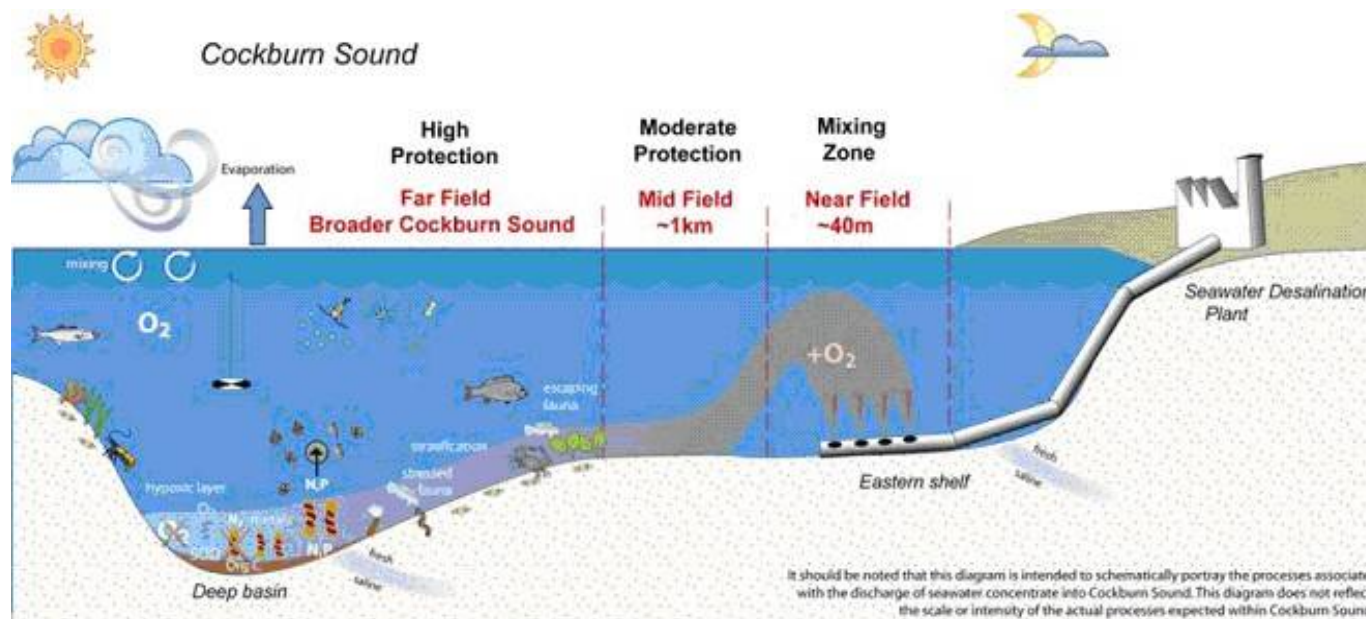
عدم نیاز به تاسیسات پرهزینه تصفیه ثانویه و دفع لجن و زائدات جامد

دفع پسابهای حجیم تولیدی صنایع ساحلی با حداقل هزینه

ترقیق فاضلاب تا ۱۰۰ برابر برای رسیدن به استانداردهای تصفیه نهایی فاضلاب

دفع نهایی فاضلاب در محیط بدون اثرات زیست محیطی مخرب یا با اثرات کم از طریق طراحی درست سیستم تخلیه

در امان ماندن محیط خشکی و محل زندگی انسان از فاضلاب تولیدی

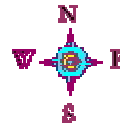




مراحل اختلاط

فاضلابهای خروجی از تخلیه‌کننده‌های اقیانوسی تحت تاثیر چهار مرحله مجزا، اقدام به پخش در پیکره‌های آبی پذیرنده می‌نماید. مرحله ابتدایی از پخش فاضلاب خروجی در محیط مرحله اختلاط اولیه (Initial mixing) نامیده می‌شود. در محدوده اختلاط اولیه، مشخصات جریان خروجی اعم از شار اندازه حرکت $M_0 = u_0 \cdot Q_0$ ، $Q_0 = u_0 \cdot A_0$ ، شار شناوری $B_0 = g' \cdot Q_0$ ، $g' = \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}\right) \cdot g$ و مشخصات تخلیه‌کننده، تعیین‌کننده رفتار جریان در محیط می‌باشد. سرعت تخلیه، دبی جریان، سطح مقطع جریان، شتاب ثقل و شتاب اصلاح شده ثقل می‌باشند.

در محدوده اختلاط اولیه به واسطه آشفتگیهای ایجاد شده آب محیط به داخل جت کشیده شده و جریان ترقیق می‌یابد. مقیاسهای زمانی فرایندهای درگیر در مرحله اختلاط اولیه جریان در محیط در حد دقیقه و ساعت و مقیاسهای مکانی آن در محدوده چند متر تا چند صد متر می‌باشند (جدول ۱-۲). علیرغم آنکه محیط پذیرنده، جریان تخلیه‌ای را به محض خروج تحت تاثیر قرار می‌دهد، اثرات محیط در ناحیه ابتدایی اختلاط جریان ناچیز می‌باشد تا زمانی که فعل و انفعالاتی با بستر یا سطح آب محیط رخ دهد. مرحله دوم، اختلاط ناحیه میانی (Intermediate field) یا ناحیه توسعه میدان آلودگی است که بلافاصله بعد از ناحیه میدان نزدیک اتفاق می‌افتد. ناحیه توسعه میدان آلودگی (Zone of waste field establishment) با متاثر شدن پلوم آشفته از مرزهای محیط و انتقال جریان از حالت پلوم یا جت به حرکات افقی تحمیل شده از جانب محیط ایجاد می‌گردد. در این محدوده مشخصات منبع دارای اهمیت کمتری بوده و سرعت جانبی و مرزهای محیط پذیرنده عامل اصلی اختلاط جریان می‌باشند. در نتیجه فرایند اختلاط در محدوده میانی، به این ترتیب میدانی از آلودگی از فاضلاب ترقیق یافته در مجاورت سطح یا بستر محیط شکل خواهد گرفت. مرزهای عمودی و افقی محیط، مسیر حرکت و ترقیق جریان در این ناحیه را از طریق انتشار شناوری (Buoyant spreading) و دیفیوژن غیرفعال (passive diffusion) کنترل می‌کنند.



مقیاس زمانی درگیر در این محدوده در حد کمتر از یک روز و مقیاس مکانی آن حداکثر در حد چند هزار متر است. فرایندهای موجود در ناحیه میانی معمولاً در عمل نادیده گرفته شده و کمتر در نظر گرفته می‌شود. محققین در مطالعات مرتبط با مدلسازی بیشتر در ارتباط با دو ناحیه میدان نزدیک و دور می‌باشد. مطالعات محدود انجام گرفته در ناحیه میانی اثرات ناچیز این ناحیه در فرایند تخلیه جریانات آشفته را مورد تاکید قرار داده است.

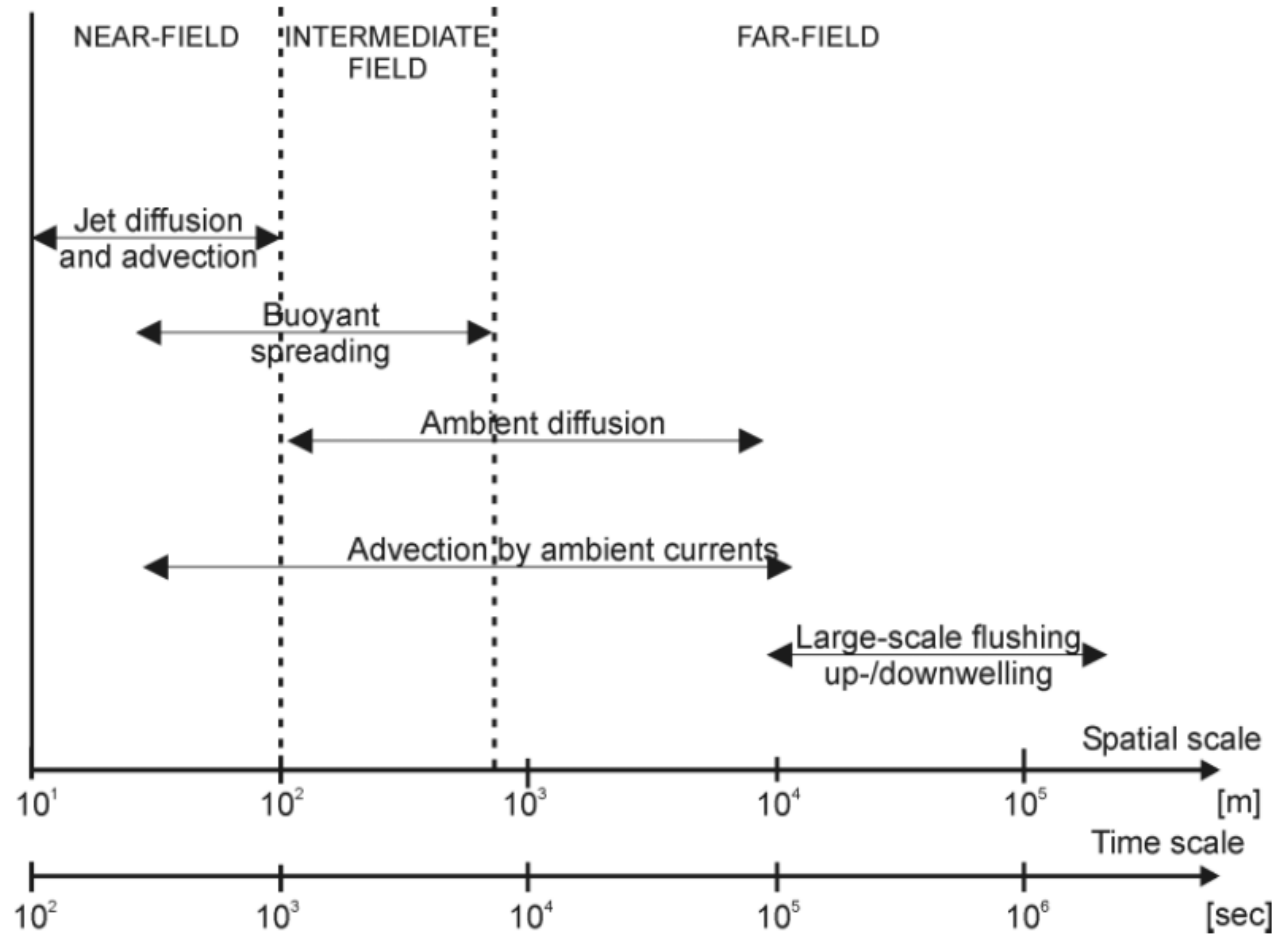
مرحله سوم از فرایند اختلاط، محدوده اختلاط میدان دور می‌باشد. در ناحیه میدان دور (Far Field Mixing) این مشخصات محیط پذیرنده است که مسیر و اختلاط جریان را کنترل می‌کند. مقیاس زمانی و مکانی درگیر در این ناحیه به ترتیب در محدوده بیشتر از یک روز و چندین هزار متر می‌باشد. در نهایت در مرحله چهارم و انتهایی اختلاط تحت عنوان محدوده دراز مدت پخش جریان (Long Term Flushing)، فرایند اختلاط جریان توسط نقل و انتقالات بزرگ مقیاس کنترل می‌گردد. جریان اختلاطی فاضلاب در این مرحله باعث ایجاد غلظتهای پس زمینه‌ای (Back ground concentration) از مواد آلاینده در منطقه می‌شود. جریان در محدوده میدان دور و نیز محدوده دراز مدت پخش جریان (ورای محدوده میانی) بطور کلی تحت تاثیر جذر و مد، جریانات بزرگ مقیاس، وزش باد در سطح، گرادیان فشار سطح آزاد و گرادیان ناشی از چگالی و نیروی کریولیس زمین انتقال یافته و پخش می‌گردد. کاهش غلظت آلاینده در این ناحیه به این ترتیب ناشی از پخشیدگی طبیعی محیط و فرایندهای طبیعی خود پالایی آن می‌باشد.

مقیاسهای زمانی و مکانی پدیده‌های حاکم در فرایند تخلیه فاضلاب در پیکره‌های آبی

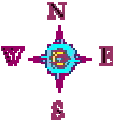
مقیاس زمانی	مقیاس مکانی	پدیده ها حاکم	مرحله
۱-۱۰ دقیقه	۱۰-۱۰۰۰ متر	اندازه حرکت و شناوری فاضلاب خروجی	اختلاط اولیه**
۱-۲۰ ساعت	۱۰۰-۱۰۰۰۰ متر	فرارفت ناشی از جریانات و آشفته‌گی محیط‌های دریایی	میدان دور***
۱ تا ۱۰۰ روز	۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰ متر	نقل و انتقالات بزرگ مقیاس اعم از فوران بالا رونده و پایین رونده*	شستشور دراز مدت****



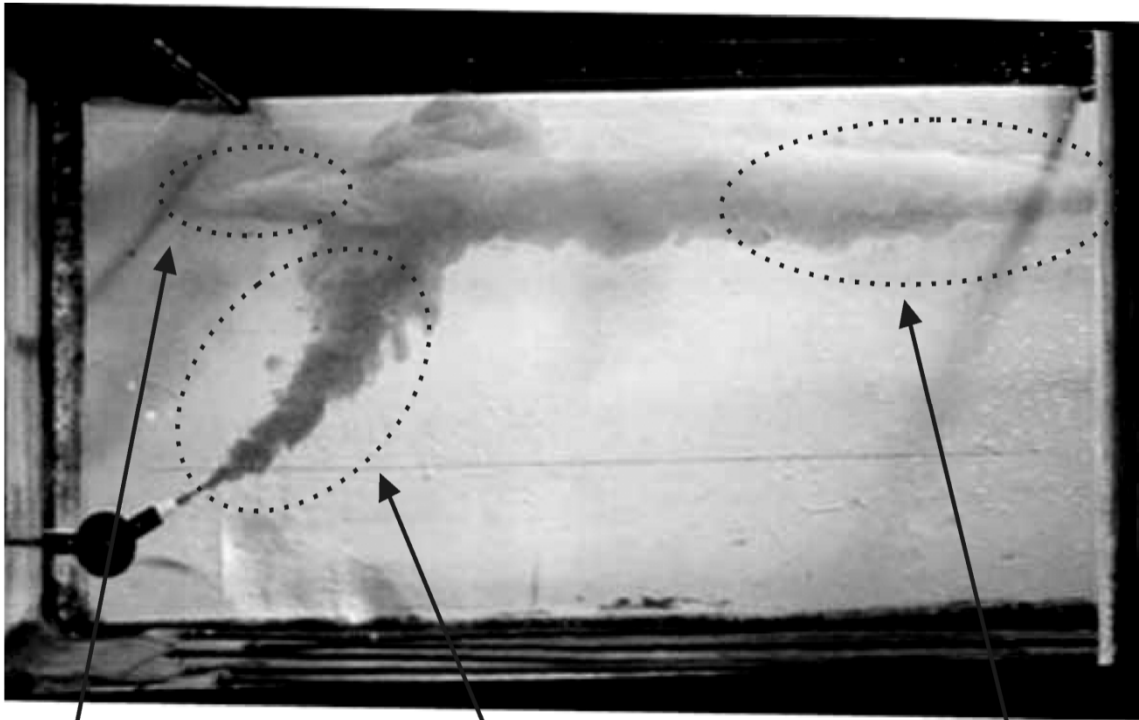
در شکل زیر مقیاسهای مکانی و زمانی فرایندهای درگیر در مراحل مختلف اختلاط و انتقال جریان در محیط آورده شده است



مقیاسهای مکانی و زمانی درگیر در فرایند اختلاط جریان در محیط (ژیرکا و همکاران ۱۹۹۶)



اختلاط جریان در ناحیه میدان نزدیک بعنوان ناحیه‌ای با بیشترین تاثیر بر جریان، تنها محدوده‌ای از فرایند اختلاط فاضلاب در محیط است که توسط مهندس طراح قابل کنترل می‌باشد. اختلاط در این ناحیه ناشی از فرایندهای وابسته به پارامترهای تخلیه بوده و با تغییر آن میزان اختلاط فاضلاب خروجی در محیط کنترل می‌گردد. مهندس طراح با شناسایی پارامترهای تاثیرگذار بر فرایند اختلاط جریان در این ناحیه، از طریق کنترل مشخصات هیدرولیکی تخلیه‌کننده و فاضلاب خروجی قادر به دستیابی به اختلاط مورد نیاز و ارضای استانداردهای زیست‌محیطی حاکم خواهد بود. فرایند اختلاط در محدوده میدان دور قابل کنترل نبوده و اصولاً این بخش از فرایند اختلاط به خاطر تاثیر ناچیز در رقیق‌سازی فاضلاب خروجی در مطالعات طراحی تخلیه‌کننده‌های دریایی در نظر گرفته نمی‌شود.



buoyant spreading
(transition/intermediate field)

jet diffusion + advection
(near-field)

ambient diffusion + advection
(far-field)

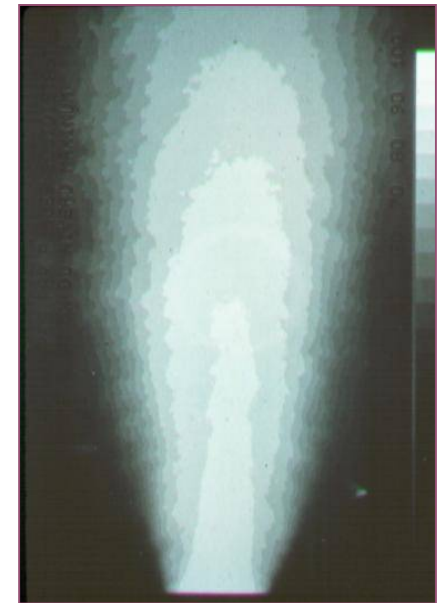
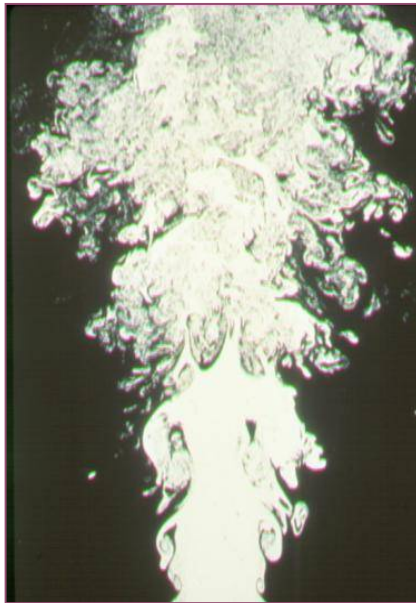
نمایی از محدوده تاثیرگذاری هر یک از نیروهای حاکم در تخلیه مستغرق فاضلابهای با شناوری مثبت



هیدرولیک اختلاط

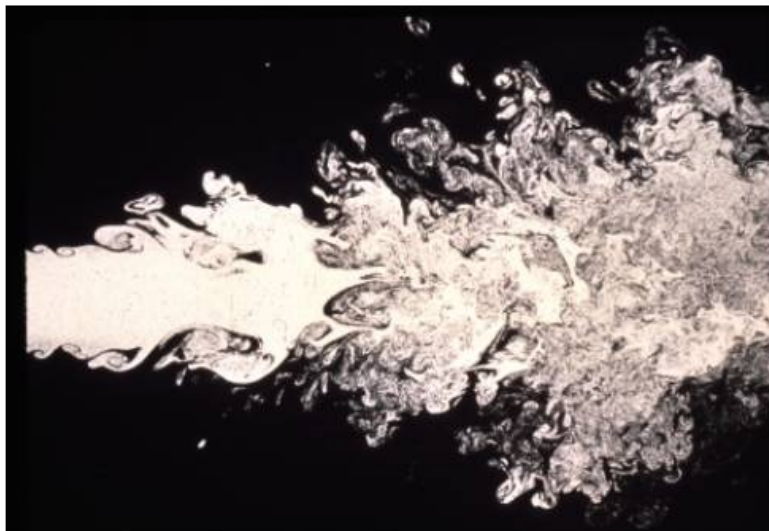
اختلاط ناشی از تنش برشی (Shear Induced Entrainment)
از طریق :

- ایجاد ناحیه‌ای با فشار پایین
- وقوع ورتکسهای آشفته
- مکش آب محیط

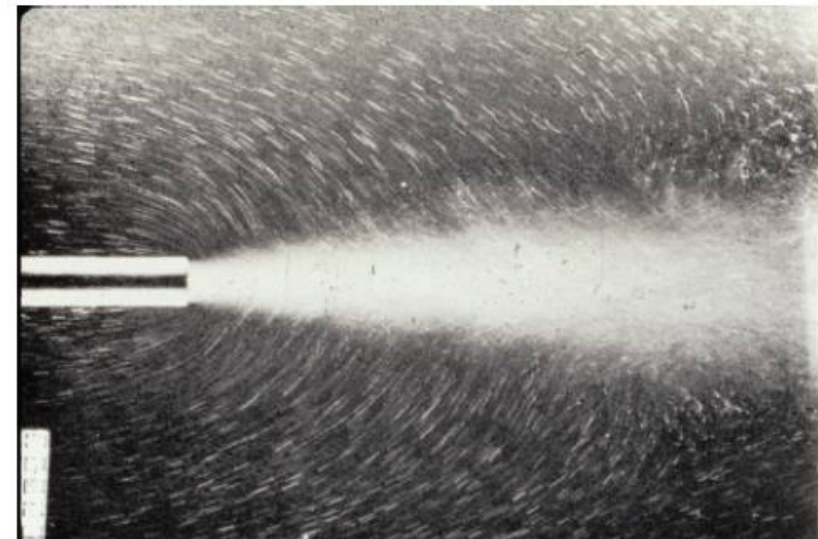




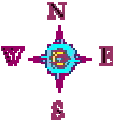
تخلیه جریان با سرعت بالا در محیطهای ساکن، باعث شکل‌گیری حالتی از جریان تحت عنوان رژیم جت مانند می‌گردد. شکل‌گیری یک محدوده متحرک در محیطهای ساکن با ایجاد ناحیه‌ای با فشار پایین تحریک سیال محیطی در سطح خارجی جت را به همراه خواهد داشت. در این حالت گرادیان سرعت شکل گرفته بین جریان و آب محیط از طریق ایجاد ناپایداری و وقوع گردابه‌های آشفته، مکش سیال محیط به داخل جریان را به دنبال خواهد داشت (ژییرکا و همکاران ۱۹۹۶). با ورود سیال محیطی از سطح خارجی جریان به داخل جت، جریان فاضلاب خروجی ترقیق یافته و از غلظت آلاینده‌های آن کاسته می‌شود. این فرایند که تحت عنوان اختلاط ناشی از تنش برشی (Shear Induced Entrainment) شناخته می‌شود. در شکل زیر به طور آشکار شکل‌گیری و ایجاد آشفتگی در لبه‌های تماس جریان خروجی با سیال محیط مشاهده می‌گردد. در شکل ۲-۲۰ نیز نمایی از تاثیرات مکش ایجاد شده بر اثر تنش برشی و حرکت سیال محیطی به سمت جت آورده شده است (بلنینگر ۲۰۰۶). این ناپایداریها تحت تاثیر اندازه حرکت ناشی از اختلاف شناوری سیال با آب محیط و نیز تحت اثر جریانات جانبی محیط، در طول حرکت سیال به طور متوالی تشدید یافته و استهلاک می‌یابند



القای آشفتگی ناشی از تنش برشی در مرزهای پیرامون جت مستغرق

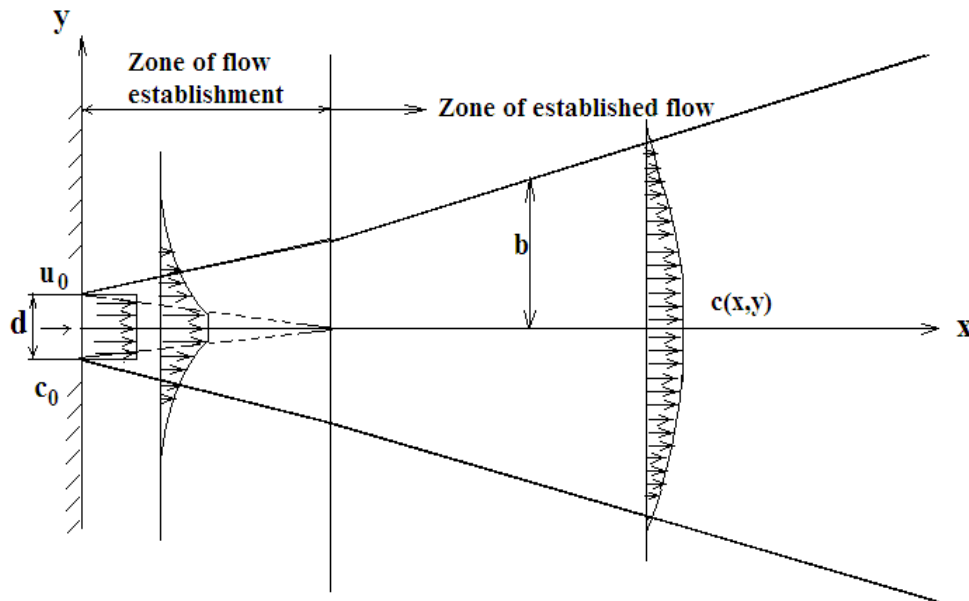


مکش سیال محیطی به سمت جت بر اثر اختلاف فشار ایجاد شده در مرزهای جریان



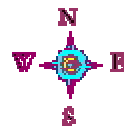
توسعه جریان

جریان سیال با خروج از تخلیه کننده، تحت دو ناحیه مجزا در داخل محیط پذیرنده پیشروی می نماید. به محض خروج جریان، آشفتگی ایجاد شده بر اثر گرادیان سرعت در مرزهای جریان با طی بخشی از مسیر به تدریج خود را به مرکز پلوم رسانده و کل پیکره آنرا در برمی گیرد. این ناحیه که مرحله اول حرکت جریان در محیط تلقی می گردد تحت عنوان ناحیه شکل گیری جریان (Zone of Flow Establishment (ZFE)) شناخته می شود. طی این محدوده جت خروجی دارای پروفیل سرعت و غلظت مشخصی نمی باشد اما در انتهای این ناحیه به واسطه پیشروی آشفتگی به سمت مرکز پلوم به تدریج یک پروفیل غلظت مشخص در عرض جریان شکل می گیرد. این پروفیل در واقع میانگین نوسانات شکل گرفته در عرض جریان می باشد. با رسیدن کامل آشفتگی از لبه سیال به مرکز جریان، ناحیه شکل گیری جریان پایان یافته و محدوده دیگر جریان تحت عنوان ناحیه جریان توسعه یافته (Zone of Established Flow (ZEF)) آغاز می گردد. در شکل ۲-۲۱ محدوده وقوع ناحیه شکل گیری جریان (ZFE) و ناحیه جریان توسعه یافته (ZEF) نشان داده شده است.



- ناحیه شکل گیری جریان (Zone of Flow Establishment (ZFE))
- ناحیه جریان توسعه یافته (Zone of Established Flow (ZEF))

نمایی از محدوده شکل گیری جریان و ناحیه جریان توسعه یافته در تخلیه جریانات جت مانند



با تعیین میزان تغییرات غلظت در مقطع عرضی جریان در نقاط مختلف و نرمال نمودن مشخصات جریان به صورت نسبت غلظت هر نقطه به غلظت ماکزیمم ($\frac{C}{C_{max}}$) بر روی محور عمودی و نسبت موقعیت (r) به عرض جریان (b_v) در هر مقطع، بر روی محور افقی، در نهایت نموداری تحت عنوان نمودار خود همسان پروفیل غلظت بدست خواهد آمد که طی آن پروفیل‌های غلظت یک جریان در برشهای عرضی مختلف بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند. بنابر تعریف، خاصیت خود همسانی جریان، پروفیل‌های عرضی جریان علاوه بر مقاطع مختلف یک آزمایش برای آزمایشات مختلف یک نوع تخلیه خاص نیز مشابه بوده و بیان کننده مشخصه اختلاطی آن نوع تخلیه می‌باشند.

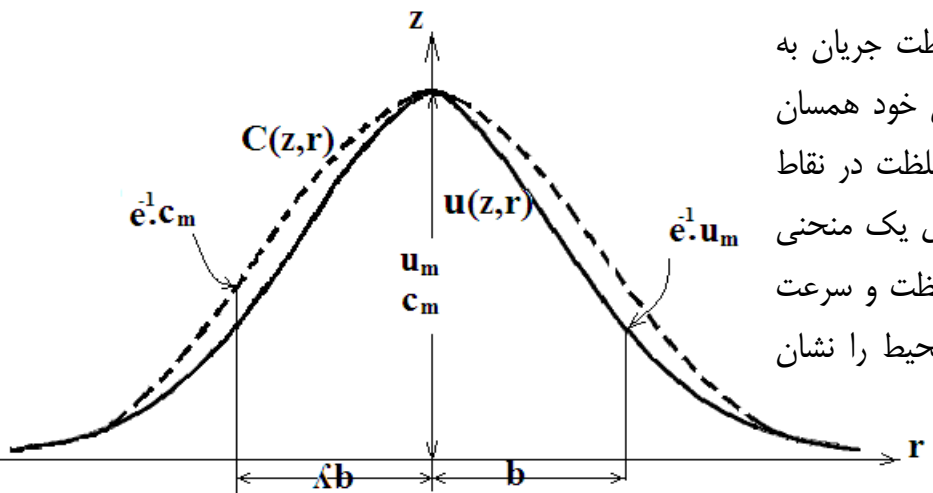
در این معادلات u_m و C_m سرعت و غلظت ماکزیمم در امتداد مرکز جریان، x فاصله افقی از محل تخلیه و y فاصله هر نقطه از مرکز جریان است. در این معادلات b عرض جریان است و آن موقعیت نقطه‌ای است که غلظت یا سرعت جریان، 1 (یا 0.37) مقدار غلظت یا سرعت ماکزیمم آن مقطع می‌باشد. ناشی از تفاوت مکانیزم‌های پخشیدگی جرم و اندازه حرکت، پروفیل‌های گوسی غلظت و سرعت در مقطع عرضی جریان متفاوت از یکدیگر می‌باشند. پروفیل عرضی غلظت در این میان عریض‌تر از پروفیل سرعت بوده و پارامتر در رابطه فوق به منظور در نظر گرفتن این تفاوت وارد شده است.

خود همسانی جریان

با پیشروی اثر مرزها به داخل جریان و در برگرفتن کل پیکره پلوم، میانگین تغییرات عرضی سرعت و غلظت جریان به صورت زنگوله‌ای در می‌آید. تغییرات زنگوله‌ای این پارامترها در جهت عرض، تحت عنوان پروفیل‌های گوسی خود همسان جریان معرفی می‌شود. خود همسانی جریان به این معناست که از ابتدای این ناحیه، پروفیل‌های سرعت و غلظت در نقاط مختلف جریان، دارای شکل و الگویی مشابه می‌باشند. این پروفیل‌ها چنانچه به درستی مقیاس گردند بر روی یک منحنی گوسی واحد با معادله زیر برای سرعت و غلظت قرار خواهند گرفت. این معادلات الگوی عمومی تغییرات غلظت و سرعت جریان در جهت عرض برای یک نوع تخلیه خاص را نشان داده و نحوه پخشیدگی عرضی جریان در محیط را نشان می‌دهند.

$$u(x, y) = u_m \exp\left(-\frac{y^2}{b^2}\right) \quad \text{معادله گوسی سرعت}$$

$$c(x, y) = c_m \exp\left(-\frac{y^2}{(\lambda \cdot b)^2}\right) \quad \text{معادله گوسی غلظت}$$



پروفیل گوسی غلظت و سرعت در تخلیه جریان در محیط (لی و همکاران ۲۰۰۹)

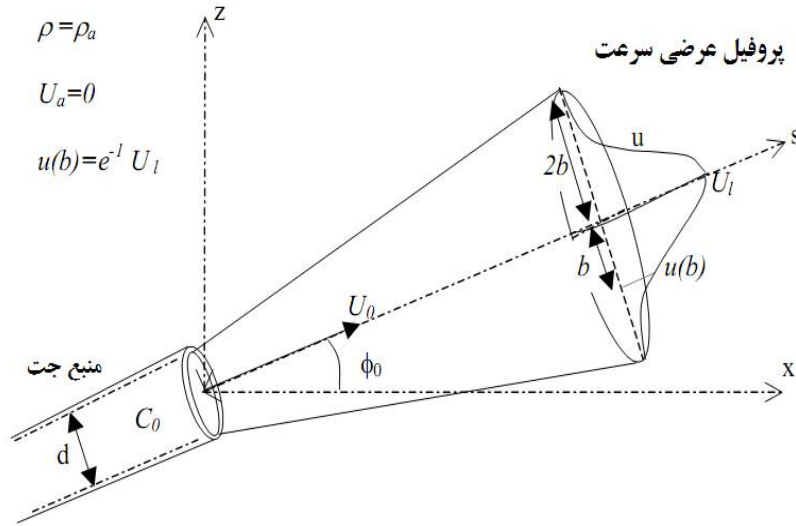


حالات پایه در تخلیه جریان فاضلاب در محیط

جت خالص (Pure jet):

جت ساده ساده‌ترین حالت از تخلیه است که در آن جریانی با سرعت اولیه $u_0 \gg 0$ در محیطی ساکن $U_a = 0$ با چگالی‌ای مشابه چگالی محیط پذیرنده ($\rho_0 = \rho_a$) تخلیه می‌گردد. در این حالت به دلیل عدم وجود اختلاف چگالی، شناوری جریان خروجی صفر و رفتار جریان تحت تاثیر شار اندازه حرکت جریان (M_0) می‌باشد. شار اندازه حرکت (رابطه ۱-۲) حاصل ضرب سرعت تخلیه (u_0) در دبی جریان (Q_0) بوده و مستقل از زاویه تخلیه می‌باشد.

$$M_0 = u_0 \cdot Q_0 \Rightarrow Q_0 = u_0 \cdot A, A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot d^2 \quad \text{شار اندازه حرکت}$$

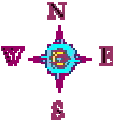


Momentum flux $M_0 = u_0 \cdot Q_0$ where $Q_0 = u_0 \cdot A, A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot d^2$

Fully turbulent if $Re = \frac{U_0 D}{\nu} \geq 2000$

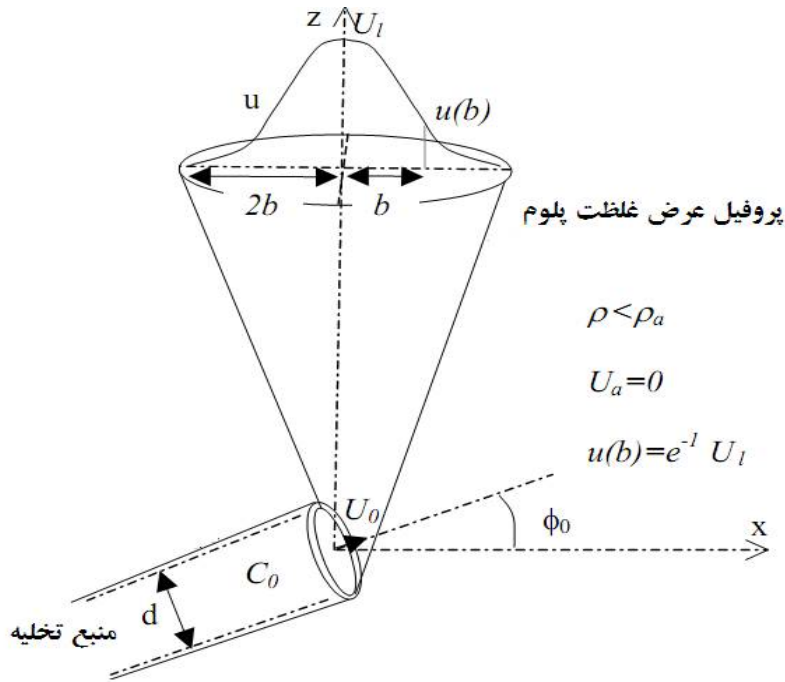
در این رابطه A سطح مقطع تخلیه و d قطر مجرای تخلیه است.

محققین بسیاری طی سالهای گذشته رفتار جتهای ساده را مورد مطالعه قرار داده‌اند. طی این سالها منجر به شناخت رفتار جتهای ساده در محیط از منظر پخشیدگی عرضی، پروفیل‌های سرعت و غلظت و میزان اختلاط و تریق جریان شده است. در نتیجه این مطالعات، پروفیل سرعت و غلظت متوسط در مقطع عرضی جت بصورت گوسی گزارش شده است.



پلوم خالص (Pure plume):

پلوم ساده به تخلیه جریان در محیطهای ساکن ($U_a=0$) با سرعتهای ناچیز اطلاق می گردد. در این حالت از تخلیه به دلیل اختلاف چگالی بین محیط و سیال تخلیه شونده ($\Delta\rho = (\rho_0 - \rho_a)$)، شناوری جریان تعیین کننده رفتار آن در محیط می باشد. در پلومهای ساده به دلیل عدم اهمیت شار اندازه حرکت جریان خروجی (M_0)، جهت و زاویه خروجی تاثیری در رفتار پلوم نخواهد داشت. در صورت چگالی کمتر جریان خروجی نسبت به سیال محیط، شناوری فاضلاب خروجی مثبت و جهت آن در راستای عمودی به سمت بالا خواهد بود. چگالی بیشتر جریان خروجی نسبت به سیال محیط، شناوری منفی جریان و حرکت عمودی آن به سمت پایین را به همراه خواهد داشت. شار شناوری (B_0) حاصل ضرب شتاب اصلاح شده ثقل (g') در دبی جریان (Q_0) بوده و مستقل از زاویه تخلیه می باشد.

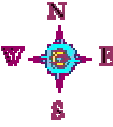


Buoyancy flux

$$J_0 = g' \cdot Q_0 \quad \text{where} \quad g' = \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right) \cdot g, \quad Q_0 = u_0 \cdot A$$

$$B_0 = g' \cdot Q_0 \Rightarrow g' = \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right) \cdot g, \quad Q_0 = u_0 \cdot A \quad \text{شار شناوری}$$

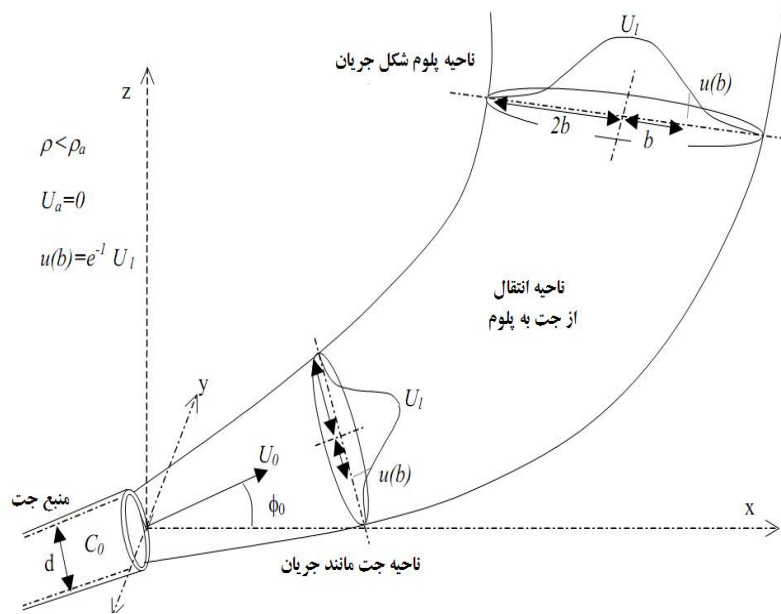
پروفیل عرضی سرعت و غلظت در جریانهای پلوم شکل بصورت گوسی کامل می باشد.



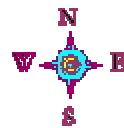
جت‌های شناور (Buoyant Jets):

جت شناور به تخلیه جریان با سرعت اولیه ($U_0 \gg 0$) و چگالی متفاوت از سیال پذیرنده ($\rho_0 \neq \rho_a$) اطلاق می‌گردد. در این حالت سیال ابتدا از ناحیه‌ای عبور می‌کند که شار اندازه حرکت غالب بوده و رفتار جریان جت مانند است. با استهلاک اندازه حرکت خروجی در امتداد مسیر، شناوری غلبه یافته و جریان رفتاری پلوم مانند به خود می‌گیرد. بسته به شناوری مثبت یا منفی سیال، در این ناحیه جریان به سمت سطح یا بستر محیط منحرف خواهد شد. به منظور تعیین موقعیت انتقال از حالت جت مانند به پلوم مانند در این ناحیه انتقال از جت به پلوم

استفاده می‌گردد. پروفیل سرعت و غلظت در جت‌های شناور همانند جت و پلوم ساده دارای توزیع گوسی می‌باشد.



در جریان جت‌های شناور قائم، شناوری در جهت سرعت خروجی سیال عمل کرده و تشدید کننده نیروهای ناشی از آن می‌باشد. در جریان‌های تخلیه بصورت افقی، شناوری جریان در جهتی متفاوت و بصورت عمود بر پلوم خروجی عمل خواهد کرد. حالت دیگر تخلیه جت‌های شناور، تخلیه آنها تحت زاویه نسبت به افق است. در این حالت مولفه عمودی اندازه حرکت جریان در جهت شناوری جریان عمل می‌کند درحالی‌که مولفه عمودی آن عمود بر نیروی حاصل از شناوری سیال است. بسته به چگالی نسبی سیال، شناوری مثبت یا منفی آن می‌تواند تشدید کننده یا تخفیف دهنده حرکت عمودی جریان باشد.

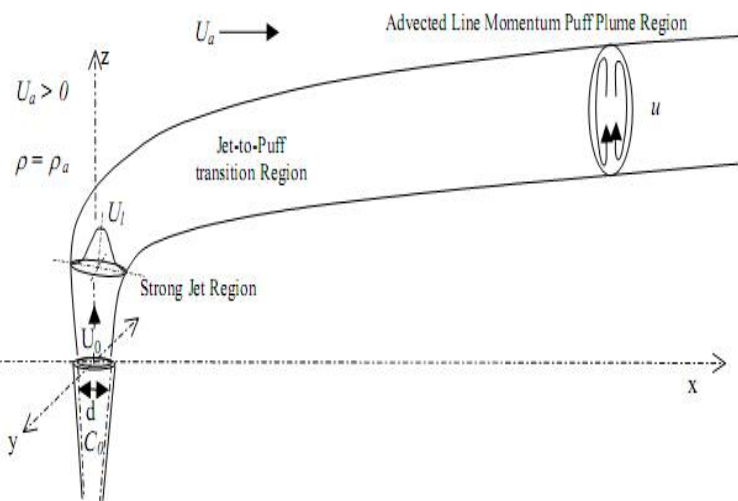


جتهای انحراف یافته (Advected Jets):

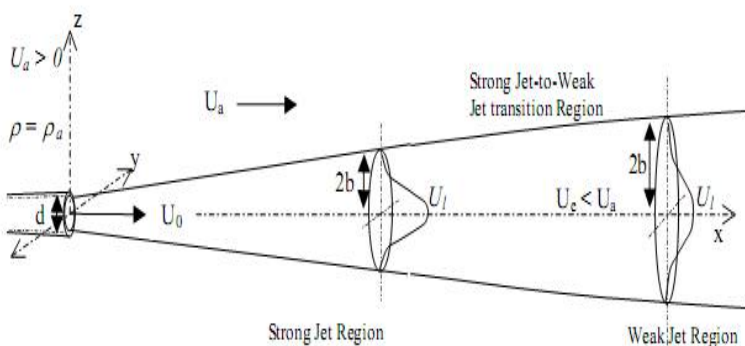
تخلیه سیالی مشابه محیط پذیرنده با سرعت اولیه در محیطهای متحرک الگوی دیگر از جریان تحت عنوان جتهای انحراف یافته ایجاد می‌نماید. در این حالت تخلیه می‌تواند بر خلاف جهت جریان محیط (counter-flow)، در جهت آن (co-flow)، عمود بر آن (cross-flow) و یا با زاویه نسبت به آن (oblique discharges) انجام گیرد. در این حالت، شار اندازه حرکت جریان خروجی، تعیین کننده رفتار جت در فواصل مختلف از محل تخلیه می‌باشد. در ناحیه جت قوی، رفتار جریان مشابه حالت جت ساده می‌باشد. با فاصله گرفتن از نقطه خروج، نیروی اندازه حرکت تحمیل شده به جت از طرف محیط، بر حرکت جریان غلبه کرده و باعث تغییر شکل حالت جریان به حالت انحراف یافته قوی (Strongly advected) می‌شود. بسته به زاویه تخلیه، جریان همچنین می‌تواند به حالت پوف مومنتم انحراف یافته (advected line momentum puff) در حالت عمود بر جریان محیطی و یا به صورت جت ضعیف (weak jet) در حالت تخلیه در جهت جریان تبدیل گردد.

به دلیل تاثیرات سرعتهای محیطی، پروفیل سرعت و غلظت در محدوده جتهای انحراف یافته تغییر شکل یافته و از حالت گوسی خارج می‌شود. پروفیل عرضی جریان در حالت پوف مومنتم انحراف یافته که یکی از رژیمهای پایه جریان محسوب می‌گردد به صورت دو-گوسی (Double-Gaussian) گزارش شده است.

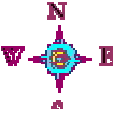
(الف)



(ب)

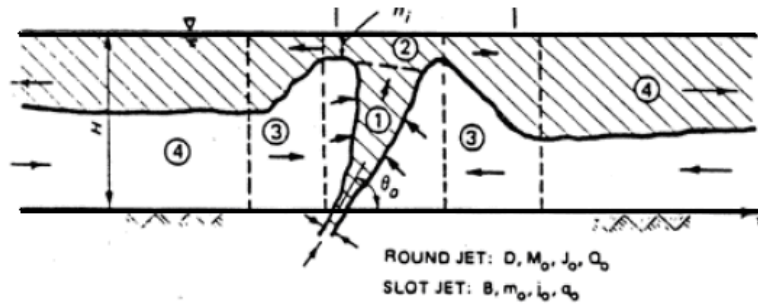


الگوی حرکت و پروفیلهای عرضی سرعت در جتهای انحراف یافته، (الف) در حالت تخلیه عمود بر جریان جانبی (ب) در حالت تخلیه در جهت جریان جانبی

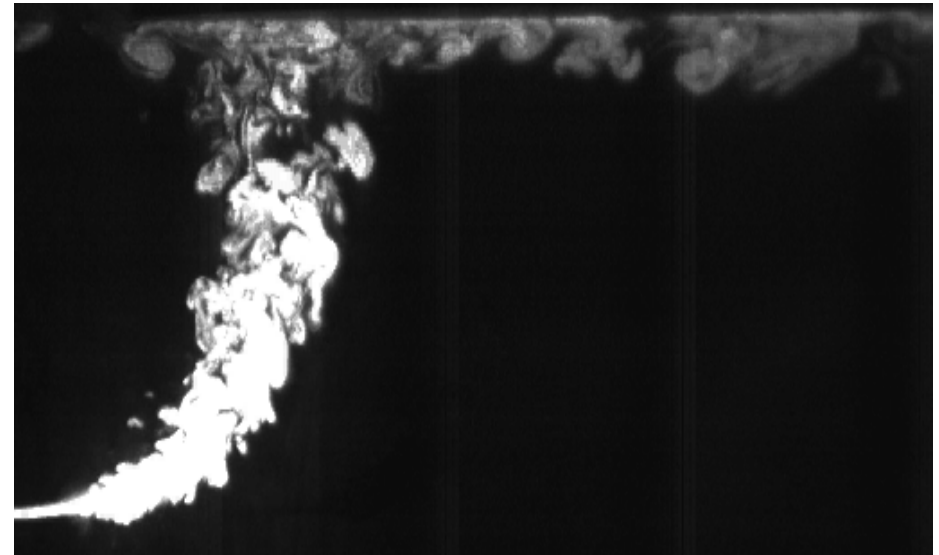
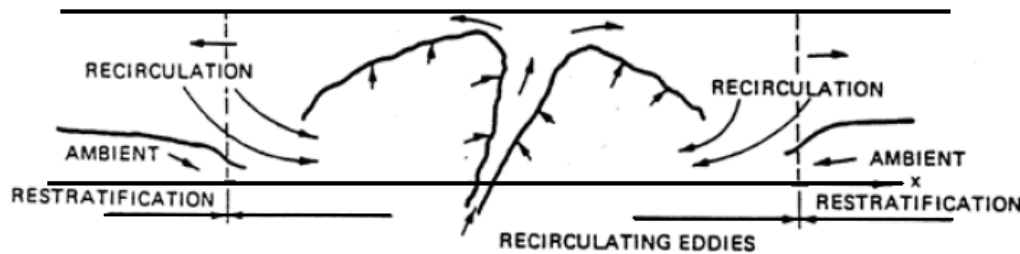


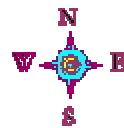
جریانهای شناور در مرزهای محدود کننده (Buoyant flow in boundary conditions)

شرایط مرزی سطح آزاد و بستر محیط از دیگر مولفه‌های مرتبط با شرایط محیطی محسوب می‌گردند که بر رفتار جریانات شناور خروجی از تخلیه کننده‌های دریایی تاثیرگذار می‌باشند. جریان شناور شکل گرفته به دلیل تمایل به حرکت به سمت بالا یا پایین (به دلیل شناوری مثبت یا منفی) تحت تاثیر مرزهای هندسی محیط پذیرنده تغییر حالت خواهد داد. ایجاد ناپایداری در آبهای کم عمق و تغییر شکل الگوی حرکت و پخشیدگی جریان در محیط، از جمله تاثیرات مرزهای محیط پذیرنده در فرایند حرکت و اختلاط جریان در محیط پذیرنده محسوب می‌گردند. در این حالات تحت تاثیر شرایط ناپایدار ناشی از مرزهای هندسی، پروفیل سرعت و غلظت جریان متفاوت از حالت معمول و غیرگوسی خواهد بود.



شکل - نمایی کلی از تاثیر مرزهای محیطی بر ایجاد ناپایداری
الف) تخلیه در حالت پایدار، ب) تخلیه در حالت غیرپایدار



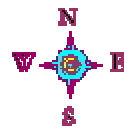


جت و پلوم سطحی

جریان‌های سطحی متداولترین حالت تخلیه جریان در طبیعت محسوب می‌گردند. مقیاس این جریان‌ها از چند ده سانتیمتر در استخرهای تصفیه تا چند صد کیلومتر در رودخانه‌های عظیم ورودی به اقیانوس متغیر می‌باشد. جریان سطحی به تخلیه ثقیلی سیال از کانال‌های ساحلی در مجاورت سطح پیکره آبی اطلاق می‌گردد. در کانال‌های ساحلی، سطح این جریان‌ها موازی سطح آب محیط پذیرنده بوده و کانال بصورت پیشرونده در محیط، جریان سیال را در آن تخلیه می‌کند. در شکل زیر نمایی از یک نمونه واقعی از کانال ساحلی پیشرونده که جهت تخلیه فاضلاب‌های حرارتی نیروگاه هسته‌ای بندر هشام در بریتانیا توسعه داده شده، آورده شده است.

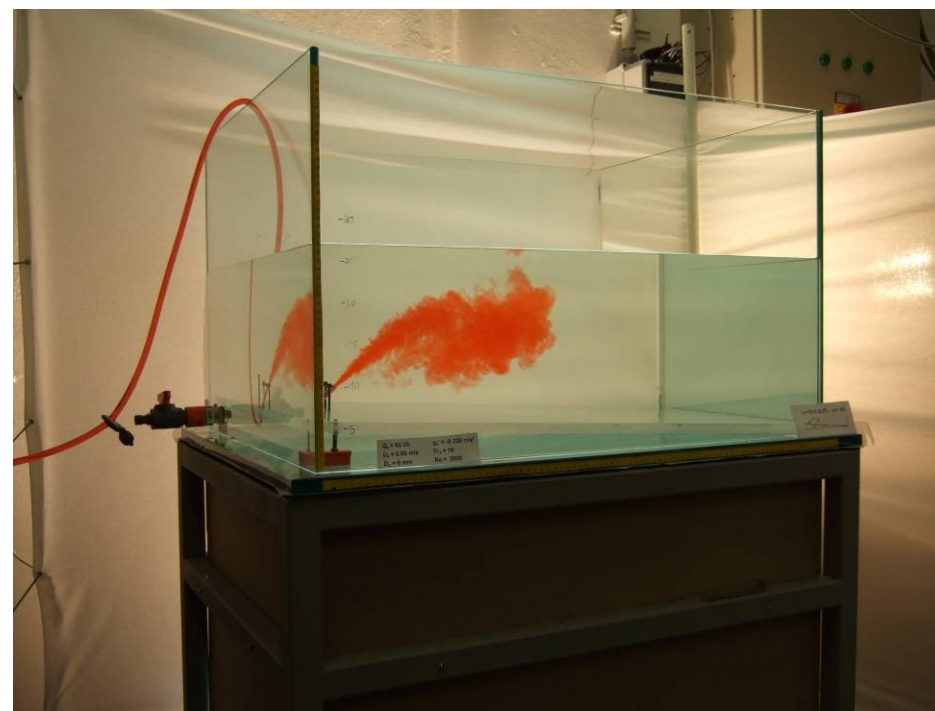


نمایی واقعی از یک تخلیه کننده سطحی در حال فعالیت - نیروگاه برق بندر هشام، بریتانیا



سابقه مطالعات

سالیان درازی است که طراحی و استفاده از تخلیه کننده‌های دریایی از طریق مطالعه مکانیزمهای حاکم بر تخلیه فاضلاب در دریا از رئوس مطالعات زیست محیطی مناطق ساحلی و دریاها به شمار می‌رود. در این زمینه طی سالهای دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ مطالعات گسترده ای توسط آزمایشگاههای معتبر علمی اعم از Wallingford Abramovich (1963) , Hydraulic Research station (1977) , Massachusetts Institute of Technology (1975) انجام گرفته است.





روشهای پیش بینی مشخصات جریان در محیط

به منظور حل مسائلی تخلیه فاضلاب در محیط، تاکنون روشهای مختلفی توسعه داده شده است. این روشها بسته به دقت مورد نیاز، ماهیت مساله، بودجه زمانی و ریالی در دسترس می تواند از روشهای پیچیده عددی و انتگرالی تا روشهای ساده تر تجربی و مقیاس طولی متغیر باشند.

✓ حل معادلات حرکت به روش عددی (Numerical method)

در شرایط هندسی معین و جریانات پیچیده، حل عددی معادلات حرکت روشی متداول در تعیین مشخصات جریان در محیطهای پذیرنده محسوب می گردد. در این روش علاوه بر حل معادلات عمومی حرکت معادلات ناویر-استوکس (معادله پیوستگی و بقای اندازه حرکت)، حل معادلات دقیقتر آشفتگی اعم از مدل و رینولدز-تنش نیز مورد نیاز است. ناشناخته بودن نحوه تاثیر مرزها در فرایند اختلاط، محدودیت در توصیف مناسب اثرات متقابل پارامترهای درگیر اعم از اصطکاک، لایه بندی، اندازه حرکت جریان خروجی، شناوری، تنش باد، جریانات جانبی، سطح آشفتگی محیط و پیچیدگیهای ذاتی جریانههای آشفته از جمله مشکلات روشهای عددی در حل مسائل پیچیده تخلیه فاضلاب محسوب می گردند. در کنار این موارد مشکل بودن شبیه سازی، زمان، هزینه و میزان اطلاعات بالای مورد نیاز نیز استفاده گسترده از روشهای عددی در حل مهندسی مسائل مرتبط با طراحی تخلیه کننده های دریایی با محدودیت مواجه ساخته است.

✓ حل معادلات حرکت به روش انتگرالی (Integral Type)

با فرض دانستن نوع پروفیل عرضی سرعت و غلظت جریان - براساس مشاهدات آزمایشگاهی - معادلات دیفرانسیلی حرکت را می توان به معادلات دیفرانسیلی معمول تبدیل کرد. حل این معادلات که به دو صورت اویلری و لاگرانژی انجام می گیرد سریعتر و آسان تر بوده و نتایج آن در ارتباط با مسائل تخلیه فاضلاب اعم از ترقیق و الگوی حرکت جریان دارای دقت بالا می باشد. این روش تاکنون توسط محققان مختلف در حل مسائل تخلیه فاضلاب مورد استفاده قرار گرفته و مدل های متعددی براساس آن توسعه داده شده اند.

- روش اویلری در مطالعات ژیرکا (۲۰۰۴)، وود (۱۹۹۳)، دیویدسون (۱۹۸۹)، چاو و لی (۱۹۹۶) مورد استفاده قرار گرفته است. مدل *CORJET* ژیرکا (۲۰۰۴) و *CORSURf* ژیرکا (۲۰۰۷) به این اساس کار می کند.
- روش لاگرانژی در مطالعات بامگارتنر و همکاران (۱۹۹۳)، لی و چانگ (۱۹۹۱) مورد استفاده قرار گرفته است و مدل های *یو-ام* (بامگارتنر و همکاران ۱۹۹۳)، *جت لگ* (لی و شونگ ۱۹۹۰) و *ویزجت* (شونگ و همکاران ۲۰۰۰) به این روش کار می کنند.



روشهای تجربی ✓

برای شرایط هندسی غیر پیچیده و جریانات ساده، ساده‌سازیهایی قابل توجه معادلات حاکم امکان حل تحلیلی این معادلات را فراهم می‌سازد. تحت این شرایط معادله آشفتگی می‌تواند با مقدار ثابت لزجت گردابه‌ای که از طریق مشاهدات آزمایشگاهی بدست آمده حل گردد. علاوه بر این روش، در تفسیر تجربی رفتار جریانهای خروجی، استفاده از مشاهدات آزمایشگاهی و استخراج پارامترهای جریان از طریق تحلیل ابعادی پارامترهای تاثیرگذار روشی بسیار متداول محسوب می‌گردد. این روش که به دلیل سادگی، دارا بودن دقت کافی برای طراحیهای مهندسی و امکان مدلسازی حالت بسیار پیچیده، اصلی‌ترین روش در طراحی تخلیه‌کننده‌های دریایی طی سالهای گذشته محسوب گردیده، با تفکیک جریان به رژیمهای مختلف براساس مقیاسهای طولی، نوع ارتباط بین پارامترهای مورد بررسی با متغیرهای جریان را از طریق تحلیل‌های ابعادی تعیین می‌نماید. این روش که به دلیل استفاده از مقیاسهایی با بعد طول تحت عنوان روش مقیاس طولی شناخته می‌شود در ادامه تشریح می‌گردد.

روش مقیاس طولی (Length scale Method) □

دبی خروجی (Q_0)، شار اولیه اندازه حرکت جریان (M_0)، شناوری سیال (B_0) و سرعت محیط (u_a) پارامترهای مستقل جریان بوده که هر یک در محدوده‌ای از جریان، پارامتر غالب آن محسوب می‌گردند. با ترکیب مقدار نسبی این پارامترها با استفاده از تحلیل ابعادی، متغیرهایی که در ارتباط با نیروهای شرکت‌کننده در پدیده اختلاط تاثیرگذار می‌باشند را می‌توان در گروه‌هایی با بعد طول تحت عنوان مقیاس طولی دسته‌بندی نمود. مقیاسهای طولی بیانگر اهمیت

نسبی شار حجمی، شار اندازه حرکت، شار شناوری، سرعت محیطی و لایه‌بندی محیط در کنترل رفتار جریان بوده و محدوده‌ای را نشان می‌دهند که این کمیت‌های دینامیک، رفتار جریان را کنترل می‌نمایند. مقیاسهای طولی که بیانگر حالت جریان و اهمیت نسبی فرایندهای هیدرولیکی

خاص در هر ناحیه از جریان می‌باشند به این ترتیب، موقعیت تقریبی نقطه انتقال جریان از یک رژیم به رژیم دیگر و توالی رژیم‌های مختلف جریان حین شکل‌گیری آن را نشان می‌دهند.

پارامترهای مستقل جریان که تعیین‌کننده میزان اختلاط و ترقیق جریان در محیط می‌باشند عبارتند از:

Volume flux $Q = u_0 \cdot A$

Momentum flux $M_0 = u_0 \cdot Q_0$ where $Q_0 = u_0 \cdot A$, $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot d^2$

Buoyancy flux $J_0 = g' \cdot Q_0$ where $g' = \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}\right) \cdot g$, $Q_0 = u_0 \cdot A$

Ambient Velocity u_a



موقعیت دقیق نقطه انتقال بین رژیمها از طریق مشاهدات آزمایشگاهی بدست آمده و برابر نسبتی از مقیاس طولی تحت عنوان ثابت انتقال می‌باشد. علاوه بر آن نسبت‌های بین مقیاس‌های طولی گروه‌های بی‌بعدی تشکیل می‌دهند که می‌توان از آنها در تغییر مقیاس نتایج مطالعات آزمایشگاهی به موارد واقعی در ابعاد بزرگ استفاده کرد. استخراج روابطی جهت توصیف رفتار جریان در هر ناحیه از طریق این پارامترهای بی‌بعد مرحله اصلی از تحلیل آزمایشات به روش مقیاس طولی را شامل می‌گردد. این کار با استفاده از تئوری باکینگهام و از طریق تعیین نوع ارتباط بین سرعت، مسیر حرکت، پخشیدگی و ترقیق جریان نسبت به فاصله از منبع تخلیه انجام می‌گیرد. بازه تغییر متغیرها در آزمایشاتی که در آزمایشگاه انجام می‌شود متناسب با نمونه‌های واقعی انتخاب شده تا نتایج آزمایشگاهی قابل استفاده و اعمال در مقیاس واقعی گردند. روابط بی‌بعد استخراج شده به این ترتیب می‌توانند جهت پیش‌بینی رفتار ساختارهای مشابه در زمینه واقعی بکار روند

نسبت‌های بین مقیاس‌های طولی گروه‌های بی‌بعدی تشکیل می‌دهند که از آنها جهت تغییر مقیاس نتایج مطالعات آزمایشگاهی به موارد واقعی در ابعاد بزرگ استفاده می‌گردد

مهمترین مزیت این روش سادگی و کارآمدی آن و نقیصه اصلی آن وابستگی زیاد آن به داده‌های تجربی می‌باشد. این روش تاکنون بطور گسترده توسط محققان مختلف در تحلیل مشاهدات آزمایشگاهی انجام شده بر روی تخلیه‌کننده‌های دریایی مورد استفاده قرار گرفته است. مدل RSB آر-اس-بی ارائه شده توسط رابرتز و همکاران در سال ۱۹۸۹، براساس روش مقیاس طولی توسعه داده شده است و طبقه‌بندی جریانات در مدل کرمیکس که توسط ژیرکا و ایگر در سال ۱۹۹۰ ارائه شده نیز با استفاده از این روش انجام گرفته است (سازمان حفاظت محیط زیست امریکا ۱۹۹۴). مدل کرمیکس از یک روش انتگرالی-اویلری تحت قالب مدل کرجت جهت شبیه‌سازی جریان و از روش مقیاس طولی جهت طبقه‌بندی حالات جریان استفاده می‌کند و شاخصترین مدل در شبیه‌سازی حالات پیچیده جریان در پیکره‌های آبی محسوب می‌گردد.



مقیاسهای طولی از طریق انجام تحلیل‌های ابعادی بر روی پارامترهای تاثیرگذار بر رفتار جریان بین دو رژیم متوالی، بدست آمده‌اند و طولی از جریان را نشان می‌دهند که یکی از پارامترهای حرکت تعیین کننده رفتار جریان در محیط می‌باشد. رایت (۱۹۷۷) در مطالعات خود با توجه براساس متغیرهای تخلیه چهار مقیاس طولی زیر را ارائه نمود.

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_0 = \int_A u \cdot dA = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot u \\ M_0 = \frac{1}{\rho_0} \int_A u^2 \rho \cdot dA = u_0 \cdot Q_0 \\ J_0 = \int_A (\rho_a - \rho) \cdot u \cdot dA = g' \cdot Q_0 \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{شار حجمی} \\ \text{شار مومنتم} \\ \text{شار شناوری} \end{array}$$

ترکیبات خاصی از مقیاسهای طولی زیر، اعداد بی‌بعدی نتیجه خواهند داد که پایه بی‌بعدی سازی معادلات در بررسی آزمایشگاهی پدیده‌های هیدورلیکی محسوب می‌گردند.

$$L_b = \frac{J_0}{u_a^3} \quad \text{مقیاس طولی پلوم به جریان محیطی}$$

$$L_Q = \frac{Q_0}{M_0^{\frac{1}{2}}} \quad \text{مقیاس طولی تخلیه}$$

$$L_m = \frac{M_0^{\frac{1}{2}}}{u_a} \quad \text{مقیاس طولی جت به جریان محیطی}$$

$$L_M = \frac{M_0^{\frac{3}{4}}}{J_0^{\frac{1}{2}}} \quad \text{مقیاس طولی جت به پلوم}$$

مدل آر-اس-بی (RSB) رابرتز و همکاران (۱۹۸۹)

کلاس بندی مدل کرمیکس ژیرکا و دونیکر (۱۹۹۰)

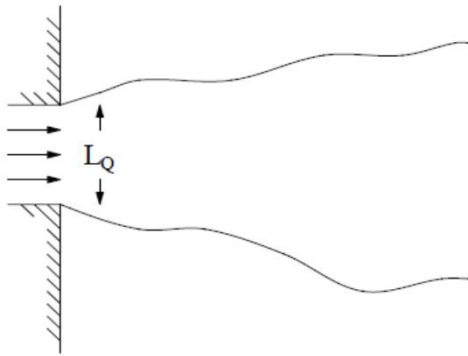


مقیاسهای طولی

مقیاسهای طولی از طریق انجام تحلیلهای ابعادی بر روی پارامترهای تاثیرگذار بر رفتار جریان بین دو رژیم متوالی، بدست آمده‌اند و طولی از جریان را نشان می‌دهند که یکی از پارامترهای حرکت تعیین کننده رفتار جریان در محیط می‌باشد.

➤ مقیاس طولی تخلیه (Discharge Length scale)

به محض خروج جت، این مشخصات هندسی مجرای خروجی است که تعیین کننده رفتار جریان در محیط می‌باشد. مقیاس طولی تخلیه که بصورت نسبت شار حجمی به شار اندازه حرکت تعریف می‌گردد، طول ناحیه‌ای را نشان می‌دهد که مشخصات دهانه تخلیه بر مشخصات جریان تاثیرگذار می‌باشد. در محدوده این فاصله از جلوی تخلیه کننده ($x \ll L_Q$) هندسه منبع، تاثیر تعیین کننده‌ای بر رفتار جریان دارد در حالیکه رفتار جریان خارج از این محدوده ($x \gg L_Q$) تنها توسط شار شناوری یا شار اندازه حرکت جریان خروجی کنترل می‌گردد.



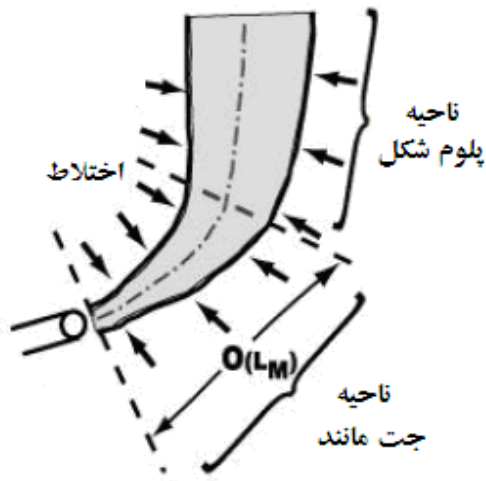
$$L_Q = \frac{Q}{M_0^{1/2}}$$

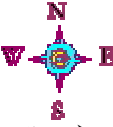
➤ مقیاس طولی جت به پلوم (Jet to Plume Length scale)

مقیاس طولی جت به پلوم بیانگر فاصله‌ای است که در آن انتقال از ناحیه غلبه اندازه حرکت یا رفتار جت مانند جریان به ناحیه غلبه شناوری یا رفتار پلوم شکل جریان در محیطهای ساکن و همگن اتفاق می‌افتد. براساس تحلیلهای ابعادی مقدار این پارامتر برابر است با:

$$L_M = \frac{M_0^{3/4}}{B_0^{1/2}}$$

در فاصله $x \ll L_M$ رفتار جریان توسط اندازه حرکت جریان خروجی کنترل می‌شود و در محدوده $x \gg L_M$ شناوری سیال است که تعیین کننده رفتار جریان می‌باشد.



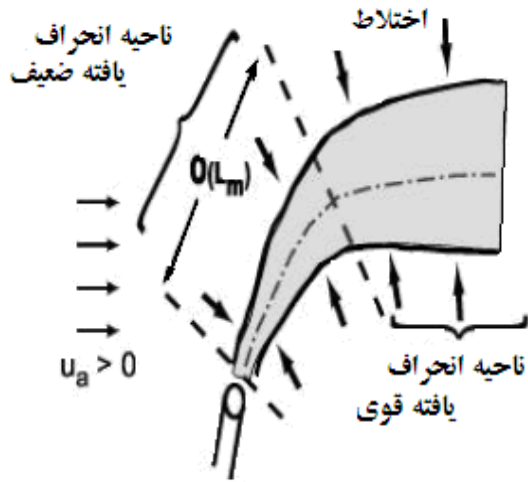


➤ **مقیاس طولی جت به جریان محیطی (Jet to Cross flow Length scale)**

مقیاس طولی جت به جریان محیطی که بصورت نسبت اندازه حرکت جت به جریان جانبی تعریف می‌شود، فاصله‌ای را نشان می‌دهد که در آن جریان بطور قوی توسط جریانات محیطی منحرف می‌گردد.

$$L_m = M_0^{1/2} / u_a$$

براساس این تعریف در طول این ناحیه ($x \ll L_M$) اندازه حرکت جریان خروجی غالب و جریان محیطی دارای اهمیت ثانویه است در حالیکه از انتهای این محدوده جریان محیطی تعیین کننده رفتار جریان می‌باشد.



➤ **مقیاس طولی پلوم به جریان محیطی (Plume to Cross flow Length scale)**

این مقیاس طولی که بصورت نسبت شار شناوری به سرعت محیطی عنوان می‌شود بیانگر تاثیرات جریانات محیطی در منحرف ساختن جریانهای پلوم شکل خالص می‌باشد.

$$L_b = B_0 / u_a^3$$

در رابطه فوق B_0 شار شناوری جریان خروجی و u_a سرعت جانبی محیط می‌باشد. به این ترتیب در محدوده $x \ll L_b$ شناوری اولیه جریان خروجی غالب و سرعت جانبی محیط دارای اهمیت ثانویه است در حالیکه در محدوده $x \gg L_b$ سرعت محیطی پارامتر غالب در رفتار پلوم محسوب می‌گردد.





روش مقیاس طولی

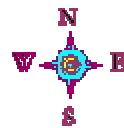
مقیاسهای طولی که بیانگر حالت جریان و اهمیت نسبی فرایندهای هیدرولیکی خاص در هر ناحیه از جریان می‌باشند به این ترتیب، موقعیت تقریبی نقطه انتقال جریان از یک رژیم به رژیم دیگر و توالی رژیمهای مختلف جریان حین شکل‌گیری آن را نشان می‌دهند. موقعیت دقیق نقطه انتقال بین رژیمها از طریق مشاهدات آزمایشگاهی بدست آمده و برابر نسبتی از مقیاس طولی تحت عنوان ثابت انتقال می‌باشد. علاوه بر آن نسبتهای بین مقیاسهای طولی گروه‌های بی‌بعدی تشکیل می‌دهند که می‌توان از آنها در تغییر مقیاس نتایج مطالعات آزمایشگاهی به موارد واقعی در ابعاد بزرگ استفاده کرد. استخراج روابطی جهت توصیف رفتار جریان در هر ناحیه از طریق این پارامترهای بی‌بعد مرحله اصلی از تحلیل آزمایشات به روش مقیاس طولی را شامل می‌گردد. این کار با استفاده از تئوری باکینگهام و از طریق تعیین نوع ارتباط بین سرعت، مسیر حرکت، پخشیدگی و ترقیق جریان نسبت به فاصله از منبع تخلیه انجام می‌گیرد. روابط بی‌بعد استخراج شده به این ترتیب می‌توانند جهت پیش‌بینی رفتار ساختارهای مشابه در زمینه واقعی بکار روند. مهمترین مزیت این روش سادگی و کارآمدی آن و نقیصه اصلی آن وابستگی زیاد آن به داده‌های تجربی می‌باشد. مدل آر-اس-بی RSB ارائه شده توسط رابرتز و همکاران در سال ۱۹۸۹، براساس روش مقیاس طولی توسعه داده شده است و طبقه‌بندی جریانات در مدل کرمیکس CORMIX که توسط ژیرکا و ایگر در سال ۱۹۹۰ ارائه شده نیز با استفاده از این روش انجام گرفته است. ترکیبات خاصی از مقیاسهای طولی فوق، اعداد بی‌بعدی نتیجه خواهند داد که پایه بی‌بعدی سازی معادلات در بررسی آزمایشگاهی پدیده‌های هیدرولیکی محسوب می‌گردند. این اعداد بی‌بعد عدد فرود چگالی و نسبت سرعت تخلیه به سرعت محیط بوده و بصورت زیر تعریف می‌گردند.

$$\frac{L_M}{L_Q} = \frac{(M_0)^{3/4} / (g' \cdot Q_0)^{1/2}}{Q_0 / M_0^{1/2}} = \frac{u_0}{\sqrt{g' \cdot A_0^{1/2}}} \propto Fr_d$$

عدد فرود چگالی Densimetric Froude number

$$R = \frac{L_m}{L_Q} = \frac{M_0^{1/2} / u_a}{Q_0 / M_0^{1/2}} = \frac{u_0}{u_a}$$

نسبت سرعت تخلیه به سرعت محیط



دسته بندی مدل‌های شبیه سازی موجود بر اساس نوع تخلیه کننده

□ مدل‌سازی تخلیه کننده های مستغرق (Submerge discharges Modeling)

- ✓ نرم افزار **CORMIX** (With CORJET Engine) توسط ژیرکا و دونکر (۱۹۹۰)
- ✓ مدل **RSB** (With experimental Eqs) توسط رابرتز و همکاران (۱۹۸۹)
- ✓ مدل **Visual plumes** (with UN Engine) توسط بامگارتنر و همکاران (۱۹۹۳)
- ✓ نرم افزار **VISJET** (With JetLag Engine) توسط لی و چانگ (۱۹۹۰)

در میان مدل‌های موجود مدل متخصص **CORMIX** شاخصترین و پرکاربردترین مدل توسعه داده شده تلقی می گردد

□ تخلیه کننده های سطحی (Surface discharges)

مطالعات انجام گرفته بر روی تخلیه سطحی فاضلابهای سبک در نهایت توسط جونز، ناش و ژیرکا (۱۹۹۶) در غالب مدل کرمیکس III جمع و بصورت یک نرم‌افزار کامپیوتری عملیاتی ارائه گردیده است.

جونز و همکاران (۱۹۹۷) همچنین با در نظر گرفتن خاصیت آینه گون حرکت نسبت به توسعه مدل شبیه سازی تخلیه سطحی فاضلابهایی با شناوری منفی از کانالهای سطحی در غالب مدل **D-CORMIX** اقدام نموده اند.



دسته بندی مدلها بر اساس روش شبیه سازی توسعه داده شده

□ مدل‌های مقیاس طولی

➤ **مدل RSB:** این مدل توسط رابرت و همکاران (۱۹۸۹) ارائه گردیده است. این مدل با استفاده از روش مقیاس طولی که مبتنی بر تحلیل‌های ابعادی و مشاهدات آزمایشگاهی می‌باشد، نسبت به تعیین مشخصات ناحیه اختلاط اعم از طول ناحیه، ضخامت و حداکثر ارتفاع جبهه آلودگی در تخلیه‌کننده‌های چندمجریایی در حالت وجود جریانات جانبی و محیط لایه‌بندی اقدام می‌نماید.

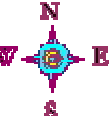
➤ **مدل کرمیکس (CORMIX):** این مدل که توسط دونکر و ژیرکا (۱۹۹۰) ارائه شده است در غالب مدل‌های CORMIX1، CORMIX2، CORMIX3 و D-CORMIX به ترتیب قادر به شبیه‌سازی وضعیت جت خروجی و محاسبه مسیر حرکت و میزان ترقیق در تخلیه‌کننده‌های تک مجریایی، چند مجریایی، تخلیه‌کننده‌های سطحی و تخلیه فاضلاب‌های چگال ناشی از مواد لایروبی می‌باشد. این مدل یک سیستم متخصص (Expert System) است و دسته بندی رژیم‌های جریان در آن با استفاده از مقیاس‌های طولی و به روش تجربی انجام گرفته است.

□ مدل‌های انتگرالی

➤ **مدل کرجت (CORJET):** این مدل کخ موتور شبیه ساز مدل CORMIX است قادر به شبیه‌سازی سه بعدی جریان جهت پیش‌بینی رفتار و مسیر حرکت جت‌های با شناور مثبت، منفی و خنثی تخلیه‌شونده از تخلیه‌کننده‌های مستغرق تک مجریایی و چندمجاری می‌باشد. این مدل بر مبنای روش انتگرالی اوپلری که در آن حجم کنترل ثابت در نظر گرفته شده است اقدام به شبیه‌سازی جریان تخلیه شونده از انواع تخلیه‌کننده‌های مستغرق می‌نماید.

➤ **مدل جت‌لگ (JETLAG):** این مدل که توسط لی و چانگ (۱۹۹۰) ارائه شده است با استفاده از روش انتگرالی لاگرانژی قادر به پیش‌بینی فرایند اختلاط و مسیر حرکت جت‌های شناور بطور سه بعدی می‌باشد. در روش لاگرانژی با استفاده از حجم کنترل در حال حرکت اقدام به معادلات انتگرالی حاکم بر مسیر حرکت و اختلاط جریان می‌گردد.

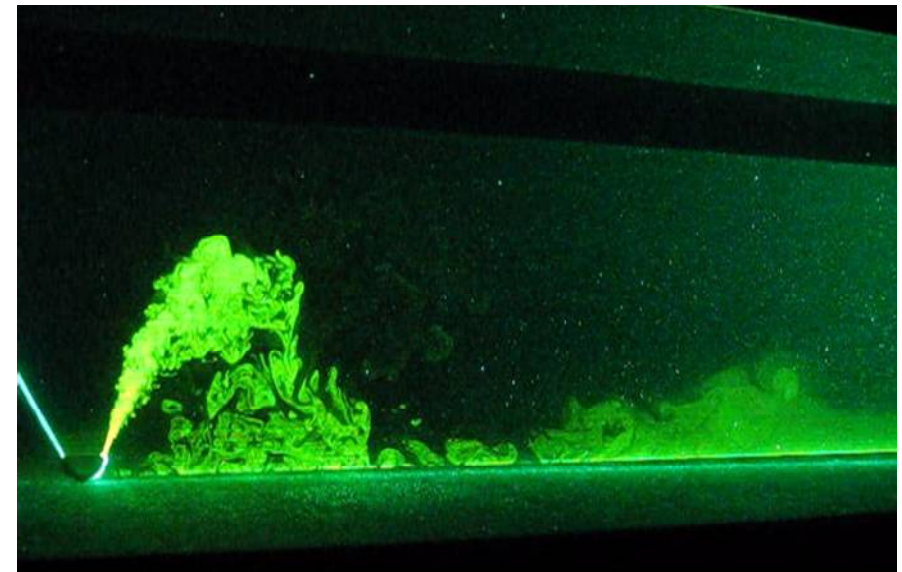
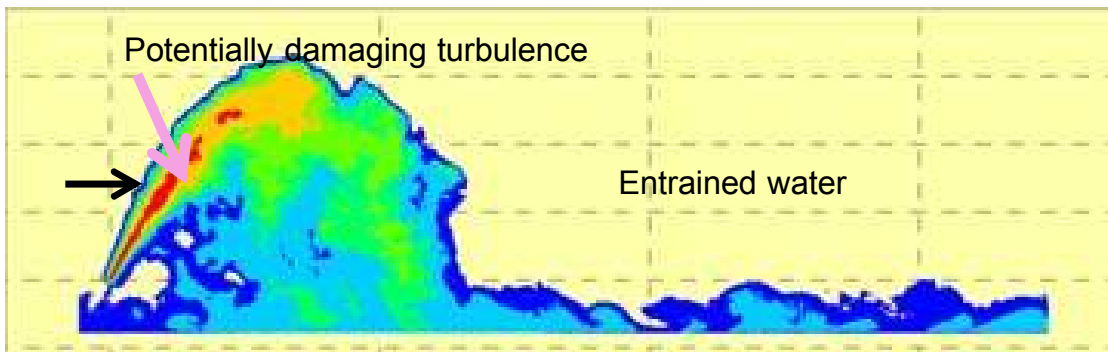
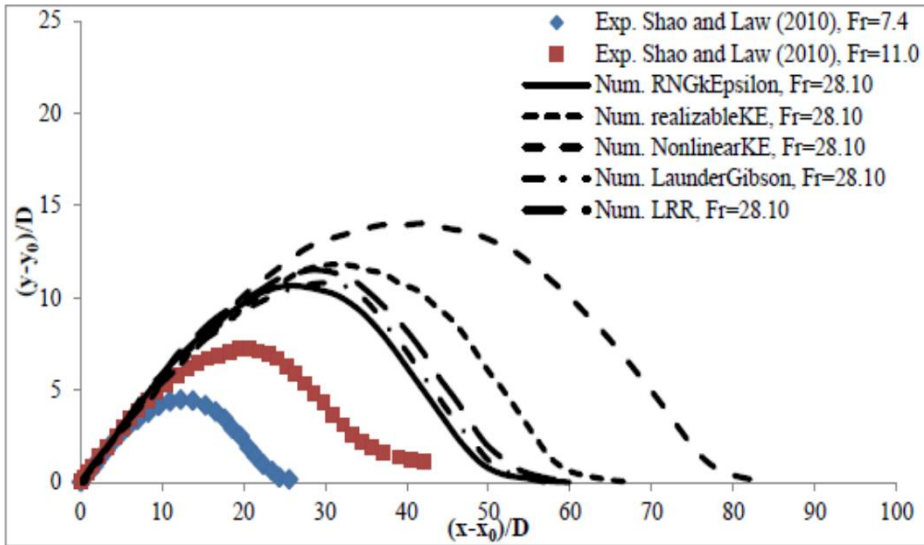
➤ **مدل UM:** این مدل توسط بامگارتنر و همکاران (۱۹۹۳) توسعه داده شده و در واسط Visual PLUMES قابل دسترس می‌باشد. این مدل از طریق حل معادلات جرم، انرژی و مومنتم به روش انتگرالی لاگرانژی قادر مدلسازی سه بعدی جت و پیش‌بینی مشخصات جبهه آلودگی اعم از مسیر حرکت، ترقیق، عرض و ارتفاع آن می‌باشد.

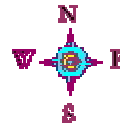


مدلهای عددی

شامل مدل‌های مشهور و شاخصی اعم از:

- POMGL
- OpenFOAM
- Delft3D
- ANSYS CFX
- CFX-5
- Fluent CFD package





مدلسازی عددی پخش در تخلیه فاضلاب در محیطهای آبی

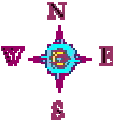
فرآیندهای طبیعی که باعث تغییرات غلظت در پیکره آبی می شود به دو دسته کلی **انتقال Transport و تغییر Transformation** دسته بندی می نمایند:

□ **انتقال Transport** به فرآیندهایی گفته می شود که باعث حرکت ماده در محیط بصورت فیزیکی می شوند. انتقال در مکانیک سیالات محیط زیست خود به دو دسته تقسیم می گردد. **ادوکنش Advection و دیفیوژن Diffusion**.

Advection انتقالی است که ناشی از حرکت بدنه سیال یا وجود جریان در محیط می باشد درحالیکه انتشار **Diffusion** پخشیدگی ناشی از حرکات تصادفی (مولکولها یا بسته های) سیال در محیط می باشد.

□ **تغییر Transformation** به فرآیندهایی اشاره دارد که ماده مورد نظر را به ماده دیگر تغییر میدهد. دو حالت اولیه تغییر بصورت فیزیکی و شیمیایی می باشد. تغییرات فیزیکی ناشی از قوانین فیزیکی مانند زوال رادیواکتیو و تغییرات شیمیایی ناشی از واکنش های شیمیایی و بیولوژیکی می باشند.

جابجایی آلودگی توسط دو مکانیزم جدای از هم انتقال و انتشار صورت می گیرد. **انتقال** به معنی جابجایی مواد آلوده به وسیله آب، چه بصورت محلول و چه بصورت معلق، با سرعتی برابر سرعت متوسط جریان می باشد. **انتشار** اما در جریانهای لایه ای متفاوت از جریانهای اشفته است. در حالت جریانهای لایه ای، انتشار بیان کننده حالتی از پخشیدگی است که در آن ماده صرفنظر از سرعت جریان، با گذشت زمان به دلیل وجود اختلاف غلظت بین دونقطه ناشی از حرکات براونی مولکولهای سیال، در محیط پخش شده و از غلظتش کاسته می شود. اما در حالت جریانهای اشفته، سرعت انتشار جرم ناشی از گردابه های موجود در جریان و نوسانات سرعت است، و بسیار سریعتر است. این ضریب، ضریب انتشار گردابه ای بوده که از لحاظ مقداری چندین مرتبه بزرگتر از ضریب انتشار مولکولی می باشد و تابعی از هیدرودینامیک جریانی است که ماده آلوده کننده را منتقل می کند.



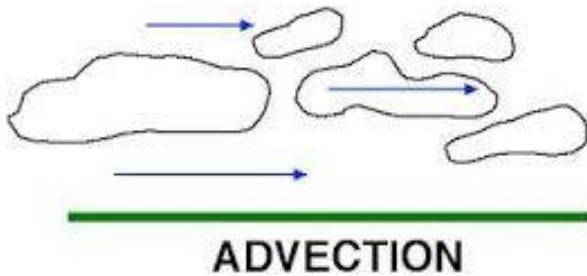
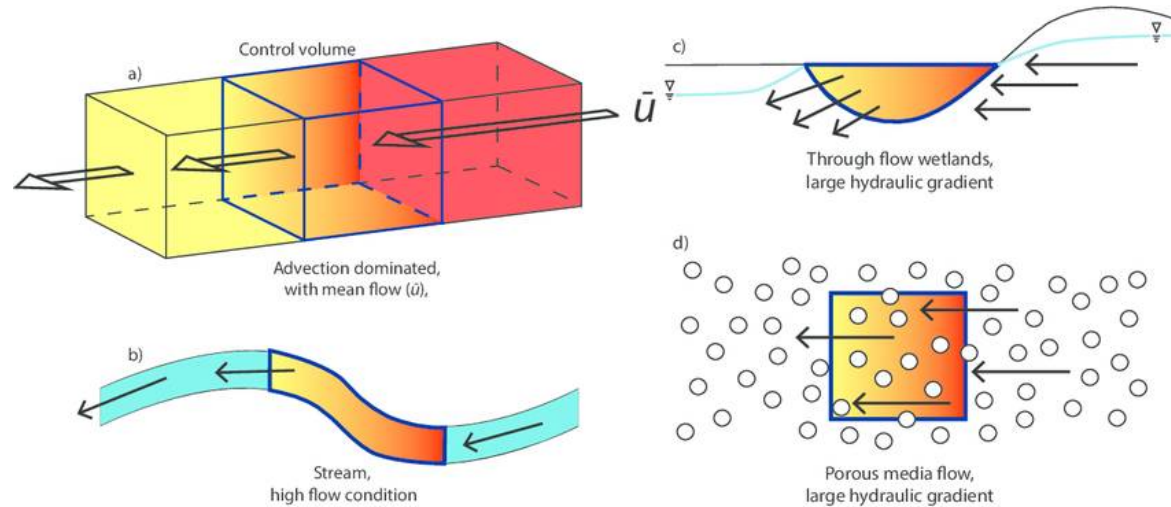
انتقال یا Advection

فرآیند انتقال بصورت جریان خالصی بین المانها تعریف می شود و یکی از دو مکانیسمی است که برای انتقال حرارت و مواد در امتداد جریان در مدلسازی کیفی آب مورد استفاده قرار می گیرد. فرآیند انتقال که ناشی از گرادیان هیدرولیکی و حرکت آب از بالادست به پائین دست است برای رودخانه در راستای طول و برای دریا و مخازن در راستای عمق در نظر گرفته می شود. رابطه ریاضی که برای انتقال در حالت یک بعدی در نظر گرفته میشود، به صورت زیر بیان میگردد:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u \frac{\partial c}{\partial x}$$

رابطه فوق در حالت سه بعدی به صورت زیر بیان می شود:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u \frac{\partial c}{\partial x} - v \frac{\partial c}{\partial y} - w \frac{\partial c}{\partial z}$$





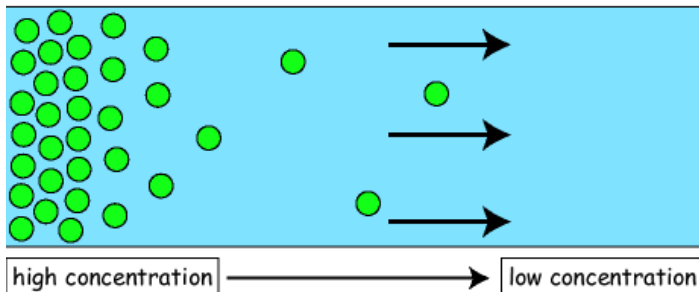
انتشار یا Diffusion

خاصیت انتشار عبارتست از حرکت مواد محلول از ناحیه با غلظت بیشتر به ناحیه با غلظت کمتر. فرایند انتشار مولکولی در نتیجه حرکت تصادفی مولکولها بوجود می پیوندد. در حقیقت علت اصلی فرایند انتشار مولکولی گرادیان غلظت ماده محلول می باشد. انتشار به هیچ وجه بستگی به حرکت توده ای مواد محلول ندارد. عامل محرک برای این پدیده، حرکت تصادفی ذرات مولکول ها که حرکت براونی نامیده میشود، می باشند. انتشار معمولاً در جریان های با سرعت کم نمود بیشتری دارد، طوریکه حتی در یک سیال بدون حرکت انتقالی و ساکن فرایند انتشار انجام می پذیرد. انتشار یک فرایند غیر قابل برگشت است، یعنی بعد از انجام این فرآیند، حالت قبل از پخشیدگی غیر قابل ظهور است. وجه تمایز انتشار از انتقال اینست که انتشار بصورت حرکات کاملاً تصادفی در طبیعت اتفاق می افتد و لزوماً الگوی حرکت جریان سیال را دنبال نمی کند و جابجایی ماده در آن از مناطق با غلظت بیشتر به مناطق با غلظت کمتر انجام می شود. بر اساس قانون فیک، فلاکس جرمی یعنی جرم عبوری ماده آلاینده در واحد زمان از واحد سطح در یک جهت معین، متناسب با گرادیان ماده آلاینده در آن جهت است. قانون فیک با توجه به قانون بقاء جرم بدست آمده و بیانگر ارتباط بین فلاکس جرمی و گرادیان غلظت می باشد. قانون فیک در یک جهت به صورت زیر است:

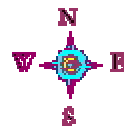
$$\frac{dc}{dt} = -D_v \frac{d^2c}{dx^2}$$

D ضریب پخشیدگی یا دیفیوژن و C غلظت

علامت منفی نشاندهنده آن است که غلظت ماده آلاینده در جهت انتشار کم میشود.

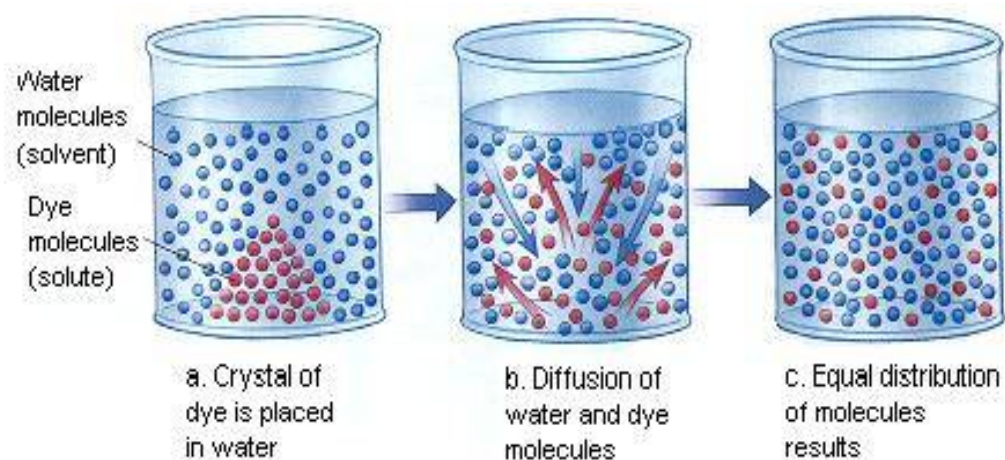


● solute



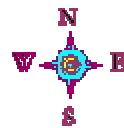
ضریب انتشار ➤

ضرایب انتشار برای مولکولها و یونهای مختلف شیمیایی دارای دامنه وسیعی می باشد. بطور مثال تحرک مولکول ها در فاز گازی در مقایسه با فاز مایع دهها هزار بار بیشتر است. البته همانطور که میدانیم نوع ماده منتقل شونده نیز در ضریب انتشار مؤثر است. ضرایب انتشار و پراکندگی می توانند تحت تأثیر یکسری خصوصیات فیزیکی مانند تخلخل، فشردگی، ساختمان و بافت محیط متخلخل و همچنین خصوصیات شیمیایی و فرایندهای تبادلی آنها قرار گیرد. لذا بهتر است که این ضریب در محیط بصورت درجا اندازه گیری شود. از آنجا که قانون فیک بر اساس حرکت مولکولی در حالت براونی بدست آمد برابر است با ضریب انتشار مولکولی. شدت انرژی حرکت در حالت براونی کنترل کننده مقدار D است. بنابراین ضریب پخشیدگی مولکولی به فاز مورد بررسی (جامد، مایع، گاز)، درجه حرارت و اندازه مولکولها بستگی دارد.



- When dye crystals are placed in water, they are concentrated in one area
- The dye dissolves in the water, and a net movement of dye molecules occurs. A net movement of water molecules occurs in the opposite direction.
- Eventually, the water and the dye molecules are equally distributed throughout the container.

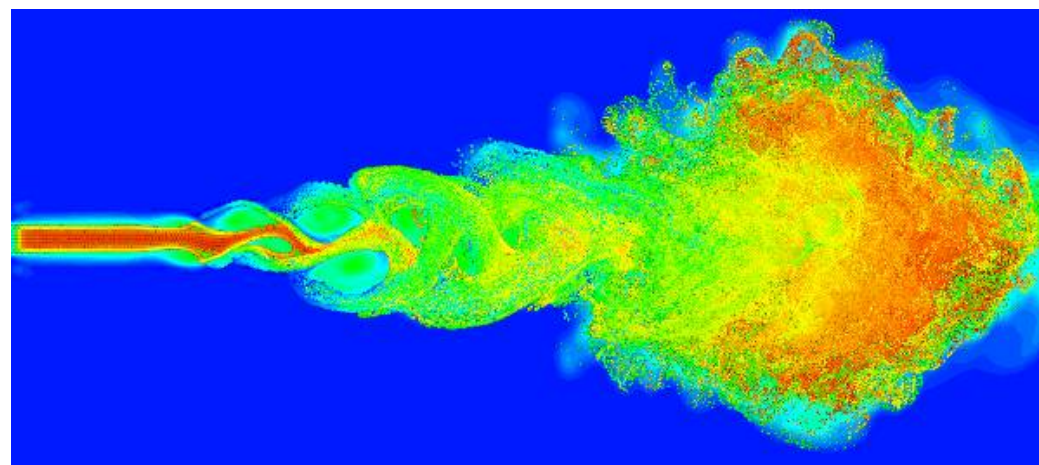
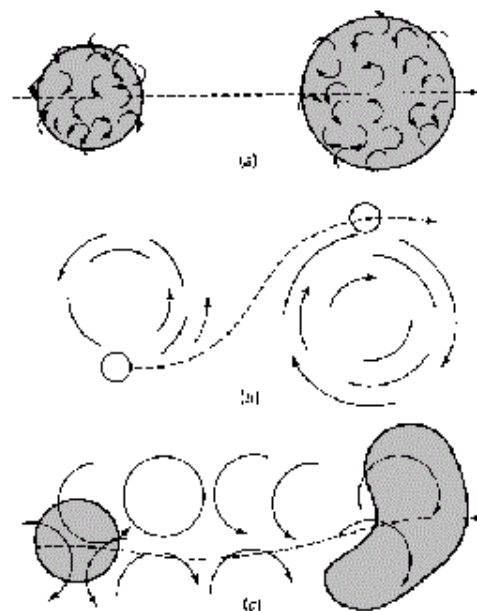
Diffusion

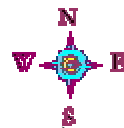


- ❖ **انتشار ملکولی:** پراکندگی ذرات به سبب وجود حرکات تصادفی ملکولها، که بوسیله قانون فیک یا معادله کلاسیک انتشار و بوسیله ضریب انتشار ملکولی محاسبه می شود.
- ❖ **انتشار ناشی از آشفتگی:** پراکندگی تصادفی ذرات به سبب وجود آشفتگی در جریان که همانند انتشار ملکولی و متناظر با ضریب انتشار گردابه ای مد نظر قرار می گیرد.

انتشار ناشی از آشفتگی جریان

ناشی از نوسانات سرعت و تغییر شکل و نوسانات بسته های سیال در جریانهای آشفته، میزان پخشیدگی ماده در جریانهای آشفته بسیار بیشتر از پخشیدگی ماده در جریانهای لایه ای و یا محیطهای ساکن است جایکه پخشیدگی ناشی از حرکات تصادفی مولکولهای سیال یا دیفیوژن مولکولی است. در این حالت با نادیده گرفتن از پخشیدگی مولکولی در جریانات با سرعت و رینولدز بالا میزان پخشیدگی و اختلاط و ترقیق جریان ناشی از انتقال و انتشار (مولکولی و آشفتگی) را برای پیش بینی مشخصات جریان مدلسازی می کنند.





➤ معادلات انتقال-انتشار (Advection-diffusion Eq.)

در شرایطی که سیال ساکن باشد (سرعت جریان صفر باشد) انتقال آلاینده فقط بر اساس پدیده پخش (Diffusion) انجام می‌گیرد. چنانچه سیال با سرعت u جریان داشته باشد، یک ابر غلیظ از ماده مورد نظر در آب، همانطور که با جریان به سمت پایین دست منتقل میشود، درون آن نیز پخش می‌گردد. مقدار پخش ماده در آب ناشی از خصوصیات هیدرودینامیک جریان بوده و خصوصیات فیزیکی آن توسط جریان کنترل می‌شود. در این حالت فرض بر آن است که پدیده انتقال و انتشار، دو پدیده جدا از هم در نظر گرفته می‌شوند که هیچیک اثری بر دیگری ندارند. بنابراین، پدیده پخش در سیال متحرک مطابق همان مکانیزمی است که این پدیده در سیال ساکن اتفاق می‌افتد. در این حالت ضریب پخش ارتباطی با سرعت سیال ندارد و همواره برابر مقداری ثابت می‌باشد.

در این جریان فرآیندهای مهم در حرکت و گسترش ابر آلودگی عبارتند از:

- **انتقال یا Advection:** که حرکت ابر آلودگی توسط خود جریان است
 - **اختلاط یا Mixing:** مخلوط شدن و رقیق شدن آلودگی توسط دو فرآیند دیفیوژن (Dispersion) و پراکندگی (Diffusion)
- نرخ عبور جرم آلاینده از واحد سطح عمود بر محور X یا معادله کلی انتقال-انتشار برای یک ماده فناپذیر برابر خواهد بود با:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

که در آن:

uC شار انتقالی یا Advection flux

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

$D \frac{\partial C}{\partial x}$ شار انتشار یا Diffusive flux



معادلات حاکم

□ معادلات ناویر-استوکس:

▪ معادله پیوستگی (Continuity equation)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0.$$

▪ معادله مومنتم (Momentum equations)

حل عددی این معادلات در شبیه سازی تخلیه جریان در پیکره های آبی انجام می گیرد.

X-momentum

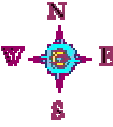
$$\rho \left(\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right)$$

Y-momentum

$$\rho \left(\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right)$$

Z-momentum

$$\rho \left(\frac{\partial W}{\partial t} + U \frac{\partial W}{\partial x} + V \frac{\partial W}{\partial y} + W \frac{\partial W}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \right)$$



□ Continuity equation:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0.$$

□ Momentum equations: Reynolds-Averaged Navier–Stokes equations

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right) \right) - g \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right) \right)$$

□ Advection–Diffusion equation for concentration and temperature

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = k_{\text{eff}} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

1- Sampling tub and trolley

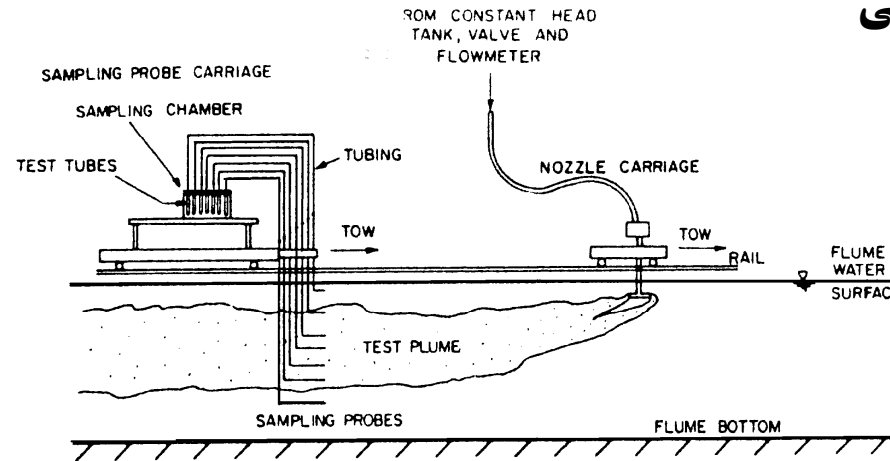
Trolley for simulation of ambient cross flow

Sampling tube for dilution calculation and

finding the geometry of plume

Wright (1977,1982)

Roberts and Toms (1987)



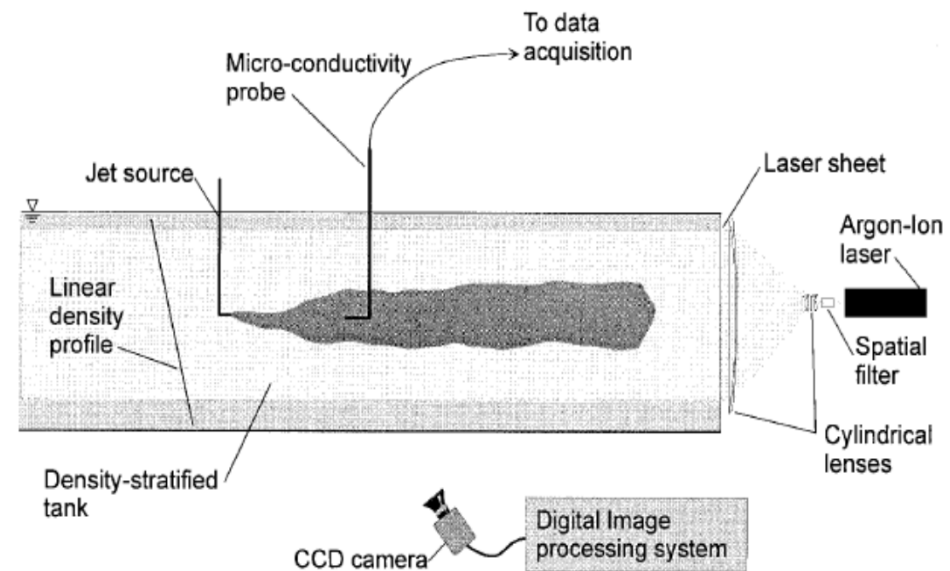
2- Laser induced florescent (LIF) and probes

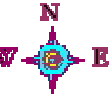
The captured LIF images utilized in Image

processing system and Probes

used for dilution calculation

Roberts et al. (1997, 2001)





دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

3- Three-dimensional laser-induced fluorescence system equipped to trolley

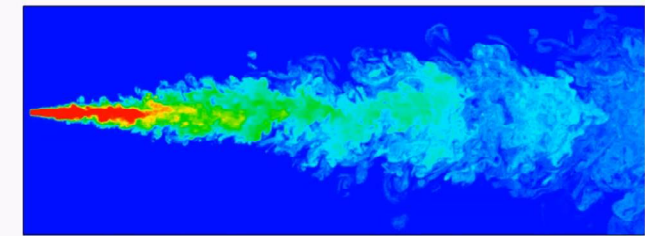
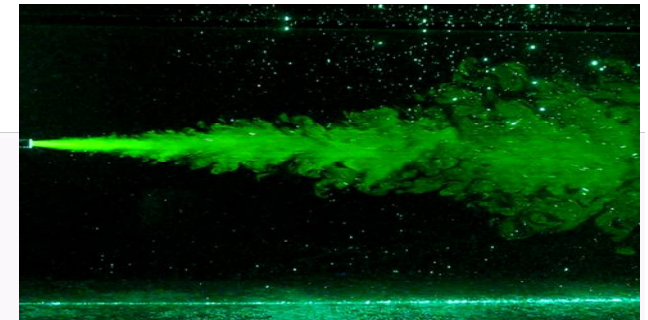
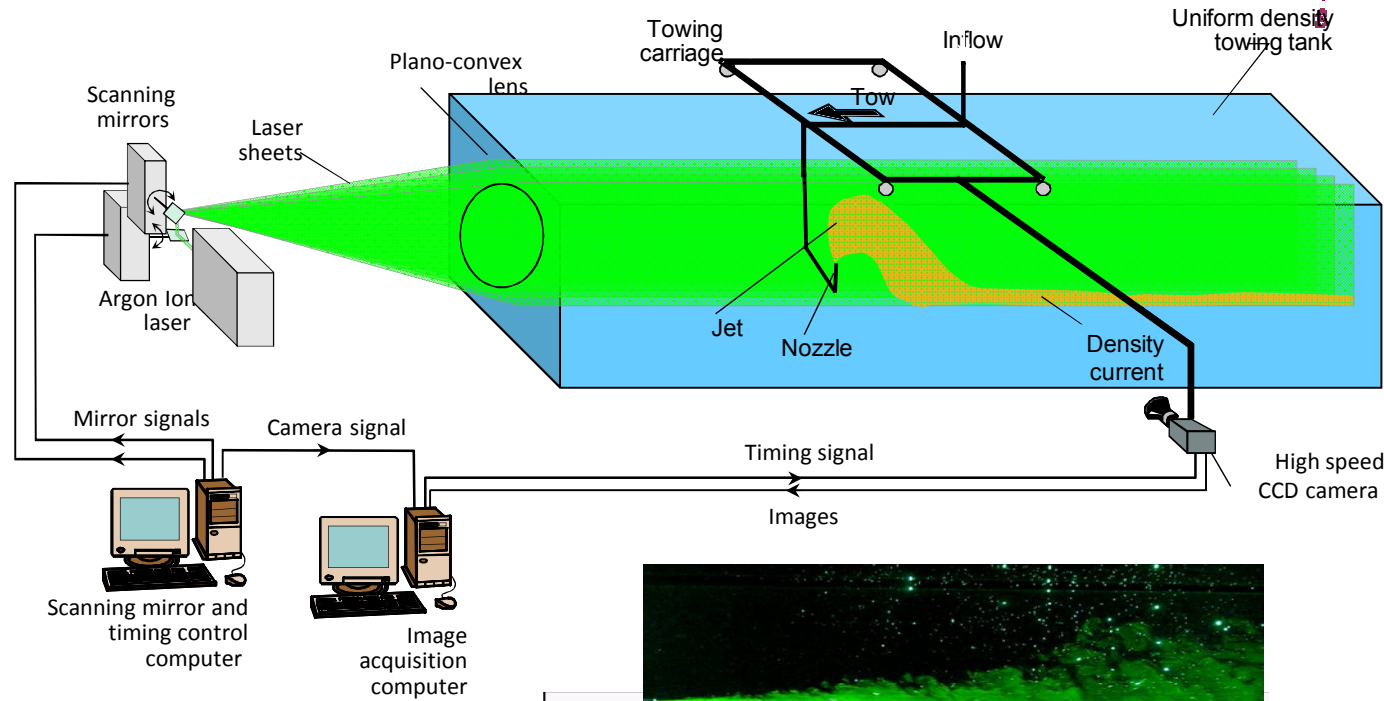
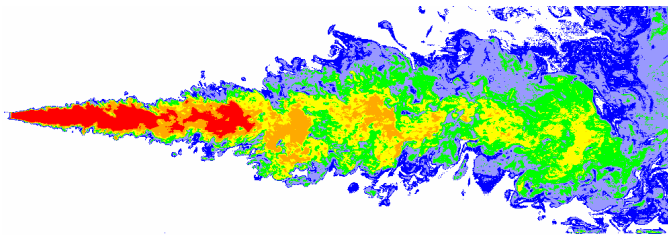
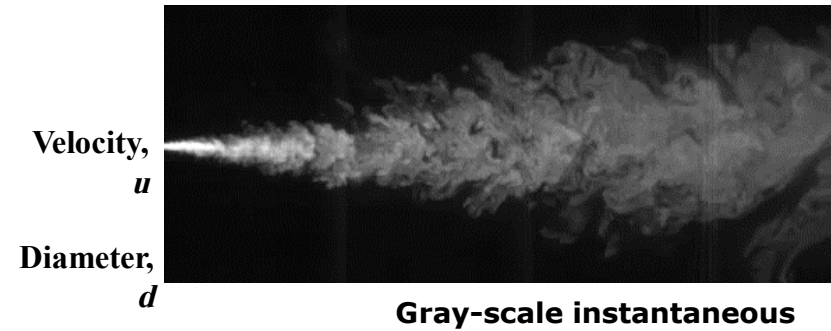
3DLIF for dilution calculation and

finding the geometry of plume

Tian and Roberts (2003)

Roberts et al. (2004, 2006)

LIF Images of Horizontal jet

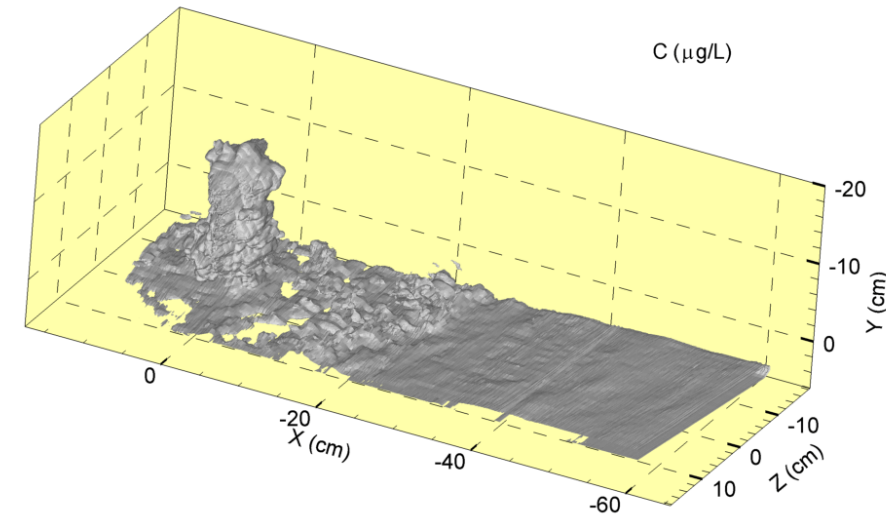
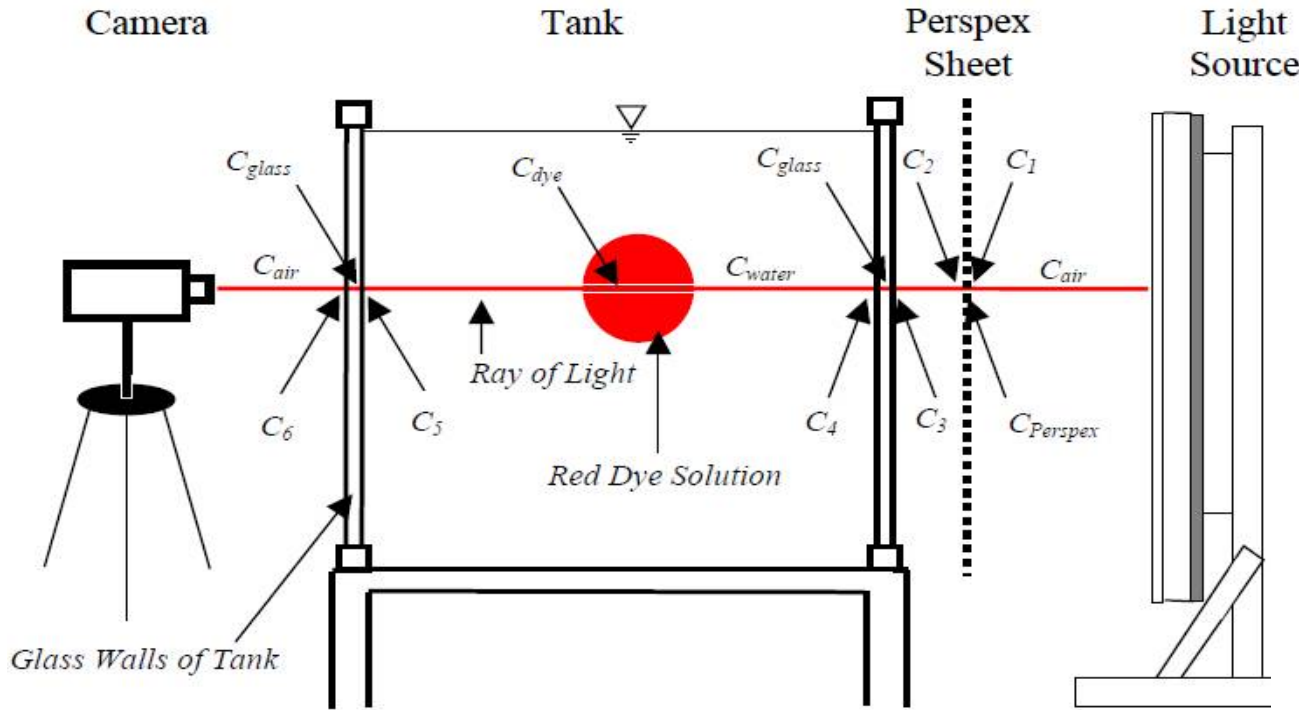
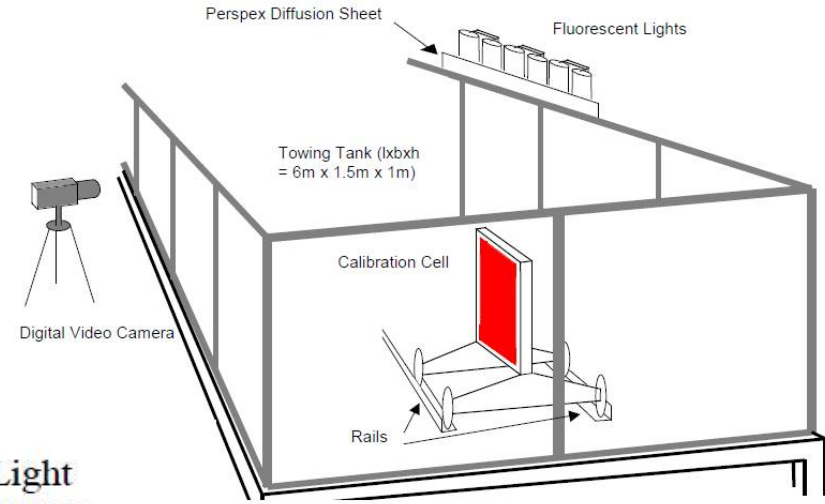




4- Light attenuation (LA) system

A simple optical technique based on the attenuation of light passing through a dyed solution

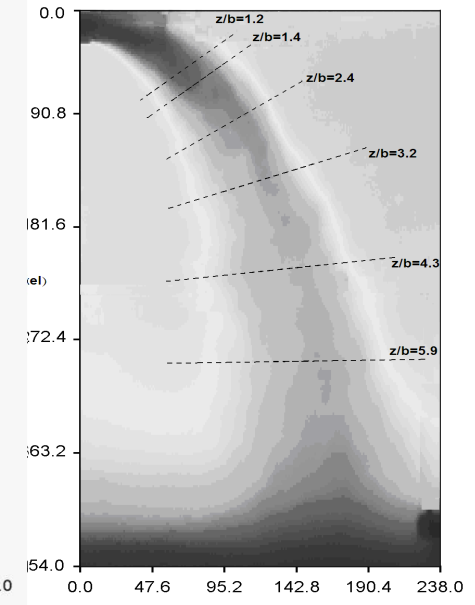
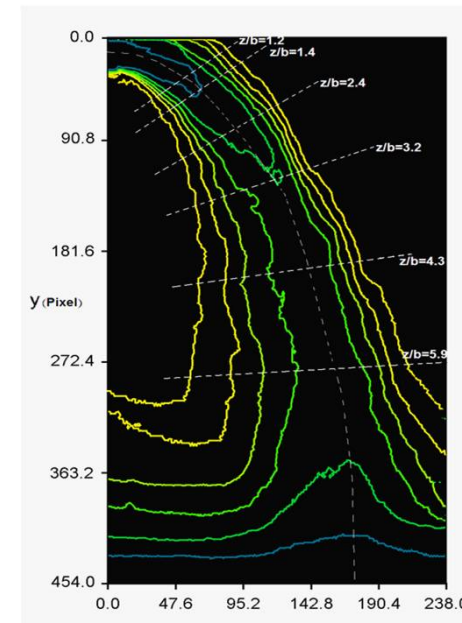
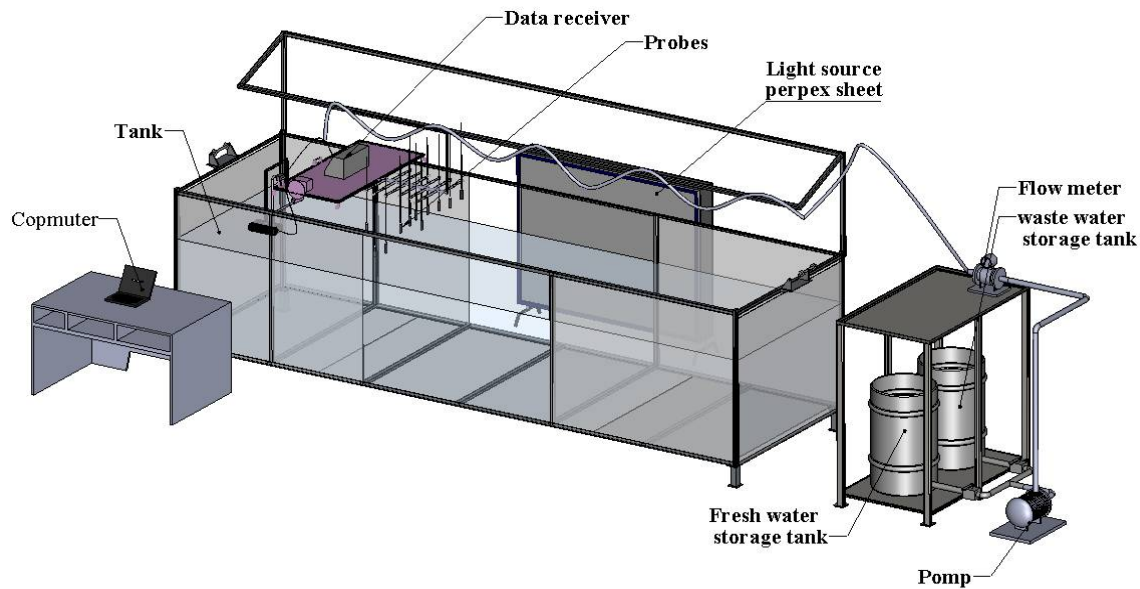
Kikkert et al. (2007)



5- Light Intensity (LA) method

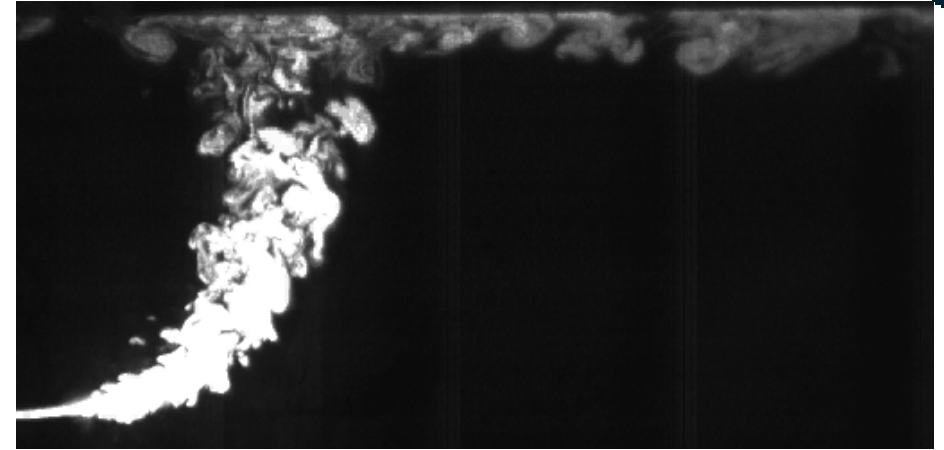
Optical technique based on the intensity of light of induced dye discharged with flow as tracer

Abessi et al. (2012)

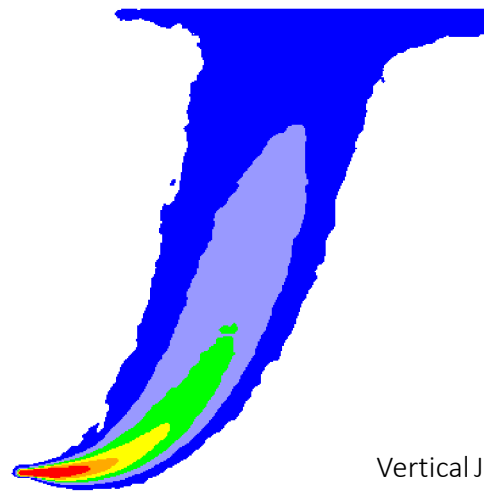
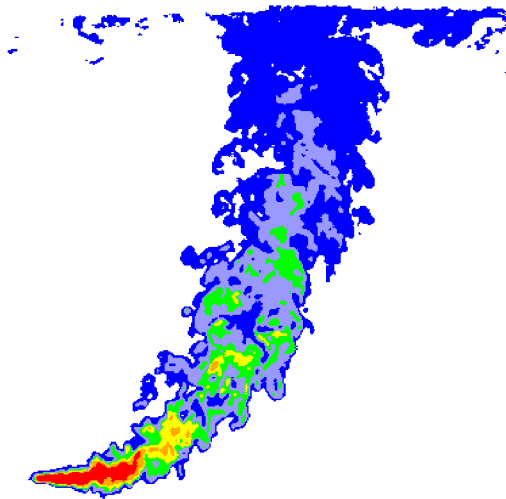




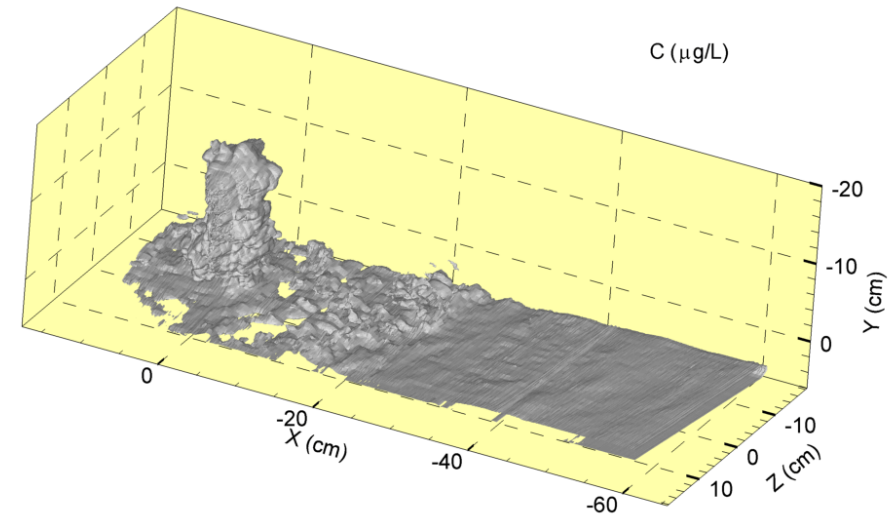
LIF Images of Horizontal Buoyant jet

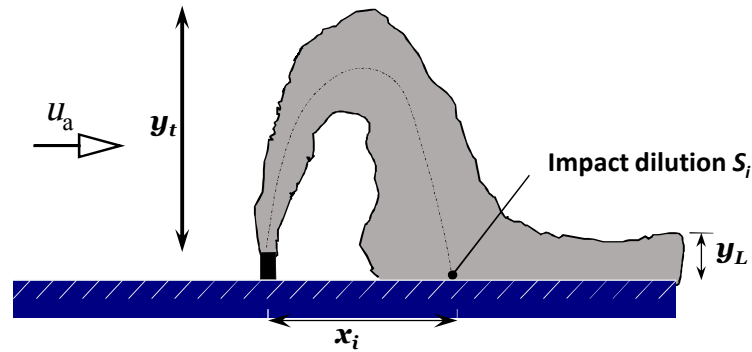
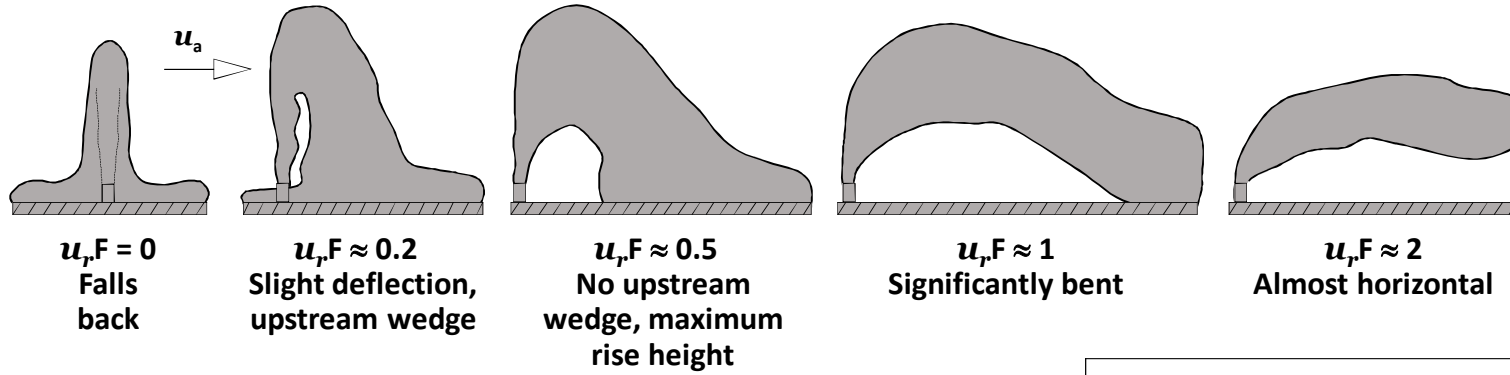


Laser-Induced Fluorescence Images of Plumes

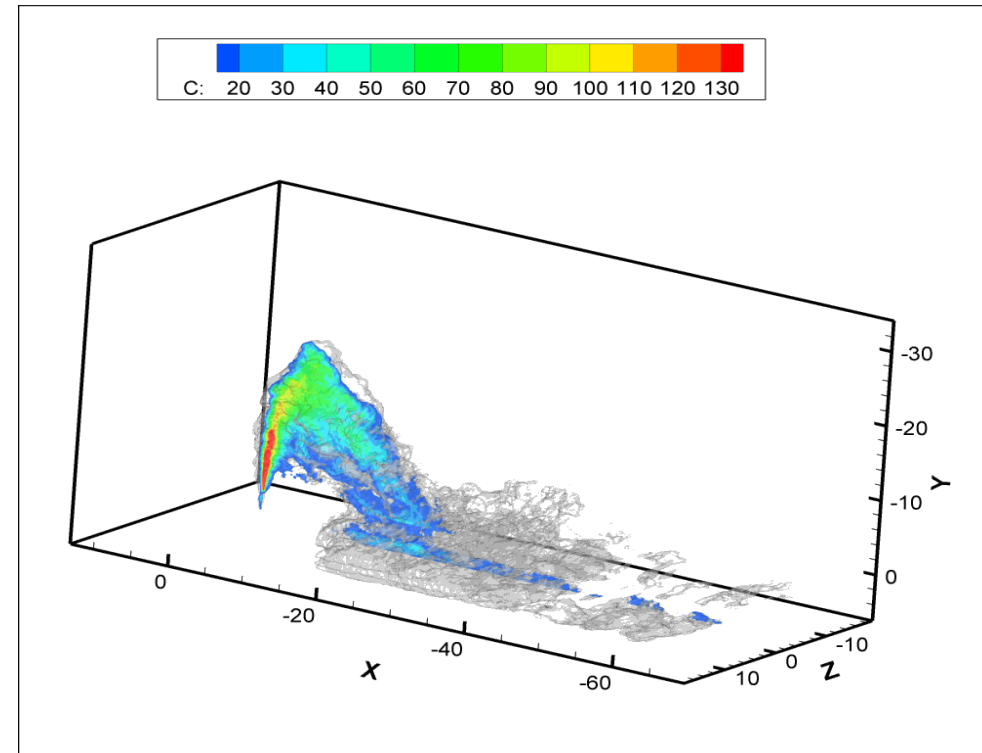


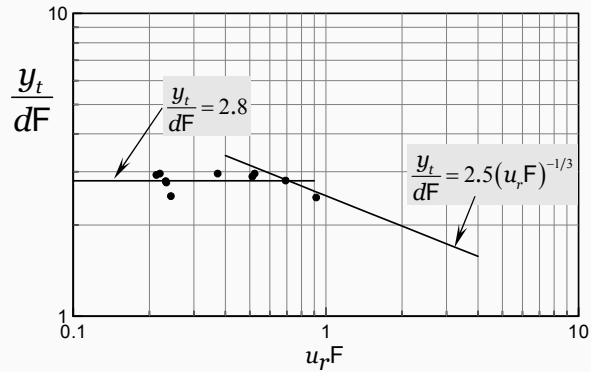
Vertical Jet ($\theta = 90^\circ$)



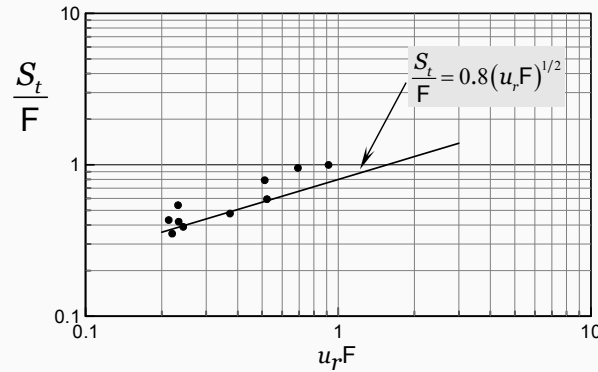


Instantaneous image

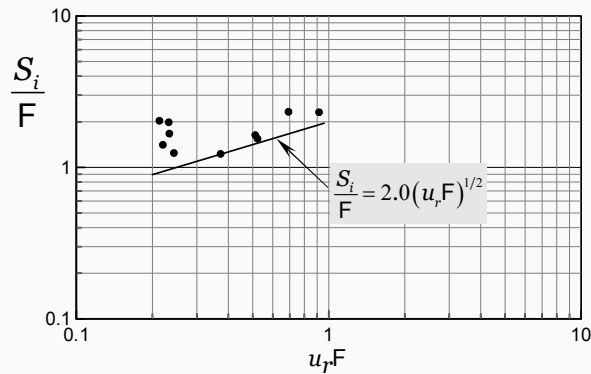




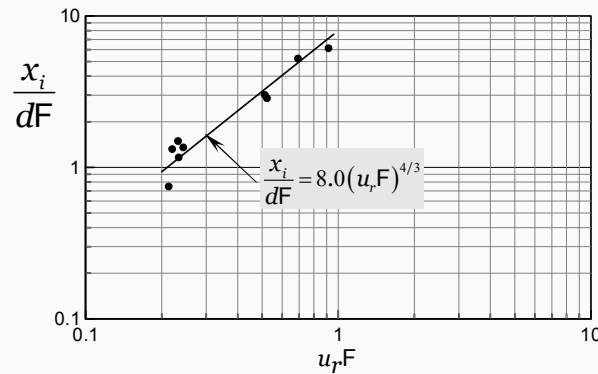
Maximum rise height



Dilution at maximum rise height

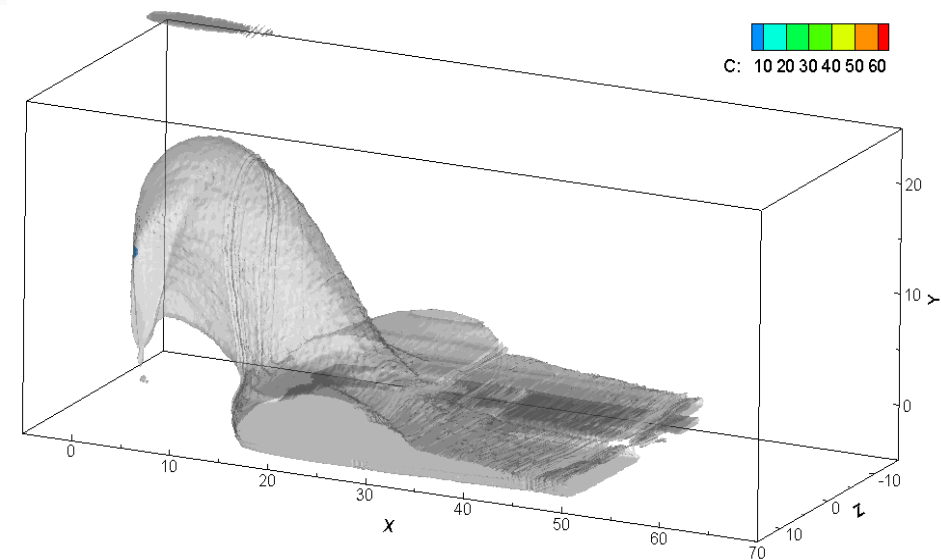
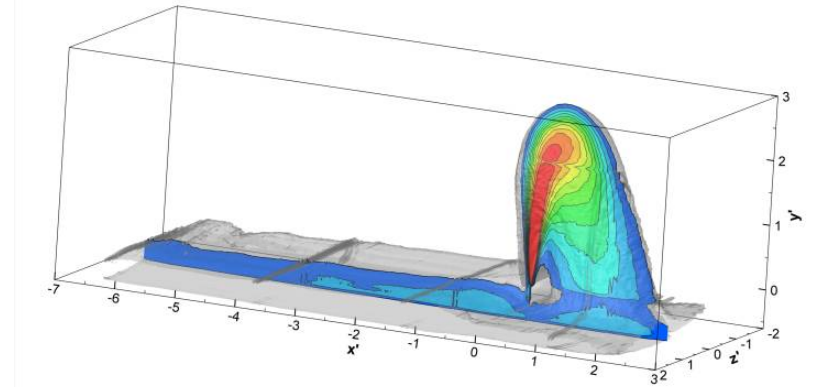


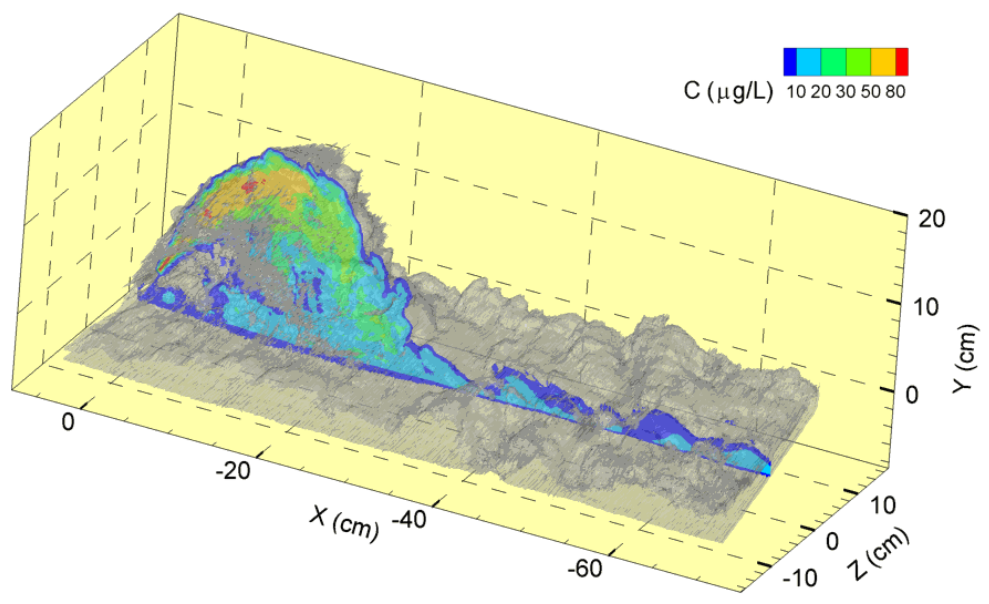
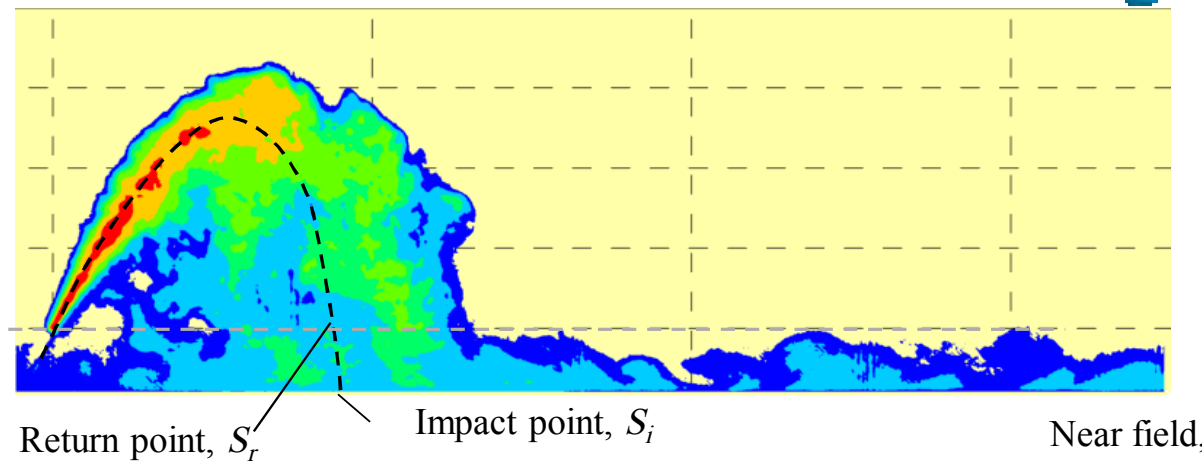
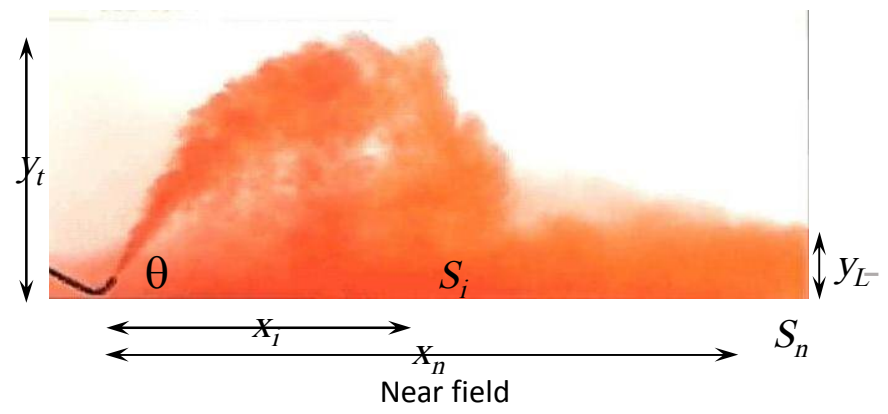
Dilution at impact point



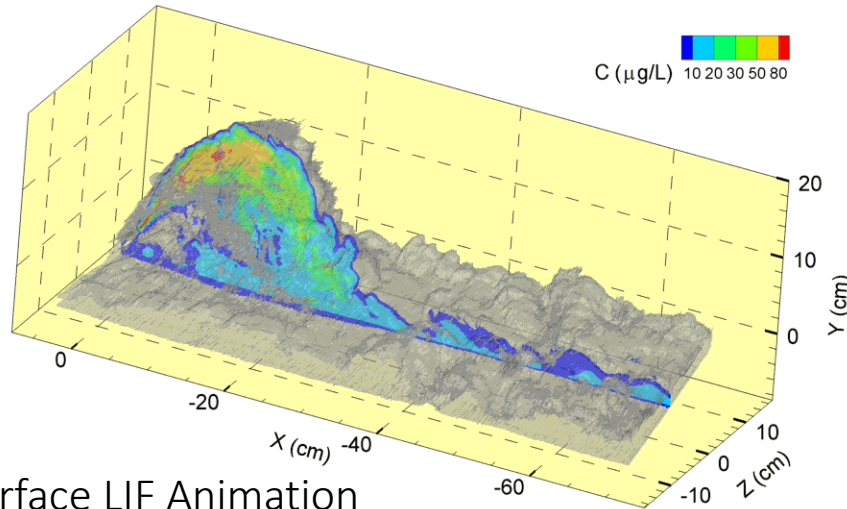
Location of impact point

Gungor, E. and Roberts, P.J.W. (2009) "Experimental Studies on Vertical Dense Jets in a Flowing Current," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 135 (11), p. 935-948. November 2009.

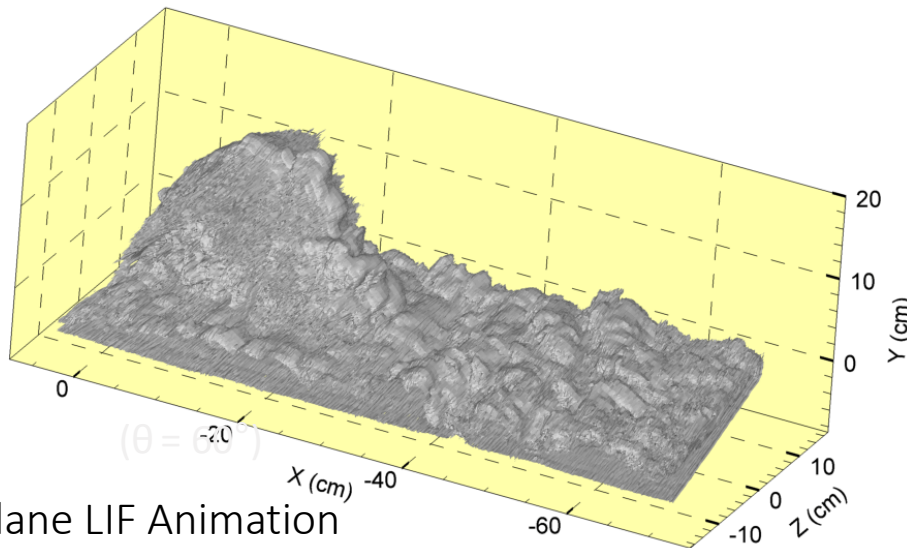




Center Plane LIF Animation



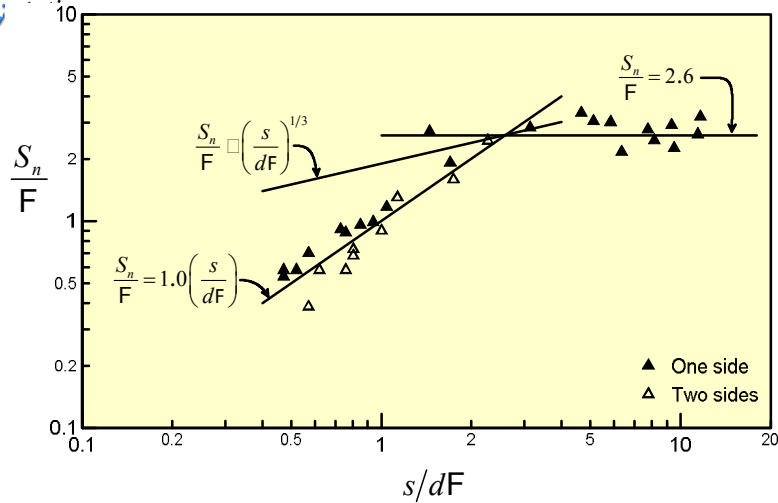
Outer Surface LIF Animation



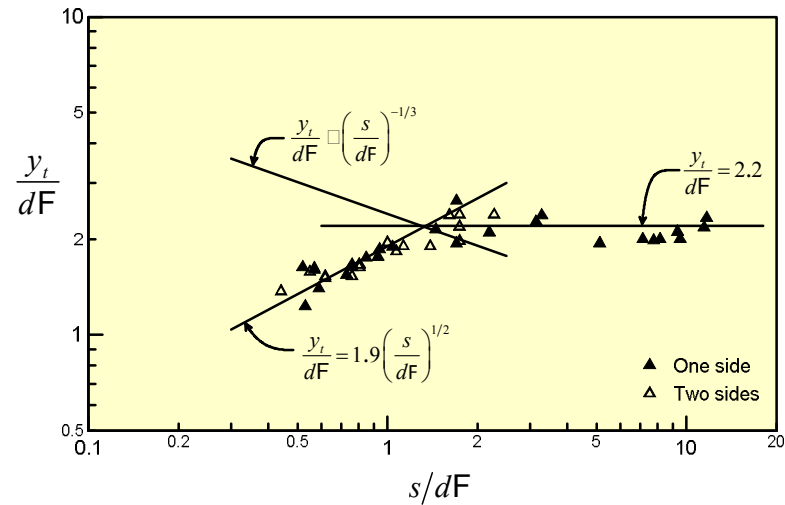
Center Plane LIF Animation

Summary of Experimental Coefficients for 60° Inclined Dense Jets

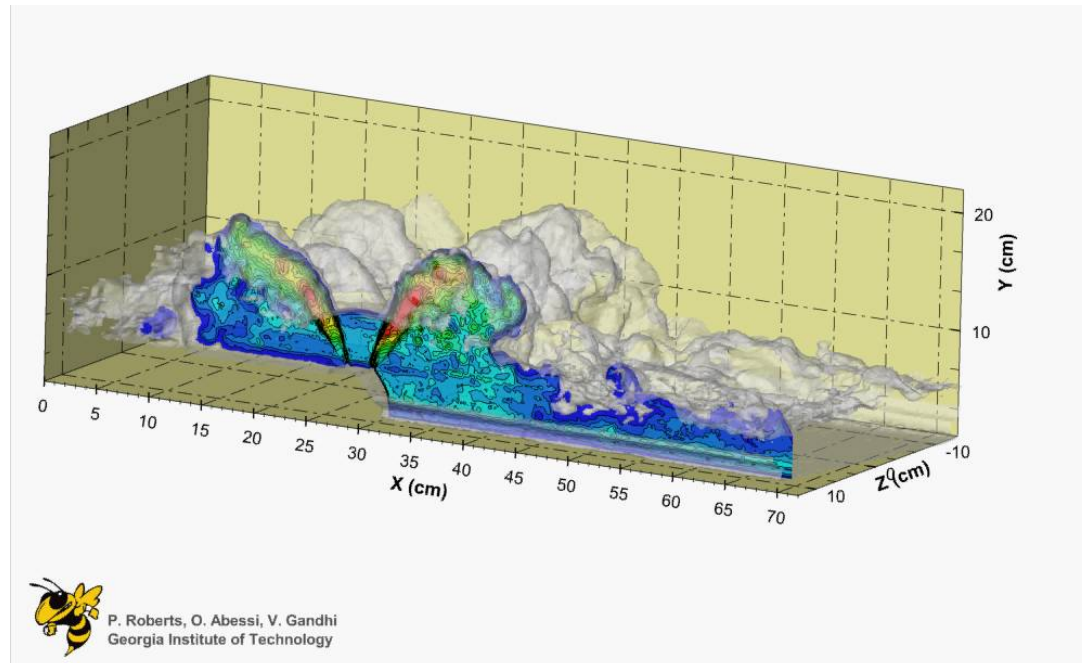
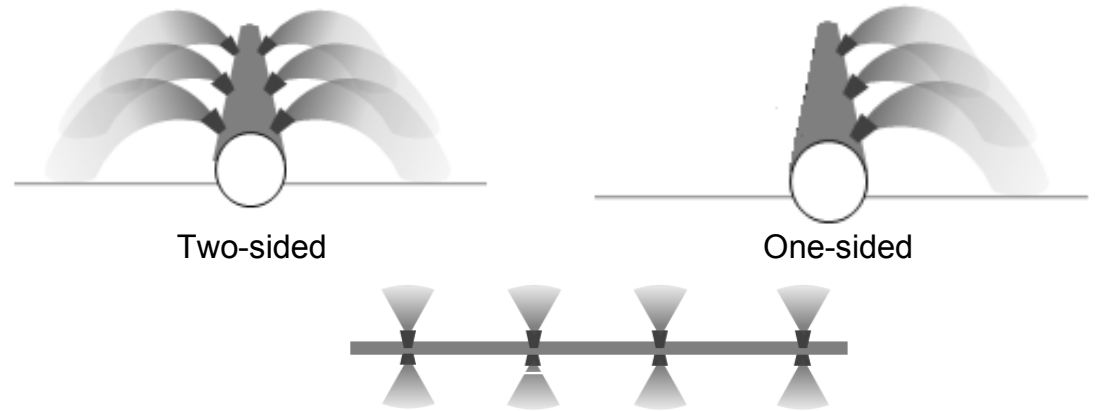
Quantity	Normalized equation
Terminal rise height	$\frac{y_t}{dF} = 2.2$
Impact point dilution	$\frac{S_i}{F} = 1.6$
Near field dilution	$\frac{S_n}{F} = 2.6$
Location of impact point	$\frac{x_i}{dF} = 2.4$
Length of near field	$\frac{x_n}{dF} = 9.0$
Thickness of bottom layer	$\frac{y_L}{dF} = 0.7$



Near field dilution

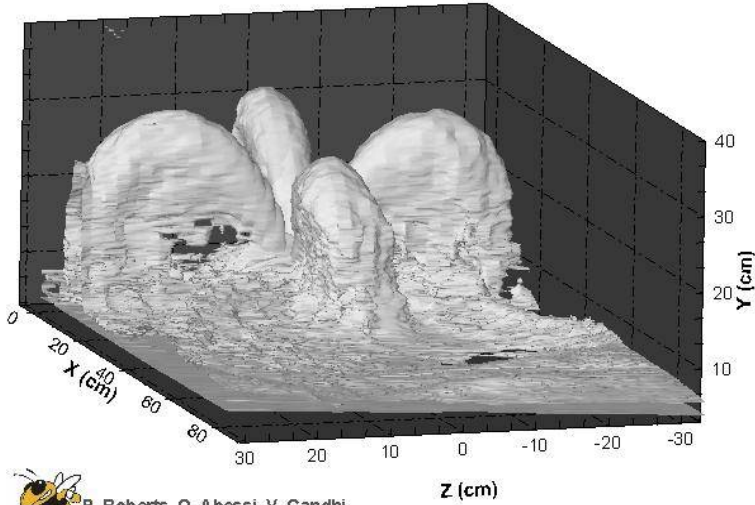


Rise height

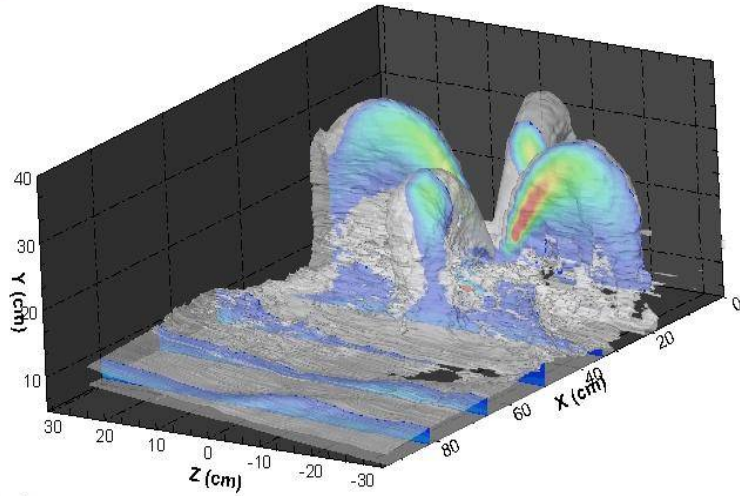
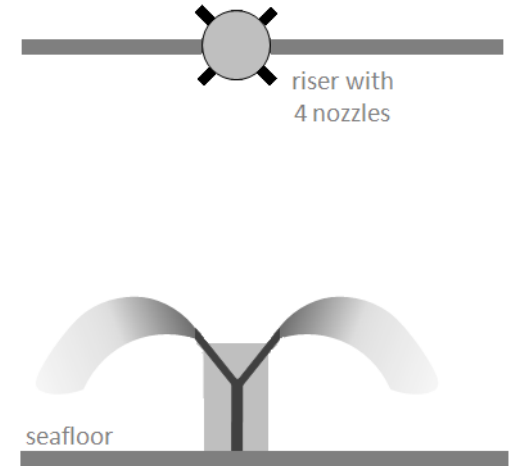
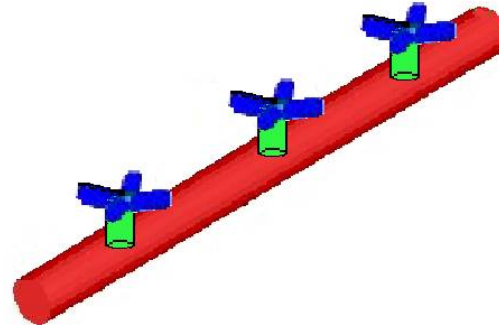




دانیال



P. Roberts, O. Abessi, V. Gandhi
Georgia Institute of Technology

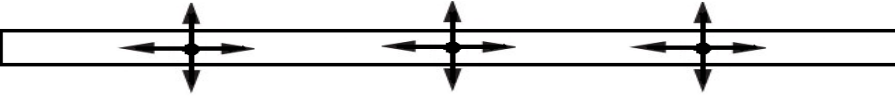
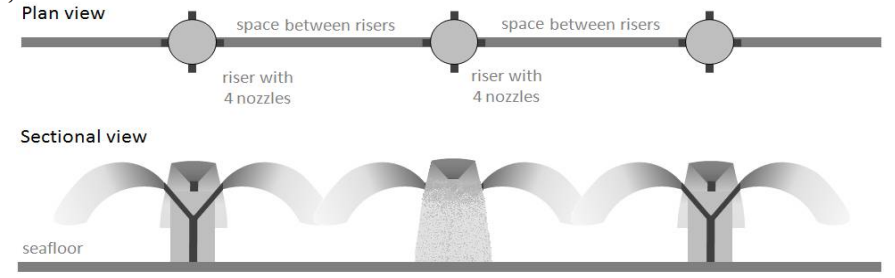


P. Roberts, O. Abessi, V. Gandhi
Georgia Institute of Technology

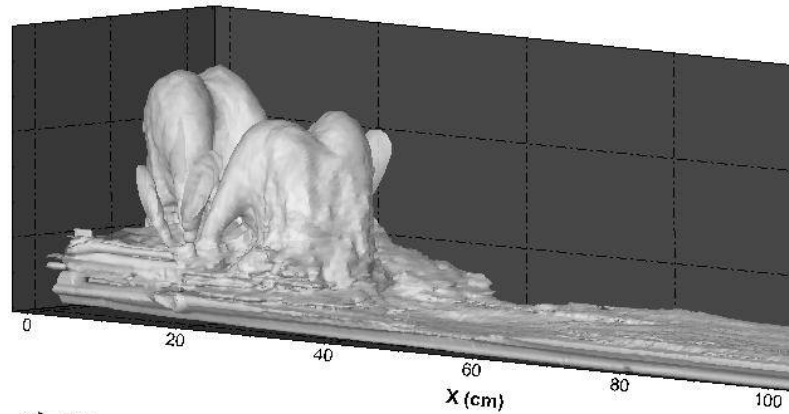


تخلیه فاضلاب در دریا

دانشگاه صنعتی شیراز

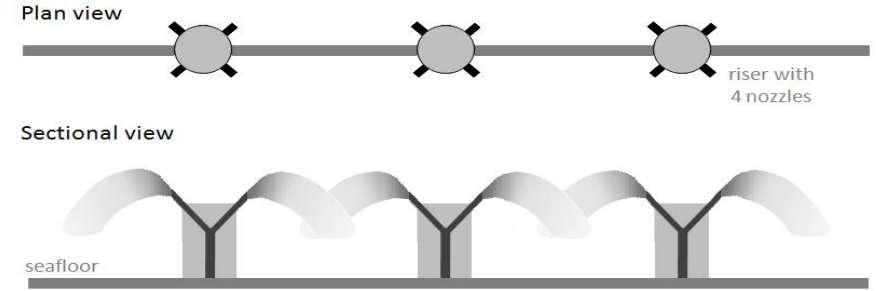


First Orientation

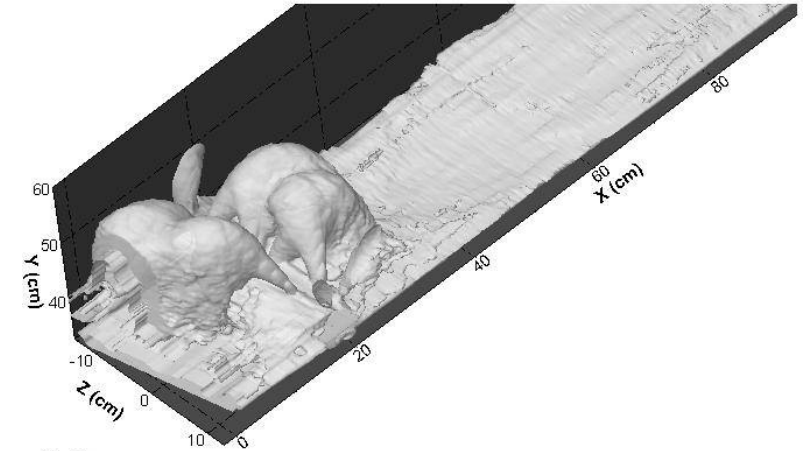


P. Roberts, O. Abessi, V. Gandhi
Georgia Institute of Technology

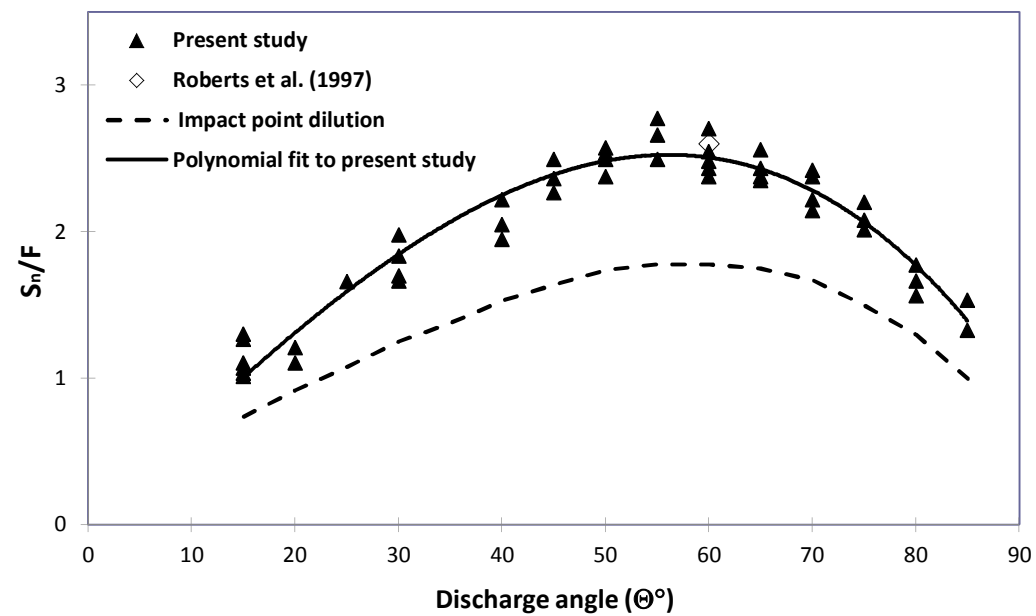
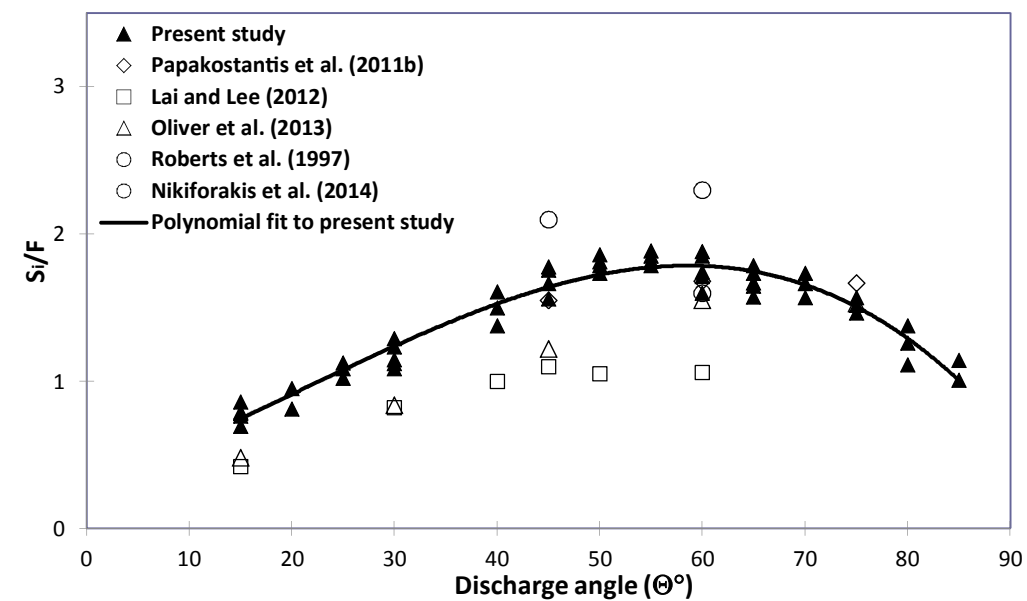
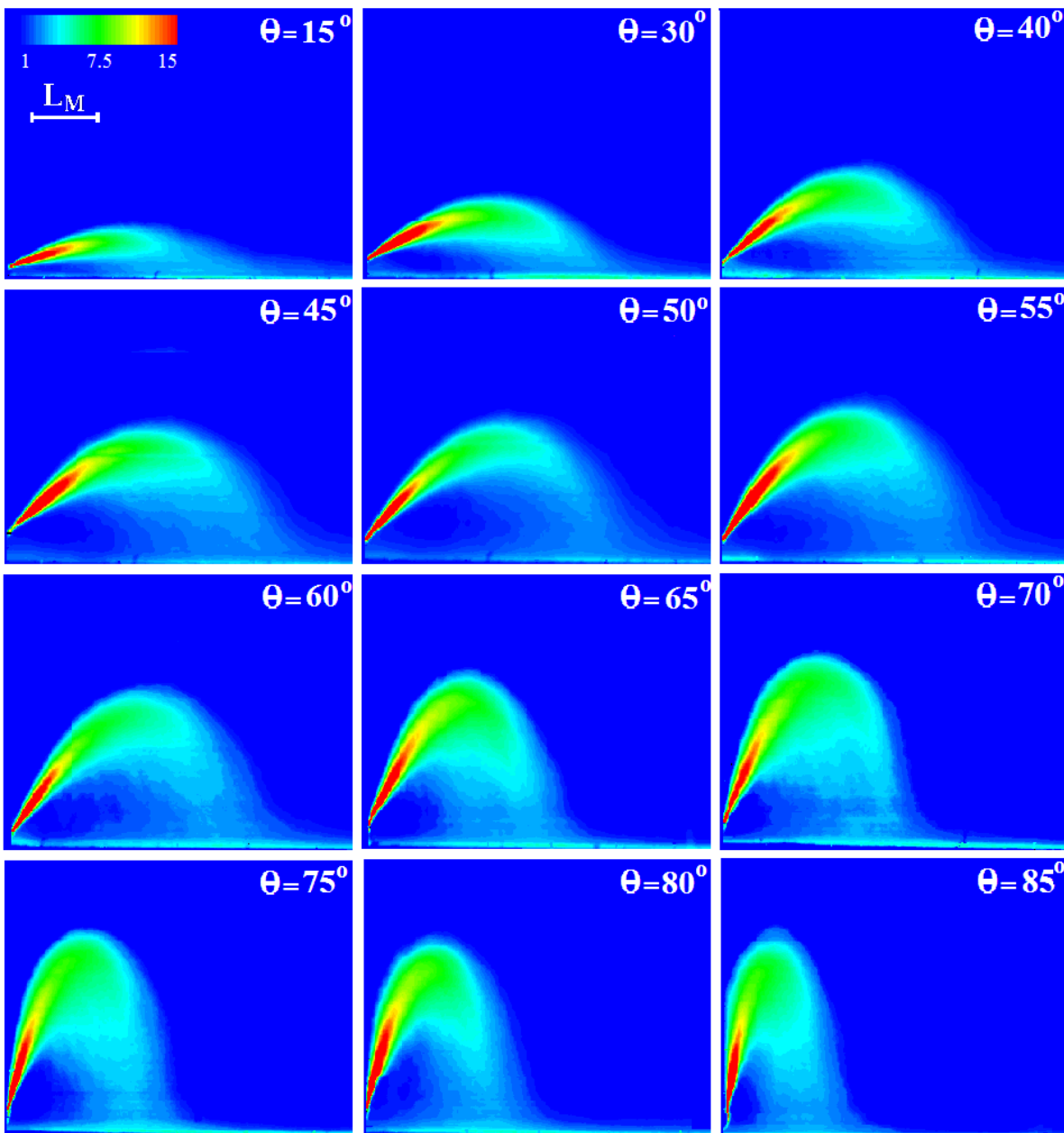
دانشکده مهندسی عمران، گروه محیط زیست

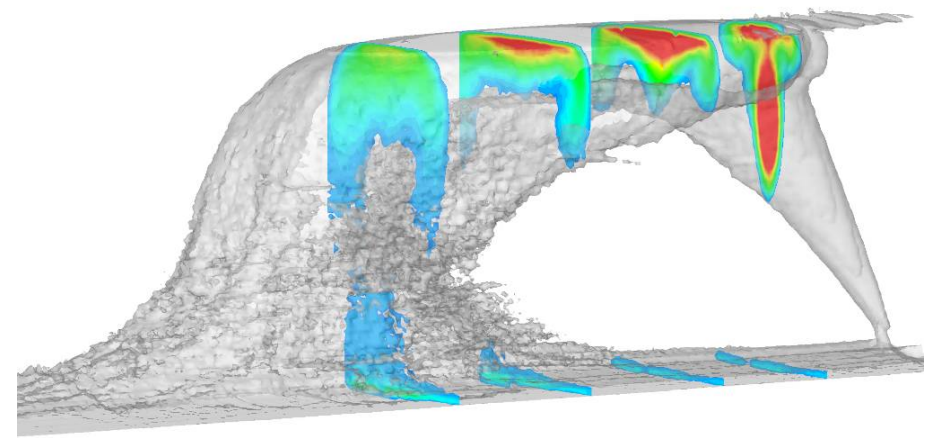
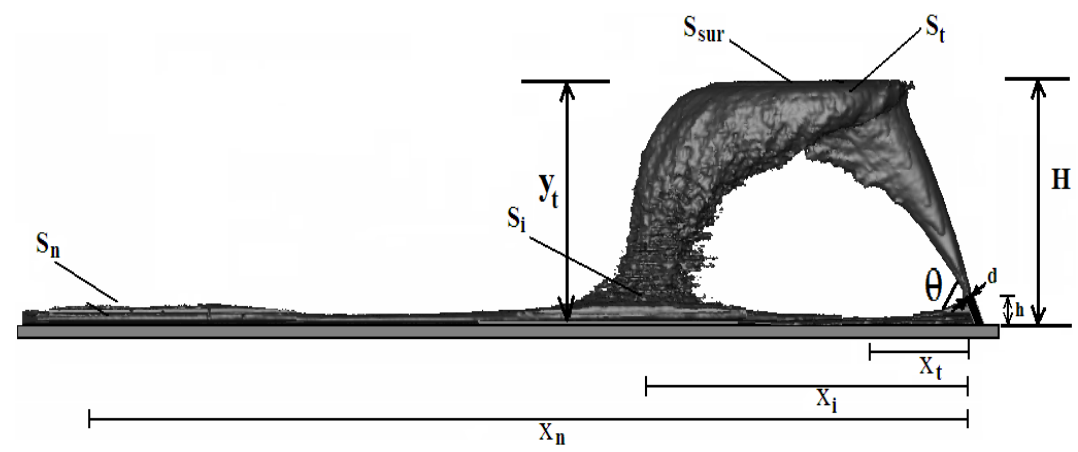
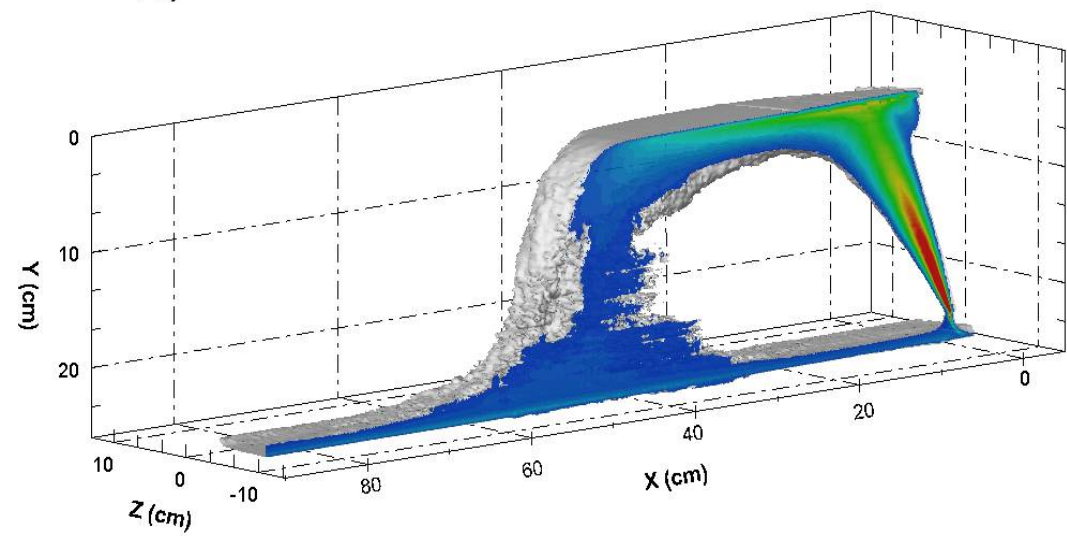
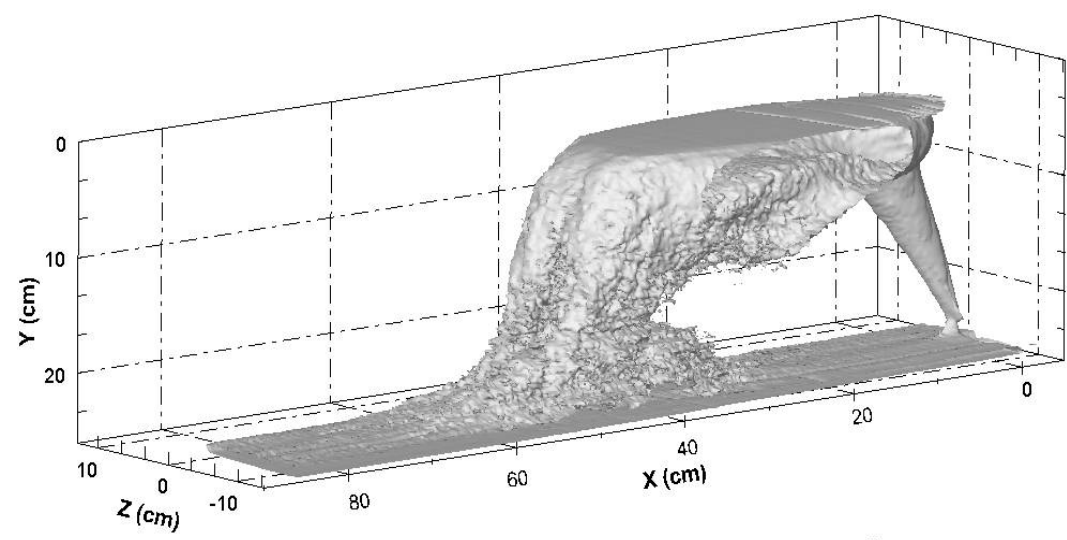


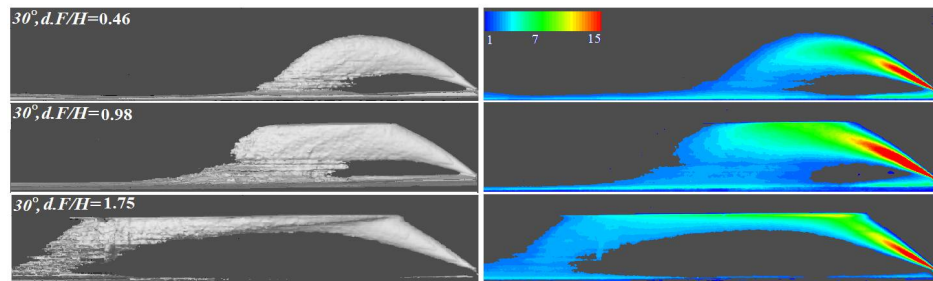
Second Orientation



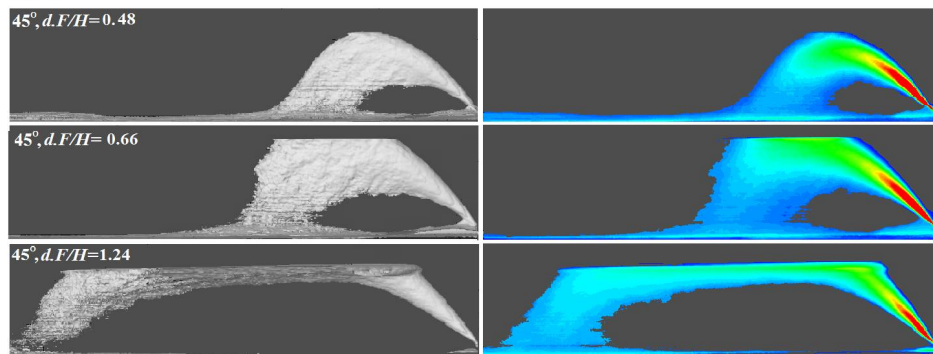
P. Roberts, O. Abessi, V. Gandhi
Georgia Institute of Technology



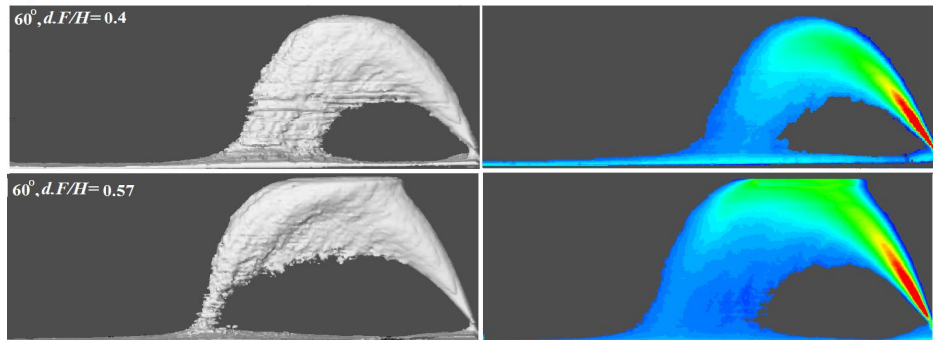




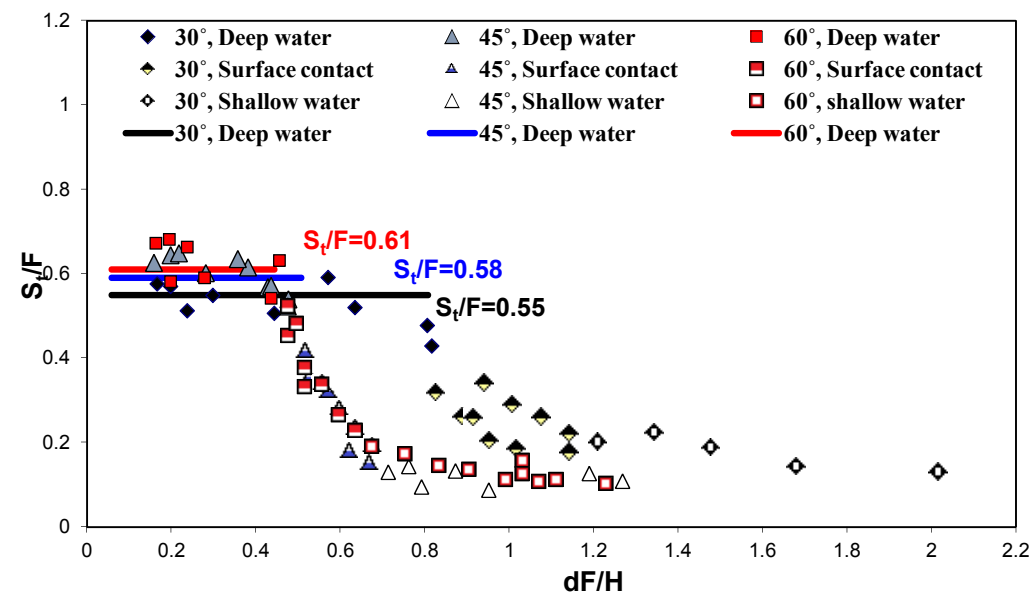
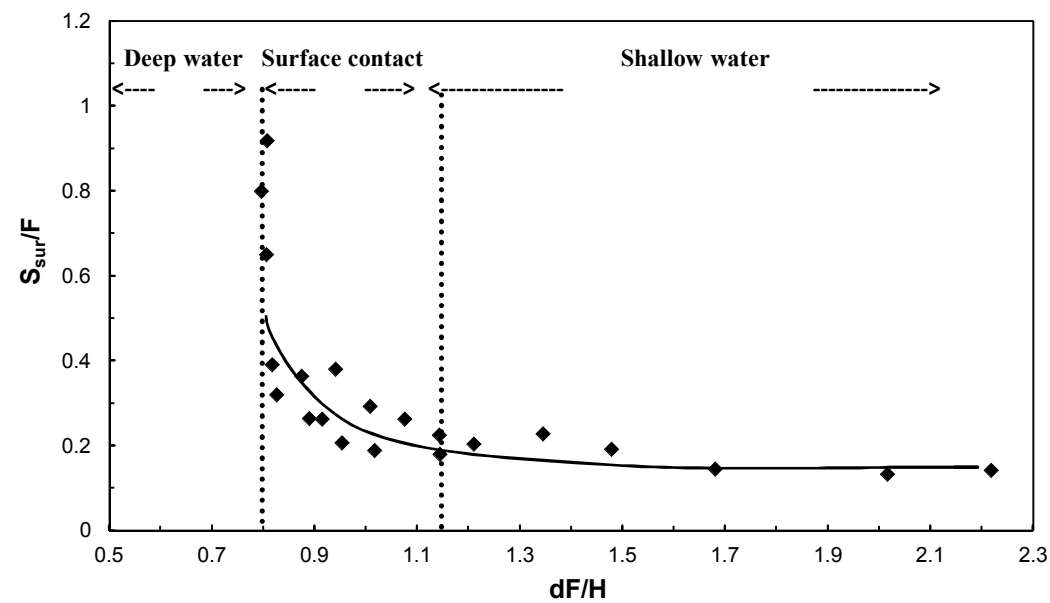
a) 30°

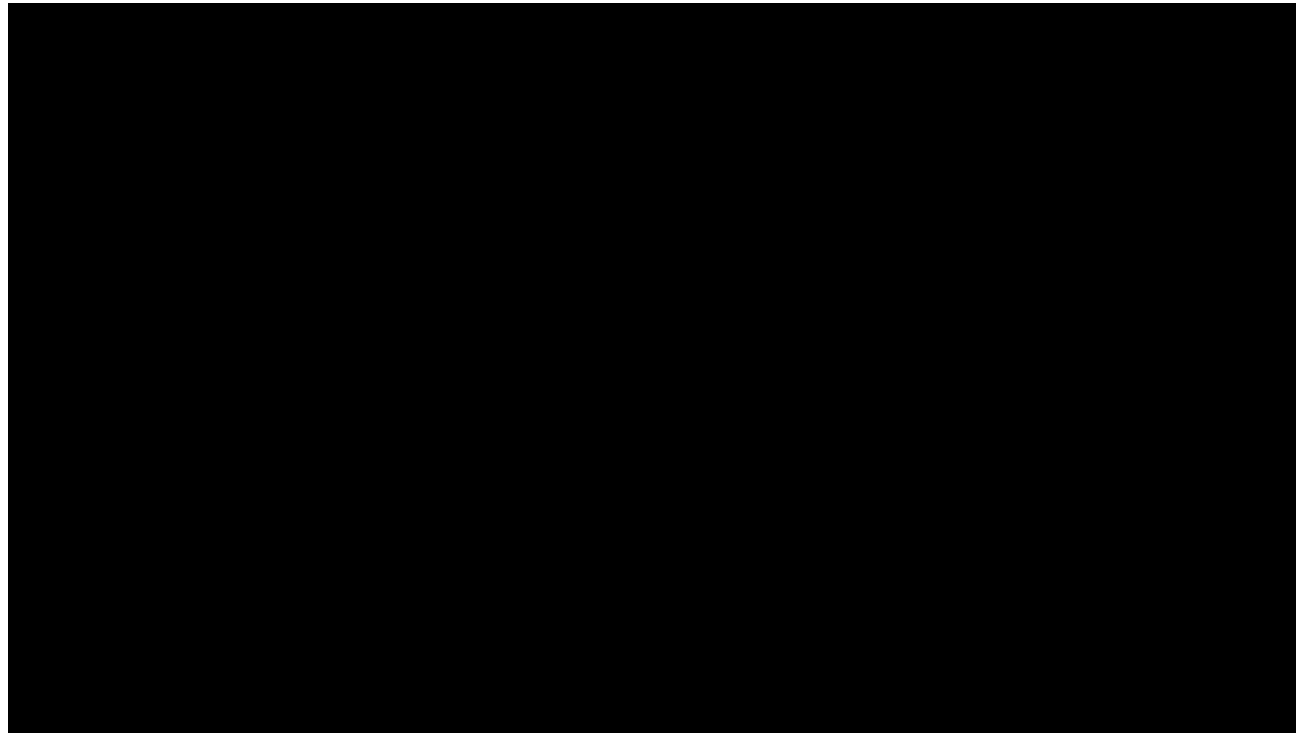


b) 45°



c) 60°



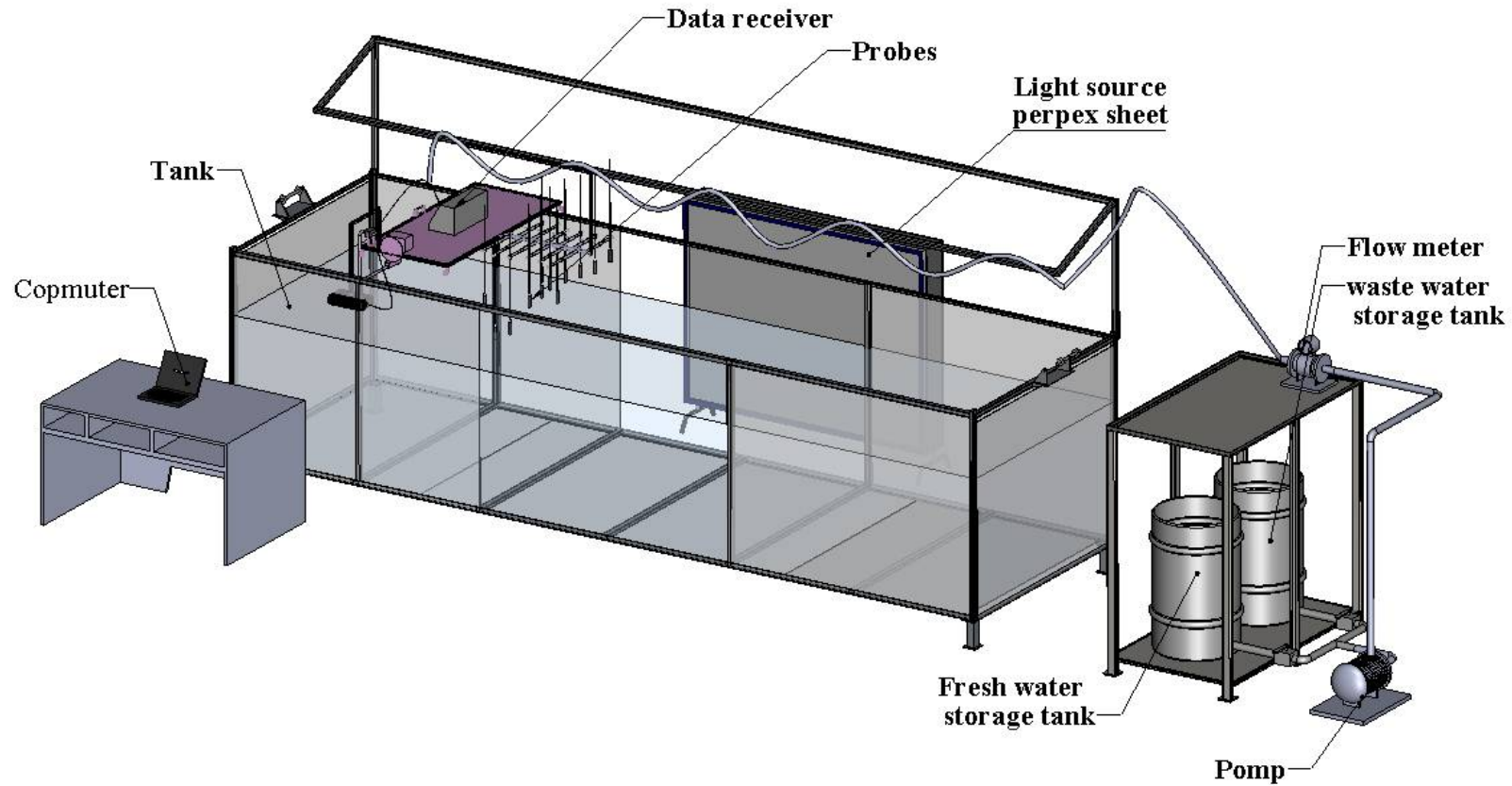


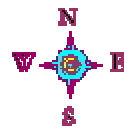
($\theta = 60^\circ$)

Perth Desalination Plant

طراحی و ساخت مدل آزمایشگاهی در دانشگاه علم و صنعت ایران

طرح سه بعدی مدل پیش از ساخت





مشخصات مدل

✓ ابعاد مدل: قاب فولادی تانک اصلی در ابعاد ۶ متر طول، ۸۰/۱ متر عرض و ۵/۱ متر عمق ساخته شده است. مدل دارای سه پنجره شیشه ای به طول ۲ متر و ضخامت ۲۰ mm می باشد.

✓ منبع تغذیه فاضلاب: منبع تغذیه فاضلاب متشکل از ۲ تانک ۲۲۰ لیتری یکی حاوی فاضلاب رنگی ساخته شده و دیگری حاوی آب شیرین

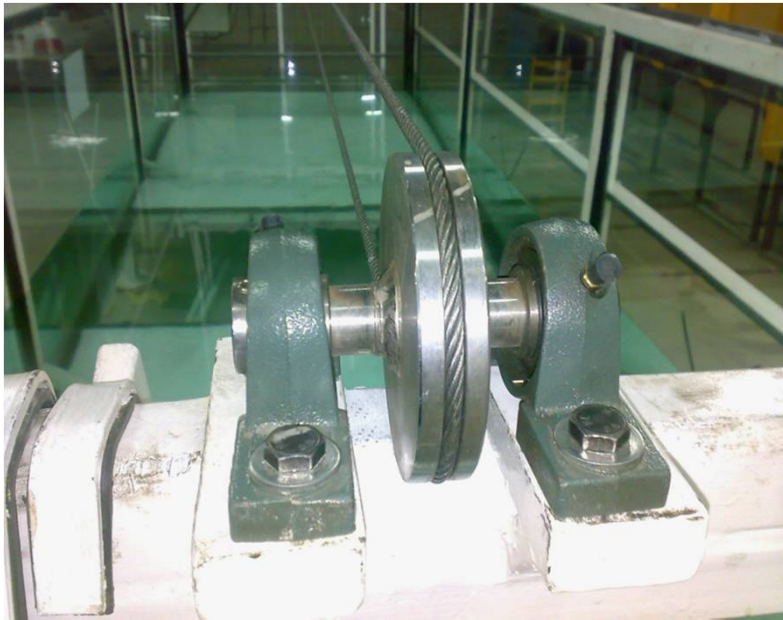


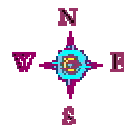
نمایی از مدل





- ✓ سیستم شبیه ساز جریان محیطی: این بخش از یک صفحه متحرک به ابعاد ۱۸۰ در ۸۰ سانتیمتر تشکیل شده که با کابل متصل به یک موتور الکتریکی به صورت پیوسته بر روی سیستم ریلی تعبیه شده در امتداد طولی کانال کشیده می شود.
- ✓ تخلیه کننده سطحی مورد استفاده: در این مدل از یک کانال مستطیلی به طول ۸۰ سانتیمتر به ابعاد ۴/۶ در ۴ سانتیمتر به عنوان تخلیه کننده سطحی فاضلاب سنگین تولیدی استفاده شده است.
- ✓ محاسبه ترقیق جریان: به منظور اندازه گیری میزان ترقیق جریان در طول مسیر از سنسورهای هدایت الکتریکی جانمایی شده در امتداد مسیر جهت اندازه گیریهای در زمان هدایت الکتریکی پلوم استفاده شده است (طراحی صفحه الکترونیکی و نرم افزار دریافت کننده داده ها).
- ✓ آشکار سازی و ثبت مسیر حرکت: به منظور آشکار سازی جریان از رنگ سیاه محلول در آب و یک صفحه نورانی سفید با شدت نور یکنواخت که در پشت پنجره میانی جانمایی شده است و نیز دوربین دیجیتال استفاده شده است.





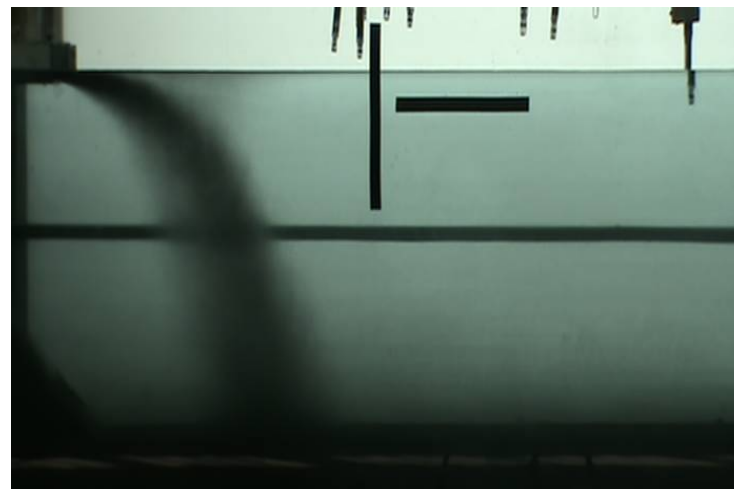
توسعه یک روش رقومی جهت تجزیه و تحلیل آزمایشات

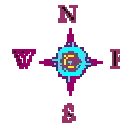
– مرحله اول: ثبت آزمایشات

از دوربین دیجیتال نوع **SONY DCR-SR47** استفاده شده است. آزمایشات در اتاق تاریک با یک منبع نور سفید و یکنواخت در پس زمینه محدوده مورد مطالعه انجام گرفته است.

– مرحله دوم: استخراج فریمهای آزمایش و میانگین گیری تصاویر

استخراج ۲۱ فریم در هر ثانیه از آزمایشات از طریق نرم افزار **Educe** و میانگین گیری فریمهای استخراج شده با استفاده از نرم افزار **Image stream**





مرحله سوم: تبدیل تصاویر و استخراج محدوده جریان

تبدیل تصاویر رنگی با قابلیت تفکیک $7/16$ میلیون رنگ به تصاویر مقیاس خاکستری (Grayscale) با توانایی آشکار سازی شدت رنگ سیاه در بازه $0-255$ با استفاده از نرم افزار **Irafanview**

انتخاب محل خروج جریان در مجاورت سطح به عنوان نقطه پایه (Base point) و برش و استخراج محدوده مورد بررسی جریان از تصویر مرجع با استفاده از نرم افزار **Irafanview**

مرحله چهارم: تفسیر رقومی تصاویر

تفسیر رقومی شدت نور هر پیکس به وسیله کدهای کامپیوتری توسعه داده شده توسط نرم افزار **MatLab** تعیین مشخصات رفتاری جریان در امتداد مسیر حرکت آن با توسعه **MatLab M-file** و شناسایی تصویری میانگین هر آزمایش در قالب یک ماتریس $m*n$

