

## Experimental Analysis of the Ballistic Limit Speed of Cloth Concrete Targets under Penetration of Steel Projectiles

S. Peyman\*, M. Azimi, M. Ziashamami

### Abstract

Concrete is one of the common materials in strategic structures, and because of it, fabric concrete (CC), which is also called fabric reinforced concrete (TCR), is considered one of the latest technologies in the world. According to the general applications of fabric concrete, the need to investigate and evaluate it in the field of military and defense becomes clear, and for this purpose, in this research, fabric concrete targets with dimensions of 120 mm x 120 mm and thickness of 10 mm are subjected to the penetration of steel projectiles with flat, hemispherical and conical noses. have been tested and the velocity of the ballistic limit of a specific fabric concrete sample and the maximum diameter of destruction of the front and back surfaces of the sample have been measured. The failure mechanism of fabric concrete samples has emerged in the form of brittle and fragmentation type failure, which have shown a relatively good performance against the penetration of projectiles, so that the area and diameter of destruction on the front surface of the samples was very small and sometimes as much as the diameter of the projectile. On the back surface of the samples, the amount of destruction is also acceptable and with the increase of the impact speed, the amount of destruction has also increased linearly, and the ballistic limit speed for steel projectiles with flat, hemispherical and cone noses is 124, 110 and 100 m/s, respectively. It is stated that it indicates the easy penetration of projectiles with a conical nose and the difficult penetration of projectiles with a flat nose.

**Key Words:** *Experimental Analysis, Ballistic Limit Speed, Penetration, Impact, Cloth Concrete*

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

**Publisher:** Imam Hussein University

© Authors



\*Assistant Professor, Imam Hosein University, Tehran, Iran. (Speyman@ihu.ac.ir)- Writer-in-Charge

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال چهاردهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، (پیاپی ۵۳): صص ۱۲۸-۱۱۵

علمی- پژوهشی

## تحلیل تجربی سرعت حد بالستیک اهداف بتن پارچه‌ای تحت نفوذ پرتابه‌های فولادی

صفا پیمان<sup>۱\*</sup>، مصطفی عظیمی<sup>۲</sup>، مجتبی ضیاء شمایی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

### چکیده

بتن یکی از مصالح رایج در سازه‌های استراتژیک است و به ضعم آن بتن پارچه‌ای (CC) که بتن مسلح به پارچه (TCR) نیز نامیده می‌شود یکی از فناوری‌های نوین و تکنولوژی روز دنیا به حساب می‌آید. با توجه به کاربردهای عمومی بتن پارچه‌ای، نیاز بررسی و ارزیابی آن در زمینه نظامی و دفاعی روشن می‌شود که به همین منظور در پژوهش حاضر اهداف بتن پارچه‌ای با ابعاد ۱۲۰ میلی‌متر در ۱۲۰ میلی‌متر و ضخامت ۱۰ میلی‌متر تحت نفوذ پرتابه‌های فولادی با دماغه‌های تخت، نیم‌کروی و مخروطی آزمایش شده‌اند و میزان سرعت حد بالستیک نمونه بتن پارچه‌ای مشخص و میزان بیشینه قطر تخریب سطوح جلو و پشت نمونه اندازه‌گیری شده است. مکانیزم شکست نمونه‌های بتن پارچه‌ای به شکل شکست شکننده و از نوع تکه‌تکه شدگی پدید آمده است که عملکرد نسبتاً مناسبی را در برابر نفوذ پرتابه‌ها نشان داده‌اند به طوری که میزان مساحت و قطر تخریب در سطح جلوی نمونه‌ها بسیار ناچیز و بعضاً به اندازه قطر پرتابه بوده است، همچنین در سطح پشتی نمونه‌ها نیز میزان تخریب قابل قبول بوده و با افزایش سرعت برخورد، میزان تخریب نیز به صورت خطی افزایش یافته است و میزان سرعت حد بالستیک برای پرتابه‌های فولادی با دماغه‌های تخت، نیم‌کروی و مخروط به ترتیب مقدار ۱۲۴، ۱۱۰ و ۱۰۰ متربرثانیه بدست آمده که نشان دهنده نفوذ آسان پرتابه با دماغه مخروطی و نفوذ دشوار پرتابه با دماغه تخت می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** تحلیل تجربی، سرعت حد بالستیک، نفوذ، ضربه، بتن پارچه‌ای



\* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

نویسندگان ©

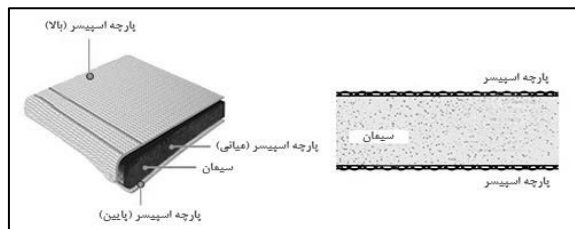
ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

<sup>۱</sup> استادیار پژوهشکده مهندسی و پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (علیه‌السلام) تهران، ایران - (Speyman@ihu.ac.ir) - نویسنده مسئول

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد مهندسی عمران، پژوهشکده مهندسی و پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (علیه‌السلام) تهران، ایران

<sup>۳</sup> پژوهشگر دانشگاه جامع امام حسین (علیه‌السلام)، تهران، ایران

سیمان در سطح متخلخل پارچه اسپیسر سه‌بعدی (شکل ۱) تشکیل می‌گردد و درنهایت، با اسپری کردن آب به روی سطح بتن پارچه‌ای، هیدراته و سخت شده و یک لایه ضدآب، مقاوم در برابر آتش، و بادوام را تشکیل می‌دهد. [۲]



شکل (۱): ساختار بتن پارچه‌ای (CC)

بتن پارچه‌ای (CC) در سال ۲۰۰۵ توسط مخترعان انگلیسی کرافورد و بروین<sup>۴</sup> اختراع شد. [۱۲] در آن زمان، این دو محقق با احساس نیاز در زمینه استفاده از چادرهای سریع‌الاحداث و مستحکم باعث شد به فکر تولید چادرهایی با هزینه ساخت پایین و قالب‌بندی سریع بیفتند که در برابر باد، باران، برف و نیروهای دیگر مقاوم باشند. درنهایت، کامپوزیت مبتنی بر سیمان تقویت‌شده با پارچه اسپیسر (شکل ۲) مورد استفاده قرار گرفت به طوری که این چادرها توسط بتن پارچه‌ای پوشانده شده است. این چادرها دارای تمام مزایای چادرهای بادی (یعنی هزینه کم، ذخیره‌سازی و حمل آسان، استحکام بالای ساختمان مونتاژ شده، عملکرد حفاظتی و محیط داخلی مناسب) هستند و می‌توانند تقاضای اقامت در زمان‌های اضطراری را به‌طور کامل برآورده کنند. [۱۲]



شکل (۲): برپاسازی چادر بتن پارچه‌ای [۲]

بتن مسلح به پارچه (TCR) به‌عنوان یک ماده کامپوزیت جدید در مقایسه با مخلوط‌های بتن سنتی دارای خواص برجسته مختلفی از جمله قابلیت تحمل بار بالا، شکل‌پذیری عالی، ضخامت نازک، وزن سبک اجزاء، مقاومت در برابر خوردگی و عدم ایجاد اختلالات مغناطیسی است. منسوجات مورد استفاده به‌عنوان آرماتور (تقویت‌کننده) در بتن پارچه‌ای می‌توانند مقاومت کششی بتن را به میزان قابل توجهی افزایش دهند زیرا زمانی که پارچه اسپیسر سه‌بعدی برای کاربردهای بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرد

## ۱- مقدمه

بتن یکی از مصالح رایج در ساخت سازه‌های عمرانی و همچنین سازه‌های استراتژیک است و کارآمدی بالایی نسبت به دیگر مصالح داشته که از مزایای فراوانی همچون شکل‌پذیری و مقاومت مناسبی برخوردار می‌باشد. استفاده از بتن در سازه‌های مختلف، محققین را بر آن داشت تا با انجام تحقیقات بیشتری روی عملکرد بتن بتوانند نمونه‌هایی با نقاط قوت بیشتر و نقاط ضعف کمتر در شرایط و زمینه‌های مختلف تولید کنند که با استفاده از الیاف غیرفلزی با کارایی بالا به‌عنوان تقویت‌کننده بتن امکان تولید عناصر نازک، سبک‌وزن، بادوام و پتانسیل صرفه‌جویی اقتصادی را برای بتن معمولی فراهم آورد. اولین واحد تقویت‌کننده الیاف، ماده‌ای به نام نی بود که برای تقویت آجرهای سفالی برای جلوگیری از ترک خوردن مورد استفاده قرار می‌گرفت. به همین ترتیب، شاخه‌های بامبو نیز برای تقویت دیوارهای گلی از دوران ماقبل تاریخ استفاده می‌شده است. در جامعه مدرن، مواد کامپوزیتی برای اولین بار در دهه ۱۹۳۰ هنگامی که الیاف شیشه به‌عنوان تقویت‌کننده برای ماتریس‌های مبتنی بر رزین استفاده شد، مورد استفاده قرار گرفت. توسعه الیاف جدید مانند کربن، بور و آرامید از دهه ۱۹۷۰ کاربرد کامپوزیت‌ها را به میزان قابل توجهی افزایش داده است.

مزایای الیاف‌ها به همراه گزینه‌های زیاد طراحی که به معماران و مهندسان در دهه‌های گذشته داده شد، بتن مسلح با الیاف شیشه (GFRC<sup>۱</sup>) را به وجود آورد که به‌عنوان یک مصالح ساختمانی گسترده در سراسر جهان از دهه ۱۹۸۰ شناخته شده است. ولی به دلیل آنکه الیاف شیشه دارای توزیع نسبی جهت‌دار در سطح مقطع کلی می‌باشند، اثربخشی آن‌ها کاهش می‌یابد. به همین منظور محققان به دنبال تولید محصولی بودند که مزایای بتن مسلح با الیاف شیشه و بتن مسلح فولادی معمولی را مرتفع سازد به طوری که دیگر نیازی به پوشش بتنی برای محافظت از آرماتور در برابر خوردگی نباشد و مواد الیاف فقط در موارد ضروری در جهت نیروهای کششی قرار می‌گیرد. [۷] از این رو یکی از فناوری‌های نوین که به‌عنوان تکنولوژی روز دنیا معرفی شده است محصولی به نام **بتن پارچه‌ای**<sup>۲</sup> می‌باشد که مطالعات مربوط به این محصول هنوز در ابتدای راه است.

بتن پارچه‌ای (CC) که بتن مسلح به پارچه (TCR<sup>۳</sup>) نیز نامیده می‌شود، یک کامپوزیت مبتنی بر سیمان انعطاف‌پذیر و تقویت‌شده با پارچه اسپیسر سه‌بعدی است که با افزودن پودر

<sup>۱</sup> Glass-Fiber Reinforced Concrete (GFRC)

<sup>۲</sup> Concrete Cloth (CC)

<sup>۳</sup> Textile Reinforced Concrete (TRC)

<sup>۴</sup> Crawford and Brewin

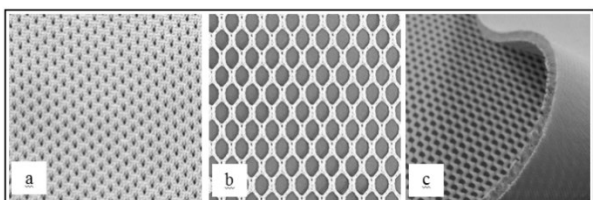
حد بالستیک اهداف بتن پارچه‌ای تحت نفوذ پرتابه‌های فولادی مشخص انجام شده است.

## ۲- ساختار بتن پارچه‌ای

اجزای اصلی تشکیل‌دهنده بتن پارچه‌ای (CC)، پارچه اسپیسر سه‌بعدی و مواد پرکننده مبتنی بر سیمان است و در مواردی که نیاز به ویژگی عدم نفوذ آب و یا استحکام بیشتر کششی محصول وجود دارد از لایه سومی نیز به نام لایه عایق آب استفاده می‌شود که به وسیله چسب به بتن پارچه‌ای متصل می‌گردد و نقش سازه‌ای ایفا نمی‌نماید. در ادامه به توضیح هر جزء پرداخته خواهد شد:

### ۲-۱- پارچه اسپیسر سه‌بعدی

پارچه مهم‌ترین جزء بتن پارچه‌ای است که بسیاری از خواص محصول به دلیل وجود این ماده پدیدار می‌گردد. پارچه اسپیسر سه‌بعدی (شکل ۳-۱) مورد استفاده در بتن پارچه‌ای، نوع خاصی از منسوجات با معماری نخ سه‌بعدی و معماری پارچه سه‌بعدی بوده [۸] که از دو بافت جداگانه تشکیل شده است، بافت فوقانی مشبک و بافت تحتانی غیر مشبک (درزگیری شده) که به صورت حلقوی در جهت  $x$  و  $y$  بافته شده‌اند و به وسیله لایه میانی، در جهت  $z$  به هم متصل می‌گردند.



شکل (۳): (a) پارچه غیر مشبک تحتانی، (b) پارچه مشبک فوقانی و (c) پارچه اسپیسر سه‌بعدی

### ۲-۲- مواد پرکننده مبتنی بر سیمان

عمده‌ترین ماده‌ای که به عنوان ماتریس سیمان در بتن پارچه‌ای برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، سیمان پرتلند است، سیمان پرتلند اصلاح شده پرمصرف‌ترین نوع سیمان پرتلند در ساختار بتن پارچه‌ای است. همچنین در شرایطی که استحکام و مقاومت مناسب‌تر و خاصیت ضد حریق بودن مورد نظر باشد می‌توان از سیمان نسوز یا فوندو (IRC40) نیز استفاده نمود.

### ۲-۳- لایه عایق آب

برای عایق نمودن بتن پارچه‌ای در برابر نفوذ آب از یک لایه پی‌وی‌سی (PVC<sup>۱</sup>) بر روی سطح بالایی آن استفاده می‌شود و

باعث می‌شود کامپوزیت مبتنی بر سیمان در سه جهت تقویت شده و در موارد ضروری در جهت نیروهای کششی وارده قرار گیرند. [۶ و ۷]

با این حال، با توجه به آنکه بتن پارچه‌ای یک ماده ترکیبی است، از ماتریس سیمان و تقویت‌کننده پارچه اسپیسر سه‌بعدی تشکیل شده است که بر اساس نظریه مقاومت مواد کامپوزیتی، عملکرد بتن پارچه‌ای با ویژگی‌های ماتریس سیمان، استحکام خود پارچه سه‌بعدی و چسبندگی سطحی بین آن‌ها تعیین می‌گردد. [۲]

به طور معمول بتن پارچه‌ای همانند پارچه پیچیده می‌شود و توسط سازنده در بسته‌بندی مهر و موم شده برای استفاده آسان به محل پروژه منتقلو امکان ساخت و ساز را بدون نیاز به تجهیزات و چارچوب اختلاط، ریخته‌گری و ... تکمیل می‌نماید. [۱۴]

از سال ۲۰۰۵ به بعد محصولات بسیاری مبتنی به بتن پارچه‌ای به منظور کاربردهای متنوع از جمله: آب‌بندی مخازن پالایشگاه‌ها، تثبیت‌کننده ترانشه‌ها، محوطه‌سازی، ساخت دیوار حائل مقرون به صرفه و ... تولید و مورد استفاده قرار گرفته شده است [۶، ۷ و ۱۴] با این حال یکی از کاربردهایی که می‌توان انتظار داشت بتن پارچه‌ای داشته باشد استفاده در ساختار و لوازم نظامی و دفاعی است.

در حوزه نظامی و دفاعی پژوهش‌هایی نظیر بررسی تأثیر بار انفجار، رفتارهای دینامیکی و ... بر روی دال‌های بتن پارچه‌ای در سال‌های اخیر انجام شده است به طوری که نتایج به دست آمده در پژوهش فیاض و همکارانش نشان می‌دهد که رفتار پوسته ساخته شده از بتن پارچه‌ای با ابعاد ۴۰۰ در ۴۰۰ در ۱۳ میلی‌متر مکعب تحت تأثیر انفجار (خرج TNT) در حوزه نزدیک (۰/۵۵) کیلوگرم در فاصله ۴۰۰ میلی‌متری) سبب می‌شود که پوسته‌های بتن پارچه‌ای به دلیل ضخامت کم در نواحی تکیه‌گاهی ضعیف عمل نموده و در نواحی مذکور خسارت‌های زیادی (خردشدگی و سوراخ‌شدگی) بر آن وارد شود، اما به دلیل وجود الیاف در بتن و پارچه در سطح تحتانی پوسته بتن پارچه‌ای، نواحی مرکزی آن در وجه تحتانی پوسته برخلاف بتن‌های معمولی آسیب‌های سازه‌ای کمتری دیده و عمق خردشدگی در نواحی مذکور بسیار ناچیز بیان شده است. به طور کلی محصول بتن پارچه‌ای از ویژگی یکپارچه بودن در سطح به وسیله الیاف بهره برده و در برابر اثرات انفجار مقاوم می‌باشد ولی به دلیل نازک بودن و ضخامت کم پوسته در برابر نفوذ پرتابه‌ها توصیه نمی‌شود. [۱۵]

در پژوهش حاضر برای نخستین بار براساس مطالعه آزمایشگاهی،

<sup>۱</sup> Polyvinyl Chloride (PVC)

نقش غیر سازه‌ای در بتن پارچه‌ای ایفا می‌نماید.

## ۴-۲- چسب

در محصول بتن پارچه‌ای به‌منظور اتصال لایه عایق آب (پی‌وی‌سی) به پارچه اسپیسر آغشته شده به پودر سیمان از نوع خاصی چسب به نام چسب حرارتی<sup>۱</sup> استفاده می‌گردد. این نوع چسب در حالت عادی (دمای اتاق) به‌صورت نیمه جامد بوده و برای استفاده از آن می‌بایست دمای آن را بالا برد تا از روانی مناسبی برخوردار شود و درنهایت بعد از چسباندن دولایه مذکور به یکدیگر با سرعت خنک شده و سفت می‌گردد.

## کاربردهای متنوع بتن پارچه‌ای

یکی از مزیت‌های مهم این محصول، شکل‌پذیری بالا است که اجازه می‌دهد بتن پارچه‌ای به‌راحتی با اشکال و هندسه‌های پیچیده سازگار شود. این منسوجات پر شده با سیمان را می‌توان برای تولید پروفیل‌های مختلف و اجزای منحنی شکل، از جمله لایه‌های تقویتی روی پروفیل‌ها یا اجزای پوسته‌ای شکل استفاده کرد. به همین منظور انتخاب ایده آلی برای طیف وسیعی از کاربردها هستند همچنین بایستی به این نکته توجه نمود که این حوزه به‌سرعت در حال رشد است و کاربردها و فرصت‌های جدیدی را می‌تواند ارائه نماید که مستلزم توسعه بیشتر تکنیک‌های پردازش و ساخت است.

اصلی‌ترین کاربرد محصول بتن پارچه‌ای به شرح زیر است:

۱. تثبیت خاک‌ریزها و تراشه‌ها؛
۲. ترمیم و تقویت دیوارها و گابیون‌ها؛
۳. لاینیگ کانال‌ها؛
۴. محوطه‌سازی و جلوگیری از رشد علف‌های هرز؛
۵. دیواره مخازن و پالایشگاه‌ها؛
۶. پناهگاه سریع‌الاحداث.

## ۳- مکانیک ضربه و نفوذ

نحوه اعمال بار به مواد مختلف را می‌توان به دودسته «بارگذاری استاتیکی<sup>۲</sup>» و «بارگذاری دینامیک<sup>۳</sup>» تقسیم‌بندی نمود. یکی از معیارهای تشخیص نوع بارگذاری، ثابت یا متغیر بودن بار در طی زمان است.

در بارگذاری استاتیکی، بار به آرامی بر روی سازه اعمال شده و هیچ لرزشی درون سیستم رخ نمی‌دهد. در این شرایط، میزان بار

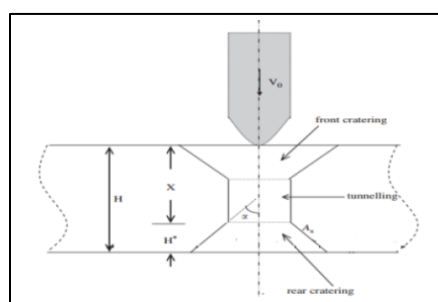
به‌تدریج از صفر تا حداکثر مقدار موردنظر افزایش می‌یابد و سپس در همان مقدار حداکثری ثابت باقی می‌ماند.

شرایط بارگذاری دینامیک با بارگذاری استاتیکی متفاوت است. بارگذاری دینامیکی انواع مختلفی دارد. در برخی از موارد، اعمال بار برای دوره‌های طولانی مدت صورت می‌گیرد و شدت آن به‌طور پیوسته در طول زمان تغییر می‌کند. به نیروهای اعمال شده در این شرایط، «بارهای متناوب<sup>۴</sup>» گفته می‌شود که این بارهای متناوب توسط ماشین‌آلات چرخشی، ترافیک، تندباد، امواج آب، زلزله و فرآیندهای تولید قطعات می‌تواند به وجود آیند. همچنین در نوع دیگر بارگذاری دینامیک، اعمال بار و توقف آن به‌صورت ناگهانی صورت می‌گیرد. که با نام «بارهای ضربه‌ای<sup>۵</sup>» مطرح می‌گردند. بارهای ضربه‌ای در هنگام برخورد دو شی به یکدیگر یا اصابت یک شی در حال سقوط به یک سازه ایجاد می‌شوند.

اصابت پرتابه به دلیل اعمال نیرو به شکل ناگهانی در هدف نیز به‌صورت بارگذاری ضربه‌ای است

## ۳-۱- مکانیزم نفوذ پرتابه

ورود پرتابه در داخل ماده هدف و ایجاد یک تونل به عمق مشخص، نفوذ نامیده می‌شود و عبور پرتابه از تمامی ضخامت هدف و به‌اصطلاح سوراخ شدن هدف را نیز نفوذ کامل گویند. فرآیند نفوذ کامل یک پرتابه در بتن شامل ایجاد تورفتگی با حفره اولیه (مخروط ناقص) در صفحه رویی، تونلینگ<sup>۶</sup> و درنهایت ایجاد حفره ثانویه (مخروط ناقص) در صفحه پشتی است که این فرآیند در شکل (۴) قابل مشاهده است. [۱]



شکل (۴): مکانیزم تخریب بر اثر نفوذ پرتابه [۱]

در شکل شماره ۴، پارامترهای  $x$ ،  $H$ ،  $H^*$  و  $A_s$  و  $V_0$  به ترتیب بیانگر عمق نفوذ پرتابه تا ایجاد حفره ثانویه (پلاگ مخروطی)، ضخامت نمونه، عمق و سطح جانبی پلاگ مخروطی ناقص و سرعت برخورد پرتابه هستند. شکل و عمق این حفرات نیز بستگی به خصوصیات ماده هدف و پرتابه، شکل دماغه و سرعت

<sup>4</sup> Fluctuating Loads

<sup>5</sup> Impact Loads

<sup>6</sup> Tunneling

<sup>1</sup> Hot-melt Adhesive (HMA)

<sup>2</sup> Static Loading

<sup>3</sup> Dynamic Loading

پرتابه دارد. [۱]

### ۳-۲- مکانیزم شکست هدف

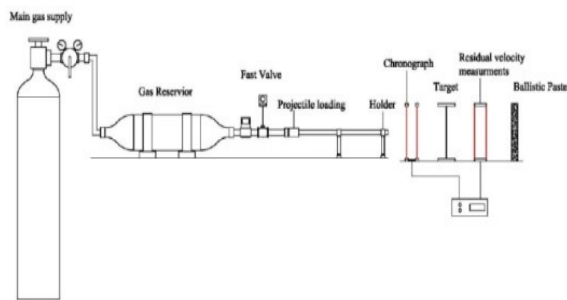
بر اثر اصابت پرتابه به هدف و به دلیل وجود شرایط و عوامل بسیار، ممکن است حالات مختلفی در زمان نفوذ پرتابه در هدف رخ دهد که حالت‌های شکست نامیده می‌شوند. طبقه‌بندی حالت‌های شکست پیچیده است، به این دلیل که حالت‌های زیادی در پدیده‌های نفوذ واقعی وجود دارد. [۱۳] ولی می‌توان گفت به‌طور کلی دو نوع شکست (شکست شکل‌پذیر<sup>۱</sup> و شکست شکننده<sup>۲</sup>) در مواد در اثر نفوذ پرتابه وجود دارد که در شکل ۵ قابل مشاهده است.

- مهم‌ترین نوع شکست شکل‌پذیر عبارت‌اند از:
  - بزرگ شدن سوراخ شکل‌پذیر<sup>۳</sup>؛
  - گلبرگ زدن<sup>۴</sup>؛
  - پلاگینگ<sup>۵</sup>؛
  - شکست شعاعی<sup>۶</sup>.
- مهم‌ترین نوع شکست شکننده عبارت‌اند از:
  - تکه‌تکه شدن<sup>۷</sup>؛
  - پوسته‌پوسته شدن<sup>۸</sup>.

حساب می‌آیند از این رو پارامتر مهمی به نام سرعت حد بالستیک مطرح می‌گردد. حد بالستیک یا سرعت حدی، سرعتی است که برای یک پرتابه خاص برای نفوذ مطمئن (حداقل ۵۰ درصد مواقع) به یک قطعه خاص از ماده لازم است. به‌عبارت‌دیگر، زمانی که سرعت پرتابه کمتر از حد بالستیک باشد، یک پرتابه مشخص، هدف معینی را سوراخ نخواهد نمود. اصطلاح حد بالستیک به‌طور خاص در زمینه زره استفاده می‌گردد. [۵]

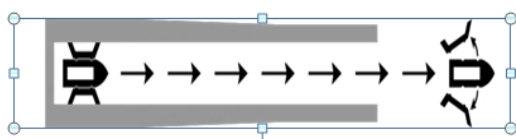
### ۴- نتایج پژوهش

در پژوهش حاضر به‌منظور به دست آوردن مقادیر و پارامترهای تجربی، آزمایش‌هایی به‌وسیله دستگاه تفنگ گازی انجام داده شده است. به‌طوری‌که پس از تعیین سناریوهای مورد آزمایش، نمونه‌های تست در دستگاه مذکور آماده و پرتابه‌ها به‌وسیله احتراق و یا فشار گاز دستگاه به سمت هدف پرتاب شده و پارامترهای اندازه‌گیری در هنگام پرتاب و پس‌از آن جمع‌آوری می‌گردند.

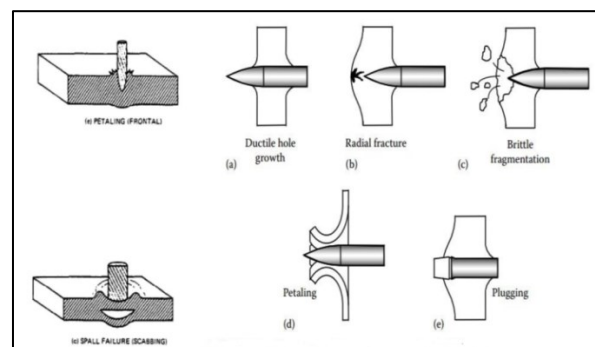


شکل (۶): شمای کلی دستگاه آزمایشگاهی تفنگ گازی

شماره ۶ شماری کلی دستگاه آزمایشگاهی تفنگ گازی در شکل شماره ۶ آورده شده است، دستگاه مورد استفاده در پژوهش حاضر از نوع احتراق نبوده و تنها به‌وسیله فشار گاز (گاز ازت، هلیوم و ...) به وجود آمده در پشت پرتابه است که پرتابه را با سرعت مشخص به سمت هدف شلیک می‌نماید. لوله مورد استفاده در دستگاه مذکور دارای طول ۶ متر و قطر ۱۶ میلی‌متر را دارا است، همچنین سرعت پرتابه قبل از اصابت به هدف و بعد از نفوذ کامل نیز به‌وسیله گیج‌های سرعت‌سنج، قابل اندازه‌گیری و ثبت است.



شکل (۷): مکانیزم استفاده از سایوت برای شلیک پرتابه

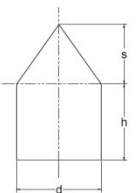
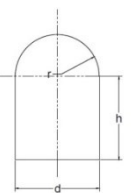
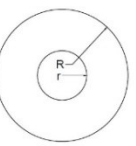


شکل (۵): انواع شکست رایج در اثر نفوذ پرتابه [۱۳]

### ۳-۳- حد بالستیک

سرعت پرتابه یکی از مهم‌ترین پارامترهای نفوذ در اهداف به

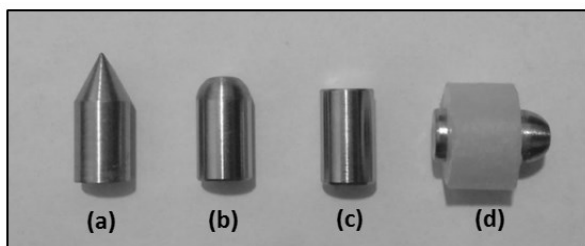
<sup>۱</sup> Ductile Failure  
<sup>۲</sup> Brittle Failure  
<sup>۳</sup> Ductile Hole Growth  
<sup>۴</sup> Petaling  
<sup>۵</sup> Plugging  
<sup>۶</sup> Radial Fracture  
<sup>۷</sup> Brittle Fragmentation  
<sup>۸</sup> Scabbing

هندسه	ابعاد	نماد	نوع
	$d = 8 \text{ mm}$ $h = 12 \text{ mm}$ $s = 8 \text{ mm}$	CP <sup>۳</sup>	پرتابه مخروطی
	$d = 8 \text{ mm}$ $h = 12 \text{ mm}$ $r = 4 \text{ mm}$	HP <sup>۴</sup>	پرتابه نیم کروی
	$R = 16 \text{ mm}$ $r = 8 \text{ mm}$ $L = 10 \text{ mm}$	-	سابوت

قطر پرتابه در پژوهش حاضر از قطر داخلی لوله کمتر است به همین دلیل از قطعه‌ای به نام سابوت<sup>۱</sup> که در شکل (۷) نشان داده شده است استفاده می‌شود، این قطعه مانند رینگ دور پرتابه را تا قسمت قطر داخلی لوله دستگاه احاطه می‌نماید و در هنگام شلیک در قسمت انتهایی لوله به وسیله نگه‌دارنده دستگاه از پرتابه جدا و تنها پرتابه به سمت هدف شلیک می‌شود.

سابوت‌ها می‌توانند از مواد مختلفی همچون تفلون، پلاستیک، چدن و ... و با اشکال مختلفی ساخته شوند. سابوت مورد استفاده در این پژوهش از جنس تفلون و استوانه‌ای شکل است که ۱ سانتی‌متر طول و دارای ۱۶ میلی‌متر قطر خارجی و ۸ میلی‌متر قطر داخلی است.

نمونه‌های بتن پارچه‌ای از جنس سیمان پرتلند تیپ II پر شده است و با ابعاد ۱۲۰ میلی‌متر در ۱۲۰ میلی‌متر با ضخامت ۱۰ میلی‌متر مورد ارزیابی تجربی قرار داده شده است که در شکل (۸) قابل مشاهده است.

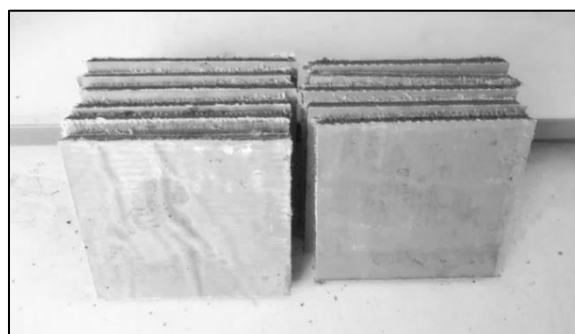


شکل (۹): پرتابه با دماغه (a) مخروطی، (b) نیم کروی، (c) تخت و (d) پرتابه به همراه سابوت

پس از تهیه، ساخت و قرار دادن نمونه‌های بتن پارچه‌ای و پرتابه‌های فولادی در دستگاه آزمایشگاهی تفنگ گازی، از فاصله ۶ متری پرتابه‌ها را به سمت نمونه‌های بتن پارچه‌ای که در محفظه‌ای فولادی (شکل شماره ۱۰) نگه داشته شده‌اند پرتاب می‌شوند.



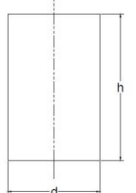
شکل (۱۰): نحوه قرارگیری نمونه بتن پارچه‌ای در دستگاه تفنگ گازی



شکل (۸): نمونه‌های بتن پارچه‌ای آماده شده برای آزمایش پرتابه

پرتابه‌های نیز از جنس فولاد سخت ساخته شده و با سه نوع دماغه مخروطی، نیم کروی و تخت با ابعاد و مشخصات مندرج در جدول (۱) مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین پرتابه‌ها و سابوت ساخته شده را می‌توان در شکل (۹) مشاهده نمود.

جدول ۱. هندسه و مشخصات پرتابه‌های فولادی

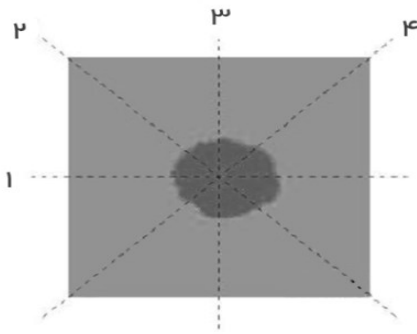
هندسه	ابعاد	نماد	نوع
	$d = 8 \text{ mm}$ $h = 14.6 \text{ mm}$	FP <sup>۲</sup>	پرتابه تخت

<sup>3</sup> Conical Projectile

<sup>4</sup> Hemispherical Projectile

<sup>1</sup> Sabot

<sup>2</sup> Flat Projectile



شکل (۱۱): جهات اندازه‌گیری قطر تخریب در سطح جلو و پشت نمونه

در نهایت پس از انجام آزمایشات مدنظر پارامترهای اندازه‌گیری شده در جدول (۲) آورده شده است به طوری که سناریوهای مورد آزمایش باتوجه به سه نوع دماغه (تخت، مخروطی و نیم‌کروی) و چهار محدوده سرعت پرتابه (کمتر از ۱۰۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و بیشتر از ۲۰۰ متر بر ثانیه) پیاده سازی شده است. همچنین تصاویر سطح جلو، پشت و بالا نمونه‌های بتن پارچه‌ای پس از اصابت پرتابه‌ها در جدول شماره‌های (۳)، (۴) و (۵) نمایش داده شده است.

مقادیر بیشینه قطر تخریب در سطح جلو و پشت نمونه با استفاده از کولیس ورنیه در چهار جهت نشان داده شده در شکل (۱۱) اندازه‌گیری و ثبت شده است. [۱۱]

جدول (۲): مشخصات یافته‌های مطالعات آزمایشگاهی نفوذ پرتابه در نمونه‌های بتن پارچه‌ای

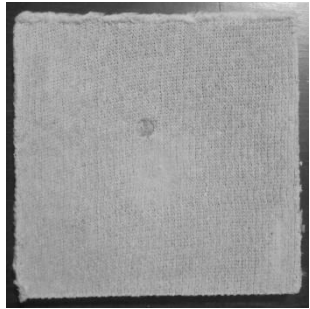

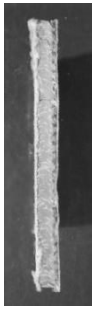
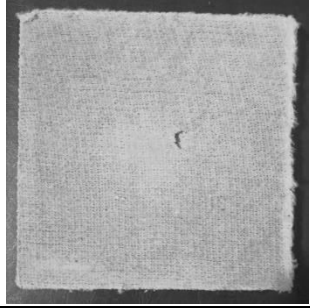
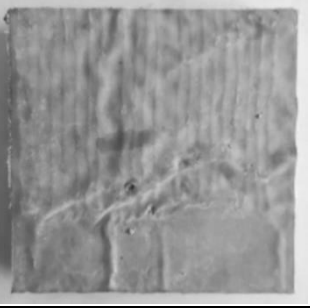
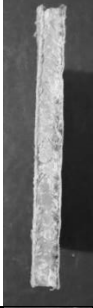
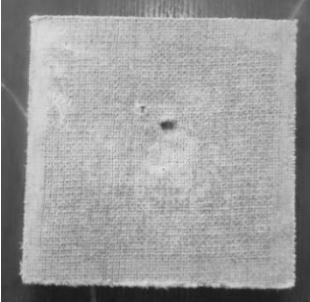
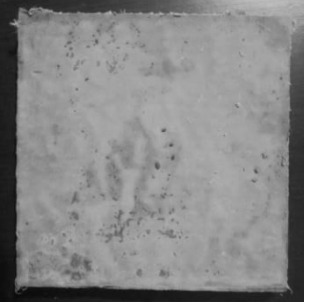
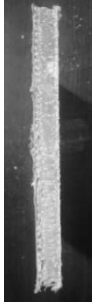
نفوذ پرتابه	بیشینه قطر تخریب پشت نمونه (mm)	بیشینه قطر تخریب جلوی نمونه (mm)	انرژی جنبشی پرتابه (j)	سرعت اولیه پرتابه ( $m/s$ ) $V_p$	وزن پرتابه (g)	نوع دماغه پرتابه	سناریو آزمایش
عدم نفوذ	۰	۰	۱۱/۰۵	۶۲	۵/۷۵	مخروطی	CC-CP-62
عدم نفوذ	۰	۰	۲۴/۳۸	۹۱	۵/۸۹	مخروطی	CC-CP-91
عدم نفوذ	۰	۰	۲۶/۸۰	۹۵/۴	۵/۸۹	مخروطی	CC-CP-95.4
نفوذ کامل	۱۳	۱۰	۳۲/۴۷	۱۰۵	۵/۸۹	مخروطی	CC-CP-105
نفوذ کامل	۱۷	۱۱	۷۵/۳۹	۱۶۰	۵/۸۹	مخروطی	CC-CP-160
نفوذ کامل	۲۱	۱۲/۵	۱۱۵/۰۰	۲۰۰	۵/۷۵	مخروطی	CC-CP-200
نفوذ کامل	۲۱	۱۲	۱۴۱/۷۰	۲۲۲	۵/۷۵	مخروطی	CC-CP-222
نفوذ کامل	۲۲	۱۳	۱۹۴/۵۱	۲۵۷	۵/۸۹	مخروطی	CC-CP-257
عدم نفوذ	۰	۰	۵/۹۰	۴۵	۵/۸۴	نیم کروی	CC-HP-45
عدم نفوذ	۰	۰	۲۵/۳۴	۹۳	۵/۸۶	نیم کروی	CC-HP-93
نفوذ کامل	۱۳/۵	۸	۴۸/۰۰	۱۲۸	۵/۸۶	نیم کروی	CC-HP-128
نفوذ کامل	۱۵	۱۰	۸۲/۶۹	۱۶۸	۵/۸۶	نیم کروی	CC-HP-168
نفوذ کامل	۱۷	۱۲	۱۳۲/۹۳	۲۱۳	۵/۸۶	نیم کروی	CC-HP-213
نفوذ کامل	۲۰	۱۳	۱۴۱/۸۱	۲۲۰	۵/۸۶	نیم کروی	CC-HP-220
نفوذ کامل	۲۳	۱۴/۵	۱۷۰/۱۷	۲۴۱	۵/۸۶	نیم کروی	CC-HP-241






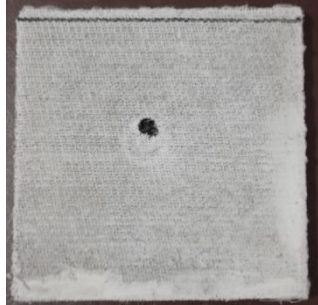


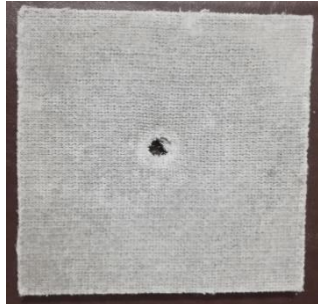








جدول (۲): مشخصات یافته‌های مطالعات آزمایشگاهی نفوذ پرتابه در نمونه‌های بتن پارچه‌ای

سناریو آزمایش	نوع دماغه پرتابه	وزن پرتابه (g)	سرعت اولیه پرتابه ( $m/s$ ) $V_p$	انرژی جنبشی پرتابه (j)	بیشینه قطر تخریب جلوی نمونه (mm)	بیشینه قطر تخریب پشت نمونه (mm)	نفوذ پرتابه
CC-FP-35	تخت	۵/۵۴	۳۵	۲/۸۳	۰	۰	عدم نفوذ
CC-FP-89	تخت	۵/۵۴	۹۸	۲۶/۶۰	۰	۰	عدم نفوذ
CC-FP-149	تخت	۵/۵۴	۱۴۹	۶۱/۴۹	خطا در آزمایش		نفوذ کامل
CC-FP-150	تخت	۵/۵۴	۱۵۰	۶۲/۳۲	۸/۵	۱۴	نفوذ کامل
CC-FP-190	تخت	۵/۵۴	۱۹۰	۱۰۰/۰۰	۸	۱۷	نفوذ کامل
CC-FP-198	تخت	۵/۵۴	۱۹۸	۱۰۸/۵۹	۱۲	۲۲	نفوذ کامل







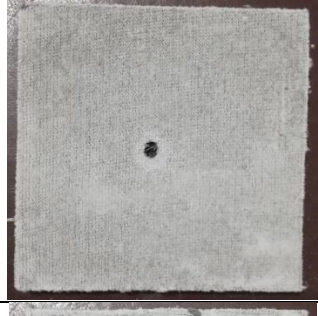


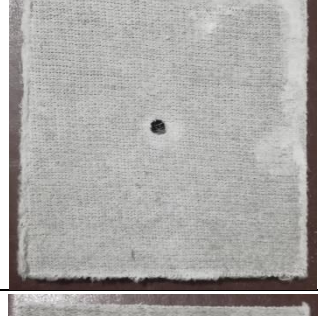





جدول (۳): تصاویر یافته‌های مطالعات آزمایشگاهی نفوذ پرتابه مخروطی در نمونه‌های بتن پارچه‌ای

سناریو آزمایش	سطح جلوی نمونه	سطح پشت نمونه	سطح بالا نمونه
CC-CP-62			
CC-CP-91			
CC-CP-95.4			

جدول (۳): تصاویر یافته‌های مطالعات آزمایشگاهی نفوذ پرتابه مخروطی در نمونه‌های بتن پارچه‌ای

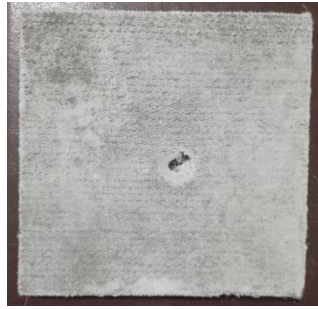
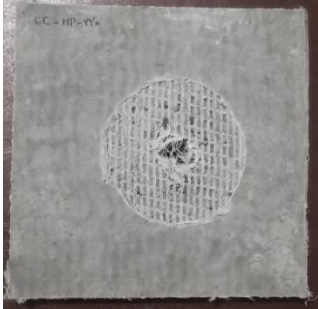

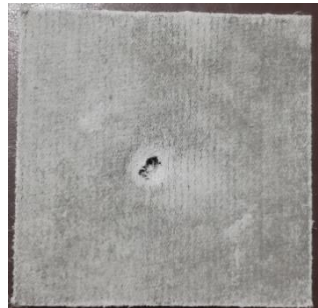
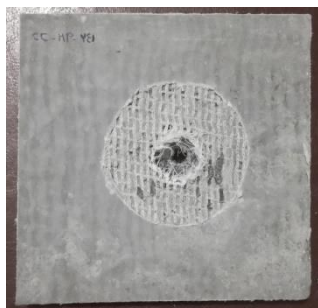

سنگریو آزمایش	سطح جلوی نمونه	سطح پشت نمونه	سطح بالا نمونه
CC-CP-105			
CC-CP-160			
CC-CP-200			
CC-CP-222			
CC-CP-257			

جدول (۴): تصاویر یافته‌های مطالعات آزمایشگاهی نفوذ پرتابه نیم‌کروی در نمونه‌های بتن پارچه‌ای

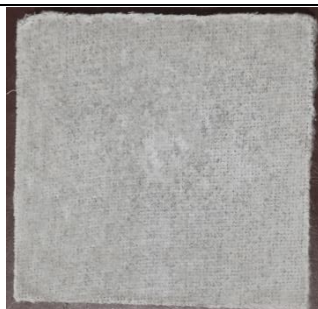



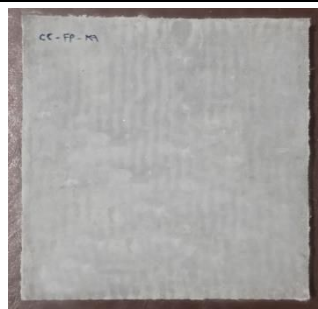

سناریو آزمایش	سطح جلوی نمونه	سطح پشت نمونه	سطح بالا نمونه
CC-HP-45			
CC-HP-93			
CC-HP-128			
CC-HP-168			
CC-HP-213			



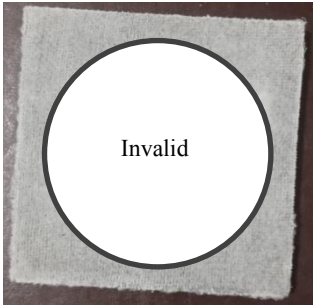
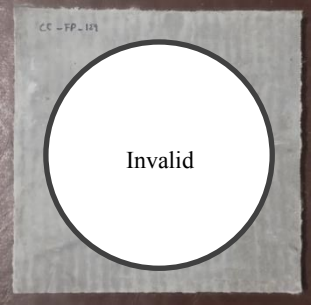

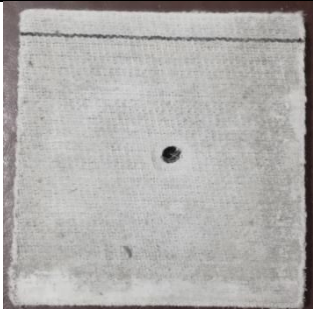
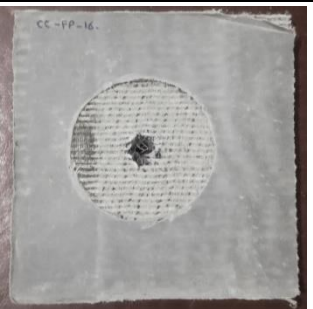

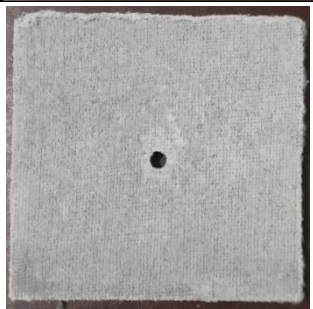
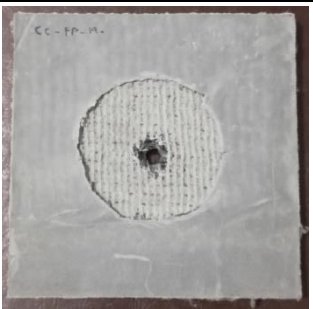


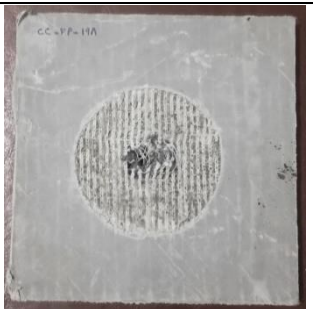


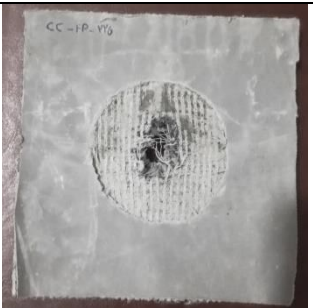

جدول (۴): تصاویر یافته‌های مطالعات آزمایشگاهی نفوذ پرتابه نیم‌کروی در نمونه‌های بتن پارچه‌ای

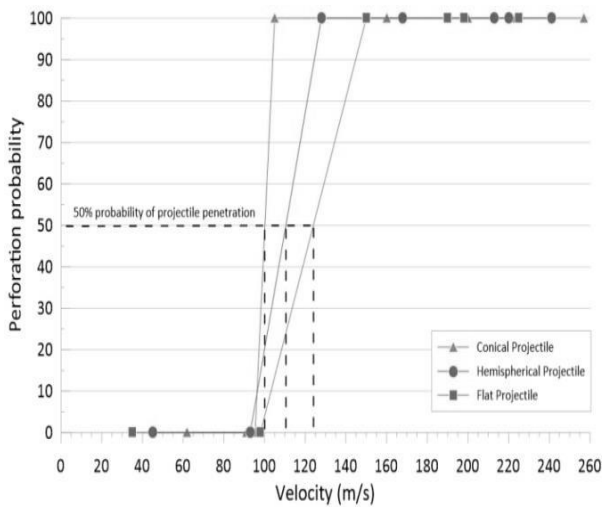
سناریو آزمایش	سطح جلوی نمونه	سطح پشت نمونه	سطح بالا نمونه
CC-HP-220			
CC-HP-241			

جدول (۵): تصاویر یافته‌های مطالعات آزمایشگاهی نفوذ پرتابه تخت در نمونه‌های بتن پارچه‌ای

سناریو آزمایش	سطح جلوی نمونه	سطح پشت نمونه	سطح بالا نمونه
CC-FP-35			
CC-FP-89			

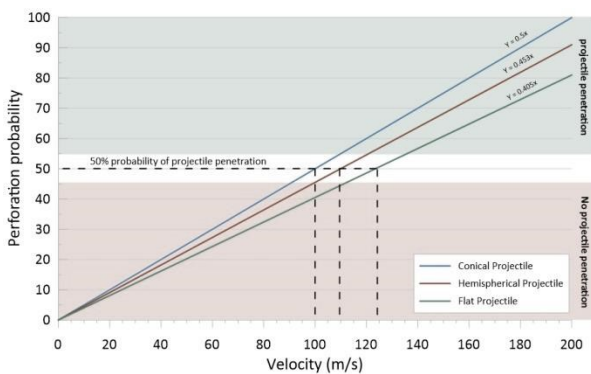
جدول (۵): تصاویر یافته‌های مطالعات آزمایشگاهی نفوذ پرتابه تخت در نمونه‌های بتن پارچه‌ای

سنتاریو آزمایش	سطح جلوی نمونه	سطح پشت نمونه	سطح بالا نمونه
CC-FP-149			
CC-FP-150			
CC-FP-190			
CC-FP-198			
CC-FP-225			



نمودار (۳): درصد احتمال نفوذ پرتابه با دماغه‌های مختلف در نمونه بتن پارچه‌ای

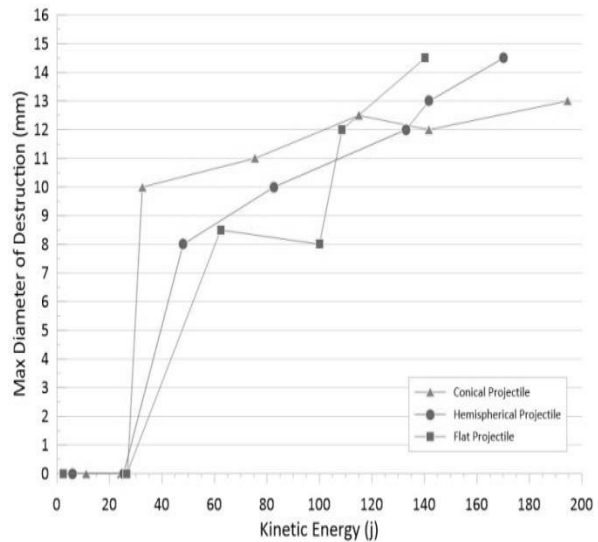
همچنین به وسیله معادله خط امکان و یا عدم امکان نفوذ پرتابه فولادی با دماغه‌های مختلف در اهداف بتن پارچه‌ای ارزیابی و مشخص شده است به طوری که در نمودار (۴) آورده شده است.



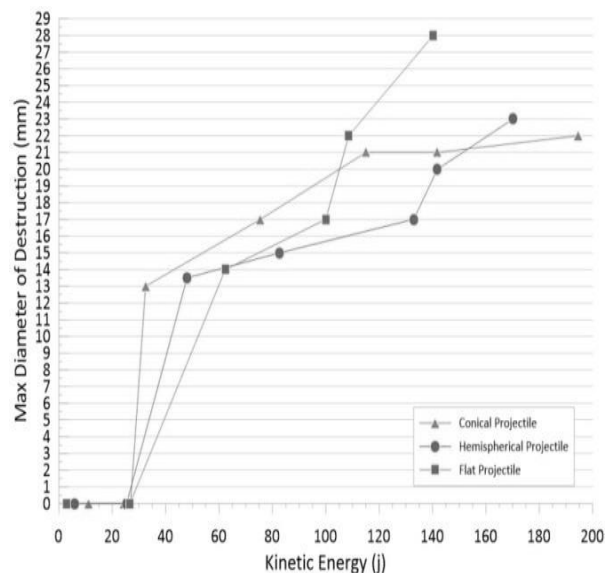
نمودار (۴): امکان نفوذ یا عدم نفوذ پرتابه با دماغه‌های مختلف در نمونه بتن پارچه‌ای

باتوجه به آنکه مطالعه انجام شده به صورت آزمایشگاهی انجام شده است میزان خطای ۵ درصد (احتمال نفوذ یا عدم نفوذ) برای سرعت حد بالستیک هدف یک لایه بتن پارچه‌ای در نظر گرفته شده است که در نمودار (۴) برای این اهداف در اثر نفوذ پرتابه‌های فولادی در سه محدوده بالا، پایین و میانی که به ترتیب بیانگر نفوذ کامل، عدم نفوذ و محدوده حد بالستیک نشان داده شده است. در سناریو نفوذ پرتابه فولادی به ترتیب برای دماغه‌های مخروطی، نیم‌کروی و تخت با سرعت کمتر از ۹۰، ۱۰۰ و ۱۱۰ متربرثانیه هیچ پرتابه‌ای در هدف نمی‌تواند نفوذ نماید و با سرعت بیشتر از ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۵ متربرثانیه تمامی پرتابه‌های در اهداف نفوذ می‌کنند.

نتایج بدست آمده میزان بیشینه قطر تخریب سطح جلو و پشت اهداف یک لایه بتن پارچه‌ای در برابر سطح تهدید نفوذ پرتابه‌های فولادی با دماغه‌های مختلف و زاویه ایده‌آل (جهت حرکت پرتابه موازی نرمال سطح اهداف) در نمودار (۱) و (۲) آورده شده است.



نمودار (۱): بیشینه قطر تخریب سطح جلوی نمونه‌های بتن پارچه‌ای بر اثر نفوذ پرتابه با دماغه‌های مختلف



نمودار (۲): بیشینه قطر تخریب سطح پشتی نمونه‌های بتن پارچه‌ای بر اثر نفوذ پرتابه با دماغه‌های مختلف

حد بالستیک پرتابه‌های فولادی با دماغه‌های مختلف براساس احتمال صفر تا ۱۰۰ درصدی در نمودار (۳) آورده شده است به طوری که حد بالستیک پرتابه‌ها با احتمال ۵۰ درصد نفوذ مشخص می‌گردند.

- Panel: Impact Energy Absorption and Failure Pattern of Fibre Reinforced Concrete, Para-Rubber and Styrofoam Sheets,” *Journal of Procedia Engineering*, vol. 210, pp. 369-376, 2017.
- [4] Q. M. Lia, S. R. Reida, H. M. Wenb, and A. R. Telford, “Local impact effects of hard missiles on concrete Targets”, *International Journal of Impact Engineering*, vol. 32, pp. 224-284, 2005. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.11.090.
- [5] Muhammed Çakır, “Penetration Of Metallic Plates By Kinetic Energy Projectiles” 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.1936.5922.
- [6] Fangyu Han, Huisu Chen, Kefeng Jiang, Wulong Zhang, Tao Lv and Yujie Yang. “Influences of geometric patterns of 3D spacer fabric on tensile behavior of concrete canvas”, *Journal of Construction and Building Materials*, vol. 65, pp. 620-629, 2014. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.041
- [7] J. Hegger and S. Voss, “Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete,” *Journal of Engineering Structures*, vol. 30, no. 7, pp. 2050-2056, 2008. Doi:10.1016/j.engstruct.2008.01.006.
- [8] A. Roye and Th. Gries, “3-D Textiles for Advanced Cement Based Matrix Reinforcement,” *Journal of Industrial Textiles*, vol. 37, no. 2, pp. 163-173, 2007. DOI: 10.1177/1528083707078136
- [9] Oucif, Chahmi., Rama, Kalyana., Ram, Shankar and Abed, Farid. “Damage modeling of ballistic penetration and impact behavior of concrete panel under low and high velocities,” *Journal of Defence Technology*, vol. 17, no. 1, pp. 202-211, 2020.
- [10] Oucif, Chahmi and Mauludin, Luthfi Muhammad, “Numerical Modeling of High Velocity Impact Applied To Reinforced Concrete Panel”. *Journal of Underground Space*, vol. 4, no. 1, pp. 1-9, 2018.
- [11] Maho, Buchit., Jamnam, Sittisak., Sukontasukkul, Piti., Fujikake, Kazunori and Banthia, Nemkumar. “Preliminary Study on Multilayer Bulletproof Concrete Panel: Impact Energy Absorption and Failure Pattern of Fibre Reinforced Concrete, Para-Rubber and Styrofoam Sheets,” *Journal of Procedia Engineering*, vol. 210, pp. 369-376, 2017.
- [12] Concrete Canvas Ltd., “Concrete Canvas”, <http://www.concretecanvas.com>, 2005, accessed 22 July 2012.
- [13] Dodda, Bradley., and Coghe, Frederik, “Damage caused to metals by kinetic and chemical energy projectiles”, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.1667.0881
- [14] Hui, Li., Huisu, Chen., Lin, Liu., Fangyuan, Zhang., Fangyu, Han., Tao, Lv., Wulong, Zhang., And Yujie, Yang., “Application design of concrete canvas (CC) in soil reinforced structure”, *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, no. 44, pp. 557-567, 2016. DOI: 10.1016/j.geotextmem.2016.03.003
- [15] M. Fayaz, A. Ghorbanejad, and F. Khosravi, “Numerical study of the damage caused to the shell made of fabric concrete under the influence of close blast”, *Journal of Advanced Defense Science Technology*, vol. 10, no. 35, pp. 79-87, 1398. (In Persian)

باتوجه به نمودارهای (۳) و (۴)، میزان سرعت حد بالستیک اهداف بتن پارچه‌ای تحت پرتابه فولادی با دماغه مخروطی، دماغه نیم‌کروی و تخت با احتمال ۵۰ درصد نفوذ پرتابه به ترتیب برابر ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۴ متربرثانیه بدست آمده است که نشان دهنده نفوذ بهتر پرتابه مخروطی نسبت به پرتابه نیم‌کروی و تخت در نمونه بتن پارچه‌ای می‌باشد.

## ۵- نتیجه‌گیری

اهداف بتن پارچه‌ای تحت نفوذ پرتابه‌های فولادی با دماغه‌های تخت، نیم‌کروی و مخروط دارای عملکرد نسبتاً مناسبی می‌باشند به طوری که میزان مساحت و قطر تخریب در سطح جلوی نمونه‌ها بسیار ناچیز و بعضاً به اندازه قطر پرتابه بوده است، همچنین در سطح پشتی نمونه‌ها نیز میزان تخریب قابل قبول بوده و با افزایش سرعت برخورد، میزان تخریب نیز به صورت خطی افزایش یافته است.

سرعت حد بالستیک برای پرتابه‌های با دماغه‌های تخت، نیم‌کروی و مخروط به ترتیب مقدار ۱۲۴، ۱۱۰ و ۱۰۰ متربرثانیه بدست آمده که نشان دهنده نفوذ نسبتاً آسان پرتابه با دماغه مخروطی و نفوذ دشوار پرتابه با دماغه تخت می‌باشد چراکه به دلیل برابر بودن وزن پرتابه‌های فولادی (۵/۷۸ گرم)، انرژی جنبشی پرتابه‌ها تابع تغییرات سرعت آن‌ها می‌باشد و به همین دلیل است که در سرعت‌های ثابت نوع دماغه پرتابه‌ها تأثیر بسیاری در نفوذ پرتابه دارند.

مکانیزم شکست نمونه‌های بتن پارچه‌ای در برابر پرتابه‌های فولادی با دماغه‌های مختلف به شکل شکست شکننده و از نوع تکه‌تکه شدگی پدید آمده است همچنین در اثر نفوذ پرتابه‌ها با دماغه‌های تخت و نیم‌کروی به ترتیب رفتار شکست پلاگینگ و گلبرگ شدگی نیز در نمونه‌های بتن پارچه‌ای قابل مشاهده است.

## ۶- مراجع

- [1] A. Bayat, Gh. Liaqat, H. Sabouri, E. Pedram, M. Farswani, and A. Shir, “Experimental analysis of the ballistic limit velocity of autoclaved lightweight aerated concrete targets under the impact of a solid projectile”, *Scientific Journal of High Energy Materials*, vol. 32, no. 4, pp. 11-3, 2015. (In Persian)
- [2] Zhang Jun, Xu Wei, Weng Xingzhong, Gao Peiwei, Yao Zhihua, Su Lihai and Wang Jiang “Application and research status of concrete canvas and its application prospect in emergency engineering”, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 15, pp. 1-11, 2020. Doi: 10.1177/1558925020975759.
- [3] Buchit Maho, Sittisak Jamnam, Piti Sukontasukkul, Kazunori Fujikake, and Nemkumar Banthia, “Preliminary Study on Multilayer Bulletproof Concrete