طراحی گلوله سوپرکاویتاسیون مناسب برای کلت غواصی

اصغر مهدیان [۱*]، محمد مونسان [۲]، سعید حیدری کبریتی [۳]، بهروز شهریاری [۴]

[۱] استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مکانیک، a.mahdian@mut-es.ac.ir
[۲] استادیار، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی عمران، m.moonesun@gmail.com
[۳] کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مکانیک ، sa.heydari110@chmail.ir
[۴] استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مکانیک، shahriari@mut-es.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله:
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱

کلمات کلیدی:
سوپرکاویتاسیون
انتخاب کالیبر
حباب
طراحی گلوله

چکیده

گلوله‌های معمولی در داخل آب با افت شدید سرعت مواجه می‌شوند و برد بسیار کوتاهی دارند. پدیده سوپرکاویتاسیون باعث می‌شود که تقریباً تمام بدنه گلوله توسط یک حباب گاز (یا خلا نسبی) پوشیده شود، لذا مقدار نیروی مقاوم پوسته‌ای در شرایط سوپرکاویتاسیون به شدت کاهش می‌یابد. مهمترین پارامترها در تحلیل یک گلوله سوپرکاویتاسیون شامل قطر پیشانی، شکل و زاویه راس آن، طول و نسبت طول به قطر گلوله و جرم آن، برد نهایی گلوله و انرژی عقب نشینی سلاح است. در این مقاله به دلیل ارتباط کمیت‌های جرم، طول و قطر گلوله باهم، جرم گلوله مستقل لحاظ می‌شود. با توجه به نیروهای وارد و الزامات طول حباب، برای قطر پیشانی نیز چند مقدار مشخص در نظر گرفته می‌شود. لذا پارامترهای طراحی به سه کمیت جرم، برد نهایی گلوله و انرژی عقب نشینی سلاح کاهش می‌یابند. با توجه به هدف‌گذاری حداکثر برد موثر و قید حداقل تغییر روی پوکه‌های موجود روند طراحی گلوله پایه‌گذاری می‌شود. با تعدیل بین کاهش انرژی عقب نشینی سلاح و افزایش برد گزینه‌های نهایی محدودتر می‌شوند. در این تحقیق با بررسی اثرات هریک از این پارامترها و صحت سنجی نتایج ، نحوه طراحی و انتخاب گلوله مناسب بیان می‌شود.

Design of Super-Cavitation Bullet for Underwater Handgun

Asghar Mahdian[1*], Mohammad Moonesun[2], Saeed Heydari Kebriti[3], Behrooz Shahriari[4]

[1] Faculty of Mechanics, Malek Ashtar University of Technology, a.mahdian@mut-es.ac.ir
[2] Faculty of Civil engineeering. Shahrood University of Technology, m.moonesun@gmail.com
[3] Faculty of Mechanics, Malek Ashtar University of Technology, sa.heydari110@chmail.ir
[4]Faculty of Mechanics, Malek Ashtar University of Technology, shahriari@mut-es.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 28 Jan. 2021
Accepted: 23 Aug. 2021

Keywords:
Super-cavitation
Calibre selection
Cavity
Bullet design

ABSTRACT

Ordinary projectiles in the water usually experience a sharp drop in speed and a have a very short range of several meters. Super cavitation causes the entire body of the projectile to be covered by a cavity of gas (relative vacume). For this result the amount of frictional resistance under super cavitation conditions decreases significantly. In fact, the analysis of super-cavitation projectile is strongly dependent on cavitator diameter and its shape, ratio of length to projectile diameter, projectile mass, projectile diameter, final projectile range, recoil energy of the weapon. In this paper, the mass of projectile assumed to be independent paremeter. On the other hand because of bubble requirements, for cavitator some diameters are assumed. For this reason, design variables reduses to three quantity: mas and final range of projectile and recoil energy of weapon. According to required maximum range and minimum cost with trade off beatween recoil energy and range, final options are limited. In this article the effects of each of these parameters and how they are analyzed by analytical relationships and their validation are explained.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2022-09-08]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.5.7]

۱- مقدمه

پدیده کاویتاسیون به تولید حباب‌های کوچک بخار سیال بر روی بدنه یک جسم متحرک در اثر سرعت بالا اطلاق می‌شود. هرچند تحقیقاتی بر روی حذف کاویتاسیون به خصوص برای دوری از خوردگی، ارتعاشات و شوک‌های صوتی انجام گرفته است، با این وجود اثر کاهش نیروی مقاوم توسط ایجاد حفره منظم بر روی بدنه اجسام متحرک در اواسط قرن بیستم مورد توجه قرار گرفت.

تحقیقات در زمینه سوپرکاویتاسیون با اسم رمز اشکوال در سال ۱۹۶۰ در اتحاد جماهیر شوروی آغاز شد. در سال۱۹۷۲ نخستین تستهای اژدر فوق سریع اشکوال با طول بیش از ۸ متر و قطر ۵۳۳ میلی‌متر و وزن ۲۷۰۰ کیلوگرم با موفقیت انجام گردید و تا سال ۱۹۷۷ فرایند تکمیل و بهینه سازی آن به طول انجامید. سرعت این اژدر هنگام شلیک ۹۳ کیلومتر بر ساعت بود که در طول مسیر به بیش از ۳۷۰ کیلومتر نیز می‌رسید.

در سال ۱۹۹۴ نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا طراحی اژدری را آغاز نمود که محصول آن، امکان شلیک از بالگردهایی چون کبرا را داشت. پس از آن آمریکا برای عملیات ساحلی پروژه‌ای را به منظور جابه‌جایی گروهی از سربازهای ویژه در زیر آب با سرعت بسیار بالا آغاز نمودکه در نتیجه آن در سال ۲۰۰۶ یک زیردریایی با سرعت ۵۱ متر بر ثانیه به یکان رزمی این کشور افزوده شد.آلمان نیز در سال ۲۰۰۴ اعلام نمود که اژدری ساخته است که می‌تواند با سرعتی بیش از ۴۰۰ کیلومتر بر ساعت در آب حرکت نماید. در سال ۲۰۰۶ نیز کشور ایران اژدری با نام حوت را معرفی نمود که دارای قابلیت‌های مشابهی با اژدر اشکوال بود.

اولین نمونه گلوله سوپرکاویتاسیون در اواخر دهه ۱۹۶۰ توط شوروی سابق تست شد و در سال ۱۹۷۵ در سامانه کلت غواصی با لوله بدون خان مورد استفاده قرار گرفت. آلمان نیز یک نمونه کلت راکت انداز با قابلیت شلیک ۵ راکت سوپرکاویتاسیون کوچک به تولید رسانده است که در کلیه نیروهای ناتو مورد استفاده قرار میگیرد. نمونه سلاح‌های دومحیطه با قابلیت شلیک مهمات در هوا و آب نیز ساخته شده است. این مهمات با طول بلند از لوله های خاندار شلیک میشود و در هوا به واسطه دوران و در آب به واسطه طول بلند پایدار میشود. شرکت DSG نروژ سردمدار طراحی گلوله های دومحیطه است. محصولات این شرکت در ناتو مورد استفاده قرار گرفته است.

در زمینه طراحی گلوله‌های سوپر کاویتاسیونی با قابلیت حرکت پایدار در زیرآب، محققان موفق به طراحی گلوله‌های کالیبر پایین یعنی۴/۴۵ ، ۵/۴۵ ، ۷/۶۲ و ۱۲/۷ میلی‌متر شده‌اند. در شکل(۱) دو نمونه از گلوله‌های سوپر کاویتاسیون در کالیبرهای پایین به همراه یک گلوله معمولی نشان داده شده است.

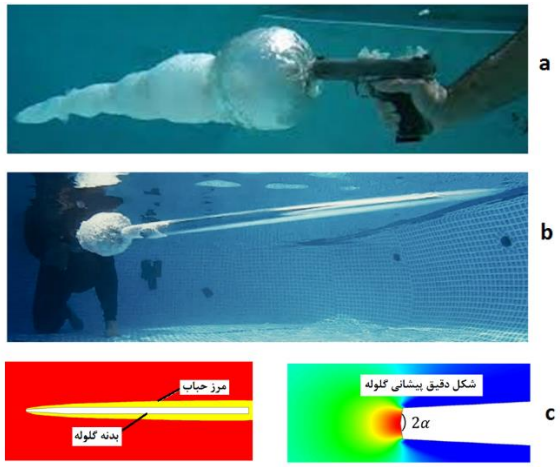
شکل (۱) (a,b)گلوله‌های سوپرکاویتاسیون (با قطر ۵/۴۵ و ۴/۴۵ میلیمتر) و(c) گلوله معمولی سلاح کلاشنیکف (با قطر ۷/۶۲ میلیمتر) [۱]

ایجاد حباب مصنوعی (یا طبیعی) گاز در اطراف گلوله، تحت عنوان پدیده سوپر کاویتاسیون مصنوعی (یا طبیعی) شناخته می‌شود. پدیده سوپر کاویتاسیون می‌تواند به صورت طبیعی و به علت سرعت بسیار بالای گلوله ایجاد شود. در این صورت فشار بخار داخل حباب تقریبا برابر صفر است. مانند اژدرها، اگر حباب به طور مصنوعی و با تزریق گاز از یک مخزن جداگانه بر روی بدنه آن ایجاد گردد، فشار حباب برابر صفر نخواهد بود.

طی دو دهه اخیر در کشور مطالعه در خصوص پرتابه های سوپر کاویتاسیون مورد توجه قرار گرفته است[۲]،[۳]. از مهمترین نمونه های ساخته شده، میتوان به اژدر حوت اشاره کرد که میتواند در زیر آب به سرعت حدود ۱۰۰ متر بر ثانیه برسد.

در پرتابه های بدون پیشران با قابلیت ایجاد شرایط سوپرکاویتاسیون طبیعی (مانند گلوله های شکل a,b-۱) برد موثر بسیار بالاتر از گلوله‌های معمولی است. در این نوع پرتابه‌ها حبابی با ابعاد مطلوب تنها در محدوده سرعت مشخصی تشکیل می‌شود که می‌تواند برد گلوله را تا حد بسیار خوبی افزایش دهد.

در گلوله‌های معمولی بدون خاصیت سوپر کاویتاسیون، تشکیل نامنظم حباب[1] در اطراف گلوله عملا هیچ کمکی به بهبود برد آن نمی‌کند. حباب ایجاد شده در اطراف گلوله معمولی کلت در هنگام شلیک زیر آب شکل(a-۲) نشان داده شده است. در این شرایط برد



شکل۲: (a) ایجاد حباب‌های نامنظم در اطراف یک گلوله معمولی ، (b,c)حباب منظم اطراف یک گلوله سوپر کاویتاسیون و پیشانی آن [۲]

[Downloaded from marine-eng.ir on 2020-04-08]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.5.7]

مفید به یک متر هم نمی‌رسد. ولی در یک گلوله سوپر کاویتاسیون به دلیل ایجاد حباب منظم در اطراف گلوله عملکرد گلوله به طور قابل توجهی ارتقا می‌یابد (شکل(۲-b,c)).

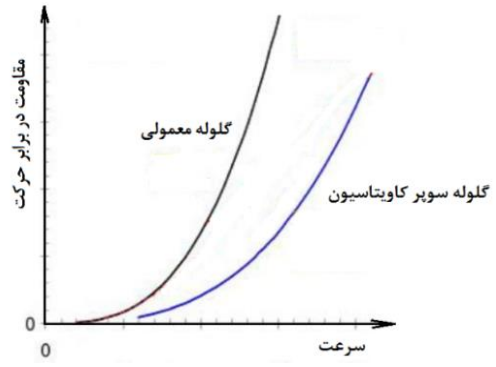
در این مقاله با توجه به تحقیقات انجام شده در خصوص حرکت اژدرهای زیرآبی تحت شرایط سوپرکاویتاسیون مصنوعی به بررسی الزامات یک سامانه گلوله و کلت غواصی و نهایتا انتخاب کالیبر مناسب پرداخته می‌شود.

۲-تاریخچه پژوهش های انجام شده

در خصوص طراحی گلوله‌های سوپر کاویتاسیون برای سلاح غواصی مرجع خاصی منتشر نشده است. با این حال می‌توان با استفاده از پژوهش‌های انجام شده در خصوص طراحی اژدرهای سوپر کاویتاسیون به نکات جالبی در مورد طراحی گلوله‌های مورد نظر دست یافت.

طی پژوهش انجام شده در مرجع [۲] ابتدا رفتار بالستیک داخلی یک گلوله سوپرکاویتاسیون مورد بررسی قرارگرفته و سپس با توجه به معادلات حاکم بر ضریب درگ به بررسی رفتار آن در زیر آب پرداخته شده است. لازم به ذکر است در بررسی رفتار بالستیک داخلی ضریب درگ ناشی از رفتار سوپرکاوتاسیون از اهمیت ویژه برخوردار است.

برای افزایش برد گلوله درآب، بهترین راه ،کاهش نیروی مقاوم در برابر حرکت است. یکی از اولین و متداول‌ترین روش‌های کاهش نیروی مقاوم، استفاده از شکل بهینه گلوله با عدم جدایش سیال بر روی بدنه آن است. این روش مقدار نیروی مقاوم را حداکثر ۱۰ الی ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. ولی بهترین روش برای افزایش برد گلوله‌های زیر آبی ایجاد یک لایه گازی در اطراف بدنه به منظور حذف نیروی مقاوم پوسته‌ای بین متحرک و سیال (مقاومت ناشی از لزجت سیال) است (شکل (۲)). [۳].



شکل۳: تاثیر شرایط سوپر کاویتاسیون بر نیروی مقاوم [۳]

در شرایط سوپر کاویتاسیون تمام بدنه گلوله توسط یک لایه از گاز (یا خلا نسبی) پوشیده می‌شود و از آنجا که مقدار چگالی و ضریب لزجت فاز گاز(یا خلا نسبی) به شدت از فاز مایع پایین‌تر است، مقدار نیروی مقاوم پوسته‌ای در شرایط سوپرکاویتاسیون به شدت کاهش می‌یابد. به این ترتیب اگر گلوله و همچنین شکل پیشانی[۲] آن به گونه‌ای طراحی گردد که مقدار نیروی مقاوم فشاری به حداقل خود برسد، مقدار نیروی مقاوم کل به شدت کاهش خواهد یافت. درشکل (۳) مقاومت آب در مقابل حرکت جسم مغروق در شرایط معمولی و سوپرکاویتاسیون نشان داده شده است.

استفاده از خواص پدیده سوپرکاویتاسیون در کاهش نیروی مقاوم اجسام متحرک در زیر آب قدمت زیادی ندارد. طبیعی است توصیف نیروی مقاوم اجسام سوپر کاویتاسیون اعم از اژدرهای بزرگ با قابلیت کنترل مسیر یا گلوله‌های کالیبر کوچک توسط روابط یکسانی انجام می‌شود[۴] و [۵]. بر این اساس یافتن روش قابل اعتماد برای طراحی و پیش‌بینی رفتارهای یک پرتابه یا متحرک در زیر آب تحت شرایط سوپرکاویتاسیون باید با توجه به تست و آزمون انجام گیرد[۶].

نتایج استخراج شده در این مقاله با توجه به روابط به دست آمده از مراجع و شبیه‌سازی عددی و کدهای نوشته شده بر اساس روابط فوق به دست آمده‌اند. در نهایت گلوله پیشنهاد شده تحت آزمون‌های عملی شلیک در زیر آب قرار گرفته است. همچنین از نتایج شبیه‌سازی عددی در شرایط سرعت ثابت نیز استفاده شده که در اینجا از توضیح مدل در شبیه‌سازی‌های عددی صرف‌نظر می‌شود.

در این مقاله ضمن استفاده از نتایج پژوهش‌های فوق به پیش‌بینی رفتار گلوله سوپرکاویتاسیون پرداخته شده است . با این کار ضمن انتخاب کالیبر ، طراحی اولیه گلوله مناسب برای یک سلاح غواصی، انجام شده است. لذا با توجه به نوع پروژه تا حد امکان به نکات مهم و تا حدی هندسه نهایی که منجر به ساخت نمونه و تست آن گردیده است پرداخته می‌شود.

۳-پارامترهای لازم برای بررسی حرکت گلوله سوپرکاویتاسیون در زیرآب

طراحی مناسب شکل بدنه گلوله با لحاظ نمودن نحوه پایداری آن از مهمترین مسائل در طراحی گلوله‌های سوپر کاویتاسیون می‌باشد. در اینجا ابتدا پارامترهای لازم برای بررسی این پدیده تعریف می‌شوند. مهمترین این پارامترها عدد کاویتاسیون، سرعت پرتاب دهانه، طول حباب و مرز ناپایداری و نیروی مقاوم هستند [۷].

بهترین ملاک برای بیان شرایط سوپرکاویتاسیون، عدد کاویتاسیون (ضریب فشار) است. عدد کاویتاسیون گلوله در حرکت زیر آب (σ) تابع عمق آب، فشار بخار در حباب، سرعت جسم و چگالی سیال است. هرچه عدد کاویتاسیون پایین‌تر باشد شدت پدیده کاویتاسیون بیشتر است (جدول (۱)).

[Downloaded from marine-eng.ir on 2022-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.5.7]

سرعت دهانه، به جرم گلوله، نوع و میزان باروت و طول لوله سلاح بستگی دارد. به طور کلی به ازای مقدار باروت مشخص، با کاهش جرم گلوله و افزایش طول لوله، سرعت دهانه بیشتر می‌گردد. پس از انفجار باروت و انتقال بخشی از انرژی آن به گلوله، انرژی جنبشی اولیه گلوله تامین می‌شود.

در مورد طول حباب و مرز ناپایداری باید گفت در ابتدای خروج گلوله از لوله، به واسطه شکل پیشانی، حبابی در اطراف گلوله تشکیل می‌شود و به مرور با کاهش سرعت، طول آن کاهش می‌یابد. لحظه‌ای که طول حباب با طول گلوله یکسان شد لحظه ناپایداری نامیده می‌شود. در این لحظه سرعت گلوله به شدت افت کرده و عملا گلوله ناپایدار می‌گردد. سرعت بیش از حد نیز باعث می‌شود قطر حباب بسیار بیشتر از قطر گلوله شده و عملا گلوله ناپایدار گردد. بر این اساس در لحظه ناپایداری گلوله سوپرکاویتاسیون، کمیت‌های سرعت نهایی گلوله(V_F)، بردنهایی گلوله(X_F)، انرژی نهایی گلوله (E_F) تعریف می‌شوند.

با توجه به رابطه برنولی با افزایش سرعت گلوله مقدار فشار سیال در اطراف آن کاهش می‌یابد. در شرایط سوپرکاویتاسیون این فشار به قدری کم می‌شود که مقدار آن از مقدار فشار بخار سیال در دمای محیط کمتر شده و لذا شرایط جوشش سیال بر روی بدنه گلوله مهیا می‌شود.

در شرایط سوپر کاویتاسیون نیز مقدار نیروی مقاوم با توجه به رابطه (۱) تعیین می‌شود[۸]:

$$F_c = C_D \frac{\rho U_\infty^2}{2} A_c \quad , \quad C_D = C_D(\sigma) \qquad (۱)$$

در شرایط سوپر کاویتاسیون مقدار نیروی مقاوم F_c، مستقل از مقدار لزجت محیط و تابعی از عدد کاویتاسیون σ وچگالی ρ و سرعت و سطح پیشانی A_c است. به طور کلی در پدیده سوپرکاویتاسیون به علت عدم تماس سیال با گلوله، عملاً مقدار نیروی مقاوم پوسته‌ای بر روی بدنه حذف می‌گردد. اگر چه کاهش مقدار نیروی مقاوم با ایجاد حباب در اطراف بدنه می‌تولند کمک زیادی در بهبود عملکرد این گلوله‌ها در زیر آب داشته باشد، ولی به علت حذف نیروی شناوری، ممکن است وزن گلوله بر روی مسیر تاثیرگذار باشد.

از طرف دیگر باید نیروهای کشش سطحی و تاثیر آنها بر جمع شدن حباب و همچنین تاثیر نیروی لزجت نیز بررسی شود. لذا برای بررسی رفتار دینامیکی گلوله‌های سوپر کاویتاسیون لازم است موضوعات مختلف مورد بررسی قرار بگیرند.

پارامترهای بی بعد مهم در بررسی این پدیده، عدد کاویتاسیون (ضریب فشار)، عدد فرود، عدد رینولدز و عدد وبر هستند که به صورت جدول (۱) تعریف می‌شوند. مهمترین عدد بی بعد در بررسی جریان‌های سوپرکاویتاسیون عدد کاویتاسیون است که در محدوده حرکت پایدار گلوله کمتر از ۰/۰۱۵ است. البته به ازای مقادیر بسیار بیشتر عدد کاویتاسیون (مثلا حدود ۱۴) ، رژیم جریان، سوپر کاویتاسیون خواهد بود ولی منجر به حرکت پایدار گلوله نمی‌شود. چراکه شرط اصلی پایداری حرکت گلوله، این است که طول حباب از طول گلوله بیشتر باشد. از این نکته در تعیین برد موثر استفاده خواهد شد. لازم به ذکر است گلوله با برخورد به بدنه حباب به حرکت خود در مسیر مستقیم ادامه میدهد. با کاهش طول حباب احتمال درگیری انتهای گلوله با آب و ناپایداری حرکت گلوله وجود دارد.

در شرایط سوپرکاویتاسیون طبیعی به علت سرعت بالای سیال، عدد فرود مقادیری بیش از ۱۰۰۰ به خود می‌گیرد $(Fr > ۱۰۰۰)$. این یعنی نسبت نیروهای اینرسی به نیروی جاذبه بسیار زیاد است لذا از نیروهای جاذبه صرف‌نظر می‌گردد.

در یک گلوله سوپرکاویتاسیون عدد وبر که نشان دهنده نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای ناشی از کشش سطحی است در حدود $We > ۳۰۰۰۰۰$ خواهد شد بنابراین از نیروهای کشش سطحی نیز می‌توان صرف‌نظر نمود. البته باید گفت با کاهش سرعت نسبی گلوله، شکل حباب به مرور از حالت متقارن خارج می‌شود.

عدد رینولدز (نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجت) نیز برای شرایط سوپرکاویتاسیون مقادیری در حدود ۲۰۰ هزار به خود می‌گیرد.

بر اساس استدلال گفته شده ، شتاب گرانش و همچنین کشش سطحی و حتی لزجت تاثیر چندانی بر روی حرکت پرتابه سوپر کاویتاسیون، ندارند و در این شرایط مقدار نیروی اینرسی بر سایر نیروها از جمله نیروهای لزجت غالب است.

از بین این چهار عدد بدون بعد در شرایط سوپر کاویتاسیون، عدد بدون بعد σ مقادیری از حدود ۳ هزارم در لحظه خروج گلوله از لوله تا حدود ۱۵ هزارم در لحظه ناپایداری به خود می‌گیرد. لذا مهمترین کمیتی که در بررسی پدیده سوپر کاویتاسیون مد نظر قرار می‌گیرد عدد بدون بعد کاویتاسیون خواهد بود [۸].

در لحظه خروج گلوله از لوله سلاح، طول حباب بیشترین مقدار خود را داراست. اگر سرعت خروج گلوله بیش از مقدار معینی شود، با زیاد شدن طول حباب و سرگردانی گلوله در آن دقت گلوله پایین خواهد آمد. بر اساس تستهای انجام شده بهترین نسبت طول حباب به طول گلوله در حدود ۶ است تا ضمن ایجاد شرایط حرکت پایدار برد موثر گلوله نیز تا حد امکان بالا برود. در اینجا از این عدد به عنوان ملاک تعیین سرعت مناسب گلوله در لحظه خروج از لوله استفاده شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2023-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.5.7]

جدول ۱- پارامترهای بی‌بعد قابل تعریف در جریان سوپرکاویتاسیون[۲]

مقدار در محدوده حرکت پایدار گلوله	تعریف	کمیت
$\frac{\rho U_\infty^2 d_c}{\xi} \geq ۳۰۰۰۰۰$	نسبت نیروی اینرسی به نیروی کشش سطحی	عدد وبر
$\frac{\rho U_\infty d_c}{\mu} > ۲۰۰۰۰۰$	نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجت	عدد رینولدز
$\frac{U_\infty}{\sqrt{g d_c}} \geq ۱۰۰۰$	نسبت نیروی اینرسی به نیروی جاذبه	عدد فرود
$۰/۰۰۳ \leq \frac{۲(p_\infty - p_c)}{\rho U_\infty^2} \leq ۰/۰۱۵$	نسبت تفاوت فشار استاتیکی سیال و فشار بخار آن به فشار دینامیکی	عدد کاویتاسیون

۴- روابط حاکم بر پدیده سوپر کاویتاسیون برای پیش بینی رفتار بالستیک خارجی گلوله

برای توصیف نحوه انتخاب کالیبر مناسب باید کمیت‌های مهم و تاثیرگذار را بررسی نمود. برد نهایی X_F، انرژی عقب نشینی سلاح E و انرژی گلوله در هنگام رسیدن به برد نهایی، در انتخاب کالیبر و همچنین طراحی هندسی گلوله موثر هستند[۷]و [۸].

از آنجا که پیش‌بینی شکل حباب، قیود شکل گلوله را مشخص می‌کند از کلیدی‌ترین جنبه‌های طراحی گلوله سوپرکاویتاسیون است. به عنوان یک تقریب با استفاده از جریان پتانسیل، توزیع شعاع حباب در طول آن قابل دستیابی است. رابطه (۲) شعاع حباب $r(x)$ را به صورت تابعی از قطر پیشانی d_c و طول حباب $L_{\max}$ بیان می‌کند[۹] :

$$r(x) = \frac{d_c}{2}\left(1-\left(\frac{x}{L_{\max}}\right)^2\right)^{1.24} \qquad (۲)$$

لازم است طراحی گلوله به گونه‌ای انجام گیرد که میزان نیروی مقاوم اعمال شده به حداقل خود برسد. لازمه این امر طراحی شکل پیشانی گلوله و قطرآن است. هرچه قطر پیشانی بیشتر باشد احتمال ناپایداری گلوله در ابتدای مسیر کمتر میشود. از طرفی دیگر با افزایش قطر پیشانی ضریب نیروی مقاوم به شدت افزایش و برد موثر کاهش می‌یابد.

با توجه به محدویت‌ها در تولید انبوه نیز، حتی الامکان نباید تغییرات زیادی بر روی پوکه‌های موجود اعمال گردد.

درطراحی گلوله هرچه بتوان ، جرم آن را کمتر در نظر گرفت، انرژی عقب نشینی سلاح کمتر می‌شود که این یک مزیت است. از طرف دیگر هرچه جرم گلوله بیشتر باشد، برد نهایی گلوله بیشتر می‌شود. بنابراین بایستی تعادلی بین این دو بوجود آید. با فرض شکل استوانه‌ای، رابطه بین جرم m، طول گلوله L و قطر آن d مطابق رابطه‌ی (۳) است:

$$m = \frac{\pi d^2 L \rho}{4} \qquad (۳)$$

با فرض جرم کم برای باروت اگر جرم سلاح M و سرعت عقب‌نشینی آن V، و جرم گلوله mو سرعت خروج آن از دهانه لوله v فرض شود، رابطه $MV = mv$ برقراراست. از طرف دیگر انرژی آزاد عقب‌نشینی سلاح نیز از رابطه $E = \frac{M}{2}V^2$ محاسبه می‌شود. از آنجا که دقت تیرلندازی به لندازه زیادی به انرژی آزاد عقب‌نشینی وابسته است، به عنوان یکی از قیود طراحی گلوله، در نظر گرفته می‌شود. بدیهی است هرچه جرم سلاح بیشتر باشد انرژی عقب نشینی آزاد آن کاهش می‌یابد. ولی تجربه ثابت کرده است که جرم قابل قبول برای یک کلت غواصی درحدود یک کیلوگرم است و بیشتر از آن عملکرد غواص را با خدشه روبرو میکند. .

در شرایط سوپرکاویتاسیون، حداکثر قطر حباب $d_{\max}$ و حداکثر طول آن $L_{\max}$ بر حسب قطر پیشانی گلوله d_c و عدد کاویتاسیون σ و ضریب نیروی مقاوم C_D ، از روابط (۴) و (۵) به دست می‌آیند[10]:

$$\frac{d_{\max}}{d_c} = \sqrt{\frac{C_D}{\sigma}} \qquad (۴)$$

$$\frac{L_{\max}}{d_c} = \sqrt{\frac{C_D}{\sigma^2}\ln\frac{1}{\sigma}} \qquad (۵)$$

در عمل C_Dضریب نیروی مقاوم تابعی خطی از عدد کاویتاسیون σ ، است و از رابطه (۶) به دست می‌آید[۱۰]:

$$C_D = K_1 + K_2\sigma \qquad (۶)$$

پیشانی گلوله، بخشی از بدنه گلوله است که بیشترین نیروهای مقاوم را تحمل می‌کند و لذا حرکت کلی گلوله متاثر از طراحی این بخش می‌باشد. در شکل (۲) نیز یک نمونه پیشانی گلوله سوپر کاویتاسیون با زاویه راس پیشانی2α کمتر از ۱۸۰ درجه نمایش داده شده است.

از معادلات ۱ تا ۶ در تحلیل بالستیک خارجی گلوله استفاده شده و با استفاده از نتایج به دست آمده، انتخاب کالیبر و طراحی هندسه گلوله انجام شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2022-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.5.7]

۵- شبیه‌سازی بالستیک خارجی

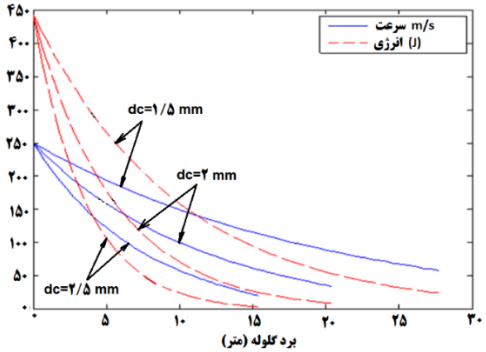
۵-۱- شبیه‌سازی بالستیک خارجی گلوله ۴/۴۵ میلیمتری

۵-۱-۱-بررسی چند گلوله ۴/۴۵ میلیمتری با طول مشخص و قطر پیشانی متفاوت

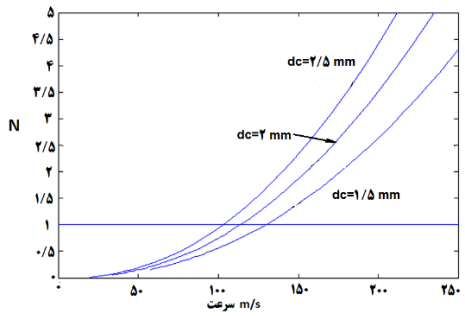
با استفاده از روابط مربوط به هندسه حباب می‌توان از آنها در بررسی بالستیک خارجی گلوله استفاده نمود. در ابتدا حرکت یک گلوله کالیبر۴/۴۵میلیمتر، باسرعت اولیه ۲۵۰ متر بر ثانیه، طول ۱۲ سانتیمتر، زاویه راس پیشانی ۱۸۰ درجه، در عمق عملیاتی ۲۰ متر از سطح آب، با جرم ۱۴/۱۸ گرم، و انرژی اولیه ۴۴۳ ژول از لحظه‌ی خروج گلوله از دهانه لوله تا مرز ناپایداری گلوله بررسی می‌شود. برای این گلوله ۳ قطر پیشانی در نظر گرفته شده و تاثیر آن روی حرکت بررسی می‌گردد. شکل (۴)، نمودار انرژی و سرعت گلوله را برحسب موقعیت رو به جلوی (برد) گلوله نشان می‌دهد. بدیهی است با افزایش برد سرعت و انرژی گلوله کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش قطرپیشانی در یک برد مشخص، انرژی گلوله سریعتر افت می‌کند.

شکل (۵) نیز ، نمودار N (نسبت طول حباب به طول گلوله) را برحسب سرعت گلوله نشان می‌دهد.

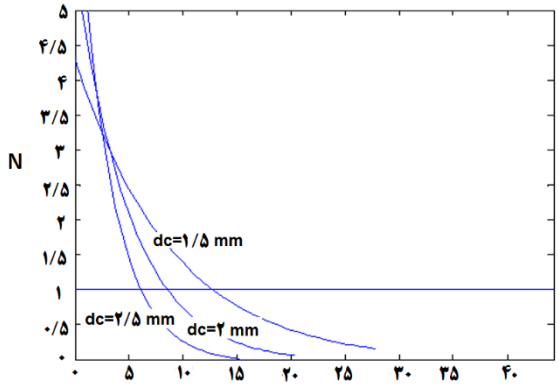
با استفاده از رابطه (۵) طول حباب به صورت تابعی از عدد کاویتاسیون قابل دستیابی است. این رابطه طول حباب را به صورت لحظه‌ای نتیجه می‌دهد. شکل‌های (۵) و(۶) یعنی نمودار N (نسبت طول حباب به طول گلوله) را می‌توان به صورت تابعی از برد و سرعت نیز ترسیم نمود. مطابق شکل ۵ گلوله‌ای که پیشانی بزرگتری دارد، در لحظه ناپایداری، سرعت کمتری خواهد داشت و ماندگاری سرعت در آن کاهش می‌یابد. شکل (۶)، نمودار N را برحسب برد گلوله نشان می‌دهد. مطابق شکل با افزایش قطرپیشانی برد مفید کم می‌شود. خلاصه نتایج در جدول (۲) نشان داده شده است.



شکل۴: نمودار انرژی و سرعت گلوله بر حسب موقعیت با کالیبر ۴/۴۵ میلیمتر و قطرهای مختلف پیشانی



شکل۵: نمودارN برحسب سرعت گلوله کالیبر ۴/۴۵ میلیمتر به ازای قطرهای مختلف پیشانی



شکل۶: نمودارN بر حسب موقعیت گلوله با کالیبر ۴/۴۵ میلیمتر و قطرهای مختلف پیشانی

در شکل‌های ۴ تا ۶ رفتار گلوله به طور کامل قابل توصیف است. خلاصه نتایج استخراج شده از این شکل‌ها در جدول (۲) آورده شده است. کلیه تحلیل‌های بالا برای سه قطر پیشانی انجام شده است. در شکل ۶ محل تلاقی سه منحنی با خط N=1 سرعت در برد موثر (لحظه ناپایداری) را نشان می‌دهد.

جدول ۲- پارامترهای گلوله در بردنهایی برای کالیبر ۴/۴۵ میلیمتر و قطرهای مختلف پیشانی

قطر پیشانی : $d_c(mm)$	۲/۵	۲	۱/۵
طول گلوله : L (cm)	۱۲	۱۲	۱۲
سرعت در برد نهایی: $V_F(m/sec)$	۱۰۵	۱۱۵	۱۳۰
برد نهایی : $X_F(m)$	۶/۵	۸/۵	۱۳
انرژی گلوله در برد نهایی : $E_F(j)$	۸۱/۶	۹۷/۹	۱۲۵/۶

۵-۱-۲-بررسی چند گلوله ۴/۴۵ میلیمتری با قطر پیشانی مشخص و طول متفاوت

در مرحله دوم یک گلوله کالیبر ۴/۴۵ میلیمتر با سرعت اولیه ۲۵۰ متر بر ثانیه، قطر پیشانی ۲ میلیمتر، زاویه راس پیشانی ۱۸۰ درجه، و در عمق عملیاتی ۲۰ متر از سطح آب در نظر گرفته می‌شود. حرکت گلوله از لحظه خروج تا مرز ناپایداری بررسی می‌شود. در جدول (۳) نتایج این تحلیل‌ها نشان داده شده‌اند.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2023-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.5.7]

جدول ۳- پارامترهای گلوله در بردنهایی با قطر پیشانی مشخص و طول‌های متفاوت

جرم گلوله: m (gr)	۱۳	۱۴/۱۸	۱۵/۳۶
طول گلوله : L (cm)	۱۱	۱۲	۱۳
سرعت در برد نهایی: $V_F(m/sec)$	۱۱۰	۱۱۵	۱۲۰
برد نهایی : $X_F(m)$	۸	۸/۵	۹
انرژی گلوله در برد نهایی : $E_F(j)$	۷۸/۷	۹۷/۹	۱۱۰/۶

۵-۲- شبیه‌سازی بالستیک خارجی گلوله ۵/۵۶ میلیمتری:

۵-۲-۱- بررسی چند گلوله ۵/۵۶ با طول مشخص و قطر پیشانی متفاوت

از آنجا که پوکه گلوله ۴/۴۵ میلیمتری در کشور تولید نمی‌شود، گزینه بعدی استفاده از پوکه گلوله ۵/۵۶ است. لذا در مرحله بعد رفتار یک گلوله ۵/۵۶ میلیمتری، با سرعت اولیه ۲۵۰ متر بر ثانیه، طول ۱۲ سانتیمتر و زاویه راس پیشانی ۱۸۰ درجه، در عمق عملیاتی ۲۰ متر از سطح آب دریا و جرم گلوله ۱۶/۲۲ گرم و انرژی اولیه ۵۰۷ ژول از لحظه خروج گلوله از دهانه لوله تا مرز ناپایداری بررسی می‌شود. در جدول (۴) نتایج این تحلیل‌ها نشان داده شده‌اند.

جدول۴- پارامترهای گلوله در بردنهایی برای کالیبر ۵/۵۶میلیمتر و قطرهای مختلف پیشانی

قطر پیشانی : $d_c(mm)$	۲/۵	۲	۱/۵
طول گلوله : L (cm)	۱۲	۱۲	۱۲
سرعت در برد نهایی: $V_F(m/sec)$	۱۰۰	۱۱۵	۱۳۰
برد نهایی : $X_F(m)$	۷/۵	۱۰	۱۴/۵
انرژی گلوله در برد نهایی : $E_F(j)$	۹۸/۴	۱۰۷/۳	۱۳۷/۱

۵-۲-۲-بررسی چند گلوله ۵/۵۶ با قطر پیشانی مشخص و طول‌های متفاوت

رفتارگلوله کالیبر ۵/۵۶ با سرعت اولیه ۲۵۰ متر بر ثانیه، قطرپیشانی ۲ میلیمتر، کالیبر ۵/۵۶ میلیمتر، زاویه راس پیشانی ۱۸۰ درجه، عمق عملیاتی ۲۰ متر از سطح آب دریا با سه طول ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ سانتیمتر، از لحظه خروج گلوله تا مرز ناپایداری بررسی می‌شود. خلاصه نتایج نیز در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵- پارامترهای گلوله در برد نهایی برای کالیبر ۵/۵۶ میلیمتربا قطر پیشانی مشخص و طول‌های متفاوت

جرم گلوله: m (gr)	۱۷/۴	۱۶/۲۲	۱۵/۰۴
طول گلوله : L (cm)	۱۳	۱۲	۱۱
سرعت در برد نهایی: $V_F(m/sec)$	۱۲۰	۱۱۵	۱۱۰
برد نهایی : $X_F(m)$	۱۰	۹/۵	۹
انرژی گلوله در برد نهایی : $E_F(j)$	۱۲۵/۳	۱۰۷/۳	۹۱

۶-تاثیر حداکثر انرژی عقب نشینی و اصلاح هندسه گلوله

در اینجا یک گلوله کالیبر ۴/۴۵ میلیمتر با سرعت اولیه ۲۵۰ میلیمتر، طول ۱۰/۵ سانتیمتر، زاویه راس پیشانی ۱۸۰ درجه، عمق عملیاتی ۲۰ متر، جرم ۱۲/۴۱ گرم، کالیبر ۴/۴۵ میلیمتر، با انرژی اولیه ۳۸۸ ژول بررسی می‌شود.

در ابتدا با توجه به مطالعات فوق در خصوص مشخصات کالیبر مناسب، طول L و جرم m برای گلوله انتخاب می‌شود.

جرم تقریبی سلاح، در حدود استانداردها و نمونه سلاح‌های موجود، بین ۱ تا ۱/۲ کیلوگرم (وابسته به کالیبر انتخابی) تعیین می‌شود. برای مثال در کلت غواصی ساخت روسیه با وزن ۰/۹۸ کیلوگرم (SPP1) که در آن جرم گلوله ۱۳ گرم و سرعت دهانه ۲۴۰ متر بر ثانیه است، انرژی عقب نشینی سلاح برابر با ۴/۹۶ ژول به دست می‌آید.

لذا به عنوان یک قید، انرژی وارد شده بر تیر انداز کمتر از ۵ ژول در نظر گرفته شده است. در این بررسی طول گلوله کمتر از قبل انتخاب می‌شود تا قید مورد نظر ارضا گردد. قطر پیشانی نیز کمتر از قبل فرض می‌گردد. خلاصه نتایج نیز در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول۶- پارامترهای گلوله در بردنهایی برای کالیبر ۴/۴۵ میلیمتر بر اساس حداکثر انرژی عقب نشینی ۵ ژول

قطر پیشانی : $d_c(mm)$	۱/۵	۱/۳	۱/۲
طول گلوله : L (cm)	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۰/۵
سرعت نهایی: $V_F(m/sec)$	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۵
برد نهایی : $X_F(m)$	۱۲/۵	۱۵	۱۶/۵
انرژی گلوله در برد نهایی : $E_F(j)$	۹۷	۱۰۴/۹	۱۱۳/۱

۷- معیار طراحی ابعاد مناسب

۷-۱- بحث و بررسی

طراحی گلوله مناسب با توجه به ۲ کمیت انجام می‌شود. یکی انرژی عقب نشینی سلاح و دیگری برد گلوله. برای دستیابی به برد گلوله نیز از روابطی که بیان شد استفاده می‌شود.

تاثیر طول(L) بر روی برد گلوله به مراتب کمتر از تاثیر قطر پیشانی d_c است. هر چه قطر پیشانی کمتر باشد، برد نهایی بیشتر خواهد شد. به همین منظور با سعی و خطا به قطر پیشانی مناسب بین ۱/۵ تا ۱/۲ میلیمتر می‌توان رسید.

پارامترهای موثر در انتخاب و طراحی گلوله (قیودانتخاب گلوله) عبارتند از: قطرپیشانی، طول گلوله، قطرگلوله، نسبت طول به قطر گلوله، برد نهایی گلوله، انرژی عقب نشینی سلاح و جرم گلوله و زاویه راس پیشانی. از آنجاکه جرم، طول و قطر گلوله باهم رابطه دارند، از بین آنها، جرم گلوله به طورمستقل در شبیه‌سازی لحاظ می‌شود و با سعی و خطا، دو قطر پیشانی مناسب ۱/۵ تا ۱/۲

[Downloaded from marine-eng.ir on 2020-09-08]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.5.7]

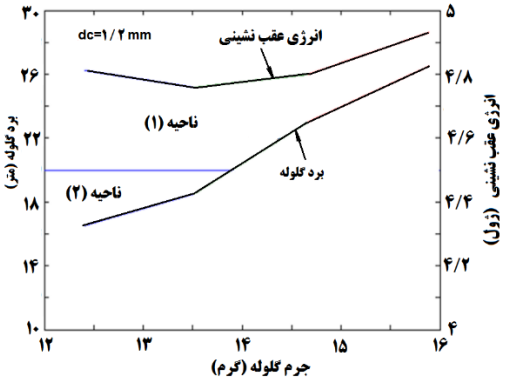
میلیمتری انتخاب می‌شـــود. در نتیجه پارامترهای طراحی به جرم گلوله، بردنهایی گلوله و انرژی عقب نشـــینی ســـلاح کاهش پیدا می‌کنند. جهت تعیین محدوده مناسـب این کمیت‌ها، رفتار گلوله با سرعت اولیه ۲۵۰ متر بر ثانیه، زاویه راس پیشانی ۱۸۰ درجه، عمق عملیاتی ۲۰ متر از سـطح آب دریا، برد نهایی ۲۰ متر، قطرپیشـانی ۱/۲ میلیمتر و کالیبرهای مختلف بررسی می‌شود. در این راسـتا دو شـــکل (۷) و (۸) اطلاعات لازم را در اختیار طراح قرار می‌دهد. این دو شکل با استفاده از رابطه (۳) مربوط به جرم گلوله و رابطه انرژی عقب نشینی و رابطه (۵) مربوط به برد گلوله ترسیم شده‌اند.

همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود برای برد نهایی بیشتر از ۲۰ متر، ناحیه (۱) ، محدوده مناسبی است. جدول (۷) مشخصات گلوله های مختلف اسـتفاده شـده، در ترسـیم شـکل (۷) را نشـان می‌دهد. همان طورکه در این شـــکل مشـــاهده می‌شـــود برای برد نهایی بیشتر از ۲۰ متر، ناحیه (۱) محدوده مناسبی است.

همین تحلیل برای قطرهای مختلف و با قطر پیشـــانی ۱/۵ میلیمتر نیز انجام می‌شـود. این بار گلوله با سـرعت اولیه ۲۵۰ m/s ، زاویه راس پیشـانی ۱۸۰ deg، عمق عملیاتی ۲۰ متر، برد نهایی ۱۴ m ، قطرپیشـانی۱/۵ mm و کالیبرهای مختلف انجام می‌شـود (شـکل (۸)). همانطورکه در این شـکل مشاهده می‌شود، برای برد نهایی ۲۰ متر هیچ انتخابی برای گلوله وجود ندارد (چرا که خط افقی گذرنده از برد ۲۰ متر بـا هیچکـدام از مرزهـای نـاحیـه ۱ در نمودار تلاقی ندارد) ولی در شـــکل (۷) این‌طور نیســـت. به عبارت دیگر محدوده انتخاب گلوله برای بردهای بالاتر، نیازمند قطر پیشانی کمتر است.

جدول۷-کمیت‌های مختلف مربوط به ۴ گلوله اصلاح شده مورد نظر

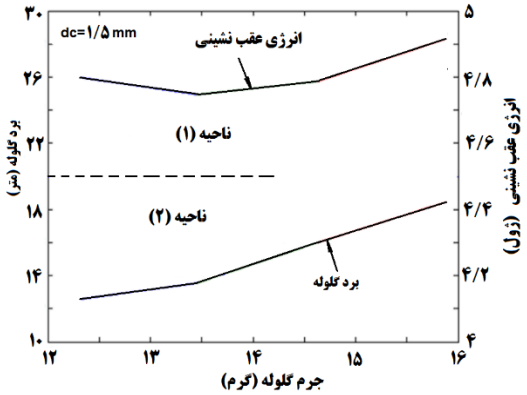
جرم(gr)	۱۵/۸۹	۱۴/۶۷	۱۳/۵۲	۱۲/۴۱
کالیبر(mm)	۹	۷/۶۲	۵/۵۶	۴/۴۵
طول (cm)	۵/۷	۸/۳	۱۰	۱۰/۵
برد موثر(m)	۲۶/۵	۲۳	۱۸/۵	۱۶/۵
انرژی عقب نشینی (j)	۴/۹۳	۴/۸	۴/۷۶	۴/۸۱



شکل۷: تغییرات انرژی عقب نشینی و برد بر حسب جرم گلوله (به ازای $d_c = 1/2\ mm$)

۷-۲- انتخاب ابعاد مناسب برای گلوله

در این مرحله از بین چند گلوله با کالیبرهای ۴/۴۵، ۵/۵۶، ۷/۶۲ و ۹ میلیمتری چند پیشـــنهاد ارائه می‌شـــود. ابعاد مناســـب گلوله با اسـتفاده از نمودارهایی انتخاب می‌گردد که شـامل چهار حالت برای قطرهای مختلف اســـت ولی در اینجا صـــرفا نتایج ۴/۴۵ و ۵/۵۶ میلیمتری بیان می‌گردند.



شکل۸: تغییرات انرژی عقب نشینی و برد بر حسب جرم گلوله(به ازای $d_c = 1/5\ mm$)

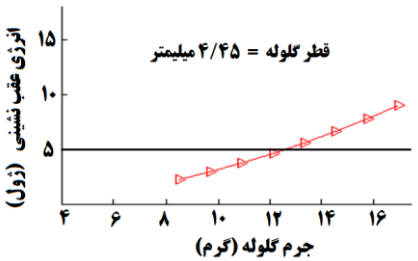
۷-۲-۱- گلوله ۴/۴۵ میلیمتری

یک گلوله با سرعت اولیه ۲۵۰ متر بر ثانیه، زاویه راس پیشانی ۱۸۰ درجه، عمق عملیاتی ۲۰ متر از سطح آب دریا، کالیبر۴/۴۵ میلیمتر از لحظه خروج گلوله از دهلنه لوله تا مرز ناپایداری گلوله بررســـی می‌شود. شکل (۹) نمودار انرژی عقب نشینی سلاح را برحسب جرم گلوله با طول‌های مختلف نشـــان می‌دهد. مطابق شـــکل با افزایش جرم گلوله، انرژی عقب نشینی سلاح افزایش می‌یابد.

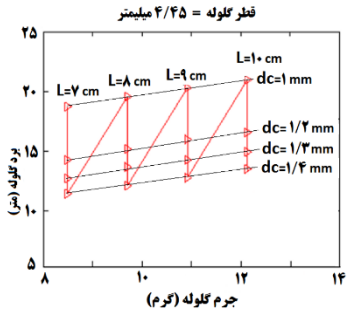
شـــکل (۱۰) نمودار برد نهایی گلوله را برحســـب جرم گلوله برای طول‌های مختلف و قطرهای پیشـانی متفاوت، بر اسـاس رابطه (۵) نشـــان می‌دهد. مطابق شـــکل با افزایش جرم گلوله و همچنین با کاهش قطر پیشـــانی (به ازای طول ثابت گلوله) ، برد گلوله افزایش می‌یابد. در این شکل مشخص است که به ازای یک طول مشخص برای گلوله از پایین به بالا قطر پیشانی کاهش می‌یابد.

شـکل (۱۱) نمودار انرژی عقب نشـینی سـلاح بر اسـاس را رابطه انرژی عقب نشـینی، برحسـب قطر پیشـانی، برای طول‌های مختلف نشـان می‌دهد. مطابق شـکل با افزایش قطر پیشـانی، در یک طول ثابت، برد گلوله ثابت می‌مانند. به عبارت دیگر نمودار انرژی عقب نشـینی سـلاح مسـتقل از قطر پیشـانی می‌باشـد. خلاصـه اطلاعات نمودارهای فوق بـه ازای دو طول ۹ و ۱۰ ســـانتیمتر برای گلوله درجدول (۸) آورده شده است.

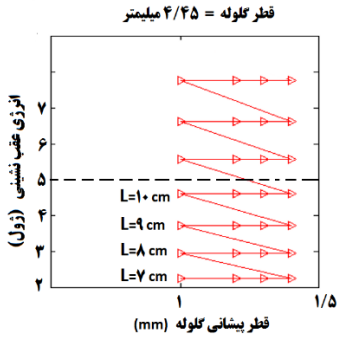
[Downloaded from marine-eng.ir on 2020-08-08]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.5.7]



شکل۹: نمودار انرژی عقب نشینی سلاح بر حسب جرم گلوله با کالیبر۴/۴۵میلیمتر



شکل۱۰: نمودار برد نهایی گلوله بر حسب جرم گلوله با کالیبر۴/۴۵میلیمتر



شکل۱۱: نمودار انرژی عقب نشینی سلاح برحسب قطر پیشانی با کالیبر۴/۴۵میلیمتر

جدول۸-مشخصات دسته گلوله پیشنهادی اول (۴/۴۵ میلیمتر)

انرژی عقب نشینی(ژول)	برد (متر)	جرم (gr)	قطر نوک (mm)	طول (cm)	کالیبر (mm)
۳/۷	۲۰/۲	۱۰/۹	۱	۹	۴/۴۵
۳/۷	۱۷/۹	۱۰/۹	۱/۱	۹	۴/۴۵
۳/۷	۱۵/۹	۱۰/۹	۱/۲	۹	۴/۴۵
۴/۶	۲۰/۹	۱۲/۱	۱	۱۰	۴/۴۵
۴/۶	۱۸/۶	۱۲/۱	۱/۱	۱۰	۴/۴۵
۴/۶	۱۶/۵	۱۲/۱	۱/۲	۱۰	۴/۴۵

با توجه به جدول (۸) همه گزینه‌ها، الزامات و قیود را ارضا می‌کنند. ولی پوکه این گلوله در کشور تولید نمی‌شود. لذا علیرغم این که این دسته گلوله‌ها گزینه اول پیشنهادی هستند عملا از دایره انتخاب خارج می‌گردند.

۷-۲-۲- گلوله ۵/۵۶ میلیمتری

باتوجه به معیارهای طراحی انتخاب گلوله که قبلا ذکرگردید و با استفاده از جداول و نمودارهای قبل، گلوله‌های زیر مطابق جدول (۹) قید انرژی عقب نشینی را ارضا نمی‌کنند. ولی با کاهش جرم گلوله بدون کاهش طول یا قطر می‌توان به طرح نهایی رسید. این کار را می‌توان با تغییر جنس یا هندسه گلوله انجام داد. نتایج در جدول (۱۰) آمده‌اند.

جدول۹- مشخصات دسته گلوله پیشنهادی دوم

انرژی عقب نشینی J	برد m	جرم gr	قطر پیشانی mm	طول گلوله cm	قطر گلوله mm
۷/۶	۳۱/۶	۱۷	۱	۹	۵/۵۶
۷/۶	۲۸	۱۷	۱/۱	۹	۵/۵۶
۷/۶	۲۴/۹	۱۷	۱/۲	۹	۵/۵۶

جدول۱۰- مشخصات گلوله نهایی با جرم ۱۳ گرم و کالیبر ۵/۵۶

انرژی عقب نشینی گلوله اصلاح شده	برد گلوله اصلاح شده	قطر پیشانی mm	طول گلوله cm
۴/۳۷	۲۴/۱	۱	۹
۴/۳۷	۲۱/۳	۱/۱	۹
۴/۳۷	۱۸/۹	۱/۲	۹

۸- صحت سنجی کدهای نوشته شده و توصیف فرایند تست

بر اساس داده های منتشر شده[۱۱] برد گلوله ۴/۴۵ میلیمتری روسی با طول ۱۱۵ میلیمتر در عمق ۵ متر برابر ۱۷ متر است. کدهای طراحی پیش‌بینی می‌کنند همین گلوله (با طول ۱۰۵ میلیمتر) بردی در حدود ۱۵ متر داشته باشد.

همین کدها نشان میدهند گلوله روسی بردی در حدود ۱۶/۵ متر را از خود نشان می‌دهد. این امر بیان کننده دقت خوب روش مورد استفاده است.

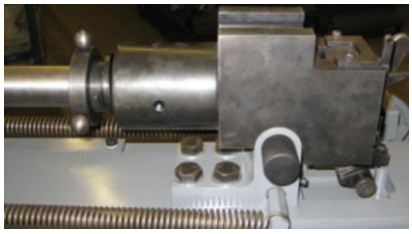
نکات مهم تست به صورت زیر قابل بیان هستند:

۱- مراحل تست با دوربین‌های سرعت بالا ضبط گردند.

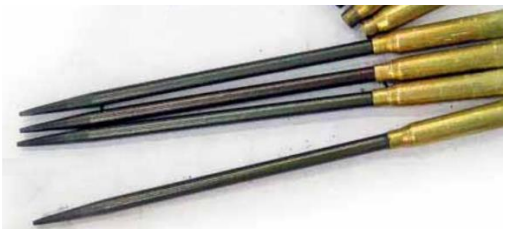
۲- تمامی تست‌های اولیه مهمات برای نهایی شدن طراحی توسط لوله بالستیک که روی یک میز محکم می‌شود انجام می‌گردد(شکل(۱۲)). این میز در عمق استخر به دلیل کاهش وزن ظاهری باید توسط وزنه‌هایی مستقر گردد.

۳- برای تعیین برد موثر میتوان از صفحات ملاک در زیر آب استفاده نمود.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2020-00-00]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.5.7]



شکل۱۲: لوله بالستیک که روی یک میز ثابت شده است و قابلیت ثبت انرژی عقب نشینی و تغییر زاویه شلیک و هدف گیری به سمت یک نقطه را دارد.



شکل۱۳: نمونه گلوله های ساخته شده با کالیبر ۴/۴۵

٤- لازم است با خاموش کردن سامانه چرخش آب جریانهای ناخواسته در جهات جانبی یا قائم به حداقل برسند.

٥- بواسطه امواج صوتی ایجاد شده در زیر آب وجود عینک برای محافظت از چشم ها کاملا ضروری است. علاوه بر این فشار امواج صوتی نیز کاملا بر روی قفسه سینه کاربر قابل احساس است.

٦- برای طراحی سلاح نیاز به تعیین سرعت عقب نشینی است. مقدار عقب نشینی پس از شلیک گلوله ، با استفاده از یک فنر و ثبت مقدار فشردگی آن قابل تعیین است. (شکل(۱۲))

۷- تستهای مربوط به انرژی عقب نشینی در بیرون از آب انجام میشود.

۸- از آنجا که به هر دلیل احتمال خروج گلوله از آب وجود دارد، باید شرایط ایمنی در این خصوص کاملا رعایت شود.

۹- سرعت دهانه با استفاده از دوربینهای ورزشی سرعت بالا و مقایسه با شاخصهای مکانی در محل شلیک به راحتی قابل تعیین است.

در شکل (۱۳) چند نمونه گلوله ساخته شده با کالیبر ۴/۴۵ با طول ۱۱۵ میلیمتر به نمایش درآمده که صحت سنجی معادلات نوشته شده بر اساس آن انجام شده است.

۹- نتیجه‌گیری

بر اساس نیاز به سامانه سلاح غواصی لازم است در کشور طراحی یک گلوله سوپرکاویتاسیون در دستور کار قرار گیرد. در اینجا بر اساس دانش فنی به دست آمده از پژوهشهای منتشر شده نمونه گلوله طراحی گردید.

به واسطه لزوم سهولت حمل و نقل سلاح در زیر آب ، یکی از گزینه ها این است که طراحی گلوله کلت غواصی به عنوان مسئله اصلی انتخاب شود.

ساخت مهمات دو محیطه برای سلاحهای انفرادی کاملا انجام شدنی است ولی کلت با مهمات دو محیطه عملا وجود ندارد، چرا گه طول گلوله های سوپر کاویتاسیون بلند است. از طرف دیگر از همین مهمات میتوان در سلاحهای انفرادی (با تغییراتی در مکانیزم سلاح) استفاده نمود.

عامل پایداری گلوله های سوپرکاویتاسیون در زیر آب، هندسه حباب است. بر اساس تجارب به دست آمده حداکثر طول حباب چیزی در حدود ۵ تا ۶ برابر طول گلوله در نظر گرفته میشود. چرا که در بیش از این مقدار امکان خارج شدن گلوله از مسیر وجود دارد. حرکت پایدار گلوله تا زمانی ادامه پیدا میکند که طول حباب برابر با طول گلوله شود.

در طراحی و انتخاب گلوله یک سلاح غواصی نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

۱) مجموعا پارامترهای هندسی و غیرهندسی موثر در انتخاب و طراحی گلوله (قیودانتخاب گلوله) عبارتند از: طول گلوله، نسبت طول به قطر گلوله، برد نهایی گلوله، قطر پیشانی، انرژی عقب نشینی سلاح و جرم گلوله و زاویه راس پیشانی. از آنجاکه جرم، طول و قطر گلوله باهم رابطه دارند، از بین آنها، جرم گلوله به طور مستقل در تحلیلها لحاظ می‌شود. در نتیجه پارامترهای طراحی در نظرگرفته شده، جرم گلوله، برد نهایی گلوله و انرژی عقب نشینی سلاح می‌باشند.

۲) هدف اصلی از طراحی گلوله‌های سوپرکاویتاسیون رسیدن به حداکثر برد موثر در آب با حداقل انرژی عقب نشینی سلاح است.

۳) با توجه به محدویت و حساسیت‌های تولید، نباید تغییرات زیادی بر روی پوکه‌های موجود انجام گیرد. هرچه بتوان در طراحی، جرم گلوله را کمترکرد، انرژی عقب نشینی سلاح کمتر می‌شود. از طرف دیگر هرچه جرم گلوله بیشتر باشد، انرژی اولیه گلوله و در نتیجه برد نهایی گلوله بیشتر می‌شود. بنابراین باید تعدیلی بین این دو به وجود آید.

۴) از آنجا که شخص تیرانداز نمی‌تواند انرژی زیاد حاصل از تکانه را تحمل کند، در نتیجه یکی از قیود انتخاب گلوله، انرژی عقب نشینی سلاح است. انرژی عقب نشینی مناسب سلاح حدود ۵ ژول تخمین زده می‌شود.

۵) بواسطه تفاوت کالیبر گلوله پیشنهاد شده با گلوله های موجود دنیا رفتار بالستیک خارجی آن هم کاملا متفاوت است . گلوله‌های مشابه در دنیا با دو کالیبر ۴/۴۵ و ۵/۴۵ ساخته شده اند. در کشورمان به دلیل عدم وجود پوکه دو گلوله فوق، کالیبر ۵/۵۶ انتخاب شد و مشخصات آن استخراج گردید.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2020-08-08]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.5.7]

۱۰-کلید واژگان

1- Cavity
2- Cavitator
3- Muzzle velocity

۱۱- فهرست علائم

A_c	سطح پیشانی گلوله(m^2)
C_D	ضریب نیروی مقاوم
E	انرژی عقب نشینی آزاد سلاح (J)
E_F	انرژی گلوله در لحظه ناپایداری(انرژی نهایی گلوله)(J)
Fr	عدد فرود(بدون بعد)
F_c	نیروی مقاوم (N)
K_1, K_2	مقادیر ثابت
L	طول گلوله(m)
L_{max}	طول حباب (m)
M	جرم سلاح (kg)
N	نسبت طول حباب به طول گلوله
Re	عدد رینولدز(بدون بعد)
U_∞	سرعت لحظه‌ای گلوله (m/s)
V	سرعت عقب نشینی آزاد سلاح (m/s)
V_F	سرعت ناپایداری گلوله (سرعت نهایی گلوله) (m/s)
We	عدد وبر (بدون بعد)
X_F	برد گلوله در لحظه ناپایداری (بردنهایی گلوله) (m)
d	قطر گلوله یا کالیبر (mm) یا (m)
d_c	قطر پیشانی گلوله (mm) یا (m)
d_{max}	حداکثر قطر حباب (mm) یا (m)
g	شتاب گرانش (m/s^2)
p_c	فشار بخار درون حباب (Pa)
p_∞	فشار سیال اطراف درون حباب (Pa)
$r(x)$	شعاع حباب به صورت تابعی از مختصات طولی آن (m)
v	سرعت خروج گلوله از دهانه لوله(m/s)
2α	زاویه راس پیشانی(deg)
μ	لزجت سیال (Pa.s)
σ	عدد کاویتاسیون (بدون بعد)
ρ	چگالی سیال و چگالی گلوله (kg/m3)
ξ	کشش سطحی سیال (N/m)

۱۰- مراجع:

1- http://world.guns.ru
2- H. Moallem, (2012), *Internal Ballistics of Underwater Pistol*, Master Thesis, Malek Ashtar University of Technology. (In Persian)
3- M. Masaeli, (2013) *Motion Simulation with Underwater Supercavitation Characteristics*, Master Thesis, Malek Ashtar University of Technology. (In Persian)
4- Zhenyu Jiang, (2012) *Research on Hydrodynamic Properties of Annular Cavitators*, Polish Maritime Research.
5- R. Rand, R. Pratap, D. Ramani, J. Cipolla and I. Kirschner, (1997), *Impact Dynamics of a Supercavitating Underwater Projectile*, Third International Symp. On Performance Enhancement for Marine Applications, Newport, RI, pp. 215-223.
6- Seong Sik Ahn, (2007), *An Integrated Approach to the Design of supercavitating Underwater Vehicles*, Doctoral Thesis, Georgia Inst. of Tech
7- N. Fine, (2000), *Six Degree of freedom Fin Forces for the ONR Supercavitating Test Bed Vehicle*, Anteon Corporation.
8- Kiceniuk T., (1957), *Experimental Study of the Hydrodynamic Forces acting on a Family of Cavity Producing Conical Bodies of Revolution*, CIT Hydrodynamic, California Inst. Of Tech. Pasadena.
9- Munzer, H, and Reichard H., (1957), *Rotational Symmetric Source-Sink Bodies with Predominantly Constant Pressure Distributions*, ARE Translation 1/50, Aerospace Reserch Establishment, England.
10- Garabedian P. R. , (1956), *Calculation of axially Symmetric Cavities and jets*, Pacic J. of Mathemathics , Vol. 4 , pp. 611-684.
1۱- *4.5 mm SPP-1M Underwater Pistol Archived* , TsNIITochMash, Retrieved 2010-04-05

[Downloaded from marine-eng.ir on 2023-09-08]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.5.7]