

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اصول آیرودینامیک غیر دائم پیشرفته

ارنگ گولچات

مترجمین:

دکتر مصطفی هادی دولابی

مهندس علی جعفری گوهری

مهندس سیدعلی توکلی صبور

سرشناسه	: گولچات، اولگن Gülçat, Ülgen
عنوان و نام پدیدآور	: اصول آیرودینامیک غیردائم پیشرفته / اولگن گولچات؛ مترجمین مصطفی هادی دولابی، علی جعفری گوهری، سیدعلی توکلی صبور.
مشخصات نشر	: تهران: اندیشگاه فناوری های نوین، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۴۴۶ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-8290-17-9
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Fundamentals of modern unsteady aerodynamics, 2010.
یادداشت	: کتاب حاضر در همین سال توسط موسسه گفتمان تمدن نوین اسلامی فیبا گرفته است.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: جریان ناپایدار (آیرودینامیک)
موضوع	: Unsteady flow (Aerodynamics)
شناسه افزوده	: هادی دولابی، مصطفی، ۱۳۵۰ - مترجم
شناسه افزوده	: - بری گوهری: علی، ۱۳۶۵ - مترجم
شناسه افزوده	: توکلی، سیدعلی، ۱۳۴۹ - مترجم
رده بندی کنگره	: الف ۱۳۹۵ / ش ۵۱ / TL
رده بندی دیویی	: ۶۲۹/۱۳۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۴۰۷۶۸۷

اصول آیرودینامیک غیردائم پیشرفته

ناشر: اندیشگاه فناوری های نوین

مترجم: دکتر مصطفی هادی دولابی - مهندس علی جعفری گوهری - مهندس سیدعلی توکلی صبور

ویراستار: دکتر احسان عباسپور شوشتری

طراح جلد: دکتر امید باوی

صفحه آرا: زهرا سادات فرد طباطبایی

شمارگان: ۱۰۰۰

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۵

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۲۹۰-۱۷-۹

بها: ۳۵۰۰۰ ریال



انتشارات اندیشگاه
فناوری های نوین

تلفن مرکز پخش: ۷۷۲۶۳۳۴۳ - ۰۲۱

فروشگاه اینترنتی: www.aeroshop.ir

تهران، ۱۳۹۵

فهرست

۱	پیش گفتار
	فصل ۱
۵	مقدمه
۶	۱-۱ تعاریف
۶	۱-۱-۱ آیرودینامیک
۶	۲-۱-۱ ضرایب آیرودینامیک
۷	۳-۱-۱ مرکز فشار (x_p)
۷	۴-۱-۱ مرکز آیرودینامیکی (x_c)
۷	۵-۱-۱ آیرودینامیک دائم
۷	۶-۱-۱ آیرودینامیک غیردائم
۸	۷-۱-۱ آیرودینامیک تراکم پذیر
۸	۸-۱-۱ آیرودینامیک گردابه
۸	۲-۱ تولید برآ
۱۰	۳-۱ ضریب نیروی برای غیردائم
۱۲	۴-۱ آیرودینامیک دائم بال‌های نازک
۱۴	۵-۱ آیرودینامیک غیردائم بال‌های نازک
۱۴	۶-۱ آیرودینامیک دائم تراکم پذیر
۱۹	۷-۱ آیرودینامیک غیردائم تراکم پذیر
۲۰	۸-۱ آیرودینامیک بدنه باریک
۲۱	۹-۱ آیرودینامیک ماورای صوت
۲۳	۱۰-۱ نظریه پیستون
۲۴	۱۱-۱ موضوعات مدرن
۳۰	۱۲-۱ سوالات و مسائل
۳۲	مراجع

فصل ۲

۳۴	معادلات پایه
۳۴	۱-۲ جریان پتانسیل
۳۴	۱-۱-۲ معادلات حرکت
۳۹	۲-۱-۲ شرایط مرزی
۴۰	۳-۱-۲ خطی سازی
۴۷	۴-۱-۲ پتانسیل شتاب
۴۹	۵-۱-۲ سیستم مختصات متحرک
۵۰	۱-۵-۱-۲ خلاصه
۵۱	۲- جریان گاز واقعی
۵۱	۱۰-۲-۲ رهیافت‌های سیستم و حجم کنترل
۵۲	۱۲-۲-۲ پیوستگی کان و پیوستگی فواصل
۵۴	۳-۲-۲ معادلهٔ مومنتوم
۵۶	۴-۲-۲ معادلهٔ انرژی
۵۸	۵-۲-۲ معادلهٔ حرکت در مختصات عمومی
۶۱	۶-۲-۲ معادلات ناویر-استوکس
۶۵	۷-۲-۲ معادلات لایهٔ برشی نازک نام‌دار و کز
۶۸	۸-۲-۲ معادلات ناویر-استوکس سهمی شده
۶۹	۹-۲-۲ معادلات لایهٔ مرزی
۷۱	۱۰-۲-۲ معادلات ناویر-استوکس جریان تراکم‌ناپذیر
۷۲	۱۱-۲-۲ نیروها و گشتاورهای آیرودینامیکی
۷۴	۱۲-۲-۲ مدلسازی آشفته‌گی
۷۶	۱۳-۲-۲ شرایط اولیه و مرزی
۷۷	۳-۲ سوالات و مسائل
۸۱	مراجع

فصل ۳

۸۳	جریان تراکم‌ناپذیر حول ایرفویل
۸۳	۱-۳ حرکت ضربانی

۸۷	۲-۳ جریان دائم
۹۳	۳-۳ جریان غير دائم
۱۰۱	۴-۳ حرکت هارمونیک ساده
۱۰۹	۵-۳ مسأله‌ی لویس: مشکل دنباله‌ی بازگشتی
۱۱۱	۶-۳ حرکت اختیاری
۱۱۱	۷-۳ حرکت اختیاری و تابع واگنر
۱۱۶	۸-۳ مشکل تند باد، تابع کوشنر
۱۲۲	۹-۳ سوالات و مسائل
۱۲۶	مراجع

فصل ۴

۱۲۸	جریان تراکم‌ناپذیر حول بال‌های نازک
۱۲۸	۱-۴ مدل فیزیکی
۱۳۲	۲-۴ جریان دائم
۱۳۵	۱-۲-۴ تئوری خط برازا
۱۳۹	۲-۲-۴ روش L و سینجر
۱۴۱	۳-۲-۴ بال‌های با نسبت منظری کم
۱۴۷	۳-۴ جریان غیردائم
۱۴۸	۱-۳-۴ رهیافت ریسر
۱۵۲	۲-۳-۴ حل عددی
۱۵۵	۴-۴ حرکت اختیاری بال نازک
۱۵۷	۵-۴ تأثیر زاویه‌ی عقب رفتگی
۱۵۸	۶-۴ بال با نسبت منظری کم
۱۶۰	۷-۴ سوالات و مسائل
۱۶۷	مراجع

فصل ۵

۱۶۹	جریان‌های مادون صوت و مافوق صوت
۱۷۱	۱-۵ جریان مادون صوت
۱۷۷	۲-۵ جریان مادون صوت حول بال نازک

۱۷۹	۳-۵ جریان مادون صوت عبوری از روی ایرفویل
۱۸۱	۴-۵ روش تابع کرنل برای جریان مادون صوت
۱۸۵	۵-۵ روش شبکه دوتایی (دابلت)
۱۸۸	۶-۵ حرکت اختیاری یک پروفیل در جریان مادون صوت
۱۸۹	۷-۵ جریان مافوق صوت
۱۹۲	۸-۵ جریان مافوق صوت غیردائم
۱۹۷	۹-۵ جریان مافوق صوت حول یک پروفیل
۲۰۰	۱۰-۵ جریان مافوق صوت حول بال نازک
۲۰۳	۱۱-۵ روش جعبه ماخ
۲۰۶	۱۲-۵ روش کرنل مافوق صوت
۲۰۷	۱۳-۵ حرکت اختیاری یک پروفیل در جریان مافوق صوت
۲۰۸	۱۴-۵ نظر بدنه بال
۲۱۰	۱۵-۵ نظریه گسیل مناس مانک
۲۱۳	۱۶-۵ سوالات و مسائل
۲۱۸	مراجع

فصل ۶

۲۱۹	جریان صوتی
۲۱۹	۱-۶ جریان صوتی دوبعدی، خطی سازی محلی
۲۲۵	۲-۶ جریان غیردائم صوتی، رویکرد مافوق صوت
۲۲۷	۳-۶ جریان دائم صوتی، رویکرد غیر خطی
۲۳۰	۴-۶ جریان صوتی غیردائم، رویکرد عمومی
۲۳۵	۵-۶ جریان صوتی حول بال منتهای
۲۳۹	۶-۶ جریان صوتی غیردائم عبوری از بال های منتهای
۲۴۱	۷-۶ تداخلات بال - بدنه در رژیم صوتی
۲۴۳	۸-۶ سوالات و مسائل
۲۴۵	مراجع

فصل ۷

۲۴۷	جریان ماورای صوت
-----	------------------

۲۴۸	۱-۷ نظریه برخورد نیوتن
۲۵۰	۲-۷ نظریه نیوتن اصلاح شده
۲۵۴	۳-۷ جریان نیوتنی غیردائم
۲۵۶	۴-۷ قیاس پیستون
۲۵۹	۵-۷ نظریه پیستون اصلاح شده:
۲۶۳	۶-۷ جریان ماورای صوت لزج: حل‌های عددی
۲۷۳	۷-۷ جریان ماورای صوت لزج و گرمایش آیرودینامیکی
۲۸۲	۸-۷ تأثیرات دبی زیاد در جریان ماورای صوت
۲۹۷	۹-۷ جریان لزج-ماورای صوت: حل‌های عددی
۳۰۲	۱۰-۷ وسیله پرنده ماورای صوت موج سوار
۳۰۷	۱۱-۷ سوالات و مسائل
۳۱۳	مراجع

فصل ۸

۳۱۷	موضوعات جدید
۳۱۹	۱-۸ واماندگی استاتیکی
۳۲۵	۲-۸ واماندگی دینامیکی
۳۴۲	۴-۸ تکان بال
۳۵۶	۵-۸ نظریه بال زدن
۳۷۷	۶-۸ بال زدن ایرفویل انعطاف‌پذیر
۳۸۸	۷-۸ بال زدن بال متناهی
۳۹۱	۸-۸ سوالات و مسائل
۳۹۹	مراجع

فصل ۹

۴۰۳	آیرودینامیک: دورنمای آینده
۴۰۹	مراجع

ضمیمه‌ها

۴۱۰	A1 انتقال مختصات منحنی الخط عمومی شده
۴۱۲	A2 فرمول کارلمن

- A3: انتگرال کوشی ۴۱۴
- A4: جدول‌های انتگرال ۴۱۸
- A5: توابع هانکل ۴۲۰
- A6: تابع پاسخ در سیستم خطی ۴۲۱
- A7: پروفیل گودرلی ۴۲۲
- A8: انرژی لرزشی ۴۲۴
- A9: مکش لبه‌ی حمله ۴۳۰
- A10: حل اختلاف متناهی معادلات لایه‌ی مرزی ۴۳۲
- مراجع ۴۱۹

پیش‌گفتار

صدها میلیون سال قبل از پیدایش نوع بشر، پرندگان جاندار در جو کره‌ی زمین وجود داشته‌اند. تنها در اوایل سده‌ی بیستم با تحلیل صحیح نیروی برآ امکان پرواز با وسیله‌ی سرنشین‌دار و نیروی محرکه‌ی موتوری برای بشر فراهم گردید. قبل از این رویداد، یکی از پیشگامان علم مکانیک سر ایزاک نیوتن از نظریه‌ی برخورد (impact theory) خود در تلاش برای فرموله کردن نیروی رای وارد آمده بر روی بدنه‌ی قرار گرفته در جریان آزاد بهره برده بود. در اواخر سده‌ی هفدهم، نظریه‌ی او به خاطر عدم موفقیت در محاسبه‌ی مناسب تولید برآ، شکست خورد و او را به این نتیجه رساند که روزی مختص کالبد‌های آسمانی (پرندگان و حشرات) می‌باشد. در همین راستا، تقریباً دو قرن بعد ویلیام نامسون (لرد کلون) که نقش برجسته‌ی وی در ترمودینامیک و دینامیک گاز بر همگان آشکار است ثابت نمود که صرفاً اجسام سبک‌تر از هوا قادر به پرواز می‌باشند!

شاید تأثیر نامطلوب این دو پدیده ناممکن در غرب اروپا، که تأثیرشان بر علم هیدرودینامیک غیرقابل انکار است، سبب تأخیر در تحلیل صحیح تولید برا گردید. از سوی دیگر، تحلیل صحیح نیروی برا در آغاز قرن بیستم به عوامل جداگانه و مستقل از یکدیگر توسط متخصصان آیرودینامیک نظری، مارتین کوتا و نیکولای زودسکی به ترتیب در مرکز و شرق اروپا انجام گردید. در همان سال‌ها برادران رایت، که ندرت‌هاشان برای پرواز با وسیله‌ی موتوردار توسط نویسندگان معاصرشان به استهزا گرفته شده بود، هفت به پرواز در مسیری کوتاه گردیدند. از آن پس، در برهه‌ی زمانی کوتاهی کمی بیشتر از صد سال، که بسیار کوتاه‌تر از طلوعه‌ی تمدن بشری می‌باشد، تنها شاهد پرواز هزاران هواپیما در جو زمین نیستیم؛ بلکه شاهد مأموریت‌های سرنشین‌دار و بدون سرنشین به کره‌ی ماه و هر سیاره‌ای در منظومه‌ی شمسی و به اعماق فضا برای کشف وجود سایر انواع زندگی‌های هوشمند می‌باشیم.

بنیان اصول کلاسیک صدساله‌ی علوم هوایی و فضایی بی‌شک مرهون پیشرفت‌های به‌جود آمده در زمینه‌ی آیرودینامیک می‌باشد. اصلاحات ایجاد شده در زمینه‌ی آیرودینامیک بال‌ها بر پایه‌ی ارضای شرط کوتاه در لبه‌ی فرار جهت ایجاد گردش لازم برای تولید برا بسیار سریع بود به طوری که در کمتر از ربع قرن ما را به سمت شکستن دیوار صوتی و کشف پرواز مافوق سرعت صوت مداوم رهنمون کرد، امری که در طبیعت نظیر نداشته و غیر قابل تصور می‌نمود! در اغلب کارهای مهندسی که شامل حرکت می‌باشند، در سرعت‌های بالا با حرکت‌های نوسانی مقیدیا القا شده توسط سرعت، مواجه می‌باشیم. اگر تغییرات در برانگیختگی سریع باشد، پاسخ سیستم دارای تأخیر فانی ملاحظه‌ای خواهد بود. به‌طور مشابه، پاسخ سامانه‌های آیرودینامیکی برای تغییرات سریع تحریکات با استفاده از آیرودینامیک حالت دائم قابل محاسبه نخواهد بود. از سوی دیگر، آیرودینامیک غیردائم از آن‌سوی کافی جهت تأخیر فاز بین تغییرات سریع حرکت و پاسخ سیستم آیرودینامیکی بهره‌مند می‌شود. مشاهده‌ی ساختارهای کامل آیرودینامیکی موجود در طبیعت می‌توان تأثیر پدیده‌های غیردائم را با بیان وسعتی درک نمود که بتوان نیروی برآ را با استفاده از اثرات جرم‌ظاهری، حتی بدون ورود جریان آب، تولید نمود. در برخی حالت‌ها، زمانی که آیرودینامیک غیردائم کلاسیک کفایت نکند به آن سوی مفاهیم متداول می‌رویم تا با ملاحظه‌ی مجدد طبیعت، نیروی برای زیاد تولید شده توسط نیروی مکش گردابه‌های قوی ریخته شده از لبه‌های حمله‌ی تیز بال‌های با نسبت منطقی کم، در روایای حمله‌ی بالا را مورد استفاده قرار دهیم. ما این امر را برای طراحی هواپیماهای با قدرتمندتر بال در زوایای حمله‌ی زیاد و سرعت‌های کم جریان آزاد انجام می‌دهیم. اگر به زوایای حمله‌ی بالاتر از این برویم، پدیده‌ی آیرودینامیکی غیردائم القایی و نامطلوب لرزش بال را مشاهده خواهیم کرد. نحوه بر این، اخیراً پیشرفت‌های ایجاد شده در آیرودینامیک غیردائم دست به دست علم الکترونیک داده و ما را قادر به طراحی و عملیاتی ساختن ریزپرنده‌ها (MAVs) بر پایه‌ی فناوری بال زدن با ابزار کنترل رادبویی نموده است.

این کتاب که پیشرفت‌های حاصل شده در زمینه‌ی آیرودینامیک غیرخطی را در کمتر از صد سال گذشته بررسی می‌کند، به‌عنوان مرجعی دانشگاهی برای استفاده‌ی مهندسين هوافضا نوشته شده است. هدف مهم دیگر این کتاب آشنا کردن مهندسين پروژه با مبانی و دانش مورد نیاز در خصوص پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌ی آیرودینامیک غیردائم می‌باشد. این امر نیازمند

بیان این حقیقت است که ابزارهای طراحی و تحلیل مورد استفاده‌ی مهندسين محقق به مثابه‌ی جعبه‌ی سیاهی می‌باشند که نتایجی را بر اساس اطلاعات نامناسب در حوزه‌های نظری و عملی فراهم می‌کند. علاوه بر این، مدل‌های جریانات آیرودینامیکی پیچیده و روش‌های حل آنها با مثال‌هایی فراهم شده‌اند و به وسیله‌ی مسائل و سوالاتی در انتهای هر فصل افزون گردیده‌اند. برخلاف کتاب حاضر، پیشرفت‌هایی که اخیراً در زمینه‌ی آیرودینامیک غیردائم حاصل شده است و نیز اصول حاکم بر آن، در هیچ کتاب درسی دیگری ارائه نشده است، مگر در برخی از فصل‌های کتاب‌هایی که در حوزه‌ی آیرودینامیک یا دینامیک هلیکوپتر تألیف شده‌اند.

بخش کلاسیک این کتاب به طور کلی بر اساس نکات سخنرانی "نه چندان پیشرفته" توسط آرتین جی پیرس و نیز دانش آیرودینامیک گردابه‌ها ارائه شده توسط جیمز سی وو، در مدت زمانی که من در دانشگاه "جورجیا تک" دانشجوی دکتری بودم، می‌باشد. در آن زمان، فهم این تئوری‌ها و آشکارسازی نتایج آنها به دلیل این که در برگیرنده‌ی توابع خاصی بودند مشکل بود، اما امروزه باید قدرتش را بر نرم‌افزارهایی بود که با در اختیار قرار دادن روش‌های عددی جامع و امکان انجام عملیات‌ها مختلف، باعث آسان شدن حل و تحلیل این مسائل حتی توسط کامپیوترهای شخصی می‌شود. هرچند که مسائل پیچیده‌تر و زمان برتر می‌شوند، توسعه‌ی فناوری‌های جدید و روش‌های ارائه، امکان حل آنها را فراهم می‌کند و امکان درک و تفکر در مورد مفاهیم را برای کاربران مطلع فراهم می‌آورد. مفاهیم پیشرفته در این کتاب برپایه‌ی نکات درس "آیرودینامیک غیردائم" که در سال‌های گذشته در دانشگاه فنی استانبول ارائه کرده‌ام، می‌باشد.

پنج فصل اول کتاب در مورد موضوعات کلاسیک بوده و مابقی کتاب مفاهیم جدید را شامل می‌شود و چشم انداز و پیشرفت‌های ممکن پایان بخش کتاب می‌باشند. مثال‌های ارائه شده در هر فصل در زمینه‌ی بحث مربوطه مفید بوده و مساله‌های ارائه شده در انتهای فصل خواننده را به سمت درک موضوع و کاربرد آن در آینده هدایت می‌کند. هدف اصلی هر فصل به صورت خلاصه همراه با مراجع به روز، در انتهای هر فصل آورده شده است. تعداد ده ضمیمه در تکمیل استخراج فرمول‌ها، بدون قطع پیوستگی کتاب، آورده شده‌اند.

این مجال را داشتم که با کسب اجازه حق چاپ از انتشارات جوزف کاتز، NATO-AIAA و AGARD/RTD و مجله‌ی علمی "مرور سالانه‌ی مکانیک سیالات" از برخی مطالب آنها به صورت امانی استفاده نمایم. دکتر کریستف بومن کتاب را خواند و ترتیبات لازم را برای چاپ توسط انتشارات اشپرینگر فراهم نمود. زلیخا گولچات و کنان دانیشم‌ام با لطف خویش مرا در ویرایش کل کتاب‌یاری نمودند. تیاگارا جان از "سرویس انتشارات علمی" فراداده‌ی کتاب را تهیه نمود. آیدین میسرلی ائقلو و فیراتادیس مرا در انتقال جداول به صورت "ورد" یاری نمودند. من تایپ کتاب را انجام دادم و اغلب جداول و نمودارها را علی‌رغم "سندروم تونل من" که در اثر استفاده زیاد از ماوس پدید می‌آید، تهیه نمودم. گذشته از اینها، تمرکز شدید روی موضوع و ساعت‌های متمادی کار خرد را به صورت زونا نشان دادند. همسر من زلیخا، در تمامی این شرایط سخت با صبری فراوان در کنار من ایستاد. بار دیگر مایل به تشکر فراوان از کسانی هستم که در ارائه این کتاب سهیم می‌باشند.

داتچا و استانبول، آگوست ۲۰۱۰

اولگن گولچات