

ساخت و تحلیل دستگاه اندازه گیری و مقایسه ضربه کلت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰

کد مقاله: ۹۱۲۵۶

محمد امین فرهمندفر^{۱*}، اصغر مهدیان^۲

چکیده

در این پروژه ضمن بررسی نمونه دستگاه مقایسه‌ی ضربه کلت، با بررسی نیازهای موجود و طراحی جدید و بومی، یک نمونه با کارایی مد نظر ساخته شده است. طی این مقاله به اقدامات انجام شده و روند طی شده جهت رسیدن به این دستاورد پرداخته می‌شود. هدف این پروژه بررسی و ساخت تجهیزاتی جهت تست و مقایسه میان سلاح‌های کمری که در تمامی ارگان‌های نظامی مورد استفاده است، بوده دستاورد آن طراحی دستگاهی است که حداکثر ثبات و دقت را حفظ کرده و برای اکثر سلاح‌های گرم دستی قابل استفاده باشد و حداکثر دقت را در حداقل هزینه در اختیار قرار دهد. با جمع‌آوری داده‌هایی از تنها نمونه خارجی دستگاه و سپس بررسی ضربه ناشی از شلیک گلوله کالیبر ۹ میلی‌متر، طراحی مکانیزم‌های مد نظر و تحلیل در نرم‌افزار المان محدود انجام شده و در نهایت با هدف کاهش هزینه ساخت و تست نمونه اولیه روش تولید مناسب پیشنهاد گردیده است. این دستگاه کارایی‌های بسیار زیادی در حوزه تست و بهینه‌سازی سلاح‌های کمری داشته و به ارتقا عملکرد کلت‌ها کمک شایانی نموده است.

واژگان کلیدی: ضربه، روش تولید، کالیبر ۹، نرم‌افزار المان محدود، ارتقا، بهینه‌سازی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، (نویسنده مسئول)
fmaf.farahmand@aut.ac.ir

۲- هیئت علمی دانشگاه مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر شاهین شهر

۱- مقدمه

سلاح‌ها اهمیت بسیار بالایی در دفاع از شخص و یا جامعه دارند و در این میان سلاح‌های کمری نوعی بسیار متداول و دارای پیشینه‌ی طولانی‌تری هستند و همچنان جای خود را در میان سلاح‌های به روز حفظ کرده‌اند و به روز شده‌اند. برای ارتقا و یا بررسی میان انواع آن‌ها نیازمند تجهیز هی هستیم تا بتوان به این مهم دست یافت. در این مقاله به بررسی و ساخت تجهیز هی جهت تست و مقایسه میان سلاح‌های کمری پرداخته شده است که در تمامی ارگان‌های نظامی مورد استفاده بوده و هدف از این کار طراحی دستگاهی است که حداکثر ثبات و دقت را حفظ کرده و برای اکثر سلاح‌های گرم دستی قابل استفاده بوده و حداکثر دقت را در حداقل هزینه در اختیار قرار دهد. همه چیز به گونه ای طراحی شده که تیراندازی آزمایشی به صورت بی‌خطر، قابل حمل، دقیق و ساده باشد. این دستگاه به منظور رفع خطای انسانی اسلحه را به طور دقیق آزمایش می‌کند و یک شلیک کاملاً ایمن در آزمایش خواهد داشت. افتخار این را داریم که بگوییم در این زمینه تنها یک شرکت در دنیا عمل کرده است که شرکت «رنسوم رست»^۱ می باشد که نمونه خارجی امکانات بسیار محدودی نسبت به دستگاه ساخته شده دارد. در ابتدا می‌بایست گفت که منابع مورد بررسی برای این موضوع به پنج محدوده تقسیم می‌شود که عبارتند از: نیروها و فشارها، گلوله‌ها و کالیبرها، نمونه خارجی دستگاه، اجزا داخلی و روش‌های امان محدود با توجه به جدید و کاربردی بودن این وسیله بیشتر مطالب و مقالات در رابطه با تست‌های گرفته شده توسط این دستگاه به منظور طراحی، ارتقا و یا بهینه سازی سلاح‌های کمری است بنابراین در این مقاله بر اساس پژوهش‌های مورد نیاز در جهت طراحی و بومی سازی دستگاه، به ارائه پیشینه پژوهشی پرداخته شده است.

شرکت رنسوم رست در سال ۲۰۱۹ [۱] جزئیات طراحی خود را در قالب یک نمونه تولید انبوه به ارائه گذاشته تا علاوه بر ارگان‌های نظامی افرادی هم که به صورت شخصی دارای سلاح‌های کمری هستند قابلیت استفاده و بهره‌گیری عمومی از این دستگاه را داشته باشند. شرکت SMI^۲ که یک شرکت تولید انبوه انواع فنرهای مورد نیاز دنیا می‌باشد در سال ۱۹۹۱ طی پژوهش انجام شده و استفاده از تمامی ظرفیت‌های ساخت این شرکت [۲] منجر به انتشار کتاب استانداردهای طراحی و تولید انواع فنرهای صنعتی و خاص گردید. دیویدسون در سال ۲۰۱۶ طی کتابی [۳] به بررسی ضرائب مختلف دیسک‌های اصطکاکی در شرایط مختلف پرداخته و به ارائه تاثیر جنس دیسک‌های اصطکاکی در ضریب اصطکاک و روش ساخت آن‌ها اشاره نموده است. دنگ [۴] در سال ۲۰۱۴ طی مقاله‌ای به محاسبه تاثیر فشار و نیروی گلوله کالیبر ۹ به روش اجزا محدود ارائه نموده است. طی این پژوهش تاثیر خان اسلحه و فشار پشت گلوله مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته است. در سال ۱۹۸۰ ویلیامز [۵] در کتابی به معرفی دقیق انواع گلوله و مشخصات دقیق آن‌ها پرداخته است. از مشخصه‌های مهم هر گلوله که در این کتاب ذکر گردیده می‌توان به سرعت، وزن و میزان باروت موجود در گلوله علاوه بر ابعاد دقیق آن اشاره نمود. احمد [۶] طی پژوهشی در راستای تاثیرات دیسک‌های اصطکاکی در سال ۲۰۱۹ به طراحی دیسک‌های آلومینیومی و ترکیبات کامپوزیت فلزی در ساخت این دیسک‌ها اشاره نموده است. جاسک [۷] در سال ۲۰۰۶ به بررسی نیازهای ساختی و آنالیز سلاح‌های کمری تولید انبوه و تولیدات دستی پرداخته و مشخصات دقیق مورد نیاز در این پژوهش برای راه اندازی و کاربرد آن‌ها ارائه نموده است. روث و ماهر [۸] طی پژوهش در سال ۲۰۱۶ به بررسی دینامیک موج متشکله از شلیک گلوله از اسلحه با استفاده از آنالیز داده‌های تئوری و تجربی پرداخته اند. هبرت [۹] در راستای تاثیر خوش دستی و رعایت استانداردهای طراحی اکونومیک و الزام آن در این قبیل محصولات به ارائه پیش نیازها پرداخته و در سال ۲۰۰۰ این مجموعه تجربیات را در قالب مقاله‌ای گردآوری نموده است. در سال ۲۰۰۴ کیو [۱۰] با بررسی تجربی دیسک‌های اصطکاکی فولادی مورد استفاده در صنایع مختلف به تاثیر ساخت و متریال مورد استفاده در ضرائب اصطکاکی حاصله پرداخته است. کیم [۱۱] در سال ۲۰۲۰ به بررسی دقیق کالیبر ۹ میلیمتری در نفوذ در مواد مختلف بر اساس جنس ماده و انرژی مورد نیاز، در قالب نتایج تجربی تست استاندارد نظامی پرداخته است و از این مجموعه در قالب یافتن میزان انرژی اولیه این کالیبر می‌توان به خوبی بهره برد.

۲- روند طراحی

به منظور طراحی این دستگاه بایستی پس از جمع آوری اطلاعات نمونه خارجی و نیاز صنعت با استفاده از شناخت دقیق ظرفیت صنعتی داخل کشور، با محاسبه حدودی ضربه ناشی از شلیک گلوله بر اساس تحقیقات صورت گرفته، مقالات و نتایج تجربی و استفاده از این نتایج در انتخاب دیسک اصطکاکی و طراحی فنر پیچشی پرداخت. برای انتخاب جنس بدنه دستگاه بر اساس نتایج محاسبات می‌توان حتی از جنس کامپوزیت نیز استفاده نمود اما برای تعبیه مقاومت مناسب و استفاده از دستگاه در هر محیطی و تکنولوژی ساخت در دسترس به انتخاب آهن ST3037 پرداخته شده است. پس از طی موارد فوق با انجام مهندسی معکوس قطعه مورد نظر در نرم افزار کتیا مدل سازی شده و با توجه به نیاز صنعت قابلیت‌های مازاد با طراحی مکانیزم‌های مورد نیاز افزوده شده است. پس از طی این مراحل برای اطمینان اولیه از صحت عملکرد دستگاه تست اولیه در قالب استفاده از نرم افزار آباکوس به منظور بررسی مدل سازی صورت گرفته و متریال انتخابی انجام گرفته و پس از آن تست طراحی معادل ثانویه برای این

1 Ransom rest

2 Spring Manufacturers Institute

دستگاه طراحی شده و در نهایت در گام آخر پس از اطمینان از مراحل فوق دستگاه تحت بارگذاری قرار گرفته و تست سلاح در آن صورت گرفته است.

۳- تئوری طراحی دستگاه

۳-۱ محاسبه ضربه

در حالت کلی می توان ضربه ایجاد شده توسط نیروی F بین زمان های t_1 و t_2 را به صورت زیر نوشت:

$$J = \int_{t_1}^{t_2} F dt \quad (۱)$$

$$P = \frac{F}{A} \quad (۲)$$

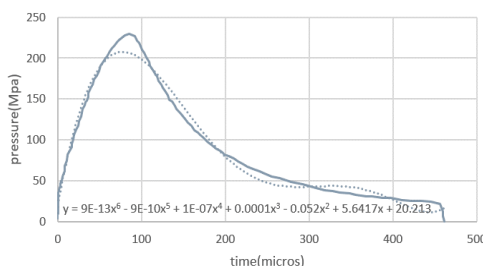
بنابر استفاده از رابطه ۲، رابطه ۱ به شکل ذیل قابل تبدیل است:

$$J = \int_{t_1}^{t_2} P.A dt \quad (۳)$$

حال با استفاده از مشخصات گلوله کالیبر ۹ می توان برای محاسبه ضربه ناشی از شلیک گلوله از رابطه ذیل استفاده نمود:

$$J = A \int_{t_1}^{t_2} P dt = V(m_p + 1.5m_c) = 390 \times ((0.001) \times (7.45 + 1.5 \times 0.39)) = 3.1336 (kg.m / s) \quad (۴)$$

از روشی دیگر با توجه به نمودار ذیل که از نتایج تست فشار پشت گلوله حاصل گردیده است می توان ضربه را به شکل ۱ ذیل محاسبه نمود.



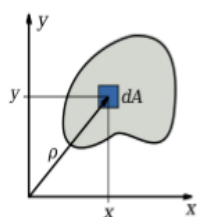
شکل ۱- نمودار فشار ناشی از شلیک گلوله

با استفاده از رابطه ۲ و در نظر گرفتن سطح مقطع گلوله و رابطه فشار بر حسب زمان مطابق تصویر فوق مقدار ضربه ناشی برابر خواهد بود:

$$J = A \int_{t_1}^{t_2} P dt = \left(\frac{\pi}{4} (0.009^2) \right) \int_{t_1}^{t_2} P dt = 3.189 (kg.m / s) \quad (۴)$$

۳-۲ محاسبه گشتاور دوم سطح:

خاصیتی است که به وسیله آن می توان رفتار یک تیر در مقابل خمش و تغییر شکل حول محورهای آن را بررسی نمود. میزان تنش و تغییر شکل خمشی تیر به مولفه های بار وارده و شکل هندسی مقطع بستگی دارد، هر مقدار ممان اینرسی مقطع بیشتر باشد میزان تنش و تغییر شکل خمشی مقطع کمتر خواهد بود، به همین دلیل است که تیرها با ممان اینرسی بزرگتر، مانند مقاطع I شکل، در ساختمان ها مورد استفاده واقع می شوند. برای یک المان دو بعدی گشتاور دوم سطح با استفاده از شکل بصری ذیل قابل محاسبه خواهد بود:



شکل ۲- المان دو بعدی

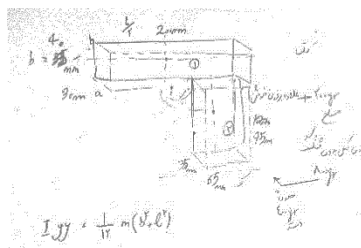
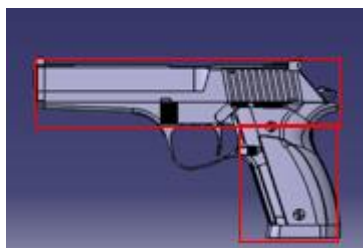
$$I_x = \int_S y^2 dA \quad (۵)$$

$$I_y = \int_S x^2 dA \quad (۶)$$

$$I_{xy} = \int_S xy dA \quad (۷)$$

$$I_0 = \int_S r^2 dA \quad (۸)$$

با توجه به روابط فوق برای استفاده در طراحی و محاسبه اولیه دستی بایستی برای راحتی محاسبات کلت و دستگاه را به اجزا ذیل خرد نموده و محاسبات انجام گردد بدین منظور مطابق شکل ۳ و ۴، محاسبات به شرح ذیل خواهد بود:



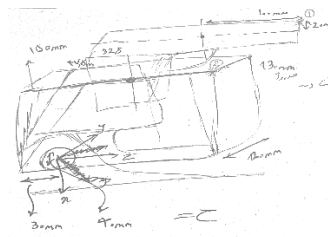
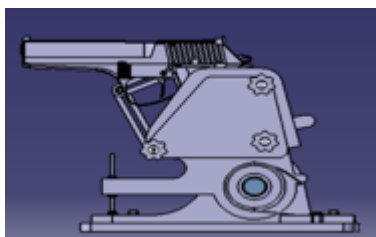
شکل ۳- تصویر کلت در محاسبات گشتاور دوم سطح

با توجه به وزن کلت در حدود ۱ کیلوگرم و بخش بندی فوق که ناحیه فوقانی در حدود ۰,۴ کیلوگرم و ناحیه دیگر که شامل خشاب و گلوله‌ها خواهد بود در حدود ۰,۶ کیلوگرم خواهند بود.

$$I_{yy} = \int_S x^2 dA = \frac{1}{12} m(b^2 + l^2) \quad (9)$$

$$\rightarrow 1) I_{yy} = \frac{1}{12} (0.4)(0.04^2 + 0.2^2) = 1.3866 \times 10^{-3} \quad (10)$$

$$\rightarrow 2) I_{yy} = \frac{1}{12} (0.6)(0.065^2 + 0.095^2) = 6.625 \times 10^{-4} \quad (11)$$



شکل ۴- تصویر دستگاه در محاسبات گشتاور دوم سطح

برای محاسبات خود دستگاه که مطابق شکل فوق به صورت یک مکعب مورد تقریب واقع شده است، نیز برابر خواهد بود با:

$$I_{yy} = \int_S x^2 dA = \frac{1}{12} m(b^2 + l^2) \quad (12)$$

$$\rightarrow 3) I_{yy} = \frac{1}{12} (6)(0.13^2 + 0.15^2) = 0.0197 \quad (13)$$

$$z_{C.G} = 75cm, x_{C.G} = 65cm \quad (14)$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 \quad (15)$$

$$\rightarrow I_{total} = 0.064616203 \quad (16)$$

۳-۳- محاسبه سختی فنر پیچشی و طراحی آن

به منظور محاسبه سختی فنر پیچشی با استفاده از روابط انرژی جنبشی و محاسبات فوق، روابط به شرح ذیل خواهند بود. از رابطه ۳ و ۴ و همچنین برابری این رابطه با حاصل ضرب گشتاور دوم سطح در سرعت دورانی، رابطه ذیل صورت می گیرد.

$$I_{total} \omega = 0.064616203 \times \omega = A \int P l dt = 0.4575129 \quad (17)$$

$$\rightarrow \omega = 7.080467108 \quad rad / s \quad (18)$$

$$\rightarrow \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} K (\theta_2^2 - \theta_1^2) = \frac{1}{2} K (0.177218616 - 0.007615435495) \quad (19)$$

$$\rightarrow K = 19.099$$

جدول ۱- پارامترهای مورد نیاز طراحی فنر پیچشی

پارامتر	شرح پارامتر	مقدار
D (mm)	قطر حلقه فنر	۵۲
s (psi)	سفتی گشتاور فنر	۲۰۰۰۰۰
$J = F \times t$ (N.s)	ضربه	۳,۲
l (m)	طول مفتول	۰,۱۴۶
t (ms)	زمان توقف دستگاه	۷,۵
T (°/°)	تورک ناشی از پیچش	۰,۰۶۷
E (psi)	مدول الاستیک یانگ	۱۴,۷ E+۷
d (mm)	قطر مفتول	۴,۳۷

با توجه به توضیحات فوق سختی فنر محاسبه گردید اما برای طراحی و ساخت آن با استفاده از کتاب طراحی فنرها [۲] بایستی روند ذیل طی گردد. طبق این مرجع برای محاسبات و تکمیل دفترچه طراحی فنر قید شده در مرجع، بایستی پارامترهای پیش فرض ذیل انتخاب گردیده و سپس روند طراحی ادامه یابد.

حال با داده‌های فوق به محاسبات ذیل جهت بدست آوردن قطر مفتول و تعداد دور فنر پرداخته شده است:

$$\text{for } t = 7.5 \text{ ms} \quad \& \quad F \times t = 3.2 \rightarrow F = 426.67 \text{ N} = 95.91848 \text{ lb} \quad (20)$$

$$M = F \times R = 95.91848 \times 1.023622_{in} = 98.1843 (\text{lb.in}) \quad (21)$$

$$S = \frac{32M}{\pi d^3} \rightarrow d = 0.171003127_{in} = 4.37 \text{ mm} \quad (22)$$

$$M = \frac{ETd^4}{10.8DN} \rightarrow N = 3.975095 \approx 4 \quad (23)$$

حال تمامی داده‌های مورد نیاز تکمیل گردیده و در صورت اهمیت بالایی تفرانس‌های ساخت طبق تصاویر ذیل مورد بررسی قرار خواهند گرفت و به سازنده اعلام خواهد شد.

Table 2.
TORSION SPRINGS

Free Angle Tolerances, $\pm$ degrees

Number of Coils N_t	Spring Index, D/d									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
1	2	3	3.5	4	4.5	5	5.5	5.5	6	
2	4	5	6	7	8	8.5	9	9.5	10	
3	5.5	7	8	9.5	10.5	11	12	13	14	
4	7	9	10	12	14	15	16	16.5	17	
5	8	10	12	14	16	18	20	20.5	21	
6	9.5	12	14.5	16	19	20.5	21	22.5	24	
8	12	15	18	20.5	23	25	27	28	29	
10	14	19	21	24	27	29	31.5	32.5	34	
15	20	25	28	31	34	36	38	40	42	
20	25	30	34	37	41	44	47	49	51	
25	29	35	40	44	48	52	56	60	63	
30	32	38	44	50	55	60	65	68	70	
35	35	43	50	57	64	71	78	84	90	100

Table 1.
TORSION SPRINGS

Coil Diameter Tolerances, $\pm$ in. (mm)

Wire Dia., In. (mm)	Spring Index, D/d							
	4	6	8	10	12	14	16	
0.015	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
(0.38)	(0.05)	(0.05)	(0.05)	(0.05)	(0.08)	(0.08)	(0.10)	(0.10)
0.023	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006
(0.58)	(0.05)	(0.05)	(0.05)	(0.08)	(0.10)	(0.13)	(0.15)	(0.15)
0.035	0.002	0.002	0.002	0.003	0.006	0.007	0.009	0.009
(0.89)	(0.05)	(0.05)	(0.08)	(0.10)	(0.15)	(0.18)	(0.23)	(0.23)
0.051	0.002	0.003	0.005	0.007	0.008	0.010	0.012	0.012
(1.30)	(0.05)	(0.08)	(0.13)	(0.15)	(0.20)	(0.25)	(0.30)	(0.30)
0.076	0.003	0.005	0.007	0.009	0.012	0.015	0.018	0.018
(1.93)	(0.08)	(0.13)	(0.18)	(0.20)	(0.30)	(0.38)	(0.46)	(0.46)
0.114	0.004	0.007	0.010	0.012	0.018	0.022	0.028	0.028
(2.90)	(0.10)	(0.18)	(0.25)	(0.30)	(0.46)	(0.56)	(0.71)	(0.71)
0.172	0.006	0.010	0.013	0.016	0.027	0.034	0.042	0.042
(4.37)	(0.15)	(0.25)	(0.33)	(0.51)	(0.69)	(0.86)	(1.07)	(1.07)
0.250	0.008	0.014	0.022	0.030	0.040	0.050	0.060	0.060
(6.35)	(0.20)	(0.36)	(0.56)	(0.76)	(1.02)	(1.27)	(1.52)	(1.52)

شکل ۵- تفرانس‌های طراحی فنر پیچشی

۳-۴- ضرائب دیسک اصطکاکی

یکی از چالش‌ها در تحلیل و تست تئوری این دستگاه اصطکاکی فیبر و صفحه متحرک در ورژن مکانیزم اصطکاکی دستگاه بوده که مستلزم بررسی بسیار دقیق و استفاده از آخرین تحقیقات انجام شده در این زمینه است که با استفاده از موارد یاد شده موانع مرتفع گردید.

Reference values of friction coefficients for friction materials

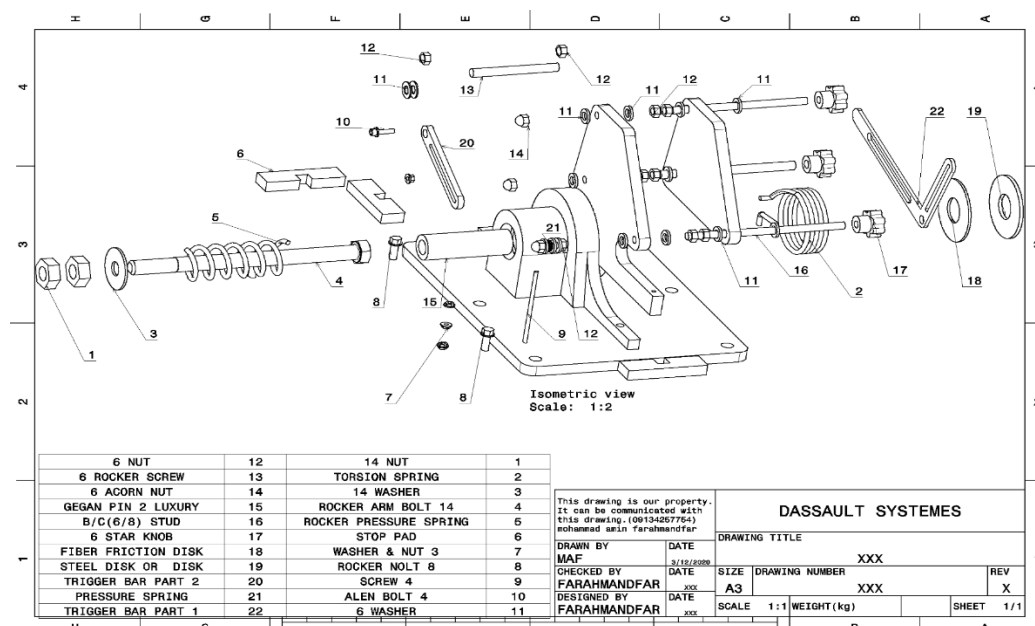
Friction face	Backing	Coefficient of friction		Max. temp. (°C)	Max. surface pressure (N/cm²)
		Lubricated	Dry		
Phosphor bronze	Chr. plated hard steel	0.03-0.05	—	260	100
Hard steel	Chr. plated hard steel	0.03	—	260	140
Lignum vitae	Steel	0.16	0.2-0.35	200	40-60
Leather	Steel	0.12-0.15	0.3-0.5	90	7-28
Leather	Oak	—	0.3-0.5	90	7-28
Fibre	Steel	—	0.3-0.5	90	5-10
Cork	Steel	0.15-0.25	0.3-0.5	90	3.5-70
Felt	Steel	0.18	0.22	135	—
Bakelite	—	—	—	—	—
Synthetic resin bonded paper	Steel	0.1-0.15	0.25	200	70
Synthetic resin bonded fabric	Steel	—	0.05	300	—
Teflon	Steel	—	0.05	300	—

شکل ۶- ضرائب اصطکاکی دیسک اصطکاکی [۳]

۴- طراحی و ساخت دستگاه

با توجه به نیاز صنعت مبنی بر تست سلاح‌های کمربندی و الزام شرایط استاندارد بارگذاری و خشاب گذاری دستگاه، طراحی برای بازگشت دستگاه به حالت اولیه (پیش از شلیک) و تست سلاح‌های با قدرت بالاتر از کالیبر ۹ برای شرایط خاص فنر پیچشی مورد نظر طراحی گردیده تا با کمک دیسک اصطکاکی به جهت سنجش حالت‌های پیچیده‌تر از قدرت کافی برخوردار باشد. از آنجا که هزینه تمام شده دستگاه از اولویت‌های صنعت مورد نظر بوده است، اهمیت انتخاب متریال بهینه و روش ساخت در این پروژه بسیار بالاست. بدین منظور پس از طراحی دستگاه در نرم افزار کتیا، روش‌های مختلف ساخت دستگاه شامل روش‌های ماشینکاری با دستگاه، ریخته‌گری، فرز و لیزر مورد ارزیابی قرار گرفت که به ترتیب هزینه‌هایی برابر با ۲۹، ۳۴، ۱۷ و ۶ میلیون تومان را در بر داشت. برای ساخت به روش لیزر نوآوری نوینی در صنعت ساخت با استفاده از ساخت مرحله‌ای و فناوری چسب‌های چند فازی و استفاده ابزار خاص مورد استفاده قرار گرفته و ترکیب دانش مهندسی و روش ساخت مهندسی منجر به صرفه جویی اقتصادی در

این مورد گردیده است چرا که هزینه واردات این دستگاه (نمونه خارجی) که قابلیت‌های کمتری نسبت به نمونه بومی تولید شده دارد معادل ۳۵ میلیون تومان خواهد بود.



شکل ۷- نمای انفجاری دستگاه

در شکل ذیل میله‌ای زائد در فک قرار گیری کلت قرار گرفته تا محل قرارگیری کلت به خوبی نمایان باشد اما از جهت ضخامت برابری با کلت نداشته اما همان طور که در شکل گویاست پیچ‌های تنظیم قابلیت قرارگیری را تقویت می‌کنند.



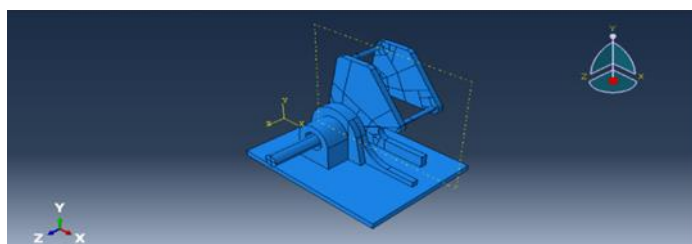
شکل ۸- دستگاه ساخته شده

۵- صحت سنجی عملکرد

تست تئوری این دستگاه، با داشتن ضربه حاصله از شلیک گلوله کالیبر ۹ و استفاده از قوانین حاکم بر سرعت دورانی و بازوی گشتاور ضربه مورد نظر شبیه سازی شده است. برای تست تئوری نیز از نرم افزار آباکوس استفاده شده، به شبیه سازی کامل قطعات اصلی دستگاه پرداخته و با قراردادن نیروها و سایر تنظیمات تحلیل دینامیکی دستگاه انجام شده است.

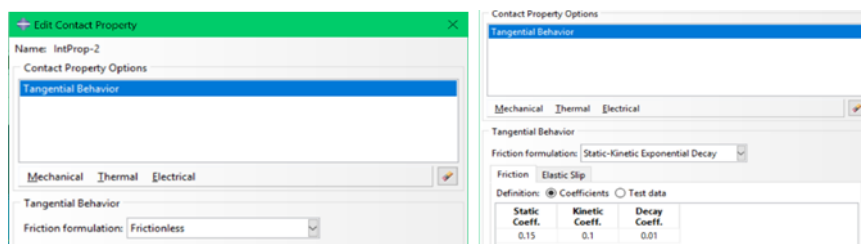
۵-۱- تست اجزا محدود دستگاه

در این حالت طراحی کتیا دستگاه با در نظر گرفتن جزئیات دیسک اصطکاکی مورد ارزیابی و تحلیل دینامیکی در نرم افزار آباکوس قرار گرفته است که در شکل ذیل مدل طراحی شده و فراخوانی شده در این نرم افزار مشاهده می‌گردد:



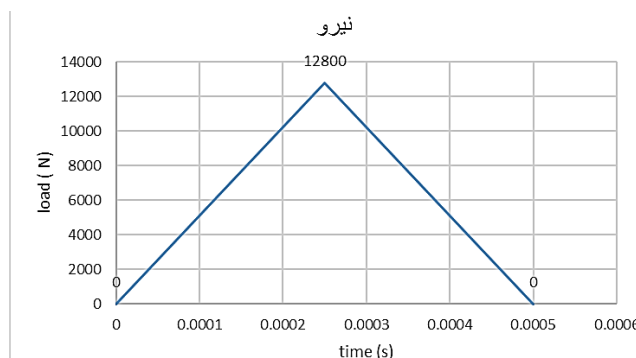
شکل ۹- مدل فراخوانی شده دستگاه در نرم افزار آباکوس

سیس با تعبیه خواص متریکال استفاده شده در پروسه طراحی، در این نرم افزار و انتخاب زمان حل معادل ۰,۰۸ ثانیه و تعبیه خواص دیسک اصطکاکی از طریق ماژول اندرکنش اصطکاکی در این نرم افزار به ضرائب ذیل پرداخته شده است.



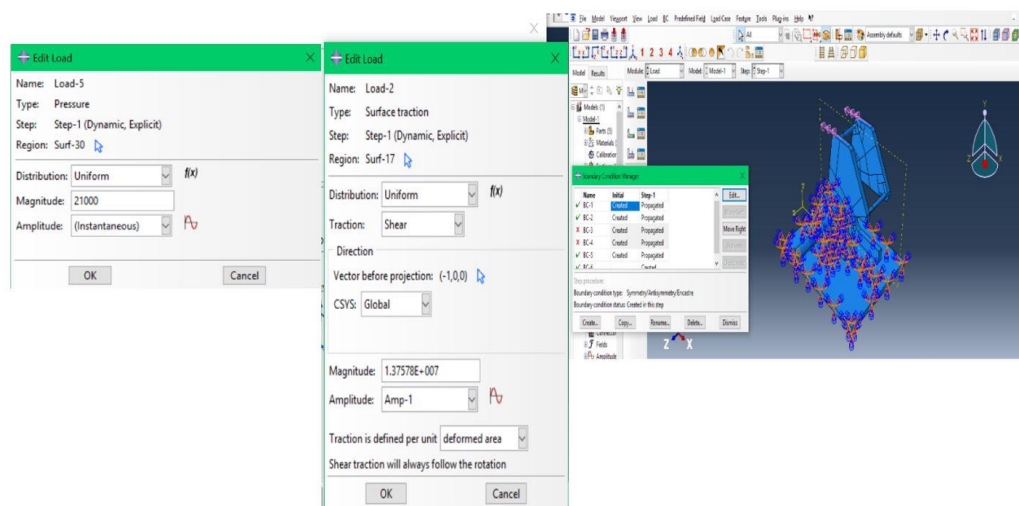
شکل ۱۰- ضرائب دیسک اصطکاکی در نرم افزار آباکوس

حال پس از تعبیه شرایط فوق، باید به تعبیه شرایط بارگذاری مساله پرداخت. بدین منظور با توجه به محاسبات تئوری صورت گرفته ضربه معادل ۳,۲ خواهد بود که با توجه به زمان ورود ضربه که معادل ۰,۵ میلی ثانیه در کل خواهد بود نسبت به بارگذاری مثلی به شکل ذیل عمل شده است.



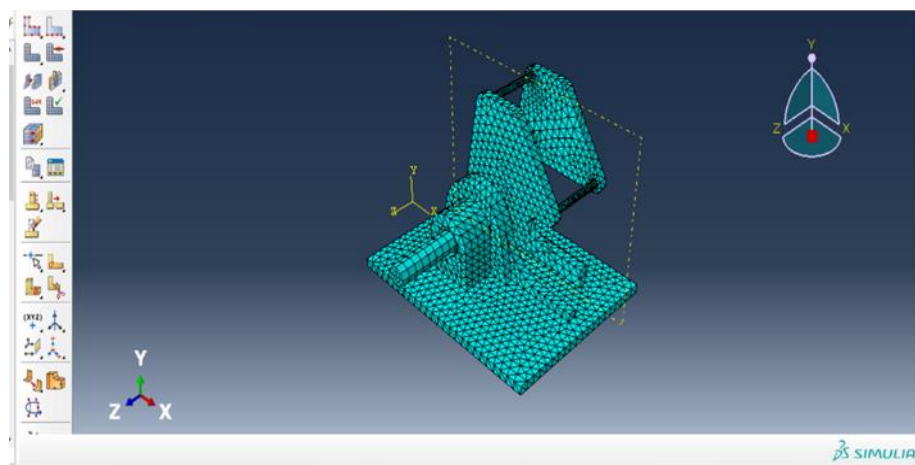
شکل ۱۱- نمودار بارگذاری ضربه معادل

نیروی معادل که از نوع برشی وارده بر فک متحرک دستگاه می باشد به صورت ذیل در نرم افزار آباکوس تعریف گردیده است.



شکل ۱۲- بارگذاری نیرو معادل

پس از بارگذاری یاد شده با تعبیه مش مناسب برای دستگاه به شکل ذیل به بررسی شرایط مختلف مش و نتایج پرداخته شده است.



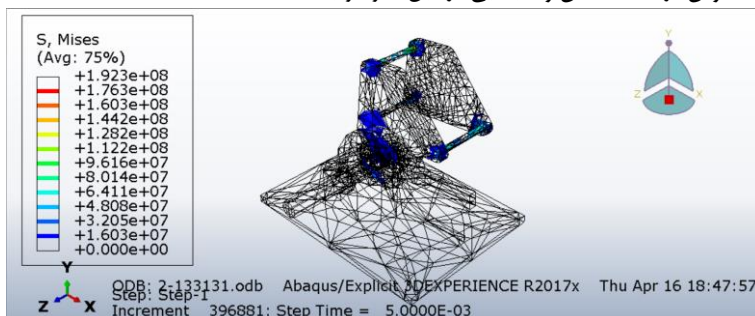
شکل ۱۳- مش دستگاه

براساس تحلیل صورت گرفته نتایج همگرایی حل بر اساس تطابق حل با نتایج آزمایش تجربی صورت گرفته توسط دستگاه با کلت برتا کالیبر ۹ مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج به شرح جدول ذیل است.

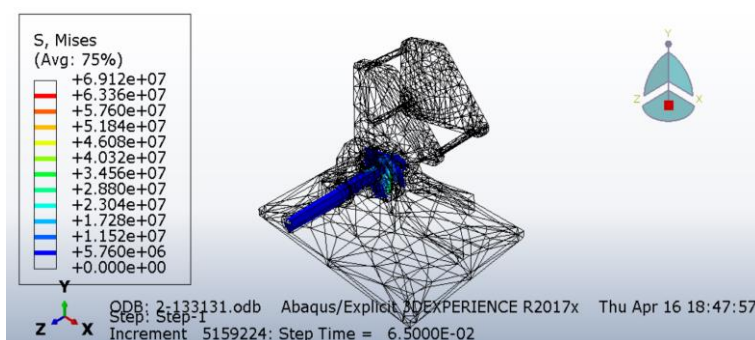
جدول ۲- مقایسه نتایج تست آباکوس

اندازه مش	زمان پیشینه جابجایی	پیشینه جابجایی	پیشینه تنش	زمان توقف فک متحرک
۰,۱	۱۵ میلی ثانیه	۲,۵۹۹ سانتی متر	$3,214 \text{ E}+8$	۶۰ میلی ثانیه
۰,۰۵	۸ میلی ثانیه	۲,۴۹۵ سانتی متر	$2,478 \text{ E}+8$	۶۰ میلی ثانیه
۰,۰۲۵	۸ میلی ثانیه	۲,۴۹۴ سانتی متر	$2,475 \text{ E}+8$	۶۰ میلی ثانیه
۰,۰۱۲۵	۸ میلی ثانیه	۲,۴۹۳ سانتی متر	$2,473 \text{ E}+8$	۶۰ میلی ثانیه

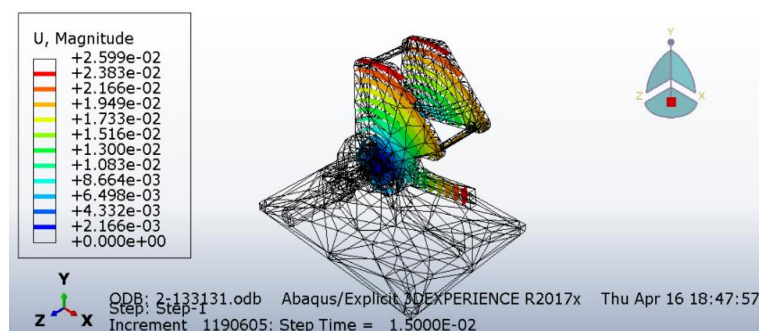
نتایج نرم افزار آباکوس در حالات تنش و جابجایی در ذیل ذکر گردیده است.



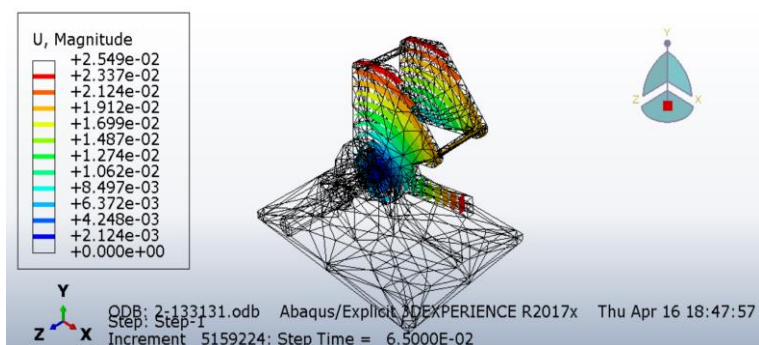
شکل ۱۴- نتایج تنش برای زمان ۰/۰۰۵ ثانیه



شکل ۱۵- نتایج تنش برای زمان ۰/۰۶۵ ثانیه



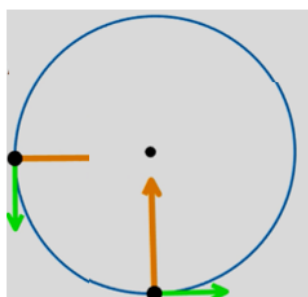
شکل ۱۶- نتایج جابجایی برای زمان ۰/۰۱۵ ثانیه



شکل ۱۷- نتایج جابجایی برای زمان ۰/۰۶۵ ثانیه

۵-۲- تست تجربی دستگاه

به منظور تست تجربی دستگاه ۲ رویکرد موجود است در رویکرد اول تست مورد نظر برای اعمال ضربه معادل به وسیله فلزی تست به دستگاه بسته شده و سپس ضربه معادل به دستگاه بر اساس اصل بازوی دورانی و سرعت برخورد اعمال می‌گردد و نتایج حاکی از جابجایی معادل ۲٫۸ سانتی متری فک متحرک است.



شکل ۱۸- نتایج تست عملی رویکرد اول



شکل ۱۹- نتایج تست عملی رویکرد دوم برای نمونه خارجی دستگاه

طی رویکرد دوم تست تجربی دستگاه طی شلیک گلوله کالیبر ۹ است که به دلایلی برای صحت سنجی عملکرد تصویر نمونه خارجی دستگاه مورد قیاس قرار گرفته است که مطابق نتایج آن جابجایی حداکثری معادل ۲٫۶۸ سانتی متر می‌باشد. البته این مقادیر با تنظیم مقدار ثابت فشار وارده بر دیسک اصطکاکی دستگاه بدون استفاده از قفل مکانیزم و فنر پیچشی است تا قیاس نتایج مورد نظر بدون دخالت شرایط مازاد صورت گیرد.

۶- بحث و نتیجه گیری

ابتدا با توجه به شناخت موضوع شروع به جمع آوری اطلاعات در مورد موضوع شده و در همین مرحله با استفاده از فیلم‌ها و تصاویر موجود در اینترنت برای نمونه‌ی خارجی این دستگاه شروع به شناخت مکانیزم‌های استفاده شده در دستگاه گردیده است.

حال از طریق شناخت عملکرد کلت و گلوله به تجزیه و تحلیل نیروها پرداخته شده است؛ با طی این روند و شناخت نیروها و انجام برخی محاسبات دستی جنس مواد و وسایلی که می‌بایست استفاده می‌شد مشخص گردیده و با توجه به نیاز سازمان‌ها و مشتریان امکانات مورد نیاز داخلی را در عین استاندارد بودن دستگاه در جهت افزایش کارایی آن ایجاد شده است که از جمله آن‌ها مکانیزم خنثی سازی ضربه فنر پیچشی و امکان قفل دستگاه جهت نصب لودسل و علاوه بر آن نصب درجه بندی و به نوعی نمایشگر آنالوگ بر روی دستگاه را می‌توان نام برد. از آنجا که هدف در ساخت رسیدن به نمونه اولیه‌ای با حداقل هزینه و بیشترین دقت و کارایی بوده است قطعات پس از طراحی در نرم‌افزار کتیا و گرفتن خروجی مورد نیاز توسط لیزر برش خورده و آماده شدند. اتصال آن‌ها توسط فرایند خاص ساخت مهندسی و پیچ‌های استاندارد موجود انجام گردیده است. فنر خاص طراحی شده نیز توسط دستگاه فنر پیچی تولید و بر روی دستگاه نصب گردیده است. سایر تجهیزات استفاده شده نیز بر اساس مکانیزم‌های ساده طراحی شده تهیه شده است؛ در همین حین می‌بایست محاسبات دقیق تئوری به پیش می‌رفت پس با مدلسازی دستگاه علاوه بر این که در نرم‌افزار کتیا این کار شده بود در نرم‌افزار آباکوس نیز انجام شده است و نتایج بدست آمده با نتایج واقعی هر دو نمونه داخلی و خارجی مورد مقایسه واقع گردیده که تطابق بسیار خوبی دارند. بنابر طراحی صورت گرفته این دستگاه علاوه بر قابلیت‌های نمونه خارجی شامل:

- تست دقت کلت
 - مقایسه ضربه و دقت کلت ها با هم
 - تست برد گلوله
 - تست تغییر خان کلت و تاثیر آن بر برد و ضربه
- قابلیت‌های جدید مورد نیاز صنعت شامل:
- تست به صورت عامل نگهدارنده فنر پیچشی
 - امکان تست با استفاده از لودسل
 - امکان قفل دستگاه
 - نمایش گر درجه و سفتی فنر آنالوگ
- را نیز دارا می‌باشد.

منابع

1. Ransom Rest International Corporation, products, Arizona, <https://ransomrest.com>, Last modified: June 13 2019.
2. SMI (1991). Spring Manufacturers Institute, Torsion Springs, Handbook of Spring Design, SMI International.
3. A.Davidson (2016). Handbook of Precision Engineering Mechanical Design Applications, Palgrave.
4. Deng, S., et al. (2014). "Transient finite element for in-bore analysis of 9 mm pistols." Applied Mathematical Modelling 38(9-10): 2673-2688.
5. Williams, M. (June 1, 1980). Practical Handgun Ballistics, Charles C Thomas Pub Ltd.
6. Ahmed, M. J., et al. (2019). "Characterization of Areva javanica fiber—A possible replacement for synthetic acrylic fiber in the disc brake pad." Journal of Industrial Textiles 49(3): 294-317.
7. Gacek, J., et al. (2006). "The analysis of application and requirements small caliber reference ammunition and Polish achievement in the field of working out national reference ammunition." Problemy Techniki Uzbrojenia 35.
8. Routh, T. K. and R. C. Maher (2016). Recording anechoic gunshot waveforms of several firearms at 500 kilohertz sampling rate. Proceedings of Meetings on Acoustics 171ASA, Acoustical Society of America.
9. Hebert, J. J. (2000). "Hand size counts in safe handgun use." Ergonomics in Design 8(4): 29-33.
10. Qu, X., et al. (2004). "The effect of steel fiber orientation on frictional properties of asbestos-free friction materials." Polymer composites 25(1): 94-101.
11. Kim, B.-R., et al. (2020). "A Study of Frangibility of 9MM Bullet Related to Material Composition and Sinter Condition." Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society 21(5): 615-622.