Archive of SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز تحقیقات و اطلاعات علمی ایران

www.SID.ir

اهمیت و روش‌های شبیه سازی مانور شناورها در بنادر و تحلیل آرامش حوضچه بنادر تحت تاثیر امواج شناورها

بابک عمانی[۱۶] ، ابراهیم جهان بخش[۱۷] ، علی رهنمون[۱۸] ، محمد سعید سیف[۱۹]

چکیده :

کارایی شناورها در بنادر یکی از پارامتر های مهم و تاثیر گذار در طراحی بنادر می‌باشد. یکی از مهم‌ترین عواملی که در تعیین کارایی شناور نقش اساسی دارد، مانور شناور در شرایط محیطی مختلف در داخل بندر می باشد. لذا بررسی این موضوع یک نیاز جدی در امر تحلیل کارایی و طراحی حوضچه بنادر می باشد. روش‌های متعددی برای بررسی مانور شناور در بنادر وجود دارد که از ان جمله می توان به آزمایش‌های مدل, آنالیز های تئوری، روش‌های تجربی و روش‌های عددی اشاره کرد. امروزه با رشد روزافزون توان محاسباتی رایانه ها، روش‌های مبتنی بر تحلیل‌های عددی از جایگاه خاصی برخوردار می باشند. در این مقاله سعی بر آن است تا در ابتدا ضمن بررسی اهمیت تحلیل آرامش حوضچه بنادر، پارامترهای موثر بر آن در نظر گرفته شود و سپس با در

[16] کارشناس ارشد مرکز توسعه فن آوری صنایع دریایی، دانشگاه صنعتی شریف

[17] کارشناس ارشد مرکز توسعه فن آوری صنایع دریایی، دانشگاه صنعتی شریف

[18] کارشناس ارشد پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری جمهوری اسلامی

[19] دانشیار دانشگاه صنعتی شریف

Archive of SID

www.SID.ir

نظر گرفتن شرایط خاص حاکم بر بندر قابلیت شبیه سازی مانور در حوضچه بنادر در روش‌های مختلف شبیه سازی مورد نقد و بررسی قرار گیرد.

مقدمه :

در مدیریت و ساماندهی ورود و خروج شناور ها به حوضچه بنادر توجه به قابلیت‌های مانور و تاثیر حرکت شناور ها بر شرایط حوضچه از اهمیت بالایی برخوردار است. روشهای متعددی برای بررسی این مهم وجود دارد که از ان جمله می توان به آزمایش‌های مدل, آنالیز های تئوری، روش‌های تجربی و روش‌های عددی اشاره کرد.

اهمیت بررسی قابلیت ها و اثرات مانور شناور ها در حوضچه بنادر را می توان از منظر های مختلف مورد بررسی قرار داد. چگونگی ورود و تعیین مسیر حرکت برای رسیدن به جایگاه و پهلوگیری در شرایط مختلف آب و هوایی و برای شناور های مختلف مستلزم اطلاع از مدل دینامیکی شناورها و قابلیت ها و محدودیت های مانور آن‌ها می‌باشد. تصمیم گیری و پیش بینی نادرست در این زمینه می تواند با عواقب ناگوار و خسارت های بالا همراه گردد.

سرعت بخشیدن به ورود و خروج شناور ها در عین حفظ ایمنی موجب کم شدن بار ترافیکی و بالارفتن بازدهی بنادر می گردد. از طرف دیگر حفظ شرایط کاری مطلوب در حوضچه آرامش به تسریع در عملیات بارگیری و تخلیه منجر می شود. بنابراین بررسی اثرات ناشی از مانور شناور ها در حوضچه، هم چون امواج تولید شده در حین حرکت، بر آرامش و کارکرد سایر شناور ها می تواند

Archive of SID

www.SID.ir

در رسیدن به نقطه مطلوب در تعیین میزان سرعت حد اکثر و مسیر حرکت برای شناورهای مختلف راهنما باشد.

به کارگیری مدل سازی ها و تحلیل های مختلف در زمینه مانور شناور این قابلیت را برای گردانندگان بندر فراهم می آورد تا با شبیه سازی حرکت شناور ها در محدوده بندر، بهترین مسیر و شرایط را برای تردد در محدوده حوضچه آرامش اتخاذ نمایند. به این ترتیب با بالا رفتن ایمنی و فراهم آمدن شرایط کاری مطلوب بازدهی بندر افزایش می یابد. از این رو در ادامه به بررسی روشهای شبیه سازی پدیده مانور خواهیم پرداخت.

۲- بررسی و ضرورت انجام شبیه سازی مانور شناورها

از جمله مسایل حایز اهمیت در بررسی فعالیت شناورها در آب‌های نامحدود و به خصوص در آب های محدوده بنادر، قابلیت مانور شناورها و پدیده های ناشی از آن می‌باشد. حفظ مسیر, شتاب گرفتن, توقف کردن (یا کنترل سرعت) و تغییر جهت در دریا و آب‌های محدود به طور کلی قابلیت‌های مانور کشتی تعریف می شوند. قابلیت مانور به سه زیر مجموعه اصلی به شرح زیر تقسیم می شود.

- حفظ مسیر : عبارتست از کنترل کشتی، جهت حرکت در مسیر از قبل تعیین شده
- مانور : عبارتست از کنترل جهت در حرکاتی مانند چرخش یا تغییر مسیر (حرکت به عقب، چرخش در جا، هل دادن، کشیدن و....)

Archive of SID

www.SID.ir

- **تغییر سرعت : عبارتست از کنترل تغییرات سرعت شامل توقف و یا حرکت به عقب**

عملکردهای فوق با عمق آب, محدودیت کانال‌ها و حوضچه بنادر و هم چنین تاثیرات هیدرودینامیکی کشتی های مجاور تغییر می کنند. البته, در کشتی ها قابلیت حفظ مسیر و قابلیت مانور دور زدن متضاد یکدیگر عمل می‌کنند. یعنی کشتی با قابلیت دور زدن مناسب ممکن است مسیرش را به سختی حفظ نماید و بالعکس.

چنان چه کشتی به عنوان یک جسم صلب در فضا فرض شود، می توان شش درجه آزادی برای آن متصور شد. با این حال در یک مدل ساده شده مانور کشتی، تعداد درجات آزادی به سه و یا چهار درجه کاهش می یابد و نیازی به در نظر گرفتن درجات آزادی دیگر نخواهد بود. نیروهای وارد بر شناور در طول مانور را می توان به ترتیب زیر دسته بندی کرد.

نیروهای هیدرو دینامیکی وارد بر بدنه و متعلقات به واسطه سرعت و شتاب کشتی، نیروهای عکس العمل سکان و نیروی پیش رانش.

نیروهای عکس العمل اینرسی ناشی از شتاب کشتی

نیروهای محیطی به واسطه باد, امواج و جریان آب

نیروهای خارجی مانند یدک کش ها و پیش برنده ها

جهت شناخت مانور پذیری شناورها مجموعه تست ها و آزمایش‌های استانداردی تعریف شده است. پارامترهای حاصل از این تست ها وضعیت مانور کشتی را تعیین می‌کند. همان طور که اشاره شد قابلیت مانور، رفتارهای

Archive of SID

www.SID.ir

متنوعی نظیر حفظ مسیر، شتاب گرفتن، توقف کردن و ... را شامل می شود. هر یک از آزمایش‌های استاندارد قادر به بررسی برخی ویژگی‌های حرکتی شناور می باشد. تست های مانور هم بر روی مدل و هم بر روی شناور واقعی قابل اجرا می باشند. در واقع این آزمایش‌ها به عنوان ابزار تعیین کننده میزان پایداری اولیه و مشخصه های کنترلی کشتی هستند. مهم‌ترین این مانورها به شرح زیر می باشند:

۱) مانور حلزونی مستقیم و معکوس[۲۰]

۲) مانور زیگزاگ[۲۱]

۳) مانور دورزدن[۲۲]

مانور حلزونی، مشخصه های پایداری کشتی و مانور زیگزاگ میزان اثر سکان را مشخص می کند و مانور دور زدن، قابلیت دورزدن (تغییر مسیر) کشتی را نشان می‌دهد.

مانور شناور ها در آب‌های محدود از جمله کانال ها و حوضچه آرامش بنادر به طور کامل متاثر از قابلیت مانور شناور ها در دریا می باشد. اما به دلیل شرایط و محدودیت‌های خاص در حرکات شناور در بنادر و کانال ها ابزار ها و راهکارهای متفاوتی برای ایجاد قابلیت مانور کافی در شناور ها هنگام طراحی مد نظر قرار می گیرد. به عنوان نمونه می توان به بهره گیری از محرکه های

---

20 - Direct and Reverse Maneuver Spiral

21 - Zig Zag Maneuver

22 - Turning Maneuver

Archive of SID

www.SID.ir

عرضی در شناور برای ایجاد حرکت به پهلو و امکان دور زدن در شعاع کوچک اشاره کرد.

اگر چه قابلیت های کلی مانور شناور در دریا که در طراحی مد نظر قرار می گیرد، برای بررسی عملکرد شناور در آب‌های محدود حایز اهمیت است، اما به دلیل تفاوت بنیانی در اندازه سرعت شناور هنگام مانور در دریا و در آب‌های محدود، این بررسی نیاز به رویکردهای خاص خود دارد.

اصولا مانور شناور در بنادر به یکی از دو طریق زیر انجام می شود.

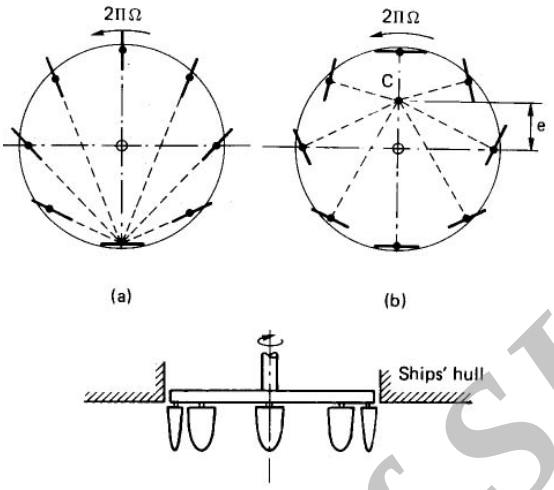
- بهره گیری از یدک کش ها
- بهره گیری از قدرت محرکه شناور

در خصوص مورد اول بسته به میزان ترافیک بندر، اندازه کشتی ها و قدرت لازم جهت مانور از یدک کش های مختلف با قابلیت مانور متفاوت جهت هدایت کشتی برای ورود، پهلو گیری، جدا شدن و خروج از بندر استفاده می شود. قابلیت مانور در این یدک‌کش ها بسته به نیاز تعریف شده و چگونگی تولید محرکه در آن‌ها متفاوت می باشد. از جمله سیستم های محرکه مورد استفاده در یدک کش های با قابلیت مانور بالا می توان به پروانه های شبه دایروی (Cycloidal propellers) همچون Voith-Schneider (شکل ۱) و پروانه های دارای مجرای قابل هدایت (Steerable ducted propellers) هم چون Azimuth thruster (شکل ۲) اشاره کرد. این نوع سیستم‌های محرکه قابلیت حرکت عرضی، تغییر مسیر سریع، دور زدن درجا و با شعاع بسیار

Archive of SID

www.SID.ir

کوچک را فراهم می آورند (شکل ۳). شایان ذکر است برای بهره گیری از این سیتم ها نیاز به کنترلر های پیچیده می باشد.



شکل ۱ : پروانه Voith-Schneider

شکل ۲: پروانه نازل دار قابل هدایت دورانی

Archive of SID

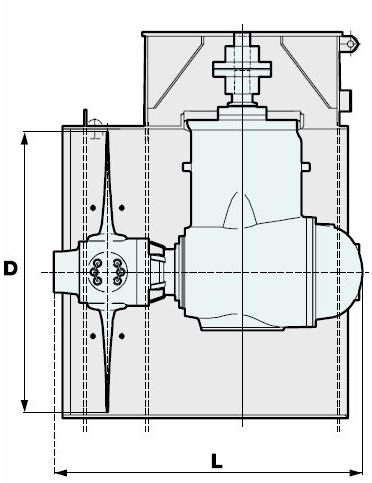
www.SID.ir

شکل ۳: قابلیت مانور در یدک کش با Azimuth thruster

در شناور های بزرگ هم چون تانکر ها نیز برای فراهم آوردن قابلیت مانور در سرعت های پایین از ابزار های مختلف بهره گیری می شود. به عنوان مثال می توان به پیش‌ران‌های عرضی درون مجرایی (Tunnel Thrusters) برای تولید نیروی عرضی در دماغه یا پاشنه شناور اشاره کرد. دراین نوع پیش ران که از یک تونل عرضی در شناور، پروانه درون تونل و سیستم قدرت پروانه تشکیل می شود، با انتقال آب از یک طرف به طرف دیگر شناور نیروی رانش ایجاد می گردد که از آن برای چرخش دماغه یا پاشنه شناور بهره گرفته می شود (شکل ۴).

Archive of SID

www.SID.ir

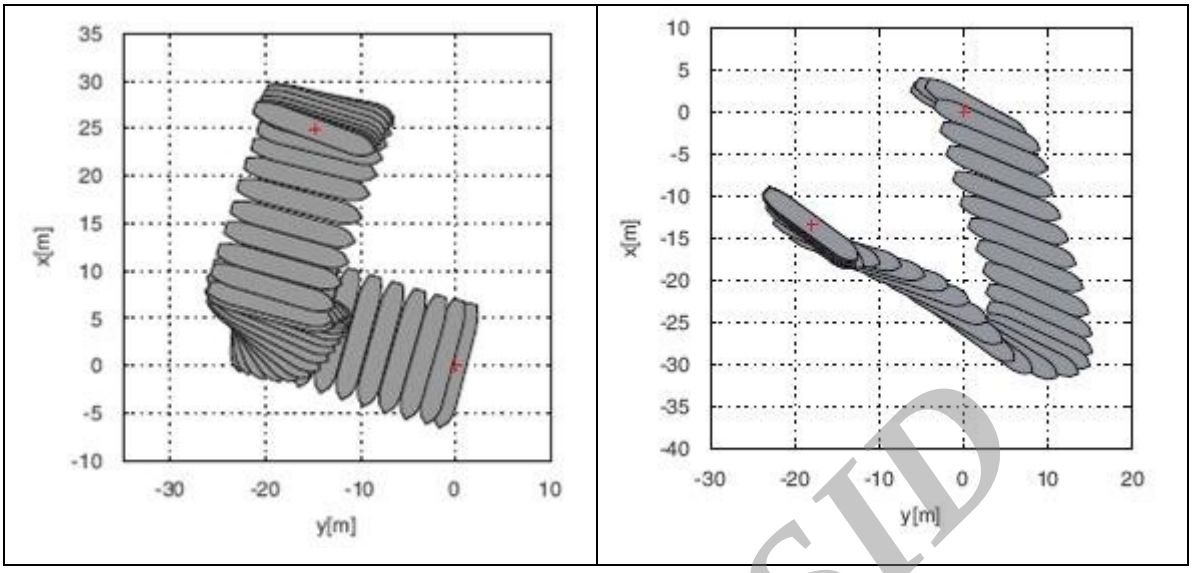


شکل ۴: پیش ران عرضی درون مجرا

این نوع پیش‌ران ها قابلیت مانور در محدوده های کوچک را برای شناور های بزرگ فراهم می آورند. بدین ترتیب عملیاتی چون پهلوگیری، جدایش و دور زدن در محدوده بنادر برای شناورهای بزرگ بدون کمک گرفتن از یدک کش ها امکان پذیر می گردد. بررسی اثرات، محدودیت ها و دینامیک شناور در استفاده از این شیوه جهت انجام مانور در محدوده بنادر از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. دو نمونه از نحوه مانور شناور از این روش در شکل ۵ آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵: شبیه سازی مانور با استفاده از پیشران های عرضی سینه و پاشنه

۳- معیارهای آرامش در حوضچه بنادر با توجه به کاربردهای بندر

تعریف کلی بندر عبارت است از تاسیسات ساحلی، ساخته شده توسط بشر، برای پهلوگیری کشتی ها جهت انجام عملیلتی چون بارگیری و تخلیه، تعمیرات، سوخت رسانی و ...

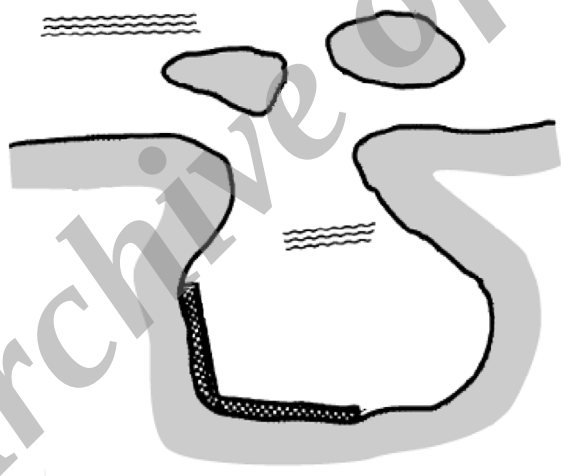
از بین کاربرد های فوق تخلیه و بار گیری کشتی ها از اهمیت بالاتری برخوردار است چرا که فلسفه اصلی وجود بنادر فراهم آوردن امکان انتقال بار توسط کشتی ها می‌باشد. در این بین مهم‌ترین عامل در انجام موفق عملیات تخلیه و بارگیری عدم آرامش کافی شناور و حرکات شدید آن ناشی از تحریک‌های محیطی می باشد. این تحریک‌ها شامل باد، جریان و امواج دریایی است. از این میان امواج بیش‌ترین سهم را در تولید حرکات شدید در شناور

Archive of SID

www.SID.ir

دارا می باشند. این حرکات شدید علاوه بر مختل کردن عملیات بارگیری می تواند موجب برخورد کشتی ها با یکدیگر و یا اسکله بارگیری در محدوده بندر گردد که تولید خسارت های فراوان می کند.

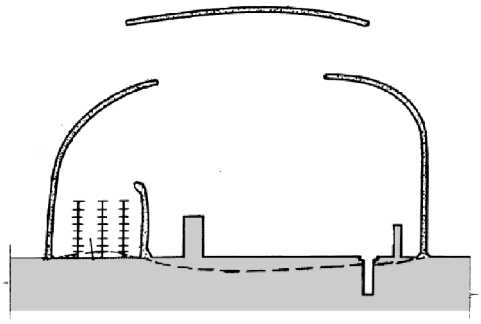
از این رو روش های مختلفی جهت مهار کردن امواج دریایی در محدوده بنادر و ایجاد حوضچه های آرامش به کار گرفته می شود که از مهم‌ترین آن‌ها می توان به انواع موج شکن ها اشاره کرد. بنادر به طور کلی به دو دسته بنادر ساخته شده در خلیج های طبیعی و بنادر مصنوعی تقسیم می شوند. همان طور که از نام این دو نوع بندر بر می‌آید نوع اول از موانع طبیعی برای کاهش موج های ورودی به حوضچه آرامش (شکل ۶) و نوع دوم از موانع مصنوعی ساخته شده استفاده می کند (شکل ۷).



شکل ۶: نمونه ای از بندر در خلیج طبیعی

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷: نمونه ای از بندر با موانع مصنوعی برای کاهش امواج

مراحل انتخاب مکان جغرافیایی و ابزار کنترل موج در محدوده حوضچه آرامش بندر دارای مراحل پیچیده و خاص خود می باشد. نکته مهم و مورد توجه این گزارش در این بین مراحل بررسی موج وارد شده به محدوده بندر با در دست داشتن موج در ناحیه عمیق دریا می باشد.

پدیده امواج در دریا پدیده ای تصادفی می باشد. بنابراین جهت بررسی آن باید از علم آمار کمک گرفت. بر این اساس با تعریف دوره بازگشت به عنوان معیاری مناسب جهت بررسی پدیده های در طول زمان می توان در خصوص مولفه های طراحی تصمیم گیری کرد. در مورد بنادر تعیین دوره بازگشت طراحی بر عهده کارفرمای طرح می باشد. به این معنی که با در نظر گرفتن میزان اهمیت، نوع کارکرد و زیان ناشی از متوقف شدن عملیات در بندر باید دوره بازگشت طراحی برای امواج و سایر عوامل محیطی تعیین و مشخص کردد.

مهم‌ترین عملیات در بندر بارگیری و تخلیه شناور ها می باشد. توقف شناور ها در بندر به دلیل عدم وجود شرایط مناسب جهت انجام عملیات

Archive of SID

www.SID.ir

بارگیری و تخلیه منجر به کاهش کارایی و افزایش ترافیک بندر و هم چنین تحمیل هزینه های زیاد بر صاحبان بندر و کشتی ها می گردد. بر اساس آمار موجود ۵۰ درصد از توقف ها در بارگیری شناور ها ناشی از بارش باران و ۲۰ تا ۳۰ درصد ناشی از طوفان‌های دریایی می باشد.

همان طور که اشاره شد تعیین شرایط کاری بندر دارای پیچیدگی های خاصی می باشد. به صورت کلی شرایط کاری بندر با توجه به اهمیت فعالیت در حال انجام، نوع فعالیت و نوع شناور تعیین می شود. به طور معمول معیار تعیین شرایط کاری بندر میزان جا به جایی شناور ها در نظر گرفته می شود. چرا که در حقیقت این نوسانات شناور است که مانع انجام عملیات بارگیری و تخلیه می گردد. نوع شناور و نوع بارگیری نیز در این مورد از اهمیت بر خوردار می باشد. به عنوان مثال در شرایط محیطی یکسان ممکن است بارگیری یک تانکر بزرگ به راحتی قابل انجام باشد در صورتی که بارگیری یک شناور کوچک با بالابر ساحلی غیر ممکن. در جدول ۱ میزان جا به جایی های مجاز برای انجام بارگیری شناور های مختلف آورده شده است.

جدول ۱: نمونه ای از مقادیر مجاز جا به جایی برای شناور های مختلف جهت بارگیری در بندرگاه

Archive of SID

www.SID.ir

Ship Type	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Roll (deg)	Yaw (deg)
Tankers	±2.3	±1	±0.5	±4	±3
Ore carriers (Crane operation using clamshell)	±1.5	±0.5	±0.5	±4	±2
Grain Carriers (Elevator or suction)	±0.5	±0.5	±0.5	±1	±1
Container L_o/L_o (normal locks)	±0.5	±0.3	±0.3	±3	±2
Container R_o/R_o (side)	±0.2	±0.2	±0.1	nil	nil
Container R_o/R_o (bow or stern)	±0.1	nil	±0.1	nil	nil
General cargo	±1	±0.5	±0.5	±3	±2
LNG	±0.1	±0.1	nil	nil	nil

بر اساس داده های ارایه شده در جدول ۱ مشخص می شود که تعیین شرایط کاری و تاثیر حضور و حرکت شناورهای بزرگ در محدوده حوضچه آرامش بنادر، به طور مستقیم به نوع، اندازه و عملیات شناور های حاضر در بندر وابسته است. بر این اساس برای پیش بینی دقیق امکان ادامه عملیات در شرایط مختلف نیاز به مدل سازی دینامیک شناور های موجود و اندرکنش آن‌ها با یکدیگر و محیط حوضچه آرامش احساس می شود. برای رسیدن به این مهم می توان از ابزار های مدل سازی عددی مختلفی که در ادامه به آن‌ها پرداخته می شود بهره گرفت. .

۴- امواج ناشی از حرکت شناورهای بزرگ و روش های شبیه سازی مانور

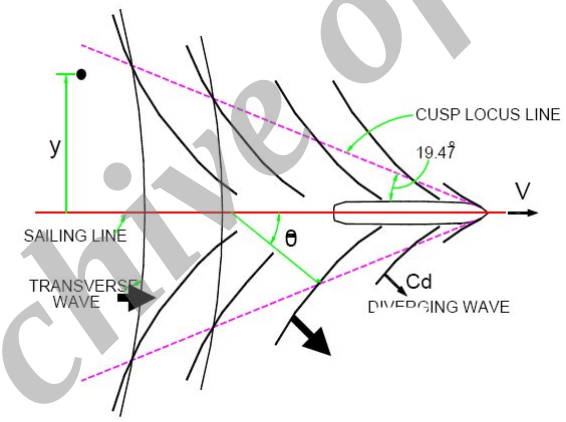
حرکت شناور ها در سطح آزاد سیال موجب تولید امواج سطحی می گردد. بررسی این امواج از منظر های مختلف هم چون، مقاومت موج سازی شناور، تاثیر امواج تولید شده بر شناور های دیگر در منطقه بنادر و ... مورد توجه می باشد. برای بررسی تاثیرات حرکت شناور های بزرگ بر حوضچه

Archive of SID

www.SID.ir

آرامش بنادر لازم است تا به بررسی امواج تولید شده از حرکت شناور بپردازیم. رفتار و معادلات امواج سطحی از منظر های مختلف قابل بررسی می باشد. از جمله مهم‌ترین تقسیم بندی ها در این بین می توان به بررسی امواج دامنه کوتاه خطی و امواج غیر خطی اشاره کرد.

در اثر حرکت شناور سطحی، توزیع فشار در سطح سیال دچار تغییر می شود. این تغییر به صورت امواج سطحی پیشرو ظاهر می گردند. امواج تولید شده توسط شناور را می توان به دو دسته اموج عرضی و امواج دور شونده تقسیم کرد. امواج عرضی در راستای حرکت شناور حرکت می کنند. اما امواج دور شونده با زاویه θ از شناور فاصله می گیرند. در شکل ۸ این دو دسته از امواج نمایش داده شده اند.



شکل ۸: امواج تولید شده توسط شناور

اندازه دامنه موج در نزدیکی خط حرکت شناور بیشینه و با دور شدن از مسیر شناور کاهش می یابد. عوامل موثر در اندازه دامنه امواج تولید شده در

Archive of SID

www.SID.ir

اثر حرکت شناور عبارت اند از: سرعت شناور، فاصله از مسیر حرکت شناور، عمق آب و شکل بدنه.

از مهم‌ترین عوامل در بررسی مانور شناور ها اندرکنش شناور با سیال می باشد. به این ترتیب برای شناخت رفتار شناور در سیال و اواج تولید شده ناشی از حرکت شناور، ابتدا باید به بررسی رفتار سیال بپردازیم. معادلات حاکم بر سیال در این پدیده تحت عنوان معادلات دینامیک سیالات دسته بندی می شوند.

برای پیش بینی رفتار سیال در اطراف جسم شناور و پدیده های ناشی از اندر کنش شناور و سیال روش های مختلفی وجود دارد. از با سابقه ترین این روش ها، روش‌های تجربی می باشند. در این روش با استفاده از معادلات ابعادی و روابط پایه حاکم بر دینامیک سیالات مدلی از شناور و یا حتی محدوده جغرافیایی مورد بررسی ساخته می شود. سپس با حرکت شناور در محیط مقادیر نیروها و سایر مشخصات مدل در حین شبیه سازی ثبت می گردد. در ادامه از این نتایج برای تولید روابط تجربی جهت پیش بینی رفتار سیال و شناور در موارد مشابه بهره گرفته می شود. از جدیدترین ابزار ها در این شیوه بررسی می توان به شبکه های عصبی اشاره کرد، که در ادامه در خصوص آن‌ها توضیح‌هایی ارایه خواهد شد.

مهم‌ترین ضعف این روش ها در کنار دقت مطلوب آن‌ها، وابستگی نتایج به موارد آزمایش می باشد. به این ترتیب برای انجام بررسی در شرایط جدید و یا برای شناور های جدید نیاز به تکرار آزمایش خواهد بود. این موضوع و هزینه

Archive of SID

www.SID.ir

بر بودن ساخت مدل و تجهیزات آزمایش گاهی منجر می شود تا روش فوق، روشی پرهزینه باشد. به این ترتیب و با پیشرفت توان محاسباتی ماشین ها، بهره گیری از روش های کامپیوتری مورد استقبال قرار گرفته اند.

روش شبکه عصبی یکی از راه کار های مدرن در بهره گیری از اطلاعات آزمایش گاهی و یا تجربی برای تولید مدل‌های قابل اطمینان از پدیده های فیزیکی می‌باشد. این روش بر مبانی یادگیری مغز انسان استوار است. به نحوی که با مرتبط کردن تعداد زیادی از روابط ساده ریاضی که جایگزین سلول های عصبی انسان هستند، سعی می شود تا روابط پیچیده بین دسته ای از ورودی ها و خروجی ها کشف گردد. ساختار یک شبکه عصبی از تعداد زیادی سلول عصبی (نورون) تشکیل شده است.

بهره گیری از این روش امکان تولید مدل ریاضی از پدیده های پیچیده را با بهره‌گیری از نتایج تجربی فراهم می آورد. می توان اثبات کرد در صورتی که شبکه عصبی برای تعداد کافی از اطلاعات ورودی، مقادیر صحیح خروجی تولید کند، نتایج شبکه برای بازه تحت پوشش اطلاعات صحیح خواهد بود. روش های پیشرفته در شبکه‌های عصبی برای جبران این محدودیت به وجود آمده است که از ان جمله می توان به شبکه‌های تطبیقی اشاره کرد.

دید گاه های بررسی پدیده ای ناشی از اندر کنش شناور با سیال را می توان به دو گونه خطی و غیر خطی تقسیم کرد. در روش خطی فرض بر امکان جداسازی آثار به دو دسته زیر می باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

- **نیروهای تحریک موج: که شامل نیروهای ناشی از برخورد امواج با شناور ثابت نگه داشته شده در مسیر موج می باشد. این نیروها به دو نوع Froude-Kriloff و تفرّق (Diffraction) تقسیم می شوند.**
- **نیروهای تشعشعی: که شامل نیروهای وارد بر شناور در حال نوسان اجباری با فرکانس موج در سیال ساکن (بدون موج) می باشد. از این نیروها به جرم اضافی (Added Mass)، میرایی (Damping) و نیروهای بازگرداننده (Restoring) تعبیر می شود**

از جمله روش های مبتنی بر این دیدگاه می توان به تئوری نواری، رابطه موریسون، روش المان مرزی حوزه فرکانس اشاره کرد.

از طرف دیگر در دیدگاه غیر خطی با در نظر گرفتن کلیه پدیده ها به صورت

هم زمان، محاسبه نیروها را از روش انتگرال گیری دو مولفه زیر مطرح می سازد.

- **نیروهای فشاری: این نیروها شامل میرانی ناشی از تولید امواج در سطح آزاد، نیروهای ناشی از تغییر جهت امواج، نیروهای شناوری (شامل آثار Froud-Kriloff و و موقعیت شناور در سطح آزاد) و نیروهای طبقه بندی شده با عنوان جرم اضافی می باشد.**
- **نیروهای لزجی: این نیروها شامل نیروهای ناشی از اصطکاک پوسته ای و تولید گردابه می باشند.**

Archive of SID

www.SID.ir

به این ترتیب در روش غیر خطی لازم است تا رفتار سیال اطراف شناور مدل سازی گردد تا نیروهای وارد بر شناور در هر لحظه از انتگرال گیری فوق حاصل آید. بنابراین امکان شبیه سازی پدیده های غیر خطی در این روش وجود دارد. از جمله این روش ها می توان به روش المان مرزی حوزه زمان روش تفاضل محدود روش حجم محدود اشاره کرد.

به دلیل قابلیت بالای این روش ها در مدل سازی پدیده های متغییر با زمان، غیر خطی و وابسته به سطح آزاد، می توان از آن‌ها به خوبی در شبیه سازی مانور و امواج تولید شده توسط شناور ها استفاده کرد. در این بین روش هایی که جریان سیال را واقعی در نظر می گیرند، مثل روش های مبتنی بر حجم محدود از دقت و کاربرد بیش‌تری برخوردار می باشند. در بررسی کامل رفتار سیال اطراف شناور در حال مانور پدیده های پیچیده ای چون آشفتگی و سطح آزاد می بایست شبیه سازی گردند.

برای مدل سازی آشفتگی مانند هر پدیده دیگری نیاز به تعریف پدیده با بهره‌گیری از معادلات ریاضی می باشد. سه روش اساسی مدل سازی آشفتگی عبارتند از:

شبیه سازی عددی مستقیم (Direct Numerical Simulation-DNS)

شبیه سازی گردابه های بزرگ (Large Eddy Simulation-LES)

متوسط گیری رینولدز (Reynolds Averaged Navier-Stokes-RANS)

Archive of SID

www.SID.ir

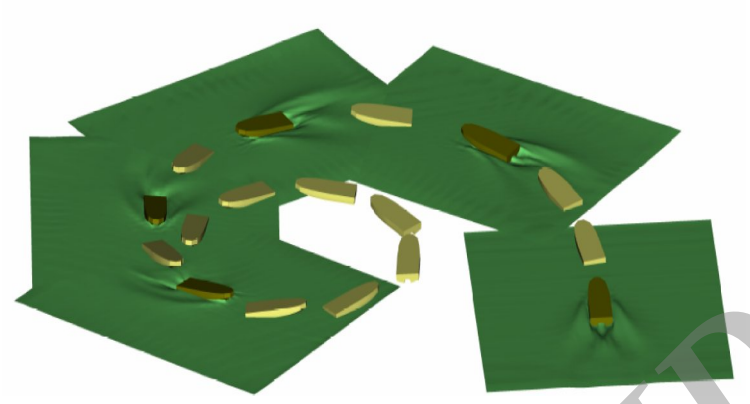
سطح آزاد نیز از پدیده های مهم در بررسی رفتار سیال اطراف سازه ها و شناورهای دریایی، و محاسبه نیروهای وارد بر آن‌ها می باشد. پیش بینی رفتار امواج سطحی، امواج تولید شده در اثر مانور شناور و تغییر شکل امواج در برخورد با سازه های دریایی از جمله پدیده هایی هستند که در بررسی آن‌ها می‌توان از ابزار های شبیه‌سازی سطح آزاد بهره گرفت. سطح آزاد را با رویکرد حجم محدود می توان بر اساس یکی از روش های زیر مدل سازی نمود.

- روش تعقیب سطح آزاد روش یافتن سطح آزاد روش نشانه گزاری (Marker and Cell Method)
  - رها کردن ذرات بدون جرم جهت نشانه گذاری سطح آزاد دورن سیال با اعمال شرط دینامیکی سطح آزاد.
- روش حجم سیال (Volume of Fluid Method)
  - تعریف نسبت حجمی برای اختلاط دو سیال و تعیین سطح آزاد با یافتن پرش در مقادیر نسبت حجمی
- روش تعیین سطح (Level Set Method)
  - تعریف تابع اسکالر فاصله از سطح آزاد برای هر المان و محاسبه مقادیر آن در هر لحظه با قرار دادن مشتق مادی تابع برابر با صفر

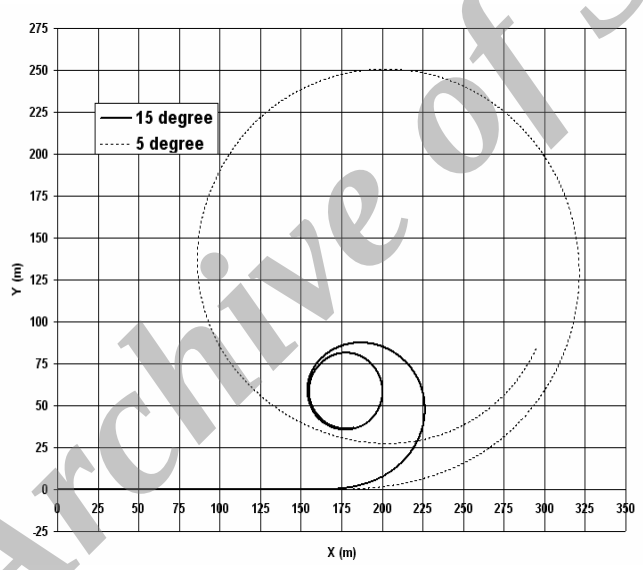
شکل‌های ۹ و۱۰، شبیه سازی دور زدن شناور تندرو کاتاماران را نشان می دهد که توسط یک کد CFD و با استفاده از روش حجم سیال (Volume of Fluid Method) صورت گرفته است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۹: شبیه سازی مانور شناور کاتاماران به کمک CFD



شکل ۱۰: مسیر پیموده شده توسط مرکز جرم شناور کاتاماران در زوایای سکان مختلف

Archive of SID

www.SID.ir

۵- نتیجه گیری و ارایه پیشنهاد

همان طور که اشاره شد، معیار آرامش برای حوضچه بنادر با میزان جا به جایی‌های شناور ها تعریف می شود. به این ترتیب برای بررسی آرامش لازم است تا موارد زیر محاسبه گردد.

تحریک‌های محیطی

این تحریک‌ها شامل امواج ورودی به حوضچه از دریا، امواج تولید شده به دلیل مانور شناور های بزرگ، امواج تولید شده در اثر باد و جریان در محدوده حوضچه دانست. برای بررسی هریک از موارد فوق روش متفاوتی لازم است.

برای بررسی امواج تولید شده در اثر باد در حوضچه و جریان های سطحی باید از روش های دریافت داده های آماری برای مدل سازی طیفی آن ها بهره گرفت. معمول‌ترین روش محاسبه امواج ورودی به حوضچه از دریا نیز روش های المان مرزی حوزه فرکانس برای بررسی رفتار موج شکن ها و تاثیرات توپوگرافی بستر دریا بر رفتار موج می باشد.

در خصوص امواج تولید شده در نتایج مانور شناور های بزرگ می توان از یکی از روش های مدل سازی غیر خطی هم چون المان مرزی حوزه زمان و روش حجم محدود استفاده کرد. شایان ذکر است اگر مسیر و سرعت حرکت

Archive of SID

www.SID.ir

شناور نیز در بررسی جزو مجهول‌ها باشند، بهترین راه بهره گیری از روش حجم محدود به دلیل مدل سازی کامل پدیده های سیالاتی است.

دینامیک شناور در پاسخ به تحریک‌ها

در این خصوص نیز می توان از روش های مختلف ارایه شده بهره گرفت. در صورت فرض حرکات کوچک شناور (مثلا در شناور های مهار شده) و امکان تفکیک خطی می توان با صرف هزینه کم از روش المان مرزی حوزه فرکانس برای بررسی استفاده کرد. روش های حوزه فرکانس با تفکیک پدیده های سیالاتی از دینامیک شناور و محاسبه آن‌ها در قالب ضرایب وابسته به فرکانس این امکان را به وجود می آورد تا با صرف وقت و هزینه کم رفتار و جا به جایی شناور در محیط با دقت نسبی مطلوب شبیه‌سازی گردد.

در صورتی که رفتار شناور در مقابل تحریکات محیطی با احتساب آثار غیر خطی مد نظر باشد، باید از روش های حوزه زمان هم چون روش حجم محدود بهره گرفت. به این ترتیب با بررسی دقیق کلیه پدیده ها در اطراف شناور و در نظر گرفتن آثار ناشی از ماهیت لزج بودن حرکت‌های دقیق شناور در مقابله با تحریک‌های محیطی محاسبه می شود. این روش از لحاظ زمانی هزینه بر بوده و برای محاسبه مانور های پیچیده و رفتارهای غیر خطی شدید مناسب است.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع:

[1] Witold Gierusz_, Nguyen Cong Vinh, Andrzej Rak Maneuvering control and trajectory tracking of very large crude carrier, Ocean Engineering 34 (2007) 932–945

[2] Nomoto, K., Taguchi, K., Honda, K. and Hirano, S., "On the Steering Quality of Ships," International Shipbuilding Progress, Vol. 4, pp. 354-370 (1957).

[3] Davidson, K. S. M., Schiff, L. "Turning and Course-Keeping Qualities", Transactions SNAME, 1946

[4] T.Sawaragi. Coastal Egineering-Waves, Beaches, wave-Structure interactions,Elsevier,1995.

[5] S. Shiotani,Numerical Estimation of Ship-Generated Wave Pattern, Proceedings of the Eleventh (2001) bzternational Offshore and Polar Engineering Conference

[6] Agerschow, H., H. Lundgren, T. Sorensen, T. Ernst,J. Korsgaard, L. R. Schmidt, and W. K. Chi, 1983. Planning and Design of Ports and Marine Terminals, John Wiley and Sons, New York.

[7] ROBERT M.SORENSEN, BASIC COASTAL ENGINEERING, Third Edition, springer 2006.

[8] Tom van Terwisga, Frans Quadvlieg Henk Valkhof ;'Steerable Propulsion Units: Hydrodynamic issues and Design Consequences'; (MARIN, Wageningen, The Netherlands) Paper written on the occasion of the 80th anniversary of Schottel GmbH & Co;Presented on 11 August 2001

[9] Ferziger, J., Peric, M., (1996), Computational methods for fluid dynamics, Springer Verlag.

[10] Miyata, H., Zho, M. and Watanabe O., (1992), Numerical Study on a viscous flow with free surface about a ship in steady straight course by a finite volume method, J. of ship research, 36(4):332-345.

[11] M.S. Seif, E. Jahanbakhsh, Neural Networks Model for Ship Maneuver, Proceeding of 3rd International Conference on Computer and IT Application in the Maritime Industries (COMPIT), Siguenza,9-12 May 2004

[12] Jahanbakhsh, E., Panahi, R. and Seif, M.S., Numerical Simulation of

Archive of SID

www.SID.ir

Three-Dimensional Interfacial Flows, International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, Issue 4, 2007.

[13] Xing-Kaeding, Y., Unified approach to ship seakeeping and maneuvering by a RANSE method, PhD Thesis, Technichen Universitat Hamburg-Harburg, 2004.

[14] Panahi, R., Jahanbakhsh, E. and Seif, M.S., Development of a VoF fractional step solver for floating body motion simulation, Applied Ocean Research, Vol.28, No.3, p 171-181, 2006.

Archive of SID

www.SID.ir