

تحلیل و مدلسازی و مقایسه نرخ سوزش و عقب‌روی سطح در گرین‌های هفت‌سوراخه و روزت با استفاده از نرم افزار *solid work*

مجتبی بهروزی^{۱*}، شهریار نیک‌نژاد^۲، رضا ابراهیمی^۳

دانشگاه صنعتی مالک اشتر - خواجه نصیر

(^{*}مجتبی بهروزی: m_behroozi_2005@yahoo.com)

چکیده

احتراق در یک لوله سلاح، یک احتراق غیر همگن دوفازی می‌باشد. بعد از آنکه آتشزنه محتویات درون لوله را شعله‌ور می‌کند، به سبب احتراق دانه‌های پیشرانه، فشار و دمای محصولات احتراقی بالا می‌رود. در این تحقیق ابتدا تابع شکل کلی برای دانه‌های N سوراخه بدست آورده شده و سپس معادلات سوزش و عقب‌روی سطح مربوط به دانه‌های هفت سوراخه بدست آورده شده است. نوع پیشرانه مورد استفاده، خرج پیشرانه توپ 155 mm نوع دوم با شیمی $MI\ MP$ می‌باشد. ابتدا دانه‌های هفت سوراخه با وب برابر و نابرابر در نرم افزار *Solid Works* مدل شده و سپس با در نظر گرفتن مقدار سوزش در سطوح مدل، داده‌های حجم و سطح کل طی مراحل مختلف ثبت شده است. برای مشاهده نحوه سوختن خرج، تصاویری از مراحل مختلف تهیه گردیده است. سپس همین کار با دانه روزت انجام شده و در نرم افزار مدل شده و نتایج حاصل از آن با دانه هفت سوراخه قبل مقایسه شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: عقب‌روی سطح - بالستیک داخلی - پیشرانه‌های استوانه‌ای - جریان محترق - نرخ سوزش.

۱- مقدمه

یکی از مهمترین پارامترها در طراحی لوله، فشار داخل لوله است. یک منحنی فشار ایده‌آل آن است که فشار حداکثر، کوچک باشد (تا لوله از نظر مقاومت مصالح مشکلی نداشته باشد)، سطح زیر منحنی فشار - حرکت حداکثر باشد (یعنی انرژی انتقالی به گلوله زیاد باشد) و در نهایت فشار گاز خروجی از دهانه لوله حداقل باشد تا هم انرژی کمتری هدر رود و هم ضربه وارد بر سیستم عاید^۴ و دافع کم باشد [۱].

اما منحنی فشار - حرکت به عوامل زیر بستگی دارد [۲ و ۳]:

- ۱- ترکیب شیمیایی سوخت از عوامل تعیین کننده است.
- ۲- نرخ سوزش^۵ سوخت بر منحنی فشار اثر دارد. یک سوخت تند سوز باعث افزایش سریع فشار می‌شود.
- ۳- مشخصات جرقه اولیه بر شیب اولیه منحنی اثر می‌گذارد.
- ۴- مشخصات دانه^۱های سوخت مانند نسبت دانه به حجم آن و تراکم دانه‌ها و اینکه سطح سوزش یک دانه نسبت به زمان کاهش^۲ یا افزایش^۳ و یا خنثی^۴ باشد، بر منحنی فشار - حرکت اثر می‌گذارد.

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز

۲- فوق لیسانس، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران لویزان

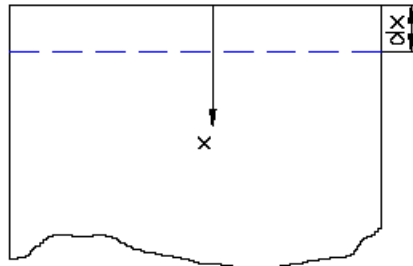
۳- دانشیار، دانشکده هوافضا- دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

4 recuperator

5 Burning Rate

۵- وزن سوخت و فاکتورهای محیطی و

اما منظور از نرخ سوزش سرعت عقب‌روی^۵ سطح سوزش دانه سوخت است. شکل (۱) بیان‌گر نحوه عقب‌روی سطح می‌باشد.



شکل ۱- مفهوم نرخ سوزش

۲- معادلات حاکم بر نرخ سوزش و تابع شکل

۲-۱- نرخ سوزش

همان‌طور که مطرح شد منظور از نرخ سوزش، سرعت عقب‌روی سطح سوزش دانه سوخت است. یعنی اگر در مدت زمان dt سطح سوزش به اندازه dx عقب‌روی داشته باشد، می‌توان نوشت [۱]:

$$\text{Burning Rate} = \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

نرخ سوزش عمدتاً به فشار بستگی دارد. این وابستگی می‌تواند بصورت ساده زیر مدل شود [۴]:

$$\frac{dx}{dt} = Bp^n \quad (2)$$

ثوابت B و n از طریق آزمایش بدست می‌آیند (آزمایش‌های بمب بسته^۶ و داده استراند برنر^۷) [۵ و ۴]. برای بهبود معادله می‌توان ثابت دیگری که نشان‌دهنده نرخ سوزش در فشار صفر است را افزود که معادله زیر در این حالت بدست می‌آید [۱]:

$$\frac{dx}{dt} = B_1 P^n + B_2 \quad (3)$$

البته معادله را می‌توان بصورت زیر نیز نوشت که مدل کردن آن آسان‌تر است [۵]:

$$\frac{dx}{dt} = b \left(\frac{p}{p_0} \right)^n \quad (4)$$

که در آن $P_0 = 1 \text{ atm}$ است.

-
- 1 Grain
 - 2 Regressive Grain
 - 3 Progressive Grain
 - 4 Natural Grain
 - 5 Burn Back Rate
 - 6 Closed Bomb
 - 7 Strand Berner Data

مثلا در یک نمونه عملی در فشار بین ۳ تا ۱۰۰ اتمسفر، معادله بصورت زیر مدل می شود [۲]:

$$\frac{dx}{dt} = 1.72 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0.164 \pm 0.017} \quad (5)$$

که $\frac{dt}{dx}$ نرخ سوزش بر حسب سانتی متر بر ثانیه و P بر حسب اتمسفر است. مقادیر b و n از معادله ۴ چند سوخت دیگر در جدول (۱) آورده شده است. در این جدول همچنین مقدار $\frac{dp}{dt}$ متوسط (نرخ افزایش فشار) بین ۱۳۶ و ۴۰۸ اتمسفر داده شده است.

Sample type	b cm / s	n	Peak pressure atm	Average quickness, atm / s
COEX	0.283	0.871	454	44.48
	0.561	0.631	456	44.81
	0.287	0.680	454	44.65
	0.326	0.641	453	45.63
Du Pont	0.561	0.493	469	38.41
	0.518	0.485	466	34.03
	0.457	0.503	462	32.05
	0.251	0.547	465	32.19
Indiana	0.179	0.661	459	29.14
	0.309	0.553	459	28.34
	0.328	0.542	463	28.27
	0.345	0.533	467	29.09

جدول ۱- ضرایب معادله نرخ سوزش [۱]

۲-۲- تابع شکل [۳و۲]

تعیین رابطه بین میزان عقب روی سطح $[X(t)]$ با کسر سوخت سوخته شده $[Z(t)]$ اهمیت زیادی دارد. گاهی این رابطه را بصورت $\frac{S}{S_0} = \Phi(Z)$ می نویسند که S سطح سوزش در هر لحظه و S_0 سطح سوزش اولیه است و تابع Φ را تابع شکل^۱ می گویند. برای یک دانه کروی شکل با شعاع اولیه R اگر عمق سوزش در لحظه t برابر $X(t)$ باشد، بعد از محاسبه تابع شکل آن این چنین می شود:

$$V_0 = \frac{4}{3} \pi R^3 = \text{حجم اولیه دانه}$$

$$V(t) = \frac{4}{3} \pi (R-x)^3 = \text{حجم دانه در لحظه } t \quad (6)$$

$$V_0 - V(t) = \text{حجم سوخته شده دانه}$$

بنابراین کسر سوخته شده عبارتست از $Z(t)$ که رابطه آن با x بصورت زیر است:

$$1 - \frac{(R-x)^3}{R^3} \rightarrow \frac{R-x}{R} = \sqrt[3]{1-Z} \rightarrow Z(t) = \frac{[V_0 - V]}{V_0} \quad (7)$$

¹ Form Function

و سطح سوزش در هر لحظه برابر با $S(t)$ است که تابع شکل یک دانه کرووی را نشان می‌دهد:

$$\Phi(Z) = \frac{S}{S_0} = \frac{4\pi(R-x)^2}{(4\pi R^2)} = \frac{(R-x)^2}{R^2} = \sqrt[3]{(1-Z^2)} \quad (8)$$

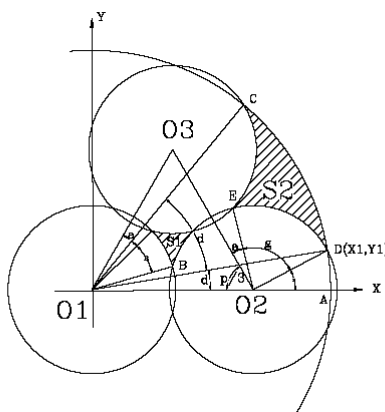
چون دانه‌ها همه هم‌شکل هستند (با صرف‌نظر از سوزش فرسایشی) $Z(t)$ نشان‌دهنده کسر کل سوخت است که سوخته شده است و اگر در جرم سوخت شارژ شده ضرب شود، جرم سوخته شده را خواهد داد. اما برای سوخت‌های استوانه‌ای که شعاع آن R و طول آن L باشد و دارای n سوراخ به شعاع r باشد تابع شکل این چنین می‌شود [۱]:

$$Z(t) = 1 - \frac{V(t)}{V_0} = \frac{2(1-n)x^3 - [L((1-n) + 4c)x^2 + 2(cL + d)]x}{Ld} \quad (9)$$

که در آن $c = R + nr$ و $d = R^2 - nr^2$

برای گرین هفت سوراخه تابع شکل بصورت زیر در می‌آید که در شکل ۲ بطور واضح آورده شده است:

$$Z = 1 - \frac{(L - 2x)(S_1 + S_2) \times 6}{L(\pi R^2 - 7\pi r^2)} \quad (10)$$



شکل ۲- یک دانه هفت سوراخه پس از سوزش زیاد

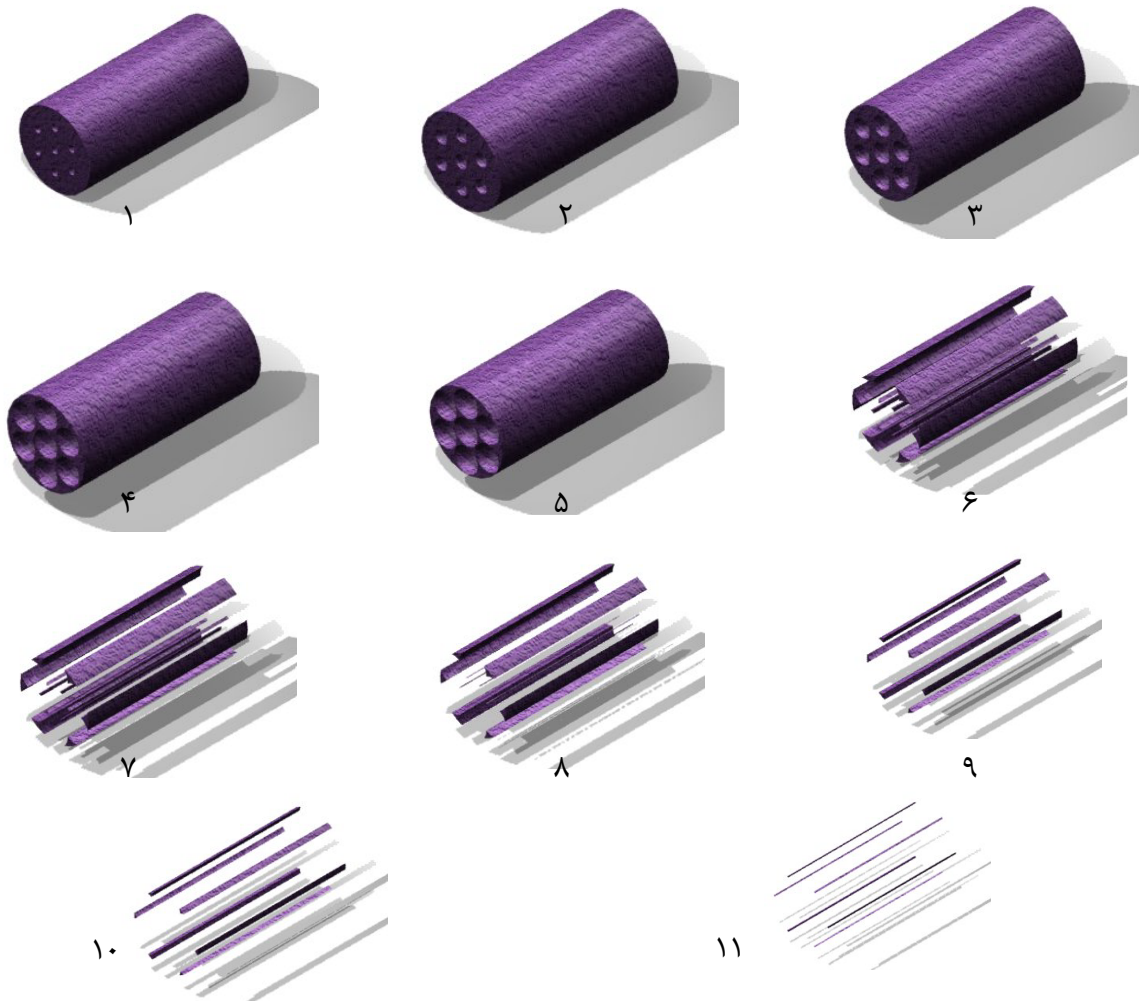
۳- روند مدل‌سازی

۳-۱- دانه هفت سوراخه^۱ با وب^۲ برابر

برای این منظور از مشخصات پیشرانه توپ 155 mm نوع دوم با شیمی MI MP استفاده می‌گردد. ابتدا دانه فوق در نرم‌افزار Solid Works مدل شده و سپس با در نظر گرفتن مقدار سوزش در سطوح مدل، داده‌های حجم و سطح کل طی مراحل مختلف ثبت شد. برای مشاهده نحوه سوختن خرج، تصاویری از مراحل مختلف تهیه گردید که در زیر می‌بینید. نهایتاً گراف مربوط به داده‌های بدست آمده رسم گردید.

¹ Seven Perforated

² web

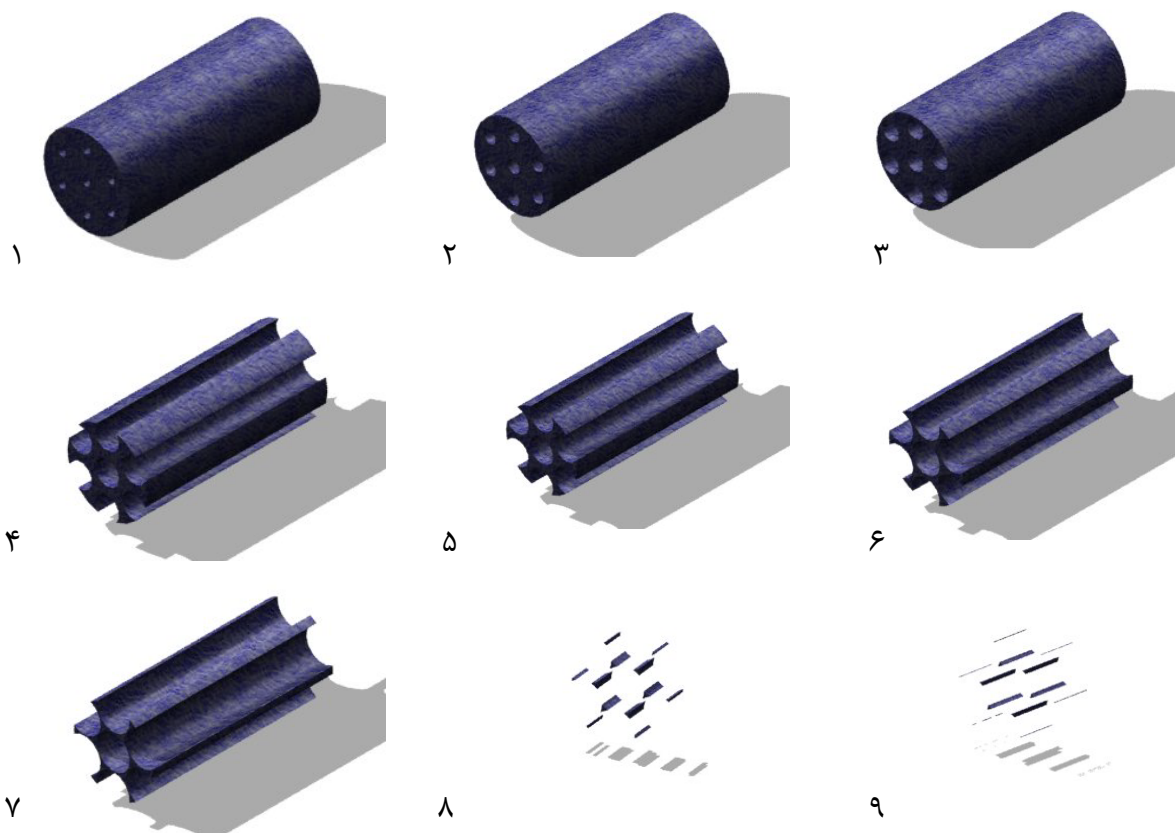


شکل ۳- مراحل سوزش دانه هفت سوراخه

D	d	L	w	S	V	$Z=(V_0-V)/V_0$	S/S_0
183	16	409	34	428838.39	10181959.1	0	1
180	19	406		446151.71	9525652.93	0.06445775	1.0403726
173	26	396		484570.25	7896081.33	0.22450275	1.1299601
157	46	376		579069.35	2559033.78	0.7486698	1.3503207
147	52	366		350863.71	973384.91	0.90440102	0.8181723
145	54	364		260017.48	60364.68	0.93416152	0.6063298
142	57	361		157783.71	360321.04	0.96461182	0.3679328
140	59	359		114230.1	225826.25	0.97782094	0.266371
137	62	356		68974.73	89164.88	0.99124286	0.1608408
135	64	354		41656.37	34009.98	0.99665978	0.0971377
13	67	351		3844.02	307.06	0.99996984	0.0089638
						1	0

جدول ۲- داده‌های حاصل از مراحل سوزش دانه هفت سوراخه

۳-۲- دانه هفت سوراخه با وب نا برابر

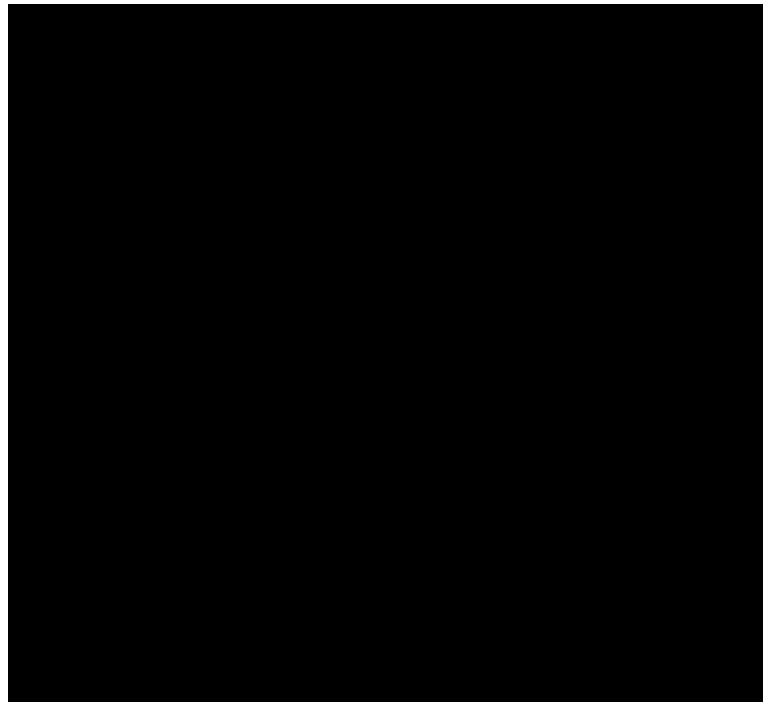


شکل ۴- مراحل سوزش دانه هفت سوراخه با وبهای نا برابر

D	d	L	W	S	V	$Z=(V0_V)/V0$	S/S0
183	16	409	44	428838.39	10181959.1	0	1
173	26	389	24	484570.25	7896081.33	0.22450275	1.1299601
163	36	369		534647.23	5345681.44	0.47498498	1.2467336
153	46	349		404792.44	2933875.99	0.71185545	0.9439277
150	49	343		379054.33	2346746.9	0.76951912	0.8839095
145	54	333		345650.42	1442679.55	0.85831022	0.8060156
140	59	323		318765.06	613161.5	0.93977961	0.7433221
135	64	313		100092.57	104599.61	0.98972697	0.2334039
133	66	309		45607.46	32471.3	0.9968109	0.1063512
						1	0

جدول ۳- داده‌های حاصل از مراحل سوزش دانه هفت سوراخه با وبهای نابرابر

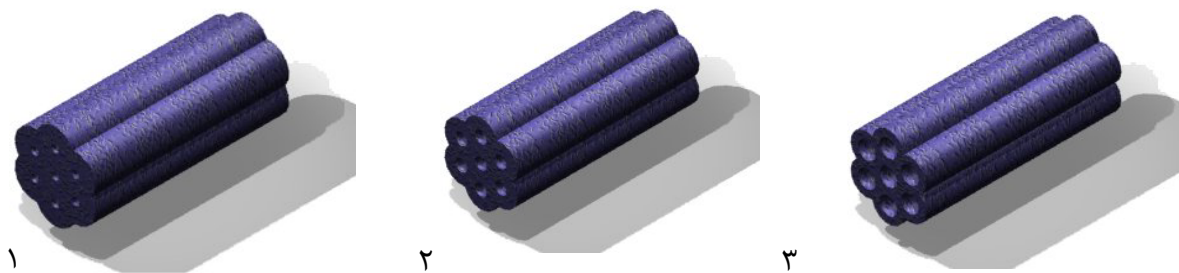
با توجه به نتایج بدست آمده گراف حاصل برای بررسی نحوه سوختن دانه‌های مذکور به قرار زیر خواهد بود:



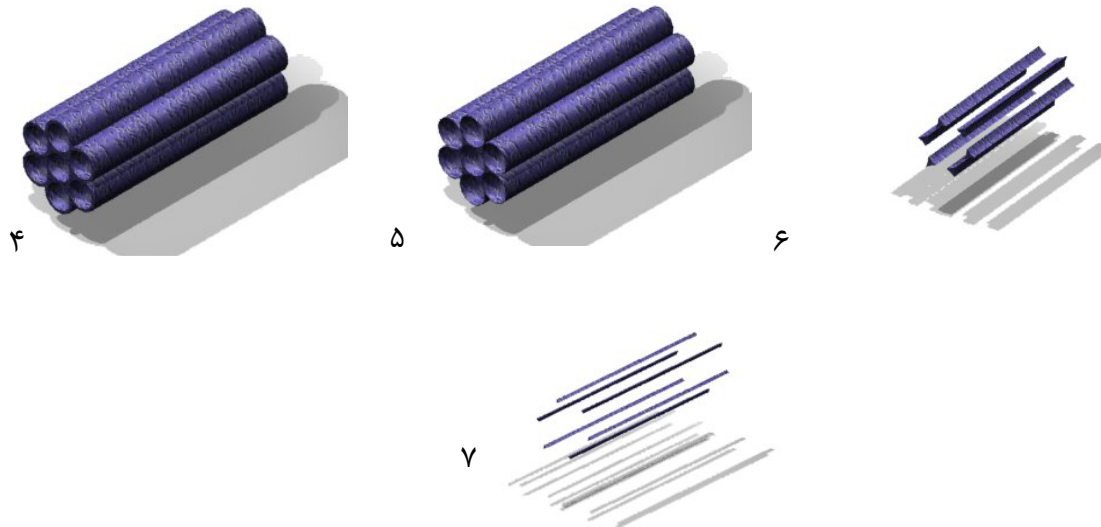
شکل ۵- بررسی تأثیر اشکالات هندسی در ساخت دانه‌های هفت سوراخه

۳-۳- بررسی عقب روی سطح در دانه روزت

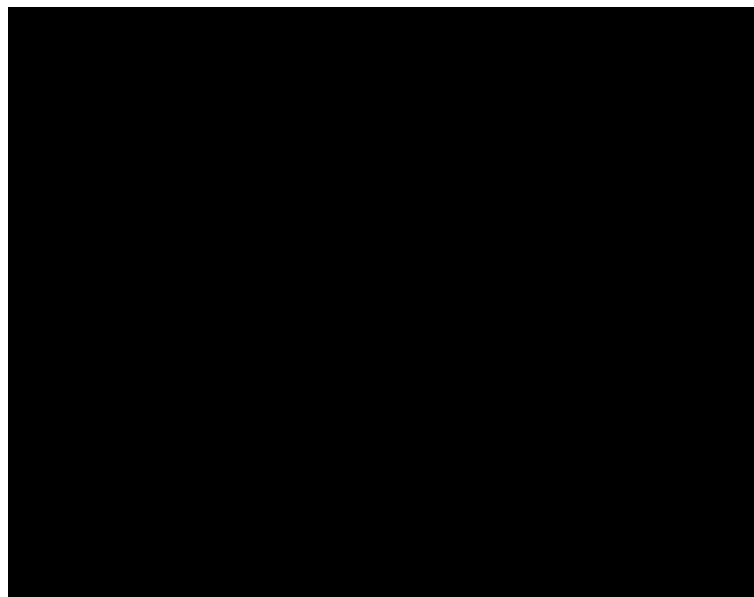
هندسه دانه روزت^۱ را به گونه‌ای در نظر می‌گیریم که حجم کل دانه برابر با حجم دانه هفت سوراخه حل شده در مرحله قبل باشد. به این ترتیب ضریبی برای تصحیح مقادیر مشخصه دانه هفت سوراخه باید در نظر گرفت تا به مقادیر دانه روزت برسیم. با توجه به برابر گرفتن حجم، این ضریب معادل $n = 1.04$ محاسبه می‌شود که در قطر سوراخ‌ها و اندازه وب ضرب می‌گردد. در این مورد نیز دانه روزت در نرم افزار *Solid Works* مدل شده و مراحل سوختن آن ثبت شده است. نتایج را در زیر مشاهده می‌کنید.



¹ Roset



شکل ۶- مراحل سوزش دانه روزت



شکل ۷- بررسی رفتار دانه روزت در سوختن، نسبت به دانه هفت سوراخه

۴- نتیجه گیری

با توجه به منحنی‌های دانه هفت سوراخه در صورت معیوب بودن دانه‌ها به لحاظ هندسی طی مراحل ساخت، اثرات بالستیکی نامطلوبی از نوع نرخ سوزش و ضریب شکل در نتایج نهایی عملکرد سلاح خواهد داشت. همانطور که مشاهده می‌شود، دانه‌های معیوب فاصله نسبتاً زیادی تا نقطه طراحی دارند که بایستی مورد نظر سازنده مهمات برای جلوگیری از اثرات نامطلوب آن قرار گیرد. از طرف دیگر احتمال مواجهه با چنین مهماتی باید مد نظر طراح سلاح نیز باشد.

با توجه به نمودار دانه روزت، تصحیح انجام گرفته در مورد شکل دانه‌های روزت، منجر شده است تا محدوده افزایشی رشد یافته و نرخ سوزش آن بیشتر شود. از این روی دانه‌های روزت رفتار بالستیکی بهتری را نسبت به دانه‌های هفت سوراخه بدست می‌دهند.



انجمن احتراق ایران

FCCI2010-4207

سومین کنفرانس سوخت و احتراق ایران

تهران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - اسفند ماه ۱۳۸۸



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی هوافضا

۵- تشکر و قدردانی

از زحمات بی دریغ دکتر رضا ابراهیمی و مهندس شهریار نیک‌نژاد در راهنمایی و کمک و مدلسازی در نرم افزار و در فهم مسایل این تحقیق مرایاری کردند نهایت تشکر و قدردانی، و از خداوند منان، کمال سعادت و سلامتی را برای ایشان و همه خدمتگزاران به علم بشری آرزومندم.

مراجع

- 1- Herman Krier and Michael J. Adams; "An Introduction to Gun Interior Ballistics and a Simplified Ballistic Code", University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, and Iii. Vol. 66, pp.176-196, New York, 1979
- 2- R. D. Anderson "Generic Extruded Propellant Grain Surface and Volume Calculations", U.S. Army Ballistics Research Laboratory. August 2004.
- 3- K. J. White. "Effect of Propellant Grain Dimension on Progressivity", U.S. Army Ballistics Research Laboratory. October 1997.
- 4- C.L. Farrar and D.W. Leeming, "Military Ballistics", Brassey's publishers.
- 5- Ludwig stifle, "Gun propulsion technology", volume 109 of progress in astronautics and aeronautics series, American institute of aeronautics and astronautics,1988.