

عنوان پروژه: مدل‌سازی حرکت شناور به روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)

چکیده: حرکات شناورها به عنوان یکی از پیچیده ترین مباحث هیدرودینامیکی مطرح می باشد. این حرکات توام با پدیده های غیر خطی بوده و از این رو مدل‌سازی آنها با پیچیدگی های فراوانی همراه است. حل تحلیلی معادلات حاکم بر چنین جریانی امکان پذیر نبوده و از طرفی اندازه گیری های آزمایشگاهی نیز با هزینه های بالایی روبرو هستند. همچنین، در این حالت زمان قابل توجهی نیز برای بررسی اثر تغییر شرایط محیطی و طراحی مورد نیاز است. در این تحقیق، رویه عددی مدل‌سازی حرکت جسم شناور، براساس دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) ارائه گردیده است. الگوریتم عددی پیشنهادی به کویپل معادلات حاکم بر حرکت جسم صلب، معادلات RANS (معادلات ناویر-استوکس حاکم بر جریان سیال مغشوش) و معادله انتقال سطح آزاد (معادله محاسبه نسبت حجمی دو فاز سیال در دامنه محاسباتی) پرداخته و حل این معادلات را در زمان به پیش می برد. معادلات حاکم بر جریان سیال بر اساس چیدمان هم مکان در شبکه با ساختار نامتعامل گسسته شده و برای حل معادلات RANS از روش گام جزئی استفاده شده است. بدین ترتیب و در هر گام زمانی، شبکه متصل به جسم با توجه به حرکات شناور جابجا شده و معادلات حاکم در گام زمانی جدید حل می شوند.

بر اساس الگوریتم ارائه شده، نرم افزار کامپیوتری تهیه شده و با انجام مدل‌سازیهای مختلف، دقت و صحت آن ارزیابی گردیده است. نرم افزار فوق ابزار مناسبی برای پیش بینی حرکات شناور بوده و می تواند هم در مراحل طراحی و هم در هنگام بهره برداری از شناور، مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه ها: هیدرودینامیک عددی، مدل‌سازی سطح آزاد، مدل‌سازی حرکت شناورها، دینامیک سیالات محاسباتی

فصل 1- مقدمه

معادلات کاملی حاکم بر سیال برای اولین بار توسط ناویر دانشمند فرانسوی در سال 1822 ارائه گردید و به طور مستقل توسط استوکسی دانشمند انگلیسی در سال 1845 عنوان شد. جریان سیال از ماهیت پیچیده ای برخوردار بوده و این موضوع در معادلات ناویر-استوکسی نیز به خوبی نمایان است. به خاطر مواجه شدن با مشکلات فراوان ریاضی در حل این سیستم معادلات غیر خطی، امیدواری اندکی برای دستیابی به حل دقیق این معادلات در حالت کلی وجود دارد. ولی به هر صورت، برای بعضی حالات خاص همچون جریانهای مشخص با مرزهای ساده، حل تحلیلی معادلات ناویر-استوکس میسر شده است که نتایج آن در برخی کاربردهای مهندسی نیز به کار می رود. برای سالهای متمادی، آزمایش تنها ابزار و روش مفید برای پژوهش گران بوده است و تلاشهای فراوانی برای طراحی، کالیبره کردن و بکار بردن وسایل آزمایشگاهی انجام شده است. با پیشرفت علم مکانیک سیالات، تقاضا برای انجام آزمایشهای دقیق تر، بر روی جریانهای مختلف افزایش یافته است. این مهم باعث افزایش هزینه های انجام آزمایش شده، به طوری که انجام آنها برای بسیاری از مراکز تحقیقاتی معمول غیر ممکن گردیده است. با این حال آزمایش هنوز بخش غیر قابل انکاری در کارهای تحقیقاتی می باشد که نمی توان آن را حذف نمود.

در این بین، توسعه رایانه های با سرعت بالا راه را برای انجام فعالیت در زمینه علم مکانیک سیالات از جمله دینامیک سیالات محاسباتی (Computational Fluid Dynamics) CFD هموار کرده است. در این روش تقریبی معادلات حاکم به طور عددی حل می شوند. این موضوع به این معنی است که تمام جمله ها در معادلات به شکل محاسبات جبری یافت را به عنوان نقطه عطفی در پیدایش علم CFD برشمرد [42]. از آن پس کتابها و مقالات بسیاری در این زمینه منتشر شده است. با گسترش روشهای عددی، بحث استفاده از آنها

در هیدرودینامیک به صورت جدی مطرح گردید و امروزه هیدرودینامیک عددی از موضوعات روز کارهای تحقیقاتی می باشد.

در این بخش با مروری بر مفاهیم اولیه دینامیک سیالات محاسباتی، مباحث مطرح در هیدرودینامیک بیان شده و در ادامه به کارهای عددی انجام شده در مدل سازی جریان اطراف جسم شناور پرداخته شده است. برای انجام چنین مدل سازی گریزی جز تقسیم مساله به مسائل کوچک تر وجود ندارد. بدین ترتیب موضوع تحقیق و اجزاء آن تشریح شده و در آخر نیز، در رابطه با جایگاه بخشهای مختلف پایان نامه مطالبی بیان گردیده است.

۱-۱- دینامیک سیالات محاسباتی و ویژگیهای آن

همانگونه که بیان گردید، مدل سازی جریان سیال از پیچیدگیهای بالایی برخوردار بوده و امکان حل تحلیلی معادلات حاکم، جز در حالت های ساده وجود ندارد. بدین ترتیب استفاده از روشهای عددی برای حل معادلات سیال (CFD) مطرح گردیده و به طور جدی مورد توجه قرار گرفته است. در این حالت معادلات حاکم بر روی شبکه محاسباتی گسسته شده (Discretization) و به عبارت دیگر معادلات دیفرانسیلی حاکم به معادلات جبری تبدیل می شوند. شبکه بندی دامنه حل از اهمیت بالایی در CFD برخوردار بوده و بیش از 50 درصد زمان استفاده شده در پروژه ها، صرف تعریف هندسه و تولید شبکه می گردد [57]. امروزه CFD به صورت یک جزء اساسی در طراحی تولیدات صنعتی و فرآیندهای مرتبط با مهندسی سیالات در آمده است. در دهه 1990 با بوجود آمدن سخت افزارهای قوی، رشد جالبی در این زمینه بوجود آمده و CFD در حد گسترده تری وارد حوزه محاسبات شده است. اگرچه حداقل بهای سخت افزار مناسب در این زمینه بین 5000 تا 10000 دلار می باشد، اما هزینه کل، کمتر از یک کار تجربی با کیفیت بالا می باشد. علاوه بر آن CFD چند مزیت منحصر به فرد نسبت به روشهای تجربی دارد [42]:

* کاهش اساسی در زمان و قیمت طراحی های جدید

* توانایی مطالعه سیستمهایی که انجام آزمایشهای تجربی روی آنها مشکل و با غیر ممکن می باشد

* توانایی مطالعه سیستمها، تحت شرایط تصادفی و غیر معمول طبیعت

* نامحدود بودن سطح جزئیات نتایج قابل مشاهده

قسمت های عمده یک برنامه CFD عبارتند از:

* شبکه بندی مناسب دامنه محاسباتی

* گسسته سازی معادلات حاکم بر جریان با استفاده از جایگذاری تقریبا

* تعیین شرایط مرزی

* حل معادلات حاکم بر جریان

در CFD از روشهای مختلفی برای تقریب معادلات استفاده می شود که برخی از آنها عبارتند از: رویکرد

تفاضل محدود، رویکرد حجم محدود، رویکرد اجزای محدود و رویکرد اجزای مرزی.

با توجه به گستردگی روشهای بیان شده و استفاده از رویکرد حجم محدود در تحقیق حاضر، در این قسمت در

رابطه با آن توضیحات کلی بیان می گردد.

در روش حجم محدود، الگوریتم حل شامل سه مرحله می شود:

۱- انتگرال گیری از معادلات حاکم بر جریان سیال روی حجم کنترل

۲- گسسته سازی، شامل جایگذاری نوعی از تقریبه‌ها برای عبارتهای داخل معادله انتگرالی که فرآیندهای جریان مثل جابجایی (Convection)، نفوذ (Diffusion) و چشمه (Source Term) را نشان می‌دهند. این عمل معادلات انتگرالی را به یک دستگاه معادلات جبری تبدیل می‌نماید.

3- انتخاب روش حل معادلات اساسی حاکم بر جریان (معادلات ناویر-استوکس و پیوستگی)

۴- حل دستگاه معادلات جبری

مرحله اول، یعنی انتگرال گیری بر روی حجم کنترل، روش حجم محدود را از سایر روشهای CFD متمایز می‌کند. رابطه روشن بین الگوریتم عددی و قواعد کلی بقاء فیزیکی، یکی از جاذبه های روش حجم محدود بوده و درک آن را برای مهندسیین ساده تر از سایر روشها می‌نماید.

همگرایی (Convergence) ایده ریاضی اساسی برای ارزیابی نتایج عددی می باشد. یک حل هنگامی به سمت همگرایی پیش می رود که باقیمانده ها (Residuals) روند کاهشی داشته و در نهایت بسیار کوچک شوند. این حالت با استفاده از تقریبه‌های گسسته سازی، تنظیم ضرایب زیر رهائش (Under-Relaxation Factor) و الگوریتمهای حل دستگاه معادلات جبری مناسب امکان پذیر است. همگی این انتخابها، وابسته به مساله مورد بررسی بوده و دستور کار کلی برای آنها وجود ندارد. بر این اساس، تجربه در کارهای عددی نقش مهمی داشته و تنها با انجام کار بر روی این نوع برنامه ها کسب می شود.

شبکه بندی مناسب دامنه محاسباتی، از اهمیت بالایی در رویکرد حجم محدود برخوردار بوده و طرح اولیه خوب برای شبکه نیاز به اطلاع از خواص جریان دارد. شناخت اولیه دینامیک سیال در یک مساله خاص کمک موثری خواهد نمود و همچنین تجربه شبکه بندی مربوط به مسائل مشابه نیز با ارزش است. تنها راه حذف خطاهای ناشی از درشتی شبکه ها این است که شبکه ها به تدریج ریزتر شده و این موضوع در نقاطی از جریان

که تغییرات شدید وجود دارد. بیشتر مورد توجه قرار گیرد. برای رسیدن به شبکه مناسب، این کار تا زمانی ادامه پیدا می کند که تغییر کیفیت شبکه (ریزنمایی) تاثیری در نتایج کلیدی ناشی از حل مساله ایجاد نکند. در این حالت، بیشتر ریز کردن شبکه امری غیر ضروری بوده و با این کار سرعت حل کاهش می یابد. به محض رسیدن به شبکه ای که ریز کردن آن تغییری در حل حاصل نمی کند، شبیه سازی از شبکه مستقل خواهد بود (Mesh Independency). در تمام مطالعات و پروژه های صنعتی CFD، انجام تحقیقات اصولی برای رسیدن به نتایج مستقل از شبکه یک قسمت ضروری در فرآیند حل مساله می باشد.

برای حل مجموع معادلات ناویر-استوکس و پیوستگی دو روش وجود دارد که عبارتند از:

1- حل همزمان معادلات

2- حل غیر همزمان معادلات

در روش اولیه تمام متغیرهای جریان (سرعتها و فشار) در یک دستگاه معادلات جبری قرار گرفته و محاسبه می شوند [55] این کار هزینه محاسباتی بسیار بالایی داشته و امکان سخت افزاری مناسب خود را می طلبد. بر این اساس در تحقیق حاضر حل غیر همزمان معادلات انتخاب شده است. در این روش میدان سرعت حل شده و در ادامه میدان فشار محاسبه می شود [21,41]

ماهیت موضوع تحقیق که مدلسازی حرکت شناور می باشد، جریان آشفته (Turbulent) است. بدین ترتیب نیاز به حل چنین جریانی بوجود می آید. پدیده انتقال جریان آرام (Laminar) به جریان آشفته که یکی از بحثهای دینامیک سیالات است، اولین بار در اواخر قرن نوزدهم میلادی توسط رینولدز (Reynolds) مورد توجه و تحقیق قرار گرفت. او با استفاده از آزمایشهای گوناگون نشان داد که پدیده انتقال در اعداد رینولدز مشخصی اتفاق می افتد.

با توجه به پیچیدگی ها و زمان بالای مدلسازی جریان آشفته با دو روش DNS و LES در تحقیق حاضر از روش RANS استفاده شده است. در این حالت میانگین متغیرها نسبت به زمان و جرم (جرم برای جریان تراکم پذیر در نظر گرفته می شود) محاسبه شده و معادلات بقاء بر این اساس بازنویسی می شود. به عبارت دیگر سرعتها به دو بخش متوسط و متغیر با زمان تقسیم می شوند. بدین ترتیب مجهولات اضافی به نام تنشهای رینولدز (Reynolds Stress) در معادلات ظاهر می شوند. برای رفع این مشکل دو راه حل پیشنهاد می شود که عبارتند از:

الف - به کارگیری معادلات انتقالی که روشی ناموفق است، چرا که مجهولات دیگری در دستگاه معادلات ظاهر می شود.

ب - مدلسازی آشفتگی، که تعدادی معادلات تجربی را برای محاسبه تنشهای رینولدز پیشنهاد می کند. جریان اطراف شناور مساله دو فازی می باشد. بدین ترتیب نیاز به مدلسازی جریان همراه با سطح آزاد بوجود می آید. دو رویکرد کلی در این زمینه عبارتند از [54]:

1- رویکرد سطحی مدلسازی سطح آزاد (Interface Tracking)

در رویکرد سطحی، تنها یک فاز سیال مورد بررسی قرار گرفته و شبکه محاسباتی در هر گام زمانی تا انطباق بر سطح آزاد جابجا می گردد. در این روش محدودیتهای برای مدلسازی سطح آزاد با تغییر شکل بزرگ و پیچیده وجود دارد. بنابراین در تحقیق حاضر از رویکرد حجمی مدلسازی سطح آزاد استفاده شده است.

به هر حال تشخیص اعتبار مدل‌سازی عددی جز با مقایسه نتایج تجربی غیر ممکن است. لذا اگرچه CFD می‌تواند یک ابزار پر قدرت برای حل مسائل مختلف و ارزیابی تاثیر تغییر کمیت های مختلف در آن باشد ولی نمی‌تواند جایگزین آزمایش گردد.

1-2- مدل‌سازی حرکت شناور

انجام آزمایش بر روی مدل شناور قابل اعتمادترین و گسترده ترین ابزار بررسی رفتار هیدرودینامیکی شناور مثل سرعت، بازده، اثر نیروهای محیطی و ... می‌باشد. همه آئین نامه ها و قوانین بر روی بررسی رفتار هیدرودینامیکی و حصول اطمینان از کارایی شناور در مراحل اولیه طراحی تاکید دارند. این موضوع نیاز به ابزار پیش بینی را بوجود می‌آورد. CFD با توجه به ویژگیهای یاد شده انتخاب مناسبی در این زمینه می‌باشد. بدین ترتیب امکان مدل‌سازی هیدرودینامیکی شناور در ابعاد واقعی و بررسی اثر مولفه های مختلف طراحی در مراحل اولیه کار فراهم می‌آید. مسائل اصلی در بررسی هیدرودینامیکی شناور عبارتند از:

الف - مقاومت: مدل‌سازی تمامی مولفه های مقاومت (مقاومت موج سازی، مقاومت اصطکاکی و...)

ب - رفتار شناور در امواج (Seakeeping)

ج - مانور شناور بدین

ترتیب مدل‌سازی حرکت شناور در امواج در بررسی بسیاری از خصوصیات عملکردی نقش دارد که برخی از آنها عبارتند از [5]:

* بررسی وضعیت شناور در سرعت های مختلف

* بررسی کاهش سرعت ارادی بواسطه افزایش نیروهای وارد بر شناور و کاهش سرعت غیراداری به خاطر

مقاومت افزوده (Added Resistance)

* بهینه سازی مسیر (Ship Routing) به منظور کاهش زمان حمل و نقل، مصرف سوخت و هزینه کلی

* ایمنی شناور بر اساس معیارهای موجود (محاسبه شتابها، وقوع اسلیمینگ (Slamming)، وضعیت افراد،

بارهای روی عرشه و...) و راحتی مسافران

* پایداری حرکت در خط مستقیم

* تغییر مسیر و عملکرد سکان

* تغییر سرعت و مدل‌سازیهای مربوطه

CFD با ارائه ابزار عددی مناسب، با هزینه های فراوان ساخت و آزمایش مدل روبرو نبوده و نیز با مساله انتقال

نتایج مدل به شناور واقعی برخورد نمی نماید [60] علاوه بر استفاده از این ابزار در بررسی و مقایسه طرحهای

مختلف، با توجه به جزئیات اطلاعاتی که یک برنامه عددی در اختیار می گذارد، امکان بهینه سازی و اصلاح

طرح شناورهای جدید بوجود می آید. بر این اساس مفهوم حوض آزمایش هیدرودینامیک عددی

(Numerical Towing Tank) برای مدل‌سازی شناور مطرح گردیده است، اما رسیدن به تمامی خواسته

های هیدرودینامیکی با توجه به گستردگی و پیچیدگی جریان و اثر متقابل اجزاء مختلف تا به امروز امکان پذیر

نبوده است. برای استفاده از برنامه های عددی چاره ای جز شکستن مساله به بخشهای کوچک تر، ساده سازی

هندسه آن و صرف نظر از اثر برخی پدیدهها وجود ندارد [60] به هر حال گسترش امکانات رایانه ای و دانش

عددی، افق روشنی را تا رسیدن به مدل‌سازی کامل پدیده های طبیعی پیش بینی می نماید.

کارهای عددی در زمینه مدل‌سازی رفتار شناور بر اساس فرض جریان پتانسیل (فرضی سیال ایده آل غیر چرخشی بدون لزجت) شکل گرفت. روش نواری (Strip Method) از نخستین روشها بر اساس جریان پتانسیل بود که با فرض خطی سازی حرکات شکل گرفت [24] و در ادامه رویکردهای مختلفی در این زمینه ارائه گردید [16] و [52] در سالهای اخیر تئوری روش نواری تغییر چندانی نکرده و نرم افزارهای تجاری زیادی بر این اساس تهیه شده است که موضوع مشترک آنها، کار بر روی سرعت و دقت مدل‌سازی می باشد. همانگونه که بیان گردید، اگرچه این روشها سرعت بالای در انجام محاسبات دارند، اما با توجه به فرضیاتی که در پیاده سازی این روشها وجود دارد، فیزیک مساله تغییر نموده و در مواردی پاسخ های این گونه برنامه ها اعتبار نخواهد داشت. در این حالت روشهای عددی مورد نیاز است که توانایی پیش بینی حرکات و نیروها در امواج بزرگ را داشته و اثر لزجت، اغتشاش، جدایی جریان و شکست موج را در محاسبات وارد نماید. همراه با گسترش توان سخت افزاری و نرم افزاری کامپیوترها، استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی به منظور محاسبه مستقیم نیرو و گشتاور وارد بر شناور و حل معادلات حرکت جسم صلب، موضوع اصلی کارهای تحقیقاتی در این زمینه بوده است.

محاسبات عددی هیدرودینامیک شناورها بر اساس حل معادلات RANS در دهه 1980 آغاز گردید و از آن موقع گروههای تحقیقاتی بسیاری بر روی گسترش روشهای عددی کار نموده اند. این کار با بیان امکان استفاده از روشهای مختلف، در بررسی جریان لزج اطراف شناور آغاز گردید [36] و با کاربرد این روشها در برخی جنبه های ساده تر، مثل بررسی دینامیکی تریم (Trim) شناور پیش رفت [25] در آغاز کار بر روی حالت پایدار حرکت شناور انجام می پذیرفت [37]، اما با تجربه های کسب شده و پیشرفت امکانات، موضوع

تحقیقات به سمت حالت گذرا (Transient) با درجات آزادی کمتر، گسترش یافت [1] با پیشرفت های انجام شده در زمینه مدل سازی سطح آزاد، حل کامل معادلات RANS به همراه مدل سازی سطح آزاد مورد توجه قرار گرفت و در نهایت حرکات شناور با شش درجه آزادی نیز مورد بررسی قرار گرفت [3,35,60].

1-4- روشهای عددی

همانگونه که بیان گردید، برای مدل سازی جریان سیال اطراف شناور با توجه به پیچیدگی های جریان، نیاز به حل عددی معادلات حاکم بر جریان سیال وجود دارد. دو رویکرد اساسی در این زمینه عبارتند از:

* روش مبتنی بر فرض جریان پتانسیل مثل روشهای المان مرزی [58] و تئوری نواری [24].

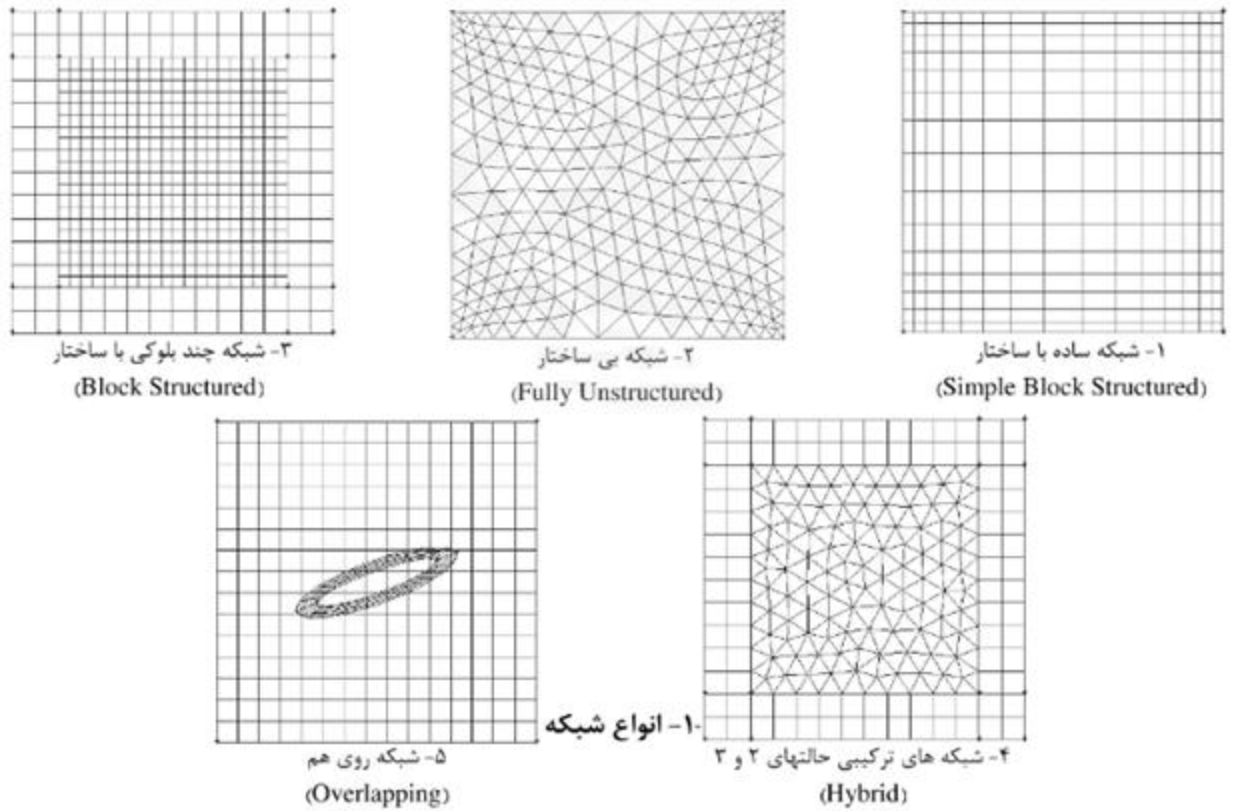
با صرف نظر از لزجت جریان معادلات ناویر-استوکس بسیار ساده شده و بدین ترتیب جریان مورد بررسی لایه مرزی نخواهد داشت. نتیجه این کار درشت تر شدن شبکه محاسباتی دامنه حل خواهد بود (از تغییرات درون لایه مرزی (بخش سیال لزج) صرف نظر شده است). به علاوه با صرف نظر از چرخش جریان، عملاً نیازی به بررسی داخل دامنه محاسباتی وجود نداشته و روشهای مرزی (المان مرزی و انتگرال مرزی) برای حل معادلات حاکم مورد استفاده قرار می گیرند. بدین ترتیب فضای سه بعدی به فضای دو بعدی تبدیل می شود. در این حالت، با حل معادلات برای مرزهای دامنه مورد بررسی، اطلاعات مورد نیاز در هر نقطه درون دامنه به کمک اطلاعات روی مرزها بدست می آید. تابع پتانسیل و روشهای مبتنی بر آن همگی متکی بر فرضیاتی هستند که نتیجه آن ساده سازی جریان می باشد. این فرضیات در بسیاری از موارد به فیزیک مساله مورد بررسی لطمه وارد نکرده و استفاده از آنها توجیه پذیر می باشد.

* روشهای مبتنی بر فرض جریان واقعی مثل حل معادلات RANS با رویکرد حجم محدود [5]

در مواردی که جریان کاملاً چرخشی بوده و جدایی، لایه مرزی و اغتشاشی از اهمیت بالایی برخوردار باشند، استفاده از شکل کامل معادلات ناویر-استوکس ضروری به نظر می‌رسد. فیزیک حرکت شناور در دریا با تمامی این موارد روبرو بوده و اگرچه استفاده از شکل کامل معادلات با پیچیدگی‌های فراوانی همراه است، گریزی جز استفاده از آنها باقی نمی‌گذارد. در مدلسازی فیزیک جریان برای بررسی حرکت شناور، نوسانات مغشوش موجود در لایه مرزی نقش خاصی نداشته و بدین ترتیب ایده استفاده از معادلات میانگین‌گیری شده یا معادلات RANS پیش می‌آید که تا سالهای قبل با محدودیتهای محاسباتی مواجه بود. در سالهای اخیر با پیشرفت نرم‌افزاری و سخت‌افزاری کامپیوترها امکان حل عددی این معادلات به منظور مدلسازی جریان اطراف شناور فراهم آمده است. تحقیق حاضر از این روش برای مدلسازی جریان سیال استفاده می‌نماید.

در این حالت سرعت به دو بخش متوسط زمانی و متغیر تقسیم می‌شود. بدین ترتیب و با جایگذاری سرعتها، مجهولات اضافی در معادلات ظاهر می‌گردند که تنشهای مغشوش نام دارند. این تنشها با مدل‌های اغتشاش محاسبه شده و به عبارت دیگر مدل‌های اغتشاش، این مقادیر را با روشهای مختلف به مقادیر سرعتهای متوسط مربوط می‌سازند. بدین ترتیب و بر اساس روش مدلسازی تنشهای مغشوش، بر تعداد معادلاتی که باید حل گردند افزوده می‌شود. پیش‌زمینه حل مناسب معادلات، شبکه بندی مناسب دامنه محاسباتی می‌باشد. انواع مختلف شبکه بندی در CFD مورد استفاده قرار می‌گیرد که در شکل 1-1 نمایش داده شده اند. استفاده از هر یک از این نوع شبکه بندیها با مزایا و معایبی همراه می‌باشند. شبکه های ساده با ساختار در هندسه های پیچیده (مثلی شبکه بندی حول پروانه) با مشکل روبرو هستند، اما کار با آنها ساده بوده و اطلاعات کمتری برای انجام محاسبات و گسسته سازی های روی شبکه مورد نیاز است. از این شبکه در مدل سازی حرکت شناور استفاده شده است [3] شبکه بی ساختار، اگرچه در رابطه با هندسه های پیچیده از کارایی بالایی برخوردار

است، اما حجم بالای ذخیره سازی اطلاعات مرتبط با شبکه محاسباتی از معایب این نوع شبکه بندی می باشد. برای مثال، از این نوع شبکه در مدل سازی سطح آزاد اطراف فویل متقاطع با سطح آزاد استفاده شده است [47] شبکه های چند بلوکی، به طور کلی با تغییر ریز نمایی شبکه در مکانهایی که تغییرات زیاد است، کیفیت شبکه را ارتقا داده و باعث افزایش کیفیت جوابهادر دامنه می شوند. در شبکه بندی ترکیبی، با بهره جویی از مزایای شبکه های بی ساختار، امکان مدلسازی طیف گسترده ای از جریانهای پیچیده وجود دارد. از این شبکه ها در بررسی هیدرودینامیکی شناور رو-رو (Ro-Ro) استفاده شده است [9]. شبکه روی هم نیز اگرچه بار محاسباتی بالایی را در پی دارد، اما با ریز نمودن شبکه در موقعیتهای مورد نیاز و امکان جابجا کردن دو شبکه نسبت به یکدیگر، در مواردی که بررسی حرکت جسم مورد نظر باشد، می توانند بسیار کارساز باشند. برای مثال از این شبکه برای بررسی پهلو گیری شناورها می توان استفاده نمود [8]. به هر حال، انجام پایان نامه مهندسی مکانیک حاضر از شبکه بندی با ساختار غیر متعامد استفاده شده است که نمونه آن در شکل 1-2 ملاحظه می شود.



1-4-1- اجزای مساله

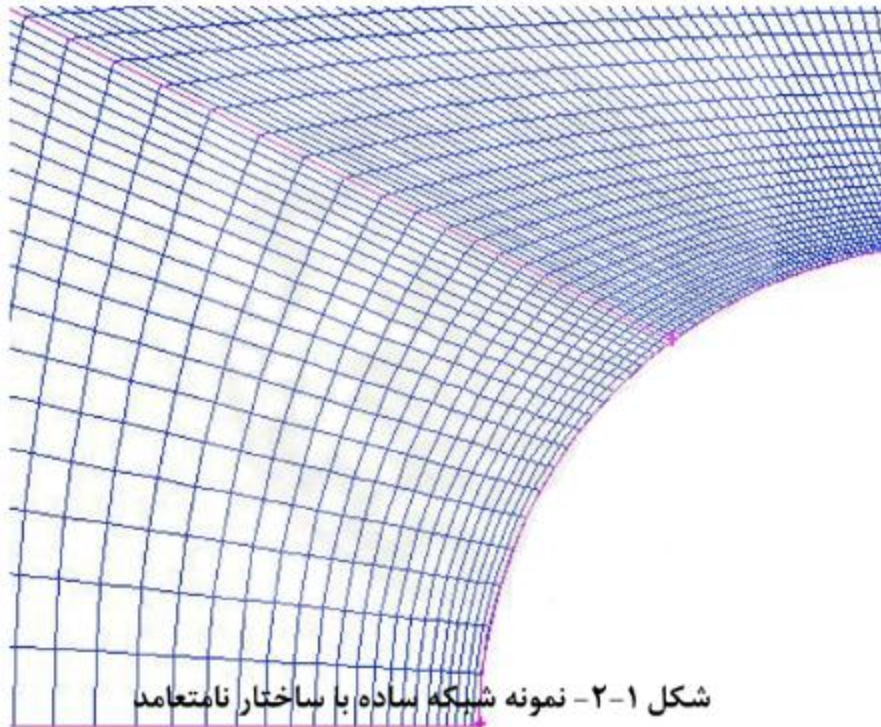
همانگونه که بیان گردید، برای مدل سازی عددی حرکت شناور نیاز به حل مجموعه ای از معادلات پیچیده وجود دارد. راه حل مرسوم در این زمینه، شکستن مساله به زیر مساله های کوچکتر می باشد. اجزای اساسی الگوریتم حل عددی را می توان به صورت زیر نام برد:

* شبکه بندی دامنه محاسباتی

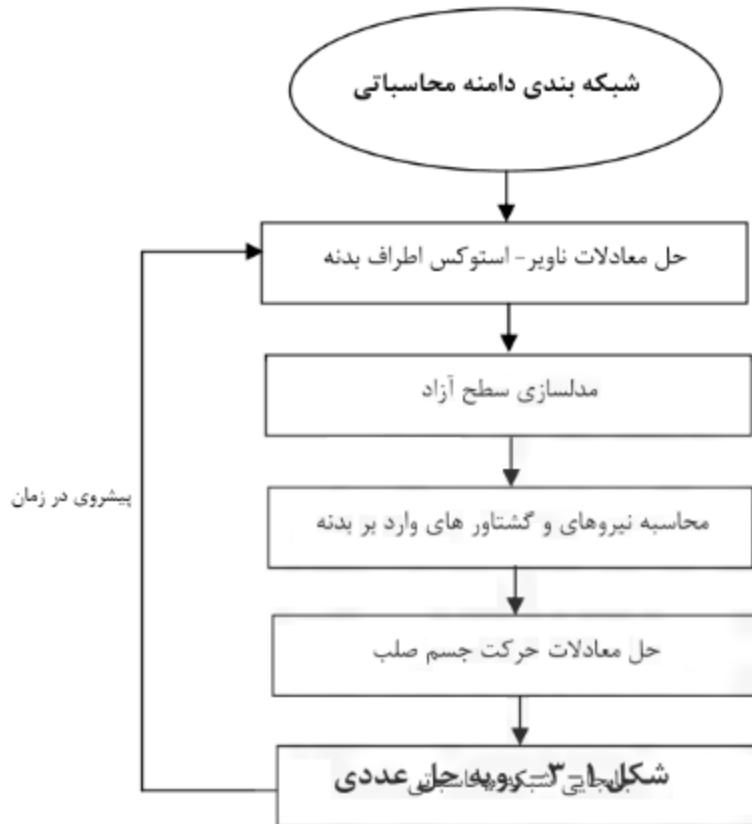
* مدل سازی جریان سیال بر اساس حل معادلات ناویر-استوکس و پیوستگی

* مدل سازی سطح آزاد

* حل معادلات حرکت جسم صلب برای محاسبه جابجایی شناور تحت اثر نیروهای محیطی



هر یک از زیر مساله های بیان شده از جزئیات زیادی برخوردار می باشند. به هر حال کوپل مناسب بخشهای مختلف بیان شده بر اساس یک رویه حل یکپارچه (شکل 1-3) از اهمیت بالایی برخوردار است. انجام پایان نامه مهندسی مکانیک حاضر، با بررسی جداگانه هر یک از بخش های ذکر شده و انجام برنامه نویسی لازم برای آنها، صحت و توانایی الگوریتم عددی انتخاب شده با مقایسه نتایج کار و تحقیقات مشابه بررسی شده است. همانگونه که بیان گردید، برای تکمیل هدف تحقیق تمامی بخشهای بیان شده باید با یکدیگر کوپل شده و در یک رویه عددی حل شوند. رسیدن به پاسخ مناسب در انجام کوپل، علاوه بر حصول اطمینان از صحت هر یک از زیر مساله ها نیازمند سازگاری الگوریتم های عددی انتخابی با یکدیگر می باشد که این کار با انجام ملاحظاتی در رویه عددی امکان پذیر است.



همانگونه که در شکل 1-3 دیده می شود، رویه عددی با شبکه بندی دامنه محاسباتی آغاز می گردد. این کار نقش مهمی در روند حل دارد، تا جایی که شبکه بندی نامناسب در دقت جوابها بسیار تاثیرگذار بوده و احتمالاً عدم حل معادلات را فراهم می آورد. نتیجه حل مجموع معادلات ناویر-استوکس و پیوستگی محاسبه میدان سرعت و فشار اطراف شناور است. برای کوپل میدان سرعت و فشار، در حل چهار معادله اساسی حاکم (سه معادله اندازه حرکت و یک معادله پیوستگی) روش مناسب جریانهای گذرا مورد نیاز است که در سرعت حل نیز تاثیر گذار باشد. قابل ذکر است که اثر آشفتگی نیز باید مدل گردد که از مدل‌های آشفتگی رایج در این بخش می توان استفاده نمود. بعد از اتمام این مرحله، در انجام پایان نامه مهندسی مکانیک نوبت به مدل سازی سطح آزاد اطراف شناور می رسد. این کار با روشهای مختلفی قابل انجام است که انتخاب رویکرد مناسب با توجه به هدف کار حاضر، از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. با انتگرال گیری از تنشهای وارد بر بدنه شناور و اعمال

نیروهای خارجی مثل سکان، سمت راست معادلات حرکت جسم صلب (نیروها و گشتاورها) بدست آمده و سمت چپ این معادلات نیز که وابسته به هندسه شناور می باشد، در آغاز حل مشخص شده است. بدین ترتیب، با حل معادلات حرکت جسم صلب در طول زمان، رفتار شناور ثبت می گردد. با توجه به الگوریتم در نظر گرفته شده، شبکه دامنه محاسباتی متصل به شناور بوده و با جابجایی آن جابجا خواهد شد. ذکر این نکته ضروری است که اثر این جابجایی شبکه محاسباتی، باید در معادلات حاکم بر جریان وارد شود. بدین ترتیب رویه حل تا رسیدن به زمان مورد نظر ادامه مییابد.

5-1- موضوع و اهداف تحقیق

با توجه به الگوریتم عددی بیان شده، در تحقیق حاضر نخست در ارتباط با اجزاء مساله بررسی هایی صورت گرفته و انتخابهای مناسب برای هریک از آنها انجام شده است. در ادامه و با نوشتن برنامه مرتبط با هر یک از زیر مساله ها، توانایی انتخاب های مورد نظر بررسی شده است. بدین ترتیب پنج زیر برنامه اصلی نوشته شده است. اولین زیر برنامه شبکه بندی دامنه محاسباتی را آماده می سازد. در تحقیق حاضر از نرم افزار **GAMBIT** به منظور شبکه بندی استفاده شده است. با توجه به الگوریتم برنامه، نیاز به تبدیل اطلاعات شبکه بندی نرم افزار مذکور به چیدمان مناسب برنامه وجود دارد. زیر برنامه دوم به کوپل میدان سرعت و فشار و به عبارت دیگر حل معادلات ناویر-استوکس و پیوستگی می پردازد. با توجه به استفاده از شکل میانگین گیری شده معادلات، زیر برنامه سوم به محاسبه لزجت آشفتگی در میدان محاسباتی اختصاص داده شده است. زیر برنامه چهارم مدلسازی سطح آزاد با توجه به توزیع سرعت را بر عهده داشته و زیر برنامه پنجم به حل معادلات حرکت جسم صلب اختصاص داده شده است. بدین ترتیب، امکان مدلسازی حرکت شناور در یک فاز و یا دو فاز سیال فراهم آمده است.

6-1- مراحل تحقیق

فصل دوم این تحقیق به بررسی و استخراج معادلات اساسی حاکم برای مدل‌سازی حرکت جسم شناور اختصاص داده شده است. بر این اساس، با توجه به معادلات حاکم بر یک سیستم، معادلات حاکم بر حجم کنترل متحرک که در تحقیق حاضر از آن استفاده می‌شود، استخراج گردیده‌اند. نتیجه این کار، معادلات ناویر - استوکس (بقای اندازه حرکت خطی) و پیوستگی (بقای جرم) هستند که چهار معادله را برای محاسبه میدان سرعت و فشار در یک فاز غیر قابل تراکم سیال در اختیار می‌گذارند. در ادامه این فصل، روشهای مدل‌سازی سطح آزاد مرور گردیده است. با توجه به پیچیدگی‌های سطح آزاد و امکان شکست موج، روش مناسب مدل‌سازی سطح آزاد برای مساله مورد بررسی در این قسمت انتخاب گردیده و معادله انتقالی برای آن ارائه شده است. نتیجه محاسبه توزیع سرعت و فشار که حاصل حل معادلات انتقال فوق می‌باشند، نیروها و گشتاورهای وارد بر جسم صلب است. بخش سوم فصل دوم به استخراج معادلات حاکم بر حرکت جسم صلب اختصاص داده شده است.

گام نخست در حل عددی معادلات پیچیده حاکم بر جریان، تقریب عبارتهای دیفرانسیلی موجود در آنها و به عبارت دیگر گسسته سازی معادلات حاکم می‌باشد. فصل سوم و چهارم این تحقیق به گسسته سازی معادلات ناویر - استوکس و معادله انتقال نسبت حجمی سطح آزاد اختصاص داده شده است.

پس از استخراج فرم جبری معادلات دیفرانسیلی حاکم، مرحله حل معادلات آغاز می‌شود. این کار نیازمند الگوریتم‌های عددی مناسب می‌باشد. فصل پنجم این تحقیق حل هر یک از زیر مساله‌های موجود یعنی مدل‌سازی جریان، مدل‌سازی سطح آزاد و محاسبه حرکت جسم صلب را بررسی نموده و روشهای مناسب را پیشنهاد نموده است.

برای اطمینان از صحت هر یک از روشهای بیان شده و کوپل آنها، تا رسیدن به هدف نهایی تحقیق که مدلسازی حرکت جسم شناور می باشد، با توجه به نمونه مساله های موجود، مدلسازی هایی انجام شده و در نهایت حرکت جسم شناور مدلسازی گردیده است. مقایسه نتایج عددی و کارهای مشابه تجربی و عددی انجام شده بیانگر توانایی و صحت الگوریتم عددی ارائه شده می باشد.