

تحلیل و طراحی مکانیزم جهش خارج از مرکز نارنجک جهنده

حسین سوری^{۱*}، حمیدرضا قاینی^۲، سید محمدرضا فلاح علی پور زارع^۳

۱- استادیار، ۲- کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران

(تاریخ وصول: ۹۵/۱/۱۷، تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۴)

چکیده

نارنجک‌های اشک‌آور کنترل اغتشاش کنونی دارای معایبی هستند از جمله اینکه چون احتراق در دمای پایین صورت می‌گیرد قابلیت باز پرتاب از سوی اغتشاش‌گران را دارد. همچنین به دلیل وزن و حجم قابل توجه، حمل تعداد کافی از آن با مشکل مواجه است. در این راستا طراحی نارنجک کوچکی که این معایب در آن مرتفع گردیده و قابلیت حرکت یا سُرندگی روی زمین را داشته باشد، موضوع این مقاله است. این مقاله شامل تشریح واکنش شیمیایی درون نارنجک به منظور تحلیل بالستیک داخلی و همچنین طراحی شیبوره ای است که تراست گازهای خروجی از آن، در نارنجک ایجاد حرکت کند. این طراحی شامل تعیین خصوصیات چگونگی قطر گلوگاه، طول شیبوره و محل قرارگیری آن بر روی نارنجک است، به گونه‌ای که نیروی تراست مورد نیاز نارنجک را تأمین نماید. طراحی شیبوره به کمک نرم‌افزار آنسیس-سی. اف. ایکس صورت پذیرفته است. همچنین به محاسبات لازم جهت انتخاب مشخصات جنس بدنه پرداخته و در پایان تحلیل حرکت نارنجک طراحی شده، ارائه گردیده است. به دلیل در دسترس نبودن رابطه نرخ سوزش ماده اشک‌آور، یک الگوریتم جدید برای حل مسئله پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: نارنجک جهنده، شیبوره، آنسیس-سی. اف. ایکس، تراست، بالستیک داخلی.

Design of Mechanism of the off - Center Skittering for Skitter Grenade

H. Soury*, H. R. Ghayeni, S. M. R. Fallah Alipour Zare

Maleke Ashtar University of Technology-Tehran

(Received: 4/5/2016, Accepted: 9/14/2016)

Abstract

The presently available tear gas grenades used for controlling riot, have certain disadvantages like ability to re launching from rioters due to combustion at low temperature. Moreover on account of their considerable weight and volume, it was found difficult to transport sufficient number of them. In this regard, making a small grenade free from such disadvantages and to be mobile or gliding on the ground was the main topic of this paper, which includes description of chemical reaction in grenade for designing a nozzle in which the thrust of output gases create movement in the grenade. Such a design can include determination of characteristics like throat diameter, nozzle length and its situation on the grenade in a way to provide the expected goals of the grenade. Modeling of the nozzle has been provided by ANSYS CFX software, the required calculations for choosing the body material specifications has been discussed and at the end, analysis of the grenade motion was presented. Due to the unavailability of the burning rate relation of tear material, a new algorithm is proposed to solve the problem.

Keywords: Skittering Grenade, Nozzle, ANSYS CFX, Thrust, Internal Ballistic.

* Corresponding Author E-mail: h.soury@chmail.ir

۱- مقدمه

می‌آورند و دسته دوم شامل طرح‌هایی هستند که از انرژی گازهای خروجی جهت ایجاد حرکت در نارنجک استفاده می‌نمایند. بدنه این نوع نارنجک‌ها غالباً از فلزات سبک مانند آلومینیم و یا نوعی پلاستیک مقاوم در برابر حرارت ساخته شده و سعی طراحان بر کاهش وزن نارنجک معطوف می‌باشد.

در ادامه تعدادی از طرح‌های ارائه شده توسط شرکت‌های فوق‌الذکر مرور می‌شود:

- گروه نارنجک‌های لیک اری^۴ ساخت شرکت اسمیت اند وسون: نارنجک‌های چند پرشی^۵، موب مستر^۶ و مدل ۳۴، مدل‌های نارنجک کنترل اغتشاش جهنده استوانه‌ای شکل ساخت شرکت اسمیت اند وسون می‌باشند. تفاوت بین این مدل‌ها در ابعاد، وزن و حجم حمل عامل اشک‌آور می‌باشد. این نوع نارنجک‌ها به کمک نیروی پیش‌رانندگی ایجاد شده از طریق خروج گاز از سوراخ‌های تعبیه شده بر روی بدنه، حرکت می‌کنند.

- نارنجک سه‌قسمتی تعقیب‌کننده^۷ ساخت شرکت فدرال: این نارنجک از نوع نارنجک‌های جداشونده انفجاری است که به هنگام عملکرد، به سه بخش جدا شده که پس از آن هر تکه به صورت نرمال می‌سوزد.

- نارنجک مینیاتوری بنام پاکت^۸ ساخت شرکت فدرال: این نارنجک از سری نارنجک‌های جهنده می‌باشد. محل خروج گاز در این نوع نارنجک از سوراخ موجود در ته نارنجک است.

- نارنجک کروی M47: بدنه نارنجک از دو نیمکره پلاستیکی مقاوم به حرارت ساخته شده است. تخلیه CS موجب جهش‌های تصادفی نارنجک می‌شود. سرعت تخلیه از طریق مجرا، از حرکت اغتشاش‌گران برای برداشتن نارنجک و پرتاب کردن آن جلوگیری می‌کند.

- نارنجک کروی بانام رابربال^۹ ساخت شرکت نورثروپ^{۱۰}: بدنه نارنجک از جنس پلاستیک است. چهار سوراخ روی بدنه برای خروج گاز در نظر گرفته شده است. زمانی که نارنجک عمل می‌کند، خروج عامل CS از این چهار سوراخ، باعث ایجاد ابری از عامل اشک‌آور شده و موجب می‌شود نارنجک چرخش نموده و به سرعت روی زمین بغلتد.

- نارنجک مدل ۴۰۰ ساخت رژیم اشغالگر قدس: بدنه این نوع نارنجک به صورت کروی می‌باشد که از لاستیک ساخته شده است. گاز عامل از شش سوراخ به بیرون جریان می‌یابد. گاز جریان یافته موجب می‌گردد تا نارنجک جهش نماید.

نارنجک‌ها به لحاظ کاربری دارای انواعی از جمله جنگی، اشک‌آور، دودزا، آتش‌زا و غیره می‌باشند. با توجه به هدف این مقاله که بررسی در خصوص نارنجک‌های اشک‌آور است، ابتدا تعریفی از این نارنجک ارائه می‌گردد. نارنجک اشک‌آور نوعی سلاح بوده که با تولید گازهای شیمیایی حاصل از سوزش مخلوط درون آن (شامل سوخت، اکسیدان، خنک‌کننده، عامل اشک‌آور)، باعث سوزش شدید و آبریزش در چشم و بینی و ایجاد احساس خفگی شدید در انسان می‌شود. از این نارنجک اغلب برای دور کردن و متفرق کردن تظاهرات کنندگان و معترضان حکومتی و در مواردی خاص، در میدان‌های جنگی برای خارج کردن دشمن از سنگرها و خانه‌های تیمی و بازداشت نمودن آن‌ها استفاده می‌شود. این گونه از نارنجک‌ها دارای انواع مختلفی بوده که وجه اختلاف آن‌ها در نوع عامل اشک‌آور بکار رفته در آن‌ها می‌باشند.

در حال حاضر نارنجک‌های اشک‌آور موسوم به نسل اول، دارای چندین سوراخ بر روی بدنه می‌باشند که پس از شروع فرآیند سوزش، گازهای حاصل از احتراق که حاوی عامل اشک‌آور می‌باشند از این سوراخ‌ها خارج می‌گردند. این بدان مفهوم است که سوراخ‌های روی بدنه تنها برای خارج نمودن محصولات احتراق طراحی شده اند، علاوه بر آن این نارنجک‌ها دارای ابعاد بزرگ و وزن حدود ۵۰۰ گرم می‌باشند به نحوی که کاربر قادر است تعداد محدودی با خود حمل نماید. ایراد مهم‌تر عدم تحرک آن‌ها می‌باشد؛ زیرا با توجه به احتراق در دمای پایین و سرد سوز بودن مخلوط درون این گونه نارنجک‌ها، این امکان برای معترضین به وجود می‌آید تا آن‌ها را به سوی نیروهای پلیس باز پرتاب نمایند.

با توجه به اهتمام سازندگان این نوع نارنجک‌ها به حل این نواقص، در حال حاضر در کشورهای پیشرفته نارنجک‌های کنترل اغتشاشی تولید می‌گردد که دارای ابعاد مینیاتوری می‌باشند. این نارنجک‌ها علاوه بر وزن و ابعاد کوچک، دارای مکانیزم حرکتی نیز می‌باشند.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و لحاظ نمودن این موضوع که به طور معمول، اعلام فن‌آوری‌های عرصه نظامی غالباً با تأخیر همراه است، عمده فعالیت انجام شده در خصوص طراحی نارنجک جهنده، از سوی شرکت‌هایی چون اسمیت اند وسون^۱، فدرال^۲ و برونزویک^۳ در ایالات متحده صورت پذیرفته است. به طور کلی می‌توان گفت سازوکار پیشنهادی در خصوص طراحی این گونه نارنجک‌ها به دودسته کلی تقسیم می‌شوند:

دسته اول شامل نارنجک‌هایی می‌باشند که با استفاده از مقداری ماده پراثری، نیروی تراسست لازم را برای ایجاد حرکت در نارنجک فراهم

4- Lake Erie
5- Jumper Repeater
6- Mob Master
7- Triple Chaser
8- Pocket
9- Rubber Ball
10- Northrop

1- Smith & Wesson
2- Federal
3- Brunswick

۲- روش تحقیق

۲-۱- فرضیات ساده کننده

به منظور ساده سازی و ایجاد امکان حل مسئله با استفاده از اطلاعات موجود، فرضیات زیر در نظر گرفته است. این فرضیات به نحوی هستند که در انجام طراحی اولیه نارنجک خلیلی وارد نمی کنند:

- از تغییرات دما و فشار درون مخزن با مکان صرف نظر شده است (تحلیل صفر بعدی بالستیک داخلی).
- گازهای عامل از قانون گاز کامل ایده آل تبعیت می کنند.
- سیال غیر لزج در نظر گرفته شده است.
- فرآیند آدیاباتیک فرض شده است.
- جریان گاز از طریق یک شیپوره همگرا به محیط بیرون تخلیه می شود.
- جریان داخل شیپوره یک بعدی فرض شده است.
- فرض گاز Frozen در داخل شیپوره اعمال شده است.
- خرج از تمام جهات در حال سوختن است.
- فرض شده که در طول زمان دبی حجمی گاز ثابت است.
- بر اساس اطلاعات تجربی، دمای واکنش برابر ۲۰۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است.
- بر اساس اطلاعات تجربی موجود، کل مدت زمان واکنش ۱۵ ثانیه است [۲، ۳].

• از نیروهای مقاوم در مسیر حرکت، به غیر از اصطکاک با سطح زمین صرف نظر شده و شیب سطح برابر صفر در نظر گرفته می شود. همانطور که مشاهده می شود، کل زمان واکنش به عنوان ورودی و پیش فرض در نظر گرفته شده است. این موضوع باعث می شود که الگوریتم تحلیل بالستیک داخلی و باز طراحی نارنجک با الگوریتم های معمول متفاوت باشد. در الگوریتم های معمول، رابطه نرخ سوزش سوخت از ابتدا معلوم است و مدت زمان واکنش پس از تحلیل مسئله بدست می آید. اتخاذ این رویکرد جدید در حل مسئله کنونی از آنجا نشأت می گیرد که به دلیل اشک آور بودن گازهای متصاعد شده در تست اندازه گیری ضرایب نرخ سوزش سوخت، هیچ یک از آزمایشگاهها حاضر به انجام آن نشدند.

۲-۲- سوخت و واکنش های شیمیایی

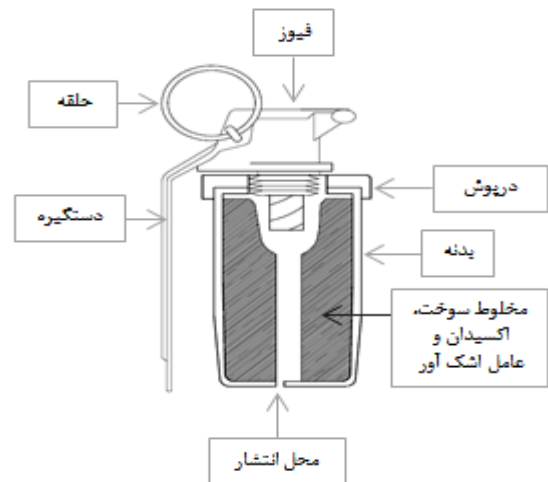
ترکیب و مقدار شارژ و عامل اشک آور داخل نارنجک بر اساس منابع در دسترس، انتخاب گردیده است [۳]. در این نارنجک جمعاً ۲۲ گرم لاکتوز به عنوان سوخت، به همراه کلرات پتاسیم که نقش اکسیدکننده را دارد، طبق معادله شیمیایی زیر واکنش می دهند [۴]:



هدف از این تحقیق بازطراحی نمونه ای از نارنجک های میندیاتوری می باشد، به نحوی که این نارنجکها علاوه بر وزن و ابعاد کوچک دارای مکانیزم حرکتی نیز باشند. در این راستا نوعی نارنجک آمریکایی ساخت شرکت برونزویک (شکل ۱) که اطلاعات کمی از آن موجود است، به عنوان مبنای کار انتخاب شده است. اطلاعات موجود از این نارنجک در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات نارنجک جهنده [۲، ۳].

مشخصات	مقدار در مدل نمونه
وزن کلی (گرم)	۱۴۲
وزن پرکننده (گرم)	۳۸
نوع سوخت / اکسیدان	لاکتوز / کلرات پتاسیم
وزن سوخت و اکسیدان (گرم)	۲۲
نوع عامل اشک آور	CS و یا CN
وزن عامل اشک آور (گرم)	۱۶
ارتفاع کل با فیوز (میلی متر)	۱۱۲
ارتفاع مخزن (میلی متر)	۸۲
زمان فیوز (ثانیه)	۱/۲
میزان حرکت در شرایط واقعی (متر)	۴۶



شکل ۱- نمایی از طرح نارنجک جهنده [۳].

این نارنجک دارای ابعادی کوچک بوده و گازهای خروجی از نارنجک، نیروی تراست لازم جهت به حرکت درآوردن آن را تولید می نمایند. در ادامه این مقاله، با مطالعه بر روی بخش های زیر، به تحلیل و بازطراحی نارنجک مذکور پرداخته شده است:

۱- بالستیک داخلی نارنجک

۲- مشخصات هندسی شیپوره ی خروج گاز و محل قرار گیری آن

۳- بدنه نارنجک

۴- دینامیک حرکت نارنجک بر روی زمین

الگوریتم محاسبات بصورت خلاصه به شرح زیر است:

- ۱- خواص هریک از گازهای شرکت کننده در واکنش و مخلوط آنها با رجوع به جداول روابط ترمودینامیکی محاسبه می شود.
- ۲- فشار درون مخزن با بکارگیری معادله حالت گاز ایده آل بدست می آید که در آن دمای مخزن بر اساس داشته های تجربی برابر ۲۰۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. فشار و دما در گلوگاه با به کارگیری روابط ۲ و ۳ قابل محاسبه است.
- ۳- با حدس اولیه برای قطر گلوگاه، با استفاده از رابطه ۴ دبی جرمی قابل استخراج خواهد بود.
- ۴- سرانجام می توان با استفاده از رابطه ۵ میزان نیروی تراست را محاسبه کرد [۱۱].

$$T = \dot{m}V + (P_t - P_{atm})A_t \quad (۴)$$

با توجه به این که حرکت نارنجک زمانی آغاز می شود که نیروی تراست به حد غلبه بر اصطکاک ایستایی برسد. پس از شروع حرکت، شتاب نارنجک از قانون دوم نیوتن قابل محاسبه است. با انتگرالگیری از شتاب، سرعت حرکت نارنجک بدست می آید. سطح زیر نمودار سرعت- زمان برابر با جابجایی نارنجک است [۱۲].

۲-۴- تنش وارد به بدنه

نارنجک را می توان به عنوان یک مخزن جدار نازک تحت فشار در نظر گرفت. تنش های به وجود آمده نباید از تنش مجاز فلز جداره مخزن بیشتر باشند.

این تنش ها در دو جهت اصلی طولی و عرضی به وجود می آیند.

مقدار تنش به وجود آمده در مقطع طولی مخزن از طریق رابطه ۶ محاسبه می شود [۱۵ و ۱۴].

$$\sigma_{\text{طولی}} = \frac{p_t}{t} \quad (۵)$$

که در آن، $\sigma_{\text{طولی}}$: تنش کششی در مقطع طولی مخزن، p : فشار سیال، t : شعاع داخلی مخزن، t : ضخامت جداره مخزن می باشند.

مقدار تنش در مقطع عرضی با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\sigma_{\text{عرضی}} = \frac{p_t}{2t} \quad (۶)$$

مقایسه روابط فوق نشان می دهد که تنش طولی دو برابر تنش عرضی است.

۲-۵- مدل سازی عددی جریان سیال درون شیپوره

در این بخش به منظور تحلیل پروفیل سرعت جریان گازهای خروجی، به مدل سازی شیپوره و جریان سیال عبوری از آن پرداخته شده است. بدین منظور از نرم افزار حل عددی ANSYS CFX استفاده شده است [۱۶]. مشخصات هندسی شیپوره به همراه ورودی های استفاده شده در حل عددی، در جدول (۲) ارائه شده است. حدس اولیه از قطر گلوگاه بر اساس بررسی ابعاد هندسی یک تصویر موجود از نارنجک

از روی جرم مولکولی مواد شرکت کننده در واکنش می توان نسبت سوخت به اکسیدان را در شرایط استوکیومتری محاسبه کرد که از قرار $۵/۹۳$ گرم لاکتوز و $۱۶/۰۷$ گرم اکسیدان است؛ یعنی درصد وزنی لاکتوز و کلرات پتاسیم به ترتیب $۲۶/۹۵\%$ و $۷۳/۰۵\%$ است. با توجه به کاربرد عامل CR در نارنجک های ساخته شده در ایران، این عامل جایگزین عوامل CS و یا CN (به کاررفته در نارنجک ساخت شرکت برونزویک) می گردد. همان طور که در جدول ۱ ذکر گردید، وزن عامل اشک آور به کاررفته در این نارنجک نیز ۱۶ گرم می باشد [۴].

۲-۳- الگوریتم تحلیل بالستیک داخلی و انتخاب قطر بهینه شیپوره

در این بخش روابط و الگوریتم تعیین نیروی تراست ارائه می شوند. همانطور که پیش از این نیز ذکر شد، الگوریتم مورد استفاده در کار کنونی به دلیل در دسترس نبودن رابطه نرخ سوزش و از پیش مشخص بودن زمان کل سوزش تا حدی با الگوریتم های معمول تحلیل بالستیک داخلی تفاوت دارد.

روش کار بدین صورت است که برای قطر گلوگاه شیپوره، مقدار اولیه ای حدس زده و با جاگذاری در رابطه تراست و با توجه به این نکته که آیا تراست به دست آمده، سرعت و جابجایی مورد انتظار در طراحی نارنجک را تأمین می سازد یا خیر، این حدس بهبود می یابد.

حجم مؤثر (حجم پر شده از گاز) محفظه نارنجک در ابتدا و قبل از شروع احتراق عبارت خواهد بود از حجم کل محفظه منهای حجم مواد پرکننده نارنجک. در طی فرآیند سوختن، مقداری از محصولات واکنش بصورت گاز از محفظه خارج می شوند و مقداری نیز نمک تولید شده و در داخل محفظه باقی می ماند. بر این اساس هر لحظه می توان حجم مؤثر را محاسبه نمود. با یک تناسب ساده می توان مقدار مول گاز آزاد شده در هر پله ی زمانی بسیار کوچک را با توجه به معادله ی واکنش شیمیایی محاسبه نمود. فشار درون محفظه، از معادله حالت گاز کامل به دست می آید.

با فرض بروز خفگی در نازل، عدد ماخ در گلوگاه نازل برابر با ۱ در نظر گرفته می شود. در این صورت فشار و دما در گلوگاه طبق روابط ۲ و ۳ قابل محاسبه است.

$$p_t = p_0 \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (۱)$$

$$T_t = T_0 \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right) \quad (۲)$$

در روابط فوق p_0 و p_t به ترتیب فشار سکون (فشار در داخل نارنجک) و فشار در گلوگاه نازل و T_0 و T_t به ترتیب دمای سکون و گلوگاه می باشند. γ نیز نسبت ظرفیت گرمایی است. سپس با به کارگیری رابطه ۴ دبی جرمی جریان قابل محاسبه است که در آن A_t سطح گلوگاه می باشد [۱۰-۸].

$$\dot{m}_t = A_t p_0 \sqrt{\frac{\gamma}{RT_0} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} \quad (۳)$$

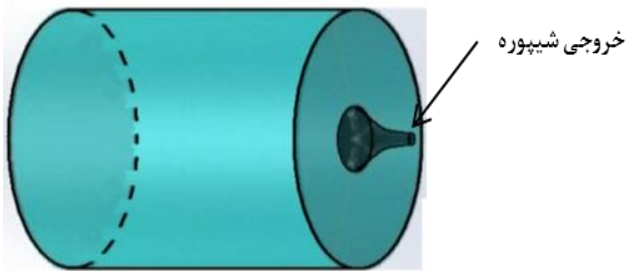
مقدار دبی جرمی نشان می دهد که چه مقدار از گاز تولید شده در واحد زمان از محفظه نارنجک خارج می شود.

۶-۲- جانمایی شیپوره

برای ایجاد حرکت خطی در نارنجک، محل شیپوره به نحوی انتخاب می شود که راستای نیروی پیشران از مرکز جرم عبور کند. در صورتی که راستای تراست از مرکز جرم عبور نکند، عمده انرژی پیشران صرف دوران نارنجک خواهد شد. برای یافتن مرکز جرم، ابتدا از روی شکلی که از نارنجک در دست است، به کمک نرم افزار کتیا^۱ مرکز جرم تک تک متعلقات را به دست آورده و در نهایت مرکز جرم نارنجک، با استفاده از روابط زیر به دست می آید:

$$\begin{aligned} X_{mc} &= (1/M) \sum m_i X_i \\ Y_{mc} &= (1/M) \sum m_i Y_i \\ Z_{mc} &= (1/M) \sum m_i Z_i \end{aligned} \quad (7)$$

محل قرارگیری شیپوره در کف مخزن نارنجک در شکل (۴) نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که در این نارنجک، مرکز جرم روی خط تقارن استوانه قرار ندارد. بلکه در خارج از مرکز و به فاصله حدود ۲/۰۲ میلیمتری از خط تقارن استوانه قرار گرفته است.



شکل ۴- نمایی از محل قرارگیری شیپوره بر روی مخزن نارنجک.

۷-۲- تحلیل دینامیک حرکت نارنجک

در این تحقیق، برای تحلیل دینامیک حرکت نارنجک از نرم افزار آدامز^۲ کمک گرفته شده است. در تحلیل مانور نارنجک توجه به فرضیات زیر ضروری است:

- در تحلیل دینامیک حرکت نارنجک، تنها نیروهای وزن، اصطکاک و تراست لحاظ شده و سایر نیروها از جمله نیروی پسا ناچیز فرض شده اند.
- نیروی تراست در تمام مسیر عمود بر کف نارنجک فرض شده است.

۳- نتایج و بحث

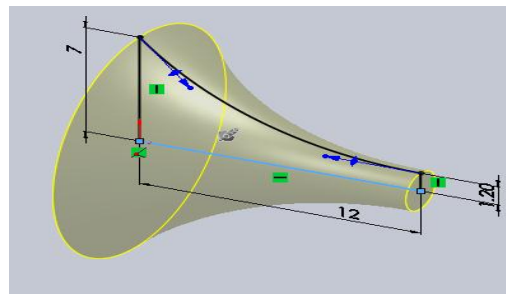
۱-۳- تحلیل بالستیک داخلی

بر اساس الگوریتم حل ارائه شده در بخش ۲-۳ یک کد کامپیوتری تهیه شد. با استفاده از این کد، تاثیر قطر گلوله نازل بر دینامیک حرکت نارنجک مورد بررسی قرار گرفته و بر این اساس قطر گلوله بهینه انتخاب شده است. نتایج این بررسی ها در ادامه ارائه می شود. لازم به ذکر است که سایر پارامترهای تاثیر گذار بر حرکت نارنجک در این

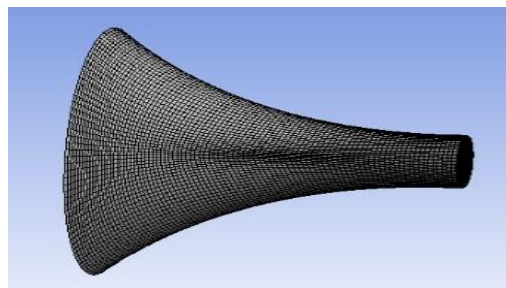
انتخاب شده است. کمیت های دیگری چون فشار بالا دست و غیره با استفاده از روابط بخش ۲-۳ بدست آمده اند. در شکل های (۲) و (۳) به ترتیب ابعاد هندسی و مش بندی شیپوره نشان داده شده است.

جدول ۲- مشخصات حل عددی مسئله.

رویکرد گسسته سازی	Element Based Finite Volume	مدل توربولانسی	ω -κ
قطر ورودی شیپوره	mm ۱۴	نوع گاز عبوری از شیپوره	گاز کامل ایده آل
قطر گلوله	mm ۲/۴	فشار در بالادست	atm ۱/۷۱۲
طول شیپوره	mm ۱۲	فشار در گلوله	atm ۱/۰۰۰۹
مش بندی	Unstructured	دمای سیال در مخزن	K ۴۷۳/۱۵
حدود ابعاد مش بندی	mm ۰/۳	چگالی سیال	m ³ / Kg ۱/۱۸۵
نوع آنالیز جریان	Steady State	جرم مولی سیال	mol/g ۵۸/۷۵
Advection Scheme	Upwind	ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت	J/Kg K ۱۴۷۲/۳۴
مدل انتقال حرارت	Total Energy	ویسکوزیته دینامیکی	m s /Kg -۵ E ۱/۸۳۱
شرایط مرزی سرعت روی دیواره	No Slip	زبری دیواره	Smooth Wall



شکل ۲- ابعاد هندسی شیپوره (میلی متر).



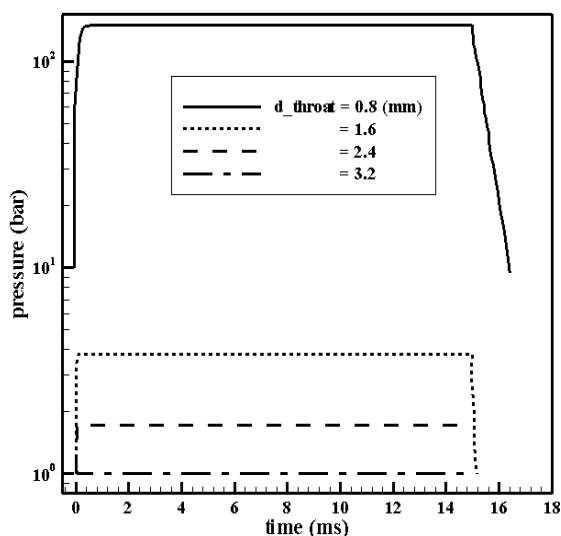
شکل ۳- شیپوره مش بندی شده (ابعاد مش بندی: ۰/۳ میلی متر).

1- Catia
2- Adams

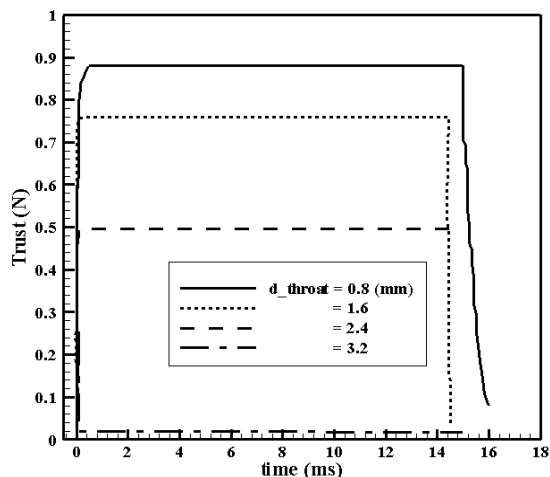
کوتاهی برای غلبه بر اصطکاک در ابتدای حرکت وجود دارد و سرعت این نارنجک به حداکثر ۱۴ متر بر ثانیه خواهد رسید. پس از اتمام تولید گاز در ثانیه ۱۵، تراست به صفر رسیده و در نتیجه اصطکاک با زمین موجب کاهش سرعت نارنجک و در نهایت توقف آن خواهد شد.

در هر چهار حالت، جرم نارنجک و مقدار پرنکنده ها (سوخت و اکسیدان و عامل اشک آور) برابر بوده و در نتیجه جرم نارنجک طی زمان واکنش، از ۱۴۲ گرم به حدود ۱۱۳ گرم می‌رسد. این روند در شکل (۸) نشان داده شده است.

تا این مرحله، از بررسی نمودارهای ۷ تا ۱۰ این گونه به نظر می‌رسد که شیپوره با قطر گلوگاه ۲/۴ میلی‌متر، طرح مناسبی برای نارنجک است. با این حال در ادامه تاثیر این انتخاب بر پارامترهای دیگر از جمله مسافت پیموده شده نیز بررسی می‌شود تا از درست بودن آن اطمینان حاصل شود.



شکل ۵- نمودار فشار داخلی- زمان برای شیپوره با قطر گلوگاه مختلف.



شکل ۶- نمودار تراست- زمان برای شیپوره با قطر گلوگاه مختلف.

تحقیق مورد ارزیابی قرار نگرفته اند. چراکه اطلاعات مربوط به آنها در دسترس بوده است.

وظیفه نارنجک کنترل اغتشاش، متفرق نمودن جمعیت و کنترل اغتشاشات بدون ایجاد تلفات جانی است؛ بنابراین سرعت موردنیاز جهت نارنجک جهنده به اندازه‌ای باید باشد که ضمن اینکه از باز پرتاب نارنجک توسط اغتشاش‌گران جلوگیری به عمل می‌آورد، آن قدر هم زیاد نباشد تا موجب آسیب دیدگی افراد گردد. در خصوص سرعت مناسب در ادامه مقاله توضیح بیشتر ارائه خواهد شد.

در شکل های (۵) الی (۸)، نمودارهای تغییرات فشار داخلی، تراست، سرعت و جرم نارنجک نسبت به زمان برای چهار اندازه قطر گلوگاه شیپوره ارائه شده است.

شکل (۵) تاریخچه تغییر فشار داخلی در نارنجک را برای قطر شیپوره های ۰/۸، ۱/۶، ۲/۴ و ۳/۲ میلی متر نشان می‌دهد. در دو حالت اول، ماکزیمم فشار داخلی به حدی بالا است که برای تحمل آن باید پوسته نارنجک ضخیم و در نتیجه سنگین باشد. در حالت قطر ۳/۲ میلی متر نیز به دلیل بزرگ بودن قطر شیپوره، فشار در داخل نارنجک افزایش نمی‌یابد و در نتیجه نیروی تراست حاصل نمی‌شود. حداکثر فشار درون مخزن برای نارنجک با قطر شیپوره ۲/۴ میلی متر، برابر با ۱/۷۱۲ بار می‌باشد.

شکل (۶)، میزان تراست ایجاد شده برای نارنجک را به ازای چهار قطر شیپوره نشان می‌دهد. در حالت قطر ۳/۲ میلی متر به دلیل بزرگ بودن قطر شیپوره، نیروی تراست به نسبت کمی حاصل می‌شود. البته در خصوص کم یا زیاد بودن نیروی تراست، با توجه به نمودارهای سرعت و مقدار مسافت طی شده توسط نارنجک می‌توان اظهار نظر قطعی کرد.

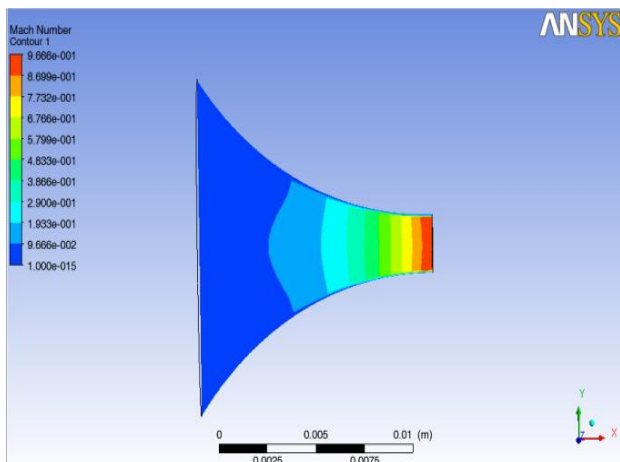
شکل (۷)، سرعت حرکت نارنجک را نشان می‌دهد. ضریب اصطکاک ایستایی سطح، برابر ۰/۳۸ و ضریب اصطکاک جنبشی، ۰/۲۸ در نظر گرفته شده است. در حالت قطر شیپوره ۰/۸ میلی متری سرعت ایجاد شده بسیار زیادتر از حد لازم است. نتایج برای شیپوره ای به قطر گلوگاه ۱/۶ میلی‌متر نشان می‌دهد که هرچند فشار داخل مخزن در شکل (۵)، تا حدود تقریباً یک چهارم حالت ۰/۸ میلی متر کاهش یافته اما هنوز سرعت بالای ایجاد شده، منجر به مسافت طولانی طی شده‌ای می‌گردد (حدود ۷۰۰ متر) که با توجه به اینکه نارنجک باید فاصله محدودی را تحت تاثیر قرار دهد، بیش از حد نیاز است. حال اگر قطر گلوگاه شیپوره به دو برابر یعنی ۳/۲ میلی‌متر افزایش یابد، همان‌گونه که مشاهده می‌شود، فشار در داخل مخزن (نشان داده شده در شکل ۵) قادر نیست تا حد کافی افزایش یابد و در نتیجه تراست موردنیاز (نشان داده شده در شکل ۶) برای غلبه بر نیروی اصطکاک و شروع حرکت ایجاد نمی‌شود و سرعتی در نارنجک ایجاد نمی‌شود. اما در نمودار سرعت - زمان مربوط به شیپوره ای به قطر ۲/۴ میلی‌متر، مشاهده می‌شود که زمان

ضخامت معمول ۰/۲ میلیمتر به راحتی نیازهای این طراحی را برآورده می‌سازد.

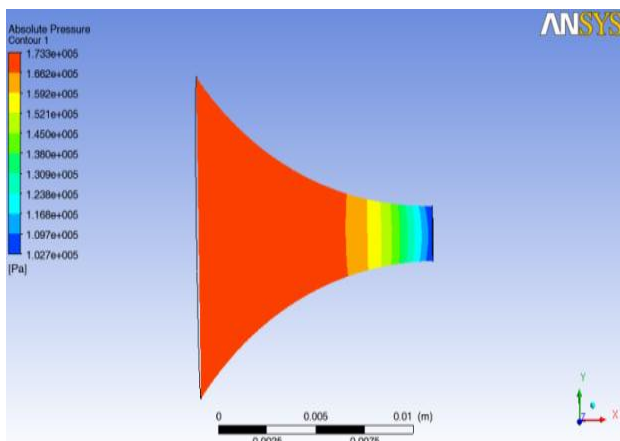
۳-۳- تحلیل حرکت سیال درون شیپوره

طول و مقطع ورودی شیپوره بر این مینا انتخاب شده که جریان در خروجی آن، فرصت لازم برای رسیدن به حالت یکنواخت (هم را ستا و تا حد امکان سرعت یک اندازه) را پیدا نماید. در چنین شرایطی شیپوره بیشترین بازدهی را خواهد داشت. شکل (۹) نشان‌دهنده‌ی کانتور عدد ماخ بوده و همان‌طور که مشخص است عدد ماخ به تدریج افزایش یافته و در گلوگاه به حداکثر مقدار خود رسیده است. حداکثر مقدار عدد ماخ در حدود ۰/۹۶ است که اختلاف حدود ۴ درصدی با عدد ماخ ۱ (ماخ مورد انتظار) دارد.

شکل (۱۰) بیانگر روند تغییر فشار در شیپوره می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش عدد ماخ در شیپوره همگرا، فشار دارای روند کاهشی بوده و از فشار مخزن تا حد فشار محیط کاهش می‌یابد.

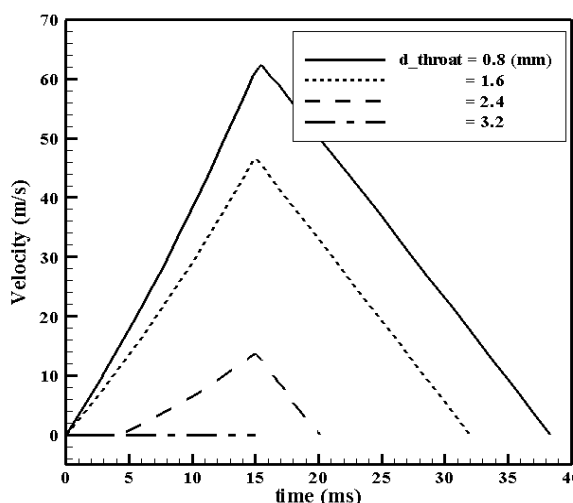


شکل ۹- کانتور عدد ماخ در شیپوره همگرا.

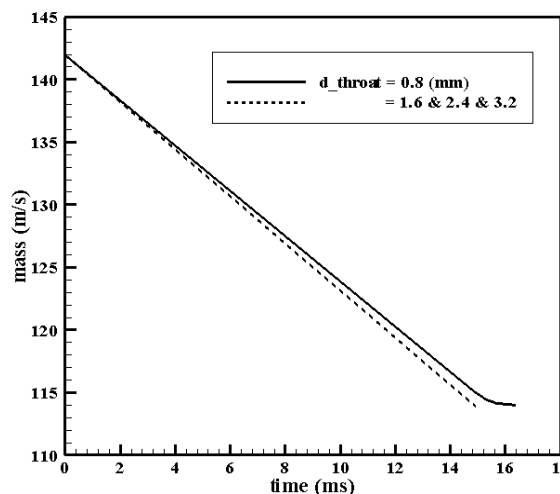


شکل ۱۰- کانتور تغییر فشار در شیپوره.

شکل (۱۱) بیانگر نحوه‌ی تغییرات سرعت گازهای خروجی در راستای محور تقارن شیپوره می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود، در انتهای



شکل ۷- نمودار سرعت- زمان برای شیپوره با قطر گلوگاه مختلف.



شکل ۸- نمودار جرم نارنجک- زمان برای شیپوره با قطر گلوگاه مختلف

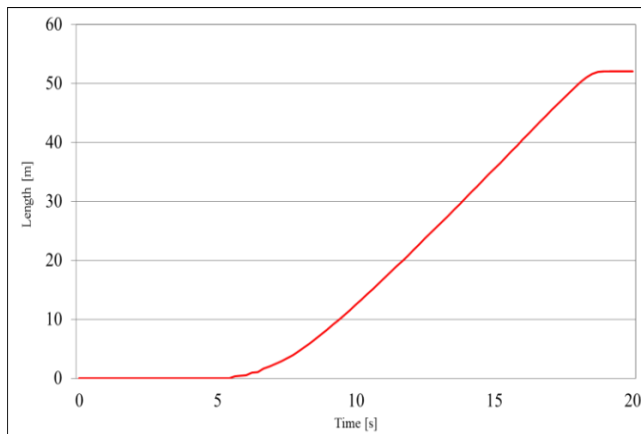
۳-۲- تحلیل تنش بر روی بدنه

با توجه به روابط تنش مطرح شده در بخش ۲-۴، می‌توان پس از بدست آوردن فشار ماکزیمم درون نارنجک، حداکثر تنش ایجاد شده در بدنه نارنجک را نیز محاسبه نمود و در نهایت با توجه به جدول استاندارد BS EN 755-2:2008 جنس و ضخامت ورقی را که برای استفاده در بدنه این نارنجک مناسب با شد را تعیین نمود. نارنجک‌های مشابه عمدتاً با بدنه‌ی آلومینیمی طراحی گردیده‌اند. ماکزیمم فشار داخلی برای قطر گلوگاه ۲/۴ میلیمتر، 1.712×10^5 پاسکال بدست آمد. با استفاده از رابطه ۶ حداکثر تنش در مقطع طولی جداره‌ی محفظه با فرض ضخامت معمول دو دهم میلیمتر (حداقل ضخامت معمول موجود در بازار) برای پوسته بدست می‌آید.

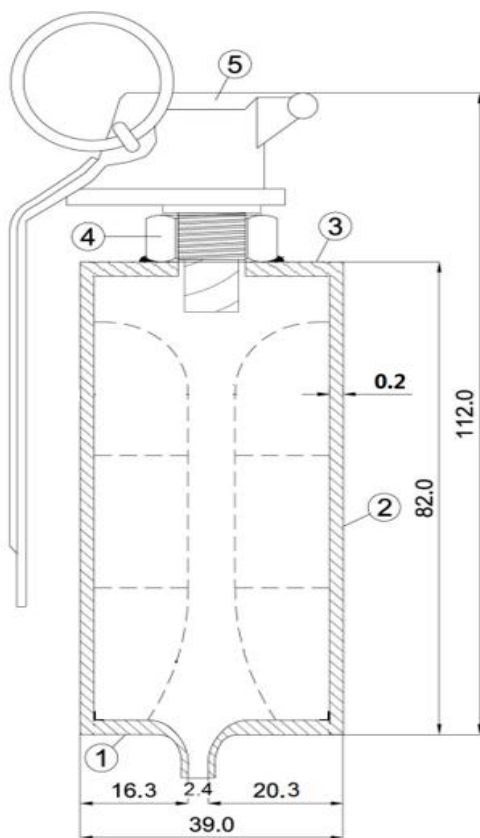
$$16.264 \text{ MPa} = \frac{0.1712 \times 19}{0.2} = \frac{P_r}{t} = \sigma_{\text{طولی}} \quad (۸)$$

جدول استاندارد BS EN 755-2:2008 نشان می‌دهد Aluminum EN AW-1050A [Al 99.5] با تنش تسلیم کششی ۱۰۵ مگاپاسکال به

نمودن از سایر نیروهای بازدارنده موجود در مسیر حرکت، حدود ۵۲ متر حرکت می‌نماید. این مسافت برای پیشگیری از بازپرتاب توسط اغتشاش گران عدد مناسبی است. ضمناً آنقدر هم زیاد نیست که گاز تولیدی نارنجک اثر بخشی خود را از دست بدهد. بر اساس محاسبات و تحلیل های فوق، طرح نهایی نارنجک استخراج شده و شماتیکی از آن در شکل (۱۴) ارائه شده است.

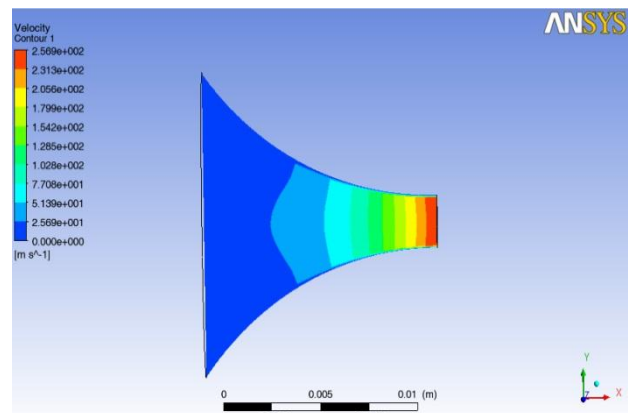


شکل ۱۳- نمودار مسافت- زمان نارنجک.



شکل ۱۴- نمایی از نارنجک پیشنهادی.

شیپوره سرعت به حالت یکنواخت رسیده است. بر اساس شبیه سازی عددی، سرعت در خروجی شیپوره به حدود ۲۵۷ متر بر ثانیه می‌رسد. لازم به ذکر است که این مقدار در مقایسه با حل تحلیلی، در حدود چهار درصد کمتر است.

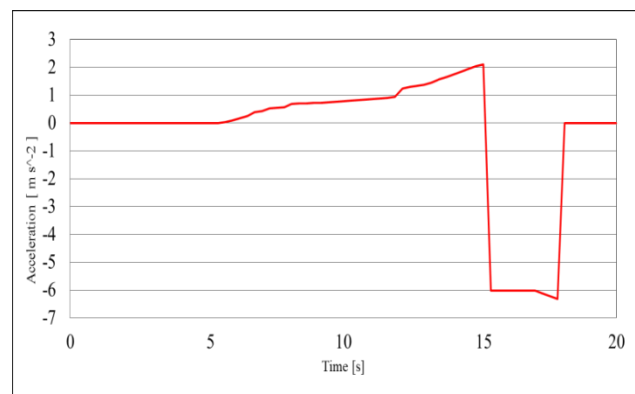


شکل ۱۱- کانتر تغییرات سرعت در راستای محور تقارن شیپوره.

۴-۲- تحلیل حرکت نارنجک

حرکت جسم با توجه به تراست به دست آمده از شیپوره با مشخصات مطلوب فوق الذکر، با استفاده از نرم افزار آدامز تحلیل شده است. همان گونه که در بخش ۲-۷ ذکر شد، نیرو در راستای مرکز جرم استوانه و بر بدنه نارنجک عمود در نظر گرفته شده است از این رو از لحاظ تئوریک شتاب زاویه‌ای وجود نخواهد داشت.

شکل (۱۲) نمودار شتاب - زمان نارنجک است. همان گونه که از روند نمودار نمایان است، تا حدود ۵ ثانیه پس از فرآیند سوزش، نارنجک فاقد شتاب است، پس از آن جسم دارای شتاب مثبت بوده تا زمانی که مخلوط داخل نارنجک به اتمام می‌رسد، پس از آن جسم در اثر اصطکاک با زمین با شتاب منفی به حرکت ادامه داده تا شتاب آن به صفر می‌رسد.



شکل ۱۲- نمودار شتاب- زمان نارنجک.

تاریخچه مسافت طی شده توسط نارنجک در شکل (۱۳) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که نارنجک با فرض انتخاب شیپوره با گلوگاه ۲/۴ میلیمتر و اعمال اصطکاک سطح زمین با بدنه و صرف نظر

د- استقلال نتایج تحلیل عددی شیپوره از شبکه محاسباتی

جریان داخل شیپوره با استفاده از پنج اندازه متوسط سلول های محاسباتی (۰/۱۵، ۰/۳، ۰/۶، ۱/۲، ۲/۴ میلیمتر) مدل شد. سپس با توجه به زمان و دقت حل، شبکه با ابعاد مش حدود ۰/۳ میلیمتر جهت شبیه سازی انتخاب گردید. شکل (۱۵) استقلال از شبکه بندی در تحلیل عددی را اثبات می نماید.



شکل ۱۵- بررسی عدم وابستگی نتایج به شبکه محاسباتی (متوسط عدد ماخ در مقطع خروجی).

۴- نتیجه گیری

با استفاده از روابط بالستیک داخلی و روابط حاکم بر شیپوره های همگرا و با فرض اینکه رابطه نرخ سوزش در دسترس نیست اما در عوض کل زمان سوزش از ابتدا معلوم است، الگوریتم حل جدیدی برای حل مسئله ارائه شد. بر مبنای الگوریتم مذکور، یک کد کامپیوتری توسعه داده شد و با استفاده از آن و به صورت سعی و خطا قطر مطلوب گلوله شیپوره برابر ۲/۴ میلی متر بدست آمد.

از آنجا که نارنجک مدنظر سرنده بوده و فاقد حرکت دورانی می باشد، لذا محل شیپوره در ته نارنجک استوانه ای شکل به نحوی انتخاب شد که بردار تراست از مرکز جرم استوانه عبور نماید. بر این اساس شیپوره در خارج از مرکز و به فاصله ۲/۰۲ میلی متر از مرکز ته استوانه جانمایی شد. با توجه به فشار ۰/۱۷۱۲ مگا پاسکالی درون مخزن و حداکثر تنش ۱۶/۲۶۴ مگا پاسکالی اعمالی به دیواره مخزن و نیز با در نظر گرفتن استاندارد EN 755-2 در خصوص آلیاژهای آلومینیم، جنس ورق جهت مصرف در بدنه، آلومینیم ۱۰۵۰ و ضخامت آن دو دهم میلی متر پیشنهاد گردید.

در پایان نیز حرکت جسم با توجه به تراست به دست آمده از شیپوره مطلوب، در نرم افزار آدامز تحلیل گردید. در این مرحله مسافت طی شده توسط نارنجک حدود ۵۲ متر به دست آمد. این در حالی است که نتایج

۳-۵- صحت سنجی و بررسی عدم وابستگی به شبکه

جهت اطمینان از درستی محاسبات و نتایج حاصله، در سه مورد زیر صحت محاسبات مورد ارزیابی قرار گرفته اند و در نهایت عدم وابستگی حل عددی به شبکه محاسباتی نیز ارزیابی شده است.

الف- قطر مطلوب شیپوره با استفاده از تحلیل بالستیکی و قوانین حاکم بر شیپوره ها

با استفاده از قوانین حاکم بر شیپوره ها و تحلیل بالستیک داخلی نارنجک، قطر ۲/۴ میلی متر به عنوان قطر مطلوب شیپوره ی نارنجک انتخاب شد. این نتیجه بدون پیش داوری و تنها با اتکا به قوانین و روابط حاکم بدست آمد.

پس از بررسی هندسی تصویر موجود از نارنجک ساخت شرکت برونزویک در نرم افزار اتوکد، مشاهده شد که اندازه قطر گلوله شیپوره آن، تا حد زیادی به نتیجه محاسبات نزدیک است (حدود ۲/۲ میلی متر).

یکی دیگر از فاکتورهایی که می توان جهت صحت سنجی به آن توجه نمود، عدد ماخ در خروجی شیپوره است. در انجام محاسبات فرض شد که شیپوره دچار خفگی می شود و در نتیجه ماخ در گلوله به عدد ۱ می رسد. همان طور که پیش از این هم بیان شد، شکل (۹) نشان می دهد که در مدل سازی عددی انجام شده، متوسط عدد ماخ در گلوله را ۰/۹۶ پیش بینی می کند (حدود ۴ درصد اختلاف).

ب- جانمایی شیپوره

همان گونه که در مقدمه مطرح گردید، مدارک موجود نارنجک ساخت شرکت برونزویک را با عنوان نارنجک سرنده با خروجی خارج از مرکز معرفی کرده اند. از طرفی دیگر، به منظور استفاده بهینه از نیروی تراست برای حرکت خطی نارنجک و پیشگیری از حرکت دورانی، اظهار شد که باید راستای نیروی تراست از مرکز جرم بگذرد. این نقطه در خارج از مرکز هندسی نارنجک است. بنابراین از این جهت نیز نارنجک طراحی شده، منطبق بر مشخصات محصول شرکت برونزویک می باشد.

ج- تحلیل حرکت

در بخش ۳-۴ دینامیک حرکت نارنجک با استفاده از نتایج به دست آمده از مراحل قبل و نیز به کارگیری قوانین حرکت، مورد تحلیل و نتیجه گیری قرار گرفت. در این مرحله مسافت طی شده توسط نارنجک حدود ۵۲ متر به دست آمد. با وجود این که از نیروهای مقاوم در برابر حرکت به غیر از اصطکاک سطح صرف نظر و سطح بدون پستی و بلندی در نظر گرفته شده بود، این نتیجه با نتیجه آزمون میدانی نارنجک ساخت شرکت برونزویک که حدود ۴۶ متر سرندهگی برای آن گزارش شده، همخوانی دارد. بنابراین صحت تحلیل حرکت و نیز صحت داده ها و ساده سازیهای مورد استفاده و نتایج به دست آمده را تأیید می نماید.

مراجع

- [1] Ahmadi, E. "Grenade History"; [http:// WWW.iratresh.ir/post/604](http://WWW.iratresh.ir/post/604), 2014.
- [2] Crockett, T. S.; Newhouser, C. R. "Recognition of Explosive and Incendiary Devices"; IACP: Washington, 1975..
- [3] Crockett, T. S. "Police Chemical Agent Manual"; IACP: Washington, 1975.
- [4] Scanes, F. S.; Martin, R. A. M. "Heats of Reaction of Pyrotechnic Compositions Containing Potassium Chlorate"; *Combust. Flame* 1965, 23, 357-362.
- [5] حیدری، محمدرضا و آدمی، امیرحسین "تحلیل گرین‌های خاص و شبیه‌سازی سریع بالستیک داخلی موتور سوخت جامد"، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم و فناوری فضایی، سال اول، شماره ۳، صفحه ۶۷، ۱۳۹۱.
- [6] میر ساجدی، سید مهدی و حیدری، محمدرضا و کلاته، عصمت "شبیه‌سازی یک‌بعدی بالستیک داخلی موتور سوخت جامد"، هشتمین کنفرانس سالانه انجمن هوافضای ایران، ۱۳۸۷.
- [7] جیمز ئی. آ. جان، ترجمه عالم رجیبی، علی اکبر "دینامیک گازها"، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ پنجم، ۲۲-۱، ۱۳۸۷.
- [8] Sutton, G. P. "Element the Engineering of Rockets"; John Wiley & Sons: New York, 1986.
- [9] Sutton, G. P.; Biblars, O. "Rocket Propulsion Elements"; John Wiley & Sons: New York, 2001.
- [10] Haluk aksel, O. E. M. "Gas Dynamics"; Prentice Hall: New York, 1994.
- [۱۱] آمی، فتح‌اله "موتور و پیش‌رانش فضایی"، انتشارات بعثت، تهران، چاپ اول، ۸۵-۱۳۸۸.
- [12] Halliday, R.D. "Physics"; John Wiley & Sons: New York 1987.
- [13] Moss, D. R. "Pressure Vessel Design Manual"; Gulf Professional Publishing: New York, 2004.
- [۱۴] پوپوف، ایگور و بی یر، فردیناند و جانسون، راسل، ترجمه طاحونی، شاپور "مقاومت مصالح"، انتشارات پارس آیین، تهران، چاپ بیست و سه، ۵۳۷-۲۵۹، ۱۳۹۰.
- [۱۵] شیگلی، جوزف ادوارد، ترجمه فیروز بخش، کیخسرو "مقاومت مصالح"، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول، ۱۰۶-۲۷، ۱۳۷۰.
- [۱۶] کاظمی، محمدعلی و خواجه پور، سالار و کیانی، فرزاد و اکبری، محمد "مدل‌سازی و تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی به کمک نرم‌افزار ANSYS CFX"، انتشارات عابد، چاپ اول، ۴۷۲-۱۹، ۱۳۹۱.

آزمون میدانی نارنجک مینیاتوری سُرنده برونزویک (ارائه شده از طرف شرکت سازنده) حاکی از طی مسیری حدود ۴۶ متری است [۳، ۲]. البته این اختلاف ۱۳ درصدی در نتایج آزمون عملی صورت گرفته توسط شرکت برونزویک با نتایج عددی به دلیل در نظر نگرفتن همه‌ی نیروهای مقاوم در مسیر حرکت اعم از نیروی درگ و . . . توجیه‌پذیر می‌باشد.

فهرست علائم

نماد	تعریف
A	سطح مقطع
BA	برومو استون
$C_{12}H_{22}O_{11}.H_2O$	لاکتوز
CA	برمو بنزیل سیانید
CN	کلرو استوفنون
CO ₂	دی‌اکسید کربن
CR	دی بنزو اکسازپین
CS	ارتو کلرو بنزیدین مالونونیتریل
KCl	کلرید پتاسیم
KClO ₃	کلرات پتاسیم
k- ω	نوعی مدل توربولانسی
M	عدد ماخ
m	دبی جرمی
P	فشار
R	ثابت گاز
R	شعاع (شعاع داخلی مخزن)
T	دمای مطلق - تراست
V	سرعت - سرعت گاز
γ	نسبت گرمای ویژه
$\sigma_{\text{طولی}}$	تنش کششی در مقطع طولی
$\sigma_{\text{عرضی}}$	تنش کششی در مقطع عرضی