

# آنالیز و طراحی سازه موشک ها

**E.F.Bruhn**

مترجم: مهندس محمد کلانتریان



نشر دانشگاهی فرهمند

ناشر همکار: آدنا

نام کتاب: آنالیز و طراحی سازه موشک ها

E.F. Bruhn

مترجم: مهندس محمد کلانتریان

سال چاپ: ۱۳۹۰

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۱۰۰

قیمت: ۶۵۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۲۱۵-۲۲-۴

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فرهمند محفوظ می باشد.

نشانی: تهران - خیابان انقلاب - خیابان ایور یحل - کوچه عنصری - پلاک ۲۲

تلفن: ۶۶۹۵۳۷۷۴-۶۶۴۱۰۶۸۸

سرشناسه: برون، المر فرانکلین، ۱۸۹۹ م. Bruhn, E. F. (Elmer Franklin)

عنوان و نام پدیدآور: آنالیز و طراحی سازه موشک ها، المر فرانکلین برون؛ مترجم محمد کلانتریان

مشخصات نشر: تهران: نشر دانشگاهی فرهمند، ۱۳۹۰.

مشخصات ظاهری: ۲۰۸ص: محور.

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۲۱۵-۲۲-۴

وضعیت فهرست نویسی: فبیا

یادداشت: عنوان اصلی: missile structures Analysis and design of

موضوع: موشک ها -- طرح و ساختمان

شناسه افزوده: کلانتریان، محمد، مترجم

رده بندی کنگره: ۷۸۲TL / ۸۱۴ ۱۳۹۰

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۴۲

شماره کتابشناسی ملی: ۲۸۹۰۷۲۲

## فهرست

|         |                                                          |
|---------|----------------------------------------------------------|
| ۳.....  | پیشگفتار مترجم                                           |
| ۴.....  | مقدمه آقای E.F. Bruhn                                    |
| ۴.....  | مقدمه آقایان Meyers و Orlando                            |
| ۵.....  | فصل ۱.۱.۱ سازه موشکها - آنالیز و طراحی                   |
| ۷.....  | اصطلاحات                                                 |
| ۷.....  | سیستم های سوختی موتور                                    |
| ۹.....  | سازه (Airframe)                                          |
| ۱۱..... | ۱.۱.۳: سازه وسایل پرتاب شونده (Launch Vehicle Structure) |
| ۱۵..... | فصل ۱.۲: مبانی سیستم پیشرانه                             |
| ۱۵..... | نیروی پیشرانه راکت                                       |
| ۱۶..... | ضربه ویژه (Specific Impulse)                             |
| ۱۷..... | سرعت در مرحله آخر روشن بودن موتور (Burnout)              |
| ۱۷..... | خصوصیات سرعتی                                            |
| ۱۸..... | ۱.۲.۲: سرعتهای مورد نیاز                                 |
| ۲۰..... | تأثیرات مرحله ای کردن موشک                               |
| ۲۴..... | ۱.۲.۳: مشخصات سوخت                                       |
| ۲۵..... | ۱.۲.۴: خصوصیات سیستم پیشرانه                             |
| ۲۵..... | - سیستم های سوخت مایع                                    |
| ۲۹..... | فصل ۱.۳: مشخصات فضاپیماها و موشک ها                      |
| ۲۹..... | ۱.۳: خصوصیات موتور و وسایل پرنده                         |
| ۲۹..... | ۱.۳.۱.۱ - موشک ساترن (Saturn): (ساترن I)                 |
| ۲۹..... | ساترن IB                                                 |
| ۳۰..... | ساترن V                                                  |
| ۳۱..... | ۱.۳.۲: موشک تایتان (Titan)                               |
| ۳۱..... | تایتان GLV-II (LV-۴)                                     |
| ۳۱..... | موشک تایتان IIA (SLV-۵A)                                 |
| ۳۲..... | تایتان IIC (SLV-IIC)                                     |
| ۳۲..... | ۱.۳.۱.۳: خانواده موشکهای اطلس                            |

|         |                                                                    |
|---------|--------------------------------------------------------------------|
| ۳۲..... | موشک اطلس D (SLV-۳)                                                |
| ۳۲..... | موشک اطلس (Agenad)                                                 |
| ۳۳..... | موشک اطلس Centaur                                                  |
| ۳۳..... | E۱.۳.۱.۴ - موشکهای Thor و Delta                                    |
| ۳۳..... | موشک Delta و افزایش دهنده پیشرانه Delta (TAD)                      |
| ۳۳..... | موشک Thor-Agena                                                    |
| ۳۴..... | افزایش پیشرانه ، موشک Thor (TAT)                                   |
| ۳۴..... | E۱.۳.۱.۵ - موشک SCOT                                               |
| ۳۴..... | E۱.۳.۱.۶ دیگر موشکها                                               |
| ۳۴..... | موشک Minuteman                                                     |
| ۳۴..... | موشکهای Polaris                                                    |
| ۳۵..... | E۱.۳.۲ مشخصات موتورهای راکت                                        |
| ۵۱..... | فصل E۱.۴ انواع سازه فضا پیماها و موشکها                            |
| ۵۱..... | E۱.۴.۱ مقدمه                                                       |
| ۵۲..... | E۱.۴.۲ - تقسیمات سازه ای                                           |
| ۵۵..... | E۱.۴.۳ پوسته موتورهای سوخت جامد                                    |
| ۵۷..... | E۱.۴.۴ : مخازن سوخت مایع                                           |
| ۵۸..... | تعریف بار محوری معادل                                              |
| ۵۹..... | مرحله ۱: ضخامت دیواره و وزن پوسته دیواره مخزن                      |
| ۶۰..... | مرحله ۲- کمناش مجاز مخزن                                           |
| ۶۱..... | مخزن بدون پمپ (ها)                                                 |
| ۶۱..... | مرحله ۳- مقایسه بارها با مقادیر مجاز                               |
| ۶۳..... | E۱.۴.۵ : مرحله های میانی و مخازن میانی (Inter stage and intertank) |
| ۶۳..... | سازه تخم مرغی (mono coque)                                         |
| ۶۶..... | سازه لانه زنبوری (Honeycomb structure)                             |
| ۶۶..... | سازه از نوع waffle                                                 |
| ۶۶..... | ساختار پوسته موجدار و قاب                                          |
| ۶۷..... | ساختار پوسته - استرینگر قاب                                        |
| ۶۷..... | E۱.۴.۶ - سازه پیشرانه                                              |
| ۶۸..... | E۱.۴.۷ - تیزگیره های نوک (Nose fairing)                            |
| ۶۹..... | فصل E۱.۵ مواد مورد استفاده در موشک ها                              |

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| ۶۹  | E۱۰۵۰۱ - مقدمه                               |
| ۶۹  | E۱۰۵۰۲ - انواع معمول                         |
| ۷۰  | E۱۰۵۰۳: خواص انواع مواد                      |
| ۷۱  | آلیاژهای آلومینیم                            |
| ۷۲  | آلیاژهای فولاد                               |
| ۷۳  | آلیاژهای تیتانیوم                            |
| ۷۳  | آلیاژهای منیزیم                              |
| ۷۴  | فایبرگلاس                                    |
| ۷۴  | بریلیم                                       |
| ۷۴  | آلیاژ بریلیم - آلومینیم                      |
| ۷۴  | آلیاژهای نیکل                                |
| ۷۴  | مواد دیگر - کامپوزیتها                       |
| ۷۵  | مخازن سوخت مایع                              |
| ۷۶  | پوسته موتورهای سوخت جامد                     |
| ۷۷  | سازه فشاری مخازن میانی و مراحل میانی         |
| ۹۲  | فصل ۱۰۶ E فاکتورهای طراحی سازه               |
| ۹۲  | E ۱۰۶۰۱ - مفهوم ضریب اطمینان                 |
| ۸۷  | E ۱۰۶۰۲ - ضریب اطمینان                       |
| ۸۷  | جدول E ۱۰۶۰۱: ضرایب اطمینان مختلف            |
| ۸۷  | ۱ - سازه عمومی یا کلی                        |
| ۸۷  | ۲ - اجزاء فشاری                              |
| ۸۹  | E ۱۰۶۰۳ - دیگر فاکتورهای طراحی               |
| ۸۹  | E ۱۰۶۰۴: مفهوم قابلیت اعتماد ( Reliability ) |
| ۹۳  | فصل ۱۰۷ E آنالیز بارهای وارد بر موشک         |
| ۹۳  | E ۱۰۷۰۱: مقدمه                               |
| ۹۵  | E ۱۰۷۰۲: معادلات آنالیز بارهای وارد بر موشک  |
| ۹۶  | وزن کلی موشک بر حسب پوند                     |
| ۹۶  | وزن سوخت مایع در هر مخزن بر حسب پوند         |
| ۹۶  | مرکز ثقل موشک                                |
| ۹۹  | معان اینرسی موشک بر حسب $SlugFt^2$           |
| ۱۰۰ | نیروی عمودی خارجی آیرودینامیکی بر حسب پوند   |

|          |                                                            |
|----------|------------------------------------------------------------|
| ۱۰۰..... | نیروی موتور عرضی بر حسب پوند : ( LATERAL ENGINE FORE )     |
| ۱۰۰..... | شتاب در جهت Pitching بر حسب $\frac{Rad}{S^2}$              |
| ۱۰۰..... | شتاب عرضی در مرکز ثقل بر حسب                               |
| ۱۰۰..... | شتاب عرضی در هرایستگاه بر حسب g                            |
| ۱۰۰..... | تعیین مکان مرکز فشار                                       |
| ۱۰۱..... | بار محوری خالص خارجی وارد بر موشک بر حسب پوند              |
| ۱۰۱..... | شتاب خطی بر حسب g                                          |
| ۱۰۱..... | برش در موشک                                                |
| ۱۰۱..... | گشتاور خمشی موشک                                           |
| ۱۰۴..... | بار محوری وارد بر موشک                                     |
| ۱۰۵..... | E ۱۰۷۰۳ - سیستم موشک چهار مرحله ای ( آنالیز بارها )        |
| ۱۰۵..... | وضعیت‌های بحرانی بارگذاری ( Critical Load Conditions )     |
| ۱۰۶..... | آنالیز بارها                                               |
| ۱۰۷..... | جدول E ۱۰۷۰۸ تقسیم بندی وزن سوختها                         |
| ۱۰۸..... | جدول E ۱۰۷۰۱۰ : وضعیت‌های طراحی - بارامتها                 |
| ۱۲۳..... | وضعیت max qa                                               |
| ۱۲۳..... | توزیع سوخت و بارهای محوری وارد بر پوسته موتورهای سوخت جامد |
| ۱۲۴..... | جدول E ۱۰۷۰۱۲ - گردآوری اطلاعات مربوط به بار               |
| ۱۲۴..... | جدول E ۱۰۷۰۱۳ - جدول محاسبات - وضعیت qa حداکثر             |
| ۱۲۵..... | ۱- محاسبه مرکز ثقل                                         |
| ۱۲۵..... | ۲- محاسبه مکان اینرسی                                      |
| ۱۲۶..... | ۳- محاسبه $\ddot{\theta}$                                  |
| ۱۲۶..... | ۴- محاسبه $n_i$                                            |
| ۱۲۶..... | ۵- محاسبه برش وارد بر وسیله پرنده                          |
| ۱۲۷..... | ۶- محاسبات گشتاور خمشی وسیله پرنده                         |
| ۱۲۸..... | ۷- محاسبه بار محوری وارد به وسیله پرنده                    |
| ۱۲۸..... | ۸- ارائه بارهای نهایی                                      |
| ۱۲۸..... | ۹- توضیح و تفسیر                                           |
| ۱۲۹..... | E ۱۰۷۰۴ - سایر ملاحظات                                     |

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ۱- اثرات جسم الاستیک.....                                                        | ۱۲۹ |
| فصل E۱.۸ آنالیز تنش وارد بر موشک.....                                            | ۱۳۳ |
| E۱.۸.۱ : پوسته موتور راکت سوخت جامد.....                                         | ۱۳۳ |
| جدول E۱.۸.۱.....                                                                 | ۱۳۴ |
| راه حل های ناپیوستگی.....                                                        | ۱۳۴ |
| استوانه های خیلی کوتاه یا رینگها.....                                            | ۱۳۵ |
| جدول E۱.۸.۲.....                                                                 | ۱۳۵ |
| پوسته های مخروطی - علائم اختصاری ویژه.....                                       | ۱۳۶ |
| پوسته های نازک - راه حل تنوری خمش ناپیوسته.....                                  | ۱۳۷ |
| خواص دوزنقه.....                                                                 | ۱۴۸ |
| استوانه دراز تحت فشار بارینگ مرکزی.....                                          | ۱۴۸ |
| استوانه.....                                                                     | ۱۴۹ |
| تنشهای ناشی از بار P (مرجع شکل E۱.۸.۲).....                                      | ۱۵۱ |
| تنشهای ناشی از بار Qo (مرجع E۱.۸.۲).....                                         | ۱۵۱ |
| تنشهای ناشی از بار Mo (مرجع شکل E۱.۸.۸).....                                     | ۱۵۱ |
| تنشهای کلی در استوانه در قسمت برش.....                                           | ۱۵۲ |
| E۱.۸.۳ : کنترل وسیله پرنده - موتورهای راکت سوخت جامد.....                        | ۱۵۲ |
| E۱.۸.۳.۲ : تعیین ابعاد پوسته موتور.....                                          | ۱۵۵ |
| E۱.۸.۴ - آنالیز ناپیوستگی های پوسته موتور راکت سوخت جامد وسیله پرنده کنترلی..... | ۱۵۶ |
| E۱.۸.۵.۳ مرحله یک - مرحله میانی دو - طراحی پوسته استرینگر.....                   | ۱۷۶ |
| بارها.....                                                                       | ۱۷۶ |
| مقادیر مجاز.....                                                                 | ۱۷۶ |
| ۳- پوسته.....                                                                    | ۱۷۷ |
| قاپها.....                                                                       | ۱۷۷ |
| فرضیات پیکربندی.....                                                             | ۱۷۷ |
| مقدار مجاز لهیدگی : (crippling Allowable).....                                   | ۱۷۹ |
| ۱- روش Needham (مرجع فصل CV.۲).....                                              | ۱۷۹ |
| برای واحد نبشی ۱ یک لبه آزاد.....                                                | ۱۸۰ |
| برای واحد نبشی ۳ بدون لبه آزاد.....                                              | ۱۸۰ |
| ۲- روش Gerrad (مرجع CV.۴).....                                                   | ۱۸۱ |
| نتایج :.....                                                                     | ۱۸۷ |

امروزه علوم و صنایع هوافضا، یکی از شاخص‌های اصلی ارزیابی و محک توان علمی و فن‌آوری جوامع مختلف محسوب می‌شود با توجه به علاقه وافری که به علوم هوافضا دارم سعی نمودم که منابع و مراجع کلیدی در خصوص مباحث مطروحه در حوزه طراحی و آنالیز وسایل پرنده را با توجه به تجربه چندین ساله در بخش هوایی و موشکی کشور شناسایی کرده و با ترجمه این متون مرجع، خدمتی هرچند اندک را به جامعه علمی کشور بنمایم. در این راه با استعانت از ذات مقدس کبریایی، چندین کتاب را ترجمه کرده و آماده چاپ نموده‌ام. کتاب حاضر دومین ترجمه اینجانب بوده و برای مهندسین درگیر در کار سازه موشک و همچنین دانشجویان رشته‌های مختلف مکانیک و هوافضا مفید فایده است.

وظیفه خود می‌دانم از کلیه عزیزانی که در چاپ این ترجمه به نوعی همکاری داشته‌اند قدردانی و تشکر نمایم ، و اما چون هیچ کاری خالی از اشکال نیست لذا از همکاران گرامی، اساتید و دانشجویان محترم تقاضا دارم چنانچه موارد لغزشی در این متن مشاهده نمودند به منظور اصلاح در چاپهای بعدی از طریق آدرس [www.Iranian\\_Airboat@yahoo.com](mailto:www.Iranian_Airboat@yahoo.com) یادآور شوند.

محمد کلانتریان

زمستان ۸۵



## مقدمه آقای E.F. Bruhn

کتاب تحت عنوان آنالیز و طراحی سازه وسایل پرنده اینجانب دارای چندین فصل بود که این بخش‌ها توسط افرادی که در صنایع یا محیط‌های آکادمیک، دوره‌های زیادی را گذرانده‌اند و همچنین صاحب‌نظر در مسائل مختلف سازه‌ای و مواد هستند تالیف شده است. و در سال ۱۹۶۵ به چاپ رسید. در نظر داشتم که فصلی تحت عنوان «آنالیز و طراحی سازه موشک‌ها» را نیز به این کتاب اضافه نمایم اما به دلیل اینکه، هزاران نفر این کتاب را در سال ۱۹۶۵ خریدند بر آن شدم که این فصل جدید را تحت عنوان کتابی مستقل ارائه نمایم. این فصل جدید را آقایان J. I. Orlando و F. Meyers، سرپرستان بخش فضایی و موشک شرکت هواپیماسازی داگلاس تالیف نموده‌اند. در ارائه محاسبات طراحی در این کتاب، آنها مکرراً به جداول و نمودارهای کتاب اصلی استناد کرده‌اند.

در آخر این متن تعدادی ضمیمه و جدول از کتاب اصلی دوباره آورده شده‌اند. اینجانب عمیقاً از آقایان Orlando و Meyers به‌خاطر نوشتن مطالب این فصل جدید که اکنون به‌عنوان یک کتاب در اختیار خواننده‌است تشکر می‌نمایم.

**مقدمه آقایان Orlando و Meyers:**

این کتاب در واقع یک فصل از کتاب پروفیسور E. F. Bruhn به نام آنالیز و طراحی سازه‌های پرنده است. این فصل برای آشنایی دانشجویان و مهندسين تازه کار با زمینه‌های عمومی طراحی موشک‌ها، آورده شده است و در رابطه با تنش و بارگذاری اولیه و همچنین تمرینات طراحی سازه، انواع موشک‌های Booster بحث می‌کند.

فصل اول این کتاب در رابطه با تحلیل و توصیف مواردی نظیر یکپارچگی، نوع مواد استفاده شده در سازه، روشهای ساخت سازه، و فاکتورهای طراحی می‌باشد و جهت آشنا شدن خواننده با این موارد آورده شده است.

قسمت اصلی این کتاب فصول E۱.۷ و E۱.۸ هستند که نتایج وضعیتهای مختلف، و بارهای بحرانی را برای یک موشک چند مرحله‌ای فرضی بررسی می‌کند و روش کار را برای آنالیز این بارها که بر موشک وارد می‌شوند نشان می‌دهد.

در این کتاب روشهای بکار گرفته شده برای آنالیز، دقیقاً همان روشهای ارائه شده در کتاب آنالیز و طراحی سازه وسایل پرنده آقای Bruhn هستند، از این رو به خواننده، مثالهای عملی و مرسوم طراحی موشک را ارائه می‌دهد.

از پروفیسور Bruhn و کمپانی داگلاس، و دوستانی که برای تهیه و تدارک این متن ما را یاری کرده‌اند تشکر می‌کنیم.