

اصول طراحی زیر سطحی‌های بدون سر نشین

محمّد سعید سیفی
پیام صادق زاده پورپوری



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

اصول طراحی زیرسطحی‌های بدون سرنشین

تألیف محمدسعید سیف، بهنام صادق‌زاده پراپری

ناشر: مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چاپ اول: ۱۳۹۲

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

بها: ۱۵۰۰۰۰ ریال

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN 978-964-208-090-8

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۰۹۰-۸

ویرایش و آماده‌سازی کتاب را مؤلفان انجام داده‌اند.

تلفن: ۶۶۰۱۳۰۲۹-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۶۱۶۴۰۷۰

دفتر مرکزی: خیابان آزادی- دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب- خیابان شهید منیری جاوید (اردیبهشت)- ساختمان ۲۵۳ - طبقه چهارم - واحد ۴۰۲

پست الکترونیکی: publication@mehr.sharif.edu

تلفن: ۶۶۴۰۵۱۳۲-۶۶۹۶۷۸۹۶

سرشناسه: سیف محمدسعید ۱۳۴۵.	موضوع: زیرسطحی
عنوان و نام‌پدیدآور: اصول طراحی زیرسطحی‌های بدون سرنشین/تألیف محمدسعید سیف، بهنام صادق‌زاده پراپری.	موضوع: زیرسطحی‌های بدون سرنشین.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی ۱۳۹۲.	شناسه افزوده: صادق‌زاده پراپری، بهنام.
مشخصات ظاهری: ۳۴۸ ص. ج. مصور، جدول.	شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف.
شابک: 978-964-208-090-8	رده‌بندی کنگره: ۶/الف/۹/۱۶۶۲.TC
وضعیت فهرست نویسی: فیا.	رده‌بندی دیویی: ۶۲۳/۸۱
	شماره کتابشناسی ملی: ۳۲۸۵۹۷۶

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

پیشگفتار

فصل ۱. مقدمه

۱-۱- تعریف ربات زیرسطحی

۱-۲- نمای کلی کتاب

فصل ۲. انواع و کاربردها

۲-۱- انواع وسیله‌های زیرسطحی بدون سرنشین

۲-۲- کاربردهای ربات‌های زیرسطحی

۲-۲-۱- کاربردها در صنایع فراساحل

۲-۲-۲- کاربردهای نظامی

۲-۳- کاربردهای علمی و تحقیقاتی

۲-۴- کاربرد در تأسیسات هسته‌ای

۲-۵- موارد دیگری از کاربردهای ربات‌های زیرسطحی

۲-۳- مقایسه ROV و AUV

۲-۴- خلاصه مطالب

فصل ۳. مدل سازی دینامیکی

- ۱۹
۲۰-۲-۳ سینماتیک
۲۲-۱-۲-۳ زاویه های اوایلر
۲۷-۲-۲-۳ پارامترهای اوایلر
۳۲-۳-۲-۳ پارامترهای اوایلر-رودریگز
۳۳-۴-۲-۳ نکاتی جهت انتخاب پارامترها
۳۴-۳-۳ مکانیک نیوتنی و لاگرانژی
۳۴-۱-۳-۳ روش نیوتن - اوایلر
۳۵-۲-۳-۳ روش لاگرانژی
۳۶-۳-۳-۳ معادلات حرکت کیرشوف
۳۷-۴-۳ دینامیک جسم صلب
۴۲-۱-۴-۳ معادلات حرکت ۶ درجه آزادی جسم صلب
۴۸-۵-۳ نیروها و ممان های هیدرودینامیکی
۵۰-۱-۵-۳ جرم و اینرسی افزوده
۶۰-۲-۵-۳ میرایی هیدرودینامیکی
۶۴-۳-۵-۳ نیروها و ممان های بازگرداننده
۶۶-۴-۵-۳ نیروها و ممان های جلوبرنده
۶۷-۶-۳ معادلات حرکت
۶۷-۱-۶-۳ بیان های برداری
۶۸-۲-۶-۳ خواص مفید معادلات غیرخطی حرکت
۷۴-۳-۶-۳ معادلات حرکت در مختصات کلی
۷۹-۷-۳ خلاصه مطالب

فصل ۴. طراحی بدنه

- ۸۱-۱-۴ بررسی شکل بدنه های مختلف
۸۸-۱-۱-۴ بدنه های کروزینگ
۹۰-۲-۱-۴ بررسی خطوط بدنه و شکل کلی بدنه های کروزینگ
۱۰۷-۲-۴ خلاصه مطالب

فصل ۵. هیدروستاتیک

- ۱۰۹-۱-۵ اصول اولیه شناوری
۱۱۱-۲-۵ زیردریایی در سطح

۱۱۱	۳-۵- زیر سطحی در زیر آب
۱۱۲	۴-۵- عوامل و ارکان شناوری
۱۱۲	۱-۴-۵- عوامل و ارکان وزن
۱۱۳	۲-۴-۵- تحلیل پایداری شناور
۱۱۳	۳-۴-۵- ضرایب بدنه
۱۱۴	۵-۵- بررسی پایداری استاتیکی در صفحه افق و قائم
۱۱۴	۱-۵-۵- مفاهیم پایداری
۱۱۵	۲-۵-۵- پایداری استاتیکی
۱۱۸	۳-۵-۵- مرز پایداری استاتیکی
۱۲۰	۶-۵- خلاصه مطالب
۱۲۱	فصل ۶. هیدرودینامیک
۱۲۱	۱-۶- مفهوم درگ
۱۲۴	۲-۶- اصطکاک پوسته (جریان آرام- گذار- جریان آشفته- جدایی- زبری سطح)
۱۲۸	۳-۶- محاسبه تجربی درگ بدنه
۱۲۹	۴-۶- خلاصه مطالب
۱۳۱	فصل ۷. بررسی انواع سیستم‌های رانش
۱۳۱	۱-۷- معرفی پروانه‌های دریایی
۱۳۲	۱-۱-۷- نحوه ایجاد نیروی تراست
۱۳۳	۲-۷- انواع سیستم‌های رانش
۱۳۴	۱-۲-۷- پروانه با زاویه پیچ ثابت (گام ثابت)
۱۳۶	۲-۲-۷- پروانه‌های با زاویه گام پره قابل کنترل
۱۳۹	۳-۲-۷- دو پروانه‌ای عکس گرد
۱۴۳	۴-۲-۷- پروانه‌های با گام خود تنظیم
۱۴۴	۵-۲-۷- پروانه‌های هم پوشان
۱۴۵	۶-۲-۷- پروانه‌های دوتایی
۱۴۵	۷-۲-۷- پروانه‌های دارای مجرا (نازلی)
۱۴۷	۸-۲-۷- سیستم رانش پراپ داکت
۱۴۸	۹-۲-۷- پروانه‌های دارای مجرای قابل هدایت
۱۴۹	۱۰-۲-۷- پروانه‌های دارای پوشش
۱۵۰	۱۱-۲-۷- محرکه جت آب

- ۱۵۲ ۷-۲-۱۲- محرکه جت بخار
- ۱۵۳ ۷-۲-۱۳- سیستم رانش الکترومغناطیس
- ۱۵۶ ۷-۲-۱۴- جمع‌بندی و بررسی مزایا و معایب سیستم‌های رانش
- ۱۵۸ ۷-۳- طراحی پروانه
- ۱۵۸ ۷-۳-۱- اصول عملکرد پروانه‌های دریایی
- ۱۶۱ ۷-۳-۲- بازده کلی سیستم رانش
- ۱۶۲ ۷-۳-۳- اصول طراحی پروانه
- ۱۶۴ ۷-۳-۴- ضرایب هیدرودینامیکی پروانه
- ۱۷۰ ۷-۳-۵- ضرایب هیدرودینامیکی پروانه‌های داکت دار
- ۱۷۱ ۷-۴- تئوری‌های پروانه
- ۱۷۱ ۷-۴-۱- تئوری اندازه حرکت برای پروانه‌های چرخشی
- ۱۷۶ ۷-۵- پارامترهای مؤثر در طراحی پروانه
- ۱۷۶ ۷-۵-۱- قطر
- ۱۷۷ ۷-۵-۲- نسبت سطح گسترش یافته
- ۱۷۷ ۷-۵-۳- گام
- ۱۷۸ ۷-۵-۴- تعداد پره‌ها
- ۱۷۸ ۷-۵-۵- ریک و اسکيو
- ۱۷۹ ۷-۶- طراحی پروانه داکت‌دار
- ۱۸۱ ۷-۷- اطلاعات سری‌های استاندارد
- ۱۸۲ ۷-۷-۱- پروانه‌های سری B
- ۱۸۴ ۷-۷-۲- سری AU ژاپن
- ۱۸۴ ۷-۷-۳- سری گاون
- ۱۸۶ ۷-۷-۴- سری KCA
- ۱۸۷ ۷-۷-۵- سری تیلور
- ۱۸۸ ۷-۷-۶- سری KCB و KCD
- ۱۸۸ ۷-۷-۷- سری Lindgren یا Mau
- ۱۸۹ ۷-۷-۸- سری نیوتن- رادر
- ۱۹۰ ۷-۷-۹- سری تروست، وان مانن
- ۱۹۰ ۷-۷-۱۰- سری JD-CPP
- ۱۹۱ ۷-۷-۱۱- سری پروانه‌های گام متغیرشرودر و گوتس
- ۱۹۱ ۷-۷-۱۲- سری‌های پروانه داکت‌دار
- ۱۹۳ ۷-۷-۱۳- اطلاعات سری‌ها در ۴ ربع

۱۹۴	۷-۷-۱۴- مقایسه انواع داکت‌ها
۱۹۶	۷-۷-۱۵- تحلیل هیدرودینامیکی پروانه داکت دار
۱۹۹	۷-۸-۱- بررسی پدیده کاویتاسیون در پروانه
۲۰۰	۷-۸-۱- معرفی پدیده کاویتاسیون
۲۰۰	۷-۸-۲- پارامترهای شروع کاویتاسیون
۲۰۲	۷-۸-۳- دینامیک حباب‌های کاویتاسیون
۲۰۳	۷-۸-۴- نحوه صدمه پدیده کاویتاسیون
۲۰۴	۷-۸-۵- پارامترهای مهم در طراحی پروانه از دیدگاه کاهش کاویتاسیون
۲۰۵	۷-۸-۶- کاویتاسیون در پروانه
۲۰۹	۷-۸-۷- نویز و سر و صدای ناشی از کاویتاسیون
۲۱۰	۷-۸-۸- ارتعاشات در پروانه
۲۱۱	۷-۸-۹- تست‌های کاویتاسیون
۲۱۲	۷-۹- خلاصه مطالب
۲۱۵	فصل ۸. بررسی انواع منابع انرژی
۲۱۵	۸-۱- منابع تغذیه زیرسطحی‌ها
۲۱۶	۸-۲- باتری‌ها
۲۱۷	۸-۲-۱- فرآیندهای تبدیل انرژی در باتری
۲۱۸	۸-۲-۲- باتری اسید سربی
۲۱۸	۸-۲-۳- باتری‌های حرارتی
۲۲۳	۸-۲-۴- باتری‌های نیکل کادمیوم
۲۲۴	۸-۲-۵- باتری‌های نیکل متال هیدرید
۲۲۵	۸-۲-۶- باتری‌های لیتیم یون
۲۲۸	۸-۲-۷- باتری‌های لیتیم پلیمر
۲۲۹	۸-۲-۸- مقایسه باتری‌ها با یکدیگر
۲۲۹	۸-۲-۹- شارژر
۲۳۰	۸-۳- منبع انرژی خورشیدی
۲۳۱	۸-۳-۱- استفاده از انرژی خورشیدی در زیرسطحی‌های هوشمند
۲۳۴	۸-۳-۲- مشخصات سلول‌های خورشیدی در آب
۲۳۵	۸-۴- سیستم پیل سوختی
۲۳۶	۸-۴-۱- مزایای سیستم پیل سوختی
۲۳۶	۸-۴-۲- معایب سیستم پیل سوختی

- ۲۳۷ ۸-۵- نانو باتری‌های فیلم نازک و پیشنهاد کاربرد آن در زیردریایی
 ۲۳۸ ۸-۶- معیارهای انتخاب منبع انرژی پیشنهادی
 ۲۴۱ ۸-۷- خلاصه مطالب

۲۴۳ فصل ۹. بررسی انواع روش‌های مانور

- ۲۴۳ ۹-۱-۱- اهداف طراحی
 ۲۴۴ ۹-۱-۲- کلیات مانور
 ۲۴۷ ۹-۱-۳- اصول کلی حاکم بر رفتار هیدروفویل‌ها
 ۲۵۱ ۹-۲- طراحی صفحات کنترلی
 ۲۵۶ ۹-۳- محاسبه مقادیر صفحات کنترلی
 ۲۵۷ ۹-۴- شکل قرارگیری هیدروفویل‌ها در دم
 ۲۶۰ ۹-۵- خلاصه مطالب

۲۶۱ فصل ۱۰. سیستم غوص و صعود

- ۲۶۱ ۱۰-۱- روش‌های غوص و صعود
 ۲۶۳ ۱۰-۲- روش کنترل عمق با بویانسی صفر در زیردریایی
 ۲۶۳ ۱۰-۳- بویانسی و توزیع وزنی در طول بدنه زیردریایی
 ۲۶۴ ۱۰-۴- پایداری دینامیکی
 ۲۶۴ ۱۰-۵- پایداری زیردریایی زیر سطح آب
 ۲۶۵ ۱۰-۶- مخازن مختلف سیستم غوص و صعود
 ۲۶۵ ۱۰-۶-۱- مخازن بالاست
 ۲۶۵ ۱۰-۶-۲- مخازن تریم
 ۲۶۵ ۱۰-۶-۳- مخزن غوص سریع
 ۲۶۶ ۱۰-۶-۴- مخازن جبران وزنی
 ۲۶۶ ۱۰-۷- روش‌های پر و خالی کردن مخازن
 ۲۶۶ ۱۰-۷-۱- هوای فشرده
 ۲۶۷ ۱۰-۷-۲- پمپ با دبی زیاد
 ۲۶۷ ۱۰-۷-۳- سیلندر پیستون
 ۲۶۸ ۱۰-۸- خلاصه مطالب

۲۶۹ فصل ۱۱. سیستم پردازش و کنترل مرکزی

- ۲۶۹ ۱۱-۱- کنترل زیرسطحی‌ها
 ۲۷۱ ۱۱-۲- برنامه‌های کامپیوتری طراحی زیرسطحی‌های هوشمند

۲۷۱	۱۱-۲-۱- ورودی‌های برنامه
۲۷۲	۱۱-۲-۲- اجرای برنامه
۲۷۳	۱۱-۲-۳- خروجی برنامه
۲۷۳	۱۱-۳- کنترل مأموریت و عملیات در دریا
۲۷۴	۱۱-۳-۱- معماری نرم‌افزاری و سخت‌افزاری
۲۷۶	۱۱-۴- خلاصه مطالب

فصل ۱۲. سیستم ناوبری هوشمند ۲۷۷

۲۷۷	۱۲-۱- ناوبری زیر آب
۲۷۸	۱۲-۱-۱- سیستم موقعیت‌یابی آکوستیک
۲۷۸	۱۲-۱-۲- Dead reckoning
۲۷۹	۱۲-۱-۳- سونار
۲۷۹	۱۲-۱-۴- INS
۲۸۰	۱۲-۲- سیستم موقعیت‌یابی آکوستیک زیرآبی
۲۸۱	۱۲-۲-۲- سیستم‌های LBL
۲۸۵	۱۲-۲-۳- سیستم‌های USBL
۲۸۷	۱۲-۲-۴- سیستم‌های SBL
۲۸۹	۱۲-۲-۵- سیستم GIB
۲۹۰	۱۲-۲-۶- سیستم‌های ترکیبی آکوستیکی
۲۹۰	۱۲-۳- سیستم‌های هدایت اینرسی
۲۹۶	۱۲-۴- سیستم موقعیت‌یاب جهانی
۲۹۷	۱۲-۴-۱- سیستم موقعیت‌یاب جهانی نسبی
۳۰۰	۱۲-۵- خلاصه مطالب

فصل ۱۳. الگوریتم‌های تشخیص موانع و عبور از آنها ۳۰۳

۳۰۳	۱۳-۱- حسگرها
۳۰۳	۱۳-۲- سیستم سونار
۳۰۴	۱۳-۲-۱- سونار فعال
۳۰۹	۱۳-۲-۲- سونار غیرفعال
۳۱۰	۱۳-۳- پارامترهای مؤثر بر عملکرد سونار
۳۱۱	۱۳-۴- سیستم‌های اجتناب از مانع بر اساس بینایی
۳۱۱	۱۳-۴-۱- فیزیک لیزر

۳۱۲	۱۳-۴-۲- دوربین های صوتی
۳۱۳	۱۳-۵- تشخیص موانع
۳۱۴	۱۳-۶- اجتناب از موانع
۳۱۴	۱۳-۶-۱- الگوریتم VFH
۳۱۶	۱۳-۶-۲- الگوریتم APF
۳۱۷	۱۳-۶-۳- شبکه قطعیت
۳۱۸	۱۳-۷- خلاصه مطالب

فصل ۱۴. انواع روش های بازیابی

۳۲۱	۱۴-۱- زیردریایی های دینامیکی
۳۲۲	۱۴-۲- زیردریایی های استاتیکی
۳۲۳	۱۴-۳- حذف مخزن شناوری زیردریایی و راه حل های جایگزین
۳۲۳	۱۴-۳-۱- کیسه هوای نجات فوری
۳۲۵	۱۴-۳-۲- وزنه تعادل
۳۲۵	۱۴-۳-۳- مایعات ثقیل
۳۲۶	۱۴-۴- انتخاب روش بازیابی
۳۲۸	۱۴-۵- امکان بازیابی با رها کردن وزنه های بالاست
۳۲۹	۱۴-۶- سامانه بازیابی با استفاده از هوای فشرده
۳۳۰	۱۴-۷- خلاصه مطالب

مراجع

پیشگفتار

صنعت دریایی را مولد و محرک بسیاری از صنایع در کشورها می‌دانند. ایران با موقعیت جغرافیایی خاص خود، از سواحل طولانی دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان بهره‌مند است و دروازه ورود به آبهای آزاد را دارد. این امر توجه هرچه بیشتر به توسعه علوم و فناوری‌های حوزه دریا را می‌طلبد.

حوزه مهندسی زیرسطحی نیز به عنوان یکی از شاخه‌های مهم و اصلی صنعت دریا نیاز به توجه ویژه دارد. دنیای زیر آب با توجه به ویژگی‌های منحصر به فردی که دارد، از عرصه‌های ناشناخته بشر محسوب می‌شود. با وجود اینکه انسان به فضای خارج از کره زمین راه یافته است، از محیط‌های بیکران زیر دریاها و اقیانوس‌ها اطلاعات چندانی ندارد. در حال حاضر یکی از علاقه‌مندی‌های تحقیقاتی مراکز علمی و صنعتی دنیا، کشف این محیط پر رمز و راز است. زیرسطحی‌های بدون سرنشین به عنوان اصلی‌ترین ابزار محققان در این عرصه به سرعت جایگزین زیردریایی‌های متداول و عواصان شده و امکان کشف و بهره‌برداری از محیط‌های زیرآب را فراهم ساخته‌اند.

در این کتاب به مفاهیم و اصول طراحی زیرسطحی‌های بدون سرنشین پرداخته شده است. با اینکه تلاش بسیاری شده است تا موضوع همه‌جانبه بررسی شود، ولی به دلیل گستردگی این حوزه بی‌تردید کاستی‌هایی وجود دارد. لذا از تمامی خوانندگان و صاحب‌نظران درخواست می‌شود با نظرات و راهنمایی‌های خود، ما را در تکمیل و تصحیح این اثر یاری فرمایند.

این کتاب حاصل تجارب مؤلفان در مرکز پژوهشی مهندسی دریا در دانشگاه صنعتی شریف در حوزه زیرسطحی است. بدیهی است این تألیف بدون کمک همکاران این مرکز امکان‌پذیر نبوده است و مؤلفان به نمایندگی از این مرکز اقدام به انتشار این کتاب نموده‌اند.

محمدسعید سیف

بهنام صادق‌زاده پراپری

پاییز ۱۳۹۲