مقارنة الاداء البالستي لقذيفة مخروطية الرأس واخرى مدببة الرأس بالاعتماد علي فرضية توسع الفجوة الاسطواني

الباحثون: م. حيدر جبار عبد[١] م. عدنان عبد الحسين عكلة[١] م.م عادل عبد نايف [٢] م.م صلاح مهدي سوادي [٢] حسنين لطيف جابر [١]

[١]- جامعة ذي-قار- كلية الهندسة. [٢]- الجامعة المستنصرية - كلية الهندسة.

المستخلص

تناول البحث مقارنة الاداء البالستي لنوعين من القذائف مخروطية الرأس ومدببة الرأس وتأثير شكل رأس القذيفة على الاداء البالستي حيث استخدمت مواد معدنية مطيلية لصناعة الاهداف (الالمنيوم)، قربت استجابة مادة الهدف باستخدام فرضية توسع الفجوة الاسطوانية واعتمدت هذه الفرضية لانها تلائم كلا النوعين من القذائف ، وقسمت المنطقة المحيطة بالفجوة الى منطقتين لدنة-مرنة عند تلامس القذيفة مع مادة الهدف وباستخدام معادلات حفظ الزخم والمادة وجدت استجابة مادة الهدف (سرعة جزيات المادة اثناء تكون الفجوة و الاجهادات) عند الصدمة ومنها تم ايجاد الاجهادات المتولدة عند راس القذيفة استخدمت هذه الاجهادات لحساب التناقص الحاصل بسرعة القذيفة وبالتالي تم تقدير سرعة القذيفة النهائية في حالة حصول اختراق كامل او العمق النهائي للقذيفة في حالة حصول احتواء للقذيفة في معدن الهدف.

اكدت نتائج البحث ان الية توسع الفجوة الاسطوانية ملائمة لكلا النوعين من القذائف وكذلك للمعادن المطيلية كما توصلنا ان القذائف المدببة الرأس اكفئ من القذائف المخروطية الرأس وذلك لان الشكل المدبب لرأس القذيفة يقوم بأزاحة جزيئات معدن الهدف بلاتجاه الشعاعي بتعجيل اقل من الرأس المخروطي وهذا يؤدي الى تقليل الاجهادات المتولدة عند رأس القذيفة وبالتالي يقلل من الطاقة الممتصة من القذيفة.

Key words:

Penetration, Ballistic Performance, Cavitations Theorem, Projectiles, Cylindrical Cavity Expansion

Comparison the Ballistic Performance of Ogival Nons and Conical Nose Projectile Depending on Cylindrical Cavity Expansion Theorem.

Abstract:

The paper aims to investigate and compare the ballistic performance of the ogival nose and the conical nose projectiles, and the affect the construction of the projectile's nose on the plastic penetration in Aluminum target. By using Cylindrical Cavity Expansion theorem which is suitable for ogival and conical nose. And by using conservation region to elastic and plastic region, during the touch of the projectile with the target and by using conservation equation, the target substance response was calculated (the particle velocities during cavity formation and

associated stresses) during the impact. Then the produced stresses at the projectile's nose were found. These stresses were used for calculating the decreasing in projectile velocity. Then the final projectile velocity was approximated in either the full penetration or final depth of the projectile in the target mechanism was suitable for both types of projectiles and also for ductile metals. Form of the nose projectile causes displacement the metal particles in radial direction more efficient than conical one, since the ogival form of the nose projectile causes displacement the metal particle in radial direction more than conical nose, and this leads to reduce the produced stresses in the projectile's nose. Then this leads to reduce the absorption energy by the projectile.

الرموز المستخدمة

a	**نصف قطر القذيفة**
C	**سرعة توسع المنطقة المرنة**
C_d	**سرعة توسع المنطقة اللدنة**
CRH	**عيار نصف قطر راس القذيفة**
F_n	**القوة العمودية على راس القذيفة**
F_t	**القوة المماسية لراس القذيفة**
F_z	**القوة المعيقة لتقدم القذيفة**
t	**سمك الهدف**
K	**معامل الجسم**
P	**الضغط الهايدروستاتيكي**
R^*	**نصف قطر القوس المولد للراس المدبب**
S	**الاجهاد النسبي**
T	**اجهاد الخضوع النسبي للمعدن**
U	**السرعة النسبية لجزيئات المعدن**
V	**سرعة توسع الفجوة**
V_o , V_{in}	**سرعة الصدمة**
V_z	**سرعة القذيفة داخل الهدف**
Y	**اجهاد الخضوع**
ε	**سرعة توسع الفجوة النسبي**

ζ **نصف قطر المنطقة اللدنة النسبي**

η **الانفعال الحجمي**

σ_r **الاجهاد الشعاعي**

σ_θ **الاجهاد الحلقي**

v **سرعة جزيئات المعدن في المنطقة اللدنة**

١- المقدمة

استقطب موضوع التغلغل والاختراق اهتماماً كبيراً ولسنوات عديدة وخصوصاُ أثناء الحرب العالمية الثانية، وبعدها ازدادت الدراسات المقدمة في هذا المجال ولكلا التطبيقات المدنية والعسكرية.ففي المجال العسكري يمثل هذا الموضوع أهمية بالغة في تصميم القذائف التي تخترق الأهداف المختلفة والوصول إلى أحسن نموذج هندسي من خلال معرفة العوامل المؤثرة على النموذج ، أو العكس لتصميم دروع تقاوم القذائف المختلفة وما تمتاز به هذه الدورع من خفة الوزن والكفاءة العالية لمقاومة التغلغل والاختراق لحماية الدبابات ،الطائرات ،المشاة وحتى رجال الشرطة والشخصيات السياسة والاقتصادية الهامة.

يمكن أن يعرف التغلغل (Penetration) بالمفهوم العلمي بأنه التداخل بين المقذوفة والهدف بدون حصول عملية اختراق كامل له وتحصل هذه الحالة عند السرعة البالستية ويكون الثقب الناتج نافذ كلياً ولكن المقذوفة تبقى داخل الهدف، أما في حالة خروج المقذوفة من الهدف فأن العملية تصبح اختراق للهدف[1].

وفي المجال المدني وبتقدم التكنولوجيا الحديثة، أكتسب هذا الموضوع اهتماما متزايداُ في الآونة الأخيرة حيث أصبح عامل مهم لتصميم أغطية المحركات التوربينية لكي تحتوي الشظايا الناجمة عن تكسر أنصال التوربين والتي تعامل على أنها مقذوفات حيث تتراوح سرعتها بين (100-1000 m/s) وكذلك لتوفير الحماية للمركبات الفضائية من صدمات النيازك والتي تصل سرعتها إلي أكثر من (5000 m/s) [2] .

٢- صياغة نموذج التغلغل

عند اصطدام قذيفة جاسئة(جاسئة لايحدث فيها تشوه) نقطية الرأس نصف قطرها (a) بهدف معدني متجانس (ثابت الخواص بكافة الاتجاهات) بصورة عمودية عليه وبسرعة ابتدائية (V_o) يؤدي هذا الفعل إلى إزاحة معدن الهدف إلى الداخل

والجوانب عند حصول عملية التلامس بين رأس القذيفة والهدف وباستمرار تقدم القذيفة تحصل عملية التغلغل داخل مادة الهدف بسرعة(V_z) [٣].

بالنسبة للقذيفة الجاسئة فأن الحركة والعمق النهائي للتغلغل يمكن أن يحسب عندما تكون القوى المعرقلة للتقدم معلومة ،ولهذا يجب أولاً أيجاد مقاومة الهدف للاختراق ومن ثم نحسب تغير سرعة القذيفة والعمق النهائي .استند البحث علي فرضية توسع الفجوة الأسطواني (Cylindrical Cavity Expansion) وفيها تقريب تكون الفجوة إلى توسع اسطوانة من نصف قطر ابتدائي مساوٍ للصفر حيث يزاح المعدن إلى الجوانب فقط مع تقدم القذيفة وهو مرتبط بشكل رأس القذيفة، أن هذه الفرضية ملائمة للرأس المخروطي لان الفجوة تكون مستقدة عند قمة الرأس ، وللرأس المدبب وخصوصاً عندما يكون CRH>>1 (CRH= $R^*/2a$)لانه يكون أقرب إلى الشكل المخروطي،.

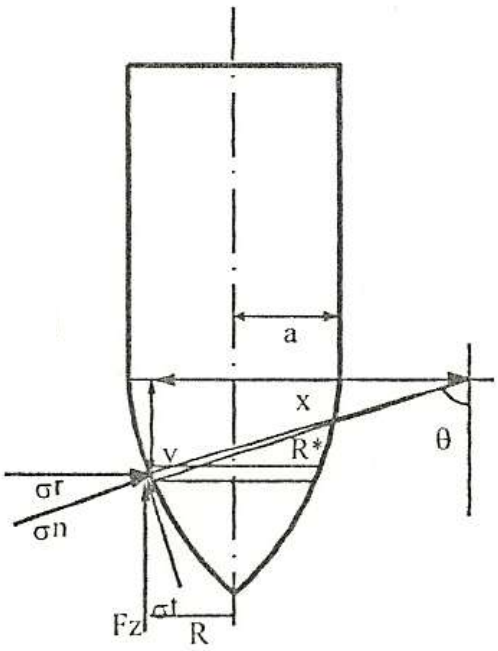
أن تحليل توسع الفجوة يتم بربط الأجهادات المتولدة عند سطح الفجوة مع سرعة توسع الفجوة وبطبيعة الأمر فأن الإجهاد عند تلامس سطح القذيفة مع سطح الفجوة يكون مقرون بسرعة توسعها نتيجة تحرك القذيفة داخل معدن الهدف بسرعة (V_z) ومما تقدم وكما موضح في الشكل(١) أن القذيفة تـولد قناة داخل الهدف مساوٍ لقـطر الإطلاقة وإذا تم فرض أن الهدف مكون من طبقات متواصلة نحيفة بسمك (5-15μm) عمودية على اتجاه القذيفة، يمكن عندها تقسيم مقاومة الهدف للتغلغل إلى قوة عمودية على رأس القذيفة وأخرى مماسية ناتجة عن الاحتكاك مع الطبقات النحيفة ولسرعة وضغط اختراق عالي يمكن أن نفرض أن القوة المماسية تتناسب مع القوة العمودية $(dF_t = \mu\, dF_n)$ [4].

3-حساب القوة المعيقة للحركة

3-١- القذائف المدببة الرأس Ogival Nose Projectile

$$dF_n = 2\pi R^{*2}\left[Sin\theta - \frac{R^* - a}{R^*}\right]\sigma_n(V_z,\theta)Cos\theta\, d\theta$$

$$dF_t = 2\pi R^{*2}\left[Sin\theta - \frac{R^* - a}{R^*}\right]\sigma_n(V_z,\theta)Sin\theta Cos\theta\, d\theta$$



شكل رقم (١). قذيفة مدببة الرأس

2-3- القذائف المخروطية الرأس Conical Nose Projectile

$$dF_r = \sigma_r (v_r, z) dA$$

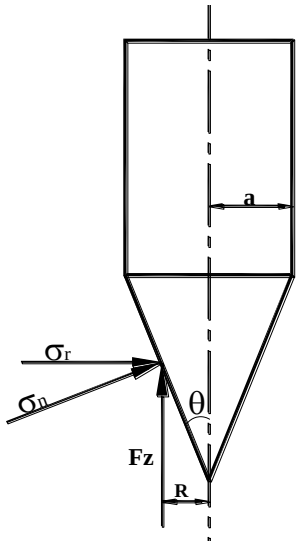
$$dA = 2\pi R dz$$

$$R = (z + dz)\tan\theta$$

$$dA = 2\pi z\, dz \tan\theta$$

$$dF_r = 2\pi \sigma_r (v_r, z) z\, dz \tan\theta$$

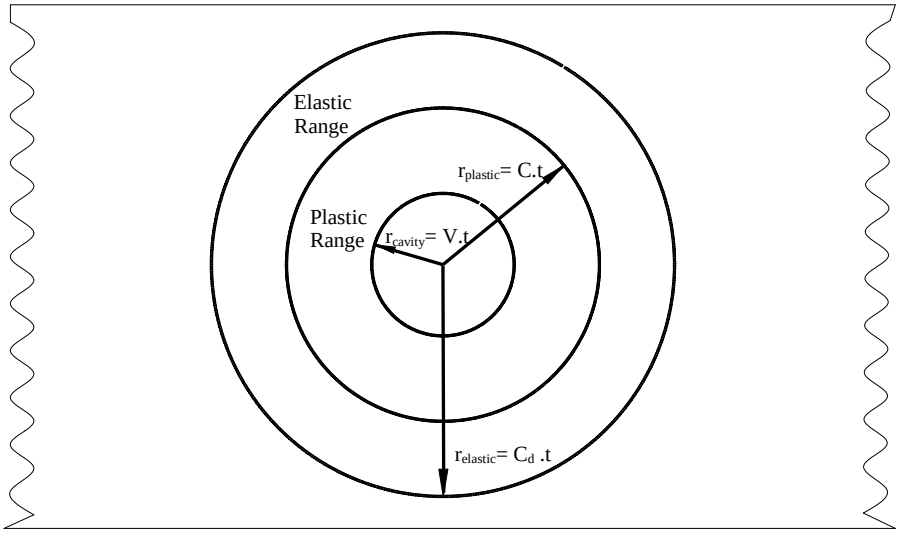
$$dF_t = 2\pi\mu\sigma_r (v_r, z) z\, dz \tan\theta$$



شكل رقم (٢). قذيفة مخروطية الرأس

٤ـ حساب الاجهادات عند السطح الداخلي للفجوة

تتوسع الفجوة داخل الهدف بشكل اسطواني من نصف قطر مساوي للصفر ثم تبداء بالزيادة مع تغلغل راس القذيفة وبسرعة(V)



الشكل رقم (٣). كيفية تكون الفجوة داخل المعدن و تقسيم المنطقة المحيطة بالفجوة الى منطقة لدنة واخرى مرنة.

ونلاحظ من الشكل(٣) أنه يمكن تقسيم المنطقة المحيطة بالفجوة المتكونة إلى منطقة لدنة ومنطقة مرنة .تكون المنطقة اللدنة محددة بـ $V.t < r < C.t$، أما بالنسبة للمنطقة المرنة تكون محددة $C.t < r < C_d.t$.المنطقة اللدنة توصف بعلاقة خطية بين الضغط-الانفعال الحجمي.

$$P = K(1-\frac{\rho}{\rho_0}) \qquad \ldots(١.a)$$

$$(\sigma_r - \sigma_\theta) = Y \quad \textbf{Yield Criterion} \qquad \ldots(١.b)$$

$$P = \frac{\sigma_r + \sigma_\theta}{2} \qquad \ldots(١.c)$$

٤-١- استجابة المنطقة اللدنة

من معادلات حفظ الزخم والكتلة باحداثيات أويلر [5] تصبح كالتالي:-

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial t} + \vartheta \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = -K(1-\eta)\left[\frac{\partial \nu}{\partial r} + \frac{\nu_r}{r}\right] \qquad \ldots(٢.a)$$

$$\frac{\partial \nu_r}{\partial t} + \nu_r \frac{\partial \nu_r}{\partial r} = -\frac{1-\eta}{\rho_0}\left(\frac{\partial \sigma_r}{\partial_r} + \frac{Y}{r}\right) \qquad \ldots(٢.b)$$

For most material $(1-\eta)=1$

لغرض تبسيط المعادلتين (2.a,b) تم استخدام المتغيرات اللابعدية Dimensionless Variable وكما يلي :-

$$S = \frac{\sigma_r}{K}$$

$$\mathbf{T} = \frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{K}}$$

$$U = \frac{\nu}{C}$$

$$\varepsilon = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{C}}$$

$$\zeta = \frac{r}{C.t}$$

وبعد أجراء التعويضات و إكمال الاختصارات الممكنة تم الحصول على النتائج التالية :-

$$\frac{dS}{d\zeta} = \frac{(dU/d\zeta) - (U/\zeta)}{[\zeta - U]} \qquad \ldots(٣.a)$$

$$\beta^2 \frac{dU}{d\zeta}(\zeta - U) = \frac{dS}{d\zeta} + \frac{T}{\zeta} \qquad \ldots(٣.b)$$

حيث ان:-

$$\beta = \frac{C}{C_P}$$

$$C_P{}^2 = \frac{K}{\rho}$$

لحل هذه المعادلات بغية الحصول على الإجهاد العمودي σ_n عند السطح الداخلي للفجوة سنلجأ للطرق العددية وذلك بسبب تعقيد هذه المعادلات فأن حلها بالطرق الرياضية الاعتيادية معقد. من (3.b) نحصل على

$$\frac{dU}{d\zeta} = \frac{U + T(\zeta - U)}{\zeta[\beta^2(\zeta - U)^2 - 1]} \qquad \ldots(3.a^*)$$

من ($3.a^*$) و (3.a) نحصل على

$$\frac{dS}{d\zeta} = \frac{T + U\beta^2(\zeta - U)}{\zeta[\beta^2(\zeta - U)^2 - 1]} \qquad \ldots(3.b^*)$$

من الشروط الحدية التالية :-

$$S_{(\zeta=1)} = S_1 \qquad \ldots(٤.a)$$

$$U_{(\zeta=1)} = U_1 \qquad \ldots(٤.b)$$

$$U_{(\zeta=\varepsilon)} = \varepsilon \qquad \ldots(٤.c)$$

ولغرض أيجاد الإجهاد (S)يجب أولاً أيجاد سرعة الجزيئات (U)والذي يعتمد بدوره على سرعة الحد الفاصل بين المنطقتين المرنة-اللدنة (β) والذي يتغير مع تغير سرعة توسع الفجوة الداخلية ε فلذلك يجب أيجاد العلاقة بين $(\beta \,\&\, \varepsilon)$ ثم نعوض هذه العلاقة في المعادلة ($3.a^*$) وبعدها يتم أجراء التكامل في ضوء هذه العلاقة. وباستخدام الشرط الحدي (4.c) والذي ينص على $[U(\zeta = \varepsilon) = \varepsilon]$.وباستخدام طريقة رانج كوتة من الدرجة الرابعة (Fourth Order Runge Kutta

(Method مع ملاحظة أن التكرار في هذه الحالة يبداء من الحد الفاصل بين المنطقتين المرنة-اللدنة $(\zeta = 1)$ باتجاه السطح الداخلي للفجوة أي عندما $(\zeta = \varepsilon)$ ولهذا يجب أن تكون(S_2,U_2)معلومة والتي يمكن إيجادها بالاستعانة بشرط هجنويد للقفزة (Hugoniot Jump Con.) بدلالة المتغيرات عديمة الوحدات والذي ينص على:-

$$U_2 = 1 - (\frac{\rho_1}{\rho_2})(1 - U_1) \qquad \ldots(5.a)$$

$$S_2 = S_1 + \beta^2(\frac{\rho_1}{\rho_o})(1 - U_1)(U_2 - U_1) \qquad \ldots(5.b)$$

حيث ان الرمز السفلي (2) يشير إلي الكميات التي تقع في المنطقة اللدنة .أما الرمز السفلي (1) يشير إلى الكميات التي تقع في المنطقة المرنة. إذا تم فرض أن $(\rho_1 \approx \rho_2)$ فنحصل على $(U_1 = U_2 \ , S_1 = S_2)$ [6]، وبغية الحصول على (S_1,U_1) يجب دراسة استجابة المنطقة المرنة

٤-٢- استجابة المنطقة المرنة

أن معادلة حفظ الزخم الخاصة بالمنطقة المرنة للحالة الأسطوانية هي[3].

$$\frac{\partial \sigma r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = -\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \qquad \ldots(6)$$

وباستخدام علاقات الإجهاد-الانفعال للحالة الأسطوانية [7] , [8] يمكن تحويل معادلة(٦) بدلالة الانفعال فقط

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r^2} = \frac{1}{C_d^2}\cdot\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \qquad \ldots(٧)$$

باستخدام المتغيرات اللابعدية التالية فان المعادلة (٧) تتحول الى

$$\zeta = \frac{r}{C.t} \quad ; \quad \varpi = \frac{u}{C.t}$$

$$(1 - \alpha^2\zeta^2)\frac{d^2\omega}{d\zeta^2} + \frac{1}{\zeta}\cdot\frac{d\omega}{d\zeta} - \frac{2}{\zeta}.\omega = 0 \qquad \ldots(٨)$$

Where: $\alpha = \frac{C}{C_d}$

يمكن تحويل المعادلة التفاضلية (٨) ذات الدرجة الثانية الى معادلة من الدرجة الاولى باستخدام العلاقات التالية:

$$Z = \alpha\zeta \qquad ; \qquad \varpi = PZ \qquad ; \qquad R = \frac{dP}{dZ}$$

$$\frac{dR}{R} + \frac{3-2Z^2}{(1-Z^2)Z} R = 0 \qquad \text{....(9)}$$

وباجراء التكامل على (٩) نحصل على

$$R = \frac{dP}{dZ} = A\frac{\sqrt{1-Z^2}}{Z^3} \qquad \text{...(10)}$$

من تكامل معادلة (١٠) نحصل على

$$P = A\left[\frac{1}{-8\tan^2 H} + 2Ln\left|\tan H\right| + \frac{1}{8}\tan^2 H + Ln\left(\frac{1+\sqrt{1-Z^2}}{Z}\right)\right] + B \qquad \text{.....(11)}$$

Where: (A,B) Integration Constant

$$H = \frac{Sin^{-1}Z}{2}$$

لايجاد ثوابت التكامل نستخدم الشروط الحدية التالية:-

$$1 - at\ Z = 1 \Rightarrow \varpi = 0$$
$$2 - \ \sigma_{r(Z=\alpha)} \ - \sigma_{\theta(Z=\alpha)} = Y$$

$$\mathbf{B = 0}$$

$$\mathbf{Y = \frac{E\alpha}{1+\gamma}\left[\frac{\partial \varpi}{\partial z} - \frac{\varpi}{Z}\right]} \qquad \text{...(١٢)}$$

$$\mathbf{\varpi = AZQ} \qquad \text{... (١٣)}$$

$$Q = \frac{1}{-8\tan^2 H} = 2Ln\left|\tan H\right| + \frac{1}{8}\tan^2 H + Ln\left(\frac{1+\sqrt{1-Z^2}}{Z}\right)$$

$$A = \frac{Y(1+\gamma)}{E\alpha^2 f} \qquad \text{...(١٤)}$$

$$f = \frac{dQ_{(z=\alpha)}}{dz} = \frac{1}{2\sqrt{1-\alpha^2}}\left[\frac{Sec^2 H^*}{4\tan^3 H^*} + \frac{1}{4}\tan H^* Sec^2 H^* + \frac{2(\sqrt{1-\alpha^2}-\alpha^2)}{1+\sqrt{1-\alpha^2}}\right]$$

$$H = \frac{Sin^{-1} Z}{2} \quad , \qquad H^* = H_{(z=\alpha)}$$

$$\varpi = \frac{u}{C.t} = ZAQ \qquad \text{...(١٥)}$$

$$\frac{du}{C.dt} = U = A\left[ZQ + tQ\frac{dz}{dt} + tZ\frac{dQ}{dz}.\frac{dz}{dt}\right] \qquad \text{...(١٦)}$$

$$U_1 = \frac{Y(1+\gamma)}{E} \qquad \text{...(١٧)}$$

$$S_1 = \frac{3\alpha A(1-\gamma)}{(1+\gamma)}\left(\frac{Q^*}{(1-\gamma)} + \alpha f\right) \qquad \text{...(١٨)}$$

$$Q^* = Q_{(Z=\alpha)}$$

من المعادلة (17) يمكن أيجاد (U_1) وبذلك أصبح بلأمكان استخدام البرنامج الحاسبي لإيجاد العلاقة بين (β&ε)وبعدها يتم الحصول على تغير (U) على امتداد المنطقة اللدنة وبها يوجد تغير (S) على امتداد المنطقة اللدنة مع تغير(ε) في نفس الوقت وباستخدام نفس البرنامج وبذلك يمكن تخمين القوة المعيقة لتقدم القذيفة.

٥- حساب السرعة النهائية للقذيفة

٥-١- القذائف المدببة الرأس

$$F_z = 2\pi R^{*2}\int_{\phi_o}^{\phi} \sigma_{n(V_z,\theta)} Cos\phi[(Sin\phi - \frac{R^* - a}{R^*})(Cos\phi + \mu Sin\phi)]d\theta \qquad \text{...(١٢)}$$

$$F_z = 2\pi R^{*2} K\int_{\phi_o}^{\phi} SCos\phi[(Sin\phi - \frac{R^* - a}{R^*})(Cos\phi + \mu Sin\phi)]d\theta \qquad \text{...(١٣)}$$

٥-٢- القذائف المخروطية الرأس

$$F_z = 2\pi\sigma_{r(V_z,Z)}\int_0^L(\tan^2\theta+\mu\tan\theta)Zdz \qquad ...(١٤)$$

$$F_Z = \pi KSa^2(1+\frac{\mu}{\tan\theta}) \qquad ...(١٥)$$

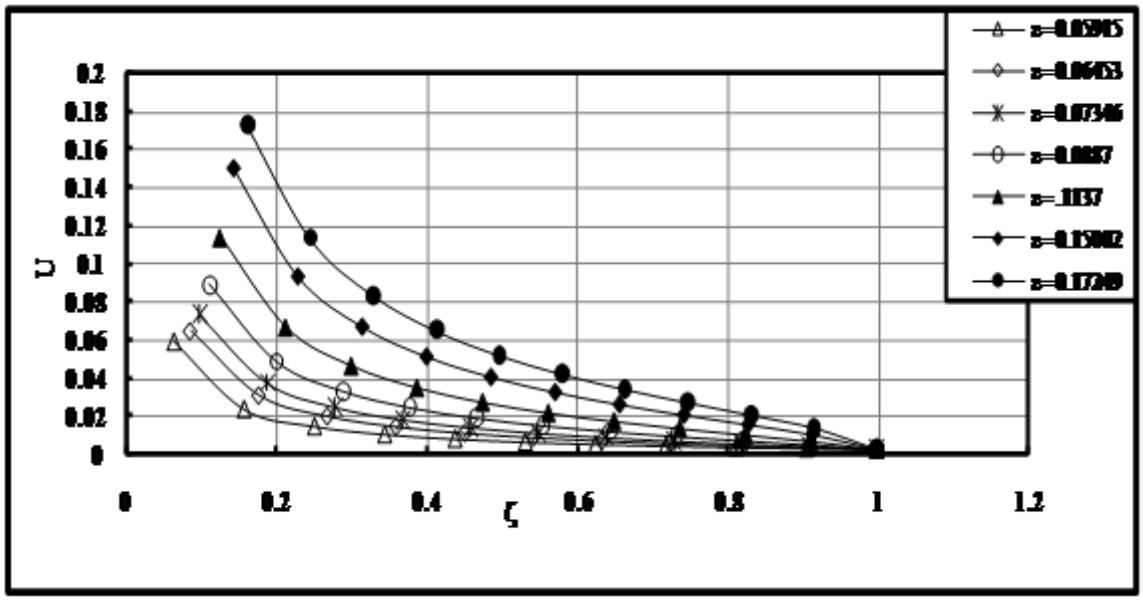
بعد معرفة القوة المعرقلة لتقدم القذيفة يمكن ايجاد سرعة تخلف او عمق التغلغل للقذيفة باستخدام قانون نيوتن للحركة

$$m\frac{dV_z}{dt} = mV_z\frac{dV_z}{dz} = -F_z$$

٦- النتائج والمناقشة

٦-١ توزيع سرعة جزيئات المعدن على امتداد المنطقة اللدنة

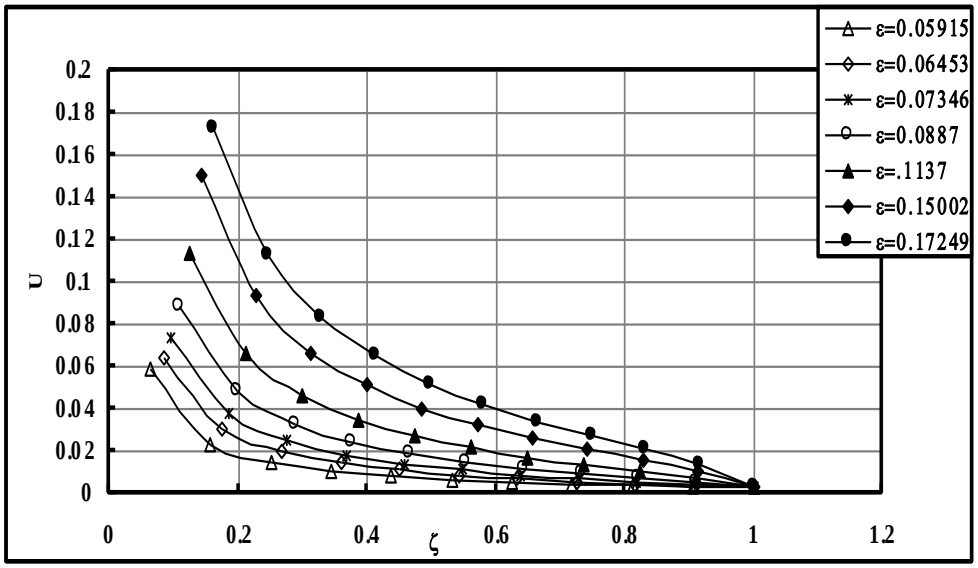
من البرنامج الحاسبي يمكن أيجاد توزيع سرعة الجز يأت (U) بدلالة المتغيرات اللابعدية على امتداد المنطقة اللدنة $(\varepsilon<\zeta<1)$ ويظهر الشكل (2) للمواد المصنوعة من الألمنيوم ولحالات مختلفة من سرع توسع الفجوة (ε)



الشكل (٤) توزيع سرعة الجزيئات (U) على امتداد المنطقة اللدنة $(\varepsilon<\zeta<1)$ لهدف الألمنيوم ولحالات مختلفة من (ε).

٦-٢ توزيع الإجهادات الشعاعية في المنطقة اللدنة

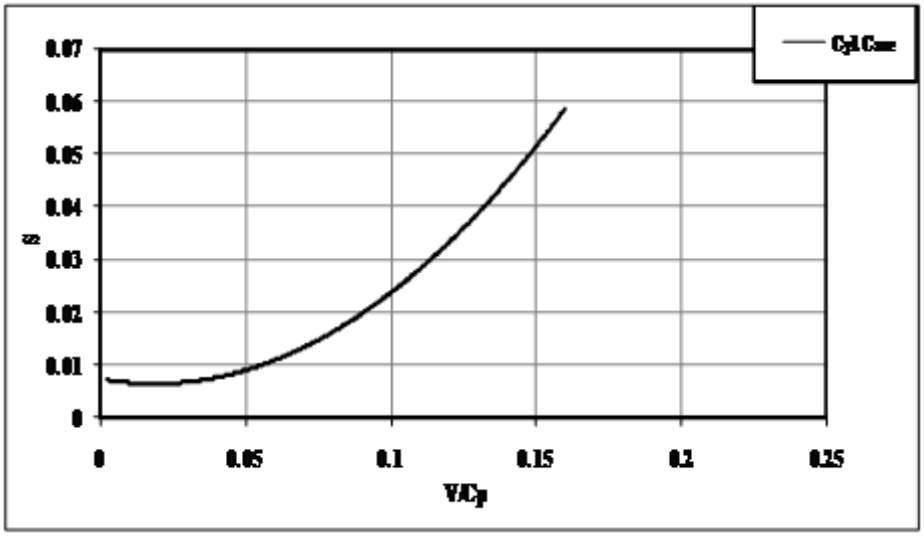
أن توزيع الإجهاد الشعاعي بدلالة المتغيرات اللابعدية (S) مشابه لتوزيع سرعة الجزيئات (U) ويظهر الشكال (3) كيفية هذا التوزيع على امتداد المنطقة اللدنة لمعدن الالمنيوم



الشكل (٥) توزيع سرعة الجزيئات (U) على امتداد المنطقة اللدنة $(\varepsilon < \zeta < 1)$ لهدف الألمنيوم وفرضية التوسع الأسطواني ولحالات مختلفة من (ε).

٦-٣ الإجهاد الشعاعي عند سطح الفجوة

مع سرعة توسعها والشكل (٦) يبين هذه العلاقة لمعرفة القوة المعرقلة لتقدم القذيفة أثناء عملية التغلغل يجب أيجاد الإجهاد عند سطح الفجوة والذي يتغير مع تغير سرعة القذيفة داخل المعدن ومن الفقرة السابقة يمكن أيجاد العلاقة بين الإجهاد عند سطح الفجوة.



الشكل (٦) تغير الإجهاد الشعاعي (S) مع تغير سرعة توسع الفجوة بدلالة المتغيرات اللابعدية (V/C_P) (لهدف الألمنيوم .

يبين الشكل (6) العلاقة بين الإجهاد بدلالة المتغيرات اللابعدية (S) وسرعة توسع الفجوة اللابعدي (V/ CP) لهدف الألمنيوم حيث تزداد قيمة (S) مع زيادة (V/ CP) عند القيم الواطئ لسرعة توسع الفجوة (V/CP) يمكن مقارنة نتائج البحث الحالي مع نتائج الباحثون Hill [9] و Eric [10] الذي يفترض وجود ضغط ثابت لتكوين الفجوة من نصف قطر ابتدائي مساوي للصفر باستخدام نفس الفرضية لتوسع الفجوة، قدم الباحث القوانين التالية لحساب الإجهاد عند سطح الفجوة:-

$$S_S = \frac{Y}{2K}\left[1 + Ln\left(\frac{6(1-2\gamma)K}{(5-4\gamma)Y}\right)\right] \qquad \text{...(6)}$$

الرموز السفلية (S) تشير لحالة التوسع الأسطواني للفجوة.

باستخدام مواصفات هدف الألمنيوم المبينة ادناه بتطبيق المعادلة (6) نحصل على (SS=0.008931) أما القيم المحصل عليها من البحث الحالي والتي تظهر في الشكل (6) فتعطي (SS=0.0091) وهذا يؤيد تقارب نتائج البحث الحالي مع نتائج الباحث Hill [9].

Target Type	Ni%	Cu%	Mg%	Fe%	Zn%	Si%	Mn%	Al%
3003Al. Alloy	-	.0039	.1399	.8628	-	.651	.9081	Rem

Material	E (GN/m^2)	Elastic limit σ_y (MN/m^2)	Density ρ (kg/m^3)	Tensile Strength(MN/m^2)
3003AL. ALLOY	٦٩	140	2710	159

7 -نتائج الاختبارات البالستية

بسبب تعقيد العلاقات الرياضية التي تصف استجابة المواد اثناء تعرضها الى صدمة وخصوصا في السرع العالية اضطر الباحثين إلى استخدام نماذج تقريبية لوصف استجابة المادة الحقيقية لهذا فلا بد من اجراء اختبارات حقيقية لتقييم اداء النموذج المقترح.

أن البرنامج العملي يتركز على تحقيق هدفين الأول معرفة سرعة القذيفة قبل وبعد الاختراق، والهدف الثاني فهو معرفة سرعة الصدمة والعمق النهائي للتغلغل. وقد استخدمنا في برنامج الفحوصات البالستية الألمنيوم 3003 في صناعة الاهداف التي سيتم اختبارها. أما معدن القذيفة فقد اختير من الفولاذ السبائكي ذو صلادة وقاومة شد عالية وذلك لتحقيق النموذج النظري الذي يستند على أن القذيفة جاسئة فلا يحدث لها تشوه أثناء عملية التغلغل، من هذا المعدن تم تشكيل القذائف التي اتخذت رؤوسها الأشكال (المخروطي و المدبب).

بسبب الصلادة العالية للقذائف فأن جهاز إطلاق القذائف يجب أن يمتلك مواصفات خاصة (لايحتوي على حز وأخدود داخلي) لتجنب أي إعاقة لتقدم القذيفة وللحصول على سرعة عالية تم تغير الحشوة الدافعة وطول ماسورة البندقية، وبهذا توصلنا إلى سرعة إطلاق تجاوزت(1000 m/s) في بعض الاختبارات.

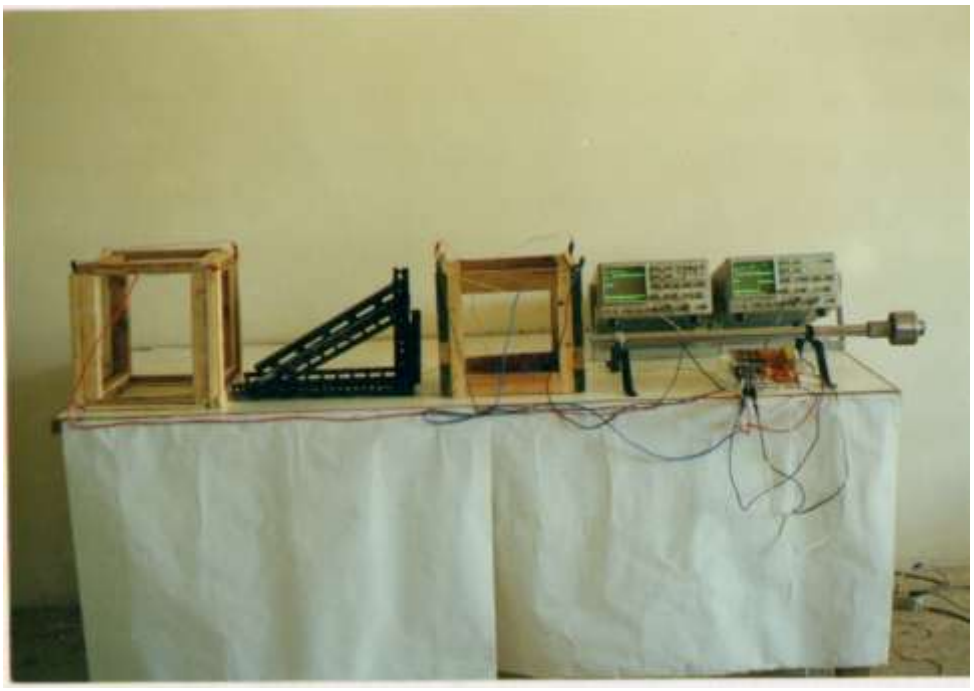
لمعرفة سرعة القذيفة قبل وبعد الهدف توجد وحدتان لقياس السرعة تقوم بتحديد الزمن الذي تستغرقه القذيفة لقطع مسافة معينة وبمعلومية المسافة يتم حساب السرعة. يتم تثبيت الهدف بصورة عمودية على اتجاه مسار القذيفة بواسطة مساند خاصة لهذا الغرض، وبعد وحدة قياس السرعة الثانية الموجودة بعد الهدف بنيت آلية توقيف للقذيفة لضمان توقف القذيفة في مكان ملائم ويوضح الشكل(7-4) صورة فوتوغرافية لمنظومة الاختبار البالستية والتي تتألف من الأجزاء التالية:-

١- جهاز اطلاق القذائف The Launching Gun

٢- وحدة قياس السرعة Velocity Measuring Unite

٣- ماسك الهدف Target Holder

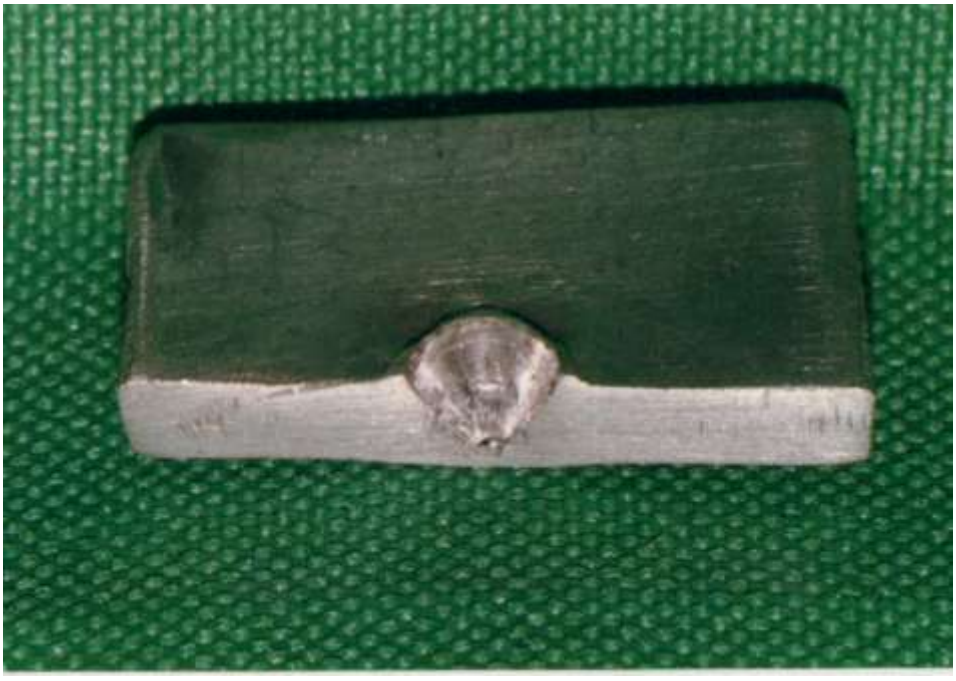
توضح الاشكال(7-11) الاجزاء المستخدمة في البحث مع بعض صور الاهداف بعد اجراء التجارب عليها



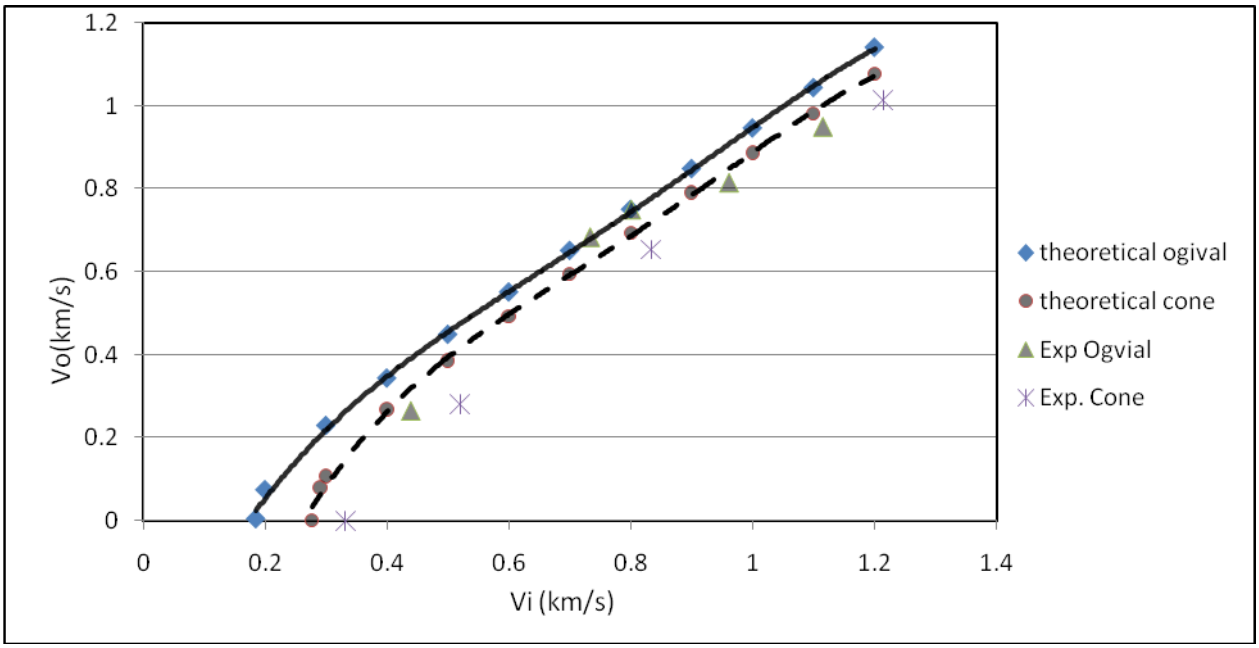
الشكل (7) يوضح منظومة الاختبار البالستية المستخدمة في البحث

الشكل(8) يوضح القذائف المستخدمة في البحث مع جهاز وزن استخدم لوزن حشوة القذيفة للتحكم بسرعة القذيفة

الشكل (9) يوضح صورة للبندقية المستخدمة في الجانب العملي يبلغ طول ماسورة البندقية ٧٥٢ ملم وهو الذي ساعد للوصول الى سرعات عالية



الشكل (10) صورة لهدف مصنوع من الالمنيوم تم اختباره بقذيفة مخروطية الراس ويظهر تكون الفجوة بشكل مشابه لفرضية توسع الفجوة الاسطوانية



الشكل (١١) مقارنة الاداء البالستي بين القذيفة المدببة الرأس والقذيفة المخروطية الراس مع النتائج العملية لكل حالة ويظهر بوضوح تفوق القذيفة المدببة على المخروطية اخذت هذه الحالة للهدف المصنوع من الالمنيوم(٣٠٠٣) .

الاستنتاجات

تشير النتائج النظرية الى ان القذائف المدببة الرأس ذات كفاء اكبر من القذائف المخروطية الراس في عملية الاختراق حيث يظهر بوضوح الى ان الاداء البالستي للهدف المصنوع من الالمنيوم (نقطة تقاطع المنحني النظري للراس المدبب Theoretical Ogival مع المحور الافقي يقع عند السرعة ٠.١٨ km/s على محور Vin (سرعة الصدمة)) وهذه النقطة تعني ان الهدف قد تم اختراقه

اما الاداء البالستي للهدف في حالة الراس المخروطي (نقطة تقاطع المنحني النظري للراس المخروطي theoretical cone مع المحور الافقي (Vi فانه يقع عند السرعة 0.3 km/s) وهذا يعني ان القذيفة المدببة تحتاج الى سرعة اقل من نضيرتها المخروطية لاختراق نفس الهدف والبحث يبين ان السبب يعود الى ان الراس المدبب يقوم بتعجيل جزيئات المعدن بسرعة اقل بالاتجاه الشعاعي مما ينجم عنه اجهاد اقل كما بينا سابقا وبتالي تقل القوة المعرقلة للقذائف

اكدت الاختبارات العملية نتائج النموذج النظري الذي اعتمده البحث فالقذائف المدببة الراس تملك سرعة بعد الاختراق اعلى من القذائف المخروطية وهذا يعني ان الهدف استنزف طاقة اكبر من القذائف المخروطية .

Referances:

1- Marvin, E., Backman and Werner Goldsmith, *"**The Mechanics of Penetration of Projectile into Targets**"* Int. J. Engineering Sci. Vol. 16, No. 1, PP1-99,1978

2- K. B. Hayashida and J. H. Robinson "***Single Wall Penetration Equations***" Nasa Technical Memorandum, Structures and Dynamics Laboratory Science and Engineering Directorate December 1991.

3- Taha, F. A. "***An Investigation into the Ballistic Impact Performance of Ductile Metallic target and Composite Materials Targets***" PhD thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Technology Baghdad,2000.

4- M. J. Forrestal and K. Okajima, "***Penetration of 6061-T651 Aluminum Targets With Rigid Long Rods***" Journal of Applied Mechanics. December 1988, Vol. 55/755.

5- M. J. Forrestal and V. K. Luk, "***Dynamic Spherical Cavity-Expansion in a Compressible Elastic-Plastic Solid***" Journal of Applied Mechanics, June, 1988, Vol. 55/275.

6- V. K. Luk and et. at. "***Penetration into Semi-infinite Reinforced Concrete Target With Spherical and Ogival Nose Projectile***", Int. J. Impact Engineering, Vol. 6, No. 4, PP. 291-301,1987

7- D. B. Longcope and M. J. Forrestal. "***Penetration of Targets Described By a Moher-Coulomb Failure Criterion With a Tension Cutoff***" Journal of Applied Mechanics. June Vol 50, 1983.

8- W. Johnson and P.B. Mellor, "***Engineering Plasticity***" Van Nostrand Reinhold Company London, 1975.

9- Hill, R., and Bishop, R. F., 1941 "***The Theory of Indentation and Hardness Test***" The Proceeding of Physical Society , Vol. 57, Part 3, pp. 147-159.

10- Eric D. Wetzel and Keith M. Kirkwood, "***Effect of Friction on the Ballistic Performance of a High-Strength Fabric Structure***" WIT Transactions on Engineering Science 2005