دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی

پایان نامه کارشناسی ارشد

آنالیز خستگی شناور به روش طیفی تحت اثر امواج دریا

نگارش

زراره حاج محمد اسماعیل نوری

شماره دانشجویی۸۲۱۳۰۲٤۷

استاد راهنما

دکتر محمد جواد کتابداری

استاد مشاور

دکتر محمد رضا خدمتی

زمستان ۱۳۸٤

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 و نام خانوادگي زراره حاج محمد اسماعيل نوري دانشجو آزاد ☒ بورسيه ☐ معادل ☐

شماره دانشجويي ۸۲۱۳۰۲۴۷ دانشكده : مهندسي كشتي سازي وصنايع دريايي رشته تحصيلي:معماري كشتي – سازه

نام و نام خانوادگي استاد راهنما : محمد جواد كتابداري

عنوان به فارسي : آناليز خستگي شناور به روش طيفي تحت اثر امواج دريا

عنوان به انگليسي : Spectral Fatigue Damage Analysis in the Ship

نوع پروژه :كارشناسي ارشد كاربردي ☒ بنيادي ☐ توسعه اي ☐ نظري ☐

تاريخ شروع: مهر ۱۳۸۴ تاريخ خاتمه: ۸۴/۱۲/۷ تعداد واحد : ۶

سازمان تامين كننده اعتبار : اداره كل تحقيقات و توسعه ستاد مشترک سپاه پاسداران انقلاب اسلامي

واژه هاي كليدي به فارسي : خستگي – روش طيفي – روش متعين – آناليز تنش – كشتي آلومينيومي

واژه هاي كليدي به انگليسي : Fatigue-Spectral method-Deterministic Method-Stress Analysis-Aluminum Ship

---

نظرها و پيشنهادها به منظور بهبود فعاليتهاي پژوهشي دانشگاه : اطلاع رساني بهتر در زمينه فعليت ها و پشتيباني هاي معاونت پژوهشي دانشگاه

استاد راهنما : محمد جواد كتابداري

دانشجو : زراره حاج محمد اسماعيل نوري

امضاء استاد راهنما : تاريخ : ۸۵/۶/۱۴

نسخه ۱:معاونت پژوهشي

نسخه ۲: كتابخانه و به انضمام دو جلد پايان نامه به منظور تسويه حساب با كتابخانه و مركز اسناد و مدارك علمي

فهرست مطالب

پیشگفتار ۱

مقدمه ۱
سوابق تاریخی ۲
تجربه کشتی آزادی ۳
خستگی در شناورها ۴

فصل اول ۵

نیروهای وارد بر شناورها ۵

انواع نیروهای وارد بر شناورها ۶
مکانیک امواج دریا ۹
تعریف پارامترهای موج ۱۰
امواج منظم ۱۱
امواج نامنظم ۱۲

فصل دوم ۱۷

آشنایی با پدیده خستگی ۱۷

مقدمه ۱۸
عوامل مؤثر بر خستگی ۱۹
نوسانات تنش ۱۹
پرداخت سطح ۲۰
تمرکز تنش ۲۱
تأثیر اندازه ۲۲
اثر افزایش ضخامت ۲۳
خوردگی ۲۳
تاریخچه تنش یا مجموع آسیب ها ۲۴
عمر خستگی ۲۵
منحنی S-N ۲۵
حد تحمل خستگی ۲۷
تنش های متغیر و نمودار بهینه گودمن ۳۰
مکانیزم های شکست ۳۱

قـــــدردانی

دانشجو، استاد راهنما و استاد مشاور به دلیل برخورداری از حمایت معنوی، هدف گذاری، پشتوانه های اطلاعاتی و مالی اداره کل تحقیقات و توسعه ستاد مشترک سپاه پاسداران انقلاب اسلامی برابر قرارداد پژوهشی شماره ۱۵/۳/۳۷۷۸ تاریخ ۸۳/۷/۶ در انجام این پایان نامه مراتب قدردانی خود را اعلام می دارد.

دانشجـــــــو: **زراره حاج محمد اسماعیل نوری** امضاء

استاد راهنما: **دکتر محمد جواد کتابداری** امضاء

استاد مشاور: **دکتر محمد رضا خدمتی** امضاء

تشکر و سپاسگزاری

بیش از یک سال از دوران با ارزش تحصیلات دانشگاهی خود را مشغول به تهیه، جمع آوری، ترجمه مطالب و انجام محاسبات و تحقیق جهت انجام این پایان نامه بوده ام. در تهیه و تألیف این پایان نامه از مساعدت و راهنمایی های بی وقفه و موثر استاد محترم جناب آقای دکتر کتابداری بهره برده ام که جا دارد از ایشان کمال تشکر و قدردانی را نمایم. مطمئنا بدون راهنمایی ها و دلگرمی های ایشان این پروژه با این کیفیت به ثمر نمی رسید. از خانواده عزیزم خصوصاً همسر مهربانم به خاطر تشویق ها و همراهی هایشان و اینکه همواره شرایط مناسب را برای انجام این پایان نامه مهیا نموده و نقش بسیار مهمی در پیشبرد کیفی و کمی آن داشته اند تشکر می نمایم. در این میان نقش استاد مشاور پروژه جناب آقای دکتر خدمتی نیز قابل تقدیر است. در پایان از تمامی دوستانی که مر ا در تهیه و تألیف این پایان نامه یاری و تشویق نموده اند صمیمانه متشکرم و برای همه آنها آرزوی موفقیت دارم.

زراره نوری

nouri1360@yahoo.com

زمستان ۱۳۸۴

چکیده

در این پایان نامه با توجه به اهمیت پدیده خستگی در طراحی سازه ها به معرفی روش های مختلف آنالیز خستگی، خصوصاً روش های آنالیز خستگی در شناور ها پرداخته شده است. جهت مطالعه موردی و مقایسه روش های توصیف شده، طول عمر خستگی یک شناور کروبوت[1] آلومینیومی به دو روش بر اساس طیف امواج خلیج فارس و آیین نامه ABS محاسبه گردیده است. روند کار به این صورت بوده که ابتدا مدل کل شناور را تحت اثر بارهای وارد بر آن به کمک نرم افزار مسترو[2] آنالیز عمومی[3] نموده و سپس به وسیله روش های بهبود مش بندی[4] و برون یابی خطی تنش، تنش های نقاط تمرکز تنش را محاسبه می نماییم. در کل ۳۳۶ حالت بارگذاری مختلف آنالیز گردیده و نتایج تمرکز تنش در یک محل که آمادگی بیشتری برای شکست داشته است بوسیله منحنی S-N آلیاژ ۱۱۶-۵۰۸۶ آلومینیوم به دو روش مورد بررسی قرار گرفته و عمر خستگی آن محاسبه گردیده و در انتها مقایسه ای بین روش های آنالیز متعین و روش طیفی کاهش یافته صورت گرفته است. یکی از نتایج بدست آمده این بود که عامل عمده ایجاد خستگی، موج های با ارتفاع متوسط هستند. زیرا امواج کم ارتفاع علی رغم تعداد زیاد چرخه، تغییرات تنش اندک ایجاد می کنند و از طرفی موج های مرتفع که می توانند تغییرات تنش بالاتری در اتصالات سازه ایجاد نمایند دارای تعداد چرخه محدودی هستند.

کلمات کلیدی: خستگی - روش طیفی – روش متعین - آنالیز تنش – کشتی آلومینیومی

[1] Crew boat
[2] MAESTRO
[3] Global Analysis
[4] Mesh Refinement

علائم و نشانه ها

A : ضریب تابع نمایی منحنی S-N

d : عمق آب [m]

D : آسیب خستگی

f : فرکانس [1/s]

g : شتاب گرانش برابر با ۹,۸۱ [m/s^2]

L : طول موج [m]

m : توان در تابع نمایی منحنی S-N

m_n : ممان n ام طیف محدوده تنش

N : تعداد چرخه منجر به شکست در منحنی S-N

N_T : تعداد کل چرخه های وارد بر سازه

$p(s)$: تابع احتمال

S : محدوده تنش [MPa]

T : پریود [s]

V : سرعت کشتی [m/s]

ε : پارامتر پهنای باند

λ : ضریب اصلاح ویرچینگ

μ : زاویه برخورد کشتی و موج

ω_e : فرکانس برخورد کشتی و موج [rad/s]

ω_i : فرکانس زاویه ای [rad/s]

رشد ترک ۳۱
تحلیل گسیختگی ۳۴
بهبود ساخت جهت کاهش خستگی در کشتی ها ۳۸
کاهش ضریب جوش ۳۹
کاهش ضریب تمرکز تنش ۳۹
کاهش تنش اسمی ۳۹
مشخصات پیشنهادی جهت کاهش ضرایب تمرکز تنش ۳۹
دقت در استفاده از فولاد مقاومت بالا ۳۹

فصل سوم **۴۳**

معرفی روش های آنالیز خستگی مبتنی بر منحنی تنش - چرخه **۴۳**

مقدمه ۴۴
روش ساده شده ۴۴
روش متعین ۴۵
روش طیفی ۴۵
روش طیفی کامل ۴۶
روش طیفی مستقیم (توزیع ویبول) ۵۰
روش طیفی کاهش یافته ۵۲
روش تاریخچه زمانی ۵۳
معرفی روش های آنالیز خستگی طبق آیین نامه های DNV و ABS ۵۳
تعریف ها ۵۳
برآورد مقاومت خستگی بر اساس منحنی های S-N ۵۵

فصل چهارم **۶۷**

معرفی مدل استفاده شده در آنالیز خستگی **۶۷**

مقدمه ۶۸
معرفی نرم افزار آنالیز ۶۸
آشنایی با نرم افزار مسترو ۶۸
مشخصات شناور ۷۵
مدل سازی ۷۷
مشخصات مواد ۷۹
بهبود مش بندی ۸۲
شرایط تکیه گاهی ۸۷
آنالیز مودال ۸۹
بارگذاری ۹۶

فصل پنجم **۱۰۸**

آنالیز تنش **۱۰۸**

مقدمه ۱۰۹
آنالیز تنش عمومی مدل ۱۰۹
آنالیز تنش منطقه ای مدل ۱۱۹
محاسبه تنش در نقاط تمرکز تنش ۱۲۰

فصل ششم ۱۳۵

نتایج و پیشنهادات جهت ادامه کار ۱۳۵

مقدمه ۱۳۶
آنالیز خستگی به روش متعین ۱۳۶
آنالیز خستگی به روش طیفی ۱۴۰
نتیجه گیری ۱۴۳
پیشنهادات جهت ادامه کار ۱۴۴

مراجع ۱۴۵

پیشگفتار

مقدمه

پدیده شکست ناشی از خستگی در اجسام یکی از عمده ترین مسایلی است که انسان از زمان ساختن ساده ترین ابزارها با آن مواجه بوده و به دلیل پیشرفت تکنولوژی در عصر حاضر این مسئله از اهمیت بیشتری نسبت به گذشته برخوردار می باشد. علیرغم پیشرفت های چشمگیر در زمینه مکانیک شکست و تئوری های خستگی طی سالهای پس از جنگ جهانی دوم، نا دانسته های بسیاری همچنان باقی مانده که انگیزه محققان را برای انجام تلاشهای بیشتر فراهم آورده است. در واقع گسیختگی ناگهانی بسیاری از تجهیزات و سازه های صنعتی ، نه تنها عواقب جانی ناگواری را در پی دارد بلکه ضرر های چشمگیر اقتصادی را نیز فراهم می آورد.

به طور کلی حالات اصلی خرابی سازه عبارتند از:

۱- تنش تسلیم یا پلاستیک

۲- کمانش

۳- شکست

۴- خزش

۵- خوردگی

۶- خستگی

با کنترل حالت های اول و دوم خرابی از صحت عملکرد سازه شناور پس از ساخت اطمینان حاصل می گردد ولی با کنترل حالت های دیگر به خصوص خستگی طول عمر کاربری سازه شناور ها کنترل و محاسبه می شود. در نتیجه شناور اقتصادی تر و قابل اعتماد تر مورد بهره برداری قرار می گیرد.

خستگی یکی از حالات واماندگی سازه ها می باشد. تجربیات به دست آمده و نیز نتایج آزمایشات ثابت کرده اند که یک فلز هر گاه به دفعات مکرر تحت اثر تغییرات تنش حتی نسبتاً کوچک نیز قرار بگیرد، ممکن است دچار گسیختگی شود.

تحقیقات اخیر [۷] نشان داده است که قیمت ضرر های ناشی از شکست های ناگهانی در ایالات متحده امریکا در سال ۱۹۷۸ بالغ بر ۱۱۹ میلیارد دلار گردیده که در حدود ۴٪ تولید ناخالص ملی این کشور را تشکیل می دهد. این

مطالعات پیش بینی نموده است که اگر تکنولوژی پیشرفته زمان حاضر در این صنایع استفاده می شد می توانست حدود ۳۵ میلیارد دلار و در صورت بهره گیری از نتایج و تحقیقات بیشتر در این زمینه حدود ۲۸ میلیارد دلار دیگر صرفه جویی اقتصادی را در پی داشته باشد.

علت شکست در اکثر سازه ها در یکی از دو دلیل زیر نهفته است:

۱- نادیده گرفتن برخی عوامل طراحی نظیر عدم رعایت استاندارد و خطا در محاسبات ، بی دقتی در ساخت و مونتاژ در کارگاه و استفاده از مواد غیر استاندارد و بالاخره عدم بازرسی مداوم از وضعیت سازه.

۲- استفاده از مواد جدید و روشهای طراحی نو که منجر به پیامدهای غیر منتظره می گردد. مواد جدید ممکن است از استحکام بالاتر و وزن کمتر برخوردار باشند ولی در صورتی که بدون انجام آزمایشات مکانیکی لازم نظیر کشش ، فشار، خزش و خستگی در شرایط مختلف کاری به کار گرفته شوند منجر به رفتارهای پیش بینی نشده خواهد شد.

سوابق تاریخی

از دیرباز سازه ها حتی الامکان به نحوی طرح می شدند که دیرتر شکست بخورند. بسیاری از سازه های مصریان، رومیان، ایرانیان باستان و بناهایی که در دوره رنسانس در اروپا ساخته شده همچنان پابرجا هستند که از نظر علم مهندسی جدید تحسین برانگیز می باشند.

از آنجا که دانش مکانیک قبل از نیوتن محدود بود، ساخت بناهای تاریخی با طراحی موفق مستلزم سعی و خطاهای بسیاری بوده است. در روم باستان پس از احداث هر پل جدید، از طراح آن خواسته می شد که زیر پل بماند تا ارابه های سنگین از روی پل عبور کنند.

قبل از انقلاب صنعتی مواد بکار رفته در سازه ها معمولا محدود به الوار های چوب، آجر و ساروج بود. به دلیل محدودیت طول الوار های چوبی، مواد عمده در ساخت ساختمانهای مرتفع را آجر تشکیل می داد که عمدتاً شکننده است و بار کششی زیادی را تحمل نمی کند. لذا سازه های قبل از انقلاب صنعتی عموما برای تحمل بارهای فشاری طراحی می شد. حالت قوسی پل ها باعث ایجاد تنش های فشاری در آنها می گردد. شکل قوسی در اغلب سازه های قدیمی ایرانی از قبیل سقف های گنبدی نیز فراوان دیده می شود.

انقلاب صنعتی دگرگونی عظیمی در مواد به کار رفته در سازه ها را به وجود آورد و آن استفاده از آهن و فولاد بود. به عبارت دیگر شاید تولید انبوه فولاد منجر به انقلاب صنعتی شد. استفاده از فولاد در سازه های صنعتی این امکان را به وجود آورد که بتوان از قابلیت کششی مواد نیز استفاده کرد. با وجود این تغییر مواد در سازه از آجر و ساروج به فولاد گاهی منجر به شکست های پیش بینی نشده می شد. به دلیل عدم شناخت دقیق پدیده شکست در این گونه سازه ها، طراحان معمولاً از ضریب اطمینان بالایی در حدود ده برابر تنش گسیختگی استفاده می کردند.

تجربه کشتی آزادی[1]

به دلیل حوادثی که طی سال های جنگ دوم جهانی برای کشتی های آزادی به وجود آمد، مکانیک شکست از یک موضوع علمی صرفاً آکادمیک به صورت یک نظم مهندسی در آمد. در روزهای اول جنگ دوم جهانی، ایالات متحده آمریکا در چهار چوب قرار داد لندلیز[2] مبادرت به ارسال کشتی و هواپیما به بریتانیا نمود. این کشتی ها با مدیریت مهندس معروف آمریکایی، هنری کیزر[3] که پیشتر سد هوور[4] را طراحی کرده بود، ساخته شد. وی با به کارگیری از یک روش جدید برای ساخت این کشتی ها، برای اتصال بدنه اصلی کشتی از جوش کاری استفاده نمود که قبلاً این امر با اتصالات پرچ انجام می شد. به کارگیری این روش باعث کاهش چشم گیر در زمان ساخت کشتی ها شد. این موفقیت سر و صدای زیادی را به وجود آورد، تا این که در سال ۱۹۴۳، هنگامی که کشتی آزادی بین سیبری و آلاسکا در حرکت بود به دو نیم تقسیم شد. شکست های بعدی در بسیاری از بدنه های دیگر کشتی های آزادی در فاصله زمانی کوتاهی اتفاق افتاد به طوری که از ۲۷۰۰ کشتی آزادی، حدود۴۰۰ کشتی دچار شکست در بدنه شدند که بین آنها ۹۰ کشتی دچار صدمه جدی، ۲۰ کشتی شکست کلی و ۱۰ کشتی به دو نیم تقسیم شدند. تحقیقات بعدی نشان داد که علل اساسی شکست ناشی از عوامل زیر بود:

- جوشکاری توسط افراد نیمه ماهر انجام شده بود و ترک های ریز در قسمت های جوش شده باقی مانده بودند.
- اکثر شکست ها از نواحی اتصالات گوشه ای که دارای تمرکز تنش زیادی بودند، شروع شده بود.
- فولاد به کار رفته برای ساخت کشتی های آزادی از چقرمگی[5] کمی برخوردار بوده است.

---

[1] Liberty
[2] Lend – Lease ACT
[3] Henry Kaiser
[4] Hoover Dam
[5] Toughness

اگر در ساخت این کشتی ها با حفظ همان نوع فولاد از اتصالات پرچ شده استفاده می شد، عملاً امکان گسترش ترک از بین می رفت. اتصالات جوش شده در واقع پیکره واحدی را تشکیل می دهد و ترکی که از ناحیه خاصی شروع می شود در شرایط بحرانی بدون توقف به سرعت گسترش می یابد. در برخی از کشتی های آزادی گسترش ترک باعث دو نیم شدن کشتی در جهت عرضی شد. پس از وقوع حوادث فوق، در کشتی های بعدی از قطعات تقویتی استفاده شد که به نواحی دارای تمرکز تنش پرچ می شدند و نقش متوقف کننده ترک [1] را ایفا می کردند.

در سال های بعد، در ساخت سازه های فلزی از فولاد های با چقرمگی بالا استفاده شد و استانداردهای کنترل کیفی نیز به طور جدی رعایت گردید.

خستگی در شناورها

شناور ها در طول عمر بهره برداری خود در معرض طیف وسیعی از امواج قرار دارند که باعث ایجاد تعداد زیادی سیکل بارگذاری می گردد. ضمن اینکه فاز و زاویه برخورد این امواج موجب تغییرات شدید تنش در شناور مانند حالت های Hogging و Sagging می شود. معمولاً عامل عمده ایجاد خستگی، موج های با ارتفاع متوسط هستند زیرا امواج کم ارتفاع علی رغم تعداد زیاد، تغییرات تنش اندک ایجاد می کنند و از طرفی موج های مرتفع که می توانند تغییرات تنش قابل ملاحظه ای در اتصالات سازه ایجاد نمایند دارای تعداد چرخه محدودی می باشند. به دلیل پیچیدگی های هندسی اتصال و تمرکز تنش های زیادی که در آن وجود دارد، اتصالات مهمترین محل ایجاد و رشد ترک های خستگی بوده و از این حیث دارای اهمیت ویژه ای می باشند.

پیشرفت های اخیر در آنالیز سازه ای از قبیل روش المان محدود، توانایی بشر در مدل واقعی تر کشتی تحت اثر نیروهای مختلف خصوصاً موج را به طور چشمگیری گسترش داده است. نرم افزار مسترو به عنوان اولین و کامل ترین نرم افزار تخصصی طراحی سازه ای شناور ها می باشد که با استفاده از روش المان محدود و قابلیت های متنوع دیگر از قبیل بارگذاری امواج راه را برای تحقیقات بیشتر هموار نموده است.

[1] Crack arrester

فصل اول

نیروهای وارد بر شناورها

- انواع نیروهای وارد بر شناورها
- نیروهای منشأ خستگی
- مکانیک امواج دریا

انواع نیروهای وارد بر شناورها

نیروهای وارد بر شناورها به دو گروه اساسی نیروهای ناشی از آب آرام و نیروهای ناشی از حرکت کشتی در دریا تقسیم می شوند [۲۶]. همان طور که در شکل (۱-۱) مشاهده می نمایید نیروهای ناشی از آب آرام شامل بارها، وزن سازه کشتی و فشار هیدرواستاتیک وارد بر بدنه کشتی می باشد که قسمت اعظم تنش ناشی از خمش طولی شناور را تشکیل می دهد. توزیع وزن در حالت آب آرام و حالت حرکت کشتی در دریا یکسان می باشد. تفاوت این دو حالت در تغییر توزیع نیروی شناوری و نیروهای اینرسی وارد بر اجرام ناشی از شتاب حرکات کشتی است. در آنالیز شبه استاتیکی از نیروهای اینرسی صرف نظر شده و فرض می گردد کشتی نسبت به پروفیل موج در تعادل قرار دارد. در فصل چهارم اعتبار آنالیز شبه استاتیکی در مطالعه موردی این پایان نامه به وسیله آنالیز مودال بررسی می شود. همانطور که در شکل (۲-۱) مشاهده می فرمایید علت اصلی تغییرات تنش و خستگی در سازه کشتی عبور پروفیل موج و ایجاد حالت های Hogging و Sagging و ضربه موج می باشد. البته در این پایان نامه تنها اثر عبور پروفیل موج در تغییرات ممان خمشی بررسی شده است.

طبق تعریف انجمن سازه ای کشتی[1] در مرجع [۱۷] نیروهای وارد بر کشتی ها که به طور معمول در آنالیز سازه ای به کار می رود عبارتند از:

۱- نیروهای شاه تیر اصلی شامل اثر موج و شرایط آب آرام در شاه تیر اصلی

۲- نیروی هیدرواستاتیک ناشی از فشار آب دریا بر روی سطح خیس کشتی و همچنین فشار آب مخازن داخل کشتی

۳- نیرو های هیدرودینامیکی شامل حرکت آب داخل مخازن، خیسی عرشه در اثر موج، ضربه سینه[2] و از این دسته نیروها

۴- بار زنده مانند بار گسترده بر روی عرشه ناشی از عبور و مرور افراد و وسایل نقلیه، فرود و برخاست هواپیما و ...

۵- بار مرده شامل وزن سازه و تجهیزات

۶- نیروهای ناشی از حرکات کشتی، شامل نیروهای اینرسی وارد بر کشتی

۷- نیروهای شوک ناشی از شتاب ها، سرعت ها و جابجایی های وارد بر تجهیزات و ماشین آلات

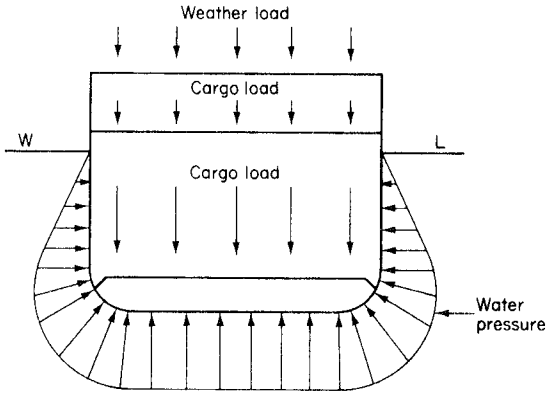
[1] Ship Structure Committee (SSC)
[2] Slamming

۸- نیروهای ناشی از شلیک گلوله و موشک در کشتی های نظامی

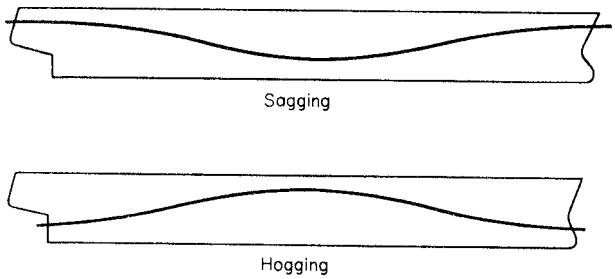
۹- نیروهای ارتعاشی ناشی از ارتعاش پروانه، ماشین آلات، ضربه سینه و ...

۱۰- نیروهای حرارتی شامل تابش خورشید، حرارت ناشی از ماشین آلات و ...

۱۱- نیروهای محیطی، بارهای ناشی از باد، برف و ضربه یخ



شکل ۱-۱ نیروهای وارد بر یک کشتی ناشی از آب آرام



شکل ۲-۱ حالت های کشتی در اثر عبور پروفیل موج

نیروهای منشأ خستگی

طبق مرجع [۱۷] نیروهای چرخه ای مسبب خستگی در کشتی های تجاری به صورت زیر تقسیم بندی می شوند:

جدول ۱-۱ دسته بندی نیروهای منشأ خستگی در شناورها

Load Category	Reversals During Life
Low frequency, wave induced	10^7 - 10^8
High frequency, wave induced	10^6
Still water	300 - 500
Thermal	7000

لازم به ذکر است نیروهای با فرکانس پایین ناشی از موج به صورت شبه استاتیکی در نظر گرفته می شوند در حالی که نیروهای با فرکانس بالای ناشی از موج مانند کوبش را باید به صورت دینامیکی آنالیز نمود.

منظور از بار ناشی از سطح آب آرام تغییر در میزان یا توزیع بار شناور مانند مصرف سوخت یا تغییر آب بالاست و همچنین تغییر در الگوی بارگذاری می باشد. تنش های حرارتی در کشتی ها به علت وجود گرادیان دمای غیر یکنواخت مانند تغییرات جوی و تابش مستقیم نور خورشید ایجاد می گردد. در نتیجه تنش های حرارتی به صورت روزانه تغییر می کنند.

به طور خلاصه جهت آنالیز خستگی شناورها نیروها و بارگذاری های زیر باید در نظر گرفته شوند:

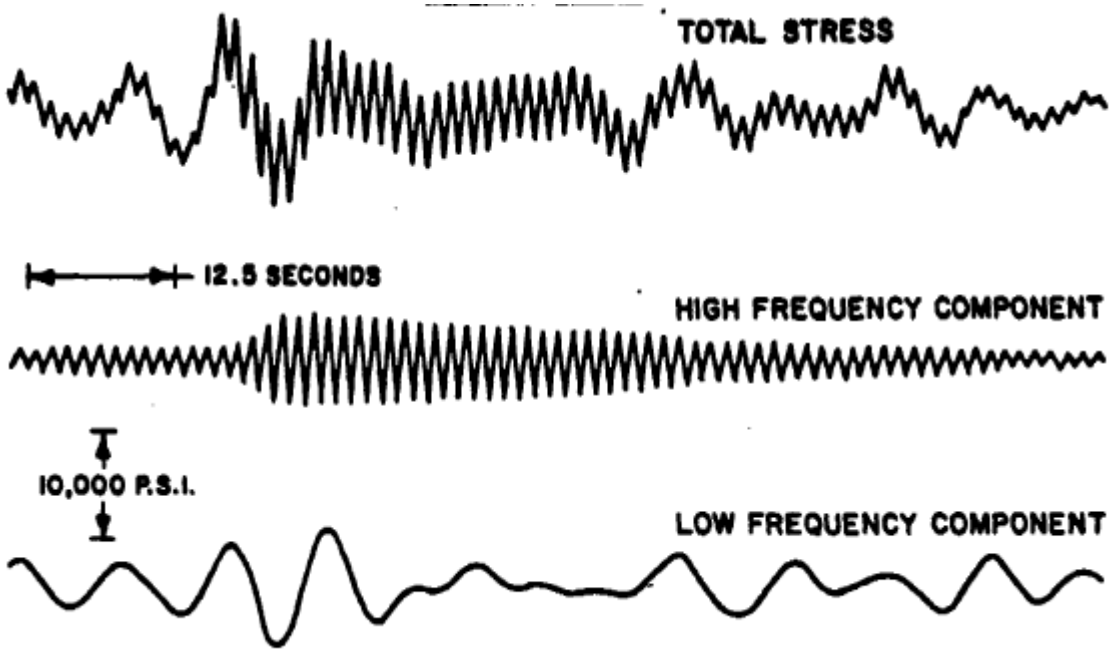
۱- نیروهای ناشی از ممان خمشی بدنه شناور

۲- نیروهای ناشی از تغییرات فشار بر سطح بدنه

۳- بارگیری و تخلیه بار شناور

۴- تأثیرات ناشی از تغییر سطح آب آرام

طبق تجربه موارد اول و دوم بسیار موثرتر از سایر موارد هستند [۱۷]. در شکل ۳-۱ نمونه ای از تفکیک تنش های فرکانس بالا و فرکانس پایین وارد بر شناور را مشاهده می نمایید.



شکل ۳-۱ نمونه ای از تفکیک تنش های فرکانس بالا و فرکانس پایین وارد بر شناور

مکانیک امواج دریا

به دلیل اهمیت نیروهای ناشی از امواج در ایجاد تغییرات تنش و در نتیجه آسیب خستگی این بخش به بررسی مکانیک امواج دریا اختصاص یافته است. موج، نوسان سطحی رویه سیال است. امواج ثقلی در مرز بین دو سیال با جرم حجمی های متفاوت (آب و هوا) به وجود می آیند و مکانیزم حرکتی آنها بر اثر تبدیل اینرسی سیال به انرژی پتانسیل و بالعکس است. امواج دریا به شکل نامنظم و هر کدام با شکلی متفاوت به پیش می روند. امواج سطحی دریاها عمدتاً توسط باد تولید می شوند و معمولاً دوره تناوب بین ۳ تا ۲۵ ثانیه دارند. این امواج هستند که ویژگی های ظاهری اصلی مناطق ساحلی را شکل می دهند. دیگر امواجی که در اقیانوس ها مشاهده می شوند عمدتاً شامل امواج درونی، جزر و مدی و امواج لبه ای هستند. از دیدگاه تئوری، امواج به دو قسمت اصلی منظم و غیر منظم تقسیم می شوند. در قسمت امواج منظم سعی می شود به طور مختصر مکانیک امواج با پریود و ارتفاع ثابت بیان شود. در قسمت امواج نامنظم سعی بر این است تا روش های آماری برای آنالیز امواج نامنظم که به واقعیت نزدیکتر هستند (امواجی که ممکن است پریود و ارتفاع متغیر داشته باشند)، تشریح شود.

در نگاه به سطح دریا، سه بعدی بودن و نامنظم بودن آن به چشم می خورد. در حال حاضر این شرایط غیر دائمی و سه بعدی به صورت کامل با تمام پیچیدگی هایش قابل توصیف نیست. در عمل شرایط سطح آب به صورت دو

بعدی مدل می شود که این مساله برای امواج کاملاً توسعه یافته و دورآ تقریباً صادق است و برای امواج محلی صادق نمی باشد.

تعریف پارامترهای موج

هر موج گرانشی سطحی منتشره بر روی بستر افقی، به طور کامل با ارتفاع موج (H)، طول موج (L) و عمق متوسط آب (d) تعریف می شود. عمق متوسط آب در این تعریف فاصله از کف تا سطح تراز آب دریاست. قله (اوج) موج به بالاترین نقطه موج و قعر (حضیض) به پست ترین نقطه موج اطلاق می شود. طول موج نیز فاصله دو قله متوالی است.

بلندی قله موج از سطح تراز دریا، دامنه مثبت و فاصله عمودی قعر موج از سطح تراز آب، دامنه منفی نامیده می شوند. اگر این دو دامنه با هم برابر باشند آنها را با حرف a نمایش داده و داریم:

$$a = \frac{H}{2} \qquad (۱-۱)$$

فاصله زمانی بین عبور دو قله متوالی از یک ایستگاه ثابت با دوره تناوب یا پریود موج (T) تعریف می شود. بسامد یا فرکانس موج (f)، عکس دوره تناوب است و نشان دهنده تعداد عبور موج از یک نقطه معین در واحد زمان است. سرعت زاویه ای یا بسامد زاویه ای از دیگر مشخصات موج است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \qquad (۱-۲)$$

با توجه به تعریف طول موج و دوره تناوب، سرعت پیشروی موج به صورت رابطه زیر است:

$$C = \frac{L}{T} \qquad (۱-۳)$$

یکی دیگر از شناسه های امواج منظم، عدد موج است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$K = \frac{2\pi}{L} = \frac{\omega}{C} \qquad (۱-۴)$$