

تحلیل بالستیک داخلی پرتابه در پرتابگرهای گازی و بررسی اثر پارامترهای پرتابگر بر سرعت

خروجی پرتابه

عطیه صفایی عرشی^۱، جعفر قنبری^۲

۱ کارشناس مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی قم، قم

۲ استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی قم، قم، ghanbari@qut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۲

چکیده

در این مقاله حرکت پرتابه‌ها در پرتابگرهای گازی از لحظه آغاز حرکت تا خروج آن از دهانه پرتابگر تحلیل شده است. به منظور به دست آوردن سرعت دهانه پرتابگر، از نرم‌افزار فلوئنت و بهره‌گیری از قابلیت اندرکنش سازه - سیال استفاده شده است. تأثیر پارامترهای مختلف پرتابگر در سرعت خروجی پرتابه، از جمله اثر عواملی چون فشار گاز داخل مخزن، طول لوله پرتابگر، نوع گاز داخل مخزن و دمای گاز داخل مخزن بر سرعت دهانه بررسی شده است. بدین منظور، برای هر پارامتر مورد بررسی، با ثابت نگاه داشتن سایر پارامترها و تغییر در پارامتر مورد نظر، شبیه‌سازی سازه - سیال انجام شده و سرعت دهانه استخراج شده است. در تحلیل‌های انجام‌شده، وزن پرتابه و قطر لوله پرتابگر ثابت در نظر گرفته شده است. با استفاده از نتایج حاصل، مقدار مناسب هر یک از پارامترهای مورد بررسی در افزایش سرعت پرتابه در دهانه خروجی پرتابگر تعیین شده است. همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج حاصل از روابط تئوری برای محاسبه سرعت دهانه مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد با افزایش طول لوله سرعت پرتابه افزایش می‌یابد. افزایش فشار گاز نیز به افزایش پرتابه منجر می‌شود و طبق نتایج، تأثیر فشار گاز بیشتر از طول لوله می‌باشد.

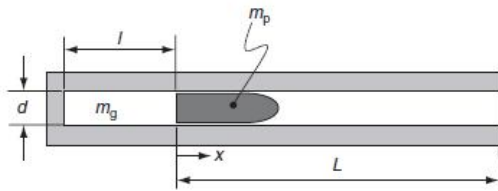
واژگان کلیدی: بالستیک داخلی، اندرکنش سازه - سیال، پرتابه، پرتابگر گازی، سرعت دهانه

۱. مقدمه

نخستین بار امکان پیش‌بینی موفقیت‌آمیز مسیر حرکت پرتابه‌ها را فراهم کرد و شروعی برای بررسی‌ها و تحلیل‌های علمی در زمینه بالستیک بود. طی سالیان گذشته، در زمینه بالستیک داخلی به‌عنوان یکی از شاخه‌های بالستیک، تست‌های تجربی، شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های مختلفی انجام گرفته است. این بررسی‌ها مبحث بالستیک داخلی را در انواع سلاح‌های گرم

پرتابگرهای گازی کاربردهای گسترده‌ای در صنایع نظامی و غیرنظامی دارند. توسعه سلاح‌های مختلف طی قرن‌های گذشته با شدت ادامه داشته است. در قرن دوازدهم، فناوری ساخت سلاح از طریق سایر کشورهای آسیایی گسترش یافت و در قرن سیزدهم به اروپا راه یافت. پس از گذشت چندین قرن از توسعه تجربی، قوانین ریاضی حرکت و گرانث ارائه شده برای

کالیبر بزرگ، متوسط و کوچک و انواع پرتابگرهای گازی پوشش می‌دهد. روش‌های تحلیلی و عددی مختلفی توسط محققان برای مطالعه بالستیک پرتابه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. ژائو‌های و همکاران (۲۰۰۸) تشکیل موج شوک و اثر آن بر شتاب پرتابه در ضمن خروج آن از دهانه پرتابگر را مطالعه کردند [۱]. آنکور و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر شکل پرتابه بر مشخصات جریان اطراف آن را با روش شبیه‌سازی عددی بررسی کردند [۲]. در پژوهشی دیگر، شبیه‌سازی میدان جریان اطراف گلوله در ضمن حرکت آن توسط مهندسیک و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد [۳]. در پژوهش دیگری، نحوه تأثیر انتقال حرارت گاز پرفشار داخل مخزن پرتابگر، تأثیر فشار پشت‌های مختلف و طول‌های مختلف لوله پرتابگر بر سرعت دهانه نیز توسط روهرباچ و همکاران (۲۰۱۱) [۴] بررسی شده است. در مطالعه دیگری، روهرباچ و همکاران (۲۰۱۱) یک پرتابگر گازی با فرض وجود دریچه میان مخزن گاز پرتابگر و پرتابه، برای دستیابی به سرعت دهانه بهبودیافته نسبت به سرعت دهانه را بررسی کرده است [۵]. کارلوسی و همکاران (۲۰۰۸) حرکت گلوله را در سلاح دارای شعله پوش به‌عنوان نمونه‌ای از اجسامی که در ضمن حرکت از هم جدا می‌شوند بررسی کردند [۶]. در این مقاله، با توجه به اهمیت علم بالستیک در طراحی و ساخت مهمات و همچنین کاربرد برخی از انواع خاصی از پرتابگرها در کاربردهای متنوعی چون تست مواد، شبیه‌سازی پدیده برخورد پرنده و حتی برخی کاربردهای ورزشی و تفریحی آنها، بالستیک داخلی یک پرتابه در حین حرکت داخل لوله پرتابگر مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه سرعت دهانه پرتابه، مهمترین پارامتر عملکردی یک پرتابگر گازی است، اثر عوامل مختلف مؤثر بر این سرعت مانند فشار اولیه، دما و نوع گاز و همچنین طول لوله، مطالعه شده است. تحلیل‌های انجام‌شده از قابلیت اندرکنش سازه - سیال نرم‌افزار تحلیل سیالات فلوئنت بهره برده‌اند و در هر مرحله از حل، توزیع فشار، سرعت و دما در گاز پشت پرتابه تعیین شده و سپس با استفاده از فشار اعمال‌شده از طرف گاز به پرتابه، میزان حرکت و سرعت پرتابه تعیین شده است.



شکل ۱. مدل ساده یک پرتابگر گازی [۱]

تحلیل و بررسی پرتابگرهای گازی به‌منظور به‌دست آوردن سرعت دهانه با دو فرض متفاوت در مورد شیوه انتقال حرارت گاز پرفشار داخل مخزن پرتابگر انجام می‌شود [۴، ۷]. در فرض اول، گاز قابل احتراق به صورت آدیاباتیک انبساط می‌یابد و در فرض دوم، گاز از یک مخزن تحت فشار به‌صورت تک دما انبساط می‌یابد.

در این تحقیق در شبیه‌سازی حرکت پرتابه از فرض انبساط آدیاباتیک گاز داخل مخزن پرتابگر استفاده می‌شود و در بخش تحلیل، نتایج شبیه‌سازی با نتایج حاصل از روابط مبتنی بر این فرض مقایسه می‌شوند. در انبساط آدیاباتیک گاز پشت پرتابه، نیرویی که منجر به شتاب‌گیری پرتابه می‌شود، فشار گاز پشت پرتابه است که با فرض رفتار گاز ایده‌آل برای گاز پشت پرتابه، از قانون گازهای ایده‌آل به‌دست می‌آید:

$$pV = m_g RT \quad (1)$$

به‌طوری‌که در این رابطه، V حجم اشغال‌شده توسط گاز، p فشار گاز، m_g جرم گاز و ρ چگالی گاز و R ثابت گازها است. کار انجام‌شده در حین حرکت پرتابه در داخل لوله به‌صورت ۲ می‌باشد:

$$W = \int pdV \quad (3)$$

با جایگذاری فشار از رابطه ۱ در معادله ۲ و جایگذاری دما در آن برحسب حجم اولیه گاز و حجم آن در هر لحظه، عبارت کار به‌صورت ۳ به‌دست می‌آید:

$$W = \frac{m_g RT_i l^{\gamma-1}}{(1-\gamma)} \left((l+L)^{(1-\gamma)} - l^{(1-\gamma)} \right) \quad (4)$$

به‌طوری‌که در این رابطه، T_i دمای اولیه گاز، l فاصله اولیه پرتابه از انتهای پرتابگر، L طول لوله پرتابگر و γ نسبت

۲. بالستیک داخلی در پرتابگرهای گازی

در پرتابگرهای گازی عامل حرکت پرتابه گاز پرفشار است که از راه‌هایی چون احتراق سوخت، پنوماتیک (ایجاد فشار بالا با یک

گرمایه‌های ویژه گاز است. چنانچه فرض شود تمام انرژی گاز بدون هیچ‌گونه اتلافی به انرژی جنبشی پرتابه مبدل شده است، داریم:

$$\frac{1}{2} m_p v^2 = \frac{m_g RT_i l^{\gamma-1}}{(1-\gamma)} \left((l+L)^{(1-\gamma)} - l^{(1-\gamma)} \right) \quad (5)$$

که در این رابطه m_p جرم پرتابه و v سرعت دهانه می‌باشد. بدین ترتیب، سرعت دهانه پرتابه به صورت ۶ حاصل می‌شود:

$$v = \sqrt{\frac{2m_g RT_i l^{\gamma-1}}{m_p (1-\gamma)} \left((l+L)^{(1-\gamma)} - l^{(1-\gamma)} \right)} \quad (6)$$

رابطه ۶ از آن جهت که سرعت دهانه پرتابگر را به خصوصیات و مقدار گاز مورد استفاده در مخزن پرتابگر و جرم پرتابه مرتبط ساخته است و اثر طول لوله پرتابگر را نیز شامل می‌شود، حائز اهمیت است. می‌توان با فرض وجود اصطکاک ثابت در طول لوله، سرعت خروجی پرتابه را به دست آورد [۴]. در این حالت با فرض اینکه امکان نشست گاز وجود ندارد، سه نیرو بر پرتابه وارد می‌شود. نیروی $AP(x)$ ناشی از فشار گاز داخل مخزن (پشت پرتابه)، نیروی AP_{am} ناشی از فشار اتمسفر و نیروی اصطکاک f (که ثابت در نظر گرفته می‌شود). بنابراین با استفاده از قانون دوم نیوتن می‌توان نوشت:

$$F = m \frac{dv}{dt} = mv \frac{dv}{dx} = AP(x) - AP_{am} - f \quad (7)$$

با آدیاباتیک در نظر گرفتن انبساط داریم:

$$P(x)(V_0 + Ax)^\gamma = P_0 V_0^\gamma \quad (8)$$

با جایگذاری $P(x)$ در رابطه ۷ و انتگرال‌گیری از آن، رابطه ۹ برای محاسبه سرعت دهانه به دست می‌آید:

$$v = \sqrt{\frac{5}{m_p} \left(P_0 V_0 \left(1 - \left(\frac{V}{AL + V_0} \right)^{\gamma-1} \right) - 2ALP_{am} - 2Lf \right)} \quad (9)$$

در این رابطه، v سرعت دهانه، m_p جرم پرتابه، P_0 فشار اولیه گاز، V_0 حجم مخزن گاز، A سطح مقطع پرتابه (که برابر با سطح مقطع لوله پرتابگر فرض شده است)، L طول لوله پرتابگر، γ نسبت گرمای ویژه گاز، P_{am} فشار اتمسفر و f نیروی اصطکاک ثابت است.

۳. شبیه‌سازی بالستیک داخلی

حل عددی مسائل بالستیک داخلی و شبیه‌سازی آن با استفاده از نرم‌افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی در سال‌های اخیر

بسیار مورد توجه قرار گرفته است. چون وقایع بالستیک داخلی بسیار سریع است و تنها در کسری از ثانیه اتفاق می‌افتند و نیز به‌علت شرایط خاص دمایی و فشار درون سلاح‌ها، اندازه‌گیری و تست آنها بسیار دشوار و پرهزینه است. در این قسمت، به بررسی بالستیک داخلی پرتابه با استفاده از شبیه‌سازی سازه - سیال به کمک نرم‌افزار فلونتت می‌پردازیم.

هدف از شبیه‌سازی انجام‌شده به دست آوردن سرعت دهانه پرتابگر به‌عنوان یک مشخصه مهم آن و تابعی از شرایط گاز پرفشار داخل مخزن نظیر نوع گاز، فشارها و دماهای مختلف برای گازهای پیشران و طول لوله پرتابگر است. با در نظر گرفتن شرایط مختلف برای هر کدام از این پارامترهای تأثیرگذار می‌توان اثر تغییرات هر یک را بر سرعت دهانه بررسی کرد و برای در اختیار داشتن یک پرتابگر گازی با سرعت دهانه مشخص و برای کاربردی خاص، پارامترهای تأثیرگذار را در جهت دستیابی به هدف تنظیم کرد. یک پرتابگر گازی برای پرتاب پرتابه‌ای استوانه‌ای شکل با محور و قطری به طول ۲ سانتی‌متر و جرم ۱۰ گرم در نظر گرفته شده است. طول لوله پرتابگر به جز در مواردی که طول لوله آن برای بررسی اثر تغییر طول لوله بر سرعت دهانه تغییر داده می‌شود همواره ۵۰ سانتی‌متر است. پرتابه به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از انتهای پرتابگر قرار دارد. حجم مسدودشده به وسیله انتهای پرتابه و انتهای پرتابگر را به‌عنوان حجم مخزن گاز با قطری برابر با قطر لوله پرتابگر (۲ سانتی‌متر) در نظر می‌گیریم. طول لوله پرتابگر، فشار گاز داخل مخزن، نوع گاز داخل مخزن و دمای گاز داخل مخزن در شبیه‌سازی‌های مختلف به منظور بررسی اثر هر عامل متغیر فرض می‌شود.

۳-۱. حالت اول: بررسی اثر فشار گاز

برای بررسی تأثیر فشارهای مختلف برای گاز داخل مخزن بر روی سرعت دهانه سه فشار پشت مختلف ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ اتمسفر را در دمای ۵۰۰ کلوین برای گاز داخل مخزن در نظر می‌گیریم. در این سه حالت غیر از فشار گاز سایر تنظیمات یکسان است.

۳-۲. حالت دوم: بررسی اثر طول لوله

به منظور بررسی تأثیر طول‌های مختلف لوله پرتابگر بر سرعت دهانه فشار و دمای گاز داخل مخزن را ثابت و به ترتیب برابر با ۴۰۰ اتمسفر و ۵۰۰ کلوین در نظر می‌گیریم. در بررسی اثر طول

لوله، طول لوله پرتابگر تغییر داده می‌شود و طول‌های ۳۰ سانتی‌متر، ۵۰ سانتی‌متر و ۸۰ سانتی‌متر به‌عنوان نمونه بررسی می‌شوند.

۳-۳. حالت سوم: بررسی اثر نوع گاز

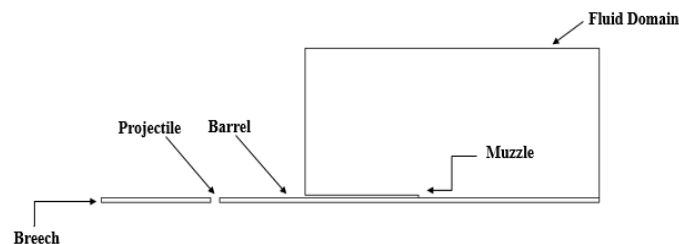
به‌منظور بررسی تأثیر نوع گاز داخل مخزن بر سرعت دهانه فشار و دمای گاز داخل مخزن را ثابت و به‌ترتیب برابر ۲۰۰ اتمسفر و ۵۰۰ کلوین در نظر می‌گیریم و تنها جنس گاز محبوس شده در قسمت پشت گلوله را در چهار مرحله مختلف شبیه‌سازی هیدروژن، هلیوم، هوا و دی‌اکسید کربن در نظر می‌گیریم.

۳-۴. حالت چهارم: بررسی اثر دمای گاز

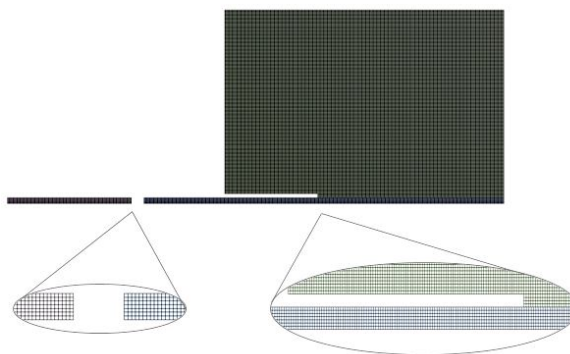
به‌منظور بررسی تأثیر دماهای مختلف برای گاز داخل مخزن بر سرعت دهانه، فشار گاز داخل مخزن را در تمام حالات ثابت و برابر ۲۰۰ اتمسفر در نظر گرفته و دمای آن را به‌ترتیب در چهار مرحله ۵۰۰، ۷۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کلوین در نظر می‌گیریم.

هندسه مسئله به‌منظور کاهش حجم محاسبات به‌صورت دوبعدی و متقارن محوری (نسبت به محور لوله) رسم شده است. در شکل ۲ هندسه مسئله نمایش داده شده است که در آن برای نمایش بهتر، قسمت‌های جامد حذف شده‌اند. این هندسه دارای سه ناحیه پشت گلوله، جلوی گلوله و حجم هوای اطراف گلوله است.

برای دستیابی به سرعت بالای محاسبات از المان‌های چهار ضلعی و شبکه‌بندی Map برای تمام سطوح استفاده شده است. شبکه‌بندی ایجادشده برای مسئله در شکل ۳ نمایش داده شده است. در تعیین شرایط مرزی برای مرزهای سمت چپ شرط مرزی فشار ورودی و برای مرزهای سمت راست شرط مرزی فشار خروجی در نظر گرفته شده است. برای مرزهای اطراف پرتابه که در تماس با سیال هستند شرط مرزی جامد، و برای محور تقارن شرط مرزی محور انتخاب شده است.



شکل ۲. هندسه مسئله

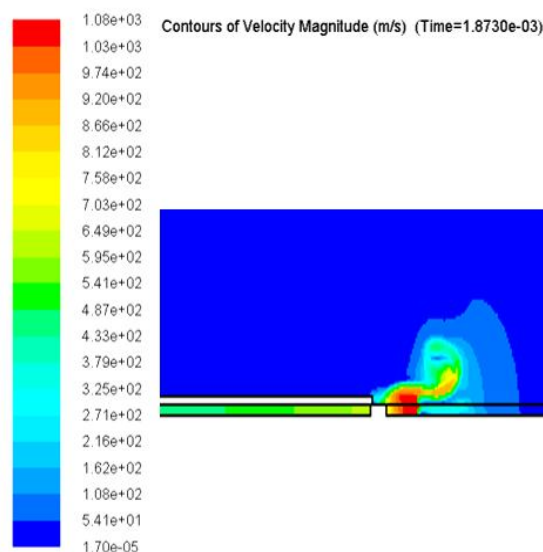


شکل ۳. شبکه‌بندی سطوح (نمای بزرگ‌شده ناحیه اطراف پرتابه) و دهانه پرتابگر

شبیه‌سازی‌ها با توجه به فرضیات ارائه‌شده برای انبساط آدیاباتیک گاز داخل مخزن انجام شده‌اند [۷]، جریان سیال را غیرلزج و گاز داخل مخزن ایده‌آل فرض شد. فشار را مطلق در نظر گرفته و آن را برای تمام مرزهای اطراف ۱ اتمسفر و دمای

تنظیمات برنامه فلوئنت به‌صورت دوبعدی، متقارن محوری و ناپایا انجام شده است. جریان سیال با توجه به اینکه در تمام این شبیه‌سازی‌ها عدد ماخ همواره بیشتر از یک است، تراکم‌پذیر فرض شده است. همچنین با توجه به اینکه

مرزها را برابر دمای محیط و ۳۰۰ کلوین در نظر گرفتیم. برای ایجاد حرکت المان‌ها نیاز به تعریف تابع کاربر - تعریف است. در این‌جا از یک UDF شش درجه آزادی برای تعریف حرکت پرتابه در لوله پرتابگر استفاده شده است. کانتور سرعت در اطراف دهانه، در لحظه خروج پرتابه از دهانه پرتابگر (لحظه گزارش‌گیری از نرم‌افزار برای مقایسه سرعت به‌دست آمده با داده‌های حاصل از روابط ۶ و ۹) در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴. کانتور سرعت در لحظه خروج پرتابه از دهانه پرتابگر

۴. نتایج حاصل

به‌منظور بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی و نمایش چگونگی تأثیر تغییر فشار، تغییر طول، تغییر گاز داخل مخزن و تغییر دما بر سرعت دهانه، داده‌های حاصل برای سرعت دهانه حاصل از شبیه‌سازی و روابط ۶ و ۹ را به‌عنوان تابعی از متغیر مورد نظر رسم کرده‌ایم. در رابطه ۶ سرعت دهانه تابعی از شرایط اولیه و خصوصیات گاز داخل مخزن است و اثر طول لوله پرتابگر نیز در این رابطه لحاظ شده است و در رابطه ۹ سرعت دهانه تابعی از فشار گاز داخل مخزن و حجم مخزن است و اثر طول لوله پرتابگر در این رابطه نیز لحاظ شده است. در نمودارهای رسم شده برای مقایسه نتایج، $v(6)$ و $v(9)$ به‌ترتیب معرف سرعت‌های حاصل از روابط ۶ و ۹ هستند و v -simulation معرف سرعت دهانه به‌دست آمده از شبیه‌سازی است. شکل ۵ نشانگر تغییرات سرعت دهانه پرتابه برحسب فشار گاز پشت

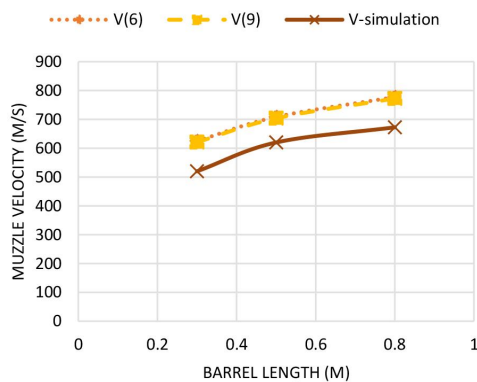
پرتابه در لحظه شلیک می‌باشد. در این شکل، نتایج شبیه‌سازی و رابطه ۹ با هم مقایسه شده‌اند. در شکل ۶ نیز نمودار تغییرات سرعت دهانه پرتابه برحسب طول لوله پرتابگر گازی رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از هر دو فرض تئوری و نتایج شبیه‌سازی عددی تطابق خوبی را نشان می‌دهند. در بررسی اثر نوع گاز داخل مخزن بر سرعت دهانه، نتایج شبیه‌سازی با داده‌های حاصل از رابطه ۶ که در آن سرعت دهانه تابعی از خصوصیات گاز داخل مخزن است، مقایسه شده است. نتیجه این مقایسه در نمودار ۷ رسم شده است و در نهایت در بررسی اثر تغییر دمای گاز داخل مخزن بر سرعت دهانه، نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های حاصل از رابطه ۶ که در آن سرعت دهانه تابعی از خصوصیات گاز داخل مخزن و دمای گاز است، مقایسه شده و در شکل ۸ نمایش داده شده است.

۵. نتیجه‌گیری

در بررسی اثر فشار بر سرعت دهانه پرتابگر، داده‌های حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های حاصل از رابطه ۱ رفتار مشابهی دارند و با افزایش فشار، سرعت دهانه پرتابگر گازی افزایش می‌یابد. با افزایش فشار گاز داخل مخزن در مراحل مراحل شبیه‌سازی و ثابت ماندن سایر عوامل نظیر ابعاد پرتابگر، جرم و ابعاد پرتابه، نیروی وارده بر واحد سطح پرتابه افزایش می‌یابد. با افزایش فشار در هر مرحله، سطح زیر منحنی فشار - تغییر مکان افزایش می‌یابد و چون انتگرال سطح زیر منحنی فشار - تغییر مکان بر واحد سطح پرتابه برابر با سرعت دهانه است، سرعت دهانه با افزایش فشار گاز داخل مخزن افزایش می‌یابد. افزایش سطح زیر نمودار فشار - تغییر مکان با افزایش فشار پشت با استخراج داده‌های حاصل از شبیه‌سازی، در نمودار شکل ۹ نمایش داده شده است.

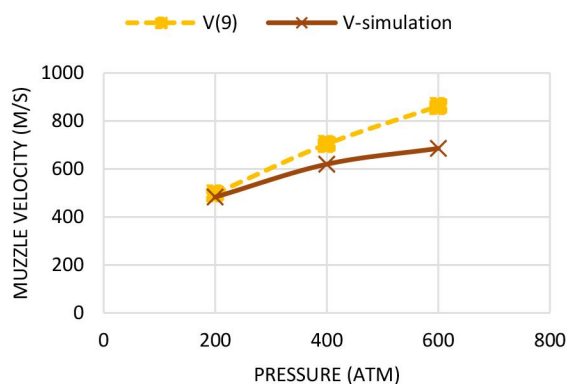
در بررسی اثر طول لوله پرتابگر بر سرعت دهانه داده‌های حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های حاصل از روابط ۶ و ۹ رفتار مشابهی دارند و با افزایش طول لوله پرتابگر، سرعت دهانه افزایش می‌یابد. با افزایش طول لوله و ثابت‌ماندن فشار و دمای مخزن، فشار گاز داخل مخزن در مدت زمان و محدوده بیشتری بر انتهای پرتابه وارد می‌شود. این مسئله سبب افزایش سطح زیر منحنی فشار - تغییر مکان می‌شود (زیرا فشار در هر مرحله در

ملکولی بالا کار می‌کند، لازم است از شبیه‌سازی سرعت دهانه را به‌دست آورد و تنها به نتایج روابط اکتفا نکرد. با توجه به رابطهٔ ۶ سرعت دهانه با مجذور دمای مخزن نسبت مستقیم دارد. اما افزایش دمای گاز داخل مخزن باعث کاهش چگالی گاز می‌شود. کاهش چگالی بر جرم گاز اثر گذاشته و آن را کاهش می‌دهد. بنابراین اثر افزایش دما با کاهش جرم گاز خنثی می‌شود. بنابراین سرعت دهانه طبق رابطهٔ ۶ با تغییر دمای گاز داخل مخزن در هر ۴ حالت ثابت باقی می‌ماند. در مقابل براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی، سرعت دهانه با افزایش دمای گاز داخل مخزن با حل معادلهٔ انرژی و اثار انتقال حرارت افزایش می‌یابد. در نظر گرفتن معادلهٔ انرژی اثار تراکم‌پذیری جریان را در شبیه‌سازی لحاظ کرده و بر سرعت جریان اثر دارد. به این دلیل با افزایش دمای گاز سرعت دهانه افزایش می‌یابد. در این مورد نیز مانند حالت بررسی اثر نوع گاز داخل مخزن بر سرعت دهانه، نباید تنها به نتایج روابط برای محاسبهٔ سرعت دهانه اکتفا کرد و باید از شبیه‌سازی که دربرگیرنده ویژگی‌های جریان است نیز در محاسبهٔ سرعت دهانه استفاده کرد.

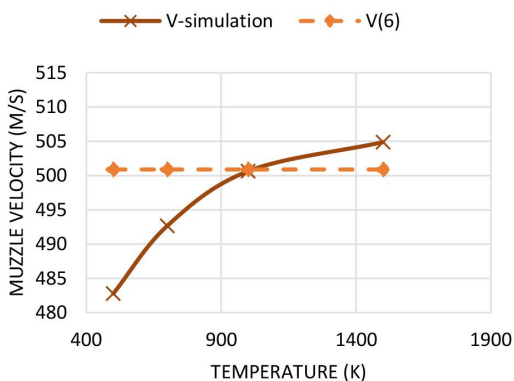


شکل ۶. نمودار تغییرات سرعت دهانه - طول لولهٔ پرتابگر گازی

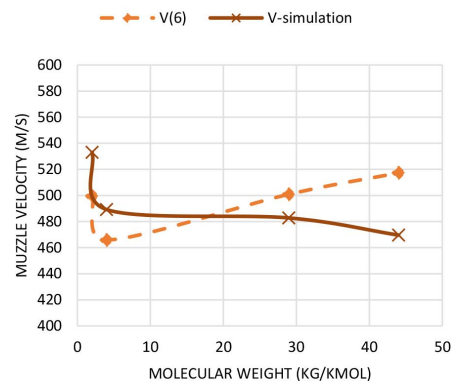
محدودهٔ وسیع‌تری نسبت به حالت قبل اثر می‌کند) و چون انتگرال سطح زیر منحنی فشار - تغییر مکان بر واحد سطح پرتابه برابر با سرعت دهانه است، سرعت دهانه با افزایش طول لولهٔ پرتابگر افزایش می‌یابد. افزایش سطح زیر نمودار فشار - تغییر مکان با استخراج داده‌های حاصل از شبیه‌سازی، در نمودار ۱۰ نمایش داده شده است. در بررسی اثر نوع گاز داخل مخزن پرتابگر بر سرعت دهانه بین داده‌های حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های حاصل از رابطه ۶ با اینکه شکل کلی تغییرات سرعت دهانه مشابه است، اما در مورد مقدار سرعت برای هر گاز دو روش مقادیر متفاوتی به‌دست می‌دهند و با افزایش وزن ملکولی گاز، نتایج سرعت حاصل از شبیه‌سازی و نتایج حاصل از رابطه برهم منطبق نیستند. این عدم تطابق به‌دلیل فرض‌های ساده‌شوندهٔ زیادی است که در نوشتن روابط حرکت برای پرتابه در نظر گرفته شده است. در این روابط دینامیک جریان اطراف گلوله و اینرسی جریان در نظر گرفته نشده و روابط با فرض شبه‌استاتیکی برقرار می‌باشند. در مورد بررسی آثار نوع گاز بر سرعت دهانه برای یک پرتابگر گازی که با گازی با وزن



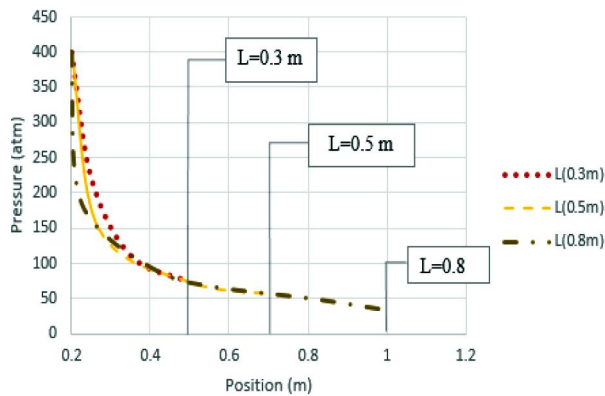
شکل ۵. نمودار تغییرات سرعت دهانه - فشار گاز



شکل ۸. نمودار تغییرات سرعت دهانه - دمای گاز داخل مخزن

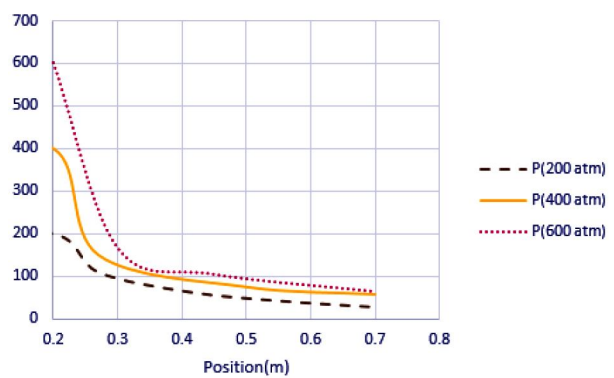


شکل ۷. نمودار تغییرات سرعت دهانه - نوع گاز داخل مخزن



شکل ۱۰. نمودار فشار - تغییر مکان برای طول لوله های ۰/۳ متر

۰/۵ متر و ۰/۸ متر



شکل ۹. نمودار فشار - تغییر مکان برای فشارهای ۲۰۰ اتمسفر

۴۰۰ اتمسفر و ۶۰۰ اتمسفر

۶. مآخذ

- [1] X. Jiang, B. Fan, H. Li, Numerical investigations on dynamic process of muzzle flow, *Applied Mathematics and Mechanics*, Vol. 29, No. 3, pp. 351-360, 2008.
- [2] P. Kapil, *CFD Analysis of Different Shapes of Projectile (Bullet)*, PhD diss., University of Petroleum & Energy Studies Dehradun, 2011.
- [3] I. Mehmedagic, D. Carlucci, S. Thangam, COMPUTATIONAL STUDY OF THE FLOW AROUND A PROJECTILE MOVING THROUGH A GUN BARREL.
- [4] Z. J. Rohrbach, T. R. Buresh, M. J. Madsen, The Projectile Velocity of an Air Cannon, *Wabash Journal of Physics*, Vol. 4, No. 3, pp.1-9, 2011.
- [5] Z. J. Rohrbach, T. R. Buresh, M. J. Madsen, Modeling the exit velocity of a compressed air cannon, *American Journal of Physics*, Vol. 80, No. 1, pp. 24-26, 2012.
- [6] Z. Hui, J. Tan, D. Cui, An Overset Unstructured Grids Method to Simulate The Process of Gun Firing, *Conference Proceedings*, China, 2008.
- [7] D. E. Carlucci, S. S. Jacobson, *Ballistics: theory and design of guns and ammunition*, CRC Press, 2013.