

علمی- پژوهشی

بررسی تجربی و عددی میزان انحراف پرتابه سر تخت با سرعت بالا

پس از برخورد به صفحه سوراخ دار

محمد فرحمند^۱ خداداد واحدی^{۲*} علیرضا نداد اسکویی^۳ روح... حسینی^۴

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۵)

چکیده

در این مقاله، به بررسی تجربی، عددی و نیمه تحلیلی میزان انحراف پرتابه سر تخت پس از برخورد به صفحه سوراخ دار پرداخته شده است. در این راستا جهت بررسی تجربی از پرتابه های فولادی AISI ۵۲۱۰۰ و صفحات سوراخ دار AISI ۱۰۴۵ با ۳ قطر سوراخ ۵، ۷ و ۹ میلی متر و جهت مدل سازی عددی از نرم افزار المان محدود آباکوس استفاده شده است. در ادامه و پس از مقایسه نتایج عددی و تجربی و تأیید صحت مدل عددی ارائه شده، با توجه به محدودیت های آزمایشگاهی به بررسی عددی برخورد پرتابه با میزان متفاوت همپوشانی با سوراخ و ۳ سرعت متفاوت پرتابه پرداخته و ۴۰ حالت برخورد طراحی و مدل سازی شده است. در ادامه با توجه به داده های به دست آمده، استفاده از الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر فرایند آموزش- یادگیری که یک الگوریتم بهینه سازی تکاملی می باشد و کدنویسی در نرم افزار متلب رابطه ای نیمه تحلیلی جهت بدست آوردن میزان انحراف پرتابه پس از برخورد به صفحه سوراخ دار برای هر مقدار قطر سوراخ، قطر پرتابه، سرعت پرتابه و همچنین میزان همپوشانی بدست آمده است. در انتها به مقایسه بین نتایج تجربی، عددی و فرمول بدست آمده پرداخته شده و نشان دهنده مطابقت خوب بین نتایج می باشد.

واژه های کلیدی: پرتابه، صفحه سوراخ دار، انحراف، بهینه سازی مبتنی بر فرایند آموزش- یادگیری.

Experimental and Numerical Investigation on the Deviation of High Velocity Blunt Projectile after Impact on the Perforated Plate

M. Farahmand¹

Kh. Vahedi^{2*}

A.R. Naddaf Oskouei³

R. Hosseini⁴

Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran.

(Received: 8/July/2020; Accepted: 6/October/2020)

ABSTRACT

In this paper, the experimental, numerical and semi-analytical study of the deflection of a blunt projectile after hitting the perforated plate has been done. In this regard, for experimental study, AISI 52100 steel projectiles and 1045 AISI perforated plates with 3 hole diameters of 5, 7 and 9 mm have been used, and for numerical modeling, Abacus finite element software has been used. Then, after comparing the numerical and experimental results and confirming the accuracy of the presented numerical model, according to the laboratory limitations, the projectile impact is numerically evaluated with different overlap, and 3 different projectile velocities. And 40 type of impacting modes are designed and modeled. According to the obtained data, the use of optimization algorithm based on the teaching-learning, which is an evolutionary optimization algorithm, and coding in MATLAB software, semi-analytical relations to obtain the rate of projectile deviation after Impact on the perforated plate for each value of hole diameter, projectile diameter, projectile velocity and the amount of overlap is obtained. Finally, a comparison is made between the experimental, numerical and equation results. And this indicates a good match between the results.

Keywords Projectile, Perforated plate, Deflection, Teaching learning based optimization.

۱- دانشجوی دکتری: m.farahmand.iust@gmail.com

۲- استاد (نویسنده پاسخگو): Khvahedi@ihu.ac.ir

۳- دانشیار: anadaf@chmail.ir

۴- استادیار: r.hosseini.mech@gmail.com

۱- مقدمه

رسیدند که عملکرد زره بالستیکی در برابر گلوله‌های ۷/۶۲ میلی‌متر AP با اضافه کردن زره مشبک، تا مقدار ۲/۴ برابر بهبود می‌یابد. بالوس و همکارانش [۵] مشاهده کردند که صفحه مشبک با قطر سوراخ بزرگ‌تر در خرد کردن هسته پرتابه مؤثرتر عمل می‌کند و صفحات سوراخ‌داری که قطر سوراخ آن‌ها مشابه قطر هسته پرتابه باشد زودتر به جداسازی پرتابه منجر می‌گردد و در خرد کردن پرتابه مؤثرتر عمل می‌کند. اثر لبه سوراخ بر پرتابه به صورت ۲ اثر مخالف هم درمی‌آید، که بخش اول ناشی از تنش خمشی می‌شود و باعث خم شدن و شکستن پرتابه می‌گردد و اثر دوم برعکس اولی عمل می‌کند و در عمل باعث تثبیت پرتابه می‌گردد و در صورتی که قطر سوراخ بیشتر شود اثر عامل دوم کمتر می‌شود و راحت‌تر پرتابه خرد می‌گردد. در ادامه می‌شیرا^۶ و همکاران [۶] به این نتیجه رسیدند که با افزایش قطر سوراخ، سوراخ‌های درگیر و متصل شده کمتر می‌شود. روزنبرگ^۷ و همکاران [۷] به بررسی مکانیسم شکستن پرتابه توسط شبیه‌سازی و تست تجربی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که یک صفحه با استحکام بالا و به صورت مایل می‌تواند باعث شکستن پرتابه گردد. کلیک^۸ و بدیر^۹ [۸] به این نتیجه رسیدند که ۳ اثر صفحه مشبک بر پرتابه شامل نیروی غیرمتقارن محوری که مسیر گلوله را منحرف می‌کند، شکستگی هسته گلوله و فرسایش دماغه هسته گلوله می‌باشد. کلیک و همکاران در ادامه کارهای خود در زمینه اهداف مشبک به بهینه‌سازی اهداف سوراخ‌دار پرداختند [۹]، و پارامترهایی از جمله فاصله هوایی بین لایه‌ها، قطر سوراخ‌ها و فاصله بین مراکز سوراخ را نیز در این بررسی و بهینه‌سازی در نظر گرفتند. فرانس^{۱۰} و فادرل^{۱۱} [۱۰] با تغییر شکل در سوراخ‌های اهداف فولادی، به بررسی خرابی گلوله پس از برخورد به صفحه مشبک پرداختند. آن‌ها در این سری از تست‌های تجربی از سوراخ‌های دایروی و بیضوی شکل استفاده کردند و میزان خرابی گلوله‌ها را در

در طراحی زره عوامل مختلفی دخیل هستند. یکی از مشخصه‌های کاربردی زره، چگالی سطحی آن است، که با عنوان وزن در هر مترمربع از مساحت عمود برجهت حمله تعریف می‌شود. در صفحات سوراخ‌دار تلاش می‌شود تا با حفظ بازدارندگی، چگالی سطحی زره نیز کاهش داده شود. با توجه به کاهش آسیب وارده به هدف اصلی، هزینه‌هایی ساخت و چگالی سطحی زره ساخته‌شده از صفحات سوراخ‌دار، این نوع زره‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. آیویر^۱ [۱] به بررسی زره مشبک فلزی با سوراخ‌های مثلثی پرداخته است که در این مدل زره‌ها را عملیات حرارتی می‌دهند تا سطح بیرونی سخت داشته باشند و سطح درونی آن‌ها انعطاف‌پذیر باشد. مراحل تولید ورق مشبک شامل مشخصات، فاصله سوراخ‌ها، پیکربندی، پروسه ساخت و عملیات حرارتی در این مقاله توضیح داده شده است. اختراع زرهی بالستیکی با یک صفحه‌ی مشبک فولادی با سختی بالا به عنوان زره کمکی توسط راوید^۲ و هرچبرگ^۳ [۲] انجام شد، آن‌ها در این پژوهش مساحت کل سوراخ‌ها بین ۴۰ تا ۵۰ درصد مساحت کل زره در نظر گرفتند. و به این نتیجه رسیدند که زره مشبک آسیب وارده از گلوله‌ی سلاح‌های کالیبر کوچک را کاهش می‌دهد. بالوس^۴ و همکارانش [۳] به این نتیجه رسید که صفحات سوراخ‌داری که به صورت بهینه انتخاب شوند باعث شکستگی مکرر هسته پرتابه تا ۵ قسمت نیز می‌شود که خرده‌ها توانایی نفوذ به صفحه اصلی را ندارند. همچنین آن‌ها مشاهده کردند که با کاهش فاصله صفحه پشتی و قرار دادن در فاصله کمتری از صفحه مشبک، اثر نفوذ بیشتر شده است، توجه این اثر ناشی از عدم توانایی در پخش کردن پرتابه‌های خردشده (در صورت خرد شدن پرتابه) به علت عدم فاصله کافی می‌باشد و در اصل انرژی جنبشی پرتابه روی صفحه پشتی پخش نخواهد شد. مدهو^۵ و همکارانش [۴] با انجام تست تجربی، تأثیر مثبت این گونه زره‌ها را به اثبات رسانده و به این نتیجه

⁶ Mishra

⁷ Rosenberg

⁸ Kilic

⁹ Bedir

⁸ Fras

⁹ Faderl

¹ Auyer

² Ravid

³ Hirschberg

⁴ Balos

⁵ Madhu



شکل (۱): انواع آرایش سوراخ، الف: قطر ۵ میلی‌متر، ب: قطر ۷ میلی‌متر، ج: قطر ۹ میلی‌متر

۲-۲- طراحی پرتابه

پرتابه استفاده‌شده در این آزمایش، شکل ۲، رولربیرینگ استوانه‌ای با قطر ۱۰ و طول ۲۰ میلی‌متر، از جنس فولاد AISI 52100 و وزن ۱۲ گرم می‌باشد.



شکل (۲): پرتابه استفاده‌شده در این آزمایش

۲-۳- تجهیزات مورد استفاده

برای آن که بتوان از حرکت صفحه پس از برخورد پرتابه جلوگیری کرد، اهداف فولادی، همانند شکل ۳، به وسیله نگه‌دارنده (فیکسچر) ثابت گردیده است.



شکل (۳): نگه‌دارنده مورد استفاده در این آزمایش

برای شلیک پرتابه از تفنگ گازی استفاده شده است، تفنگ گازی استفاده‌شده مستقر در آزمایشگاه ضربه در شکل ۴ نشان داده شده است.

اثر برخورد به این سوراخ‌ها را با یکدیگر مقایسه کردند. واحدی و سیاح [۱۱] به بررسی عددی و تحلیلی نفوذ پرتابه در اهداف دولایه سرامیک-آلومینیوم سوراخ‌دار بر پایه توسعه مدل تحلیلی فلوز [۱۲] پرداختند.

با توجه به اینکه در برخورد قائم آسیب وارده به هدف بیشتر از برخورد مایل می‌باشد، و عدم دسترسی به ضربه‌زننده، طراحی اهداف سوراخ‌دار که ضربه قائم را به مایل تبدیل کنند بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تاکنون میزان انحراف پرتابه پس از برخورد به سوراخ محاسبه نشده است و تنها میزان مؤثر بودن این اهداف در شکست گلوله سلاح مورد مطالعه قرار گرفته است. نوآوری این تحقیق، محاسبه میزان انحراف پرتابه پس از برخورد به سوراخ و بررسی اثر قطر سوراخ، میزان همپوشانی پرتابه با سوراخ و سرعت پرتابه بر میزان انحراف و همچنین بدست آوردن رابطه‌ای جهت محاسبه آن می‌باشد. در این مقاله به بررسی تجربی و عددی اثر صفحه سوراخ‌دار بر انحراف پرتابه سرتخت پس از برخورد پرداخته شده است، و در ادامه به توسعه مدل عددی پرداخته و حالات متفاوت برخورد با ۳ سرعت و ۳ قطر سوراخ متفاوت پرداخته و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش-یادگیری رابطه‌ای جهت بدست آوردن میزان انحراف پرتابه به دست آمده است. در انتها مقایسه‌ای بین نتایج تجربی، عددی و فرمول ارائه‌شده، انجام گرفته است و نتایج مطابقت خوبی را دارا می‌باشند.

۲- مطالعات آزمایشگاهی

در این قسمت به شرح آماده‌سازی اهداف، پرتابه‌ها، وسایل مورد استفاده و حالت‌های متفاوت تست‌شده در این تحقیق پرداخته شده است.

۲-۱- طراحی و ساخت اهداف سوراخ‌دار

اهداف طراحی‌شده در این آزمایش، شکل ۱، با ابعاد ۱۲۰×۱۰۰×۱۰ میلی‌متر و از جنس فولاد AISI 1045 می‌باشند.

برای بررسی اثر قطر سوراخ بر میزان انحراف پرتابه ۳ نوع آرایش سوراخ به شرح ذیل صورت پذیرفته است:

- ✓ سوراخ با سطح مقطع دایره و قطر ۵ میلی‌متر
- ✓ سوراخ با سطح مقطع دایره و قطر ۷ میلی‌متر
- ✓ سوراخ با سطح مقطع دایره و قطر ۹ میلی‌متر

$$\dot{\epsilon}_p^* = \frac{\dot{\epsilon}_p}{\dot{\epsilon}_0} \quad (2)$$

$$T^* = \frac{T - T_{initial}}{T_{melt} - T_{initial}} \quad (3)$$

در روابط (۲) و (۳) $T_{initial}$ دمای فلز، T_{melt} دمای ذوب فلز و $\dot{\epsilon}_0$ نرخ کرنشی می باشد که برای دماهای کمتر از آن تأثیری بر تنش سیلان فلز نخواهد داشت، T_{melt} دمای ذوب فلز و $\dot{\epsilon}_0$ نرخ کرنشی است که ثوابت تنش در آن محاسبه می گردد. ثوابت تنش از روش های زیر به دست می آیند:

- ✓ A برابر با تنش تسلیم شبه استاتیکی
- ✓ n مقدار شیب منحنی $\sigma - \sigma_y$ بر حسب کرنش پلاستیک
- ✓ B مقدار $\sigma - \sigma_y$ در کرنش پلاستیک برابر با یک
- ✓ c شیب منحنی تنش بر حسب نرخ کرنش متغیر در دمای اتاق

$$\sigma_{room} = \log \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{room}} \right) \quad m \quad (4)$$

تنش معین در دمای اتاق می باشد.

در این مدل مادی، کرنش شکست به صورت رابطه (۴) بیان می شود:

$$\epsilon^f = (D_1 + D_2 \exp D_3 \sigma^*) (1 + D_4 \epsilon^*) (1 + D_5 T^*) \quad (4)$$

که ثوابت D_1 ، D_2 ، D_3 به تنش وابسته اند در حالی که ثابت چهارم به نرخ کرنش سخت شونده گی و ثابت پنجم به دمای نرم شونده گی بستگی دارد.

σ^* از تقسیم فشار بر تنش مؤثر حاصل می گردد. بر مبنای این مدل، طی کرنش پلاستیک، آسیب ها در ماده انباشته می شود و به محض رسیدن مجموع این مقادیر به یک حد بحرانی، شکست رخ می دهد شکست زمانی رخ می دهد که ضریب تخریب D برابر یک شود.

$$D = \sum \frac{\Delta \epsilon^p}{\epsilon^f} \quad (5)$$

در رابطه (۵) $\Delta \epsilon^p$ نمو کرنش پلاستیک در یک سیکل و ϵ^f کرنش شکست است.



شکل (۴): تفنگ گازی استفاده شده مستقر در آزمایشگاه

آزمایش های انجام شده برای بررسی اثر سوراخ بر پرتابه با سرعت متوسط ۲۲۰ متر بر ثانیه و با قطر سوراخ های متفاوت و همپوشانی متفاوت انجام شده است. بدین منظور تلاش شده است تا با بررسی برخورد پرتابه ها با میزان همپوشانی متفاوت با سوراخ، اثر میزان همپوشانی را مورد مطالعه قرار داده و با استفاده از اهداف با قطر سوراخ متفاوت، اثر قطر سوراخ بر میزان انحراف پرتابه پس از برخورد مورد بررسی قرار گیرد.

۳- مدل سازی و شبیه سازی فرآیند

انرژی اولیه گلوله پس از برخورد به صفحه فولادی صرف تغییر شکل و آزاد شدن گرما می شود، لذا دمای منطقه برخورد به صورت موضعی افزایش یافته و سبب نرم شدن موضعی فلز در منطقه برخورد می شود. بنابراین رفتار مکانیکی صفحه فولادی به دما نیز وابسته است. به همین دلیل از معادله جانسون-کوک برای مدل کردن رفتار پلاستیک صفحه فولادی استفاده شده است.

مدل تنش جریانی جانسون-کوک یک مدل ویسکو-پلاستیک برای مواد نرم می باشد. بر اساس این مدل، کرنش سخت شونده گی، نرخ کرنش سخت شونده گی و تأثیرات نرم شونده گی گرمایی بر تنش ماده جاری اثر گذرا دارد.

$$\sigma_y(\epsilon_p, \dot{\epsilon}_p, T) = (A + B(\epsilon_p)^n) (1 + C \ln(\dot{\epsilon}_p^*)) (1 - T^{*m}) \quad (1)$$

که در رابطه (۱) A، B، C، n و m خواص ثابت ماده، $\dot{\epsilon}_p^*$ نرخ کرنش پلاستیک معادل، $\dot{\epsilon}_p^*$ نرخ کرنش پلاستیک بی بعد شده می باشد. T^* دمای همگن نرمالایز شده می باشد.

و داریم:

ظرفیت گرمایی ویژه Watt/kg.K	۴۸۰
ضریب انبساط خطی (e^{-6})	۱,۱۹
ضریب هدایت حرارتی Watt/m.K	۴۶,۶
چگالی Kg/m^3	۷۸۰۰
نسبت پواسن	۰/۳
مدول الاستیسیته GPa	۲۱۰

برای شبیه‌سازی از ثوابت جانسون کوک به شرح جداول ۳، ۴ و ۵ استفاده گردیده است:

جدول (۳): ثوابت جانسون کوک AISI 1045 [۱۳]

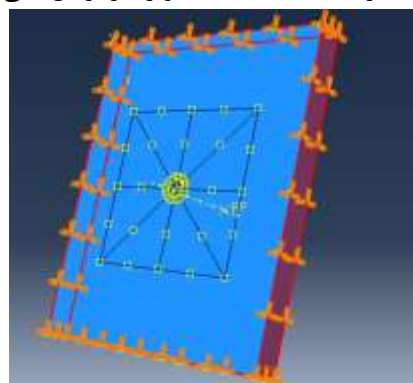
ثابت‌های معادله جانسون کوک	AISI 1045
A (MPa)	۵۵۳
B (MPa)	۶۰۰
N	۰/۲۳۴
C	۰/۰۱۳۴
M	۱
Tmelt ($^{\circ}C$)	۱۴۶۰
	۰/۰۰۱

جدول (۴): ثابت‌های پارگی معادله جانسون-کوک [۱۳].

ثابت‌های پارگی معادله جانسون-کوک	D1	D2	D3	D4	D5
AISI1045	۰/۰۶	۳/۳۱	۱/۹۶	۰/۰۰۱۸	۰/۵۸

۳-۱- شرایط مرزی و اولیه

در تمامی شبیه‌سازی‌ها شرایط مرزی به‌گونه‌ای تعریف می‌شود که لبه‌های جانبی هدف، در هر شش درجه‌ی آزادی مقید شده ولی برای حرکت پرتابه محدودیت حرکت در راستاهای مختلف وجود ندارد، شکل ۵. تماس بین پرتابه و صفحه به‌صورت تماس عمومی^۱ و نوع تماس به‌صورت رفتار مماسی^۲ با ضریب اصطکاک ۰/۰۲ و رفتار نرمال^۳ می‌باشد.



شکل (۵): لبه‌های جانبی هدف، در هر شش درجه آزادی مقید شده [۱].

۳-۲- مشخصات جنس پرتابه و هدف

خواص صفحات فولادی AISI 1045 استفاده‌شده در این سری آزمایش‌ها به شرح جدول ۱ می‌باشد:

جدول (۱): خواص صفحات فولادی AISI 1045 [۱۳].

ظرفیت گرمایی ویژه Watt/kg.K	۴۸۶
ضریب انبساط خطی (e^{-6})	۱۱/۲
ضریب هدایت حرارتی Watt/m.K	۵۱/۹
چگالی Kg/m^3	۷۸۷۰
نسبت پواسن	۰/۲۹
مدول الاستیسیته GPa	۲۰۰

خواص پرتابه فولادی AISI 52100 استفاده شده در این سری آزمایش‌ها، به شرح جدول ۲ می‌باشد:

جدول (۲): خواص پرتابه فولادی AISI 52100 [۱۴].

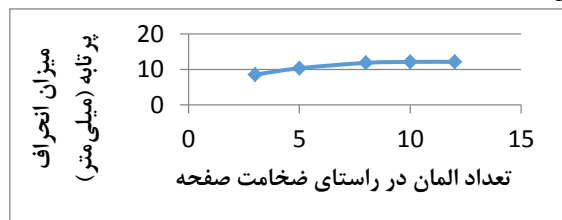
¹ General Contact

² Tangential Behavior

³ Normal Behavior

(شکل ۷): المان بندی صفحه سوراخ دار از نمای بغل [۳].

با افزایش سایز المان‌ها مسئله به یک جواب واحد همگرا می‌شود، و در صورتی که با ریزتر کردن مش انتخابی تغییرات ایجاد شده در جواب‌ها قابل صرف نظر کردن باشد، مش همگرا شده است. ابتدا المان بعدی با تعداد کمتری المان انجام گرفت و مشاهده شد که با افزایش المان بندی دقت حل بالاتر می‌رود و جواب‌های قابل قبولی بدست می‌آید، ولی با بیشتر کردن تعداد المان‌ها (به عبارتی دیگر ریز کردن مش) زمان حل بیشتر گردید و جواب‌های به دست آمده با جواب‌های قبلی یکسان بوده است. همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است با افزایش تعداد المان در راستای ضخامت صفحه هدف، به بررسی حساسیت جواب‌ها به مش پرداخته شده است.



شکل ۸): بررسی حساسیت به مش در میزان انحراف پرتابه پس از برخورد به صفحه سوراخ دار به قطر سوراخ ۹ و همپوشانی ۶ میلی‌متر [۴].

۴- مدل نیمه تحلیلی

پس از مقایسه نتایج عددی و تجربی و تأیید صحت مدل عددی ارائه شده، با توجه به محدودیت‌های آزمایشگاهی به بررسی عددی برخورد پرتابه با میزان متفاوت همپوشانی با سوراخ، و ۳ سرعت متفاوت پرتابه پرداخته و ۴۰ حالت برخورد طراحی و مدل سازی شده است. در ادامه با توجه به داده‌های به دست آمده، استفاده از الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر فرایند آموزش- یادگیری و کدنویسی در نرم افزار متلب رابطه‌ای نیمه تحلیلی جهت بدست آوردن میزان انحراف پرتابه پس از برخورد به صفحه سوراخ دار بدست آمده است.

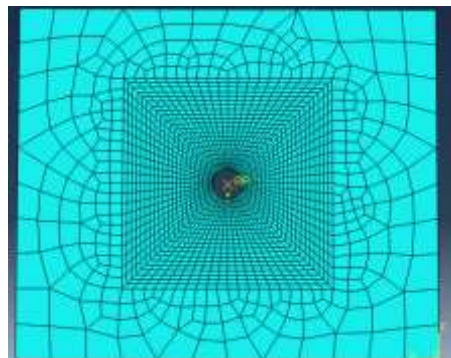
در این راستا و در مرحله اول با تعیین یک نقطه مرجع بر روی پرتابه و جابه‌جایی حداکثر یک میلی‌متر نقطه مرجع برای بدست آوردن نسبت همپوشانی بیشتر، ۱۹ حالت مختلف برخورد پرتابه را با استفاده از ۳ قطر سوراخ متفاوت

جدول (۵): ثوابت جانسون کوک AISI 52100 [۱۴].

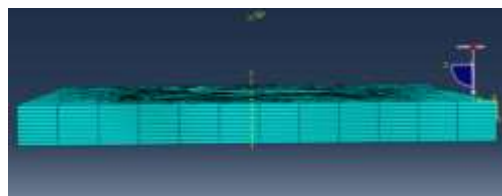
ثابت‌های معادله جانسون کوک	AISI 52100
A (MPa)	۲۴۸۱
B (MPa)	۱۴۹۸
N	۰/۱۹
C	۰/۰۲۷
M	۰/۶۶
Tmelt (oC)	۱۴۸۷
ϵ_0	۰/۰۰۱

۳-۳- المان بندی و حساسیت نسبت به مش

برای به دست آوردن جواب‌های دقیق‌تر اطراف سوراخ صفحه هدف را با مربعی با اضلاع ۶۰ میلی‌متر جدا کرده و پس از پارتیشن بندی (جهت بدست آوردن مشی منظم) با مش‌های ریزتر المان بندی شده است، اشکال ۶ و ۷. نوع المان انتخاب شده به صورت اکسپلیسیت^۱ و کوپل جابه‌جایی و حرارتی^۲ در نظر گرفته شده است. این نوع المان می‌تواند تأثیر دما بر تنش و کرنش و بالعکس را مدل سازی کند. شایان ذکر است که المان‌ها به صورت انتگرال کاهش یافته^۳ در نظر گرفته شده است.



شکل (۶): المان بندی صفحه سوراخ دار از نمای بالا [۲].



¹ Explicit

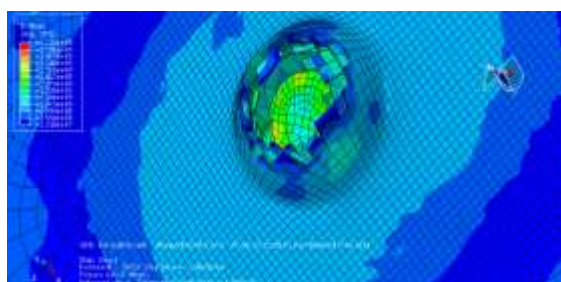
² Coupled Temperature-Displacement

³ Reduced Integration

سطح همپوشانی و d فاصله بین مراکز دایره‌ها، d_1 موقعیت مرکز همپوشانی روی محور x و $d_2 = d - d_1$ می‌باشد.

۴-۲- سرعت حد بالستیک

در ادامه برای تعیین سرعت حد بالستیک، سرعت اولیه پرتابه را در هر مرحله بیشتر کرده و مدل‌سازی مجدد کرده تا حد بالستیک پرتابه بدست‌آید.



شکل (۱۰): تعیین سرعت حد بالستیک با استفاده از مدل عددی

با مدل‌سازی با توجه به افزایش سرعت اولیه پرتابه، سرعت حد بالستیک ۱۰۶۰ متر بر ثانیه بدست خواهد آمد، شکل ۱۰.

برای به‌دست‌آوردن معادله از الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش-یادگیری استفاده کرده و با توجه به داده‌های به‌دست‌آمده از ۴۰ حالت بررسی شده و همچنین کد نویسی در نرم‌افزار متلب جهت یافتن ثوابت بهینه چندجمله‌ای در نظر گرفته شده جهت پیش‌بینی میزان انحراف پرتابه، معادله با ثوابت بهینه‌شده به‌دست خواهد آمد.

۴-۳- الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر فرایند آموزش-یادگیری^۱

الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر فرایند آموزش-یادگیری یک الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی می‌باشد که مانند بسیاری دیگر از الگوریتم‌های بهینه‌سازی از طبیعت الهام گرفته شده است. این الگوریتم بر اساس تأثیر یک آموزگار بر بهبود سطح نمرات و یادگیری یک کلاس شبیه‌سازی شده است. این الگوریتم از یک جمعیت اولیه تصادفی برای دستیابی به جواب کلی استفاده می‌کند.

(۵، ۷ و ۹ میلی‌متر) و میزان همپوشانی متغیر بررسی شده و میزان انحراف پرتابه پس از برخورد پرتابه در صفحه هدف بدست‌آمده است. و با توجه به میزان تغییرات آن برای سرعت‌های بالاتر به طراحی بهینه‌تر آزمایش پرداخته و در مجموع ۴۰ حالت برخورد برای ۳ قطر سوراخ ۵، ۷ و ۹ میلی‌متر و ۳ سرعت برخورد متفاوت ۲۲۰، ۲۸۰ و ۳۵۰ مدل‌سازی شده است.

برای بررسی مدل نیمه‌تحلیلی از متغیرهای بی‌بعد شده زیر استفاده شده است:

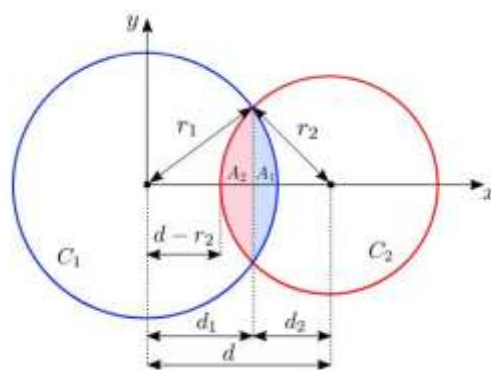
d = قطر پرتابه / قطر سوراخ

S = مساحت سوراخ / مساحت همپوشانی

v = سرعت حد بالستیک / سرعت پرتابه

۴-۱- محاسبه سطح همپوشانی

با توجه به این‌که سطح مقطع پرتابه و سوراخ دایروی می‌باشد، برای به‌دست‌آوردن سطح همپوشانی دو دایره از معادله (۵) استفاده شده است [۱۵].



شکل (۹): سطح همپوشانی دو دایره [۵ و ۱۵].

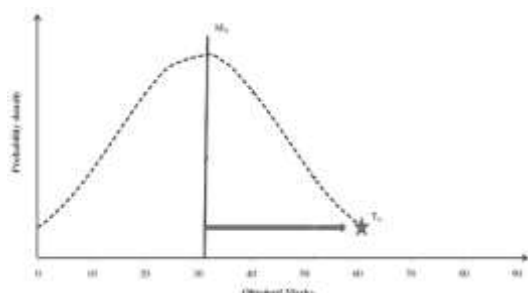
$$A_{\text{int}} = r_1^2 \cos^{-1}\left(\frac{d_1}{r_1}\right) - d_1 \sqrt{r_1^2 - d_1^2} + r_2^2 \cos^{-1}\left(\frac{d_2}{r_2}\right) - d_2 \sqrt{r_2^2 - d_2^2} \quad (6)$$

$$d_1 = \frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d} \quad (7)$$

$$d_2 = d - d_1 = \frac{r_2^2 - r_1^2 + d^2}{2d} \quad (8)$$

در روابط شماره (۶، ۷ و ۸)، r_1 و r_2 شعاع دایره‌ها، A_{int}

¹ Teaching Learning Based Optimization (TLBO)



شکل (۱۱): چگالی احتمال توزیع نمرات به همراه موقعیت [۶]. میانگین و بهترین عضو جمعیت به عنوان آموزگار.

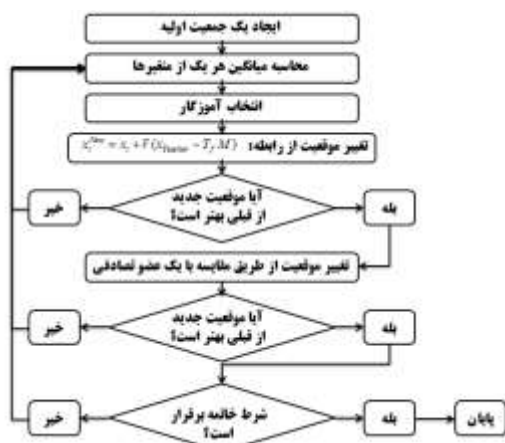
فاز یادگیرنده: فرآیند آموزش و بهبود سطح یک دانش آموز در اثر تراکنش بین دانش آموزان نیز به صورت مباحثه و ... صورت می پذیرد. در این حالت برای یک عضو یا دانش آموز تصادفی x_i یک عضو یا دانش آموز تصادفی x_j در نظر گرفته می شود. اگر x_j موقعیت یا سطح بهتری داشته باشد، x_i از طریق رابطه زیر موقعیت خود را تغییر می دهد:

$$x_i^{New} = x_i + \vec{r}(x_j - x_i) \quad (10)$$

اگر x_i از همان ابتدا موقعیت بهتری نسبت به x_j داشته باشد، تغییر موقعیت x_i به صورت زیر انجام می پذیرد:

$$x_i^{New} = x_i + \vec{r}(x_i - x_j) \quad (11)$$

در هر صورت چنانچه موقعیت جدید x_i از موقعیت قبلی آن بهتر باشد، موقعیت جدید را می پذیرد. نمودار گردش الگوریتم بهینه سازی آموزش-یادگیری در شکل ۱۲ آمده است.



شکل (۱۲): نمودار گردش الگوریتم بهینه سازی

جمعیت به عنوان گروهی از یادگیران یا دانش آموزان یک کلاس در نظر گرفته می شوند. یک آموزگار تلاش می کند تا با آموزش به دانش آموزان سطح دانش کلاس را افزایش دهد و دانش آموز به نمره بالاتری دست یابد. طبق فرضیات در نظر گرفته شده آموزگار خوب کسی است که دانش آموزان را به سطح دانش خود برساند. آموزگار یک شخص با دانش بالا در جمعیت بوده که علم خود را با دانش آموزان تقسیم می کند به طوری که بهترین جواب (بهترین عضو جمعیت) بتواند به عنوان آموزگار عمل کند. این نکته نیز باید در نظر گرفته شود که شاگردان علاوه بر کسب دانش از آموزگار از تراکنش متقابل بین خودشان (بحث گروهی، تدریس قوی به ضعیف و ...) که به بهبود وضعیت تحصیلی شان کمک می کند نیز می توانند آموزش ببینند.

بنابراین دو فاز متفاوت در فرآیند آموزش-یادگیری می توان در نظر گرفت، فاز اول یا فاز آموزگار که شامل فراگیری از استاد بوده و فاز دوم یا فاز یادگیرنده که دانش آموزان از تراکنش متقابل بین خودشان کسب دانش داشته و بهبود می یابند. بعد از تولید جمعیت اولیه و ارزیابی تابع هدف، دو فاز به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

فاز آموزگار: در یک کلاس فرض می شود توزیع نمرات دارای توزیع نرمال گوسی باشد و بهترین عضو جمعیت به عنوان آموزگار در نظر گرفته شود. چگالی احتمال توزیع نمرات در شکل ۱۱ رسم شده است. بهترین عضو جمعیت که بالاترین نمره را دارد با T_A نشان داده شده است. این عضو به عنوان آموزگار در نظر گرفته شده و برای تغییر میانگین امتیاز کلاس (جمعیت) به سوی موقعیت خودش تلاش می کند. این فاز با یک فرآیند شبه تصادفی مطابق رابطه زیر برای تغییر موقعیت یک عضو صورت می پذیرد:

$$x_i^{New} = x_i + \vec{r}(x_{Teacher} - T_f M) \quad (9)$$

x_i موقعیت عضوی که تحت آموزش می باشد، \vec{r} یک بردار تصادفی با اعداد بین صفر و یک، $x_{Teacher}$ موقعیت بهترین عضو جمعیت یا همان آموزگار، T_f فاکتور تدریس که مقدار آن به صورت تصادفی بین یک و دو بوده و نهایتاً M نیز میانگین کلاس می باشد. موقعیت جدید x_i^{New} می باشد که در صورتی که بهتر از موقعیت قبلی باشد، پذیرفته می شود.

آموزش- یادگیری [۷].

برای به‌دست آوردن میزان انحراف پرتابه پس از برخورد از رابطه (۱۲) استفاده می‌گردد، که این رابطه از تقسیم اختلاف ارتفاع نقاط حداکثر و حداقل عمق نفوذ پرتابه پس از برخورد به سوراخ تقسیم بر طول ناحیه‌ای از پرتابه که با سوراخ درگیر نشده است محاسبه می‌گردد.

$$\theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{y_{\max} - y_{\min}}{(l-d)} \right\} \quad (12)$$

پارامترهای استفاده‌شده در رابطه (۱۲) و نمایش داده‌شده در شکل ۱۴، در جدول ۶ ارائه‌شده است.

جدول (۶): معرفی پارامترهای مورد استفاده.

l	طول کلی
d	قطر سوراخ
l-d	طول ناحیه‌ای از پرتابه که با سوراخ درگیر نشده
y _{min}	میزان حداقل عمق نفوذ پرتابه (محاسبه‌شده توسط کولیس)
y _{max}	میزان حداکثر عمق نفوذ پرتابه (محاسبه‌شده توسط کولیس)

در این بخش ۳ حالت برخورد برای صفحه به قطر سوراخ ۵ میلی‌متر، شکل ۱۵، و ۲ حالت برخورد برای صفحه به قطر سوراخ ۹ میلی‌متر، شکل ۱۶، بررسی شده است.

با توجه به تست‌های انجام‌گرفته و بررسی اثر میزان همپوشانی (پرتابه با سوراخ) در صفحات سوراخ‌دار با قطر ثابت سوراخ، به این نکته می‌توان دست‌یافت که با افزایش میزان همپوشانی انحراف پرتابه پس از برخورد نیز افزایش می‌یابد.

۵-۱-۲- بررسی اثر قطر سوراخ

در این قسمت به بررسی تست‌های انجام‌گرفته برای صفحات به قطر سوراخ ۷ و ۹ میلی‌متر که همپوشانی تقریباً یکسانی داشته‌اند پرداخته‌شده است.

شرط خاتمه: یا تعداد تکرار مشخص حلقه یا تابع هدف از مقدار معینی کوچک‌تر باشد.

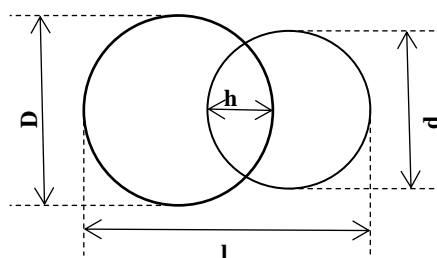
در ادامه و با توجه به پارامترهای ارائه‌شده به پیش‌بینی معادله با ضرایب مجهول پرداخته، و توسط الگوریتم ضرایب چندجمله‌ای بهینه بدست خواهد آمد. تابع هدف در این روش عبارت است از قدرمطلق اختلاف نتایج میزان انحراف پرتابه در مدل عددی و فرمول، که در راستای حداقل کردن تابع هدف، ضرایب بهینه توسط این الگوریتم تعیین می‌شود.

۵- نتایج و بحث

۵-۱- نتایج تجربی



شکل (۱۳): سوراخ به قطر ۷ میلی‌متر و همپوشانی ۶ میلی‌متر



شکل (۱۴): معرفی پارامترها و نحوه همپوشانی

۵-۱-۱- بررسی اثر میزان همپوشانی پرتابه با سوراخ

برای بررسی اثر همپوشانی پرتابه با سوراخ، صفحات با قطر سوراخ ۵ و ۹ میلی‌متر و میزان همپوشانی متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است.



سوراخ به قطر ۵ و همپوشانی ۱ میلی‌متر

$$\begin{aligned} l &= 14 \\ l-d &= 9 \\ y_{\min} &= 0.9 \\ y_{\max} &= 1.7 \\ \theta &= 5/0.7 \end{aligned}$$

سوراخ به قطر ۵ و همپوشانی ۳ میلی‌متر

$$\begin{aligned} l &= 12 \\ l-d &= 7 \\ y_{\min} &= 0.9 \\ y_{\max} &= 1.8 \\ \theta &= 7/33 \end{aligned}$$

سوراخ به قطر ۵ و همپوشانی ۴/۲ میلی‌متر

$$\begin{aligned} l &= 10.8 \\ l-d &= 5.8 \\ y_{\min} &= 1.1 \\ y_{\max} &= 2 \\ \theta &= 8/82 \end{aligned}$$

شکل (۱۵): مقایسه نتایج برای صفحات با قطر سوراخ ۵ میلی‌متر و همپوشانی‌های متفاوت.



سوراخ به قطر ۹ و همپوشانی ۴ میلی‌متر

$$\begin{aligned} l &= 15 \\ l-d &= 6 \\ y_{\min} &= 1.2 \\ y_{\max} &= 2.3 \\ \theta &= 10/38 \end{aligned}$$

سوراخ به قطر ۹ و همپوشانی ۶ میلی‌متر

$$\begin{aligned} l &= 13 \\ l-d &= 4 \\ y_{\min} &= 1.7 \\ y_{\max} &= 2.5 \\ \theta &= 11/30 \end{aligned}$$

شکل (۱۶): مقایسه نتایج برای صفحات با قطر سوراخ‌های ۹ میلی‌متر و همپوشانی‌های متفاوت.



سوراخ به قطر ۹ و همپوشانی ۶ میلی‌متر

$$l = 13$$

$$l-d=4$$

$$y_{\min}=1/7$$

$$y_{\max}=2/5$$

$$\theta = 11/30$$



سوراخ به قطر ۷ و همپوشانی ۶ میلی‌متر

$$l = 11$$

$$l-d=4$$

$$y_{\min}=1/7$$

$$y_{\max}=2/4$$

$$\theta = 9/92$$

شکل (۱۷): قطر سوراخ‌های ۷ و ۹ میلی‌متری با میزان همپوشانی ۶ میلی‌متر.

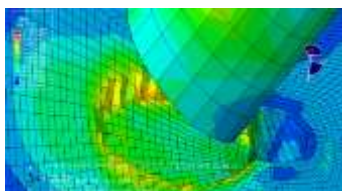
فاصله از منو باز شده، با انتخاب دو نقطه در قسمت نتایج شبیه سازی می توان اختلاف ارتفاع در ۲ نقطه را مشاهده نمود، بدین ترتیب می توان با انتخاب نقطه ای دور از محل برخورد و یا انتخاب نقطه ای که در سطوح ثابت شده در شرایط مرزی هستند به عنوان نقطه اول و انتخاب نقطه دیگر که میزان نفوذ پرتابه در آن مجهول می باشد، میزان دقیق عمق نفوذ را بدست آورد. در این بخش به شبیه سازی صفحات سوراخ دار پرداخته و میزان اختلاف بین مقادیر تجربی و عددی را محاسبه شده است. میزان اختلاف نتایج عددی و تجربی در اشکال ۱۸ و ۱۹ محاسبه شده و دقت مدل عددی اثبات شده است.

میزان انحراف پرتابه پس از برخورد به صفحه سوراخ دار برای قطرهای سوراخ ۷ و ۹ میلی متر نشان داده شده در شکل ۱۷ به ترتیب ۹/۹۲ و ۱۱/۳ درجه می باشد.

با توجه به تست های انجام گرفته و بررسی اثر قطر سوراخ در صفحات سوراخ دار با میزان همپوشانی ثابت، به این نکته می توان دست یافت که با افزایش قطر سوراخ انحراف پرتابه پس از برخورد نیز افزایش می یابد.

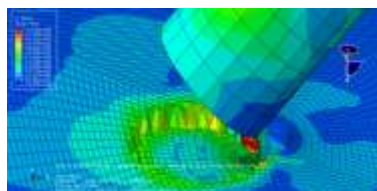
۵-۲- شبیه سازی عددی

در شبیه سازی با استفاده از آیکون Query و انتخاب گزینه



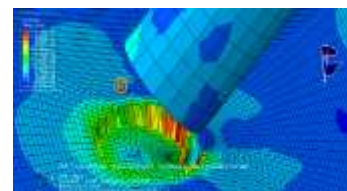
سوراخ به قطر ۵ و همپوشانی ۱ میلی متر

$$\begin{aligned} y_{\min} &= 0/836 \\ y_{\max} &= 1/73 \\ \theta &= 5/67 \\ \text{خطا} &= \%10 \end{aligned}$$



سوراخ به قطر ۵ و همپوشانی ۳ میلی متر

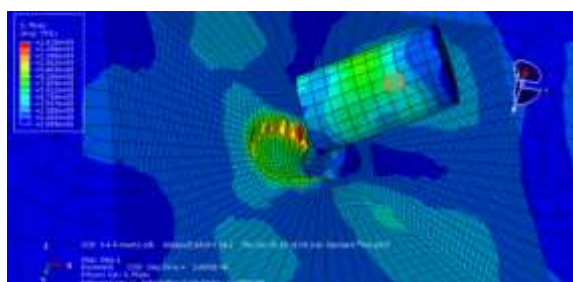
$$\begin{aligned} y_{\min} &= 0/856 \\ y_{\max} &= 1/79 \\ \theta &= 7/6 \\ \text{خطا} &= \%4 \end{aligned}$$



سوراخ به قطر ۵ و همپوشانی ۴/۲ میلی متر

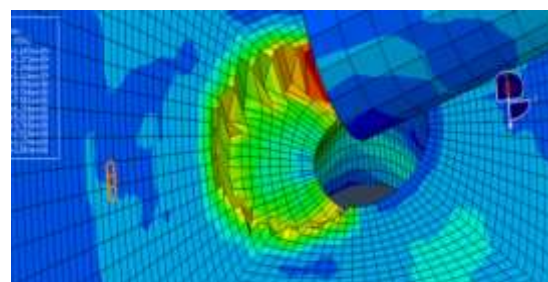
$$\begin{aligned} y_{\min} &= 0/911 \\ y_{\max} &= 1/76 \\ \theta &= 8/05 \\ \text{خطا} &= \%9 \end{aligned}$$

شکل (۱۸): شبیه سازی برخورد پرتابه با صفحه سوراخ دار به قطر ۵ میلی متر



سوراخ به قطر ۹ و همپوشانی ۴ میلی متر

$$\begin{aligned} y_{\min} &= 1/14 \\ y_{\max} &= 2/1 \\ \theta &= 9/09 \\ \text{خطا} &= \%12 \end{aligned}$$



سوراخ به قطر ۹ و همپوشانی ۶ میلی متر

$$\begin{aligned} y_{\min} &= 1/66 \\ y_{\max} &= 2/42 \\ \theta &= 10/75 \\ \text{خطا} &= \%5 \end{aligned}$$

شکل (۱۹): شبیه سازی برخورد پرتابه با صفحات با قطر سوراخ ۹ میلی متر

$$\theta(d,s,v) = (C_1 ds^2 + C_2 ds + C_3 s^2 + C_4 s + C_5 d + C_6 d^2 s + C_7)(C_8 V^{0.25} + C_9) \quad (13)$$

معادله پس از یافتن ثوابت بهینه توسط الگوریتم بهینه سازی به صورت معادله (۱۴) می باشد.

۵-۳- مدل نیمه تحلیلی

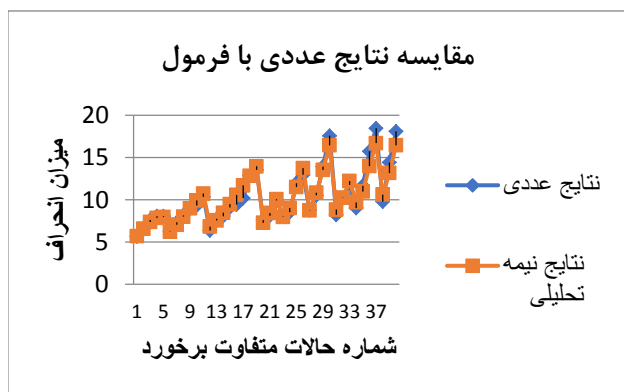
معادله پیش بینی شده با ثوابت مجهول به صورت معادله (۱۳) می باشد. که در این معادله C_1 الی C_9 ضرایب مجهول می باشند.

ادامه جدول (۷): داده‌های به‌دست‌آمده از

۴۰ حالت بررسی شده.

۳۱	۰/۵	۰/۱۲	۰/۳۳۰۱	۸/۲۱	۸/۸۳
۳۲	۰/۵	۰/۳۲۶۸	۰/۳۳۰۱	۱۰/۲	۱۰/۲۴
۳۳	۰/۵	۰/۸۲۲۱	۰/۳۳۰۱	۱۱/۷۶	۱۲/۲۲
۳۴	۰/۷	۰/۰۶۸۹	۰/۳۳۰۱	۹/۰۲	۹/۶۷
۳۵	۰/۷	۰/۱۹۰۵	۰/۳۳۰۱	۱۱/۶۵	۱۰/۹۶
۳۶	۰/۷	۰/۵۱۱۶	۰/۳۳۰۱	۱۵/۷۳	۱۳/۹۸
۳۷	۰/۷	۰/۸۶۹۶	۰/۳۳۰۱	۱۸/۴۶	۱۶/۷۰
۳۸	۰/۹	۰/۰۴۴۹	۰/۳۳۰۱	۹/۷۷	۱۰/۶۰
۳۹	۰/۹	۰/۲۲۵۳	۰/۳۳۰۱	۱۴/۴۲	۱۳/۱۶
۴۰	۰/۹	۰/۴۶۶۷	۰/۳۳۰۱	۱۸/۱	۱۶/۴۴

در شکل ۲۰ به مقایسه نتایج حاصل از حل عددی و فرمول پرداخته شده است.



شکل (۲۰): مقایسه نتایج حاصل از حل عددی و فرمول

۵-۳-۱- صحت‌سنجی فرمول به‌دست‌آمده

با توجه به اینکه در رابطه ارائه‌شده تمامی پارامترها بی‌بعد شده و سپس استفاده گردیده است می‌توان این‌چنین ادعا کرد که این رابطه قادر می‌باشد زاویه انحراف پرتابه پس از برخورد به صفحه سوراخ‌دار را برای هر قطر از پرتابه، قطر سوراخ، مقدار همپوشانی و سرعت‌های مختلف بدست آورد. در ادامه برای تست فرمول ۲ حالت خاص را که در یکی از حالات آن قطر پرتابه متفاوت با قطر پرتابه استفاده‌شده باشد و در حالت دیگر سرعت پرتابه متفاوت با ۳ سرعت بررسی‌شده باشد را در نظر گرفته و نتایج حاصل از شبیه‌سازی و فرمول باهم مقایسه شده است.

در آزمایش اول به بررسی میزان انحراف پرتابه‌ای به قطر ۱۲ میلی‌متر پس از برخورد به صفحه‌ای سوراخ‌دار به قطر ۹

$$\theta(d,s,v) = (-18.0097ds^2 - 14.3399ds + 19.8634s^2 - 11.5031s - 14.1946d - 18.537d^2s - 14.2479)(-1.5851V^{0.25} + 0.8331)$$

داده‌های به‌دست‌آمده از ۴۰ حالت بررسی‌شده توسط

مدل عددی و رابطه نیمه‌تحلیلی در جدول ۷ گردآوری‌شده است.

جدول (۷): داده‌های به‌دست‌آمده از ۴۰ حالت بررسی‌شده

شماره	d	s	v	زاویه انحراف محاسبه‌شده توسط مدل عددی	زاویه انحراف محاسبه‌شده توسط فرمول
۱	۰/۵	۰/۱۲	۰/۲۰۷۵	۵/۶۷	۵/۶۸
۲	۰/۵	۰/۳۲۶۸	۰/۲۰۷۵	۶/۵۸	۶/۵۷
۳	۰/۵	۰/۵۷۲۱	۰/۲۰۷۵	۷/۶	۷/۳۶
۴	۰/۵	۰/۸۲۲۱	۰/۲۰۷۵	۸/۰۵	۷/۸۵
۵	۰/۵	۰/۹۳۱۲	۰/۲۰۷۵	۸/۰۶	۷/۹۶
۶	۰/۷	۰/۰۶۸۹	۰/۲۰۷۵	۶/۲۷	۶/۲۱
۷	۰/۷	۰/۱۹۰۵	۰/۲۰۷۵	۷/۳۳	۷/۰۴
۸	۰/۷	۰/۳۴۱۶	۰/۲۰۷۵	۸/۱۳	۸/۰۰
۹	۰/۷	۰/۵۱۱۶	۰/۲۰۷۵	۸/۹۹	۸/۹۹
۱۰	۰/۷	۰/۶۹۱۸	۰/۲۰۷۵	۹/۳۱	۹/۹۲
۱۱	۰/۷	۰/۸۶۹۶	۰/۲۰۷۵	۱۰/۳۴	۱۰/۷۳
۱۲	۰/۹	۰/۰۴۴۹	۰/۲۰۷۵	۶/۳۶	۶/۸۱
۱۳	۰/۹	۰/۱۲۴۸	۰/۲۰۷۵	۷/۷۴	۷/۵۵
۱۴	۰/۹	۰/۲۲۵۳	۰/۲۰۷۵	۸/۰۵	۸/۴۶
۱۵	۰/۹	۰/۳۴۰۵	۰/۲۰۷۵	۹/۰۹	۹/۴۸
۱۶	۰/۹	۰/۴۶۶۷	۰/۲۰۷۵	۹/۴۲	۱۰/۵۷
۱۷	۰/۹	۰/۶۰۱	۰/۲۰۷۵	۱۰/۲	۱۱/۷۰
۱۸	۰/۹	۰/۷۴۰۶	۰/۲۰۷۵	۱۲/۸۴	۱۲/۸۳
۱۹	۰/۹	۰/۸۸۱۵	۰/۲۰۷۵	۱۳/۵۴	۱۳/۹۵
۲۰	۰/۵	۰/۱۲	۰/۲۶۴۱	۷/۵۹	۷/۲۷
۲۱	۰/۵	۰/۳۲۶۸	۰/۲۶۴۱	۸/۱۱	۸/۴۳
۲۲	۰/۵	۰/۸۲۲۱	۰/۲۶۴۱	۹/۹۲	۱۰/۰۶
۲۳	۰/۷	۰/۰۶۸۹	۰/۲۶۴۱	۸/۰۳	۷/۹۶
۲۴	۰/۷	۰/۱۹۰۵	۰/۲۶۴۱	۸/۵۳	۹/۰۲
۲۵	۰/۷	۰/۵۱۱۶	۰/۲۶۴۱	۱۱/۹۵	۱۱/۵۱
۲۶	۰/۷	۰/۸۶۹۶	۰/۲۶۴۱	۱۲/۹۵	۱۳/۷۵
۲۷	۰/۹	۰/۰۴۴۹	۰/۲۶۴۱	۸/۷۷	۸/۷۳
۲۸	۰/۹	۰/۲۲۵۳	۰/۲۶۴۱	۱۰/۵۲	۱۰/۸۳
۲۹	۰/۹	۰/۴۶۶۷	۰/۲۶۴۱	۱۳/۹۲	۱۳/۵۳
۳۰	۰/۹	۰/۷۴۰۶	۰/۲۶۴۱	۱۷/۵۷	۱۶/۴۴

محاسبه حداکثر مقدار عمق نفوذ با استفاده از ابزار
Query: ۵/۴ میلی‌متر

میزان انحراف پرتابه پس از برخورد به سوراخ:

$$\theta = 16/69^\circ$$

میزان انحراف محاسبه شده پرتابه پس از برخورد به
سوراخ توسط روش نیمه تحلیلی:

$$\theta(d,s,v) = 15/52^\circ$$

محاسبه خطا در میزان انحراف بین نتایج عددی و
فرمول: ۷٪

همان‌طور که مشاهده گردید، میزان خطا حداقل بوده و
می‌توان از این رابطه با دقت بالا جهت بدست آوردن میزان
انحراف پرتابه پس از برخورد در سرعت‌های کم استفاده
نمود. با دقت در نتایج به دست آمده می‌توان به این نکته
پی برد که با افزایش سرعت اولیه برخورد، میزان انحراف
پرتابه پس از برخورد به صفحه سوراخ‌دار نیز بیشتر می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی تجربی و عددی و نیمه تحلیلی
میزان انحراف پرتابه سرتخت پس از برخورد به اهداف
سوراخ‌دار پرداخته شده است. و نتایج این تحقیق به شرح
زیر می‌باشد:

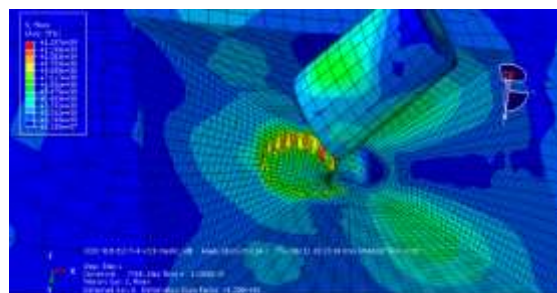
(۱) با بررسی میزان همپوشانی در صفحه سوراخ‌دار با قطر
ثابت، به این نکته می‌توان دست یافت که با افزایش میزان
همپوشانی انحراف پرتابه پس از برخورد نیز افزایش می‌یابد.

(۲) با بررسی صفحات سوراخ‌دار با قطر متغیر و با میزان
همپوشانی ثابت، به این نکته می‌توان دست یافت که با
افزایش قطر سوراخ انحراف پرتابه پس از برخورد نیز
افزایش می‌یابد.

(۳) با افزایش سرعت اولیه پرتابه، میزان انحراف پرتابه پس
از برخورد با سوراخ نیز بیشتر می‌شود.

(۴) با توجه به حالات مختلف ۴۰ آزمایش طراحی شده و با
داشتن نتایج حاصل از حل عددی و با استفاده از الگوریتم
بهینه‌سازی آموزش-یادگیری رابطه میزان انحراف پرتابه
پس از برخورد با صفحه سوراخ‌دار محاسبه شده است.

میلی‌متر و طول همپوشانی ۴ میلی‌متر پرداخته شده است،
شکل ۲۱.



شکل (۲۱): مدل عددی با قطر پرتابه ۱۲، سوراخ ۹،
همپوشانی ۴ میلی‌متر و سرعت ۲۲۰ متر بر ثانیه [۸].

محاسبه حداقل مقدار عمق نفوذ با استفاده از ابزار
Query: ۱/۰۷ میلی‌متر.

محاسبه حداکثر مقدار عمق نفوذ با استفاده از ابزار
Query: ۲/۲۲ میلی‌متر.

میزان انحراف پرتابه پس از برخورد به سوراخ:

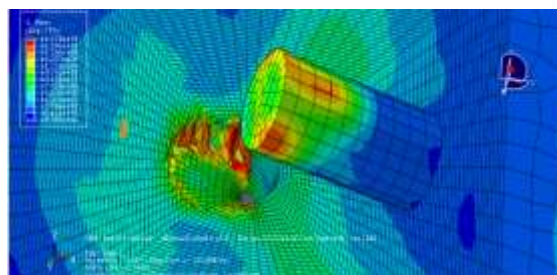
$$\theta = 8/18^\circ$$

میزان انحراف محاسبه شده پرتابه پس از برخورد به
سوراخ توسط روش نیمه تحلیلی:

$$\theta = 8/71^\circ$$

محاسبه خطا در میزان انحراف بین نتایج عددی و
فرمول: ۶٪

در تست دوم پرتابه با سرعت ۴۰۰ و قطر سوراخ ۷ و
طول همپوشانی ۴ میلی‌متر را در نظر گرفته شده است،
شکل ۲۲.



شکل (۲۲): مدل عددی با قطر پرتابه ۱۰، سوراخ ۷،
همپوشانی ۴ میلی‌متر و سرعت ۴۰۰ متر بر ثانیه

محاسبه حداقل مقدار عمق نفوذ با استفاده از ابزار
Query: ۳/۰۶ میلی‌متر

8. Kilic, N., Bedir, S., Erdik, B., Ekici, A., Guden, M. "Ballistic Behavior of High Hardness Perforated Armor Plates against 7.62 mm Armor Piercing Projectile", *Mater. Des.*, Vol. 63, pp. 427–438, 2014.
9. Kilic, N., Bedir, S., Erdik, B., Ekici, A. "Optimization of High Hardness Perforated Steel Armor Plates Using Finite Element and Response Surface Methods", *Mech. Adv. Mater. Struc.* Vol. 24, pp. 615–24, 2016.
10. Fras, T., Faderl, N. "Influence of add-on Perforated Plates on the Protective Performance of Light-Weight Armour Systems", *Problemy Mechatroniki*. Vol. 9, pp. 31–48, 2018.
11. Sayahbadkhor, M., Vahedi, K., Naddaf, Oskouei A. "New Analytical Model Presentation and Numerical Investigation of Ballistic Impact on Ceramic/Metal Semi-Infinite Perforated Targets", *Modares. Mech. Eng.*, Vol. 20, pp. 1127–43, 2020. (in Persian).
12. Fellows, N., Barton, P. "Development of Impact Model for Ceramic- Faced Semi-Infinite Armour", *Int. J. Impact. Eng.* Vol. 22, pp. 793–811, 1999.
13. Duan, C., Dou, T., Cai, Y., Li, Y. "Finite Element Simulation and Experiment of Chip Formation Process during High Speed Machining of AISI 1045 Hardened Steel", *J. Ind. Prod. Eng.* Vol. 01, pp. 28-32, 2011.
14. Pawar, S., Salve, A., Chinchankar, S., Kulkarni, A., Lamdhadeb, G. "Residual Stresses during Hard Turning of AISI 52100 Steel, Numerical Modeling with Experimental Validation", *Mater. Today. Proceedings*. Vol. 04, pp. 2350 –2359, 2017.
15. Teemu, R. "Prospects for the Detection of Planetary Rings around Extrasolar Planets", Master's thesis, Space Physics and Astronomy Research Unit, University of Oulu, Finland, 2020.

۵) با توجه به اینکه در رابطه ارائه شده تمامی پارامترها بی‌بعد شده و سپس استفاده گردیده است می‌توان این چنین ادعا کرد که این رابطه قادر می‌باشد زاویه انحراف پرتابه پس از برخورد به صفحه سوراخ‌دار را برای هر قطر از پرتابه، قطر سوراخ، مقدار همپوشانی و سرعت‌های مختلف بدست آورد.

۷- مراجع

1. Auyer, R.; Buccellato, R.; Gidynski, A.; Ingersoll, R.; Sridharan, N. "Perforated Plate Armor"; US Patent 5,014,593, 1991.
2. Ravid, M.; Hirschberg, Y. "Ballistic Armor"; US Patent 7,513,186, 2009.
3. Balos, S., Grabulov, V., Sidjanin, B., Pantic, A., Radisavljevic, C. "Geometry, Mechanical Properties and Mounting of Perforated Plates for Ballistic Application", *Mater. Des.* Vol. 31, pp. 2916–2924, 2010.
4. Madhu, V., Bhat, T. "Armour Protection and Affordable Protection for Futuristic Combat Vehicles", *Defense. Sci. J* Vol. pp. 394-402, 2011.
5. Radisavljevic, I., Balos, S., Milutin, B., Nikacevic, A., Sidjanin, B. "Optimization of Geometrical Characteristics of Perforated Plates", *Mater. Des* 49, pp. 81–89, 2013.
6. Mishra, B., Ramakrishna, B., Jena, P. K., Siva, K., Madhu, V., Gupta, N. K. "Experimental Studies on the Effect of Size and Shape of Holes on Damage and Microstructure of High Hardness Armor Steel Plates under Ballistic Impact", *Mater. Des.* Vol. 43, pp. 17–24, 2013.
7. Rosenberg, Z., Ashuach, Y., Yeshurun, Y., Dekel, E. "On the Main Mechanism for Defeating AP Projectiles, Long Rods and Shaped Charge Jets", *Int. J. Impact. Eng.* Vol. 36, pp. 588–96, 2009.