دانشکده مهندسی

گروه مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

عنوان:

مطالعه عددی جریان با سطح آزاد عبوری از اطراف ستون های درون آب

استاد راهنما:

دکتر محسن گودرزی

پژوهشگر:

علی یالپانیان

تابستان ۱۳۸۹

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان نامه در مجلات، کنفرانس ها و یا سخنرانی ها، باید نام دانشگاه بوعلی (یا استاد یا اساتید راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

بسم الله الرحمن الرحيم

تشکر و قدردانی

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکراندرش مزید نعمت

با توجه به آنکه لازمه رسیدن به هر هدفی همکاری و بهره گرفتن از تجارب دیگران است من نیز این راه را با کمک، مساعدت و راهنمایی‌های استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محسن گودرزی که صمیمانه مرا یاری کردند و از هیچگونه همفکری دریغ نورزیدند، به پایان رساندم. ذکر نام ایشان در اینجا کوچکترین راه قدردانی از این استاد بزرگوار است.

در پایان لازم می‌دانم که از لطف و زحمات جناب آقایان دکتر محسن صادقی‌مهر، دکتر فضل ا... اسکندری و سایر اساتید گروه مهندسی مکانیک دانشگاه بوعلی‌سینا که از کمک و همراهی ایشان در این دوران بهره‌مند بودم، قدردانی کنم.

علی یالپانیان

تابستان ۱۳۸۹

تقدیم به حامیان همیشگی من

پدر و مادر عزیزم

و خواهر مهربانم

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

مطالعه عددی جریان با سطح آزاد عبوری از اطراف ستون های درون آب

نام نویسنده: علی یالپانیان

نام استاد/اساتید راهنما: دکتر محسن گودرزی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	**تعداد صفحات: ۱۰۰**

دانشکده : مهندسی	**گروه آموزشی: مهندسی مکانیک**	**گرایش تحصیلی: تبدیل انرژی**
رشته تحصیلی: مهندسی مکانیک	**تاریخ دفاع: ۸۹/۰۶/۳۰**	**تاریخ تصویب: ۸۷/۰۷/۲۹**

چکیده:

در این پایان نامه جریان با سطح آزاد حول یک پایه استوانه درون یک کانال به روش عددی بررسی شده است. برای شبیه‌سازی عددی میدان جریان از روش کسر حجمی مایع (VoF) در نرم‌افزار تجارتی FLUENT استفاده شده است. کارایی آن برای دو نمونه جریان با سطح آزاد ارزیابی شده است. مطالعات جریان با سطح آزاد حول پایه استوانه‌ای براساس تغییر کمیتهای هندسی جریان که عبارتند از عدد فرود، عمق جریان و پهنای کانال صورت گرفته است. نتایج حاصل با ترسیم توزیع ارتفاع سطح آزاد، ضریب فشار و زاویه موج تشکیل شده حول استوانه بررسی شده‌اند. نتایج نشان داد که ضریب فشار در جلو ستون مستقل است از عمق جریان، قطر ستون و عرض کانال و با افزایش عدد فرود افزایش پیدامی‌کند. با افزایش قطر ستون بازه تغییرات ضریب فشار حول ستون محدودتر می‌شود و ضریب فشار پشت ستون کاهش پیدا می‌کند.با افزایش عمق و عدد فرود جریان تاثیر تغییر پهنا بر ضریب فشار حول ستون کمتر می‌شود. با کاهش نسبت $\frac{D}{W}$ پروفیل سطح آزاد هموارتر می‌شود. با توجه به محدوده تغییرات هر پارامتر، زاویه امواج با عدد فرود جریان و عمق جریان رابطه عکس دارد. روند تغییرات زاویه امواج بر حسب تغییرات عرض کانال و قطر ستون به عدد فرود جریان وابسته است. در اعداد فرود کمتر از ۰/۵ زاویه امواج با کاهش عرض کانال افزایش پیدا می‌کند و در اعداد فرود بیش از ۰/۵ این رابطه معکوس می‌شود. در اعداد فرود کمتر از ۰/۵ زاویه کانال با افزایش قطر افزایش می‌یابد. در اعداد فرود بیش از ۰/۵ رابطه فوق معکوس شده و با افزایش قطر ستون زاویه امواج کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: سطح آزاد، حل عددی، VoF، جریان کم عمق، امواج سطحی، پایه استوانه‌ای

فهرست مطالب

	شماره صفحه
۱- مقدمه	۱
۱-۱- جریان‌های سطح آزاد	۱
۱-۲- پیشینه تحقیقات	۳
۱-۳- شبیه‌سازی سطح مشترک	۵
۱-۳-۱- روش‌های تعقیب سطح	۵
۱-۳-۲- روش‌های تعیین سطح	۵
۱-۴- مدل کردن کشش سطحی	۷
۲- معادلات حاکم و شرایط مرزی	۹
۲-۱- مقدمه	۹
۲-۲- روش حجم کنترل	۱۰
۲-۳- روش‌های عددی سطح آزاد	۱۲
۲-۳-۱- روش جابجایی پیوسته	۱۳
۲-۳-۲- روش تنظیم سطح	۱۳
۲-۳-۳- روش ردیابی حجم	۱۴
۲-۳-۴- روش PLIC	۱۷
۲-۴- مدل عددی اغتشاش	۲۱
۲-۵- شرایط مرزی	۲۲
۳- اعتبار سنجی روش عددی	۲۳
۳-۱- شبیه سازی دو بعدی جریان سطح آزاد بر روی یک نیم استوانه	۲۳

۳-۲- شبیه سازی سه بعدی جریان سطح آزاد در اطراف یک TLP با ابعاد واقعی ۲۵
۳-۲-۱- مدل و شبکه بندی ۲۵
۳-۲-۲- بحث و بررسی نتایج ۲۶
۳-۲-۳- نتیجه‌گیری ۳۲
۴- مطالعه جریان حول ستون در یک کانال با سطح آزاد ۳۴
۴-۱- مدل‌سازی و شبکه‌بندی ۳۴
۴-۲- مدل‌های مورد بررسی ۳۷
۴-۳- بحث و بررسی نتایج ۳۹
۴-۳-۱- مباحث مقدماتی ۳۹
۴-۳-۲- بررسی ضریب فشار ۴۶
۴-۳-۳- بررسی نمودارهای ارتفاع سطح آزاد ۵۱
۴-۳-۴- بررسی زاویه امواج ۶۲
نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۶۸
- نتیجه‌گیری ۶۸
- پیشنهادها ۶۹
ضمائم ۷۰
مراجع ۷۹

فهرست جداول

	شماره صفحه
۱- مقدمه	۱
۲- معادلات حاکم و شرایط مرزی	۹
۲-۱- مقادیر تجربی ثابت‌های بکار رفته در معادلات اغتشاش (RNG)	۲۲
۳- اعتبار سنجی روش عددی	۲۳
۳-۱- ابعاد مدل TLP	۲۶
۳-۲- فاصله بین بالاترین و پایین‌ترین نقاط امواج بر حسب متر	۲۷
۴- مطالعه جریان حول ستون در یک کانال با سطح آزاد	۳۴
۴-۱- لیست مدلهای ساخته شده در دسته قطر ثابت ستون	۳۸
۴-۲- لیست مدلهای ساخته شده در دسته عرض ثابت کانال	۳۸
۴-۳- پارامترهای مقایسه‌ای ضریب فشار	۴۸
نتیجه‌گیری و پیشنهادها	۶۸
ضمائم	۷۰
مراجع	۷۹

فهرست اشکال

	شماره صفحه
۱- مقدمه	۱
۲- معادلات حاکم و شرایط مرزی	۹
۲-۱- نمونه‌ای از توزیع تابع F در حوالی سطح مشترک	۱۵
۲-۲- سطحمشترک الف- شکل دقیق، ب و ج- روش SLIC	۱۶
۲-۳- سطحمشترک یک قوس دایره‌ای با استفاده از روش SOLA	۱۶
۲-۴- تولید سطح مشترک یک قوس دایره ای توسطروش PLIC	۱۷
۲-۵- بازسازی سطح با به‌کارگیری یک استنسیل ۹ سلولی	۱۸
۲-۶- حالات مختلف قرارگرفتن سطح درسلولهای سطحی	۱۹
۲-۷- سه حالت قرارگفتن سطح برای یک n مشخص	۲۰
۳- اعتبار سنجی روش عددی	۲۳
۳-۱- شبکه‌بندی مدل دو بعدی با مانع نیم‌دایره	۲۳
۳-۲- خطوط جریان سطح آزاد دوبعدی با مانع نیم‌دایره در کف کانال	۲۴
۳-۳- مقایسه نتایج بدست آمده از روش VOF و داده‌های آزمایشگاهی فربس Fr=۰/۳۳۶ و R/H=۰/۴۳۵	۲۵
۳-۴- شبکه‌بندی مدل TLP	۲۵
۳-۵- رویه سطح آزاد در برخورد با TLP برای جریان‌های آرام و مغشوش	۲۸
۳-۶- تغییرات بیشینه دامنه امواج بر حسب عدد فرود	۲۸
۳-۷- توزیع ارتفاع سطح آزاد در صفحه تقارن سکوی شناور	۲۹

۳-۸- توزیع ارتفاع سطح آزاد در امتداد مسیر AB ۲۹

۳-۹- بردارهای سرعت در صفحه نزدیک به سطح آزاد برایجریان‌هایآرامومغشوش ۳۰

۳-۱۰- خطوط جریان در صفحه تقارن برای Fr=۰/۱۸ ۳۱

۳-۱۱- یک نمونه از خطوط در جریان در صفحاتی با فاصله ۱۰ متر از یکدیگر در یک نمای سه بعدی ۳۲

۴- مطالعه جریان حول ستون در یک کانال با سطح آزاد ۳۴

۴-۱- نمای کلی یک نمونه از مدلهای ساخته شده به همراه شرایط مرزی ۳۵

۴-۲- شبکه بندی انجام شده برای کانال با عرض ۰/۶ متر، قطر ستون ۰/۱ متر و عمق جریان ۰/۱۵ متر ۳۶

۴-۳- ضریب فشار در عمق میانی جریان روی استوانه به ازای شبکه‌بندی‌های مختلف ۳۷

۴-۴- تصویر پروفیل سطح آزاد در یک مدل نمونه به همراه نمودار های ضریب فشار برای دو الگوی جریان آرام و مغشوش ۳۹

۴-۵- ضریب فشار روی سطح استوانه در عمق میانی برای قطر ۰/۱ متر ۴۰

۴-۶- نمودار های توزیع ضریب فشار و ارتفاع سطح آزاد حول ستون برای عدد فرود ۰/۶ متر و عمق ۰/۱ متر ۴۱

۴-۷- کانتورهای ورتیسته در صفحات پایین دستیبرای عدد فرود ۰/۶ متر و قطر ستون ۰/۱ متر ۴۲

۴-۸- کانتورهای ورتیسته Z، Y و X در سطح آزاد برای عدد فرود ۰/۶ متر و قطر ستون ۰/۱ متر ۴۳

۴-۹- نمودارهای ارتفاع سطح آزاد برای قطر ستون ۸ سانتی‌متر و عمق ۲۵ سانتی‌متر ۴۴

۴-۱۰- نمودارها وکانتورهای ارتفاع سطح آزاد و در دیواره کانال در دو فرود متفاوت برای قطر ستون ۸ سانتی‌متر ۴۵

۴-۱۱- توزیع ضریب فشار برای عرض‌های مختلف کانال در اعداد فرود و عمق‌های متفاوت ۴۷

۴-۱۲- توزیع ضریب فشار برای قطرهای مختلف ستون در اعداد فرود و عمق‌های متفاوت ۵۰

۴-۱۳- نمودارهای ارتفاع سطح آزاد در صفحه تقارن برای عدد فرود و قطر ستون مشخص ۵۳

۴-۱۴- نمودارهای ارتفاع سطح آزاد در صفحه تقارن برای قطرهای مختلف در عمق و فرود مشخص ۵۴

۴-۱۵- نمودارهای ارتفاع سطح آزاد در صفحه تقارن برای پهناهای مختلف کانال در عمق و فرود مشخص ۵۶

۴-۱۶- نمودارهای ارتفاع سطح آزاد در صفحه تقارن برای عمق‌های مختلف جریان در پهنا و عدد فرود مشخص ۵۷

۴-۱۷- نمودارهای ارتفاع سطح آزاد بر دیواره کانال برای عمق‌های متفاوت در قطر و فرود مشخص ۵۸

۴-۱۸- نمودارهای ارتفاع سطح آزاد بر دیواره کانال برای قطرهای مختلف در عمق و فرود مشخص ۵۹
۴-۱۹- نمودارهای ارتفاع سطح آزاد بر دیواره کانال برای پهناهای مختلف در عمق و فرود مشخص ۶۰
۴-۲۰- نمودارهای ارتفاع سطح آزاد بر دیواره کانال برای عمق‌های مختلف جریان در پهنا و عدد فرود مشخص ۶۱
۴-۲۱- نمودارهای تغییر زاویه امواج بر حسب تغییر پهنای کانال برای اعداد فرود متفاوت ۶۳
۴-۲۲- نمودارهای تغییر زاویه امواج بر حسب تغییر عمق جریان برای اعداد فرود متفاوت ۶۴
۴-۲۳- نمودارهای تغییر زاویه امواج بر حسب عددفرود جریان برای عمقهای متفاوت جریان ۶۶
۴-۲۴- نمودارهای تغییر زاویه اواج بر حسب تغییر قطر ستون برای اعداد فرود متفاوت ۶۷
نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۶۸
ضمائم ۷۰
ض-۱- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون جلو در ارتفاع ۵۵ متری معادل ۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان آرام ۷۱
ض-۲- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون جلو در ارتفاع ۵۵ متری معادل ۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان مغشوش ۷۱
ض-۳- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون عقب در ارتفاع ۵۵ متری معادل ۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان آرام ۷۲
ض-۴- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون عقب در ارتفاع ۵۵ متری معادل ۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان مغشوش ۷۲
ض-۵- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون جلو در ارتفاع ۴۵ متری معادل ۱۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان آرام ۷۳
ض-۶- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون جلو در ارتفاع ۴۵ متری معادل ۱۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان مغشوش ۷۳
ض-۷- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون عقب در ارتفاع ۴۵ متری معادل ۱۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان آرام ۷۴

ض-۸- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون عقب در ارتفاع ۴۵ متری معادل ۱۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان مغشوش ۷۴

ض-۹- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون جلو در ارتفاع ۳۵ متری معادل ۲۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان آرام ۷۵

ض-۱۰- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون جلو در ارتفاع ۳۵ متری معادل ۲۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان مغشوش ۷۵

ض-۱۱- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون عقب در ارتفاع ۳۵ متری معادل ۲۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان آرام ۷۶

ض-۱۲- نمودار ضریب فشار (Cp) در اطراف سطون عقب در ارتفاع ۳۵ متری معادل ۲۲/۲۵ متر از سطح آرام اولیه برای جریان مغشوش ۷۶

ض-۱۳- نمودار پروفیل سطح آزاد در اطراف ستون جلو برای جریان آرام بر مبنای طول نقاط بر روی ستون ۷۷

ض-۱۴- نمودار پروفیل سطح آزاد در اطراف ستون جلو برای جریان مغشوش بر مبنای طول نقاط بر روی ستون ۷۷

ض-۱۵- نمودار پروفیل سطح آزاد در اطراف ستون عقب برای جریان آرام بر مبنای طول نقاط بر روی ستون ۷۸

ض-۱۶- نمودار پروفیل سطح آزاد در اطراف ستون عقب برای جریان مغشوش بر مبنای طول نقاط بر روی ستون ۷۸

مراجع ۷۹

ρ	دانسیته
ε	اغتشاش
μ_{eff}	ویسکوزیته موثر
α_k	ثابت انتقال حرارت
μ	ویسکوزیته سینماتیکی
$\%\Delta C_p$	درصد اختلاف ضریب فشار
A	سطح مقطع جریان
B	ارتفاع پانتون
C_p	ضریبفشار
D	قطر ستون
D_h	قطر هیدرولیک
F	نسبت حجمی فاز
Fr	عدد فرود
g	شتاب ثقل
G_b	انرژی جنبشی اغتشاش ناشی از گرادیان سرعت
G_k	تولید انرژی جنبشی اغتشاش ناشی از شناوری
H	عمق بالادست (مدل برآمدگی)
H	ارتفاع بی‌بعد سطح آزاد (مدل پایه در کانال روباز)
h	ارتفاع سطح آزاد
H_0	ارتفاع سطح آزاد در بالادست
I	شدت اغتشاش
k	اغتشاش
l	مقیاس طول اغتشاش
n	شیب سطح آزاد
P	محیط تر
R	شعاع برآمدگی
Re	عدد رینولدز
S	چشمه
t	زمان
T	دما
U	سرعت جریان اطراف سکو
V	حجم
v	سرعت جریان در کانال
VC_p	نسبت اختلاف بیشینه ضریب فشار
W	پهنای کانال
X	طول بی‌بعد
x	طول

پایین نویس ها

Lim	محدود
ave	میانگین
h	هیدرولیک
atm	اتمسفر
P	فشار
eff	موثر

فصل اول

مقدمه

۱-۱- جریان‌های سطح آزاد

جریانهای با سطح مشترک[1] و جریانهای آزاد[2] بخش بزرگی از مسایل سیالاتی را به خود اختصاص می‌دهند و کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف زیست محیطی، ژئوفیزیک، مهندسی دریا و عمران و مبانی فیزیک دارند. جریانهای با سطح مشترک به آن دسته از جریانها گفته می‌شود که دو سیال در یک سطح مشترک با یکدیگر در تماس هستند، نظیر تماس آب و روغن، یا هوا و سوخت مایع در فرایندهای احتراقی. یکی از مباحث عمده در زمینه تماس آب و هوا جریانهای با سطح آزاد مانند جریان‌های عمق کم و جریان‌های مختلف دریایی هستند. سطح مشترک دو سیال به علت وجود نیروی کشش سطحی و ایجاد پدیده‌هایی نظیر ناپایداری کلوین-هلم‌هلتز و ناپایداری ریلی-تیلور از پیچیدگی زیادی برخوردار است. همچنین به دلیل متحرک بودن سطح مشترک و پیچیدگی شکل سطح که می‌تواند به با زمان تغییر کند، این مسئله از لحاظ عددی نیز از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار است.

در این‌جا درخصوص مسایلی بحث می‌شود که دو سیال در یکدیگر حل نشده و یا انتقال جرم بین دو سیال نقش مهمی در مسئله ایفا ننمایند. در چنین جریانهایی سطح مشترک را می‌توان یک رویه در نظر گرفت که خواص سیال نظیر فشار و چگالی در دو طرف آن متفاوت بوده و به صورت توابعی ناپیوسته می‌باشند. در حالت حدی، جریان با مرز مشترک به جریان با سطح آزاد تبدیل می‌شود. در این حالت یکی از فازها با فرضیات ساده کننده‌ای مدل می‌شود. به طور مثال برای مورد آب و هوا، در صورتی که

[1] Interfacial flow
[2] Free shear flow

فرض کنیم فشار در سمت هوا فقط تابعی از زمان باشد (نه تابعی از مکان) و نیز تنش برشی در بخش هوا برروی مرز مشترک ناچیز باشد، جریان با سطح آزاد وجود خواهد داشت.

جریان‌های موجود در دریاها، اقیانوسها و رودخانه‌ها که جزء جریان‌های با مرز مشترک به شمار می‌روند بخش زیادی از سطح زمین را اشغال می‌کنند. منابع موجود در آنها و فرصتهای اقتصادی فراوانی که از این مناطق حاصل می‌شود باعث شده که جهت بهره‌برداری بهتر از امکانات آن صنایع وابسته‌ای بوجود آیند. این صنایع از نظر مهندسی به شاخه‌های مختلفی تقسیم شده‌اند که از مهمترین آنها صنایع مرتبط با سازه‌های ساخته بشر در این آبها و همچنین رودخانه‌ها و آبراه‌های کوچک و بزرگ ساخته شده بدست بشر هستند. سکوها و شناورهای دریایی در ابعاد بزرگ و پلها و سکوها در ابعاد کوچکتر از اصلی‌ترین سازه‌های ساخته دست بشر در این زمینه محسوب می‌شوند.

جریان‌های سطح آزاد را بر اساس عدد فرود جریان به سه دسته جریانهای زیربحرانی، بحرانی و فوق بحرانی تقسیم می‌کنند. بیشتر جریان‌های طبیعی عدد فرود کمتر از یک دارند و جزء جریان‌های زیر بحرانی محسوب می‌شوند. جریان‌هایی که عدد فرود آنها برابر یک است جزء دسته جریان‌های بحرانی و جریان‌های دارای عدد فرود بیش از یک جزء دسته جریان‌های فوق بحرانی بشمار می‌روند. در جریانهای زیر بحرانی بر خلاف جریان‌های فوق بحرانی اطلاعات جریان به بالادست انتقال می‌یابد، به همین دلیل بالادست جریان از جریان پایین دست تاثیر می‌گیرد. روشهای عددی مورد استفاده در جریان‌های سطح آزاد نیز بسته به زیر بحرانی بودن و یا فوق بحرانی بودن جریان با هم تفاوت دارند. جریان در تمامی مدل‌های بکار گرفته شده در این تحقیق دارای شرایط زیر بحرانی است.

جریان سطح آزاد در اطراف یک سکوی دریایی یکی از مواردی است که در این پایان نامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. این سازه‌ها که در بسیاری از موارد به صورت شناور هستند، به مانند هر سازه دیگری تحت بارگذاری قرار می‌گیرند. بخشی از این بارها نیروهای ناشی از وزن سازه هستند که از دیدگاه استاتیکی دارای اهمیت هستند. اما بخش دیگر نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از جریان آب و امواجی است که در سطح آن تشکیل می‌شوند. این دسته از نیروها ماهیت دینامیکی داشته و در طول عمر سازه نقش به سزایی دارند، به گونه‌ای که در اغلب موارد این نیروهای دینامیکی بوده‌اند که موجب تخریب یک سازه دریایی شده‌اند.

برای طراحی دقیقتر این سازه‌ها از نظر بارهای دینامیکی باید شناخت درستی از این نیروها داشت. هرچه قدر اطلاعات موجود در رابطه با الگوی میدان جریان حول این سازه‌ها دقیقتر باشد شناخت نیروهای وارد بر سازه نیز کاملتر خواهد بود. روشهای تقریبی زیادی برای تخمین بارگذاری دینامیکی این سازه‌ها در شرایط محیطی آبها پیشنهاد شده است، اما هیچ یک از آنها به صورت کامل و دقیق نیروها را تعیین نکرده‌اند.

۱-۲- پیشینه تحقیقات

محققان تحقیقات زیادی را بر روی رفتار دینامیکی سکوهای شناور از جمله سکو با پایه‌های کششی (TLP[1]) انجام داده‌اند [۶-۱].این محققان با مدلهای ارتعاشی ساده‌ای شروع کرده و با گذشت زمان از طریق مدل کردن تأثیرات هیدرودینامیکی که وابسته به الگوی جریان حول سکو هستند مدلهای دقیقتری را ارائه داده و یا مورد استفاده قرار داده‌اند. این سؤال در ذهن باقی می‌ماند که در ابعاد بزرگ تأثیر رژیم جریان بر تخمین نیروهای هیدرودینامیکی چه سهمی از کل آن را در بر خواهد داشت.

با پیشرفت ابزارهای محاسباتی برخی از محققین برآن شدند تا نیروهای هیدرودینامیکی را با دقت بیشتر و از طریق مدلسازی با ابعاد واقعی محاسبه کنند. یونیس و همکارانش [۷] در سال ۲۰۰۱ برای پیش بینی نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر یک سکوی شناور از دو روش CFD و محاسبات مهندسی بر اساس ثابت های متداول در صنعت فراساحل استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که، به جز نیروهای وارد بر سمت جلوی سکو، تفاوت زیادی بین نیروهای بدست آمده در این دو روش وجود دارد و بیشترین ضریب درگ از روش محاسبات مهندسی بدست می‌آید. در سال ۲۰۰۶ یونیس و پریزولی [۸] از یک روش دینامیک سیالات محاسباتی برای بررسی جریان با درنظر گرفتن سطح آزاد استفاده کردند. روش استفاده شده در مقاله یونس یکی از روشهای تعقیب سطح بود. در مدل سازی انجام شده توسط ایشان رژیم جریان مغشوش در نظر گرفته شده است.در تحقیق حاضر جریانباسطحآزادحولپایه

[1]Tension Leg Platform

هاییکسکویشناوربا‌پایه‌هایکششی (TLP) بادورژیمجریانآرامومغشوشدراعدادفرودمختلف و در ابعاد واقعیبهکمکالگوریتم عددیکسرحجمیسیال (VOF[1]) [۹] شبیهسازیشدهاست.

مدل اصلی مورد بررسی در این پایان نامه جریان اطراف یک ستون در کانال رو باز است. جریان‌های عمق کم[2] مانند جریانهای رودخانه‌ای و جریان‌های نزدیک ساحل جزو مهمترین مسائل موجود در زمینه سطح آزاد هستند. با توجه به اهمیت نیروهای وارد بر ستون‌های درون آبهای کم عمق و اثرات این ستون-ها و بستر آنها بر جریان موجود اخیرا تحقیقات مختلفی نیز در این زمینه انجام شده‌اند[۱۰-۱۸]. بخش عمده این تحقیقات در زمینه عبور جریان سطح آزاد آرام یا مواج در اطراف موانعی مانند استوانه هستند و بخشی از آنها نیز تغییرات بستر کانال را در شرایط مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند. همچنین کارهای زیادی در زمینه جریان حول استوانه به صورت دو بعدی و سه‌بعدی انجام شده است که در بیشتر این تحقیقات سطح آزاد مد نظر قرار نگرفته است و یا استوانه به صورت افقی قرار داده شده است [۱۹-۲۶]. پدیده‌هایی چون تغییر رژیم جریان و ایجاد پدیده ریزش گردابه‌ها جزو مشخصه‌های جریان حول استوانه هستند. در جریان لزج حول استوانه پدیده ریزش گردابه از اعداد رینولدز پایین شروع شده و با افزایش عدد رینولدز شکل آن تغییر می‌کند و پس از خفیف شدن این پدیده در رینولدز بالا دوباره شدت می-گیرد. در جریان سطح آزاد اطراف استوانه به دلیل تغییر توزیع فشار، تغییر ارتفاع سطح آزاد و مستهلک شدن جریانات در نزدیکی سطح آزاد این پدیده چندان قابل مشاهده نیست. به همین علت توزیع فشار و نیروهای وارد بر استوانه در جریان داخل کانال بسته با شرایط جریان در کانال باز مطابقت نمی‌کند و لذا نیاز برای بررسی‌های جداگانه بر روی جریان حول استوانه در کانال باز احساس می‌شود. اغلب تحقیقاتی که پیرامون جریان سطح آزاد حول استوانه عمودی هستند بیشتر پدیده خوردگی در قسمت پایین ستون و حفره محل قرارگیری ستون در بستر و اثرات جریان بر این پدیده را بررسی کرده‌اند و کمتر عوامل دیگر موثر بر جریان را مورد توجه قرار داده‌اند [۲۷-۳۶].

در این تحقیق سعی بر این بوده است که برخی پارامترهای جریان سطح آزاد مانند پروفیل سطح و امواج تولید شده در سطح تحت شرایط متفاوت مورد بررسی قرار گیرند. شرایط مورد بحث در این تحقیق فرود جریان، عمق جریان، مانع (قطر ستون) و عرض کانال هستند.

[1] Volume of Fluid
[2] Shallow Water

۱-۳- شبیه‌سازی سطح مشترک

مسأله جریان با مرز مشترک یکی از مسائل مورد بحث درشبیه‌سازی عددی می‌باشد که تحقیقات بسیاری را به خود معطوف ساخته و منجر به راه حلهای متفاوتی شده است. چندین کتاب (به عنوان نمونه اوران و بوریس [۳۷] در سال۱۹۸۷و شی و همکارانش [۳۸] در سال ۱۹۹۶) و مطالعات متفاوتی (به عنوان نمونه کوته و همکارانش [۳۹] در سال ۱۹۹۶ و فلوریان و راس‌موسن [۴۰] در سال ۱۹۸۹ و هیمان [۴۱] در سال(۱۹۸۴))وجود دارد که روشهای مختلف جریان با مرز مشترک را بررسی می‌کنند.

به طور کلی روش‌های شبیه‌سازی جریان با مرز مشترک، به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- روش‌های تعقیب سطح
- روش‌های تعیین سطح

۱-۳-۱- روش‌های تعقیب سطح[1]

این روشها ماهیت لاگرانژی دارند یعنی سطح توسط نقاطی مشخص می‌گردد و با ردیابی این نقاط سطح ردیابی می‌شود. در این روشها در هر مرحله چهارچوب مرجع بایستی دوباره بررسی و شناخته شود و شبکه بندی مجدد، مقدار دهی دوباره نقاط را به همراه دارد، که می تواند بسیار پیچیده باشد به عبارت دیگر در روشهای لاگرانژی دقت کاهش می‌یابد. در جریانهای با مرز مشترک، اگر یک جریان برگشتی وجود داشته باشدو یا اگر جابجایی سیال شدید باشد، به طور مثال مرز مشترک گسسته یا شکسته شود، این روشها مفید نخواهند بود.

۱-۳-۲- روشهای تعیین سطح[2]

این دسته روشها، به روشهای اویلری نیز معروف می‌باشند، به این معنی که شبکه محاسباتی در تمام مدت حل ثابت و بدون تغییر باقی می‌ماند و سیال در درون این شبکه حرکت می‌کند. دامنه کاربرد

[1] Surface Tracking
[2] Surface Capturing

روشهای اویلری نسبت به روش لاگرانژی گسترده‌تر می‌باشد و می‌توان پدیده‌هایی نظیر شکست سطح و یا به هم پیوستن سطح را شبیه سازی کرد. در روشهای لاگرانژی برای هر سیال، معادلات حاکم بر آن به صورتجداگانه اعمال می‌شوند حال آن که در روشهای اویلری معادلات به گونه‌ای هوشمند می‌شوند که در هر سیال به صورت خودکار به معادلات حاکم بر آن سیال تبدیل می‌شوند.

یکی از روشهایاولیه برای مدل کردن جریان مایع-گاز روش مارکر و سل (MAC)[1] از هارلو و ولچ [۴۲] می‌باشد. در واقع این روش مجموعه‌ای از حل اویلری برای میدان جریان اصلی و حللاگرانژی برای نشانه‌گذاری ذرات (برای تمایز مایع از گاز) است. زمانی که از یک شبکه جابجا شده و مشخصات MAC برای مدل کردن یک کد اویلری استفاده شود، روش MAC پرهزینه است و به ندرت استفاده می‌شود، هر چند بعضی از اینگونه کدها ارایه شده‌اند (برای مثال چن و همکاران [۴۳]).

بر خلاف روشMAC، روش حجم سیال(VOF)[2] عمومی و فراگیر می‌باشد. در این روش به جای نشانه‌گذاری ذرات، از یک میدان جزء حجمی سیال که معمولاً با تابع Fنشان داده می‌شود استفاده می‌گردد. این تابع برای هر سلول محاسباتی، میزان جزء مایع آنرا نشان می دهد (اگر $F=1$باشد سیال مایع، اگر $F=0$ باشد سیال گاز واگر $0<F<1$باشد، سلول مرزی بوده و هر دو سیال در سلول وجود دارند).

تابع Fیک خاصیت سیال می‌باشد که با آن حرکت می‌کند. بنابراین معادله ساده جابجایی $\frac{dF}{dt}=0$ برقرارمی‌باشد. روش‌های مختلفی برای تعیین محل سطح مشترک در هر زمان براساس مقادیر F وجود دارد که از آن جمله روشSLIC[3] معرفی شده توسط نوح و وودوارد [۴۴] و روش SOLA توسط هرت و نیکلوز [۴۵] می‌باشند که هر دو از دقت مرتبه یک برخوردارند و روش PLIC[4] معرفی شده توسط پارکر و یانگ [۴۶] که مرتبه دو است. روشهای مرتبه دو دیگری نیز برای تعیین محل سطح مشترک در هر زمان وجود دارد که می‌توان به کارهای اشکریز و پو [۴۷]. رایدر و کوته [۴۸]، پیلیود و پاکت [۴۹]، رادمن [۵۰] و گویفیر [۵۱] اشاره کرد. در روش SLIC، با توجه به مقادیر F سطح مشترک به صورت سطوح افقی یا قائم تعیین می‌شوند.

[1] Marker and Cell
[2] Volume of Fluid
[3] Simple Line Interface Calculating
[4] Piecewise Linear Interface Construction