

روش پایه محاسبه منطقه کشندگی یک سر جنگی

مشخصات مقاله اصلی

The basic method of calculating the lethal area of a warhead, Willard R.Benson, October 1954, Dept. of the army project 572 – 01 – 004.

مترجم

اسدالله بهمنی

همیشه منتظر انتقادات، نظرات و راهنمایی های شما عزیزان هستم.

ELVISF35@yahoo.com

خوشی هایتان به بلندای یلدا

هدف اصلی هر سرجنگی نابود کردن هدف مورد نظر می‌باشد. احتمال و شانس انجام مأموریت یک موشک به خصوصیات سیستم سلاح، پتانسیل کشندگی سرجنگی و مقاومت هدف مورد نظر وابسته می‌باشد. موشکی که از دقت بسیار بالایی برخوردار است، اگر کشنده بودن و مرگ‌آوری آن به اندازه کافی نباشد و نتواند به مقدار مناسب به هدف مورد نظر آسیب برساند، استفاده کردن از آن بی‌فایده می‌باشد؛ و از طرفی اگر موشک به هدف مورد نظر نرسد، پتانسیل کشندگی آن بی‌فایده می‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که از مرحله طراحی تا تولید یک موشک باید تعادلی وجود داشته باشد، تا در نهایت منجر به طراحی بهینه سیستم یک سلاح گردد.

یک فاز اساسی در طراحی سلاح که باید توسط طراح مهمات مدنظر قرار گیرد، تعیین کشندگی سرجنگی می‌باشد و با استفاده از این عامل و دیگر عوامل موجود، باید پارامترهای طراحی بهینه را انتخاب نمود. موضوع این مقاله، ارائه فرمول‌های اولیه مورد نیاز برای محاسبه کشنده بودن یک سرجنگی می‌باشد.

یکی از عوامل مناسبی که نشانگر پتانسیل کشندگی یک سرجنگی است، منطقه کشندگی^۱ آن می‌باشد. اگرچه منطقه کشندگی دارای واحد سطح می‌باشد، اما از مفهوم فیزیکی سطح برخوردار نیست. شاید بیشتر مناسب باشد که آن را شاخص تلفات^۲ نامید، چونکه مقدار منطقه کشندگی با تعداد اهدافی که در واحد سطح مورد نظر منهدم می‌شوند، افزایش می‌یابد که در نتیجه آن منطقه کشندگی نمایانگر تعداد اهداف نابود شده توسط سرجنگی مورد نظر در سطح مورد بررسی می‌باشد. به طور کلی اصطلاح منطقه کشندگی، معیاری می‌باشد برای مقایسه سیستم سرجنگی یک موشک با یک موشک دیگر.

برای محاسبه منطقه کشندگی باید اطلاعات ویژه‌ای را در اختیار داشت. از جمله آن‌ها می‌توان به نحوه و میزان توزیع و پراکنده شدن ترکش‌ها و سطح هدف مورد نظر اشاره نمود که با استفاده از آن‌ها می‌توان، مقدار انتظار و احتمال و شانس برخورد ترکش‌ها با هدف را تعیین نمود. بعلاوه سرعت اولیه ترکش‌ها، نرخ کاهش سرعت آن‌ها در پیمودن یک مسافت و سرعت اصابت ترکش‌ها به هدف را باید دانست.

عدد انتظار^۳ اصابت به هدف

عدد انتظار اصابت به هدف را می‌توان با استفاده از فرمول زیر محاسبه نمود:

$$E_n = \rho_n \cdot A_n \quad (1)$$

در فرمول فوق E_n عدد انتظار اصابت به هدف، ρ_n چگالی متوسط ترکش‌ها در مسیر ترکش و A_n سطح متوسط هدف در مسیر ترکش می‌باشند. برای یک ترکش هوایی کروی ρ_n را می‌توان با استفاده از فرمول زیر به دست آورد:

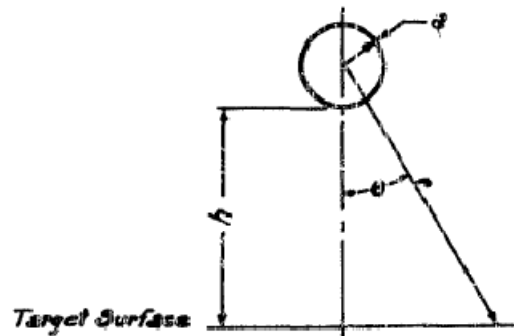
^۱ - Lethal area

^۲ - Casualty index

^۳ - Expected number

$$\rho_n = \rho_s \left(\frac{a}{h} \cos \theta \right)^2 \quad (2)$$

که در معادله فوق ρ_s ترکش‌ها بر واحد مساحت سطح موشک، a شعاع یک موشک کروی، h فاصله یک موشک کروی تا سطح هدف و θ زاویه مسیر ترکش نسبت به محور عمود بر سطح هدف می‌باشند. در شکل-۱، موقعیت پارامترهای a ، h و θ نشان داده می‌شود.



شکل ۱- موقعیت پارامترهای a ، h و θ .

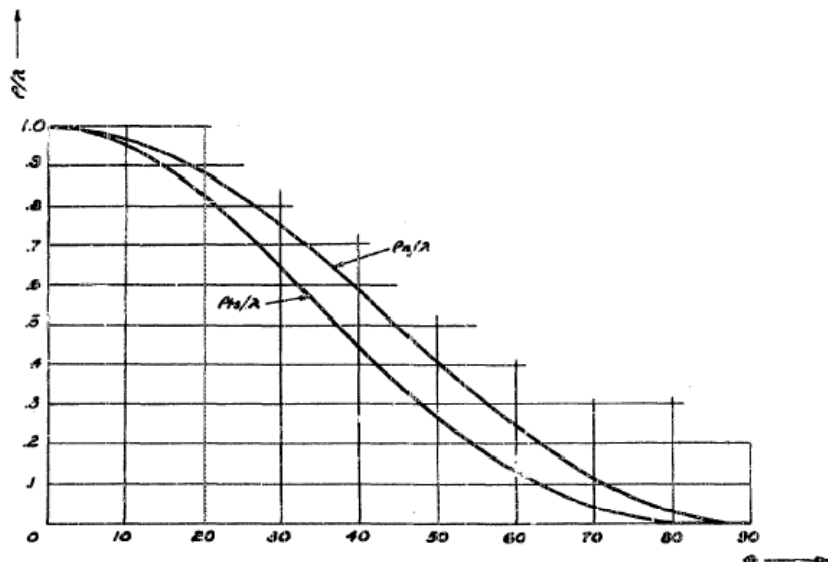
از طرفی داریم:

$$\lambda = \rho_s \left(\frac{a}{h} \right)^2 \quad (3)$$

حال با ترکیب معادلات ۲ و ۳ داریم:

$$\frac{\rho_n}{\lambda} = \cos^2 \theta \quad (4)$$

در شکل-۲، نحوه توزیع ترکش‌ها برای یک سطح کروی نشان داده می‌شود.



شکل ۲- نحوه توزیع ترکش‌ها برای یک سطح کروی.

لازم بذکر است که در شکل فوق ρ_{ts} ترکش بر واحد مساحت سطح هدف می‌باشد. از طرفی برای محاسبه عدد انتظار اصابت به هدف فرمول زیر را هم داریم که عبارت است از:

$$E_n = \frac{\rho_{nr} R^2}{r^2} A_n \quad (5)$$

که در معادله فوق ρ_{nr} توزیع ترکش بر واحد سطح یک هدف معمولی نسبت به مسیر ترکش در حال حرکت به سمت هدف تجربی از مرکز انفجار، R فاصله ترکش متحرک از مرکز انفجار تا هدف تجربی و r فاصله‌ای که ترکش باید از مرکز انفجار تا اصابت به هدف حرکت کند، می‌باشند. لازم بذکر است که A_n را می‌توان با استفاده از فرمول زیر محاسبه نمود.

$$A_n = 3.4/1.10 \cos\theta \quad (6)$$

و مقدار آن برای یک ترکش زمینی به صورت زیر می‌باشد:

$$A_n = 3.4 \cos\theta \quad (7)$$

واحد سطح مزبور فوت مربع می‌باشد.

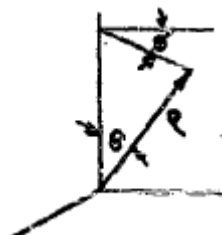
اطلاعات و فرمول‌های فوق دو حدس و گمان را ایجاد می‌نمایند، که همواره آن‌ها صحیح و معتبر نمی‌باشند.

۱- سرعت سرچنگی در مقایسه با سرعت ترکش‌ها کمتر است.

۲- هدف مورد نظر کاملاً در برابر ترکش‌ها بی‌دفاع می‌باشد.

سرعت ترکش

یکی از پارامترهای بسیار مهم و تأثیرگذار در منطقه کشندگی، سرعت موثر^۱ ترکش‌ها در هنگام برخورد با هدف می‌باشد. برای تعیین سرعت موثر، دانستن سرعت اولیه ذره و نرخ کاهش سرعت در راستای مسیر پرواز بسیار لازم می‌باشد. سرعت اولیه یک ترکش برای یک پوسته معمولی و رایج به مقدار محاسبه شده توسط فرمول گورنی^۲ نزدیک می‌باشد. در فرضیه گورنی تصور می‌شود که سهم انرژی جنبشی گازهای منفجر شونده و ترکش‌های فلزی ایجاد شده از انفجار هر واحد جرمی از یک ماده قابل انفجار در تمام انواع موشک‌ها، یکسان می‌باشد. در زیر می‌توان کاربرد این اظهارات را در یک پوسته کروی مشاهده نمود. لازم بذکر است که به دلیل بررسی مسائل فوق در یک پوسته کروی، از مختصات کروی برای تجزیه و تحلیل سیستم مورد نظر استفاده می‌شود، که در شکل ۳- دیاگرام مورد استفاده در این مختصات نشان داده می‌شود.



شکل ۳- دیاگرام مختصات کروی.

^۱ - Striking velocity

^۲ - Gurney formula

اگر E سهم انرژی جنبشی یک واحد جرمی از یک ماده منفجر شونده، M_g جرم بر واحد حجم منفجر شونده، V سرعت اولیه ترکش، V_g سرعت گازها، C کل وزن منفجر شونده، a شعاع داخلی یک کره، M وزن کل ترکشها و ρ ، θ و φ مختصات کروی باشند، در این زمان بر اساس فرمول گورنی داریم:

$$CE = \frac{1}{2} MV^2 + \frac{1}{2} \int M_g V_g^2 dV \quad (8)$$

مقدار V_g در مرکز موشک برابر صفر و در سطح موشک با مقدار سرعت اولیه یک ترکش برابر می باشد و در محدوده بین این دو نقطه به صورت خطی متغیر می باشد. ریاضی این رفتار را می توان به صورت زیر بیان نمود.

$$V_g = \frac{\rho}{a} V. \quad (9)$$

که در اینجا $0 \leq \rho \leq a$. لازم بذکر است که در یک سطح کروی مقدار dv برابر است با

$$dv = \rho^2 \sin\theta d\varphi d\theta \quad (10)$$

با جایگذاری معادله ۹ و ۱۰ در معادله ۸ معادله زیر حاصل می گردد:

$$CE = \frac{1}{2} MV^2 + \frac{V^2}{2} \int_0^a \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \frac{M_g \rho^4}{a^2} d\varphi d\theta d\rho \quad (11)$$

با حل معادله ۱۱ و انتگرال گیری از آن، معادله زیر حاصل می گردد:

$$CE = \frac{1}{2} MV^2 + \frac{4}{3} \pi a^3 M_g \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{3V^2}{5} \quad (12)$$

از طرفی

$$C = \frac{4}{3} \pi a^3 M_g \quad (13)$$

با جایگذاری معادله ۱۳ در معادله ۱۲ داریم:

$$CE = \frac{1}{2} (MV^2 + \frac{3}{5} C V^2) \quad (14)$$

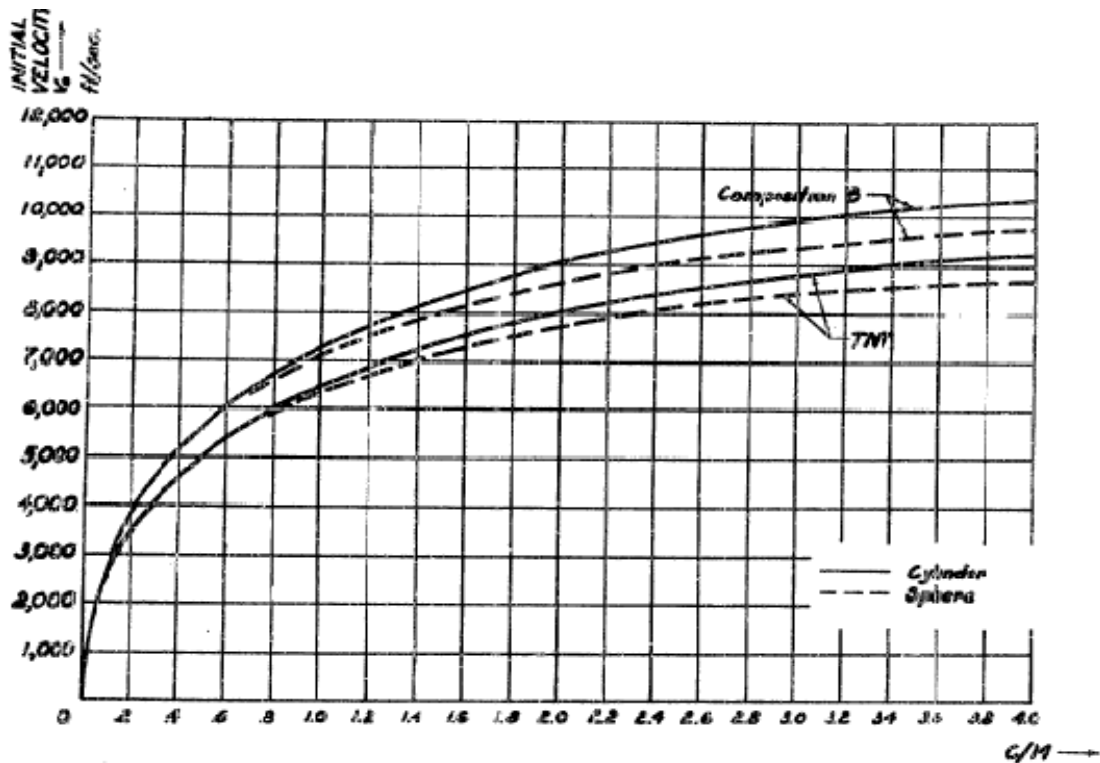
حال با حل نمودن معادله ۱۴ می توان مقدار سرعت اولیه یک ترکش را محاسبه نمود که مقدار آن عبارت است از:

$$V = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{\frac{C}{M}}{1 + 0.6 \frac{C}{M}}} \quad (15)$$

فرمول ۱۵ برای محاسبه سرعت اولیه یک ترکش در یک پوسته کروی می باشد، حال اگر روند فوق را برای یک سطح استوانه ای طی بنماییم، فرمول محاسبه سرعت اولیه ترکش در آن به صورت زیر می گردد:

$$V = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{\frac{C}{M}}{1 + 0.05 \frac{C}{M}}} \quad (16)$$

در شکل-۴، گراف‌های مربوط به این توابع برای دو ماده انفجاری تری نیتروتولوئن (تی.ان.تی)^۱ و خرج خمیری شکل ب^۲ نشان داده می‌شود:



شکل ۴- سرعت اولیه ترکش در برابر وزن آن.

لازم بذکر است که مقدار عبارت $\sqrt{2E}$ به صورت تجربی تعیین می‌گردد و بستگی به نوع ماده منفجره دارد. در جدول-۱ مقادیر رایجی که برای این عبارت در هنگام استفاده از تی.ان.تی، خرج خمیری شکل C3 و ب مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر $\sqrt{2E}$ برای سوخت‌های متفاوت.

ردیف	نوع ماده منفجره	$\sqrt{2E}$
۱	تی.ان.تی	۸۰۰۰
۲	خرج خمیری شکل C3	۸۸۰۰
۳	خرج خمیری شکل ب	۹۰۰۰

لازم بذکر است که واحد مقادیر اعلام شده برای $\sqrt{2E}$ در جدول-۱، فوت بر ثانیه می‌باشد.

^۱ - Tri Nitro Toluene (TNT)

^۲ - Composition B

مطالبی که در قسمت‌های قبلی در باب کاربرد فرمول گورنی گفته شد، عمدتاً برای تجزیه و تحلیل سرعت اولیه ترکش یک پوسته همگن^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد. آزمایشات اخیر نشان داده‌اند که سرعت ترکش یک پوسته که دارای جرم کنترل شده ترکش می‌باشد، در حدود ۷۰ درصد کمتر از مقدار پیش‌بینی شده توسط فرمول گورنی می‌باشد. این فرضیه وجود دارد که این کاهش به خاطر دمیده شدن گازها در بین ترکش‌ها می‌باشد. در پوسته ترکش کنترل شده^۲ نسبت به پوسته رایج^۳، عمل دمیده شدن گازها زودتر اتفاق می‌افتد. از طرفی در پوسته رایج به خاطر نرمی پوسته نسبت به پوسته ترکش کنترل شده، در برابر نیرو و فشار وارده ناشی از انفجار خرج سرچنگی، پوسته مقداری کش می‌آید و منبسط می‌شود و در نتیجه مسیر گازها بیشتر مسدود می‌گردند و منجر به دمیده شدن بیشتر گازها و در نهایت کاهش بیشتر سرعت اولیه ترکش می‌گردد.

در کنار سرعت اولیه ترکش، لازم است که نرخ کاهش سرعت ترکش هم مشخص گردد، که آن تابعی از جرم، شکل و مسیر حرکت ترکش می‌باشد. بیان ریاضی برای نرخ کاهش سرعت را می‌توان با استفاده از قانون حرکت نیوتن ایجاد نمود، که بر اساس آن داریم:

$$m \frac{dV}{dt} = -F_d \quad (17)$$

که در معادله فوق F_d نیروی درگ، m جرم یک ترکش و V سرعت می‌باشند. از طرفی دیگر داریم که F_d برابر است با:

$$F_d = C_d A \sigma V^2 \quad (18)$$

که در اینجا A نمایانگر مساحت یک ترکش، σ چگالی هوا و C_d ضریب درگ می‌باشند. حال با جایگذاری معادله ۱۸ در معادله ۱۷ داریم:

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{\beta A V^2}{m} \quad (19)$$

که در معادله ۱۹

$$\beta = C_d \sigma \quad (20)$$

با بررسی بیشتر داریم:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dr} \frac{dr}{dt} = V \frac{dV}{dr} \quad (21)$$

با جایگذاری معادله ۲۱ در معادله ۱۹ داریم:

$$\frac{dV}{V} = -\frac{\beta A dr}{m} \quad (22)$$

¹ - Homogeneous shell

² - Controlled fragment shell

³ - Conventional shell

حال با انتگرال گیری از معادله ۲۲ داریم:

$$\ln V = -\frac{\beta A r}{m} \ln e + \hat{C} \quad (23)$$

در معادله ۲۳، $\hat{C}$ ثابت انتگرال می باشد. در نهایت با ساده سازی داریم:

$$V = C e^{-\frac{\beta A r}{m}} \quad (24)$$

در معادله ۲۴، C ثابت انتگرال می باشد که با استفاده از شرایط مرزی می توان مقدار آن را تعیین نمود که بر این اساس داریم:

$$\text{If } t = 0 \rightarrow V = V_0 \implies C = V_0 \implies V = V_0 e^{-\frac{\beta A r}{m}} \quad (25)$$

معادله شماره ۲۵ را می توان همچنین با پایه ۱۰ نیز تعریف نمود که بر این اساس داریم:

$$V = V_0 \cdot 10^{-\frac{\beta A r}{m}} \quad (26)$$

بر اساس نتایج تجربی مشاهده شده است که بهترین مقدار برای β در سرعت های مافوق صوت و در حدود ۵ ماخ، مقدار ۰/۹۱۰۰ می باشد. بنابراین داریم:

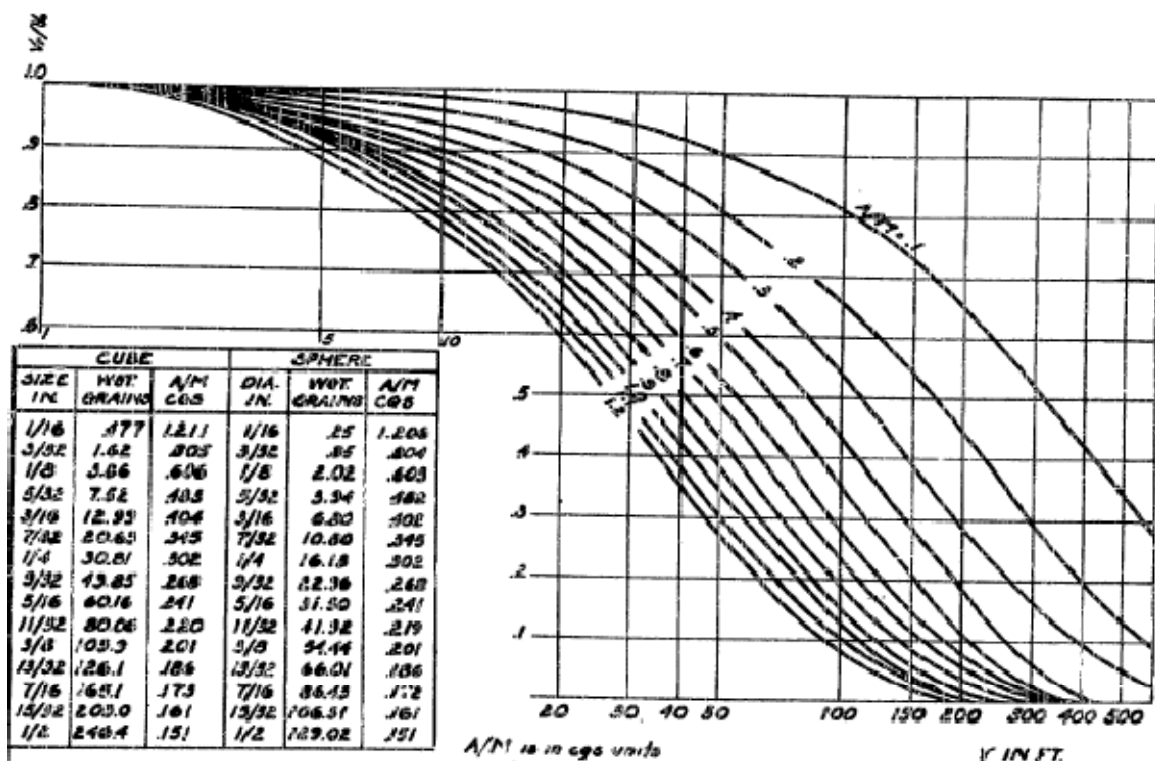
$$V = V_0 \cdot 10^{-0.0091 \frac{A r}{m}} \quad (27)$$

که در اینجا اگر $\frac{A}{m}$ در واحد سانتیمتر/گرم/ثانیه باشد، در آن زمان واحد V_0 فوت بر ثانیه و r فوت می باشند. در جدول ۲-، مقدار $\frac{A}{m}$ برای ترکش هایی با شکل های مختلف نشان داده می شود.

جدول ۲- مقدار $\frac{A}{m}$ برای ترکش هایی با شکل های مختلف.

ردیف	شکل ترکش	مقدار $\frac{A}{m}$
۱	کروی	$0.305 m^{-\frac{1}{3}}$
۲	ترکش های فولادی رانده	$0.55 m^{-\frac{1}{3}}$
۳	ترکش های فولادی مستطیلی	$0.126 \frac{(a+b+ab) m^{-\frac{1}{3}}}{(ab)^{-\frac{5}{3}}}$
۴	مکعب فولادی	$0.38 m^{-\frac{1}{3}}$

در شکل ۵-، روند نرخ کاهش سرعت برای کره هایی با اندازه های مختلف نشان داده شده است. لازم بذکر است که در شکل مورد نظر، ضریب درگ ثابت در نظر گرفته شده است. در این مقاله، در شرایطی که سرعت باقیمانده ترکش بیشتر از ۱/۶ ماخ است، ضریب درگ ثابت فرض شده است.



شکل ۵- سرعت ترکش نسبت به سرعت اولیه آن در مقابل مسافت پیموده شده توسط ترکش.

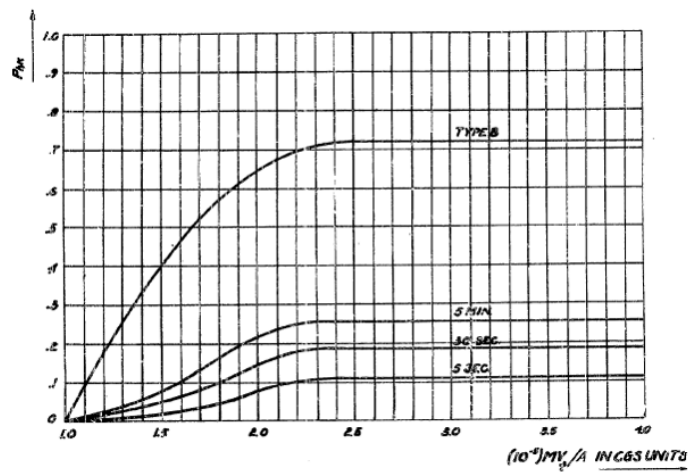
معیار آسیب هدف^۱

معادلاتی که از مباحث انجام شده تا این قسمت حاصل شده‌اند، کاملاً عمومی می‌باشند و برای هر نوع هدفی می‌توان از آن‌ها استفاده نمود. نوع یک هدف بر اساس آسیب‌پذیری آن در مقابل برخورد ترکش‌ها با آن تعریف می‌شود. یکی از آسیب‌پذیرترین اهداف می‌تواند یک هدف انسانی باشد، به گونه‌ای که اگر به آن حداقل یک ترکش با انرژی جنبشی ۵۸ فوت-پوند و یا بیشتر برخورد نماید، آن دچار ناتوانی قابل ملاحظه‌ای خواهد شد. معیار آسیب با استفاده از احتمال شرطی^۲ بیان می‌گردد، که در آن با یک ترکش می‌توان هدف را ناتوان و نابود کرد که آن تابع $\frac{m V_T}{A}$ می‌باشد؛ که در آن m جرم ترکش، V_T سرعت موثر ترکش و A مساحت مقطع عرضی یک ترکش می‌باشند. بعلاوه در معیار آسیب هدف، زمان نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد، به گونه‌ای که یک هدف در چه مدت زمانی از بین می‌رود؟ ۵ ثانیه، ۳۰ ثانیه و یا ۵ دقیقه و یا اینکه در یک مدت زمان نامحدود از بین می‌رود (نوع B از کارافتادگی).

در شکل ۶، منحنی از کارافتادگی ضد نفر نشان داده می‌شود. با توجه به آن مشاهده می‌گردد که پتانسیل کشندگی به وسیله عبارت $\frac{m V_T}{A} (10^{-5})$ تعیین می‌گردد، که عموماً مقدار آن باید بیشتر از ۲/۵ باشد. همچنین با توجه به شکل مشاهده می‌گردد که اگر مقدار پتانسیل کشندگی کمتر از یک باشد، هیچ خسارتی به نفری وارد نمی‌گردد.

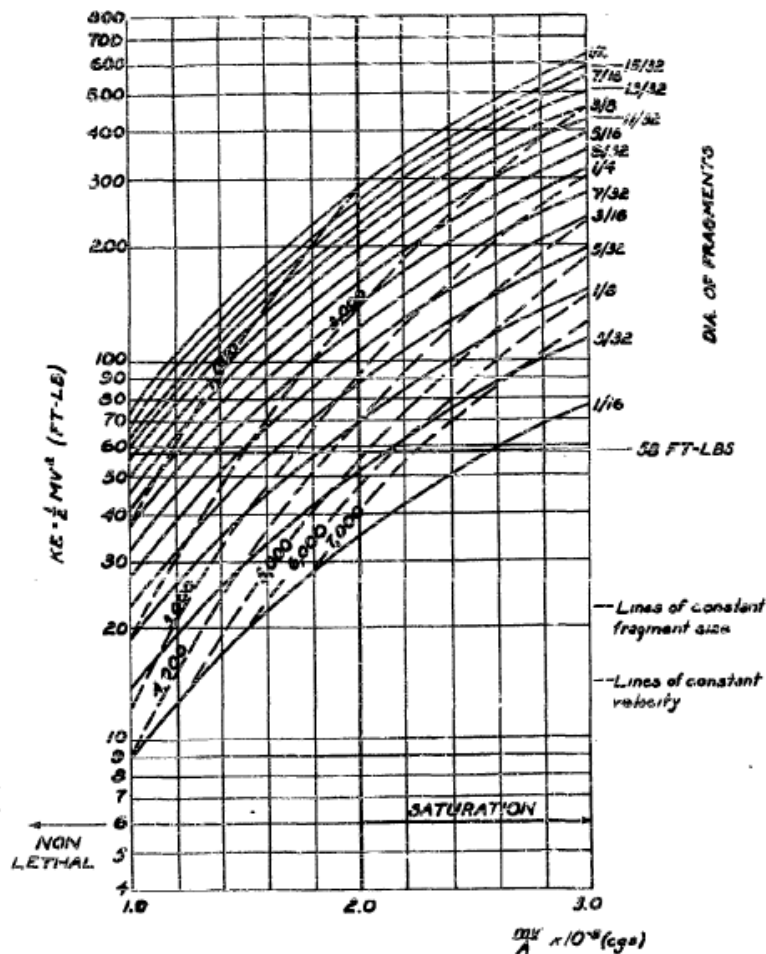
¹ - Target damage criterion

² - Conditional probability



شکل ۶- احتمال شرطی که یک ترکش با یک هدف برخورد نماید و به آن آسیب برساند در برابر پتانسیل کشندگی.

در شکل ۷، اختلاف میان معیار پتانسیل کشندگی و معیار انرژی جنبشی برای ناتوان کردن یک هدف انسانی نشان داده می‌شود. با توجه به شکل مورد نظر مشاهده می‌گردد که به طور مثال یک ترکش کروی با قطر $\frac{1}{16}$ ، اگر با سرعت ۴۰۰۰ فوت بر ثانیه و یا انرژی جنبشی ۹ فوت - پوند حرکت نماید، در آستانه آسیب رساندن قرار می‌گیرد و یا اگر همان ذره با سرعت ۸۰۰۰ فوت بر ثانیه و یا انرژی جنبشی ۳۵ فوت - پوند حرکت نماید، در محدوده کشندگی اشباع قرار می‌گیرد.



شکل ۷- انرژی جنبشی در برابر پتانسیل کشندگی برای ترکش‌های کروی.

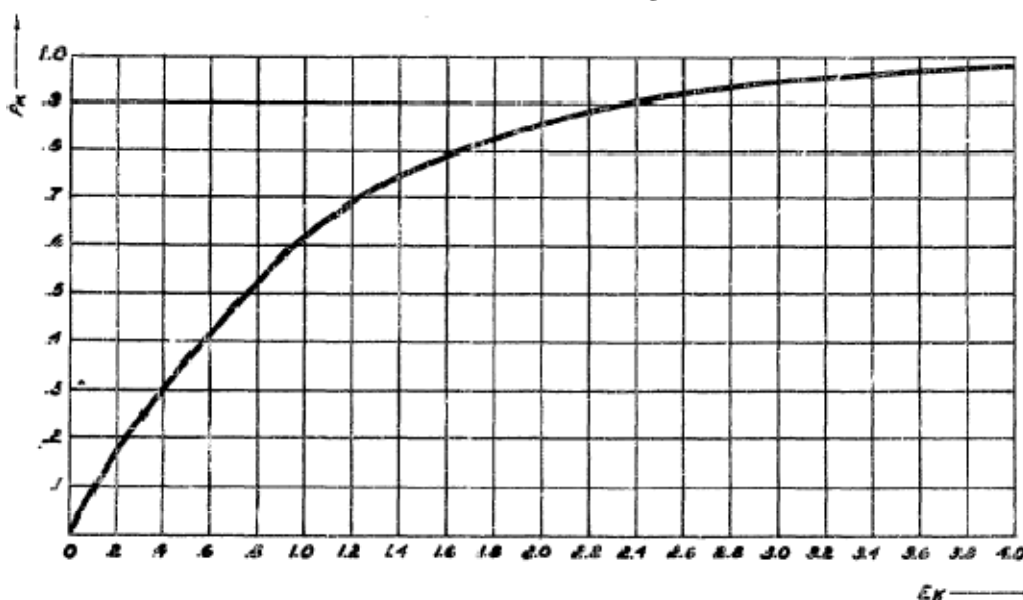
اگر ρ_{hk} معادل احتمال برخورد یک ترکش با هدف و از کارافتادن آن باشد و E_n عدد انتظار اصابت به هدف باشد، در آن زمان می-توان عبارت جدیدی را به صورت E_k تعریف نمود، که آن معادل عدد انتظار اصابت ترکش به هدف و از کارافتادن آن می-باشد. برای این عبارت می-توان فرمول زیر را ارائه داد:

$$E_k = E_n \rho_{hk} \quad (28)$$

شانس آنکه بتوان یک هدف را از کار انداخت، با عبارت P_k تعریف می-نماییم، که می-توان آن را با استفاده از فرمول زیر محاسبه نمود:

$$P_k = 1 - e^{-E_k} \quad (29)$$

در شکل ۸- نمودار مربوط به فرمول ۲۹ نشان داده می-شود.



شکل ۸- شانس آنکه بتوان یک هدف را از کار انداخت در برابر عدد انتظار اصابت ترکش به هدف و از کارافتادن آن.

در این قسمت عبارت دیگری به صورت N_k تعریف می-گردد، که معادل تعداد اهداف نابود شده در انفجار یک موشک می-باشد؛ که می-توان آن را به کمک فرمول زیر محاسبه نمود.

$$N_k = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \sigma P_k dx dy \quad (30)$$

که در معادله فوق σ معادل تعداد اهداف در واحد سطح می-باشد. σ یک مقدار ثابت می-باشد، به همین دلیل می-توان فرمول ۳۰ را به صورت زیر نوشت:

$$N_k = \sigma \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P_k dx dy \quad (31)$$

^۱ - Lethal area

در معادله فوق با توجه به عبارت‌های موجود و تعاریف آن‌ها می‌توان منطقه کشندگی را به صورت زیر تعریف نمود

$$A_l = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P_k \, dx \, dy \quad (32)$$

اگر توزیع ترکش به صورت دایره‌ای متقارن باشد و منطقه کشندگی در دستگاه مختصات قطبی (η, β) تعریف گردد، معادله آن به صورت زیر می‌شود:

$$A_l = 2\pi \int_0^{\infty} P_k \, \eta \, d\eta \quad (33)$$

در کاربردهای واقعی، محدوده انتگرال‌گیری را نمی‌توان تا مقدار بی‌نهایت گسترش داد و مقدار آن تابع محدودیت‌های محیط پیرامون می‌باشد؛ بعلاوه در این شرایط شانس آنکه بتوان یک هدف را از کار انداخت، از یک مقدار محدود مثل η به سمت صفر منحرف می‌شود.