

تحلیل نفوذ مایل پرتابه های مخروطی شاخکدار در اهداف فلزی نازک

محمد حسین پل^{۱*}، سید عبدالوهاب حسینی^۲، غلامحسین لیاقت^۳

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز - گروه مهندسی مکانیک

۲- جهاد دانشگاهی خوزستان - پژوهشکده تکنولوژی تولید

۳- تهران - دانشگاه تربیت مدرس - گروه مهندسی مکانیک

چکیده

در این مقاله، نفوذ مایل شاخکهای پرتابه های مخروطی شاخکدار در اهداف فلزی نازک، تحت برخورد مایل مورد بررسی تئوری قرار گرفته و یک مدل تحلیلی برای آن پیشنهاد شده است. شکست از نوع پتالینگ نامتقارن فرض شده و آنالیز با استفاده از موازنه انرژی بین انرژی اولیه و کار انجام شده صورت می گیرد. کل کار انجام شده در نفوذ کامل پرتابه های مخروطی شامل، کار لازم جهت تغییر شکل پلاستیک، W_p ، کار لازم جهت انتقال ماده به موقعیت جدید، W_d ، کار لازم جهت خمش پتالها، W_b و کار انجام شده در اثر نفوذ شاخکها، W_i در نظر گرفته می شود. نتایج تئوری کار انجام شده در اثر نفوذ شاخکها، W_i ، با مقادیر تئوری و تجربی، دیگر کارهای انجام شده در طی نفوذ، مقایسه و مورد بحث قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: پرتابه مخروطی، شاخک، پرتابه مخروطی شاخکدار، نفوذ مایل

۱. مقدمه

و موازنه ی انرژی، مقدار سرعت حد بالستیک و نهایی برای یک حالت برخورد تعیین می شود.

از تئوریهایی که از روش تخمین انرژی جهت آنالیز برخورد عمودی پرتابه های مخروطی با صفحات فلزی استفاده کرده اند، می توان از تئوریهای

در طی چند دهه اخیر، پدیده شکست اهداف فلزی نازک، تحت برخورد پرتابه های مخروطی که معمولاً از نوع پتالینگ می باشد، بطور تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است. در مدل های تحلیلی، معمولاً با استفاده از موازنه اندازه حرکت

۱- کارشناس ارشد

۲- کارشناس ارشد

۳- استاد دانشگاه تربیت مدرس

* E-mail: m_h_pol@modares.ac.ir

این شاخکها با وجود زیاد کردن مقدار حد کمانه کردن، بدلیل وجود سطح اضافی بر روی دماغه پرتابه، جهت نفوذ، مقداری از انرژی اولیه پرتابه را به هدر می دهند. ابعاد و محل قرارگیری این شاخکها، مستقیماً به طراحی زاویه حد کمانه کردن و همچنین ضخامت هدف بستگی دارد.

در این مقاله، با فرض تشکیل حفره، مقدار کار انجام شده در طی فرآیند نفوذ مایل شاخکهای پرتابه های مخروطی شاخک دار در اهداف فلزی محاسبه می شود. کل کار انجام شده شامل، کار لازم جهت تغییر شکل پلاستیک، W_p ، کار دینامیکی لازم جهت انتقال ماده به موقعیت جدید، W_d ، کار لازم جهت خمش پتالها، W_b و کار انجام شده در اثر نفوذ شاخکها، W_i ، در نظر گرفته می شود. تحلیل بیشتر W_b ، W_d ، W_p در مراجع ۱۲ و ۱۳ آمده است. در چندین بررسی قبلی نشان داده شده است که مقدار انرژی مصرفی به وسیله حرارت (اصطکاک) در طی نفوذ، در مقایسه با کار پلاستیک و دیگر کارهای انجام شده، قابل صرف نظر کردن است [۳] و [۹].

۲. تئوری

همانطور که قبلاً اشاره شد، کل کار انجام شده شامل، W_b ، W_d ، W_p و W_i در نظر گرفته می شود. مقادیر W_b ، W_d ، W_p طبق مراجع [۳] و [۹] و شکل (۱) برابرند با:

$$W_p = \frac{\pi}{2} b^2 Y \frac{h_0}{\cos \phi} \quad (1)$$

$$W_d = \rho h_0 b^2 V_i^2 \tan^2 \alpha \left(1 - \tan \alpha \tan \phi \right)^2 \left(\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{[(1 - \sin^2 \phi \sin^2 \delta)^2 + \tan \alpha \sin \phi \sin \delta]^4} d\delta \right) + 2 \rho h_0 V_i^4 \tan^4 \alpha \left[\int_{\delta^{***}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{[(1 - \sin^2 \phi \sin^2 \delta)^2 + \tan \alpha \sin \phi \sin \delta]^4} d\delta \right] dt \quad (2)$$

$$W_b = \frac{Y h_0^2 b}{2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{[\frac{\pi}{2} + \sin^{-1}(\sin \phi \sin \delta)]}{(1 - \sin^2 \phi \sin^2 \delta)^{\frac{1}{2}}} d\delta \quad (3)$$

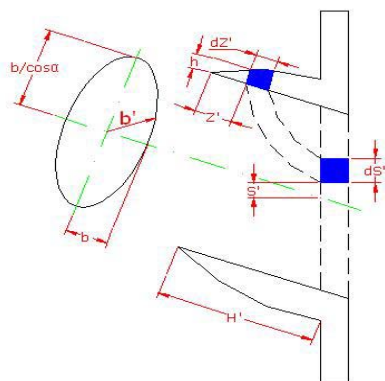
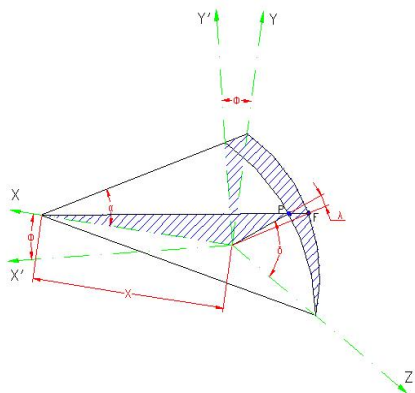
بث [۱]، تیلور [۲]، تامسون [۳]، جانسون [۴]، وودوارد [۵]، زید و پال [۶] و [۷] و در سالهای اخیر لاندکف و گولداسمیت [۸]، گولداسمیت و فنینگین [۱۰]، لیاقت [۱۱]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶] و [۱۷]، پل [۱۲] و پل و لیاقت [۱۳] نام برد.

در مدل های تحلیلی موجود برای شبیه سازی، فرض می شود که صفحه به صورت یک حفره تغییر شکل می دهد و با این فرض، انرژی مورد نیاز برای این تغییر شکل محاسبه می شود. تخمین مقدار انرژی به استثناء [۴] که بعضی اثرات دینامیکی را منظور می کند، دارای طبیعت استاتیکی می باشند. در مقابل تئوری زید و پال [۶] و [۷] با استفاده از روش موازنه اندازه حرکت، سرعت خروجی را محاسبه می کند.

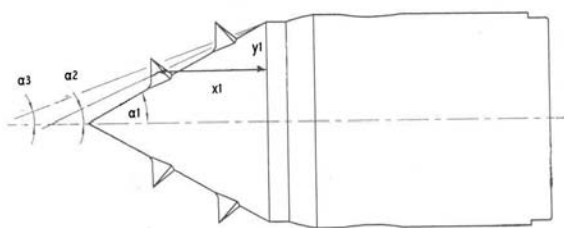
یکی از راه های جلوگیری از کمانه کردن و یا به تعویق انداختن آن، استفاده از تعدادی شاخک بر روی پرتابه می باشد. این شاخکها معمولاً بر روی شعاع واحدی از دماغه مخروطی پرتابه بطور متقارن قرار می گیرند و در زمانی که زاویه برخورد پرتابه به هدف بیش از متمم نصف زاویه دماغه پرتابه، $\phi \geq \pi/2 - \alpha$ ، گردد، قبل از برخورد قسمت استوانه ای پرتابه و یا سطح جانبی قسمت مخروطی پرتابه به هدف که باعث کمانه کردن پرتابه می شوند، با آن برخورد کرده و بدلیل سطح مقطع کم و قدرت نفوذ زیاد، در هدف نفوذ کرده و مانع از کمانه کردن پرتابه می شوند.

y_1 و x_1 بترتیب، فاصله عمودی و افقی تیغه نسبت به محل تقاطع قسمت مخروطی و استوانه ای پرتابه می‌باشد. همانطوری که در شکل (۲) دیده می‌شود، هر قدر شاخکها به قسمت استوانه ای نزدیکتر باشند، زاویه α_2 کوچکتر و در نتیجه ϕ_{Rt} افزایش می‌یابد.

عیب اصلی قرارگیری شاخکها در ارتفاع بالا نسبت به خط تقارن پرتابه، افزایش مقدار انرژی مصرفی به واسطه ی افزایش طول ناحیه برش صفحه هدف و حفره ی ایجاد شده در پشت صفحه هدف می‌باشد.



شکل ۱- حفره ایجاد شده در صفحه هدف، تحت برخورد مایل



شکل ۲- زاویه حد کمانه کردن پرتابه مخروطی شاخکدار ($\pi/2 - \alpha_2$)

در رابطه فوق، t_2 مدت زمان نفوذ تا شروع برخورد قسمت استوانه ای پرتابه به هدف می‌باشد و t_3 ، مدت زمان نفوذ تا برخورد کامل قسمت استوانه ای پرتابه با هدف میباشد مقادیر t_2 و t_3 برابرند با [۱۳ و ۱۷]:

$$t_2 = \frac{(1 - \tan \phi \tan \alpha)L}{V_i}$$

$$t_3 = \frac{(1 + \tan \phi \tan \alpha)L}{V_i} \quad (۴)$$

$$\tan \alpha = \frac{b}{L}$$

δ^{***} در رابطه (۲)، زاویه ای است که بیانگر برخورد قسمت استوانه ای پرتابه با هدف در فاصله زمانی t_2 تا t_3 می‌باشد و مطابق با مرجع [۱۳] و [۷] برابر است با:

$$\delta^{***} = \sin^{-1} \left(\frac{\frac{V_i t}{L} - 1}{\sin \phi [\tan^2 \alpha + (\frac{V_i t}{L} - 1)^2]^{1/2}} \right) \quad (۵)$$

۳. تحلیل عملکرد شاخک

همانطور که اشاره شد یکی از راههای جلوگیری از کمانه کردن پرتابه و یا به تعویق انداختن آن، استفاده از شاخک می‌باشد. طول شاخکها بایستی بیش از ضخامت معادل هدف، $\frac{h_o}{\cos \phi}$ ، باشد تا بتواند بطور کامل در هدف نفوذ کند. ضخامت شاخکها بایستی به حدی باشد که بعد از برخورد به هدف، بر اثر نیروی وارده شکسته نشوند.

مقدار حد کمانه کردن در حالتی که هیچ شاخکی وجود نداشته باشد برابر است با:

$$\phi_R = \pi/2 - \alpha \quad (۶)$$

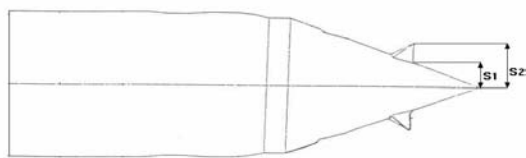
که در آن ϕ_R زاویه حد کمانه کردن و $\alpha = \alpha_1$ زاویه نصف دماغه پرتابه می‌باشد. مطابق با شکل (۲)، زمانی که یک شاخک در موقعیت نشان داده شده باشد، زاویه ϕ_{Rt} زاویه حد کمانه کردن در حالت دماغه با تیغه برابر است با:

$$\phi_{Rt} = \pi/2 - \alpha_2 \quad (۷)$$

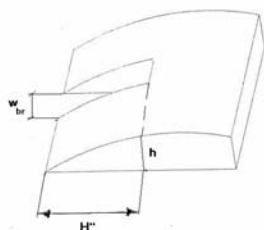
که در آن:

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left(\frac{y_1}{x_1} \right) \quad (۸)$$

۴. کار انجام شده در نفوذ شاخکهای پرتابه



شکل ۳- پرتابه شاخکدار



شکل ۴- شکل حفره بعد از بریده شدن توسط شاخک

مقدار کار انجام شده طی نفوذ شاخکهای پرتابه شکل (۳) را می توان با انرژی کرنشی ناحیه بریده شده هدف، توسط شاخکها تخمین زد. مقدار کار انجام شده طی نفوذ تیغه های سرچنگی در واحد حجم برابر است با:

$$u = \int \sigma d\epsilon \quad (9)$$

با فرض پلاستیک کامل، مقدار کار کل انجام شده برابر است با:

$$W_t = \int_v u \cdot dv = u \cdot V_t \quad (10)$$

در رابطه فوق، V_t بیانگر حجم ناحیه بریده شده توسط شاخکها می باشد. حجم ناحیه بریده شده توسط شاخکها، V_t شامل دو ناحیه می باشد. ناحیه اول، ناحیه بریده شده از صفحه هدف، V_{t1} و ناحیه دوم، ناحیه بریده شده از حفره ایجاد شده در پشت صفحه، V_{t2} می باشد.

$$V_t = V_{t1} + V_{t2} \quad (11)$$

حجم ناحیه بریده شده از صفحه هدف، V_{t1} مطابق با مرجع [۷] برابر است با:

$$V_{t1} = h_o \cdot h_t \cdot \frac{s_2 - s_1}{(1 - \sin^2 \phi \sin^2 \delta_1)^{\frac{1}{2}}} \quad (12)$$

جایی که h_t عرض شاخک δ_1 زاویه برخورد شاخک با هدف و s_1 و s_2 بیانگر موقعیت شاخک با توجه به شکل (۳) می باشند.

حجم ناحیه بریده شده از حفره، با مراجعه به مرجع ۱۳ و ۷ و شکل (۴) برابر است با:

$$V_{t2} = \frac{1}{2} H'' \cdot h \cdot h_t \quad (13)$$

که در آن H'' طول بریده شده از حفره توسط شاخکها می باشد و با مراجعه به مرجع [۱۳،۷] برابر است با:

$$H'' = \frac{2s_2}{3(1 - \sin^2 \phi \sin^2 \delta_1)^{\frac{1}{2}}} \quad (14)$$

مقدار h ضخامت حفره با مراجعه به مرجع [۱۳] و [۷] برابر است با:

$$h = h_o \left(\frac{s_2}{b} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$V_{t2} = \frac{h_o \cdot h_t \cdot s_2^{1.5}}{3[b(1 - \sin^2 \phi \sin^2 \delta_1)]^{\frac{1}{2}}} \quad (16)$$

بنابراین حجم کل ناحیه بریده شده با استفاده از معادلات (۱۱)، (۱۲) و (۱۶) برابر است با:

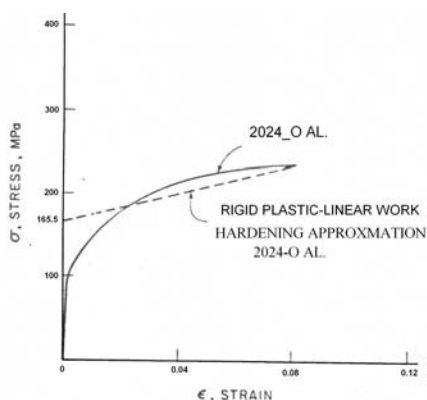
$$V_t = h_o \cdot h_t \left[\frac{\frac{1}{2} (s_2 - s_1) + s_2^{1.5}}{3[b(1 - \sin^2 \phi \sin^2 \delta_1)]^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (17)$$

کل کار انجام شده در اثر نفوذ یک شاخک را می توان با جایگذاری معادله (۱۷) در (۱۰) بدست آورد.

$$W_{br} = u \cdot h_o \cdot h_t \left[\frac{\frac{1}{2} (s_2 - s_1) + s_2^{1.5}}{3[b(1 - \sin^2 \phi \sin^2 \delta_1)]^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (18)$$

که در آن، u چگالی انرژی کرنشی (انرژی کرنشی بر واحد حجم) بوده و از مساحت زیر منحنی نمودار تنش-کرنش ماده بدست می آید.

شکست در $\sigma = Y = 165.5 \text{ MPa}$ اتفاق می‌افتد و مقدار انرژی، بر واحد حجم تا لحظه شکست نهایی برابر $u = 1/638e7 \text{ J/m}^3$ می‌باشد.



شکل ۵- منحنی نیمه استاتیکی تنش- کرنش آلومینیوم 2024-0

همانطور که از شکل‌های ۶ مشاهده می‌شود، سرعت باقیمانده در سرعت‌های نزدیک حد بالستیک، اختلاف قابل توجهی با نتایج آزمایش در تمامی زوایای برخورد دارد، که علت آن را می‌توان به در نظر نگرفتن بعضی از انرژی‌های صرف شده در طی نفوذ، مثل انرژی صرف شده در اصطکاک، افزایش درجه حرارت هدف و بخصوص توسعه سوراخ نرم در ابتدای نفوذ پرتابه مخروطی یعنی زمانیکه هنوز قطر پرتابه کمتر از ضخامت هدف می‌باشد، دانست. اما با افزایش سرعت برخورد و نسبت سرعت برخورد به سرعت حد بالستیک، به دلیل اینکه کل کار انجام شده در طی نفوذ درصد کمی از انرژی اولیه می‌باشد، درصد خطا کاهش می‌یابد [۱۳].

جدول (۱) و (۲) مقادیر کار انجام شده محاسبه شده را در سرعت و زوایای برخورد مختلف، نشان می‌دهد.

همانطور که در این دو جدول دیده می‌شود، مقدار W_p بستگی به سرعت برخورد پرتابه نداشته و تنها با افزایش زاویه برخورد پرتابه، بدلیل افزایش ضخامت موثر پرتابه، افزایش می‌یابد. در حالی که W_d با افزایش سرعت برخورد و زاویه برخورد پرتابه به دلیل افزایش انرژی پرتابه، افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که W_b تقریباً ثابت بوده و تنها به مقدار خیلی کمی با افزایش زاویه برخورد، به دلیل تغییر زاویه پرتابه افزایش می‌یابد. با مقایسه کار انجام شده در نفوذ شاخکها (چهار شاخک یکسان و متقارن) با W_p ، W_d ، W_b مشاهده می‌شود که این کار در مقایسه با دیگر کارهای انجام شده در طی نفوذ پرتابه، بدلیل کوچک بودن سطح شاخکها نسبت به خود پرتابه، بسیار ناچیز بوده و قابل صرف نظر کردن می‌باشد.

در صورت وجود چندین شاخک، کل کار انجام شده برابر با مجموع کار انجام شده توسط هر یک از شاخکها می‌باشد.

$$W_t = W_{t1} + W_{t2} + W_{t3} + \dots \quad (19)$$

کل کار انجام شده طی نفوذ یک پرتابه استوانه ای با سر مخروطی شاخکدار برابر است با:

$$W = W_p + W_d + W_b + W_t \quad (20)$$

سرعت باقیمانده را می‌توان با استفاده از معادله موازنه انرژی بدست آورد:

$$W = \frac{I}{2} m (V_i^2 - V_r^2) \quad (21)$$

بنابراین:

$$V_r = (V_i^2 - \frac{2W}{m})^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

و سرعت حد بالستیک با شرط $V_r = 0$ قابل محاسبه می‌باشد.

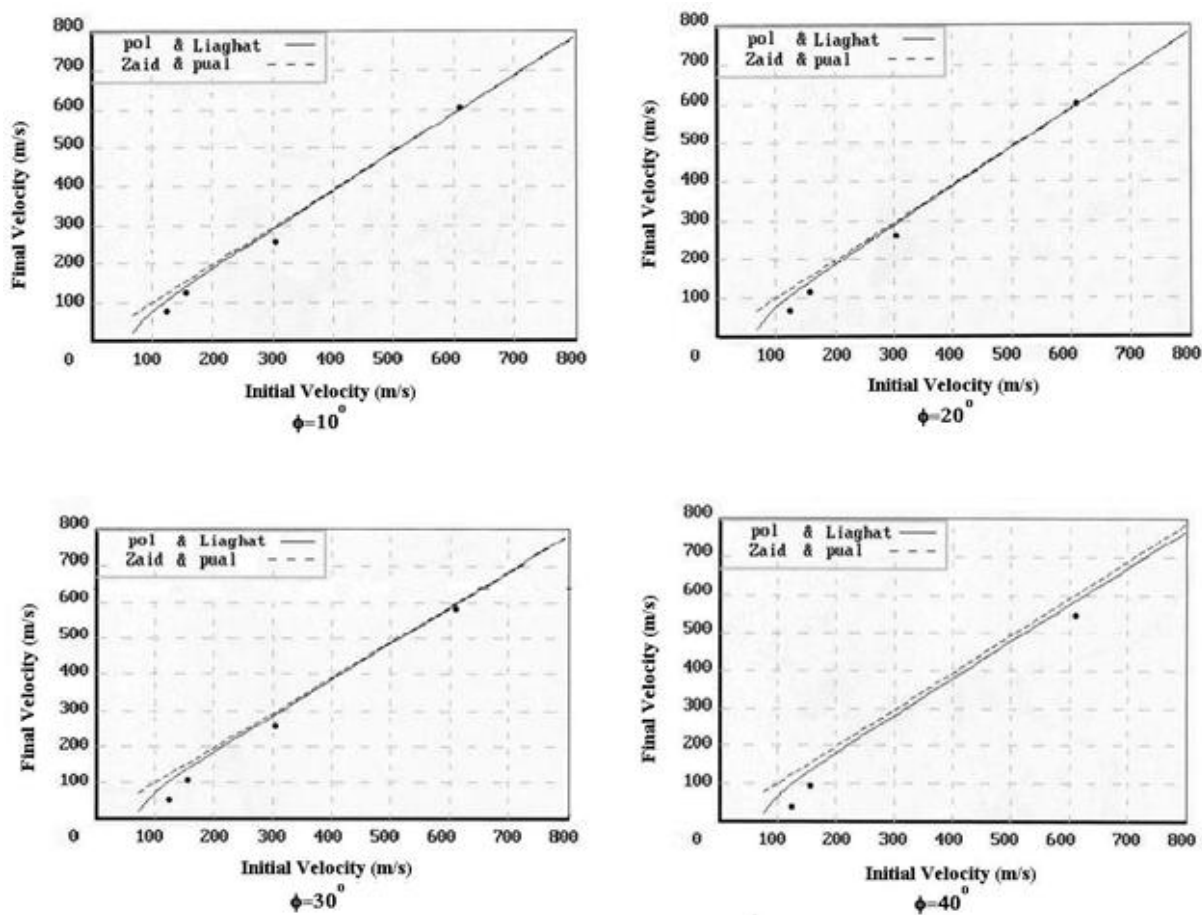
$$V_b = (\frac{2W}{m})^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

۵. نتایج و بحث

برای مقایسه ی مقدار کار انجام شده در طی نفوذ شاخکهای پرتابه های مخروطی بدست آمده از تئوری ارائه شده، با مقادیر بدست آمده از مرجع [۱۳] برای دیگر کارهای انجام شده (W_b ، W_d ، W_p)، محاسبات برای مقادیر آزمایشگاهی مراجع [۱۰] و [۱۳] ارائه شده است. محاسبات برای نفوذ کامل در صفحه های آلومینیومی 2024-0 با ضخامت ۳/۱۷۵ mm، تحت برخورد مایل پرتابه های مخروطی با زاویه کل مخروط 60° ($\alpha = 30^\circ$)، قطر ۱۲/۷ mm و جرم متوسط ۲۹/۵ kgf انجام شده است، سرعت برخورد در محدوده ۵۰۰ - ۱۰۰ m/s و زاویه برخورد بین 0° تا 40° تغییر می‌کند. بر روی پرتابه چهار عدد شاخک با طول و عرض ۱ mm ($S_2-S_1 = 1 \text{ mm}$ ، $h_1 = 1 \text{ mm}$)، در شعاع ۳ mm S_1 و یا در شعاع ۴ mm S_1 در نظر گرفته می‌شود که در زوایای $\delta_1 = \pi/2$ ، $\delta_2 = \pi$ و $\delta_3 = 3\pi/2$ قرار دارند.

منحنی تنش کرنش ماده هدف، در شکل (۵) نشان داده شده است. این دیاگرام، تنش تسلیم نیمه استاتیکی حقیقی ۸۸/۳ MPa را نشان می‌دهد، اما یک تقریب بهتر از ماده بصورت صلب - کار سختی خطی به شکل زیر می‌باشد.

$$\sigma = Y + \gamma \epsilon = 165.5 + 836.43 \epsilon \quad \text{MPa} \quad (24)$$



شکل ۶- سرعت نهایی پرتابه درزویای برخورد $\phi=0^\circ, \phi=10^\circ, \phi=20^\circ, \phi=30^\circ, \phi=40^\circ$

جدول ۱- مقادیر کار انجام شده (J) در طی نفوذ در سرعتها و زویای برخورد مختلف

$$h_t = 1 \text{ mm}, S_v = 4 \text{ mm}, S_l = 3 \text{ mm}$$

W_t	W_b	W_d	W_p	W_i	V_i	
۰/۴۳	۲۶/۱۴	۸/۲	۳۳/۲۸	۳۳۱/۸۸	۱۵۰	$\phi = 0^\circ$
۰/۴۳	۲۶/۱۴	۳۲/۸۲	۳۳/۲۸	۱۳۲۷/۵	۳۰۰	
۰/۴۳	۲۶/۱۴	۷۳/۸۴	۳۳/۲۸	۲۹۸۶/۸۸	۴۵۰	
۰/۴۴	۲۶/۹۶	۹/۹۵	۳۵/۴۲	۳۳۱/۸۸	۱۵۰	$\phi = 20^\circ$
۰/۴۴	۲۶/۹۶	۳۹/۸۱	۳۵/۴۲	۱۳۲۷/۵	۳۰۰	
۰/۴۴	۲۶/۹۶	۸۹/۵۷	۳۵/۴۲	۲۹۸۶/۸۸	۴۵۰	
۰/۴۵	۲۸/۰۵	۱۳/۲۷	۳۸/۴۳	۳۳۱/۸۸	۱۵۰	$\phi = 30^\circ$
۰/۴۵	۲۸/۰۵	۵۳/۰۶	۳۸/۴۳	۱۳۲۷/۵	۳۰۰	
۰/۴۵	۲۸/۰۵	۱۱۹/۳۹	۳۸/۴۳	۲۹۸۶/۸۸	۴۵۰	
۰/۴۷	۲۹/۷۳	۲۲/۳۳	۴۳/۴۵	۳۳۱/۸۸	۱۵۰	$\phi = 40^\circ$
۰/۴۷	۲۹/۷۳	۸۹/۳۲	۴۳/۴۵	۱۳۲۷/۵	۳۰۰	
۰/۴۷	۲۹/۷۳	۲۰۰/۹۷	۴۳/۴۵	۲۹۸۶/۸۸	۴۵۰	

جدول ۲- مقادیر کار انجام شده (I) در طی نفوذ در سرعتها و زوایای برخورد مختلف

$$h_i = 1 \text{ mm}, S_v = 5 \text{ mm}, S_1 = 4 \text{ mm}$$

W_i	W_b	W_d	W_p	W_i	V_i	
۰/۵۲	۲۶/۱۴	۸/۲۰	۳۳/۲۸	۳۳۱/۸۸	۱۵۰	$\phi = 0^\circ$
۰/۵۲	۲۶/۱۴	۳۲/۸۲	۳۳/۲۸	۱۳۲۷/۵	۳۰۰	
۰/۵۲	۲۶/۱۴	۷۳/۸۴	۳۳/۲۸	۲۹۸۶/۸۸	۴۵۰	
۰/۵۳	۲۶/۹۶	۹/۹۵	۳۵/۴۲	۳۳۱/۸۸	۱۵۰	$\phi = 20^\circ$
۰/۵۳	۲۶/۹۶	۳۹/۸۱	۳۵/۴۲	۱۳۲۷/۵	۳۰۰	
۰/۵۳	۲۶/۹۶	۸۹/۵۷	۳۵/۴۲	۲۹۸۶/۸۸	۴۵۰	
۰/۵۴	۲۸/۰۵	۱۳/۲۷	۳۸/۴۳	۳۳۱/۸۸	۱۵۰	$\phi = 30^\circ$
۰/۵۴	۲۸/۰۵	۵۳/۰۶	۳۸/۴۳	۱۳۲۷/۵	۳۰۰	
۰/۵۴	۲۸/۰۵	۱۱۹/۳۹	۳۸/۴۳	۲۹۸۶/۸۸	۴۵۰	
۰/۵۷	۲۹/۷۳	۲۲/۳۳	۴۳/۴۵	۳۳۱/۸۸	۱۵۰	$\phi = 40^\circ$
۰/۵۷	۲۹/۷۳	۸۹/۳۲	۴۳/۴۵	۱۳۲۷/۵	۳۰۰	
۰/۵۷	۲۹/۷۳	۲۰۰/۹۷	۴۳/۴۵	۲۹۸۶/۸۸	۴۵۰	

۶. نتیجه گیری

همانطور که از نتایج ارائه شده مشاهده می‌شود، می‌توان نتیجه گیری نمود که هر چند با افزایش زاویه برخورد و با نزدیک شدن شاخکها به قسمت استوانه ای پرتابه مقدار کار انجام شده در طی نفوذ شاخکها افزایش می‌یابد، ولیکن این مقدار انرژی در مقایسه با دیگر کارهای انجام شده، بسیار کم بوده و از آن می‌توان صرفنظر کرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با وجود مزیت استفاده از شاخک جهت به تعویق انداختن کمانش، مقدار اتلاف انرژی در طی نفوذ آن بسیار ناچیز است.

۷. مراجع

- [6]. M.Zaid and B. Paul, "Normal perforation of a thin plate by truncated conical projectiles", J. Franklin Inst. 265,317-336 (1958).
- [7]. M.Zaid and B. Paul, "oblique perforation of a thin plate by truncated conical projectiles". J. Franklin Inst. 268, 24-45 (1959).
- [8]. B. Landkof and Goldsmith, "petalling of thin. Metallic plates during penetration by cylindro-conical projectiles, Int.J.solids structures. 21.245-266(1985).
- [9]. Joseph M.Karft, "Surface friction in ballistic in ballistic penetration", J.appl.phys.26.No.10(1955).
- [10]. W.Goldsmith and A. Finnegan, "normal and oblique impact of cylindro – conical and cylindrical projectiles on metallic plates", Int. J.Impact Engng. 4, 83-105(1986).
- [11]. G.H.Liaghat, "PhD Thesis", U.M.L.S.T. England (1989).
- [۱۲]. پل، محمدحسین؛ "نفوذ مایل پرتابه های مخروطی در اهداف فلزی نازک". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۷۶).
- [13]. M. Hossein Pol, "G.Hossein Liaghat, Analysis of oblique penetration of conical projectiles into thin metallic targets", ATEM'07, JSME-MMD (2007).
- [14]. S.H.Ghaderia, H.M.Naeini and G.H.Liaghat, "Numerical analysis of plastic deformation of a circular sheet metal subjected to transverse impact loading", Int. J.Impact Engng., 34,668-680 (2007).

- [1]. H.Bethe, "An attempt at a theory of penetration", Frankford Arsenal. (1941).
- [2]. Taylor, "The formation and enlargement of a circular hole in a thin plastic sheet", Quart, J. Mech. Appl.Math. 1,103-124(1948).
- [3]. W.T.Thomson, "An approximate theory of amour penetration", J.Appl. phys.26 (1), 80-82(1955).
- [4]. W. Johnson, "Strain analysis", 8, 3,228-241(1973).
- [5]. R.L.Woodward, "The penetration of metal targets by conical projectiles", Int. J. Mech .Sci.20, 349-359(1978).

- [15]. H.Khoda-rahmi, "A.Fallahi and G.H.Liaghat, Incremental deformation and penetration analysis of deformable projectile into semi-infinite target, Int.J.solids structures, 43,569-582(2006).
- [16]. G. H.Liaghat and A. Alavinia, "A comment on the axial crush of metallic honeycombs by Wu and Jiang", Int. J.Impact Engng.,28,1143-1146 (2003).
- [17]. G. H.Liaghat and A.Malekzadeh, "A modification to the mathematical model of perforation by Dikshit and Sundararajan, Int", J.Impact Engng.,22,543-550 (1999).