

## طراحی و تحلیل لانچر در نرم‌افزار آباکوس در مقایسه با تست تجربی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴

کد مقاله: ۴۹۴۴۰

محمد امین فرهمندفر<sup>\*۱</sup>

### چکیده

برخی از اجسام پرنده بنا به دلایلی فاقد ارابه فرود می‌باشند که این عملکرد منجر به استفاده از لانچرها برای این دسته از اجسام گردیده است. به علت قرار گیری جسم بر روی این سازه پیش از فاز پرتاب نیروهایی بر این سازه اعمال می‌گردد که منجر به تغییر شکل اندکی در سازه می‌شود. گاهی اجسام قرار گرفته بر روی این لانچرها در فاز پرتاب نیازمند حفظ زاویه دقیق پرتاب هستند فلذا نباید تغییر شکل الاستیک لانچر بیش از حد مجاز گردد از این رو تحلیل میزان جابه‌جایی و تغییر شکل لانچر اهمیت می‌یابد، از طرفی برای بهره‌گیری از مواد مناسب برای ساخت لانچر اهمیت بسزایی داشته بنابراین اطلاع از نحوه توزیع تنش در سازه آن در اثر بارگذاری مهم می‌نماید. برای طی این روند ۲ راه وجود دارد که راه اول آن ساخت سازه‌ای تجربی و تست تجربی آن است که در صورت وقوع اشتباه در انتخاب ماده یا شکل سازه بسیار هزینه‌بر است و راه دوم انجام تحلیل‌های مهندسی در نرم‌افزارهایی چون آباکوس و انسیس می‌باشد که پس از اطمینان از عملکرد سازه، ساخته شده و مورد تست نهایی قرار می‌گیرد. ما در این پژوهش بر آن شدیم تا به طراحی لانچری با تناسب نیاز صنعت پرداخته و با انجام تحلیل‌های مهندسی و ساخت نمونه آن به تست تجربی سازه مورد نظر پرداخته و در نهایت به بیان تفاوت میان تحلیل‌های نرم‌افزاری و تست تجربی آن پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: لانچر، تنش و کرنش، آباکوس، انسیس، تست تجربی

در فرایند طراحی پهباد و موشک‌ها، یکی از نکات حائز اهمیت نحوه پرواز این تجهیزات است. یکی از تصمیمات اصلی که تفاوت بسیار زیادی در هزینه تمام شده و سطح تکنولوژی و ماموریت این تجهیزات ایفا می‌کند. در برخی از این قبیل تجهیزات دفاعی و تهاجمی به منظور صرفه جویی در هزینه تمام شده و عدم قابلیت استفاده ارا به فرود از لانچرها برای پرتاب استفاده می‌شود. لانچرها انواع مختلفی دارند و بنا بر کاربرد هریک طراحی خاص خود را می‌طلبند. برخی به صورت ثابت بوده و برخی برای تغییر در زاویه پرتابه متحرک و برخی پرتابل هستند.

در سال ۲۰۰۴ طی یک تحقیق اوت و بیژاد [۱] به بررسی پروژه‌ی پهبادی نیروی دریایی پرداخته‌اند که با بررسی دقیق این پهباد و مکانیزم آن و حتی مکانیزم‌های باز شدن بال و امکان شلیک آن از لانچر و حتی بالگرد نیز بررسی شده است. در این پژوهش برای تعیین محل مرکز ثقل و محل قرارگیری بر روی پرتابگر نیز بررسی شده است که این نقطه بسیار حائز اهمیت است. در پژوهشی دیگر پترسون و همکاران [۲] در سال ۲۰۰۵ به روش طراحی و مکانیزم عملکرد نوع خاصی از لانچرها (لانچر الکترومغناطیسی) که بیشترین کاربرد آن‌ها در ناوها و سایر وسایل خاص تهاجمی بوده اشاره شده است. در این پژوهش نوع آنالیز انجام شده بر اساس متود اجزا محدود بوده و نتایج تست تجربی با نرم افزار مورد قیاس واقع شده است. شینده و همکاران [۳] در سال ۲۰۱۲ طی پروژه‌ای به تاثیر ترک در صفحه آلومینیوم ۶۰۶۱ پرداخته است که برای این تست تجربی ابتدا طبق استاندارد مورد نظر قطعه ساخته شده و تست گردیده است و پس از آن تحت شرایط آزمایشگاهی تحت تست پیشروی ترک قرار گرفته است. میلر و همکاران [۴] در سال ۲۰۱۴ به بررسی دقیق نوعی ابتکاری و تولید انبوه شده لانچر پرداخته است. در این پژوهش نکات جالبی از تصاویر و مکانیزم مورد نیاز جمع آوری شده و حتی در برخی موارد تجهیزات ساختی هر یک نیز ذکر شده است. این لانچر مخصوص پرتاب اولیه پهباد بوده که روند دقیق طراحی و محاسبات ساخت به طور کامل ذکر گردیده است. در سال ۲۰۱۶ کونداریتوک و آمبروزیاک [۵] بر روی طراحی لانچرهای مگنومغناطیسی برای پهبادهای نظامی بر اساس روش‌های عددی کار نمودند. طی این پژوهش جامعه هدف طراحی، پهبادهای نظامی با وزن کمتر از ۲۵ کیلوگرم بوده است البته این ایده در طراحی لانچر ایده جدیدی نیست ولی روش بررسی شده جایگاه ویژه‌ای دارد. در سال ۲۰۱۵ آلیا و همکاران [۶] در مقاله منتشره به بررسی عددی مواد پلیمری مقاوم در شرایط مختلف با قیاس با آلایز آلومینیوم و فولاد قرار گرفته است. مرتضوی منش و همکاران [۷] در پژوهش خود با اشراف کامل بر مقتضیات موشک قائم به مراحل و پیش نیاز طراحی سکوی پرتاب موشک قائم به روش المان محدود پرداخته‌اند. این موشک قابلیت حمل ماهواره و پرتاب از روی کشتی نیز می‌باشد. عناصر اصلی این سکو را تیرهای اصلی تشکیل داده و کدهای مورد نیاز در نرم افزار متلب اجرا شده است. کاووس اوغلو و همکاران [۸] در تحقیقی با بررسی تغییر شکل و تنش نوع خاصی از فولاد به استخراج شرایط ماده و سختی آن و در مرحله بعدی تست‌های آزمایشگاهی پرداخته‌اند. نکته حائز اهمیت در این مقاله تشریح دقیق شرایط ساخت نمونه برای تست آزمایشگاهی بر اساس استانداردهای مورد نیاز می‌باشد. در سال ۲۰۲۰ رومن فدورینکو و همکاران [۹] در پژوهش یاد شده به بررسی علل و وقایع نشست و برخاست پهباد در کنار مکانیزم آن پرداخته‌اند که در این مهم نحوه طراحی و الگوریتم طراحی برای این شرایط مورد بررسی واقع شده است. گوکیل و ارسوی [۱۰] در پژوهشی در سال ۲۰۲۱ قابلیت پرتاب در انواع پهبادهای دارای بال چرخان و پهبادهای روتور گرفت‌ها با در نظر گرفتن مکانیزم مورد نیاز پرداخته است و نکات بدیعی از طراحی را در این پژوهش جمع آوری نموده است. در این پژوهش ضمن توضیح علل انتخاب طراحی و تطابق با لانچر به مکانیزم مورد نیاز نیز اشاره شده است.

## ۲- تئوری مساله

در این پژوهش به بررسی استحکام لانچر در فاز طراحی و ساخت از جهت تحمل وزن سازه قرارگیرنده بر روی آن مورد بررسی قرار گرفته است فلذا در ابتدا تحلیل‌های استاتیکی مورد نظر قرار دارند که از فرمول‌های بسیار ساده تنش و کرنش در فاز طراحی با در نظر گرفتن ضریب اطمینان مهندسی بر اساس تجربه استفاده شده است.

چنانچه اثر نیرو بر واحد سطح موجب تغییر شکل گردد، در جسم اعمال تنش اتفاق می‌افتد. نیرو در فضا می‌تواند در سه راستای X و Y و Z تجزیه گردد. همچنین بردار نرمال سطح نیز می‌تواند در فضا در سه راستای X و Y و Z تجزیه گردد. اگر نیرو در راستای بردار نرمال سطح بوده و محور را بردار نرمال سطح در نظر بگیریم، تنش ناشی از آن موصوم به تنش محوری خواهد بود.

برای استفاده از موارد فوق به جهت محاسبه‌ی نیروهای استاتیکی مد نظر در طراحی از قانون سوم نیوتون استفاده می‌گردد: اگر جسمی بر جسم دیگر نیرو وارد کند آن جسم نیز متقابلاً نیرویی هم اندازه و هم راستا ولی در خلاف جهت بر دیگری وارد خواهد کرد.

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1} \quad (1)$$

حال با استفاده از قانون اول و دوم نیوتون می‌توان تعادل استاتیکی را برای یک جسم در فضا به صورت ذیل شرح داد:

$$\begin{aligned} \sum F_i &= 0 \\ \sum M_i &= 0 \\ \text{for } i &= 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (2)$$

حال با استفاده از تعاریف صورت گرفته تنش برابر است با:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

تنش اعمالی به جسم همان طور که پیش تر نیز مطرح گردید منجر به تغییر شکل در جسم می‌گردد، به تغییر شکل در هر راستا نسبت به طول جسم در آن راستا کرنش گفته می‌شود.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (4)$$

طبق قانون هوک تغییر طول جسم با نیرو وارده بر آن رابطه خطی دارد. به دلیل تحلیل جسم در فضای سه بعدی در بیان تانسوری قانون هوک بایستی از تانسور چهارتایی که ۸۱ ضریب الاستیسیته را در بر دارد استفاده نمود که این کلی‌ترین حالت این رابطه است.

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (5)$$

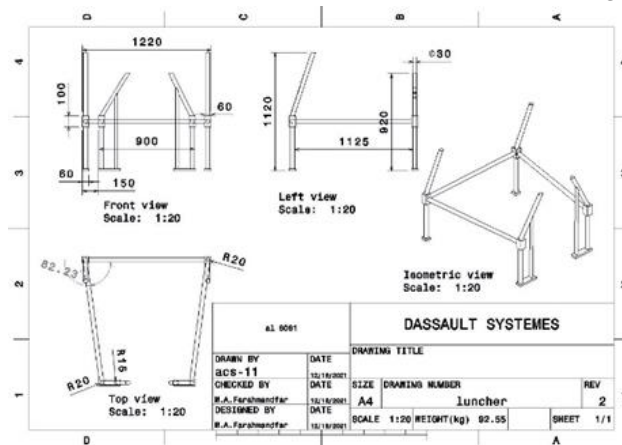
### ۳- مدل سازی

به منظور مدل سازی این لانچر از نرم افزار مدل سازی کتیا استفاده شده و نقشه کلی طرح در شکل ۱ و رندر کار در شکل ۲

بیان شده است.



شکل ۲- نمای ایزومتریک طرح در نرم افزار کتیا

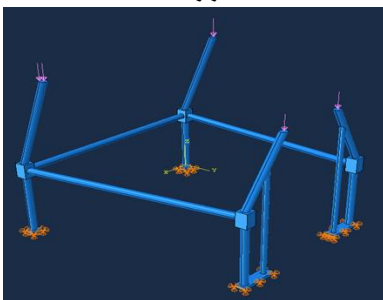


شکل ۱- نقشه کلی طرح

### ۴- روند تحلیل در نرم افزار آباکوس

به منظور تحلیل در نرم افزار آباکوس ابتدا خروجی فایل مدل سازی شده در نرم افزار فراخوان شده و سپس با اعمال خواص ماده که از تست نمونه استاندارد ( که در بخش تست تجربی بیان شده) استخراج گردیده، پرداخته شده است. سازه یاد شده تحت بارگذاری در اثر نیروی اعمالی از جسم قرار گیرنده بر روی آن با ضریب اطمینان مورد نظر نیرویی معادل ۱۶۰۰ نیوتون به صورت موضعی بر نقاط نگهدارنده واقع شده است و از نظر شرایط تکیه‌گاهی نیز در پایه‌ها تحت شرایط گیردار قرار گرفته است.

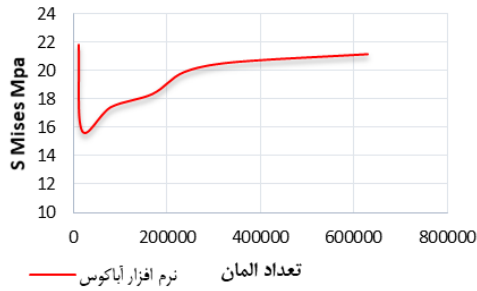
پس از اعمال موارد فوق با انجام مش بندی‌های مناسب به تحلیل استاتیکی پرداخته شده است.



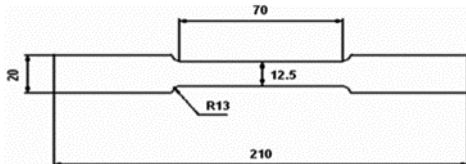
شکل ۳- بارگذاری و شرایط تکیه‌گاهی در نرم افزار آباکوس

## ۵- بررسی همگرایی حل

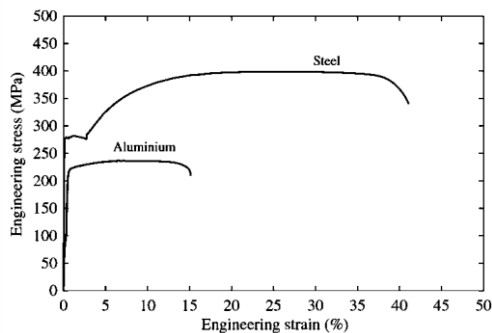
از مهم‌ترین مراحل بررسی حل نرم افزاری، بررسی استقلال حل از شبکه (مش) ایجاد شده می‌باشد. بدین منظور در هر دو نرم افزار آباکوس و انسیس به تولید مش با تعداد المان‌های مختلف پرداخته و نتایج حل هریک را برای یکی از نقاط تحت اعمال نیرو و تنش وون میز مورد بررسی و تحلیل همگرایی قرار گرفته است که نتایج نمودار همگرایی حل در شکل ۴ ذکر گردیده است.



شکل ۴- نمودار همگرایی حل



شکل ۵- استاندارد ساخت قطعه تست تنش- کرنش



شکل ۶- نمودار تنش- کرنش



شکل ۷- نمونه ساخته شده

## ۶- تست تجربی

به جهت انجام تست تجربی نمونه‌ای از آلومینیوم و فولاد بر اساس استاندارد ASTM E8 ساخته و تحت تست قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا نمونه تست بر اساس شکل ۵ ساخته شده و سپس تحت بارگذاری قرار گرفته است. نمودار تنش کرنش استخراج شده بر اساس تست صورت گرفته تحت شرایط فوق در شکل ۶ ذکر شده است.

خواص دو ماده فوق پس از استخراج نمودار در جدول ۱ به شرح ذیل جمع بندی گردیده است.

به دلیل هزینه بیشتر آلومینیوم و هم چنین به دلیل استفاده از استند در محلی ثابت (کاهش اهمیت وزن) و افزایش ضریب اطمینان سازه، تصمیم طراحی بر استفاده از فولاد گردید.

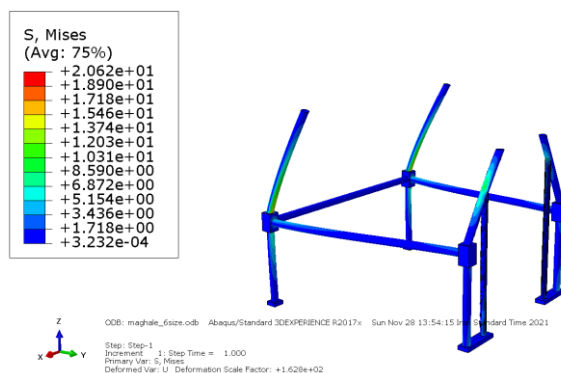
حال بر علم بر موارد فوق نمونه مدل سازی شده ساخته شده (شکل ۷) و مطابق آنچه در نرم افزار بارگذاری و مقید گردید در کارگاه نیز تحت شرایط قرار گرفته و تست شده است.

جدول ۱- خواص متریال مورد استفاده پس از جمع بندی تست

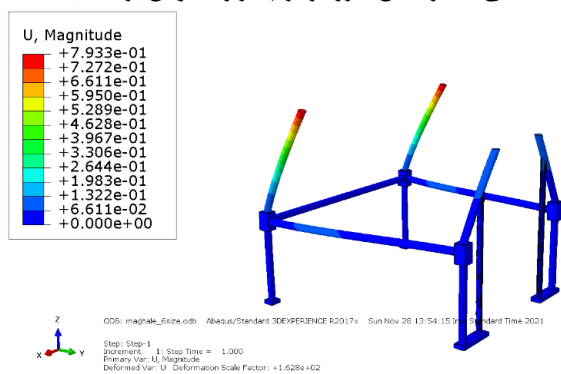
پارامتر	آلومینیوم	فولاد
چگالی ( $kg / m^3$ )	۲۵۴۳	۷۹۶۶
مدول یانگ ( $Gpa$ )	۷۰,۴	۲۰۰
تنش تسلیم ( $Mpa$ )	۲۱۸	۲۷۷
ضریب پواسون ( $U$ )	۰,۳۳	۰,۳۳

## ۷- یافته‌ها

با مراجعه به شکل ۴ می‌توان نتایج نرم افزار آباکوس برای تعداد المان ۳۳۹۱۰۳ را معتبر شمرد و اعلام نمود که نتایج آن مستقل از شبکه می‌باشد و همگرا گردیده است. نتایج تنش میز و مقدار جابه‌جایی کلی آن به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ ذکر گردیده است.



شکل ۸- نتایج مقدار تنش میز در نرم افزار آباکوس بر حسب Mpa



شکل ۹- نتایج مقدار جابه‌جایی کلی در نرم افزار آباکوس بر حسب mm

پس از بررسی دستگاه و ثبات پایه‌ها دستگاه تحت بارگذاری یاد شده قرار می‌گیرد و با استفاده از ۶ کرنش سنج کششی و فشاری نصب شده در ۴ ناحیه قرار گیری بار و ۲ ناحیه اتصالات بحرانی، نتایج تست تجربی به صورت پیوسته وارد دستگاه آنالیزور شده که پس از دیجیتال سازی و گسسته سازی نتایج نهایی بدست است. در نقطه حداکثر بار اعمالی، نتایج حاصله از این تست در جدول ۲ ذکر گردیده است.

جدول ۲- نتایج تست تجربی

پارامتر	بیشینه مقدار در نقاط اعمال بار	بیشینه مقدار در زانویی اتصالی
جابه‌جایی (mm)	۰٫۸۵	۰٫۰۵
تنش (Mpa)	۲۲٫۰	۳٫۲

حال به جهت مقایسه بهتر نتایج این دو حالت (تجربی و نرم افزار) بهتر است نتایج جدول ۳ مورد مقایسه قرار گیرند و در این جدول جمع بندی قیاسی به شرح ذیل خواهد بود:

جدول ۳- نتایج تست تجربی و نرم افزار

پارامتر	بیشینه مقدار در تست تجربی	بیشینه مقدار در نرم افزار آباکوس	درصد اختلاف
جابه‌جایی (mm)	۰٫۸۵	۰٫۷۹۳۳	۶٫۶۷
تنش (Mpa)	۲۲٫۰	۲۰٫۶۲	۶٫۲۷

## ۸- بحث و نتیجه گیری

با مراجعه به شکل ۴ می توان نتایج نرم افزار آباکوس برای تعداد المان  $339103$  را معتبر شمرد و اعلام نمود که نتایج آن مستقل از شبکه می باشد و همگرا گردیده است. به منظور صحت سنجی نرم افزار در ابتدا با بررسی روند تحلیل در نرم افزار و سپس با قیاس نتایج نرم افزار با تست تجربی صورت گرفته است که بر اساس نتایج جداول ۲ و ۳ می توان دریافت نتایج نرم افزار و تست با تفاوتی در حدود ۶ درصد نتایج بسیار عالی را به نمایش گذاشته اند که این امر نشانگر قابلیت اطمینان به تحلیل نرم افزاری پیش از تست نهایی قطعه و پس از طراحی اولیه است و رعایت این نکته با در نظر گرفتن بررسی صحت تحلیل ها کاهش چشمگیری در هزینه های جاری خواهد داشت. نکته دیگر استفاده از نتایج دقیق ناشی از تست مواد اولیه بر اساس استاندارد در این آزمایش و تحلیل می باشد. چرا که گاهی استفاده از نتایج از پیش آزمایش شده مواد اولیه باعث خطا در تحلیل ها می گردد و علت آن استفاده از مواد اولیه با شرایط متفاوت از شرایط ساخت قطعه نهایی است و این امر باعث تفاوت بیشتر تحلیل نرم افزاری با تست تجربی می گردد.

## منابع

1. Ott, J., & Biezd, D. (2004, September). Design of a tube-launched UAV. In AIAA 3rd "Unmanned Unlimited" Technical Conference, Workshop and Exhibit (p. 6493).
2. Patterson, D., Monti, A., Brice, C. W., Dougal, R. A., Pettus, R. O., Dhulipala, S., ... & Bertocelli, T. (2005). Design and simulation of a permanent-magnet electromagnetic aircraft launcher. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 41(2), 566-575.
3. Shinde, P. S., Singh, K. K., Tripathi, V. K., Sarkar, P. K., & Kumar, P. (2012). Critical J-integral of thin aluminium sheets employing a modified single edge plate specimen. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 2(3), 1360-1365.
4. Miller, B., Voloria, C., Warnock, C., & Coutlee, J. (2014). Lightweight UAV Launcher.
5. Kondratiuk, M., & Ambroziak, L. (2016). Concept of the magnetic launcher for medium class unmanned aerial vehicles designed on the basis of numerical calculations. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 54(1), 163-177.
6. Alia, R. A., Guan, Z. W., Haldar, A. K., & Cantwell, W. J. (2016). A numerical study of the energy-absorption characteristics of metal tube-reinforced polymer foams. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, 18(5), 597-623.
7. مهدیان، مرتضوی منش، شهریاری. (۲۰۱۷). طراحی و بهینه سازی سازه سکوی پرتاب قائم موشک ماهواره بر پرتاب شونده از روی کشتی به روش المان محدود. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی دریا، ۱۲(۲۴)، ۷۵-۸۸.
8. Çavuşoğlu, O., Toros, S., Gürin, H., & Güral, A. (2018). Warm deformation and fracture behaviour of DP1000 advanced high strength steel. *Ironmaking & Steelmaking*, 45(7), 618-625.
9. Galimov, M., Fedorenko, R., & Klimchik, A. (2020). UAV Positioning Mechanisms in Landing Stations: Classification and Engineering Design Review. *Sensors*, 20(13), 3648.
10. Gokbel, E., & Ersoy, S. (2021). Launchable rotary wing UAV designs and launch mechanism designs for rotary wing UAV. *Journal of Mechatronics and Artificial Intelligence in Engineering*, 2(2), 102-113.