



## کامپوزیت های ضد گلوله برای حفاظت شناورهای نظامی

سیامک مطهری<sup>۱</sup>، مجتبی نصیری نژاد<sup>۲</sup>

(دانشکده فنی، دانشگاه تهران، گروه مهندسی شیمی)

motahhari@ioec.com

### چکیده

در این مقاله ضمن بررسی اهمیت کامپوزیت ها در صنایع نظامی که خواص ضد بالستیکی دارند، کاربرد آنها در ساخت پانل های ضد گلوله بررسی می شود. در تهیه این کامپوزیت ها از روش طراحی آزمایشات تاگوچی استفاده شده است. مزیت روش طراحی آزمایشات تاگوچی در مقایسه با سایر روشهای طراحی آزمایشات صرفه جویی در وقت و هزینه است که با قابلیت های آماری این روش امکان تعیین اهمیت فاکتور های تاثیر گذار بر نتیجه آزمایش مشخص می شود. در ساخت این کامپوزیت ها از سه نوع رزین و سه نوع الیاف استفاده شده است. در کامپوزیت های اینچنینی خواص ضد بالستیکی در مقایسه با خواص مکانیکی از اهمیت بالاتری برخوردار است که در این مقاله با تکیه بر استفاده از جزء با خواص مکانیکی بالا سعی شده است تا خواص مکانیکی هم تا حد مورد نیاز تامین شود.

**کلمات کلیدی:** الیاف کولار- الیاف دینما- رزین- کامپوزیت- روش تاگوچی

### مقدمه

کامپوزیت های با ماتریس پلیمری و درصد بالای الیاف امروزه به طور گسترده در صنایع محافظت بالستیکی استفاده می شوند. (مثل زره ها و کلاه خود های نظامی) این کامپوزیت ها همچنین برای متوقف کردن گلوله های با سرعت بسیار بالا به عنوان یک ساختار پشتیبان در کامپوزیت های دو لایه با رویه سرامیکی سخت استفاده می شوند. پیوستگی ماتریس پلیمری در این کامپوزیت ها، جذب انرژی در جهت ضخامت را ممکن می سازد که این موضوع در طراحی زره های ضخیم برای متوقف کردن ترکشهای با سرعت بالا بسیار مهم است. ماتریس رزینی در PMC ها (Polymer Matrix

۱. استادیار دانشکده فنی دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده فنی دانشگاه تهران



(Composites) همچنین نخ‌های الیاف را کنار هم نگه می‌دارد و از جا به جایی‌های جانبی و لغزش در حین ضربه بالستیکی جلوگیری می‌کند [۱،۲].

الیاف آرامید، نایلون و شیشه به طور گسترده در طراحی PMCها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳] و محافظت بالستیکی را در کاربرد های مختلف از قبیل اتومبیل تا محافظت های انسانی ایجاد میکنند. رزین های مورد استفاده رایج عبارتند از: اپوکسی، وینیل استر، فنولیک و پلی استر ها. الیاف تازه وارد به بازار، الیاف ژل ریزی شده پلی اتیلن (Gel-Spun Polyethylene) (GSPE) هستند. این الیاف پایین ترین دانسیته و بالاترین مدول ویژه و استحکام را در میان سایر الیاف مورد استفاده در صنایع بالستیکی دارند. این خواص مقاومت عالی این الیاف در برابر گلوله و وزن کم این نوع PMCها را ایجاد میکنند. برای مثال سطح محافظتی که برای کلاه خود GS Mk VI توسط ارتش انگلیس در area density بر اساس جرم واحد سطح تعریف شده بود برابر ۲ Kg/m<sup>۲</sup> پیشنهاد شده بود که این سطح محافظت با الیاف GSPE می توانست در area density ۴،۲ Kg/m<sup>۲</sup> بر آورده شود. (مقدار اولیه برای الیاف نایلون ۶ و ۶ می باشد). [۴، ۵، ۶]

بنابراین کامپوزیت های بر پایه الیاف GSPE می توانند در یک سطح محافظت یکسان با وزن کمتر بکار روند یا در یک وزن برابر، سطح محافظت بالاتری را برآورده سازند.

استفاده از الیاف Twaron و الیاف پلی اتیلن با یک دیگر می تواند نتایج مطلوبتری حاصل سازد. الیاف Twaron دارای مقاومت حرارتی بالاتری نسبت به الیاف پلی اتیلن است و در عوض الیاف پلی اتیلن دارای استحکام کششی و انعطاف و مدول ویژه بالاتری نسبت به الیاف Twaron است [۷]. هیبرید این دو نوع الیاف در ساختار یک کامپوزیت می تواند خواص فوق العاده ای به کامپوزیت ببخشد. نمونه های ساخته شده کامپوزیت ها با الیاف Twaron یا تنها با الیاف پلی اتیلن دارای خواص ضعیف تری نسبت به این کامپوزیت های هیبریدی می باشند. همچنین برای تامین خواص مکانیکی مورد نیاز و همچنین جلوگیری از ایجاد عمق آسیب بالا از یک جز کامپوزیتی با الیاف شیشه معمولی با درصد رزین بالاتر از سایر قسمت های این مولتی کامپوزیت استفاده شده است. وجود این جزء در ساختار این کامپوزیت امکان استفاده از این ساختار را به عنوان یک جزء ساختاری در بدنه و سایر اجزای ساختاری یک وسیله نظامی تامین میکند. استفاده از روش طراحی آزمایشات تاگوچی امکان صرفه جویی در هزینه و زمان را همزمان با امکان تعیین دخالت هر فاکتور در نتیجه آزمایش ایجاد می کند [۸، ۹، ۱۰].

روش تاگوچی در مقایسه با سایر روش های طراحی آزمایشات دارای قابلیت هایی است که در مقایسه با روش های دیگری از قبیل روش فاکتوریل یا روش Simplex تعداد آزمایشات کمتر و در نتیجه صرفه جویی در زمان و هزینه را در بر خواهد داشت. همچنین با تکیه بر روشهای آماری، امکان دستیابی به بهترین نتیجه را فراهم می‌سازد. در این روش همچنین می‌توان اثرات سایر فاکتور های مزاحم یا noise factors را بررسی کرد. در جدول ۱ خواص الیاف Twaron با الیاف پلی اتیلن مقایسه شده است:



جدول ۱ - مقایسه الیاف Twaron با الیاف پلی اتیلن

معایب	مزایا	نوع الیاف
عدم پایداری نسبت به UV	پایداری حرارتی چسبندگی خوب به ماتریس کارایی بالای بالستیکی	Twaron
عدم پایداری حرارتی عدم پایداری نسبت به UV قابلیت اشتعال	دانسیته پایین مدول ویژه بالا کارکرد راحت تر	Polyethylene

### فعالیت‌های تجربی

در ساخت نمونه‌ها چهار فاکتور در سه سطح مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مطالعات قبلی و تخمین محدوده‌ای که هدف مورد نظر را تامین کند هر یک از این چهار فاکتور در سه سطح زیر که در جدول ۲ مشاهده می‌کنید مورد بررسی قرار گرفت:

جدول ۲ - چهار فاکتور مورد بررسی در این تحقیق به همراه سطوح بررسی

سطح ۳	سطح ۲	سطح ۱	سطح نوع متغیر
۱۳	۱۷	۱۹	تعداد لایه الیاف توارون A
وینیل استر	اپوکسی	پلی استر	نوع رزین B
۵	۷	۹	تعداد لایه الیاف شیشه C
۲۲	۲۶	۳۰	تعداد لایه الیاف پلی اتیلن D

برای بررسی این چهار فاکتور طبق روش طراحی آزمایشات تاگوچی از آرایه متعامد L<sub>۹</sub> استفاده شد که این آرایه را در جدول ۳ می‌بینید.

جدول ۳- آرایه متعامد L<sub>9</sub>

فاکتور \ آزمایش	A	B	C	D
E <sub>1</sub>	۱	۱	۱	۱
E <sub>2</sub>	۱	۲	۲	۲
E <sub>3</sub>	۱	۳	۳	۳
E <sub>4</sub>	۲	۱	۲	۳
E <sub>5</sub>	۲	۲	۳	۱
E <sub>6</sub>	۲	۳	۱	۲
E <sub>7</sub>	۳	۱	۳	۲
E <sub>8</sub>	۳	۲	۱	۳
E <sub>9</sub>	۳	۳	۲	۱

## مواد

برای ساخت این نمونه‌ها از سه نوع رزین استفاده شد که نوع رزین‌های مورد استفاده در جدول ۴ آمده است:

جدول ۴ - نوع رزین‌های مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها

نوع رزین	نام تجاری	شرکت سازنده
پلی استر	۸۰۴۳۰	صنایع شیمیایی بوشهر
اپوکسی	CO-۲۰۷	صنایع شیمیایی مکرر
وینیل استر	Atlak ۵۹۰	DSM هلند

همچنین از سه نوع الیاف توارون (Twaron) که دارای ساختار شیمیایی پلی آرامیدی است به همراه الیاف پلی اتیلن و الیاف شیشه جهت ساخت نمونه‌ها استفاده شد که در جدول ۵ مشخصات آنها همراه با نام شرکت سازنده دیده می‌شود:

جدول ۵ - مشخصات الیاف مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها

نام الیاف	نام تجاری	وزن واحد سطح	نوع الیاف	شرکت سازنده
پلی آرامید (Twaron)	CT ۷۰۹	۲۲۰	حصیری	Akzo Nobel
پلی اتیلن	Dyneema SB۲۱	۱۴۵	تک جهته	DSM
شیشه	Woven	۶۰۰	حصیری	Camelyaf



## تهیه نمونه ها

برای دستیابی به خواص ضد بالستیکی مناسب در کنار مقاومت مکانیکی مقبول تصمیم گرفته شد که هر نمونه دارای دو بخش باشد تا هر بخش تامین کننده هر کدام از خواص فوق باشد؛

۱- بخش تامین کننده خواص ضد بالستیکی که از کامپوزیت هایی با الیاف Dyneema و Twaron با درصد رزین بسیار پایین ساخته شده است.

۲- بخش تامین کننده خواص مکانیکی که از کامپوزیتی با الیاف شیشه و درصد رزین بالاتر است. برای ساخت نمونه ها آنچنانکه قبلا هم ذکر شد از روش طراحی آزمایشات تاگوچی استفاده شد که در جدول ۶ مشخصات هر یک از نمونه ها را مشاهده می کنید:

جدول ۶ - طراحی آزمایشات با استفاده از آرایه متعامد L<sub>9</sub>

فاکتور آزمایش	تعداد لایه الیاف توارون	نوع رزین	تعداد لایه الیاف شیشه	تعداد لایه الیاف پلی اتیلن
E <sub>1</sub>	۱۹	پلی استر	۹	۳۰
E <sub>2</sub>	۱۹	اپوکسی	۷	۲۶
E <sub>3</sub>	۱۹	وینیل استر	۵	۲۲
E <sub>4</sub>	۱۷	پلی استر	۷	۲۲
E <sub>5</sub>	۱۷	اپوکسی	۵	۳۰
E <sub>6</sub>	۱۷	وینیل استر	۹	۲۶
E <sub>7</sub>	۱۵	پلی استر	۵	۲۶
E <sub>8</sub>	۱۵	اپوکسی	۹	۲۲
E <sub>9</sub>	۱۵	وینیل استر	۷	۳۰

به علت اینکه کامپوزیت های ساخته شده از هیبرید سه جز آرامیدی، پلی اتیلنی و شیشه ای ساخته شده اند نمونه ها در سه مرحله ساخته شدند. هر یک از نمونه ها در ابعاد ۲۰ X ۲۰ CM ساخته شدند.

## ساخت جزء آرامیدی

برای ساخت نمونه ها ابتدا تعداد لایه های مورد نظر از این الیاف در اندازه مذکور بریده شد. سپس سه نوع رزین ذکر شده به صورت زیر آماده شدند:

۱- برای ساخت نمونه های با رزین پلی استر مقدار ۲/۰٪ از نفتنات کبالت با رزین آمیخته شده و در هنگام استفاده مقدار ۱/۲٪ از کاتالیزور AAP با رزین مخلوط شد.

۲- برای ساخت نمونه های با رزین اپوکسی ۱۰۰ گرم از رزین با مقدار ۱۵ گرم از سخت کننده مخلوط شد.



۳- برای ساخت نمونه‌های با رزین وینیل استر چون این رزین بطور تجاری با نفتنات کبالت آمیخته است در هنگام استفاده مقدار ۱/۲٪ از کاتالیزور MEKP با رزین آمیخته شد. برای ساخت هر یک از نمونه‌ها تعداد لایه مورد نظر از الیاف برداشته شده با حدود ۱۶٪ رزین آغشته و داخل قالبی که به این منظور ساخته شده بود قرار داده شدند و نمونه‌ها تحت فشار ۱۰۰ بار قرار گرفتند تا رزین به اندازه کافی سخت شود. بعد از سخت شدن رزین‌ها تعداد ۹ نمونه با این الیاف ساخته شد.

### ساخت جزء پلی اتیلنی

برای ساخت این جزء تعداد لایه‌های مورد نظر از این الیاف در اندازه مذکور بریده شدند. الیاف مورد استفاده، دارای لایه‌هایی از فیلم LDPE می‌باشد که بعد از بریدن لایه‌ها در تعداد مشخص هر نمونه لایه‌ها داخل قالب تحت پرس و دمای  $138^{\circ}\text{C}$  به مدت یک ساعت قرار داده شدند و بعد تا دمای محیط خنک شدند.

### ساخت جزء با الیاف شیشه

در ساخت این جزء چون خواص مکانیکی مد نظر بوده است لذا در ساخت نمونه‌ها درصد رزین بالاتر مورد استفاده قرار گرفت. طرز تهیه رزین‌ها همانند روش ساخت جزء آرامیدی است. بعد از آماده سازی، الیاف با ۴۰٪ رزین آغشته شدند و داخل قالب قرار گرفتند و تحت پرس ملایم تری قرار گرفته تا رزین‌ها به اندازه کافی سخت شدند. بعد از سخت شدن رزین‌ها نمونه‌ها از قالب خارج شدند.

### اتصال سه جزء به یکدیگر

بعد از تهیه سه جزء مذکور بین هر یک از سه جزء یک لایه بسیار نازک از رزین مربوطه آغشته شد و سه جزء با هم تحت پرس ۱۰۰ بار قرار گرفتند. بعد از سخت شدن رزین‌ها نمونه‌ها آماده شدند. در شکل ۱ ساختار نمونه‌ها دیده می‌شود.

### تست بالستیکی نمونه‌ها

بعد از ساخت نمونه‌ها هر یک از آنها به همراه یک صفحه آلومینیومی شاهد دارای ضخامت ۵mm، که دارای ابعاد نمونه‌ها بود داخل یک چهارچوب فلزی قرار داده شدند و در داخل آن محکم شدند. سپس خود چهارچوب کاملاً محکم و بی حرکت قرار گرفت. بعد از اطمینان از محکم بودن قرار از فاصله ۵ متری مورد اصابت گلوله‌های تفنگ MP۵ قرار گرفتند. گلوله‌های این تفنگ دارای سرعت تقریبی  $400\text{ m/s}$  هستند و هر یک از آنها دارای وزنی برابر  $8,5\text{ gr}$  می‌باشند. بعد از تست گلوله میزان فرو رفتگی صفحات آلومینیومی اندازه گرفته شد.

### نتایج و بحث

#### نتایج تست بالستیکی نمونه‌ها



بعد از شلیک گلوله‌ها به نمونه‌ها در هیچ کدام از نمونه‌ها عبور گلوله مشاهده نشد و نمونه‌ها توانسته بودند از فاصله ۵ متری در برابر گلوله‌های تفنگ MP۵ مقاومت کنند. همچنانکه قبلاً ذکر شد برای مشاهده اثر ضربه گلوله بر کامپوزیت‌ها در هنگام تست گلوله، پشت نمونه‌ها صفحات آلومینیومی قرار دادیم. اثر ضربه ناشی از گلوله‌ها بر صفحات آلومینیومی نقش بسته است که برای هر نمونه، عمق آسیب ایجاد شده را اندازه گرفتیم. نتایج این اندازه‌گیری در جدول ۷ مشاهده می‌شود:

جدول ۷- عمق آسیب ایجاد شده در نمونه‌ها

نمونه	عمق آسیب ایجاد شده بر حسب میلی‌متر
E۱	۱۱/۰۵
E۲	۱۲/۵۱
E۳	۱۴/۰۳
E۴	۱۳/۴۵
E۵	۱۵/۹۰
E۶	۱۲/۸۶
E۷	۱۵/۲۱
E۸	۱۲/۴۰
E۹	۱۱/۲۵

در بین نمونه‌ها نمونه E۱ کمترین عمق آسیب و نمونه E۵ بیشترین عمق آسیب را داراست.

### بررسی نتایج با استفاده از روش آماری تاگوچی

برای تعیین اثر کلی هر یک از فاکتورها، متوسط نتایج بدست آمده در هر کدام از سطوح را برای هر فاکتور تعیین می‌کنیم. بنا براین داریم:

$$A1 = (11,05 + 13,51 + 14,03) / 3 = 12,86$$

$$A2 = (13,45 + 15,90 + 12,86) / 3 = 14,07$$

$$A3 = (15,21 + 12,40 + 11,25) / 3 = 12,95$$

$$B1 = (11,05 + 13,45 + 15,21) / 3 = 13,23$$

$$B2 = (13,51 + 15,90 + 12,40) / 3 = 13,94$$

$$B3 = (14,03 + 12,86 + 11,25) / 3 = 12,45$$

$$C1 = (11,05 + 12,86 + 12,40) / 3 = 12,10$$

$$C2 = (13,51 + 13,45 + 11,25) / 3 = 12,74$$

$$C3 = (14,03 + 15,90 + 15,21) / 3 = 15,05$$

$$D1 = (11,05 + 15,90 + 11,25) / 3 = 12,73$$

$$D2 = (13,51 + 12,86 + 15,21) / 3 = 13,86$$



$$D^3 = (14, 0.3 + 13, 45 + 12, 40) / 3 = 13, 29$$

چون در این تحقیق هر چه مقدار آسیب ضربه کمتر باشد بهتر است لذا برای هر عامل سطح بهتر با توجه به مقدار آسیب ضربه کمتر طبق جدول ۸ تعیین می‌شود:

جدول ۸- مقایسه سطوح مختلف فاکتورها

فاکتور	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
A تعداد لایه توارون	۱۲,۸۶	۱۴,۰۷	۱۲,۹۵
B نوع رزین	۱۳,۲۳	۱۳,۹۴	۱۲,۴۵
C تعداد لایه شیشه	۱۲,۱۰	۱۲,۷۴	۱۵,۰۵
D تعداد لایه پلی اتیلن	۱۲,۷۳	۱۳,۸۶	۱۳,۲۹

پس از تعیین اثرات کلی فاکتورها در مرحله بعد با استفاده از روش تحلیل واریانس، درصد نسبی دخالت هر یک از فاکتورها را در تغییر عمق آسیب ناشی از ضربه بررسی می‌کنیم. محاسبات مربوطه ذیلا بطور خلاصه آورده شده است:

۱- محاسبه مجموع نتایج:

$$T = (11.05 + 13.51 + 14.03 + 13.45 + 15.90 + 12.86 + 15.21 + 12.40 + 11.25) = 119.66$$

۲- محاسبه ضریب تصحیح:

$$C.F = T^2 / N = 1590.946$$

$N =$  تعداد کل آزمایشات

۳- محاسبه مجموع مربعات کل

$$ST = \sum y_i^2 - C.F = 21.276$$

$$SA = [(A_1^3)^2 / 3] + [(A_2^3)^2 / 3] + [(A_3^3)^2 / 3] - C.F = 2.203$$

$$SB = [(B_1^3)^2 / 3] + [(B_2^3)^2 / 3] + [(B_3^3)^2 / 3] - C.F = 2.546$$

$$SC = [(C_1^3)^2 / 3] + [(C_2^3)^2 / 3] + [(C_3^3)^2 / 3] - C.F = 14.721$$

$$SD = [(D_1^3)^2 / 3] + [(D_2^3)^2 / 3] + [(D_3^3)^2 / 3] - C.F = 1.390$$

$$Se = ST - (SA + SB + SC + SD) = 0.416$$

۴- محاسبه درجه آزادی هر فاکتور

$$fA = \text{تعداد سطوح فاکتور} - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$fB = \text{تعداد سطوح فاکتور} - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$fC = \text{تعداد سطوح فاکتور} - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$fD = \text{تعداد سطوح فاکتور} - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$fT = \text{تعداد کل نتایج} - 1 = 9 - 1 = 8$$

$$fe = fT - (fA + fB + fC + fD) = 8 - (2 + 2 + 2 + 2) = 0$$

۵- محاسبه واریانس





$$VA=SA/fA=2.203/2=1.1015$$

$$VB=SB/fB=2.546/2=1.273$$

$$VC=SC/fC=14.721/2=7.3605$$

$$VD=SD/fD=1.39/2=0.695$$

$$Ve=Se/fe=0.416/1=0.416$$

۶- محاسبه مجموع مربعات خالص

$$S'A=SA-(Ve*fA)=2.203$$

$$S'B=SB-(Ve*fB)=2.546$$

$$S'C=SC-(Ve*fC)=14.721$$

$$S'D=SD-(Ve*fD)=1.390$$

۷- محاسبه درصد تاثیر

$$PA=(S'A/ST)*100=10.35\%$$

$$PB=(S'B/ST)*100=11.97\%$$

$$PC=(S'C/ST)*100=69.19\%$$

$$PD=(S'D/ST)*100=6.53\%$$

$$Pe=(S'e/ST)*100=1.95\%$$

## بررسی نتایج

با توجه به روش آماری فوق ملاحظه می شود که افزایش تعداد تمامی لایه ها باعث کاهش عمق آسیب می گردد که از ابتدا می توانستیم حدس بزنیم؛ ولی استفاده از روش فوق درصد سهم هر فاکتور را در نتیجه مشخص کرد که با توجه به محاسبات بالا مشاهده می شود که افزایش تعداد لایه های شیشه می تواند حدود ۷۰٪ در نتیجه تاثیر گذارد. با توجه به اینکه دلیل استفاده از لایه های شیشه نیز در ابتدا برای افزایش مقاومت مکانیکی کامپوزیت بوده است می توان گفت که استفاده از یک کامپوزیت با الیاف شیشه معمولی در پشت پانل ها می تواند عمق آسیب را به نحو قابل ملاحظه ای کاهش دهد.

با توجه به نتایج حاصله می توان گفت که کامپوزیتی با رزینی از نوع وینیل استر و تعداد حداکثر لایه های مورد استفاده از الیاف فوق بهترین جواب را حاصل می کند.

با استفاده از روش تاگوچی می توان حتی به مقدار عمق آسیب بهینه نیز دست یافت. طبق ملاحظات بالا مشاهده می شود که سطح ۱ فاکتور های A, C, D و سطح ۳ فاکتور B سطوح بهینه برای این منظور هستند. بر طبق فرمول زیر می توان به جواب بهینه دست یافت:

$$Y_{opt}=Y_{av}-[(A1-Y_{av})-(B3-Y_{av})-(C1-Y_{av})-(D1-Y_{av})]$$

$$Y_{av}=13.29$$

$$Y_{opt}=13.29-[0.43+0.84+1.19+0.56]=10.27$$

بنا براین با اغماض از خطاها و سایر عوامل انتظار می رود که در حالت بهینه بتوان به عمق آسیبی برابر با ۱۰/۲۷ میلی متر دست یافت.

## پیشنهادات



با در نظر گرفتن اینکه کامپوزیت‌های ضد گلوله می‌توانند در هر مکان نظامی استفاده شوند، می‌توان از این کامپوزیت‌ها در ساخت تجهیزات نظامی مثل وسایل نقلیه نظامی از قبیل خودروها، چرخ‌بالها، هواپیماها و یا ناو‌ها و کشتی‌ها و قایق‌های نظامی استفاده کرد.

با توجه به اینکه در وزن یکسان از فولاد و این نوع کامپوزیت‌ها سطح محافظت این کامپوزیت‌ها بالاتر است و همچنین امکان شکل‌دهی آسان‌تر و **Flexibility** بالاتر دارند و بعلاوه مثل فولاد احتیاج به محافظت خوردگی ندارند استفاده از این نوع کامپوزیت‌ها توصیه می‌شود.

همچنین با توجه به رواج الیاف سبک و مستحکم مثل الیاف پلی‌اتیلن که در این نمونه‌های کامپوزیتی بررسی شد و همچنین عدم تاثیر مواد شیمیایی مثل آب دریا که برای فولاد بزرگترین دشمن محسوب می‌شود استفاده از این مواد در ساختمان کشتی‌ها به‌عنوان یک لایه محافظ (هم در برابر تهدیدهای بالستیکی و هم به‌عنوان لایه محافظ فولاد) امری معقول به نظر می‌رسد.

## تشکر و سپاس

در اینجا جا دارد تا مراتب تشکر و سپاسمان را از مدیریت شرکت تیوا پلیمر که در اجرای این پروژه ما را پشتیبانی کردند به جا آوریم.

## منابع و ماخذ

- [۱] Dhingra AK. Fibres engineering. In: Mark HF, Bikales NM. Enclopaedia of Polymer Science and Engineerin. New York: Wiley, 2<sup>nd</sup> ed., Vol. 6, 1988: 756-802
- [۲] Zhu G, Goldsmith W, Dharan CKH. Penetration of laminated Kevlar by projectiles: I. experimental investigation. International Journal of Solids and Structures 1992; 29(4): 399-420.
- [۳] Zee RH, Hsieh CY. Energy loss partitioning during ballistic impact of polymer composites. Polymer Composites 1993; 14(3): 265-271.
- [۴] Woodward RL, Egglestone GT, Baxter BJ, Challis K. Resistance to penetration and compression of fibre-reinforced composite materials. Composites Engineering 1994; 4(3): 329-341.
- [۵] Iremonger MJ, Went AC. Ballistic impact of fiber composite armours by fragment-simulating projectiles. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 1996; 27A(7): 575-581.
- [۶] Bless SJ, Hartman DR. Ballistic penetration of S-2 glass laminates., 21st International SAMPE Technical Conference, September 25-28, 1989: 852-866.



[۷] Wu E, Tsai CZ, Chen YC. Penetration into glass/epoxy composite laminates. *Journal of Composite Materials* ۱۹۹۴; ۲۸(۱۸):۱۷۸۳-۱۸۰۲.

[۸] Carr DJ. Unpublished results.

[۹] Brown JR, Chappell PJC, Mathys Z. Plasma surface modification of advanced organic fibres. Part II: Effects on the mechanical fracture and ballistic properties of extended-chain polyethylene/epoxy composites. *Journal of Materials Science* ۱۹۹۲; ۲۷(۱۲):۳۱۶۷-۳۱۷۲.

[۱۰] Lee BL, Song JW, Ward JE. Failure of Spectra Polyethylene fibre reinforced composites under ballistic impact loading. *Journal of Composite Materials* ۱۹۹۴; ۲۸(۱۳):۱۲۰۲-۱۲۲۶.



شکل ۱- ساختار نمونه های ساخته شده

