

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اصول مانور کشتی و شناور پروازی

تألیف:

دکتر حمید زراعتگر

عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

پاییز ۱۴۰۴

سرشناسه	زراعتگر، حمید، ۱۳۴۴ -
عنوان و نام پدیدآور	اصول مانور کشتی و شناور پروازی / تألیف حمید زراعتگر.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری	۳۳۱ ص. : مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۹۴۹-۴ :
وضعیت فهرست‌نویسی	فیبا :
یادداشت	واژه‌نامه.
یادداشت	کتابنامه.
یادداشت	نمایه.
موضوع	کشتی‌ها -- هدایت.
موضوع	Ship handling :
موضوع	کشتی‌ها -- هیدرودینامیک.
موضوع	Ships -- Hydrodynamics :
موضوع	کشتی‌ها -- هیدرودینامیک -- ریاضیات.
موضوع	Ships -- Hydrodynamics -- Mathematics :
موضوع	شناورهای پروازی -- هیدرودینامیک.
موضوع	Planning hulls -- Hydrodynamics :
موضوع	شناورهای پروازی -- هیدرودینامیک -- ریاضیات.
موضوع	Planning hulls -- Hydrodynamics -- Mathematics :
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). مرکز نشر.
شناسه افزوده	Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic). Publishing : Center.
رده‌بندی کنگره	VM۱۵۶ :
رده‌بندی دیویی	۶۲۳/۸۱۲ :
شماره کتابشناسی ملی	۱۰۲۲۳۸۲۵ :

این کتاب در جلسه مورخ ۱۴۰۴/۰۲/۲۸ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	اصول مانور کشتی و شناور پروازی
تألیف	حمید زراعتگر
ناشر	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	پاییز ۱۴۰۴
قیمت	۴۴۰,۰۰۰ تومان
تیراژ	۱۰۰ نسخه
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۹۴۹-۴ : ISBN : 978-964-463-949-4

آدرس مرکز یخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸
وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>
حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

تقدیم بہ ہمسر عزیزم فاطمہ توسلی

ودختران عزیزتر از جانم، ہیوا (صدیقہ) وسارا

فهرست مطالب

خلاصه	ز
پیشگفتار	ط
فصل اول: اساس مانور کشتی‌ها	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- مروری بر کارهای مهم انجام‌شده بر روی مانور کشتی‌ها	۷
۳-۱- معادلات حرکت	۲۸
۱-۳-۱- دستگاه مختصات و درجات آزادی	۲۸
۲-۳-۱- معادلات حرکت	۳۰
۳-۳-۱- ماهیت نیروهای x ، y و N	۳۴
۴-۱- مانور حفظ مسیر و مانور تغییر مسیر	۳۵
۱-۴-۱- نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از بدنه کشتی و خطی‌سازی معادله حرکت ...	۳۷
۲-۴-۱- پایداری خط راست (پایداری مسیر بدون سکان)	۴۲
۳-۴-۱- پایداری مسیر و تغییر مسیر به کمک سکان و دیگر وسایل کنترلی	۴۴
۵-۱- مانور دورزدن	۴۷
۱-۵-۱- عملیات مانور دورزدن	۴۸
۲-۵-۱- روابط ریاضی خطی حاکم بر دورزدن دائم	۴۹
۶-۱- مانور شتاب گرفتن، ایستادن و به عقب حرکت کردن	۵۳
۱-۶-۱- مقدمه و تعاریف	۵۳
۲-۶-۱- مدل ریاضی مانور ایستادن	۵۴
۳-۶-۱- اثر سیستم رانش بر مانور ایستادن، شتاب گرفتن و به عقب حرکت کردن	۵۵
۴-۶-۱- مکانیزم مانور ایستادن اضطراری	۵۷
۷-۱- روش محاسبه T و K اندیس‌های نوموتو از آزمون زیگزاگ (جورنی)	۵۸
۱-۷-۱- مقدمه	۵۸
۲-۷-۱- معادله مرتبه اول حرکت یاو	۵۹
۳-۷-۱- رابطه بین شرایط واقعی و شرایط ایده‌آل آزمون زیگزاگ	۵۹
۴-۷-۱- آنالیز مدل درجه یک نوموتو	۶۰
۵-۷-۱- تعیین T و K از آزمون زیگزاگ	۶۲
۸-۱- مثال‌ها	۶۸

فصل دوم: اساس آزمون‌های مانور..... ۷۳

- ۷۳..... ۱-۲- مقدمه
- ۷۴..... ۱-۱-۲- کاربری آزمون‌ها در مراحل مختلف طراحی و ساخت کشتی
- ۷۵..... ۲-۲- آزمون‌های مانور
- ۷۶..... ۱-۲-۲- آزمون حلزونی مستقیم
- ۷۷..... ۲-۲-۲- آزمون حلزونی معکوس
- ۷۹..... ۳-۲-۲- آزمون پول-اوت
- ۸۰..... ۴-۲-۲- آزمون زیگزاگ
- ۸۲..... ۵-۲-۲- آزمون دورزدن
- ۸۳..... ۶-۲-۲- آزمون ترمز کردن
- ۸۶..... ۷-۲-۲- آزمون نجات از دریا
- ۸۶..... ۸-۲-۲- آزمون تراستر
- ۸۷..... ۳-۲- آزمون‌های مدل جهت تعیین قابلیت مانور کشتی
- ۸۷..... ۱-۳-۲- مقدمه
- ۸۸..... ۲-۳-۲- آزمون مدل آزاد
- ۹۰..... ۳-۳-۲- روش انجام آزمون مدل آزاد
- ۹۲..... ۴-۳-۲- آزمون مدل مقید
- ۹۷..... ۴-۲- روش استخراج ضرایب هیدرودینامیکی به کمک پی‌ام‌ام
- ۹۷..... ۱-۴-۲- استخراج ضرایب هیدرودینامیکی در آزمون استاتیکی
- ۹۹..... ۲-۴-۲- استخراج ضرایب هیدرودینامیکی در آزمون دینامیکی
- ۱۰۷..... ۵-۲- مدل ریاضی غیرخطی مانور
- ۱۰۷..... ۱-۵-۲- مقدمه
- ۱۰۸..... ۲-۵-۲- مدل غیرخطی آبکویتز و استروم-تجسن و همکاران

فصل سوم: معیارهای ارزیابی مانورپذیری کشتی..... ۱۱۳

- ۱۱۳..... ۱-۳- مقدمه
- ۱۱۴..... ۲-۳- تعریف مانورپذیری کشتی
- ۱۱۸..... ۳-۳- مقادیر معیارهای مانور کشتی‌های تجاری
- ۱۲۰..... ۱-۳-۳- مقادیر معیارهای مانور، ارائه شده توسط آی‌ام‌او

۲-۳-۳- معیارهای مانورپذیری کشتی‌های تجاری ارائه شده توسط دیگر سازمان‌های

بین‌المللی ۱۲۲

۴-۳- مقادیر معیارهای مانور کشتی‌های نظامی ۱۲۳

فصل چهارم: هیدرودینامیک سکان ۱۲۷

۱-۴- مقدمه ۱۲۷

۲-۴- انواع سکان ۱۲۸

۱-۲-۴- سکان با ورق فولادی ۱۲۹

۲-۲-۴- سکان خط جریانی ۱۳۰

۳-۴- اصول هیدرودینامیک سطوح کنترلی ۱۳۲

۱-۳-۴- پارامترهای هندسی سکان ۱۳۳

۲-۳-۴- نیروهای هیدرودینامیکی وارده بر یک مقطع فویل ۱۳۴

۳-۳-۴- جریان اطراف سکان کشتی ۱۳۶

۴-۴- طراحی سکان ۱۴۴

۱-۴-۴- روند طراحی سکان و دیگر وسایل کنترلی ۱۴۴

۲-۴-۴- انتخاب نوع سکان ۱۴۵

۳-۴-۴- انتخاب تعداد سکان ۱۴۵

۴-۴-۴- تعیین موقعیت سکان ۱۴۵

۵-۴-۴- تعیین اندازه سکان ۱۴۷

۶-۴-۴- ماکزیمم زاویه سکان ۱۴۹

۷-۴-۴- نرخ چرخش سکان ۱۵۲

۸-۴-۴- شکل مقطع سکان ۱۵۵

۵-۴- طراحی سکان و تعیین موقعیت محور سکان ۱۵۶

۱-۵-۴- تعیین مقدار سطح سکان براساس فرمول‌های تجربی ۱۵۶

۲-۵-۴- تعیین مقادیر b و c و دیگر مشخصات هندسی سکان ۱۵۶

۳-۵-۴- محاسبه خصوصیات هیدرودینامیکی سکان مدنظر ۱۵۶

۴-۵-۴- اثر پروانه بر روی سکان ۱۵۸

۵-۵-۴- تعیین موقعیت محور سکان ۱۵۹

۶-۵-۴- محاسبه ضریب گشتاور موتور سکان ۱۶۰

فصل پنجم: روش‌های رگراسیونی محاسبه مانور، روش کیجیما..... ۱۷۵

- ۱-۵- مقدمه..... ۱۷۵
- ۲-۵- سیستم‌های مختصات..... ۱۷۶
- ۳-۵- معادلات حرکت با در نظر گرفتن کوپلینگ‌ها..... ۱۷۷
- ۴-۵- نیروهای هیدرودینامیکی..... ۱۷۷
- ۱-۴-۵- نیروهای هیدرودینامیکی در جهت سوی و یاو..... ۱۷۹
- ۲-۴-۵- ممان رول وارده بر بدنه کشتی..... ۱۸۲
- ۳-۴-۵- نیروها و ممان‌های سکان..... ۱۸۲
- ۴-۴-۵- رابطه دور پروانه..... ۱۸۴
- ۵-۵- حل دستگاه معادلات..... ۱۸۶

فصل ششم: اثرات محیطی بر مانور کشتی..... ۱۸۷

- ۱-۶- مقدمه..... ۱۸۷
- ۲-۶- اثر باد..... ۱۸۸
- ۱-۲-۶- حفظ مسیر در باد به کمک سکان..... ۱۹۰
- ۳-۶- اثر جریان دریایی..... ۱۹۲
- ۴-۶- اثرات موج..... ۱۹۳
- ۱-۴-۶- کلیات اثر موج بر مانور کشتی..... ۱۹۳
- ۲-۴-۶- حفظ مسیر برای حالت موج از پاشنه..... ۱۹۵

فصل هفتم: مقدمه‌ای بر مانور شناورهای پروازی..... ۲۰۱

- ۱-۷- مقدمه..... ۲۰۱
- ۲-۷- آشنایی با شناور تندرو..... ۲۰۳
- ۱-۲-۷- تعریف شناور تندرو و شناور پروازی..... ۲۰۳
- ۲-۲-۷- انواع شناور تندرو و پروازی..... ۲۰۵
- ۳-۷- شناورهای پروازی با مقطع گوه‌ای..... ۲۰۶
- ۱-۳-۷- مقدمه..... ۲۰۶
- ۳-۳-۷- تعریف برخی اصطلاحات برای شناور پروازی..... ۲۰۸
- ۴-۳-۷- ناپایداری‌های دینامیکی در شناورهای پروازی..... ۲۱۲
- ۴-۷- سیستم رانش و کنترل شناورهای پروازی..... ۲۱۴

۲۱۴.....	۱-۴-۷- سیستم رانش داخل شناور (سطح رو).....
۲۱۵.....	۲-۴-۷- سیستم رانش خارج از شناور.....
۲۱۷.....	۳-۴-۷- سیستم رانش داخل شناور.....
۲۱۸.....	۵-۷- پروانه سطح رو.....
۲۲۱.....	۶-۷- موتور اصلی شناورهای پروازی.....
۲۲۲.....	۷-۷- محاسبه نیروی تراست و نیروها و گشتاورهای کنترلی در شناور پروازی.....
۲۲۲.....	۱-۷-۷- سیستم انتقال TS
۲۲۴.....	۲-۷-۷- سیستم انتقال TT
۲۲۴.....	۸-۷- بالآآمدگی و تریم دینامیکی شناور پروازی.....
۲۲۶.....	۹-۷- تأثیر بالآآمدگی و تریم بر نیروی هیدرودینامیکی وارده بر بدنه.....

فصل هشتم: مدل ریاضی مانور شناور پروازی..... ۲۳۱

۲۳۱.....	۱-۸- مقدمه.....
۲۳۴.....	۲-۸- مدل ریاضی مانور.....
۲۳۴.....	۱-۲-۸- سیستم‌های مختصات.....
۲۳۶.....	۲-۲-۸- معادلات حرکت در سیستم مختصات هیدرودینامیکی.....
۲۳۹.....	۳-۲-۸- نیروهای هیدرودینامیکی وارده بر بدنه.....
۲۴۱.....	۴-۲-۸- دستگاه معادلات شش معادله‌ای خطی مانور شناور پروازی.....
۲۴۳.....	۵-۲-۸- مدل ریاضی DOF_{4+2}
۲۴۶.....	۳-۸- نمونه اجرای فرآیند ۷ گانه بالا [۴۵].....

فصل نهم: ضرایب هیدرودینامیکی مانور شناور پروازی..... ۲۵۱

۲۵۱.....	۱-۹- مقدمه.....
۲۴۶.....	۲-۹- محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی به روش تئوری بدنه لاغر به کمک ورو به آب.....
۲۵۲.....	۱-۲-۹- اصول روش ورود به آب.....
۲۵۵.....	۲-۲-۹- روش $2D+t$ برای ورود نامتقارن با زاویه رول.....
۲۶۳.....	۳-۹- محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی به روش روابط رگراسیونی.....
۲۶۵.....	۴-۹- محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی به روش آزمون مدل مقید.....
۲۶۶.....	۱-۴-۹- روش انجام آزمون دریافت استاتیکی با پیامام.....
۲۶۸.....	۲-۴-۹- روش آزمون دینامیکی با پیامام.....

۲۶۸.....	۳-۴-۹- نتایج آزمون مدل پیامام یک نمونه شناور پروازی
۲۷۵.....	۴-۴-۹- محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی
۲۷۷.....	۵-۹- محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی به روش دینامیک سیالات محاسباتی
۲۷۷.....	۱-۵-۹- مقدمه
۲۷۹.....	۲-۵-۹- معرفی مدل‌ها و مشبندی
۲۷۹.....	۳-۵-۹- نتایج محاسبات عددی در حالت دریافت استاتیکی

فصل دهم: تجزیه و تحلیل مانور شناور پروازی..... ۲۸۳

۲۸۳.....	۱-۱۰- مقدمه
۲۸۵.....	۲-۱۰- بررسی مانوریک شناور پروازی با استفاده از اندازه‌گیری میدانی
۲۸۶.....	۱-۲-۱۰- آزمون شتاب گرفتن
۲۸۸.....	۲-۲-۱۰- آزمون میدانی مانور دورزدن
۲۹۰.....	۳-۱۰- بررسی مانور دورزدن کوگار در مد پروازی و نیمه پروازی به کمک روش DOF_{4+2}
۲۹۲.....	۲-۳-۱۰- ضرایب هیدرودینامیکی مدل کوگار
۲۹۴.....	۳-۳-۱۰- نتایج شبیه سازی مانور دور زدن

پیوست..... ۲۹۷

مراجع..... ۳۰۳

نمایه ۳۰۹

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی..... ۳۱۱

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی..... ۳۱۵

خلاصه

هیدرودینامیک کشتی از اجزای مختلفی تشکیل می‌شود که یکی از آنها قابلیت مانور کشتی است. اصولاً در هیدرودینامیک بحث اصلی اثر متقابل سیال و کشتی است که با توجه به نوع حرکت جسم در سیال، نیروی وارده به جسم نیز متفاوت خواهد بود. فرض بر آن است که مانور در آب راکد در حال انجام است. یک کشتی در حین مانور عموماً دارای سرعت و شتاب در جهت‌های سرج، سوی و یاو می‌باشد. در اینصورت بدنه زیرآبی کشتی در تعامل با سیال اطراف متحمل نیروهای ناشی از سرعت و شتاب در سه جهت مذکور می‌گردد. علاوه بر آن، نیروهای رانش و کنترلی (سکان) نقش برجسته‌ای در مانور کشتی‌ها دارند که خود نیز از ماهیت هیدرودینامیکی برخوردار هستند. این کتاب نتیجه بیست سال تدریس، تحقیق و همچنین تعداد زیادی پایان‌نامه‌های دانشجویی است که نویسنده استاد راهنما بوده است. این کتاب در دو بخش تدوین شده است که در بخش اول به هیدرودینامیک مانور کشتی و در بخش دوم به هیدرودینامیک مانور شناور پروازی می‌پردازد. بخش اول کتاب دارای شش فصل است و بخش دوم شامل چهار فصل می‌باشد. فصل اول به اصول هیدرودینامیک مانور می‌پردازد، مدل ریاضی خطی مانور را ارائه می‌کند. در فصل دوم آزمون‌های استاندارد مانور تعریف می‌گردد. سپس روشهای آزمون مدل مانور شامل آزمون مدل رانش آزاد و آزمون مدل مقید بحث می‌گردد و سپس در ادامه، معادلات غیرخطی مانور ارائه می‌گردد. در فصل سوم معیارهای مانورپذیری کشتی‌های تجاری و نظامی بر اساس آی‌ام‌او و دیگر سازمان‌های دریایی ارائه می‌گردد. در فصل چهارم هیدرودینامیک سکان بعنوان مهم‌ترین روش کنترل کشتی بحث می‌شود. در فصل پنجم روش محاسبات مانور کشتی بر اساس روابط رگراسیونی کیجیما ارائه می‌گردد. در فصل ششم اثر نیروهای محیط بر مانور شامل باد، جریان و امواج دریا بررسی می‌شود. فصل هفتم به معرفی شناورهای پروازی می‌پردازد و در ادامه نیروهای رانش و کنترلی سیستم رانش سطح‌رو مدل می‌گردد. فصل هشتم به مدل ریاضی مانور شناور پروازی می‌پردازد. در فصل نهم به نحوه محاسبه و اندازه‌گیری ضرایب هیدرودینامیکی مانور شناور پروازی می‌پردازد. در فصل دهم نمونه محاسبه و اندازه‌گیری مانور شناور پروازی را ارائه می‌کند. این کتاب برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته مهندسی دریا و همچنین دیگر محققین هیدرودینامیک مانور کشتی و شناور پروازی قابل استفاده می‌باشد.

پیشگفتار

هیدرودینامیک کشتی از اجزای مختلفی تشکیل می‌شود که یکی از آنها قابلیت مانور کشتی است. اصولاً در هیدرودینامیک بحث اصلی اثر متقابل سیال و کشتی است که با توجه به نوع حرکت جسم در سیال، نیروی وارده به جسم نیز متفاوت خواهد بود. یک کشتی در حین مانور عموماً دارای سرعت و شتاب در جهت‌های سرج، سوی و یاو می‌باشد. فرض بر آن است که مانور در آب راکد در حال انجام است. در اینصورت بدنه زیرآبی کشتی در تعامل با سیال اطراف متحمل نیروهای ناشی از سرعت و شتاب در سه جهت مذکور می‌گردد. نیروی هیدرودینامیکی وارده بر بدنه به ماهیت سرعت و شتاب نیز وابسته است. در مانور کشتی‌ها، سرعت‌ها و شتاب‌ها معمولاً از ماهیت تغییرات آرام و پیوسته برخوردار هستند. این نوع رفتار کمک شایانی به پیش‌بینی آنها به روش محاسباتی می‌نماید. علاوه بر آن، نیروهای رانش و کنترلی نقش برجسته‌ای در مانور کشتی‌ها دارند که خود نیز از ماهیت هیدرودینامیکی برخوردار هستند.

اساساً، سه روش برای دستیابی به خصوصیات مانور کشتی وجود دارد که عبارتند از روش محاسباتی، روش آزمون مدل و روش آزمون میدانی کشتی. معمولاً روش محاسباتی در مراحل اولیه طراحی، روش آزمون مدل در مراحل نهایی طراحی و روش آزمون میدانی نیز پس از ساخت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این کتاب نتیجه بیست سال تدریس، تحقیق و همچنین تعداد زیادی پایان‌نامه‌های دانشجویی است که نویسنده استاد راهنما بوده است. این کتاب در دو بخش تدوین شده است که در بخش اول به هیدرودینامیک مانور کشتی و در بخش دوم به هیدرودینامیک مانور شناور پروازی می‌پردازد.

بخش اول کتاب نسبتاً کلاسیک می‌باشد که فصل اول این بخش به اصول هیدرودینامیک مانور می‌پردازد، مدل ریاضی خطی مانور را تدوین می‌نماید و سپس مانور حفظ مسیر، تغییر مسیر، دورزدن و شتاب گرفتن و ترمز کردن را در قالب مدل ریاضی خطی ارائه می‌کند. در فصل دوم آزمون‌های استاندارد مانور تعریف می‌گردد. سپس روشهای آزمون مدل مانور شامل آزمون رانش آزاد و آزمون مدل مقید بحث می‌گردد. در ادامه، معادلات غیرخطی مانور ارائه می‌گردد. در فصل سوم معیارهای مانورپذیری کشتی‌های تجاری و نظامی بر اساس آی‌ام‌او و دیگر سازمان‌های دریایی ارائه می‌گردد. در فصل چهارم هیدرودینامیک سکان بعنوان مهم‌ترین روش

کنترل کشتی بحث می‌شود و در ادامه روش طراحی سکان ارائه شده و روش محاسبه محل بهینه محور سکان بر اساس حداقل مقدار گشتاور سیستم کنترلی تدوین می‌گردد. در فصل پنجم روش محاسبات مانور کشتی بر اساس روابط رگراسیونی کیجیما ارائه می‌گردد. در فصل ششم اثر نیروهای محیط بر مانور شامل باد، جریان و امواج دریا بررسی می‌شود.

بخش دوم کتاب شامل چهار فصل می‌باشد که در فصل هفتم به معرفی شناورهای پروازی می‌پردازد و در ادامه نیروهای رانش و کنترلی سیستم رانش سطح‌رو مدل می‌گردد. فصل هشتم به مدل ریاضی مانور شناور پروازی می‌پردازد. در فصل نهم به نحوه محاسبه و اندازه‌گیری ضرایب هیدرودینامیکی مانور شناور پروازی می‌پردازد. در فصل دهم نمونه محاسبه و اندازه‌گیری مانور شناور پروازی را ارائه می‌کند.

این کتاب برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته مهندسی دریا و همچنین دیگر محققین هیدرودینامیک مانور کشتی و شناور پروازی قابل استفاده می‌باشد. لازم می‌دانم از دانشجویان زیادی که در تدوین این کتاب به نویسندگی کمک کرده‌اند، تشکر نمایم که عبارتند از دکتر محمدجواد جواهریان، دکتر سیدکاظم ساداتی‌ساروئی، مهندس میلاد شجری‌پور و دکتر علی اصغر مقدس.

حمید زراعتگر

بهار ۱۴۰۴