

عنوان کتاب

**مقدمه ای بر آبروالاستیسیته و نیروهای هواپیما**  
**جلد (۲)**

مترجمان:

**نادر وحدت آزاد**

**اباذر وحدت آزاد**

|                        |                                                                                                                                                                    |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مرئیت                  | رایت، جان آر.<br>Wright, Jan R.                                                                                                                                    |
| عنوان و نام پدیدآورنده | کتاب مقدمه ای بر آیروداستیسته و نیروهای هواپیما- جلد (۲) / اچان آر. رایت، جاناتان ای. کوپر، مترجمان: نادر وحدت آزاد، ایاز وحدت آزاد                                |
| مشخصات نشر             | تهران: دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، معاونت طرح و پژوهش، انتشارات، ۱۳۹۶.                                                                                   |
| مشخصات ظاهری           | ج ۲- ۲۸۰ ص                                                                                                                                                         |
| شابک                   | ۲۲۰۰۰۰ رزل؛ ج ۱: ۹۷۸-۶۰۰-۷۳۷۵-۵۹-۴، ج ۲: ۹۷۸-۶۰۰-۷۳۷۵-۵۵-۶                                                                                                         |
| وضعیت فهرست نویسی      | فایا                                                                                                                                                               |
| یادداشت                | عنوان اصلی: Introduction to aircraft aeroelasticity and loads, c 2007                                                                                              |
| یادداشت                | کتاب حاضر نخستین بار تحت عنوان "مقدمه ای بر آیروداستیسته و بارهای وارد بر هواپیما" در سال ۱۳۹۵ توسط الماس البرز با ترجمه مهدی اسماعیلی، علی آهنکری فیبا گرفته است. |
| یادداشت                | ج ۲ (چاپ اول: ۱۳۹۶) (فیبا).                                                                                                                                        |
| عنوان دیگر             | مقدمه ای بر آیروداستیسته و بارهای وارد بر هواپیما.                                                                                                                 |
| موضوع                  | آیروداستیسته                                                                                                                                                       |
| موضوع                  | Aeroelasticity                                                                                                                                                     |
| شناسه افزوده           | کوپر، جاناتان ای.                                                                                                                                                  |
| شناسه افزوده           | Cooper, Jonathan E.                                                                                                                                                |
| شناسه افزوده           | وحدت آزاد، نادر، ۱۳۶۲ - مترجم                                                                                                                                      |
| شناسه افزوده           | وحدت آزاد، ایاز، ۱۳۶۱ - مترجم                                                                                                                                      |
| نام افزوده             | دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، معاونت طرح و پژوهش، انتشارات.                                                                                                |
| پندی کنگره             | TL۵۷۹ انف ۱۳۹۵: ۱۹,۲۳                                                                                                                                              |
| رده بندی               | ۶۲۹/ ۱۳۲۳۶۲                                                                                                                                                        |
| شماره کتاب             | ۴۵۲۸۷۵                                                                                                                                                             |



|                                                  |                      |
|--------------------------------------------------|----------------------|
| مقدمه ای بر آیروداستیسته و نیروهای هواپیما جلد ۲ | نام کتاب             |
| نادر وحدت آزاد، ایاز وحدت آزاد                   | مترجمان              |
| مهندس حمیدرضا جستانی                             | ویراستاری عملی و فنی |
| سجاد ساکبانی - مهران ایمانی                      | طراح جلد             |
| زمستان ۱۳۹۶                                      | چاپ اول              |
| جلد ۱۰۰۰                                         | تعداد                |
| انتشارات دانشگاه هوایی شهید ستاری                | ناشر                 |
| چاپخانه دانشگاه هوایی شهید ستاری                 | چاپ و صحافی          |
| ۲۲۰۰۰۰ ریال                                      | قیمت                 |

حق چاپ و نشر محفوظ است.

فصل شانزدهم: رویارویی با تندباد و تلاطم..... ۱

- ۱-۱۶- تندباد و تلاطم..... ۳
- ۲-۱۶- پاسخ تندباد در حوزه زمان..... ۴
- ۳-۱۶- واکنش تندباد حوزه زمان-هواپیمای صلب در هیو..... ۷
- ۴-۱۶- واکنش تندباد حوزه زمان-هواپیمای صلب در پیچ/هیو..... ۱۵
- ۵-۱۶- واکنش تندباد در حوزه زمان-هواپیمای انعطاف پذیر..... ۲۰
- ۶-۱۶- شکل کلی معادلات در حوزه زمان..... ۲۷
- ۷-۱۶- واکنش تلاطم در حوزه بسامد..... ۲۸
- ۸-۱۶- پاسخ بسامد تلاطم دامنه-هواپیمای صلب در هیو..... ۳۳
- ۹-۱۶- واکنش تلاطم حوزه بسامد-هواپیمای صلب در هیو/پیچ..... ۳۸
- ۱۰-۱۶- واکنش تلاطم حور ب-مد-هواپیمای انعطاف پذیر..... ۴۲
- ۱۱-۱۶- فرم کلی معادلات در حوزه بسامد..... ۴۴
- ۱۲-۱۶- نمایش سیستم کنترل پرواز (اف سی اس)..... ۴۵

فصل هفدهم: مانورهای زمینی..... ۴۹

- ۱-۱۷- اربابه فرود..... ۴۹
- ۲-۱۷- تاکسی، برخاست، غلتش فرود..... ۵۵
- ۳-۱۷- فرود..... ۶۶
- ۴-۱۷- ترمز..... ۷۴
- ۵-۱۷- وضعیت «اسپین آپ» و «جهش به عقب»..... ۷۸
- ۶-۱۷- دور زدن..... ۸۰
- ۷-۱۷- لُرزش..... ۸۱
- ۸-۱۷- بازنمایی سیستم کنترل پرواز (اف سی اس)..... ۸۵

فصل هجدهم: بارهای داخلی هواپیما..... ۸۹

- ۱-۱۸- بارهای محدود و نهایی..... ۹۰
- ۲-۱۸- بارهای داخلی برای یک هواپیما..... ۹۰
- ۳-۱۸- عبارات بارهای داخلی کلی-بال پیوسته..... ۹۳
- ۴-۱۸- تأثیر اربابه فرود/موتورهای نصب شده روی بال..... ۹۶

- ۱۸-۵- بارهای داخلی - بال انعطاف‌پذیر پیوسته ..... ۹۸
- ۱۸-۶- اصطلاحات کلی بارهای داخلی - بال گسسته ..... ۱۰۶
- ۱۸-۷- بارهای داخلی - بدنه گسسته ..... ۱۱۳
- ۱۸-۸- بارهای داخلی - رویارویی با تلاطم پیوسته ..... ۱۱۶
- ۱۸-۹- تولید و ذخیره بارها برای دستیابی به موارد بحرانی ..... ۱۱۸
- ۱۸-۱۰- موارد ابعاد گذاری هواپیما ..... ۱۲۱
- ۱۸-۱۱- تنشهایی از بارهای داخلی - مسیرهای بار پیچیده ..... ۱۲۱
- ۱۸-۱۱- مثال‌ها ..... ۱۲۲

## فصل نوزدهم: آبرودینامیک جریان پتانسیلی ..... ۱۲۷

- ۱۹-۱- اجزای جریان: تراکم‌ناپذیر، غیر لزج ..... ۱۲۸
- ۱۹-۲- وارد نمودن جریان نرداب ..... ۱۳۴
- ۱۹-۳- مدل‌سازی آبرودینامیک با پادار عددی ایرفویل‌های دوبعدی باریک ..... ۱۳۷
- ۱۹-۴- مدل‌سازی آبرودینامیک پادار بال‌های سه‌بعدی با استفاده از یک روش پانلی ..... ۱۴۰
- ۱۹-۵- مدل‌سازی آبرودینامیکی پادار بال‌ها که تحت حرکت هارمونیک هستند ..... ۱۴۶
- ۱۹-۶- AI C های موجود در فضای مدول ..... ۱۵۰

## فصل بیستم: کوپلینگ مدول‌های محاسبه‌ای آب و هوا، امیک و سازه ..... ۱۵۷

- ۲۰-۱- مدل‌سازی ریاضی - مورد آبروالاستیک استاتیک ..... ۱۵۸
- ۲۰-۲- مدول آبروالاستیک استاتیک کوپل دوبعدی ..... ۱۶۰
- ۲۰-۳- مدول آبروالاستیک استاتیک کوپل دوبعدی هیو/بیج ..... ۱۶۱
- ۲۰-۴- مدول آبروالاستیک استاتیک کوپل سه‌بعدی ..... ۱۶۳
- ۲۰-۵- مدل‌سازی ریاضی - واکنش آبروالاستیک دینامیک ..... ۱۶۸
- ۲۰-۶- مدول آبروالاستیک دینامیک کوپل سه‌بعدی - خمش/پیش ..... ۱۶۹
- ۲۰-۷- تحلیل فلاتر ..... ۱۷۱

## فصل بیست و یکم: طراحی و گواهینامه هواپیما ..... ۱۷۹

- ۲۱-۱- آبروالاستیک‌ها و بارهای موجود در فرآیند طراحی هواپیما ..... ۱۷۹
- ۲۱-۲- فرآیند گواهینامه هواپیما ..... ۱۸۱

فصل بیست و دوم: مدول‌های بارها و آبروالاستیسیته ..... ۱۸۹

۱-۲۲- مدول سازه ..... ۱۸۹

۲-۲۲- مدول آبرودینامیک ..... ۱۹۷

۳-۲۲- سیستم کنترل پرواز ..... ۲۰۱

۴-۲۲- مسائل مدول‌های دیگر ..... ۲۰۲

فصل بیست و سوم: فلاتر و آبروالاستیسیته استاتیک ..... ۲۰۳

۱-۲۳- آبروالاستیسیته الاستیک ..... ۲۰۳

۲-۲۳- فلاتر ..... ۲۰۷

فصل بیست و چهارم: بارهای تلاطم/تندباد و مانور پرواز ..... ۲۱۱

۱-۲۴- ارزیابی بارهای داخلی ..... ۲۱۱

۲-۲۴- تعادل/مانورهای پرواز/سوازن ..... ۲۱۲

۳-۲۴- مانورهای پرواز، سامیک ..... ۲۱۶

۴-۲۴- تندبادها و تلاطم ..... ۲۲۱

فصل بیست و پنجم: بارهای مانور زمینی ..... ۲۲۹

۱-۲۵- مدول‌های ارا به فرود/هواپیما برای مانورهای زمینی ..... ۲۲۹

۲-۲۵- رابط بدنه / ارا به فرودی ..... ۲۳۰

۳-۲۵- مانورهای زمینی - فرود ..... ۲۳۱

۴-۲۵- مانورهای زمینی - کنترل زمینی ..... ۲۳۱

۵-۲۵- پردازش بارها ..... ۲۳۳

فصل بیست و ششم: آزمایش مربوط به بارها و آبروالاستیسیته ..... ۲۳۷

۱-۲۶- مقدمه ..... ۲۳۷

۲-۲۶- آزمایشات تونل تندباد ..... ۲۳۷

۳-۲۶- آزمایش ارتعاش زمینی ..... ۲۳۸

۴-۲۶- آزمایش کوپلینگ (معادلات) سازه ..... ۲۴۰

۵-۲۶- آزمایش شبیه ساز پرواز ..... ۲۴۱

۶-۲۶- آزمایشات سازه ..... ۲۴۱

۲۴۲..... ۲۶-۷ آزمایش فلاتر پرواز

۲۴۴..... ۲۶-۸ تأیید بارهای پرواز

۲۴۷..... ضمائم

۲۷۵..... منابع

آیروالاستیسیته علم مطالعه نیروهای آیروودینامیکی و اینرسی است. برای بال‌ها ثابت هواپیما دو حوزه کلیدی وجود دارد: الف) آیروالاستیسیته استاتیکی که در آن تغییر شکل هواپیما بر توزیع نیروی لیفت تأثیر می‌گذارد و می‌تواند باعث شرایط ناپایداری استاتیکی شود و طبیعتاً باعث کاهش کارایی سطح کنترل می‌شود. ب) آیروالاستیسیته دینامیکی که شامل حوزه بحرانی فلاتر است و در آن هواپیما از لحاظ دینامیکی ناپایدار می‌گردد و سازه انرژی خود را از خطوط جریان جذب می‌کند.

همچنین هواپیما به یک‌سری از بارهای استاتیکی و دینامیکی ضمیمه می‌گردد که از مانورهای پرواز، زمینی و تندبادها به وجود می‌آیند. این مدول از بارها باعث طرح بحرانی سازه هواپیما می‌گردد که از این‌رو طراحی هواپیما را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به دست آوردن این بارها نیاز به در نظر گرفتن اثرات آیروودینامیکی و الاستیک و اینرسی دارد و همچنین نیاز به حل پاسخ دینامیکی دارد. در نتیجه یک پل ارتباطی قوی بین آیروالاستیسیته و بارگذاری وجود دارد.

مشخصه‌ها و پاسخ ارتعاشی هواپیما از یک‌سری از موده‌های انعطاف‌پذیر در ترکیب با دینامیک جسم صلب به دست می‌آید. مثلاً اصلی ارتعاشات، الاستیسیته مکانیزم ارباب و انعطاف‌پذیری چرخ‌ها است. در اینجا برای بررسی این نوع از ارتعاشات از دو روش تحلیل خطی و غیرخطی استفاده شده است. برای شبیه‌سازی رفتار چرخ از فرضیه نواری استفاده شده است. بعد از نوشتن معادلات حاکم و با حل آن‌ها در و حالت خطی و غیرخطی رفتار دینامیکی سیستم بررسی شده است. پایداری سیستم، بر اساس مدل خطی بررسی شده و تأثیر پارامترهای مختلف بر روی پایداری سیستم مطالعه شد. همچنین رفتار غیرخطی سیستم در قالب پاسخ زمانی ارائه شده و با نتایج خطی مقایسه شده است.

این کتاب سعی بر این دارد تا موضوعات آیروالاستیسیته و بارگذاری که مکرراً در طراحی هواپیما مواجه شود را شامل شود تا یک مفهوم از اصول اساسی را معرفی کند. تقابل بین نیروهای آیروودینامیکی و سازه علت به وجود آمدن پدیده آیروالاستیسیته است. مطالعه این پدیده در هواپیما به‌خصوص بال آن اهمیت بسیاری دارد. نیروهای آیروودینامیکی در طول بال با استفاده از روش «*strip theory*» محاسبه می‌شود. رفتار اجسام پرنده انعطاف‌پذیر باعث ایجاد پدیده هواکشسانی می‌شود. این پدیده می‌تواند نقش مهمی در رفتار دینامیکی وسایل پرنده انعطاف‌پذیر ایفا کند. اکثر پدیده‌های هواکشسانی نامطلوب

هستند، چون اولاً در حالت کلی پدیده‌هایی غیرقابل پیش‌بینی هستند و ثانیاً روی بازده عملکردی وسیله پرنده اثر منفی می‌گذارند.

بعضی مواد پوشش داده‌شده در این کتاب از دوره لیسانس در دانشکده *Queen Mary*، دانشگاه لندن و دانشگاه منچستر اقتباس شده است. در ایالت بریتانیا، خیلی از افراد که به صنعت هوافضا وارد می‌شوند هیچ پیشینه از هوافضا ندارند و تقریباً اطلاعات کمی از آیروالاستیسیته و بارگذاری دارند. برای شروع این کار در اوایل ۱۹۹۰ نویسنده چندین مباحث کوتاه در مورد آیروالاستیسیته و دینامیک‌های سازه‌ای را برای مهندسان جوان در صنعت هوافضا بریتانیا ارائه داد و این موضوع محتوی این کتاب را تحت تأثیر خود قرار داده است. مباحث بیشتر توسط سیمسون، هنک و رایت (۱۹۸۵) برای آموزش فلاتر با استفاده از مدول داده‌شده از بال با زوایای فلپ و پیچش توسط تئوری نوار برای بیان اصول ساختاری فلاتر آمده است. این موضوع در این کتاب برای رفتار آیروالاستیسیته استاتیکی و پدیده فلاتر به کار رفته و به حوزه بارگذاری کل هواپیما بسط داده شده است. هدف این کتاب زمینه‌سازی برای مطالعه رفتار آیروالاستیک بال هواپیما و طراحی و بهینه‌سازی پره برای جلوگیری از بروز مشکلات ناشی از برهم‌کنش سیال و سازه است. مطالعه آیروالاستیک بال شامل بررسی تئوری آیروالاستیسیته و کاربرد آن در مواجهه‌شدن با خطوط جریان است و همچنین به کار گرفتن تئوری‌های موجود در کد نویسی و مقایسه با کدهای موجود نوشته‌شده توسط مراکزی مانند *REX*، از جمله فرایندهای علمی است که در این کتاب به آن پرداخته می‌شود. علاوه بر این، آزمون‌های تجربی در تونل باد برای بررسی فلاتر و واگرایی تدوین شده و مورد مطالعه قرار می‌گیرند. عمل متقابل بین تغییر شکل سازه بال و بارهای آیرودینامیکی، خمش و پیچش در هر شبانه‌روز را تعیین می‌کند و بایستی به منظور مدول رفتار آیروالاستیک استاتیکی مورد بحث قرار بگیرند. تغییر شکل آیروالاستیسیته استاتیکی همان‌طور که بارگذاری‌ها را در شرایط پرواز یکنواخت، توزیع نیروی لیفت، نیروهای درگ، اثر سطح کنترل، فشار هدایت کردن هواپیما و همچنین مشخصه‌های پایداری استاتیکی و کنترل هدایت می‌کند، مهم هستند. شکل بال‌های آیروالاستیک در شرایط به‌صورت ویژه‌ای مهم است.

پاسخ دینامیکی هواپیما نیاز به محاسبه برای مانورهای زمینی (فرود آمدن و برخاستن) مانورهای هوایی (پاسخ به حرکات کنترلی) و مواجهه‌شدن با تندبادها دارد با این حال



هنگامی که تغییر شکل و شتاب پاسخ به دست بیاید بارگذاری و تنش‌های تولیدشده در هواپیما بایستی تعیین گردند تا رفتار و تلورانس آنها به دست بیایند.

بارگذاری یک ترم عمومی است که هم با نیرو و ممان هم گسسته و پیوسته و هم داخلی و خارجی مشارکت دارد در این کتاب اصول اساسی بارگذاری به صورت کلی معرفی می‌گردند که شامل قوانین حرکت نیوتن برای یک جزء و حالت تعمیم‌یافته آن برای یک جسم اصل دالامبر (منجر به نیرو/ ممان اینرسی و نیروی اینرسی توزیع‌شده) بارهای اعمالی/ عکس‌العملی خارجی دیاگرام جسم آزاد (FBDS) نیروهای داخلی تولیدشده در سازه (بارگذاری داخلی) و نیروهای بین اجزاء است. همچنین نشان داده خواهد شد که چگونه بارگذاری‌های داخل یک سازه در یک عضو بال در حال شتاب با توزیع نیروهای اینرسی به‌منظور آوردن سازه به یک شرایط معادل استاتیکی مؤثر به دست می‌آیند.

این کتاب هم آیروالاستیسیته را همان‌طور که برای طراحی هواپیما و وسایل هوایی به‌کاررفته، به منابع ارجاع می‌دهد. نویسنده همچنین از زحماتی که در طول سال‌ها در ارتباط با تحقیقات و آموزش در حوزه دینامیک‌های سازه‌ای، سازه‌های هواپیما، آیروالاستیسیته و بارگذاری به ترتیب توسط:

*Alan Simpson (University of Bristol), Mike Turner (deceased) (British Aircraft Corporation), Geoff Hancock و David Simpson (Queen Mary College), Colin Skingle, Ian Kaynes و Malcolm Nash (BAE Farnborough, now QinetiQ), Jer-Nan Juang (NASA Langley), Peter Laws (University of Manchester), Geoff Tomlinson (University of Sheffield, formerly of Manchester), Otto Sensburg (MBB)*

و همچنین *Hans Schwieger (EADS)* انجام شده است، نهایت تشکر را دارد.

**Jan Wright and Jonathan Cooper**  
**Manchester, UK**