دانشگاه صنعتی امیر کبیر

دانشکده کشتی سازی و صنایع درایی

پایان نامه کارشناسی ارشد

آنالیز رفتار دینامیکی کشتی نظامی صدمه دیده در موج

نگارش

حمید رضا جعفر یگانه

استاد راهنما

دکتر حمید زراعتگر

اسفند ۱۳۸۵

بسمه تعالی

شماره: .....

تاریخ: .....

فرم اطلاعات پایان‌نامه کارشناسی ارشد و دکترا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

معاونت پژوهشی

فرم پروژه تحصیلات تکمیلی/۷

مشخصات دانشجو

نام ونام خانوادگی : حمید رضا جعفریگانه دانشجو آزاد ☒ بورسیه ☐ معادل ☐

شماره دانشجویی : ۸۳۱۳۰۱۱۴ دانشکده : مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی

رشته تحصیلی: هیدرومکانیک کشتی

نام ونام خانوادگی استاد راهنما : حمید زراعتگر

عنوان به فارسی : آنالیز رفتار دینامیکی کشتی نظامی صدمه دیده در موج

عنوان به انگلیسی : Analysis of Damaged Naval Ship Behavior in Sea Waves

نوع پروژه :کارشناسی ارشد/دکترا کاربردی ☐ بنیادی ☐ توسعه ای ☐ نظری ☒

تاریخ شروع: ۸۴/۸/۲۸ تاریخ خاتمه: ۸۵/۱۲/۱۶ تعداد واحد : ۶ واحد

سازمان تامین کننده اعتبار : –

واژه های کلیدی به فارسی : رفتار دینامیکی کشتی، صدمه دیدگی، موج، آبگرفتگی، شناور نظامی

واژه های کلیدی به انگلیسی :Stability ، Naval Ship،Wave، Damaging in Ships ،Analytical Behavior of the Ship

---

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیتهای پژوهشی دانشگاه :

استاد راهنما : دکتر حمید زراعتگر

دانشجو : حمیدرضا جعفریگانه

امضاء استاد راهنما : تاریخ :

نسخه ۱:معاونت پژوهشی

نسخه ۲: کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

چکیده
با بررسی حرکات کشتی به این نتیجه می رسیم که در ابندا باید مدلی از کشتی سالم را فرض کرده و حرکات آن را محاسبه کنیم.
حرکات کشتی در موج ترکیبی از حرکات انتقالی و دورانی بوده که بسیار پیچیده به نظر می آیند.با این حال می توان با استفاده از معادلات حرکت اصول تئوری حرکات کشتی در دریا را شکل داد و در تحلیلی کیفی و کمی این حرکات از آن استفاده کرد.
کشتی به عنوان یک جسم صلب فرض می شود و حرکات کشتی در مرکز ثقل آن تریف می گردند. یک جسم صلب دارای شش درجه آزادی است که این درجات آزادی را می توان به صورت ترکیبی از سه حرکت انتقالی (سرج،اسوی و هیو) و سه حرکت دورانی (پیچ ، یاو و رول)در نظر گرفت.
فرض بر آن است که که سیال پتانسیل است و دلیل آن این است که سهم نیروهای ویسکوز در مقایسه با نیروهای ثقلی ناچیز است.
به همین دلیل در بسیاری از محاسبات صنعتی و آکادمیک تئوری خطی روش غالب محاسبات می باشد.

مقدمه 3
فصل اول : موج و حرکات کشتی در امواج منظم 5
1 ، 1- موج 5
1، 1، 1- ایجاد امواج 6
1، 1، 2- موج منظم 7
1، 1، 3- فرکانس برخورد 10
1، 2- دستگاه های مختصات 10
1، 2، 1- دستگاه مختـصات اول 11
1، 2، 1- دستگاه مختصات دوم 11
1، 2، 3- دستگاه مختصات سوم 11
1، 3-معادلات حرکت شناور 12
1، 3، 1- معادله حرکت رول 14
1، 3، 1، 1- ضریب ممان جرمی حرکت رول 14
1، 3، 1، 2- ضریب میرایی حرکت رول 17
1، 3، 1، 3-ضریب ممان بر گرداننده حرکت رول 18
1، 3، 1، 4- ممان تحریک حرکت رول 19
1، 3، 2- معادله حرکت هیو و پیچ 20
ضرایب هیرودینامیکی 22
1، 3، 2، 1-ضرائب هیدرودینامیکی حرکت هیو 26
1، 3، 2، 2-ضرائب هیدرودینامیکی حرکت پیچ 28
فصل دوم : حرکات کشتی صدمه دیده در موج 30
2، 1-مدل سازی صدمه دیدگی 30
مدل سازی دبی آب وارده به مخزن 30
2، 2-محاسبه نیروها و ممان های اعمال شده در اثر صدمه دیدگی 43
2، 2، 1-نیروی موثر در حرکت هیو 45
2، 2، 2-گشتاور تحریک کننده در حرکات رول وپیچ 46
2، 3-تاثیر حرکات بر تغییر موقعییت انباره و سوراخ ایجاد شده 47
2، 3، 1-تاثیرحرکت هیو بر تغییر موقعییت انباره و سوراخ ایجاد شده 47
2، 3، 2-تاثیرحرکت رول بر تغییر موقعییت انباره و سوراخ ایجاد شده 49
3، 3، 2-تاثیرحرکت پیچ بر تغییر موقعییت انباره و سوراخ ایجاد شده 50
2، 4- ارتفاع موج 51
2، 5- ار تفاع آب بالای سوراخ در خارج از مخزن 52
2، 6- حل معادلات رول،پیچ وهیو 53
2، 6، 1- حل معادله رول 53
2، 6، 2-حل معادلات هیو و پیچ 55
فصل سوم : نرم افزار حرکات رول ،پیچ و هیو برای شناور صدمه دیده 59

3، 1- ورودیهای برنامه 59
3، 2- عملکرد برنامه و الگوریتم 60
3، 3-فلوچارت برنامه 63
3، 4-خروجی برنامه 64
فصل چهارم : معتبر سازی 66
4، 1- مقایسه حجم آب وارد شده 66
4، 2- مقایسه حرکت رول 72
4، 3- مقایسه نتایج برای یک شناور مکعب مستطیل شکل 77
فصل پنجم : استفاده از نرم افزار جهت استخراج رفتار کشتی نظامی موج 84
5، 1- نمونه نتیجه برنامه 84
5، 2- مقایسه حرکت ها در فرکانسهای برخورد متفاوت مختلف 96
5، 2، 2- بررسی اثر زاویه برخورد موج 96
5، 2، 3- بررسی اثر سرعت کشتی 105
5، 3- بررسی اثر ارتفاع امواج 112
5، 4- بررسی اثر طول مخزن صدمه دیده 118
5، 5- بررسی اثر مساحت صدمه دیدگی 124
5، 6- بررسی اثر موقعیت سوراخ 131
فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهاد ادامه کار 136
6، 1 - نتیجه گیری 136
6، 2- پیشنهادات 137
مراجع 138

مقدمه

همه کشتیها در معرض خطر غرق شدگی در اثر از دست دادن اجزای غیر قابل نفوذ به آب،یا صدمه دیدن از طریق عواملی مثل تصادف، به گل نشستن و یا انفجار می باشد. چنانچه در عمل مشاهده می شود،حوادث آنقدر متناوب اتفاق می افتند که محافظت از شناور در مقابل چنین حوادثی(حتی در مرحله طراحی) یکی از موضوعات ضروری می باشد.

تحلیل رفتار دینامیکی کشتی صدمه دیده برای بررسی پایداری و امکان بقا کشتی از اهمیت فوق العاده ای بر خوردار می باشد قابلیت بقا شناور صدمه دیده و لحاظ نمودن تمهیداتی برای جلوگیری از غرق شدن یا واژگون شدن آن در حالت صدمه دیده از جمله مباحثی است که همواره مورد توجه محققین بوده است. به منظور ارتقا قابلیت نجات پذیری شناور باید فهم عمیق و درستی از چگونگی رفتار شناور در حالت صدمه دیده داشته باشیم و با توجه به اینکه بندرت پدیده صدمه دیدگی در آب راکد اتفاق می افتد و صدمه دیدگی های بزرگ و تاریخی اتفاق افتاده در جهان همچون Estonia و تایتانیک همگی در موج اتفاق افتاده است. بنابر این بررسی حرکات کشتی صدمه دیده در آب راکد منطقی به نظر نمی رسد و باید اثرات موج نیز در آن لحاظ شود

.در این راستا پایان نامه آقای حاجی عرب[9] تنها حرکات رول کشتی را برای یک بارج صدمه دیده با زاویه برخورد موج 90 درجه تحلیل نموده است و به نتایج قابل قبولی دست یافته است.

در این پروژه برای یک کشتی صدمه دیده با ارائه برنامه کامپیوتری حرکات هیو، پیچ و رول به همزمان در زوایای مختلف مورد بررسی قرار می دهیم.

در فصل یک ضمن معرفی کلیات موج به معادلات حرکت کشتی سالم در موج منظم وچگونگی بدست آوردن ضرایب هیدرودینامیکی می پردازیم و معادلات را برای سه حرکت ذکر شده بدست خواهیم آورد.

در فصل دوم به توضیح مدل سازی ریاضی استفاده شده پرداخته خواهد شد و نیرو و ممانهایی را که ناشی از آبگرفتگی می باشد استخراج می گردد سپس معادلات بدست آمده را با احتساب نیروهای ناشی از آبگرفتگی حل خواهیم کرد.

فصل سوم چگونگی عملکرد و ورودی و خروجی ها و استفاده از نرم افزار نوشته شده را شرح می دهد.

مقدمه

در فصل چهارم با مقایسه با کار های قبلی و اجرای نتایج برنامه برای یک بارج به معتبر سازی برنامه نوشته شده خواهیم پرداخت.

با توجه به اهمیت موضوع گفته شده به خصوص در مورد یک کشتی نظامی سعی می شود که باتوجه به مولفه های خاصی که در مورد یک کشتی نظامی وجود دارد در مورد یک مثال از کشتی های نظامی حرکات گفته شده در حین صدمه دیدگی بررسی شود فصل پنجم به بدست آوردن نتایج برای نمونه یک کشتی نظامی می پردازد ضمن اینکه با گرفتن نتایج مختلف از برنامه به مقایسه آنها و نتیجه گیری می پردازد.

فصل ششم به نتیجه گیری و پیشنهادات اختصاص دارد.

فصل اول

موج و حرکات کشتی در امواج منظم

در بررسی رفتار کشتی صدمه دیده اولین گام بررسی رفتار کشتی سالم در موج است بنابراین این فصل به تشریح حرکات کشتی در امواج منظم می پردازد تا مبنایی برای حالت صدمه دیده قرار بگیرد .

حرکات کشتی در موج ترکیبی از حرکات انتقالی و دورانی بوده که بسیار پیچیده به نظر می آیند . با این حال می توان با استفاده از معادلات حرکت، اصول تئوری حرکات کشتی در دریا را شکل داد و در تحلیل کیفی و کمی این حرکات از آن استفاده نمود .

کشتی بعنوان یک جسم صلب فرض می شود و حرکات کشتی در مرکز ثقل آن تعریف می گردند . یک جسم صلب دارای شش درجه آزادی است که این درجات آزادی را می توان به صورت ترکیبی از سه حرکت انتقالی (سرج[1] ، سووی[2] و هیو[3]) و سه حرکت دورانی (رول[4] ، پیچ[5] و یاو[6]) در نظر گرفت .

فرض بر آن است که سهم نیروهای ناشی از ویسکوزیته آب در مقابل نیروهای ثقلی ناچیز است ، بنابراین سیال پتانسیل در نظر گرفته می شود ،به همین دلیل در بسیاری از محاسبات صنعتی و آکادمیک ، تئوری خطی ، روش غالب محاسباتی می باشد .

1 . 1- موج

امواج همواره باعث اعمال بارهای متناوب برکشتی ها می شوند . جهت درک این نیرو ها به درک درستی از فیزیک امواج دریا نیازمندیم. لذا قبل از وارد شدن به بحث رفتار شناور در موج ، لازم است ابتدا موج و ویژگی های آن مورد شناسایی و بررسی قرار گیرند.

---

[1] Surge
[2] Sway
[3] Heave
[4] Roll
[5] Pitch
[6] Yaw

موج و حرکات کشتی در امواج منظم

کشتی ها هیچگاه در معرض امواج منظم قرار نمی گیرند و همیشه وضعیت امواج دریا به صورت نا منظم است . با این حال مطالعه حرکات کشتی در اینگونه امواج درک خوبی از مشخصه و کیفیت اینگونه حرکات فراهم می آورد که قابل تعمیم به حرکات کشتی در امواج نامنظم می باشد . در این بخش نیز بطور خلاصه به به معرفی کلیات امواج منظم می پردازیم .

1. 1. 1- ایجاد امواج

مهمترین امواج دریا ، آن دسته امواجی هستند که در اثر وزش باد بر سطح دریا بوجود می آیند.امواج دیگری هم وجود دارند که در حالت کلی اهمیت چندانی ندارند و تنها در بعضی موارد خاص تاثیر آنها مهم می باشد.

چگونگی ایجاد امواج به وسیله باد ، مساله چند ان ساده ای نیست و نیاز به تفضیل فراوان دارد . اما بطور مختصر می توان بیان داشت که وزش باد بر سطح آرام آب باعث ایجاد موجچه (Ripple)می شود که این موجچه ها در جهت وزش باد در سطح آب انتقال می یابند و اگر وسعت سطح آب به اندازه کافی باشد موجچه ها به مرور بزرگتر شده و به حدی می رسند که می توان آنها را موج نامید .در این اثنا وزش باد باعث ایجاد موجچه های جدیدی بر روی سطح امواج مذکور می گردد . وضعیت فوق ادامه پیدا کرده و امواج را شکل می دهند . سه مرحله را در شکل گیری موج توسط باد می توان تفکیک نمود . دوره رشد (Growth) که از موجچه شروع شده تا به یک موج به ارتفاع نسبتا پایدار می رسد. دوره توسعه (Developed)، در این دوره ارتفاع متوسطه موج تقریبا ثابت است.این دوره در حدود 2 ساعت تا 2 روز ادامه خواهد داشت . دوره میرایی (Decay) در این دوره بدلیل از بین رفتن باد به مرور زمان امواج مستهلک شده و سطح دریا به حالت پایدار بدون موج می رسد. امواجی که بر اثر وزش باد در سطح آب بوجود می آیند را می توان به دو دسته تقسیم کرد: الف- امواج محلی که توسط باد های محلی تولید می شوند و امواج دوراً(Swell)که امواجی هستند که از محل تولید موج توسط باد گریخته اند و به منطقه دیگری رسیده اند.

در حالت کلی ، همه امواج نا منظم یک منطقه ، جمع آثار امواج محلی و دوراً در آن منطقه هستند.برای مدل کردن چنین امواج پیچیده ای ، می توان آنها را حاصل جمع امواج منظم در نظر گرفت.

تئوریهای ریاضی مختلفی ما نند تئوری تابع جریان[1] ، استوکس[2]، ایری[3] و کنوئیدال[1] برای تعریف امواج منظم وجود دارند که دارای دقتهای متفاوتی هستند و ساده ترین آنها تئوری ایری یا موج سینوسی می باشد. در این تئوری از

[1] Stream Function
[2] Stocks
[3] Airy

خواص غیر خطی امواج صرف نظر شده است و از جمع امواج منظم می توان امواج نا منظم را بدست آورد برای تحلیل حرکت کشتی در موج از تئوری موج سینوسی یا همان تئوری ایری استفاده می کنیم .

1. 1. 2- موج منظم

همان طور که اشاره شد ، امواج دریا معمولا نا منظم هستند و طبیعتی تصادفی دارند . هیچ دو موجی دارای ارتفاع کاملا مساوی نیستند و با سرعتهای متفاوت و در جهات مختلف در سطح آب حرکت می کنند . بررسی و تحلیل رفتار این امواج با توجه به ماهیت پیچیده آنها امری بسیار دشوار است لذا به منظور ساده سازی مسئله و عملی ساختن امکان بررسی این امواج ، آنها را مجموعه ای از امواج منظم در نظر می گیرند و بدین ترتیب می توان با تحلیل رفتار امواج منظم تشکیل دهنده یک موج نا منظم ، به بررسی آن موج پرداخت .

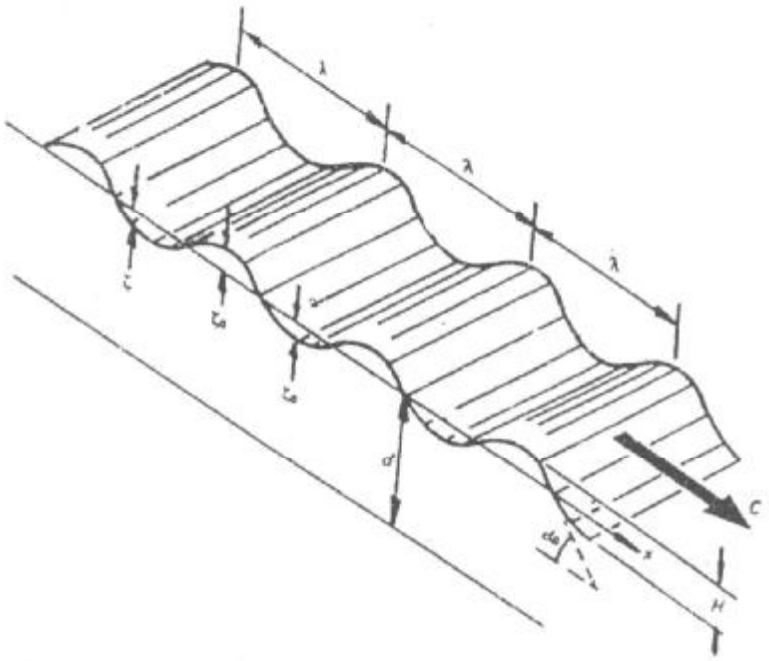
امواج منظم بندرت در اقیانوسها و دریاها بوجود می آیند، و عمدتا در آزمایشگاهها امکان ایجاد آنها وجود دارد. ولی به کمک شناخت صحیح از رفتار موج منظم به شناخت درستی از موج نا منظم می رسیم. همان طور که اشاره شد ، امواج نا منظم را می توان از اصل جمع آثار و با استفاده از امواج منظم مورد بررسی قرار دارد . بنابراین مشخصات این گونه از امواج بر حرکات شناورها مؤثر است ، هر چند که در واقعیت هیچگاه شناور با آنها برخورد نخواهد کرد . درک دقیق طبیعت امواج منظم و ارتباط آنها با حرکت شناور یک مبحث مهم در حرکت شناورها در دریا می باشد.

شکل 1. 1 یک رشته امواج منظم را که در سطح آب به عمق d در حال پیشروی هستند را نشان می دهد. امواج مذکور دو بعدی هستند ، بعبارت دیگر در جهت Z تغییراتی وجود ندارد و قله های امواج تا بینهایت ادامه دارند .

---

[1] Cnoydal

موج و حرکات کشتی در امواج منظم



شکل1. 1 : نمایش پارامترهای مهم موج

پارامترهای مهم برای بیان رفتار موج فوق عب ارتند از :

ζ : مقدار بالا آمدگی آب در هر نقطه ولحظه نسبت به خط صفر

z : دامنه موج (فاصله بین سطح آزاد در حالت سکون با قله یا قعر موج)

H: ارتفاع موج که معادل است با دو برابر دامنه موج

λ: طول موج (فاصله افقی بین دو یا قعر متوالی)

C: سرعت فاز موج

T: دوره تناوب موج (زمان بوجود آمدن دو قله یا قعر متوالی)

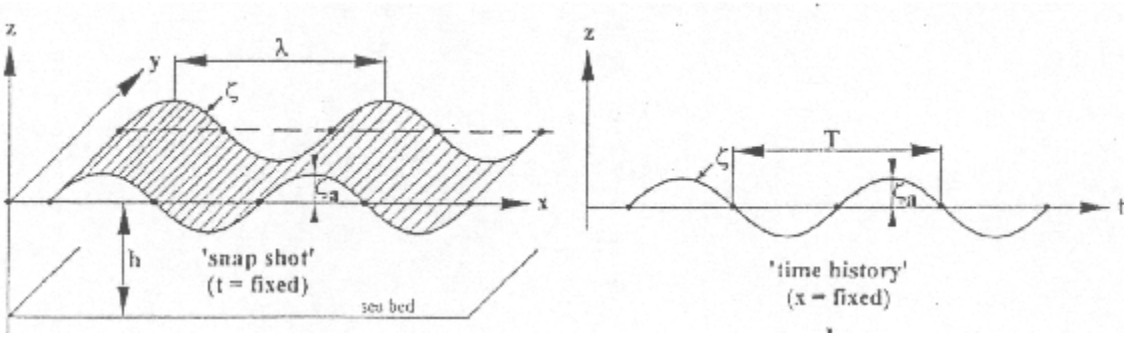
α: زاویه شیب لحظه ای موج (بر حسب را د یان)

$\frac{H}{l}$: تیزی موج

شکل1. 2 یک موج منظم را از دو نمای مختلف نشان می دهد. در نمای1،صحنه یک عکس از نمای جانبی موج را می توان مشاهده نمود. در این نما ،پروفیل موج به عنوان تابعی از مسافت X در طول جریان امواج در یک لحظه از زمان نشان

موج و حرکات کشتی در امواج منظم

داده شده است. نمای2 نیز ثبت زمانی پروفیل موج مشاهده شده در یک مکان خاص در طول زمان می باشد. همان طور که می توان دید،عمق آب (h) فاصله میان بستر دریا (Z=-h) و سطح آرام آب (Z=O) است.



نمای2 نمای1

شکل1، 2 : نمای عرضی یک موج منظم

مرتفع ترین نقطه موج ، قله و پست ترین نقطه موجود در آن قعر نامیده می شود. ارتفاع موج همیشه از طول موج کمتر است و نسبت بدون بعد ارتفاع موج به طول موج اغلب تیزی موج نامیده می شود. از آنجا که امواج سینوسی یا کسینوسی بر حسب آرگمانهای زاویه ای بیان می شوند، طول موج ودوره تناوب موج با عبارات زیر به زاویه تبدیل می شوند:

$$k = \frac{2p}{l} \qquad (1.1)$$

$$w = \frac{2p}{T} \qquad (2.1)$$

که در آنها K عدد موج (rad/m)و wفرکانس زاویه ای موج (rad/s) هستند.

بدیهی است که شکل موج در طی یک پریود به اندازه یک طول موج حرکت می کند بطوری که سرعت انتشار آن یا سرعت فاز (C) بصورت زیر بدست می آید:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{K} \qquad (3.1)$$

ذرات آب با این سرعت حرکت نمی کند بلکه شکل موج (قله ها و قعر های موج)با سرعت فاز (C) حرکت می کنند.

امواج فوق بطور منظم در سطح آب پیش می روند. هریک از نقاط روی موج با سرعت Cحرکت می کنند و همچنین l وTثابت باقی می مانند. اینطور بنظر می رسد که سطح موج مانند یک جسم صلب به جلو حرکت می کند.

اگر موج در جهت مثبت X حرکت نماید، پروفیل موج (شکل سطح آب) را می توان بصورت زیر بر حسب تابعی از دو و متغیر x و t بیان نمود :

$$z = z_a \cos(kx - wt) \qquad (4.1)$$

1. 1. 3- فرکانس برخورد

یکی از مشخصه های مهم موج فرکانس ω آن میباشد که معمولا نسبت به یک محور مختصات ثابت تعریف میشود.

با توجه به سرعت و حرکت شناور در موج، فرکانسی که امواج به شناور برخورد می کنند متفاوت از فرکانس موج می باشد که فرکانس برخورد (ω_e) خوانده میشود. در حقیقت اختلاف بین فرکانس امواج دریا (ω) و فرکانس برخورد(ω_e) ناشی از سرعت کشتی و جهت برخورد موج به کشتی می باشد

فرکانس برخورد از رابطه زیر بدست می آید

$$\omega_e = \omega - kV\cos\mu \qquad (6.1)$$

که در آن

w	:	فرکانس موج
k	:	عدد موج
V	:	سرعت کشتی
m	:	زاویه برخورد موج به کشتی

1. 2- دستگاه های مختصات

به عنوان اولین قدم در محاسبه حرکات کشتی ، ابتدا باید دستگاههای مختصات مورد استفاده را مشخص نمود . بدین منظور سه دستگاه مختصات در نظر گرفته می شود. البته قابل ذکر است که جهات دستگاههای مختصات ، قراردادی بوده بطوریکه در گزارشات و مقالات گوناگون ارائه شده ، جهات مختلفی برای دستگاههای مختصات در نظر گرفته شده است.[10]

1. 2. 1- دستگاه مختــصات اول

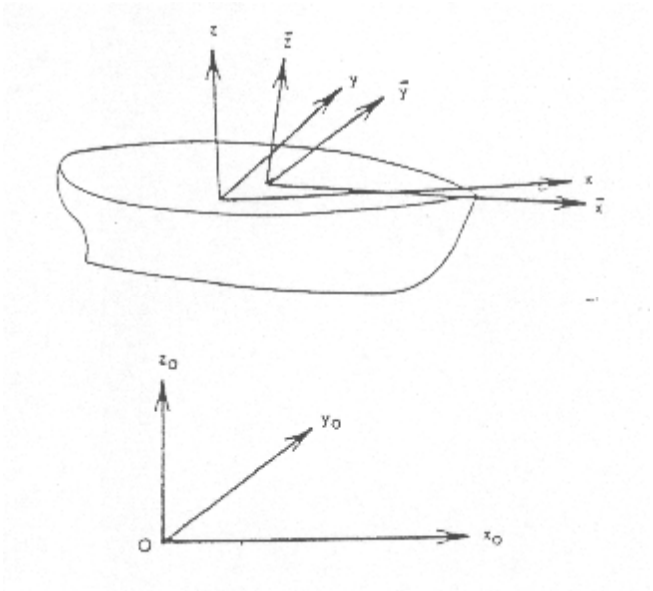
دستگاه مختصات مذکور بر روی زمین ثابت شده است . صفحه x_0y_0 آن منطبق بر صفحه آبخور کشتی در آب آرام می باشد. جهت مثبت محور آن در جهت سینه کشتی است و جهت محور y_0 آن عمود بر محور x_0 و به سمت چپ کشتی[1] و محور z_0 به سمت بالا مثبت می باشد.[10]

1. 2. 1- دستگاه مختصات دوم

این دستگاه مختصات بر روی مرکز ثقل کشتی و یا بدنه آن نصب شده و فقط با سرعت پیشروی (V) حرکت می کند . جهت مثبت محورهای x,y,z آن به ترتیب در راستای خط تقارن طولی کشتی و در جهت سینه آن ، در جهت سمت چپ کشتی و محور Z به سمت بالا می باشد .[10].

1. 2. 3- دستگاه مختصات سوم

این دستگاه مختصات متصل به بدنه کشتی می باشد و با همه حرکات کشتی جابجا می شود و یا دوران می یابد. جهت مثبت محور x آن به سمت سینه کشتی و محور y آن به سمت چپ کشتی و محور z آن به سمت بالا می باشد شکل 1. 3 سه دستگاه مختصات را نشان می دهد .[10]



شکل 1. 3 دستگاه های مختصات

[1] Port side

1. 3-معادلات حرکت شناور

نتیجه استفاده از تئوری خطی آن است که اگر امواج دریا به صورت سینوسی به کشتی وارد شوند ، حرکات کشتی نیز نوسانی ساده خواهد بود که فرکانس نوسان آن معادل فرکانس موج ایجاد کننده آن حرکت می شود . بنابراین پاسخ کشتی به موج سینوسی نیز تابع سینوسی به فرم زیر خواهد بود :

$$h_j(t) = |h_j| e^{iw_e t} \qquad j=1,2,\ldots,6 \qquad (7.1)$$

w_e : فرکانس برخورد

$|hj|$: دامنه حرکت کشتی در مد حرکتی j ام که به صورت عدد مختلط می باشد

بدین ترتیب ، با توجه به قانون دوم نیوتن ، معادله حرکت کشتی در دریا را می توان بصورت زیر نوشت :

$$\sum_{k=1}^{6} \Delta_{jk} \ddot{\eta}_k(t) = F_j(t) \qquad j=1,2,\ldots,6 \qquad (8.1)$$

این یک دستگاه معادله دیفرانسیل خطی وابسته با شش معادله دیفرانسیل می باشد .

J,k : معرف مدهای حرکتی کشتی

Δ_{jk} : ماتریس جرمی کشتی که شامل ممانهای اینرسی و پارامتر جرم کشتی است

$\eta_k(t)$: شتاب کشتی در مد حرکتی k ام

$F_j(t)$: کل نیروی وارده به کشتی در مد حرکتی j ام.

با خطی کردن معادلات حرکت ارائه شده در رابطه 1. 8 بسیاری از ترمهای Δ_{jk} صفر خواهند شد و این معادلات با توجه به تقارن طولی شناور به صورت زیر ساده می شوند :

$\Delta(\ddot{x}_1 + \overline{z_c}\ddot{x}_5) = F_1$	Surge	(9.1)
$\Delta(\ddot{x}_2 - \overline{z_c}\ddot{x}_4 + \overline{x_c}\ddot{x}_6) = F_2$	Sway	
$\Delta(\ddot{x}_3 + \overline{x_c}\ddot{x}_5) = F_3$	هیو	
$I_{44}\ddot{x}_4 + I_{46}\ddot{x}_6 + \Delta\overline{z_c}\ddot{x}_2 = F_4$	رول	
$I_{55}\ddot{x}_5 + \Delta(\overline{z_c}\ddot{x}_1 - \overline{x_c}\ddot{x}_3) = F_5$	پیچ	

$$I_{66}\ddot{\theta}_6 - I_{64}\ddot{\theta}_4 + \Delta\overline{x_c}\ddot{\theta}_2 = F_6 \qquad \text{Yaw}$$

که :

$F_j(t), j = 1,2,3$: نیروهای وارده به شناور در جهت های X,Y,Z

$F_j(t), j = 4,5,6$: ممانهای اعمال شده به شناور حول X,Y,Z که جهت آنها راستگرد می با شد

Δ : جرم شناور

$I_{jj}, j = 4,5,6$: ممان اینرسی جرمی حول محور های X,Y,Z

(x_c, o, z_c) : مختصات مرکز جرم شناور در سیستم مختصات X,Y,Zدر صورتیکه سیستم مختصات در نقطه ای غیر از مرکز ثقل کشتی قرار گیرد.

با مقایسه روابط با لا با رابطه 1. 8 ماتریس اینرسی را می توان بصورت زیر نوشت :

$$\begin{bmatrix} \Delta & 0 & 0 & 0 & +\Delta\overline{z_c} & 0 \\ 0 & \Delta & 0 & -\Delta\overline{z_c} & 0 & +\Delta\overline{x_c} \\ 0 & 0 & \Delta & 0 & -\Delta\overline{x_c} & 0 \\ 0 & -\Delta\overline{z_c} & 0 & I_{44} & 0 & -I_{46} \\ +\Delta\overline{z_c} & 0 & -\Delta\overline{x_c} & 0 & I_{55} & 0 \\ 0 & +\Delta\overline{x_c} & 0 & -I_{64} & 0 & I_{66} \end{bmatrix} \qquad (10.1)$$

همان طور که میدانیم ، بررسی حرکات شناور با شش درجه آزادی و با در نظر گرفتن برهمکنش هر شش حرکت بر روی یکدیگر بسیار پیچیده می نماید . از طرف دیگر بدلیل شکل خاص بدنه شناور و با توجه به ضرایب هیدرودینامیکی کشتی، غالباً بررسی حرکات شناور در دریا با در نظر گرفتن چهار حالت زیر انجام می شود :

- وابستگی حرکات هیو و پیچ .
- وابستگی حرکت هیو ، پیچ و سرج .
- وابستگی حرکات یاو ، اسوی و رول .
- وابستگی حرکات یاو ، اسوی .
- حرکت رول .

از میان پنج ترکیب حرکتی که به آنها اشاره شد ، برای بررسی حرکتهای شناور از ترکیب دو حرکت هیو و پیچ بعلاوه حرکت رول استفاده می شود که می توان آن را به با استفاده از مدلهای ریاضی ارائه شده در قسمت قبل بررسی کرد . [10]

1. 3. 1- معادله حرکت رول

در اینجا فرض می شود که خواننده با اصول اولیه و معادلات یک جرم نوسانگر با نیروی تحریک مشخص کاملاً آشنا بوده و نیازی به توضیح معادلات اولیه جسم نوسانگربه صورت جرم ، فنر و دمپر با نیروی تحریک وجود ندارد . بدین ترتیب با توجه به قانون دوم نیوتن و رابطه 1. 9 برای حرکت رول مستقل از حرکات دیگر شناور و با توجه به محور های مختصات گذرنده از مرکز جرم شناور خواهیم داشت :

$$a\ddot{\eta}_4 + B_{44}\dot{\eta}_4 + C_{44}\eta_4 = M_4 \qquad (11.1)$$

که در آن

a : ممان اینرسی جرمی حول محور X بعلاوه ممان جرم افزوده

B_{44} : ضریب دمپینگ برای حرکت رول

C_{44} : ضریب فنریت برای حرکت رول

M_4 : ممانهای تحریک حرکت رول وارده به شناور

با توجه به آنچه پیش از این گفته شد از ترکیب حرکات دیگر با حرکت رول در مورد یک کشتی سالم صرف نظر شده اما در ادامه تاثیر حرکات دیگر در صدمه دیدگی لحاظ خواهد شد .[1]

1. 3. 1. 1- ضریب ممان جرمی حرکت رول

همان طور که در رابطه 1. 11 مشاهده می شود ، ممان اینرسی جرمی برای حرکت رول شامل ممان اینرسی جرمی خود شناور به علاوه ممان اینرسی جرمی افزوده آن است . بدین ترتیب برای ممان جرمی کل شناور خواهیم داشت[1]:

$$a = I_{xx} + \delta I_{xx} = \frac{\Delta}{g}K_{xx}^{\ 2} + \frac{\Delta}{g}K'^{\ 2}_{xx} = \frac{\Delta}{g}\left(K_{xx}^{\ 2} + K'^{\ 2}_{xx}\right) = \frac{\Delta}{g}K''^{2}_{xx}$$

که در آن :

K_{xx} : شعاع ژیراسیون حرکت رول شناور حول محور X

K'_{xx} : شعاع ژیراسیون جرم افزوده حول محور X

K''_{xx} : شعاع ژیراسیون کل حول محو ر X

مقدار a را می توان به صورت تجربی یا با استفاده از روابط تحلیلی به دست آورد.

با توجه به مطالعات تئوری و تجربی انجام شده ، مشخص شده است که ممان اینرسی جرم افزوده برای حرکت رول در حدود 20 درصد ممان اینرسی خود شناور می باشد . بدین ترتیب زمانی که اطلاعات کافی برای محاسبه ممان اینرسی جرم افزوده شناور در حرکت رول وجود نداشته باشد می توان مقدار آن را در حدود 10 تا 20 در صد ممان اینرسی جرمی خود شناور در نظر گرفت . مقدار Kxx غالبا به صورت کسری از عرض شناور تعریف می شود که مقدار آن در حدود $0.33B \le K''_{xx} \le 0.45B$ می باشد و در آن B همان عرض شناور است[1] .

با توجه به مطالعات تجربی انجام شده در این زمینه دو فرمول تجربی برای محاسبه به دست آمده است که در ادامه آورده شده است [1].

1- برای شناورهای تجاری:

$$(\frac{k''_{xx}}{B}) = f[C_B C_u + 1.1C_u(1-C_B)(\frac{H_e}{T} - 2.20) + \frac{H_e^2}{B^2}] \qquad (12.1)$$

که در آن:

K''_{xx} : شعاع ژیراسیون واقعی شناور حول محور X گذرنده از مرکز جرم شناور.

C_B : ضریب ظرافت شناور

C_u : ضریب عرشه بالایی شناور که عبارت است از

(طول شناور در عرض شناور)/ (سطح عرشه شناور)

H_e : عمق موثر سازه شناور که عبارت است از

$$H_e = D + (A / L_{pp})$$

D : ارتفاع سازه بدنه شناور.

A : مساحت سطح عرضی تصویر شده سوپر استراکچر بالای عرشه اصلی

L_{pp} : طول بین دو عمود شناور.

T : آبخور شناور.

B : عرض شناور.

f : مقدار ثابت که به نوع شناور بستگی دارد و برای شناورهای

مسافربری و باربری مقدار آن معادل 125 /0

برای تانکر ها معادل 133/ ،

برای شناورهای صید نهنگ معادل 177 /0

برای شناورهای ماهیگیری معادل 2 / 0 است.

2- شناور های نظامی :

$$(\frac{k''_{xx}}{B}) = f[C_B C_u + 1.1C_e(1-C_B)(\frac{H_e}{d} - 2.20) + \frac{H_e^2}{B_u^2}] \qquad (13.1)$$

که در آن:

B : عرض شناور .

d : آبخور شناور .

B_u : بیشترین عرض زیر آب شناور .

C_e : ضریب عرشه بدون حفاظ

H_n : که عبارت است از

$$H_n = D + (A_n / L_{pp})$$

D : ارتفاع سازه بدنه شناور.

A : مساحت سطح عرضی تصویر شده forecastle ،زیرbridge و تسلیحات

L_{pp} : طول بین دو عمود شناور.

f : مقدار ثابت که به نوع شناور بستگی دارد و برای شناورهای

برای شناور های نظامی جنگنده 177 /0

برای شناور های نظامی گشتی ، ناوشکنها و اژدر افکنها 172 / 0

در اینجا باید خاطر نشان نمود با توجه به اینکه مقدار ممان اینرسی جرم افزوده در مقایسه با ممان اینرسی جرم خود شناور ناچیز می باشد ، لذا نیاز چندانی به محاسبه دقیق تر آن ، فراتر از مطالب ارائه شد ، نمی باشد .

1. 3. 1. 2- ضریب میرایی حرکت رول

نیروهای میرایی وارده بر شناور در طی حرکت رول بطور کلی در اثر هر یک از موارد زیر حاصل می شوند :

- پدیده تولید موج در اثر حرکت رول .
- اصطکاک بدنه شناور با آب یا پدیده ایجاد گرداب در اثر حرکت رول.
- نیروی میرایی حاصل از زوائد نسب شده بر روی بدنه به منظور کاهش رول مانند بیلج کیل و Skeg .
- اصطکاک بین شناور و هوا.
- هدر رفتن انرژی به صورت انرژی گرمایی تولید شده حاصل از حرکت رول .
- پدیده کشش سطحی آب .

اثرات موارد اول تا سوم که در بالا به آنها اشاره شد قابل توجه می باشند ولی اثرات موارد چهارم تا ششم مذکور چندان قابل توجه نیستند . همانند حرکات هیو و پیچ ، ضریب میرایی در حرکت رول نیز از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد[1] . ضریب میرایی B_{44} مربوط به مقاومت موج سازی شناور در طی حرکت رول می توان با استفاده از روش تئوری نواری به دست آورد . بدین ترتیب ضریب میرایی برای واحد طول شناور به صورت زیر خواهد بود[1] :

$$b = \frac{r g^{2}}{w_{e}^{3}} \left(\frac{B_{n}}{2} \right)^{2} \overline{A_{f}}^{2} \qquad (14.1)$$

که

$$\overline{A_{f}} = d_{f} \left(\frac{w_{e}^{2} B_{n}}{2g} \right)^{2}$$

که در آن

B_n : عرض هر مقطع از شناور

r : چگالی آب دریا

w_e : فرکانس موج بر خوردی به شناور

d_f : ضریبی است که مقدار آن با توجه به شکل 1. 4 و نسبت $S = \frac{B_n}{2T_n}$ برای هر مقطع مشخص می شود .