

مدل سازی و تولید جداول تیر توپخانه (مطالعه موردی)

وحید خیراللهی سیلاب^۱

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۳/۱۱

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱/۱۲

چکیده

دقت و درستی شلیک گلوله، مسئله‌ای مهم در توپخانه جهت افزایش احتمال کشتار با حداقل تعداد گلوله‌ها در هر هدف است. این غایت، از طریق ایجاد یک جدول تیراندازی با در نظر گرفتن هر دو شرایط استاندارد و غیراستاندارد قابل تحقق است؛ بنابراین، گلوله‌های بسیار زیادی برای اهداف متفاوت دربردهای مختلف و نیز شرایط هواسنجی جهت افزایش دقت شلیک مورد نیاز است. ایجاد یک جدول تیراندازی محاسباتی دقیق پیش از تیراندازی‌ها، از مزایای به حداقل رساندن هزینه و ایجاد پیش‌بینی اولیه پراکندگی است. در این مطالعه، یک الگوریتم جدول تیراندازی محاسباتی بر مبنای مدل خط سیر پرتابه جرم نقطه‌ای اصلاح شده، برای حل مشکل بالستیک و یک فلوچارت جهت نمایش سطوح تولید جدول تیراندازی و فرآیندهای متناظر پیشنهاد شده است. یک مطالعه موردی برای گلوله ۱۵۵ م م - ۱۰۷ سوختارشدید استفاده گردیده و به منظور اعتبار سنجی الگوریتم پیشنهادی، مقایسه‌ای با نتایج به دست آمده از بسته تجاری معروف سیستم نمایش تصویر^۲ انجام شده است. نهایتاً، بر مبنای داده‌های شلیک واقعی، از جمله شرایط هواسنجی متناظر، یک جدول تیراندازی موقت ایجاد شده است.

واژگان کلیدی

جدول تیر، خط سیر، بالستیک، هواسنجی، شرایط استاندارد و غیراستاندارد

^۱ کارشناس ارشد آموزش زبان انگلیسی.

* نویسنده مسئول: vkheirolahy@gmail.com

^۲ PRODAS (projection display system) سیستم نمایش تصویر

مقدمه

جداول تیراندازی، دستاویز اصلی ضروری برای آموزش جنگ نظامی و تشخیص‌های تیراندازی هستند. تیراندازی مؤثر را نمی‌توان بدون جدول تیراندازی انجام داد. جدول تیراندازی، عناصر و داده‌های اصلی، عناصر و داده‌های تصحیح انحراف شلیک و داده‌های مرتبط موردنیاز برای فرمان شلیک و به دست آوردن دقت توپخانه‌ای مؤثر را حاصل می‌کند. به لحاظ تاریخی، جداول تیراندازی پیوسته طی چندین دهه ایجاد شده است. روش سیاجی^۱ به علت سادگی برای محاسبه مشکلات خط سیر (مسیر پرواز) استفاده شد. در سال ۱۹۱۷م. روش‌های قوس کوتاه فرانسوی^۲ توسط سندی هووک و آبردین به‌منظور محاسبه مسیرهای پروازی و روش‌های ادغام عددی توسط آبردین طی سال ۱۹۱۸م. به‌منظور حل دقیق مشکلات خط سیر و نیز محاسبات جدول تیراندازی معرفی شد.

طی مراحل آماده‌سازی و تهیه جدول تیراندازی، باید مشخص شود که شرایط تیراندازی منتخبی وجود دارد که تحت عنوان شرایط تیراندازی استاندارد شناخته شده است. عوامل بسیاری وجود دارند که بر خط سیر پرواز تأثیر می‌گذارند، از جمله توپخانه، گلوله، عناصر هواسنجی و سایر عوامل. طی زمان تیراندازی واقعی، این عوامل متغیر هستند و از این‌رو مشخص نمودن شرایط تیراندازی واقعی برای هر شلیک غیرممکن است که نمی‌تواند نیازهای عملیاتی جدول تیراندازی را برآورده نماید؛ بنابراین شرایط استاندارد و واقعی تیراندازی دائمی و ثابت نیستند. شرایط استاندارد در تیراندازی، با شامل شدن شرایط استاندارد هواسنجی، بالستیک و زمینی (آب و هوایی) مشخص شده و بدین طریق تأثیرات این انحرافات و اختلافات اصلاح می‌شوند. به‌منظور ساخت دقیق جداول تیراندازی، بیش از دویست هزار شبیه‌سازی خط سیر پرواز تنها از طریق فاز نهایی موردنیاز است (دیکسون، ۱۹۶۷)^۳. در مورد گلوله‌های برد متوسط، میانگین زمان پرواز تقریباً ۵۰ ثانیه بوده و از این‌رو زمان پردازش تقریباً دوازده برای کامپیوتر عادی موردنیاز است. در سال ۱۹۴۳م. ارتش آمریکا یک دستگاه الکترونیکی به نام کامپیوتر و انتگراتور (ترکیب‌کننده) عددی الکترونیکی^۴ را ایجاد نمود که قادر به محاسبه جداول تیراندازی توپخانه‌ای تا هزار برابر

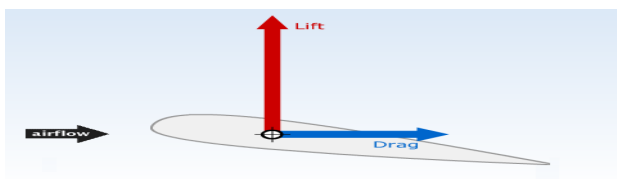
^۱ Siacci: ریاضیدان ایتالیایی

^۲ French Short Arc

^۳ Dickinson, E. R. (1967).

^۴ ENIAC: Electronic Numerical Integrator and Computer

سریع‌تر از هر کامپیوتری که قبلاً شناخته شده بود (جان ویلیام ماکلی، ۱۹۸۰)^۱. محققان مختلف (دیکنسون، ۱۹۶۷؛ گورن و جانکوسا ۱۹۵۴؛ شین جان ۱۹۹۷؛ یینگ بین ۱۹۹۵؛ آژانس ان _اس ۲۰۰۹) فرآیندی را برای پردازش عناصر و داده‌های اندازه‌گیری شده موجود از تیراندازی‌های واقعی به منظور تولید یک جدول موقت و نیز جدول تیراندازی نهایی پیشنهاد نمودند. عوامل برا (لیفت) و پسا (درگ)^۶ را می‌توان از طریق محاسبه پارامترهای بالستیک محاسبه شده با پارامترهای اندازه‌گیری شده از طریق فرآیند مناسب‌سازی، کاهش داد (شکل ۱). یک شرح ریاضی‌وار از جدول تیراندازی گرافیکی نشان داده شده است (رید، ۱۹۵۲) و (متس و مککوی، ۱۹۷۰)^۸ که در آن، پارامترهای تیراندازی مانند سمت و درجه تیراندازی بر مبنای شرایط استاندارد و غیراستاندارد به دست می‌آیند. ایجاد یک نرم‌افزار جدول تیراندازی را می‌توان در پیکربندی‌های مختلف بر مبنای پیچیدگی مدل نشان داد که این فرآیند، از مدل جرم نقطه‌ای (جان ویلیام ماکلی، ۱۹۸۰) و (دیکنسون، ۱۹۶۷)



شکل ۱- عوامل برا (lift) و پسا (drag)

¹ Mauchly, J. W. (1980).

² Gorn, S. and Juncosa, N. (1954).

³ Xinjun, C. (1997).

⁴ Yingbin, W. (1995).

⁵ AGENCY, N. S. (1970).

^۶ عوامل برا (lift) و پسا (drag): حرکت یک جسم صلب داخل سیال منجر به وارد شدن نیرو به جسم و سیال شده و این نیرو به دینامیک برا و پسا تجزیه می‌شود. نیروی پسا مؤلفه هم‌جهت با سرعت سیال نسبت به جسم بوده و نیروی برا عمود بر این راستا است و می‌توان این نیروها را با قانون برنولی توصیف کرد ((هر جا سرعت سیال زیادتر باشد فشار آنجا کمتر است))

⁷ Reed Jr, H. L. (1952).

⁸ Matts, A^۸ and D. H. McCoy (1970)

تا مدل شش درجه آزادی (چاسلیپ و چاروبون و ریدلان ۲۰۱۱)^۱، چه گلوله از سکوی تیراندازی زمینی دیکنسون، ۱۹۶۷، پنگ ژین، ۲۰۱۴^۲ یا هوایی پرتاب شده (بروکس، ۱۹۸۵)^۳ و با در نظر گرفتن ماهیت عناصر هواسنجی (دیکنسون، ۱۹۶۷) آغاز می‌شود.

با این وجود، با مدرنیته شدن جنگ، استفاده مستقیم از جداول تیراندازی به تدریج کاهش پیدا می‌کند. در عوض، سیستم کنترل آتش به منظور حل دقیق و سریع خودکار مجموعه‌ای از شرایط تیراندازی جهت به دست آوردن تصحیح انحراف مورد نیاز استفاده می‌شود؛ بنابراین، یک مدل خط سیر دقیق و سریع را می‌توان به جای مدل شش درجه آزادی معروف ایجاد نمود. (بروکس، ۱۹۸۵).

در این مطالعه، یک فرآیند برای توسعه و ایجاد جدول تیراندازی از گلوله سوختارشدید در حال چرخش، شرح و نشان داده شده است.

مبانی نظری

این مقاله تحقیقی به صورت زیر سازمان‌دهی شده است:

۱- بخش دوم فرآیند تدوین برای جدول تیراندازی توپخانه زمینی از جمله مدل خط سیر، شرایط تیراندازی استاندارد و تعریفی برای هر ستون در سرتاسر جداول اصلی و اصلاحی را شرح می‌دهد.

۲- مطالعه موردی اجرا شده، ارائه شده و نهایتاً، نتایج و بحث در بخش سوم شرح داده شده است.

۳- نتیجه‌گیری در بخش چهارم بیان شده است.

روش‌شناسی

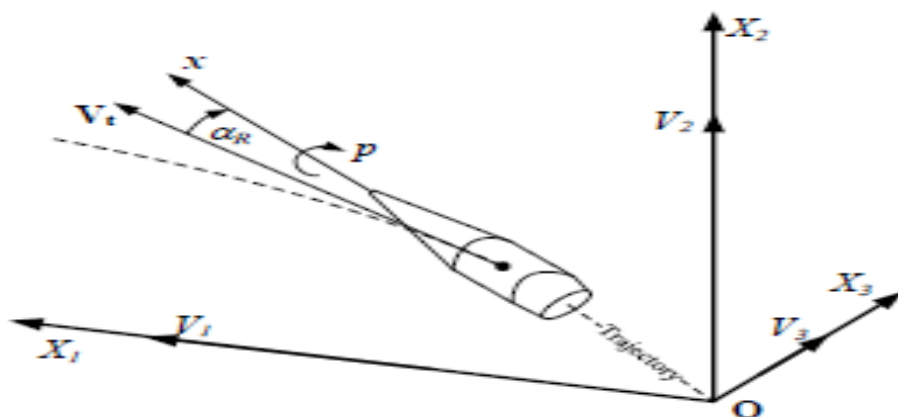
دقت و درستی جدول تیراندازی ابتدا بر مبنای پیچیدگی مدل مسیر پرواز (خط سیر) استفاده شده و تعداد گلوله‌هایی که باید شلیک شوند است. ساخت جدول تیراندازی را می‌توان به سه فاز اصلی ساخت جدول تیراندازی اولیه با استفاده از یک مدل پرواز مناسب و داده‌های پرتابه موجود

¹ Chusilp, P. Charubhun, W. & Ridluan, A. (2011).

² Pengxin, Z. H. W. Z. D. F. M. Q. W. (2014).

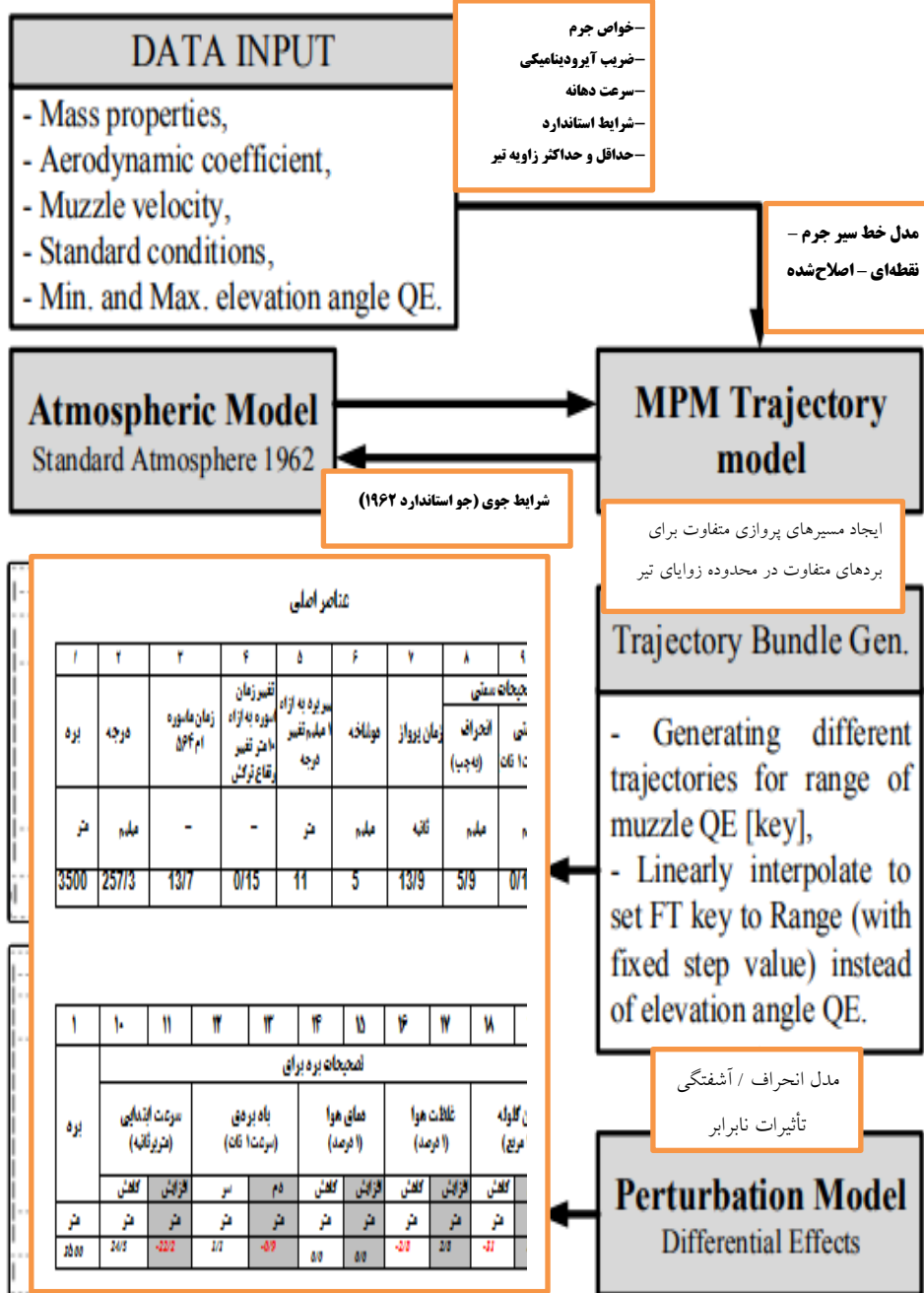
³ Breaux, H. J. (1985).

از طریق فاز تحقیق و توسعه ۱ تقسیم نمود. پس از دستیابی به نیازها و الزامات فنی و عملیاتی از سیستم توپخانه توسعه یافته، یک تعداد آزمایش میدانی به منظور ساخت جدول تیراندازی موقت انجام می‌شوند که به تخمین هرچه بهتر اصابت گلوله طی تولید جدول تیراندازی نهایی کمک می‌کند که نیازمند تعداد بیشتری از شلیک‌ها از طریق زوایای درجه مختلف است.



شکل ۱. سیستم مختصات گلوله و جهت‌های بالستیک

¹ R@D (research and development)



شکل ۲. فلوچارت برای فرآیند توسعه و ایجاد جدول تیراندازی محاسباتی

مدل خط سیر پرواز

به علت پیچیدگی مدل خط سیر^۱ 6-DOF جسم سخت، یک مدل جرم نقطه‌ای اصلاح شده (DOF) با ارجاع به هر مختصات تثبیت شده زمینی (X_1, X_2, X_3) همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، استفاده شده است. حرکت جرم نقطه‌ای گلوله به منظور گنجاندن تأثیر Magnus (ماگنس) گلوله، چرخش محوری و برآوردی برای حرکت انحرافی از حالت سکون اصلاح شد که در آن، حرکت پیرا چرخه‌ای نادیده گرفته شد. مرکز معادلات ثقل حرکت گلوله بر مبنای مدل جرم نقطه‌ای اصلاحی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} X &= V \\ &= [v_1 v_2 v_3]^T \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} V &= -\rho v a_1 C_D V_t + \rho a_1 C_L^a v^2 a_R + \rho a_2 C_N^{pa} p [V_t \times a_R] \\ &\quad + g \end{aligned} \quad (2)$$

که در این معادلات، $a_1 = (S_{ref}/2m)$ ؛ $a_2 = (S_{ref}/2m)$ بوده و V عبارت است از بردار شتاب پرتابه در مختصات تثبیت شده زمین، $V_t = (V - W)$ عبارت است از بردار شتاب کل پرتابه با توجه به سرعت هوا W ، v عبارت است از سرعت ایرودینامیک کل گلوله، ρ عبارت است از تراکم و چگالی هوا؛ d و S_{ref} به ترتیب عبارتند از جرم گلوله، قطر مرجع و مساحت مرجع و ضرایب C_D ، C_L^a و C_N^{pa} به ترتیب عبارتند از ضرایب اصطکاک ایرودینامیک، بالابری و نیروی (ماگنس)^۲ برای گلوله‌های چرخشی متقارن، سرعت چرخش گلوله را می‌توان با استفاده از معادله زیر به دست آورد:

$$\begin{aligned} p &= \frac{\rho S_{ref} d^2 v}{2 I_x} p C_l^p \end{aligned} \quad (3)$$

^۱ 6-DOF: 6 degree of freedom (مدل شش درجه آزادی)

^۲ Magnus

که در آن، I_x عبارت است از گشتاورهای محوری اینرسی پرتابه، C_l^p عبارت است از ضرایب گشتاور میرایی چرخش ایرودینامیک و سرعت چرخش اولیه پرتابه را می توان توسط معادله زیر محاسبه نمود:

$$P_o = \frac{2\pi \cdot V_o}{\eta \cdot d} \quad (4)$$

که در آن، η عبارت است از سرعت پیچش خان درون لوله در سر لوله جنگ افزار و V_o عبارت است از شتاب سر لوله جنگ افزار.

زاویه واکنش پرتابه، a_R ، به صورت معادله زیر تعریف می شود:

$$a_R = \frac{2I_{xp}}{\rho S_{ref} dv^4 C_m^a} [V \times V_t] \quad (5)$$

و شتاب جاذبه ای، g ، توسط معادله زیر به دست می آید:

$$g = -g \cdot \left[o \left(\frac{R_e}{R_e + X_2} \right)^2 o \right]^T \quad (6)$$

که در این معادله، $g = 9.80665$ بوده و R_e عبارت است از میانگین شعاع زمین (6370 = km).

شرایط تیراندازی استاندارد

طی آماده سازی جدول تیراندازی، باید مشخص شود که یک شرایط تیراندازی مشهود و شاخص وجود دارد، از جمله:

- شرایط هواسنجی استاندارد: به منظور تعیین شرایط جوی در ارتفاع صفر (سطح دریا) دمای

هوا $T_o = 15^\circ C$ ، فشار $p_o = 760 mmHG$ و چگالش $\rho_o = 1.225 kg/m^3$

شرایط جوی استاندارد به عنوان تابعی از ارتفاع بر مبنای جو استاندارد امریکا سال ۱۹۶۲ هستند. در کتاب بالستیک خارجی مدرن (مککوی ۱۹۶۹)^۱ نتیجه گیری شده است که استفاده از جو استاندارد، قابل قبول است اما گاهی یک مدل واقع گرایانه تر که تعریف کننده ناحیه

^۱ McCoy, D. H. (1969)

خاصی از کره زمین است، موردنیاز است، به‌ویژه آن دسته از نواحی که از ارتفاعات بسیار کم/زیاد در مقایسه با سطح دریا برخوردارند. نهایتاً، سرعت باد طی کل خط سیر، برابر با صفر فرض می‌شود.

• **شرایط بالستیک استاندارد:** شامل مقدار وزن استاندارد گلوله در جدول تیر است. گرچه به علت خطاهای تولید، وزن گلوله‌ها یکسان نیستند، اما مقادیرشان از یک توزیع نرمال با یک مقدار متوسط تحت عنوان مقدار وزن استاندارد تبعیت می‌کنند. وزن گلوله‌های بیشتر/کمتر از مقدار استاندارد، به مربعات با علامت $+/-$ تقسیم می‌شوند که در آن، عناصر تیراندازی مطابق با تعداد علامت‌ها روی گلوله، اصلاح می‌شوند. دمای استاندارد خرج پرتاب، برابر با 15+ درجه سانتی‌گراد تنظیم می‌شود. برای وزن استاندارد گلوله و دمای استاندارد خرج پرتاب، سرعت ابتدائی گلوله (هنگام خروج از دهانه لوله) با تعداد شلیک‌های توپ، یعنی برای یک جنگ‌افزار معین، در زمانی تغییر خواهد نمود که تعداد شلیک افزایش پیدا می‌کند و سرعت ابتدائی گلوله (هنگام خروج از دهانه لوله) به آرامی تغییر خواهد یافت (وارد، ۱۹۷۹)^۱ بنابراین، سرعت ابتدائی گلوله (هنگام خروج از دهانه لوله) باید از یک جنگ‌افزار استاندارد اندازه‌گیری شود.

• **شرایط زمین استاندارد:** در سیستم مختصات (غیر چرخشی) اینرسی زمین، شتاب کوریولیس  و شتاب گریز از مرکز برابر با صفر می‌باشند که در معادله شماره ۲ نیز نشان داده شده‌اند.

مدل جدول تیراندازی (اولیه) کامپیوتری توپخانه‌ای

جدول تیراندازی اولیه، متشکل از ستون‌های مختلف است که در این بخش، در مورد مشخصه‌های هر ستون، تعریف و معادلاتی که ما را قادر به برخورداری از این ستون می‌کنند، صحبت خواهیم نمود. این جداول تیراندازی اولیه متشکل از داده‌های اصلی و داده‌های اصلاحی

^۱ Ward, J. R. (1979).

هستند.

جدول ۱ تعریف ستون‌های "داده‌های اصلی" جدول تیراندازی

شماره	واحد	تعریف
۱	m (متر)	برد، برد زمینی برآیند (سطح دریا) به صورت $R_{std} = \sqrt{X_1^2} + X_3^2$
۲	Mils (میلیم)	زاویه درجه (درجه)، زاویه درجه جنگ‌افزار متناظر با برد زمینی موردنیاز است.
۳	s (ثانیه)	تنظیمات ماسوره FS: زمان ماسوره برای انفجار ترکش نزدیک به زمین، زمانی که باید جهت برخورداری از انفجار پیش از اصابت زمینی تنظیم شود، درست همانند حالت موجود در ترکش هوایی
۴	s (ثانیه)	تغییر در زمان تنظیمات ماسوره ΔFS : تغییر زمان ماسوره به ازای کاهش 10m در ارتفاع ترکش
۵	m (متر)	تغییر دربرد گلوله به ازای تغییر 1 mils در زاویه درجه، ΔR_{1mils}
۶	mils (میلیم)	دوشاخه، تغییر در زاویه درجه موردنیاز جهت تولید یک تغییر دربرد زمینی معادل با 4σ اشتباه احتمالی دربرد،
۷	s (ثانیه)	زمان پرواز، TOF ^۱
۸	Mils (میلیم)	تصحیح سمتی به علت انحراف سمتی: تغییر در زاویه مقاطع موردنیاز برای رفع تأثیر انحراف حاصل از چرخش گلوله (انحراف باید به چپ تصحیح گردد در موردی که گردش خان از چپ به راست باشد).
۹	Mils (میلیم)	تصحیح سمتی به علت باد سمتی: تغییر در زاویه سمتی موردنیاز جهت جبران برای 1 knot باد سمتی از راست یا از چپ که در آن تصحیح زاویه سمتی مخالف با جهت باد است.

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، برای پارامترهای طراحی مطالعه موردی مشخص و شرایط پرواز صوری (ازجمله جو استاندارد)، تعداد پارامترهای خطوط سیر پرواز را می‌توان

^۱ TOF: time of flight زمان پرواز

برای بازه معینی از حداقل و حداکثر زاویه تیر QE (بانام تولید مجموعه خط سیر) با مقدار گام ΔQE تو د نمود. ایجاد و تنظیم مقدار کلیدی جدول تیراندازی که برد چرخش حاصله به جای زاویه تیر (QE^1) باشد؛ بنابراین، یک درونیابی خطی به منظور به دست آوردن مقادیر برد شبه مکان گذاری شده و سایر پارامترهای پرواز همچون جدول داده‌های اصلی استفاده خواهد شد. نهایتاً، بر مبنای مدل آشفستگی، پارامترهای اصلاحی موردنیاز برای جبران اصابت در شرایط تیراندازی غیراستاندارد کاهش پیدا می‌کند که در قسمت داده‌های اصلاحی شرح داده شده است.

- **داده‌های اصلی:** شامل ۹ ستون است که در جدول ۱ شرح داده شده است. تمامی پارامترهای خط سیر در شرایط استاندارد محاسبه می‌شوند.

- **داده‌های اصلاحی، عوامل و فاکتورهای اصلاحی** را معرفی می‌کند که برای گزارش شرایط تیراندازی غیراستاندارد به عنوان یک واحد افزایش یا کاهش برای برخی پارامترهای پرواز از طریق ستون‌های ۱۰ تا ۱۹ به شرح زیر، موردنیاز هستند.

- ستون‌های ۱۰ و ۱۱ نشان‌دهنده تصحیح برد $\Delta R_{\Delta V_0}$ برحسب [m] که در نتیجه افزایش یا کاهش سرعت ابتدایی گلوله به صورت $V_0 = \pm 1m/s$ که برد جدید را منتج می‌کند،

$R_c = \sqrt{X_{1c}^2 + X_{3c}^2}$ و این برد R_c به منظور جبران مغایرت در سرعت ابتدایی با مقدار شرایط استاندارد محاسبه گردیده و برد تصحیحی عبارت خواهد بود:

- ستون‌های ۱۲ و ۱۳ نشان‌دهنده اصلاح برد $\Delta R_{\Delta W_0}$ حسب [m] در نتیجه باد برد سر یا دم به صورت گره $\pm [1 \ 0 \ 0]$ است که R_c را حاصل می‌کند.

- ستون‌های ۱۴ و ۱۵ نشان‌دهنده تصحیح برد $\Delta R_{\Delta T_0}$ برحسب [m] در نتیجه کاهش/افزایش هوا (در سطح دریا) به صورت $\Delta T_0 = \pm (0.01T_0)$ اس که بر سرعت صوتی تأثیر گذاشته و R_c را حاصل می‌کنند.

¹ QE(quadrant elevation)

- ستون‌های ۱۶ و ۱۷ نشان‌دهنده اصلاح برد $\Delta R_{\Delta \rho_0}$ حسب [m] در نتیجه افزایش/کاهش چگالی هوای (در سطح دریا) به صورت $\Delta \rho_0 = \pm(0.01\rho_0)$ هستند که بر فشار هوا تأثیر گذاشته و برد جدید R_c را حاصل می‌کنند.
- ستون‌های ۱۸ و ۱۹ به عنوان وزن گلوله بیشتر و یا کمتر از مقدار استاندارد آن به صورت Δm که R_c را حاصل می‌کند و در آن، یک مربع نشان‌دهنده $m_0 = \frac{0.02}{2}m_0$ است.

مدل جدول تیراندازی موقت

از طریق فاز دوم فرآیند تولید جدول تیراندازی، تیراندازی‌های واقعی به منظور بهبود دقت و درستی جدول تیراندازی محاسباتی به عنوان یک جدول تیراندازی موقت استفاده خواهند شد؛ بنابراین، داده‌ها برای سه زاویه درجه متناظر با حداقل، متوسط و حداکثر برد زمینی جمع‌آوری می‌شوند که می‌توانند از طریق فاز تحقیق و توسعه اجرا شوند. این داده‌ها عبارتند از داده‌های گلوله، برد، انحراف، حداکثر زمان پرواز/ارتفاع و داده‌های هواسنجی متناظر. این نوع از داده‌ها برای ایجاد این مرحله و مرحله بعدی از طریق ساخت جدول تیراندازی الزامی هستند. از این رو، جدول تیراندازی موقت، برآورد خوبی برای رابطه بین برد-زاویه درجه جنگ‌افزار جهت انجام تست‌های تیراندازی طی فاز تولید جدول تیراندازی نهایی است. داده‌های هواسنجی باید پیش از شلیک‌ها، اندازه‌گیری شده و هر ساعت به روزرسانی شوند. در پایان آزمایش‌ها، مشاهدات هواسنجی نهایی باید به دست آیند (دیکنسون، ۱۹۶۷). در این مقاله، یک برنامه کامپیوتری به منظور ارزیابی رابطه بین برد و درجه با دو شرایط استاندارد و غیراستاندارد ایجاد شده است. به منظور مناسب‌سازی شلیک شبیه‌سازی شده و واقعی تحت داده‌های هواسنجی مشابه، سه عامل

اصلی باید مکرراً برآورد شوند که عبارتند از ضریب بالستیک،^۱ BC، عامل بالابری،^۲ FT و عامل مناسب‌سازی نیروی^۳ QM، Magnus که در آژانس (ان_اس، ۲۰۰۹) تعریف شده است.

تجزیه و تحلیل

• مطالعه موردی و اعتبار‌سنجی مدل

طی این مطالعه، یک مطالعه موردی انتخاب شد که عبارت است از گلوله ۱۵۵ م م - ام ۱۰۷ سوختارشدید؛ ویژگی‌های جرم متناظر و ضرایب ایرودینامیک که با استفاده از بسته تجاری سیستم نمایش تصویری^۴ محاسبه می‌شوند، در (M. Khalil, K. Osama, and H. Abdalla, 2009) لیست شده‌اند. به منظور اعتبار‌سنجی مدل پیشنهادی، یک مقایسه بین جدول تیراندازی تولیدشده با استفاده از مدل پیشنهادی و مدل تولیدشده توسط سیستم نمایش تصویری اجرا شده است. تمامی نتایج P_{est} بر مبنای انحراف از پارامترهای جدول تیراندازی ۱۵۵ م م - ام ۱۰۷ منتشر شده P_{FT} به صورت زیر هستند.

$$\Delta P = P_{FT} - P_{est} \quad (8)$$

همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، زوایای درجه برآورده شده با استفاده از مدل پیشنهادی از لحاظ عملکرد برتر از نتایج سیستم نمایش تصویری می‌باشند. در مورد خطای زمان پرواز این ΔTOF به میزان بسیار بیشتری بین دو منحنی به منظور برخورداری از حداکثر خطا در حداکثر برد به صورت ۲ ثانیه کمتر از مقدار جدول‌بندی شده ذکر شده است (شکل ۵). شکل ۶، خطای انحراف برآورده شده در نتیجه چرخش گلوله را نشان می‌دهد که در آن، مدل پیشنهادی

^۱ Ballistic coefficient

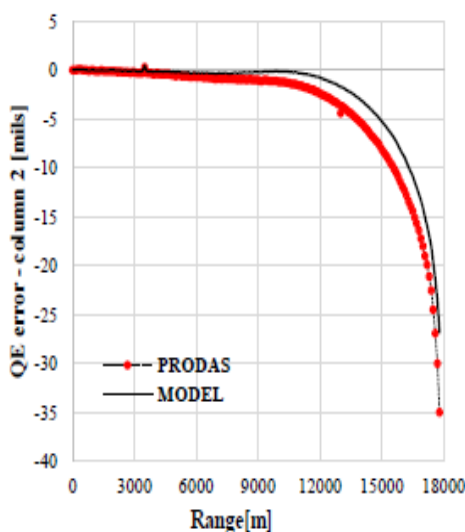
^۲ Lift factor

^۳ اثری هست که عموماً در یک توپ (استوانه) در حال چرخش دیده می‌شود که این توپ (استوانه) چرخان را از مسیر معمول خود به صورت حرکت منحنی وار منحرف می‌کند.

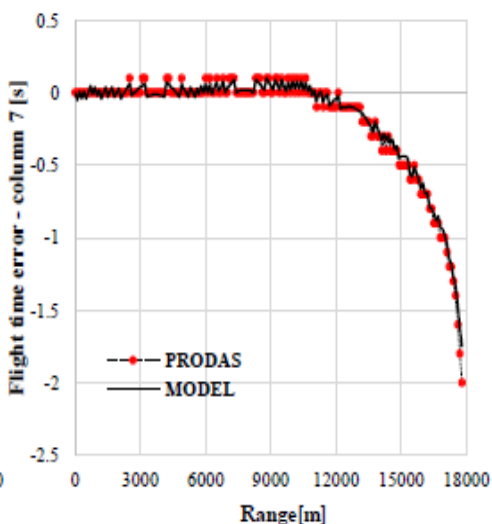
^۴ PRODAS (projection display system)

از دقت و درستی بهتری نسبت به سیستم نمایش تصویری با خطای بیشینه کمتر از 1 mils در سرتاسر داده‌های جدول‌بندی شده برخوردار است.

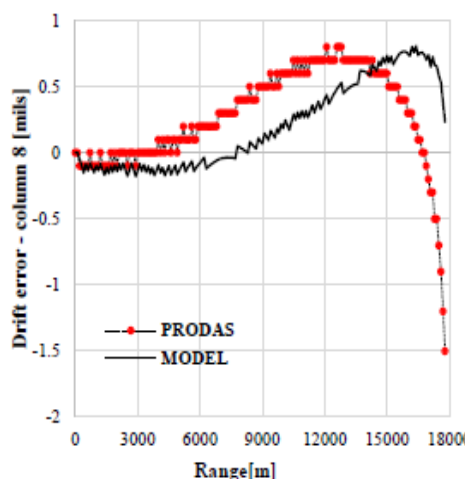
مجدداً، همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، هر دوی نتایج به‌دست‌آمده از سبک مشابه با داده‌های جدول‌بندی شده برخوردارند. خطای برد حاصله در نتیجه ۱ knot باد سر/دم، در اشکال ۸ و ۹ نشان داده شده است، اما در مورد تغییر در دمای هوا تا ۱ درصد، برد برآورد شده از موارد جدول‌بندی شده که در اشکال ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده، منحرف شد.



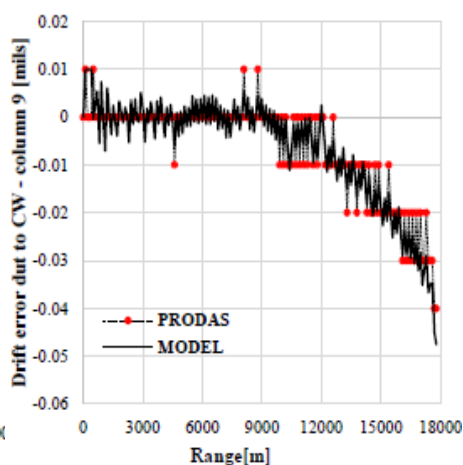
شکل ۴. خطای QE زاویه تیر



شکل ۵. خطای زمان پرواز



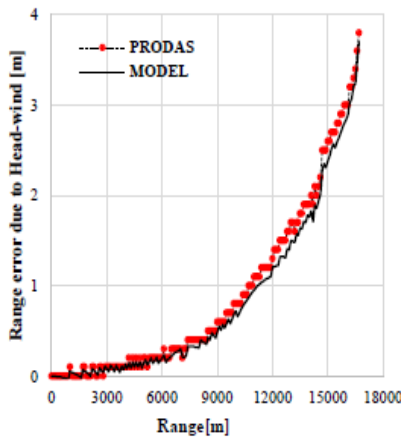
شکل ۶. خطای انحراف در نتیجه حرکت چرخشی



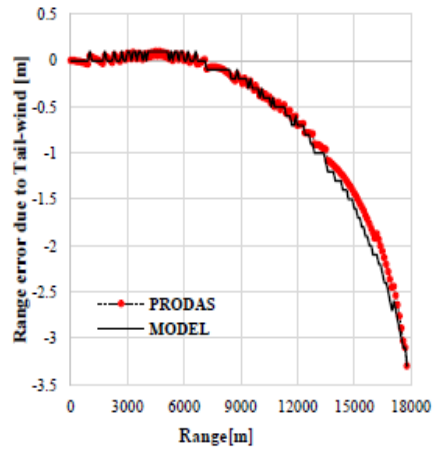
شکل ۷. خطای انحراف در نتیجه باد سمتی

● شرح مسئله

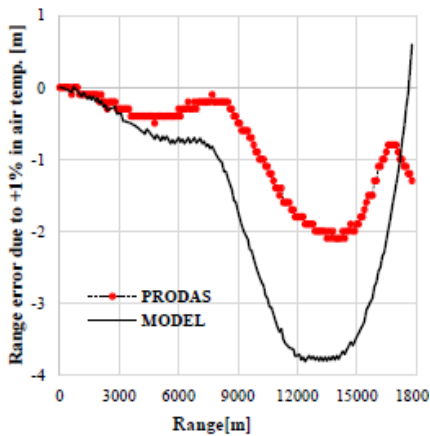
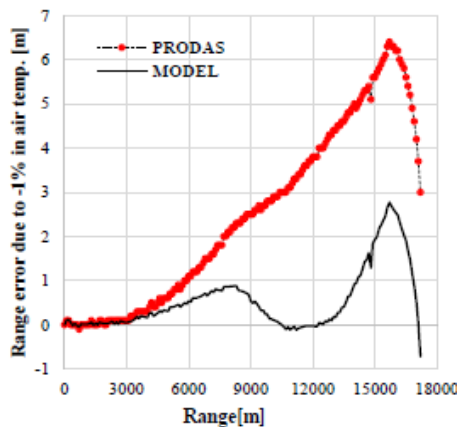
همان‌طور که در بخش مطالعه موردی و اعتبارسنجی مدل نشان داده شد، دقت و درستی جدول تیراندازی محاسباتی ایجادشده به‌اندازه کافی در مقایسه با جداول تیراندازی منتشرشده گلوله ۱۵۵ م م - ام ۱۰۷ سوختارشدید خوب است؛ بنابراین، به‌منظور برخورداری از یک مسئله مهندسی واقع‌گرایانه طی ایجاد جدول تیراندازی موقت، ضرایب ایرودینامیک مختلف (به‌عبارت‌دیگر، گلوله مبنا) به‌منظور شبیه‌سازی وضعیت ایجاد و توسعه گلوله‌های جدید استفاده‌شده‌اند. در این مطالعه، ما گلوله ۱۵۵ م م - ام ۱۰۷ را به‌عنوان مبنا انتخاب می‌کنیم که در آن، ضرایب ایرودینامیک متناظر آن، در کتاب بالستیک خارجی مدرن از (مککوی، ۱۹۹۹) لیست شده‌اند. مقایسه‌ای بین ضرایب ایرودینامیک برای هردوی پرتابه‌های ۱۰۵ و ۱۵۵ م م همان‌طور که در اشکال ۱۲ و ۱۴ نشان داده‌شده‌اند، انجام‌شده است. بر اساس ضریب نیروی ماگنس و شیب نیروی بالابری، تفاوت بزرگی مشاهده‌شده است. تنها دو گروه شلیک از آزمایش‌های گذشته به‌صورت $QE = 141.4$ و 743.2 mil جمع‌آوری‌شده‌اند. هر گروه متشکل از هفت گلوله است. میانگین جرم گلوله برای هر گروه جمع‌آوری‌شده است. داده‌های هواسنجی یک‌مرتبه قبل از تیراندازی سنجیده شده بودند، از جمله دمای هوا، فشار، رطوبت و چگالی و جهت و سرعت باد. سرعت ابتدایی گلوله برای هر پرتاب اندازه‌گیری شده بود و بدین طریق میانگین سرعت برای هر گروه به‌دست‌آمده بود. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده‌شده است، سایر داده‌های اندازه‌گیری شده از جمله برد در محدوده پایین و انحراف تشریح گردیده‌اند.



شکل ۸. خطای برد در نتیجه ۱ نات باد سر

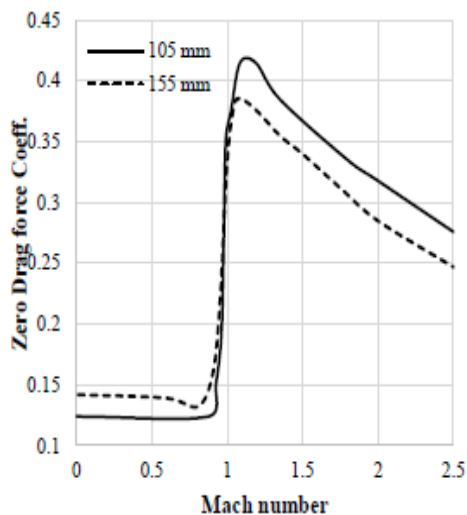


شکل ۹. خطای برد در نتیجه ۱ نات باد دم

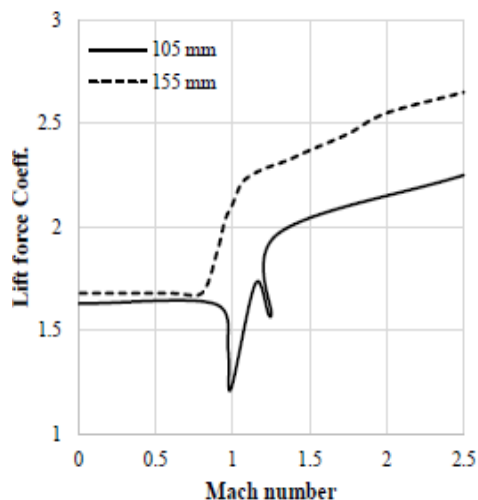
شکل ۱۰. خطای برد در نتیجه $\Delta T = +0.01T_0$ شکل ۱۱. خطای برد در نتیجه $\Delta T = -0.01T_0$

جدول ۲. داده‌های تیراندازی جمع‌آوری شده برای دو گروه

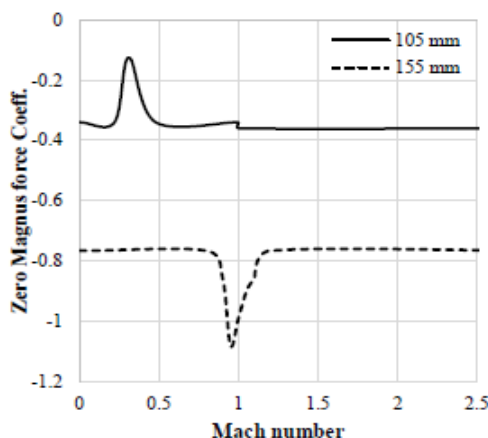
Group no	QE	$v_0[m/s]$	$m_{avg}[kg]$	$X_{0 avg}[m]$
1	141.4	690.3	7943.2	27.2
2	743.2	692.7	18075.5	11.9



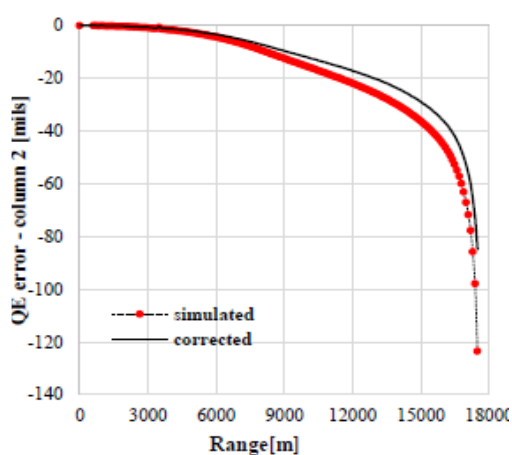
شکل ۱۲. ضریب نیروی اصطکاک صفر



شکل ۱۳. شیب ضریب نیروی بالابری



شکل ۱۴. ضریب نیروی Magnus



شکل ۱۵. خطای QE زاویه تیر اصلاح شده

یافته‌های تحقیق

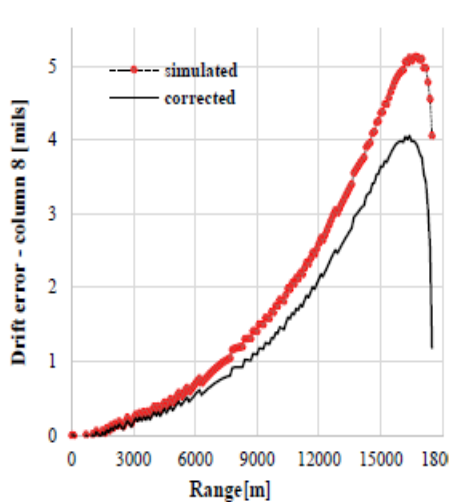
یک فرآیند تکراری به منظور مناسب‌سازی داده‌های اندازه‌گیری شده برای دو گروه شلیک درست همان‌طور که پیش‌تر نشان داده شد، اجرا شده است. تنها دو عامل را می‌توان برآورد نمود، زیرا هردوی زمان کل پرواز و نقطه اوج اندازه‌گیری نشده بودند؛ بنابراین، عامل مناسب‌سازی نیروی ماگنس نادیده گرفته می‌شود $Q_M = 1$. ضریب مناسب‌سازی برآورد شده دیگر بانام ضریب بالستیک و عامل بالابری در جدول ۳ لیست شده است. با گنجاندن این عوامل درون مدل

ارائه شده برای جدول تیراندازی محاسباتی که پیش تر نشان داده شده است، یک پیش طرح اولیه را برای جدول تیراندازی موقت با دقت و درستی بهبودیافته به دست خواهیم آورد که در اشکال ۱۵ و ۱۷ نشان داده شده اند. خطا هنوز هم قابل ذکر است، زیرا ما تنها از یک مشاهده و بررسی هواسنجی برخورداریم که تنها برای یک ساعت معتبر است.

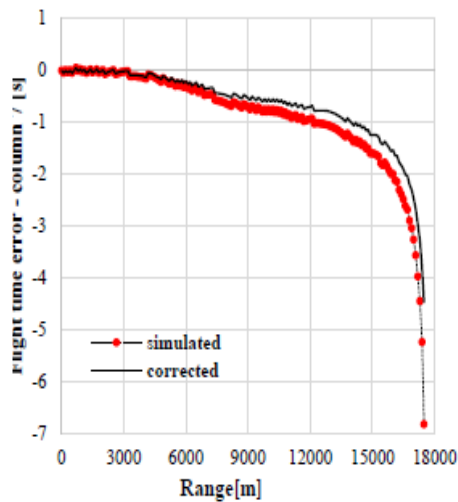
در اینجا، نتایج شامل خطا از جدول استاندارد پیش از مناسب سازی و پس از مناسب سازی در جدول زیر نشان داده می شوند:

جدول ۳. ضرایب مناسب سازی شده به دست آمده

Group no	QE	BC	fL
1	141.4	1.012186	0.955145
2	743.2	1.012186	0.964955



شکل ۱۶. خطای انحراف اصلاح شده



شکل ۱۷. خطای زمان پرواز اصلاح شده

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

به علت اینکه جدول تیراندازی توپخانه‌ای، ابزاری اولیه و ضروری برای پیشرفت و توسعه‌های دستگاه‌های توپخانه‌ای است، این مقاله، مسئله ساخت جدول تیراندازی را که از جدول تیراندازی محاسباتی آغاز می‌شود و نیز طریقه به دست آوردن جدول تیراندازی موقت را شرح می‌دهد. فلوچارتی برای جدول تیراندازی محاسباتی (اولیه) پیشنهاد شده است (شکل ۳) که شامل هردوی شرایط تیراندازی استاندارد و غیراستاندارد است. یک تقریب زنی زمین مسطح با نادیده گرفتن چرخش زمین و نیز شتاب کوریولیس استفاده شده است. به منظور اعتبار سنجی مدل پیشنهادی، یک مطالعه موردی برای گلوله ۱۵۵ م م - ام ۱۰۷ سوختارشدید استفاده می‌شود. نتایج به دست آمده با استفاده از مدل پیشنهادی (جدول تیراندازی محاسباتی) با بسته تجاری معروف سیستم نمایش تصویری و جدول تیراندازی گلوله ۱۵۵ م م - ام ۱۰۷ سوختارشدید منتشر شده مجاز مقایسه می‌شود. می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مدل پیشنهادی، از دقت درستی و نیز سیستم نمایش تصویری خوبی برخوردار است. نهایتاً، به منظور اثبات و نشان دادن اثربخشی، گنجاندن شلیک‌های واقعی طی تولید جدول تیراندازی موقتی، یک مدل ایرودینامیک متفاوت (۱۰۵ م م سوختارشدید) برای آزمایش تیراندازی گلوله ۱۵۵ م م - ام ۱۰۷ سوختارشدید اجرا شده است. از این رو، ضریب بالستیک و عامل بالابری به صورت مکرر برآورد شده‌اند. مشاهده شده است که دقت و دستی جدول تیراندازی موقتی از طریق اجرای آزمایش‌های تیراندازی موجود بهبود پیدا می‌کند. این مطالعه تنها شامل دو گروه شلیک برای دو برد زمینی با مشاهدات هواسنجی هست. هیچ اندازه‌گیری برای زمان پرواز کل مشاهده نشده بود. دقت و درستی جدول موقتی به دست آمده، هنوز هم نیازمند بهبودهای بیشتر با استفاده از داده‌های بیشتر برای زوایای تیراندازی از جمله زمان پرواز کل است.

قدردانی

از خبرگان توانمندی که در طول پژوهش، دانش خویش را سخاوتمندانه در اختیار محققان این پژوهش قرار دادند و استواری پژوهش حاضر بر مشارکت و دانش این بزرگواران قرار گرفته است بسیار سپاسگزاریم.

منابع

1. AGENCY. N. S. *The Modified Point Mass and five Degrees of Freedom Trajectory Models STANAG3*. (STANAG-43552009).
2. Atmosphere. U. S. C. o. E. t. t. S. Force. U. S. A., Bureau, U. S. W. Oceanic U. S. N. (1962). Administration, US Standard Atmosphere: *National Oceanic and Amospheric [sic] Administration*. National Aeronautics.
3. Breaux H. J. (1985). *A methodology for the development of fire control equations for guns and rockets fired from aircraft*. (ARMY BALLISTIC RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MD).
4. Chusilp P. Charubhun, W., and Ridluan. A. (2011). *"Developing firing table software for artillery projectile using iterative search and 6-DOF trajectory model"*. (in the Second TSME International Conference on Mechanical Engineering. Krabi, , pp. 19-21).
5. Dickinson E. R. (1967). *The production of firing tables for cannon artillery*. ARMY BALLISTIC RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MD.
6. Gorn S Juncosa N. (1954). *On the Computational Procedures for Firing and Bombing Tables*. ARMY BALLISTIC RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MD.
7. Khalil M Osama K. Abdalla H (2009). *Dispersion analysis for spinning artillery projectile in International Conference on Aerospace*. (Sciences and Aviation Technology pp. 1-12).

8. Mauchly J. W. (1980). "*The Eniac*," in *A History of Computing in the Twentieth Century*. (ed. Elsevier. 1980 pp. 541-50).
9. Matts A. McCoy D. H. (1970). *A graphical firing table model and a comparison of the accuracy of three utilization schemes*. (ARMY BALLISTIC RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MD).
10. McCoy R. Modern exterior ballistics. (1999). *The launch and flight dynamics of symmetric projectiles*. (Schiffer Pub.).
11. McCoy D. H. (1969). *Standard Conditions for Cannon Artillery Firing Tables*. (ARMY BALLISTIC RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MD).
12. Mohamed M. Mostafa K. Mahmoud Y. (2013). *Modelling and Production of artillery firing-tables*. (Aerospace Engineering Department, Military Technical College, Cairo, 11766, Egypt, Translate by Vahid Kheirollahi).
13. Pengxin Z. H. W. Z. D. F. M. Q. W. (2014). *Method for compiling ground gun armor ejection table whose ammunition cannot be modified*. (Journal of Armored Force Engineering Institute pp49-51).
14. Reed Jr H. L. (1952). "*Firing table computations on the ENIAC*". (in Proceedings of the 1952 ACM national meeting (Pittsburgh) pp. 103-6).
15. Sherif Y. Liou E. Chang T. and Yao S. (1985). *Modelling the firing tables of field artillery (cannon 105 mm howitzer) Microelectronics Reliability*. 2541-53.
16. Ward J. R. May I. W. (1979). *Muzzle Velocity Drop in Wear-Limited Army Guns*. (ARMY BALLISTIC RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MD).
17. Xinjun C. (1997). "*Research on coincidence method in the preparation of grenade table*". (Journal of Ballistics 9 72-5 1997).
18. Yingbin W. (1995). *THE APPLICATION OF BALLISTIC FILTERING THEORY IN THE PRODUCTION OF FIRING TABLES*. (Journal of Ballistics 5 6,).