هشتمین همایش صنایع دریایی
۹ لغایت ۱۱ آبانماه ۱۳۸۵
استان بوشهر

# طراحی بهینه مواد کامپوزیتی در شناورهای تندرو

**مرتضی مزینانی[۱]، حسن یزدی[۲]**

تهران، کیلومتر ۱۰ جاده اسلامشهر، بعد از پل شاطره، صنایع دریایی شهید جولایی، مدیریت مرکز طراحی و تحقیقات

کدپستی: ۱۶۶-۳۳۱۳۵

Email: Mortez_Mazinani@Yahoo.Com

Archive of SID

## چکیده

یکی از پارامترهای مهم در طراحی کشتی، انتخاب مواد مناسب برای ساخت شناور است. افزایش روز افزون کاربرد مواد ساندویچی در ساخت بسیاری از قطعات صنعتی بخصوص در ساخت شناورهای تندرو نشاندهنده پیشرفت های مهمی است که در تهیه کامپوزیتهای جدید، روشهای نوین ترکیب، فرایند، شکل دادن و طراحی صحیح قطعات انجام گرفته است. این مقاله با استفاده از اصول اولیه فرایند طراحی و تولید قطعات کامپوزیتی بصورت تک پوسته و ساندویچی و شرایط مرزی حاکم بر آن با استفاده از روشهای تجربی و محاسباتی به بررسی ترکیبهای این مواد و رسیدن به یک الگوی بهینه پرداخته و در نهایت با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای طراحی و شرایط بهینه بوسیله نرم افزارهای تحلیل سازه، نوعی ترکیب بهینه از لایه گذاری را در شناورهای تندرو ارائه می نماید.

**کلمات کلیدی:** مواد ساندویچی - الیاف شیشه - الیاف کولار - لایه گذاری

---

[1]- کارشناس ارشد معماری مهندسی کشتی گرایش هیدرومکانیک و رئیس گروه طراحی سازه های دریایی

[2]- کارشناس ارشد مهندسی شیمی و مدیر گروه پلیمر و مواد

www.SID.ir

## مقدمه

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایشات، می توان به مزایا و معایب الیاف آرامیدی نسبت به الیاف شیشه در روش لایه گذاری دستی[3] پی برد. در این مقاله سعی شده است، ابتدا مزایا و معایب را به طور خلاصه بیان نموده و سپس با توجه به این خواص نوع لایه گذاری را به صورت ترکیبی از الیاف آرامیدی و الیاف شیشه ارائه داد تا بهترین خواص ممکن را با توجه به هزینه بهینه شده به دست آورد.

## مزایای استفاده از الیاف آرامیدی

۱-استحکام کششی بالا نسبت به الیاف شیشه[4]

۲-مدول الاستیک بالا نسبت به الیاف شیشه

۳-مقاومت بالا در مقابل ضربه

۴-چقرمگی بالا

## معایب استفاده از الیاف آرامیدی

۱-استحکام فشاری پایین نسبت به الیاف شیشه

۲-هزینه بالای این الیاف نسبت به الیاف شیشه

۳-مشکلات اجرایی زیاد، خصوصا" برش الیاف

۴-قابل دسترس نبودن الیاف آرامیدی نسبت به الیاف شیشه

۵-امکان لایه لایه شدن[5] الیاف آرامیدی چنانچه این الیاف به طور پیوسته روی هم قرار گیرد.

با توجه به مطالب فوق می توان تمهیدات ذیل را جهت استفاده از الیاف آرامیدی (کولار ۴۹) ارائه نمود.

[3] - Hand lay-up
[4] - E-GLASS
[5] -Dilamination

Archive of SID
www.SID.ir

۱- نظر به اینکه در روش دستی از روی هم قرار دادن الیاف آرامیدی به علت لایه لایه شدن باید اجتناب نمود، بهترین راه، استفاده از الیاف شیشه بین این الیاف می باشد. چون که الیاف شیشه به راحتی امکان درگیرشدن لایه ها را فراهم می سازد و مانع لغزش آنها روی یکدیگر خواهد شد.

۲- استفاده از الیاف شیشه باعث کاهش هزینه لایه گذاری خواهد شد.

۳- بار خمشی، ایجاد دو نیروی کششی و فشاری در دو طرف صفحه می نماید. چنانچه کامپوزیت از نظر ترکیب یکنواخت باشد، صفحه فرضی را می توان در وسط صفحه کامپوزیتی منظور نمود که در اثر بارهای وارده خنثی باشد. این صفحه، اصطلاحا" محور خنثی نامیده می شود. در قسمت پایین محور خنثی به علت بار وارده، لایه‌های الیاف تحت بار کششی قرار خواهند گرفت و سمت بالای محور خنثی طبعا" تحت بار فشاری خواهد بود. بنابراین می توان چنین استنباط نمود که هرچه ضخامت صفحه کامپوزیت بیشتر باشد، لایه های پایینی بیشتر تحت بار کششی قرار خواهند گرفت تا بار فشاری و بالعکس.

حال با توجه به توضیحات فوق، می توان چنین نتیجه گرفت که در قسمتهایی که بیشتر تحت بار کششی هستند، باید از الیاف آرامیدی استفاده شود و در قسمتهایی که بیشتر تحت بار فشاری قرار می گیرند، از الیاف شیشه که دارای استحکام فشاری بالا می باشند، باید استفاده شود. این روش مزایای زیر را در بر دارد:

۱- استفاده از هیبرید الیاف آرامیدی و الیاف شیشه باعث کاهش هزینه خواهد شد.

۲- با توجه به بالا بودن استحکام فشاری الیاف شیشه نسبت به الیاف آرامیدی می توان نقاط ضعف این الیاف را پوشش داد.

۳- نظر به اینکه بیشتر بار وارده از سطح آب، به کف شناور وارد می آید، می توان با این استدلال و قرار دادن الیاف آرامیدی در داخل شناور از جذب آب آن نیز تا حدودی جلوگیری کرد.

## مقایسه کامپوزیت هیبریدی (کولار-شیشه) با کامپوزیت الیاف شیشه

با توجه به توضیحات قبل لازم است تا مقایسه ای از دو نوع لایه گذاری کامپوزیت کولار-شیشه و نیز کامپوزیت الیاف شیشه به تنهایی، ارائه شود. با مقایسه این دو نوع لایه گذاری، مزایا و معایب استفاده از کولار

Archive of SID
www.SID.ir

روشن می گردد. پس هدف اصلی از اضافه نمودن الیاف آرامیدی، سبکتر نمودن قطعه با همان استحکام می‌باشد. به همین دلیل مراحل زیر جهت مقایسه این دو نوع کامپوزیت صورت می‌گیرد:

مرحله اول: محاسبات تئوری

در این مرحله بارهای استاتیکی و دینامیکی اعمالی به کف شناور تندرو خاصی، معین شده و با توجه به نوع و میزان بار قسمتهای زیر بررسی می گردد:

۱- نوع و میزان ژلکوت: ژلکوت نوعی پوشش کامپوزیت می باشد که در مقابل جذب رطوبت و فرسایش، مقاومت نموده و باعث کاهش اصطکاک آب با دیواره شناور خواهد شد. البته با توجه به نوع پر کننده، خواص دیگری مانند مقاومت در برابر شعله، ضربه و نیز مقاومت در برابر اشعه ماورا بنفش و ... نیز می تواند داشته باشد. ژلکوت اصولا" از ترکیب رزین، اروزیل، خمیر رنگ و پرکننده های لازم تشکیل شده است. ضخامت ژلکوت با توجه به نحوه پاشش به وسیله اسپری یا قلم مو بین ۳۰۰ الی ۱۰۰۰ میکرون می باشد. عموما" در محاسبات مکانیکی از وجود آن صرفنظر می شود ولی در این مقاله به منظور رعایت دقت بیشتر در محاسبات در نظر گرفته شده است.

۲- نوع رزین یا ماتریس: با توجه به اینکه خود رزین باعث انتقال تنش به الیاف می باشد، خواص مکانیکی آن حائز اهمیت است. علاوه بر آن باید از نظر جذب آب و خواص فیزیکی دیگر مانند میزان کشسانی[6] بررسی گردد.

۳- نوع و خواص الیاف: خواص مکانیکی، میزان جذب رطوبت و دانسیته الیاف به طور مجزا باید مورد بررسی قرار گیرد.

۴- درصد رزین مصرفی: اصولا" مصرف رزین نسبت به الیاف، بیشتر تابع روش قالبگیری و نوع الیاف مصرفی می‌باشد که در ذیل بطور مختصر شرح داده شده است:

الف- روش قالبگیری

به طور کلی دو روش قالبگیری وجود دارد که می توان آنها را بصورت پیوسته و ناپیوسته انجام داد:

[6] - Shrinkage

Archive of SID
www.SID.ir

۱- روش باز[7] مانند روش دستی، روش اسپری، پیچشی و ...

۲- روش بسته[8] مانند پرس سرد، پرس گرم، اتوکلاو، آر تی ام و ...

لازمه یک لایه گذاری خوب این است که الیاف توسط رزین به طور کامل خیس بخورد و از طرفی نباید در مصرف رزین زیاده روی نمود، زیرا باعث سنگین شدن قطعه و کاهش استحکام خواهد شد. حال با توجه به اینکه هریک از روشهای فوق درصد رزین خاصی برای لایه گذاری نیاز دارند و هرچه درصد رزین مصرفی کمتر باشد باعث استحکام بیشتر قطعه خواهد شد (طبق قانون اختلاط)، به همین خاطر قطعاتی که از روشهایی همچون اتوکلاو، آر تی ام، رشته پیچی ساخته خواهند شد، دارای استحکام بیشتری می باشند، زیرا رزین اضافی را می توان از سیستم خارج نمود.

ب- نوع الیاف مصرفی

درصد مصرف رزین نسبت به الیاف را می توان به صورت زیر در نظر گرفت:

(۱) الیاف تک بعدی(UD) < الیاف حصیری(WR) < الیاف سوزنی یا نمدی(CSM)

۵- خواص مکانیکی کامپوزیت (ترکیب ماتریس و الیاف): طبق قانون اختلاط خواص مکانیکی کامپوزیت کاملا" تابع این دو ماده و درصد تخلخل کامپوزیت می باشد. بنابراین هر لایه را با توجه به درصد رزین مصرفی و نوع الیاف از جهت همسانگردی و ناهمسانگردی می توان به طور مجزا بررسی نموده و خواص موادی برای آن لایه منظور نمود و در نرم افزارهای موجود مورد استفاده قرار داد.

۶- موقعیت لایه ها نسبت به صفحه خنثی: امکان دارد دو لایه دارای خواص مواد یکسانی بوده ولی به دلیل اینکه در دو موقعیت متفاوت نسبت به صفحه خنثی قرار دارند، خواص متفاوتی از خود بروز دهند.

۷- زاویه الیاف نسبت به جهت بارگذاری: هرچه الیاف بیشتری در راستای جهت بارگذاری قرار گیرد، استحکام بیشتری از خود نشان می دهد، بنابراین زاویه قرار گرفتن الیاف نیز در استحکام نهایی قطعه موثر می باشد.

[7] -Open moulding
[8] -Close moulding

Archive of SID
www.SID.ir

۸- ضخامت الیاف در لایه های مختلف: در لایه گذاریها به دلایلی همچون مشکلات اجرایی، کوپل شدن لایه ها و ... نمی توان ضخامت الیاف را در لایه های متفاوت یکسان در نظر گرفت که البته این جزء مزایای قطعات کامپوزیتی می باشد. بنابراین ضخامت هر لایه از لایه ها را نیز باید مد نظر داشت و در محاسبات وارد نمود.

۹- قابل اجرا بودن لایه گذاری از نظر تولید: با توجه به تمام توضیحات فوق هنوز مسائلی در تولید و اجرا وجود دارد که از اهمیت خاصی برخوردار بوده و مانع از انجام لایه گذاری بطور ایده آل خواهد شد. مسائلی همچون Shrinkage، متقارن بودن لایه گذاری، زمان استراحت رزین جهت پخت (Cure) و ...

۱۰- نحوه بارگذاری و شرایط مرزی: پس از بررسیهای کامل راجع به نحوه لایه گذاری حال باید بارگذاری و شرایط مرزی بطور صحیح بررسی شده و اعمال گردد. با توجه به بندهای فوق لایه گذاری اولیه از ترکیب الیاف سوزنی و حصیری (E-glass) بصورت زیر ارائه می گردد:

$$(\text{Gel coat}+300)+(450+600+450)*4 \qquad (۲)$$

نکات قابل توجه این لایه چینی به شرح ذیل است:

- اعداد ۳۰۰ و ۴۵۰ نشاندهنده مقدار وزنی الیاف سوزنی شیشه بر حسب گرم بر یک متر مربع می باشد.
- نسبت وزنی رزین به الیاف سوزنی شیشه در لایه مربوطه ۲/۳۳ به یک است.
- عدد ۶۰۰ نشاندهنده مقدار وزنی الیاف حصیری شیشه بر حسب گرم بر یک متر مربع می باشد.
- نسبت رزین به الیاف حصیری در لایه مربوطه یک به یک است.
- زاویه قرار گرفتن الیاف در راستای بار وارده بوده و بعبارتی ۹۰ / ۰ می باشد.
- پرانتزها نشانگر مراحل لایه چینی می باشد.

## مرحله دوم) مرحله بارگذاری و شرایط مرزی

نحوه بارگذاری و تعیین شرایط مرزی به شرح ذیل می باشد:

۱- با توجه‌به فاصله بین فریمهای طولی و عرضی میزان Support span تعیین خواهد شد.

Archive of SID

www.SID.ir

۲- حداکثر میزان خمش صفحه و همچنین تقویت کننده‌ها باید در موقعیت مزبور در پوسته شناور معین گردد.

۳- با توجه به توضیحات فوق شرایط مرزی تعیین و اعمال می گردد.

۴- نوع و میزان بار وارده که قبلا محاسبه شده بر روی قطعه اعمال خواهد شد تا میزان خمش مدنظر را ایجاد نماید.

بعبارتی دیگر در این روش ابتدا با داشتن شرایط مرزی، نوع لایه گذاری قبلی و نوع بارهای اعمالی میزان بارهای وارده را بدست آورده و با استفاده از شبیه سازی و تغییر در نحوه لایه گذاری و اضافه نمودن الیاف آرامیدی مجددا طراحی تکرار می گردد.

این عملیات ابتدا بطور تئوری با استفاده از نرم افزارهای تحلیل سازه مانند NISA И و ANSIS بر روی ساختاری از قطعاتی که جهت تست آماده خواهند شد اعمال می گردد و پس از نتیجه گیری و تعیین میزان خمش بازای بار وارده و بررسی تخریب تک تک لایه ها یک نوع شبیه سازی از قطعه صورت خواهد گرفت. بدین ترتیب که با تغییر بعضی از لایه‌های کلیدی و جابجا نمودن آنها و همچنین اضافه نمودن الیاف کولار سعی می شود که همان استحکام را از قطعه بدست آورد و با توجه به اینکه الیاف کولار دارای استحکام کششی بالا و دانسیته کم می باشد و همچنین با توجه به موقعیت استقرار الیاف کولار در لایه چینی می توان وزن لایه گذاری را تا حدود قابل قبولی کاهش داد. با این تفاسیر پس از محاسبات تئوری و اجرایی بودن لایه چینی و بهینه نمودن از نظر قیمت و همچنین خواص الیاف کولار، لایه چینی که بدست آمده به فرم ذیل خواهد بود:

$$(\text{Gel coat}+300+450)+ (300+800+300) * 3 + (300+195+300) \qquad (۳)$$

نکات قابل توجه این لایه چینی به شرح ذیل است:

- اعداد ۳۰۰ و ۴۵۰ نشانگر مقدار وزنی الیاف سوزنی شیشه بر حسب گرم بر یک متر مربع می باشد.
- نسبت رزین به الیاف سوزنی شیشه در لایه مربوطه ۲/۳۳ به یک می باشد.
- عدد ۸۰۰ نشاندهنده مقدار وزنی الیاف حصیری شیشه بر حسب گرم بر یک متر مربع می باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

- نسبت رزین به الیاف حصیری در لایه مربوطه یک به یک است.
- زاویه قرار گرفتن الیاف در راستای بار وارده بوده و بعبارتی ۹۰ / ۰ می باشد.
- عدد ۱۹۵ نشاندهنده مقدار وزنی الیاف آرامیدی نوع حصیری بر حسب گرم بر یک متر مربع می باشد.
- نسبت وزنی رزین به الیاف آرامیدی در لایه مربوطه ۱,۳ به یک است.
- زاویه قرار گرفتن الیاف آرامیدی ۹۰ / ۰ می باشد.
- پرانتزها نشانگر مراحل لایه چینی می باشد.

در لایه چینی هیبرید الیاف تنها تستی که از نظر استاندارد قابل قبول و از نظر طراحی ارزشمند می باشد، تست خمش بوده چرا که در تستهای دیگر هم مشکل در محدودیت ضخامت وجود دارد و هم از تست مطلب جالب توجهی دستگیر نخواهد شد.

## مرحله سوم) مرحله انجام آزمون

حال با توجه به نتایج بدست آمده از محاسبات تئوری قطعاتی مطابق استاندارد ASTM D790 مشابه قطعات طراحی شده با نرم افزار NISA 2 جهت تست خمش آماده می شود. این قطعات بطور عملی آزمایش شده و نتیجه قطعات E-Glass سوزنی و حصیری و همچنین قطعات هیبریدی E-Glass سوزنی و حصیری همراه با الیاف حصیری کولار ۴۹ با هم مقایسه خواهند شد. نتایج بدست آمده از این آزمایشات در نمودار شکل ۱ خلاصه شده است. حداکثر بار وارد شده بر کف شناور ۳۸۰ Kpa بوده که با توجه به این میزان بار هر دو قطعه استحکام داشته و فقط میزان انحنای آنها متفاوت می باشد، تخریب آخرین لایه از کامپوزیت تحت بار ۲۳۸۵ N برای قطعه کامپوزیتی ساده و بار ۲۸۵۰ N برای قطعه هیبرید با کولار صورت گرفته است که این حد فشار بیش از حد معمول بوده و در عمل صورت نخواهد گرفت.

Archive of SID

www.SID.ir

## نتیجه گیری

جدول ۱ خواص کیفی کامپوزیت ساده (شیشه) و به حالت هیبرید (شیشه-کولار) تحت آزمایش را، نشان می‌دهد. از این جدول می توان به درصد کاهش وزن و افزایش قیمت پی برد. ناگفته نماند طبق تحقیقات صورت گرفته توسط محققین و نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام شده در این مقاله می توان کاهش وزن را توسط الیاف کولار از ۷٪ تا ۲۵٪ افزایش داد و بهترین خواص را از نظر سبکی و افزایش استحکام بدست آورد. واضح است کاهش وزن شناور، افزایش سرعت و کاهش توان مورد نیاز شناور را در بر خواهد داشت و در شناورهای تجاری نیز باعث افزایش توان باربری خواهد شد. فقط مشکلی که وجود دارد افزایش بیش از حد قیمت می باشد که از نظر اقتصادی قابل توجیه نیست. بطور کل استفاده از الیاف کولار در شناورهای تندرو خواص عمده جدول ۲ را در بر دارد. نکته قابل توجه استفاده از هیبرید الیاف E-glass و کولار در سازه های کامپوزیتی و شناورهای تندرو می باشد که بهترین خواص ممکن را خواهد داشت.

## مراجع

1. Louis H.Miner, “Kevlar 49 aramid fiber for high performance composite”, Society of automotive engineers, 1977
2. L.HMiner, “fatigue, creep and impact resistance of Kevlar 49 reinforced composites”, presented at ASTM composite reliability conference, 1974
3. Mark E.tutttle< “Structural analysis of polymeric composite materials”, 2004
4. David A.Nethercot, “Composite construction”, 2003
5. VR Gowariker, “Polymer science”, 2005
6. Jozef Bicerano, “Prediction of polymer properties”, 2002
7. Anil KUMAR&Rakesh K.Gupta,”Fondamentals of polymer engineering”, 2003
8. Hubert Lobo&Jose V.Bonilla, “Hand book of plastics analysis”, 2003

Archive of SID
www.SID.ir

## استانداردهای مربوط به آزمایشات خواص مکانیکی و تست‌های استاندارد

1. **ASTM-D3410-86**
Standard test method for compressive properties of unidirectional grosspy fiber-resin composites
2. **ASTM-D4255-83**
Standard guide for testing in plane shear properties of composites laminates
3. **ASTM-D3039-76**
Standard test method for tensile properties of fiber-resin composites
4. **ASTM-D790M-86**
Standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating emetric.
5. **ASTM-D256-81**
Standard test method for impact resistance of plastics and electrical insulating materials.
6. **ASTM-D618**
Methods of condinationing plastics and electrical insulating materials for testing
7. **ASTM-D 638**
Test methods for tensile properties of plastic
8. **ASTM-D790**
Test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials.
9. **ASTM-D4066**
Specification for nylon injection and extrusion materials
10. **ASTM-E4**
Practies for load verification of testing machines
11. **ASTM-E691**
Practice for conducting and interlaboratory test program to determine the precision of test method
12. **ASTM-E83**
Practice for verification and classification of extensometers
13. **ASTM-D3171**
Test method for fiber content for resin-matrix composites by matrix digestion.

**جدول ۱: نتایج آزمایشگاهی کامپوزیت ساده و هیبرید**

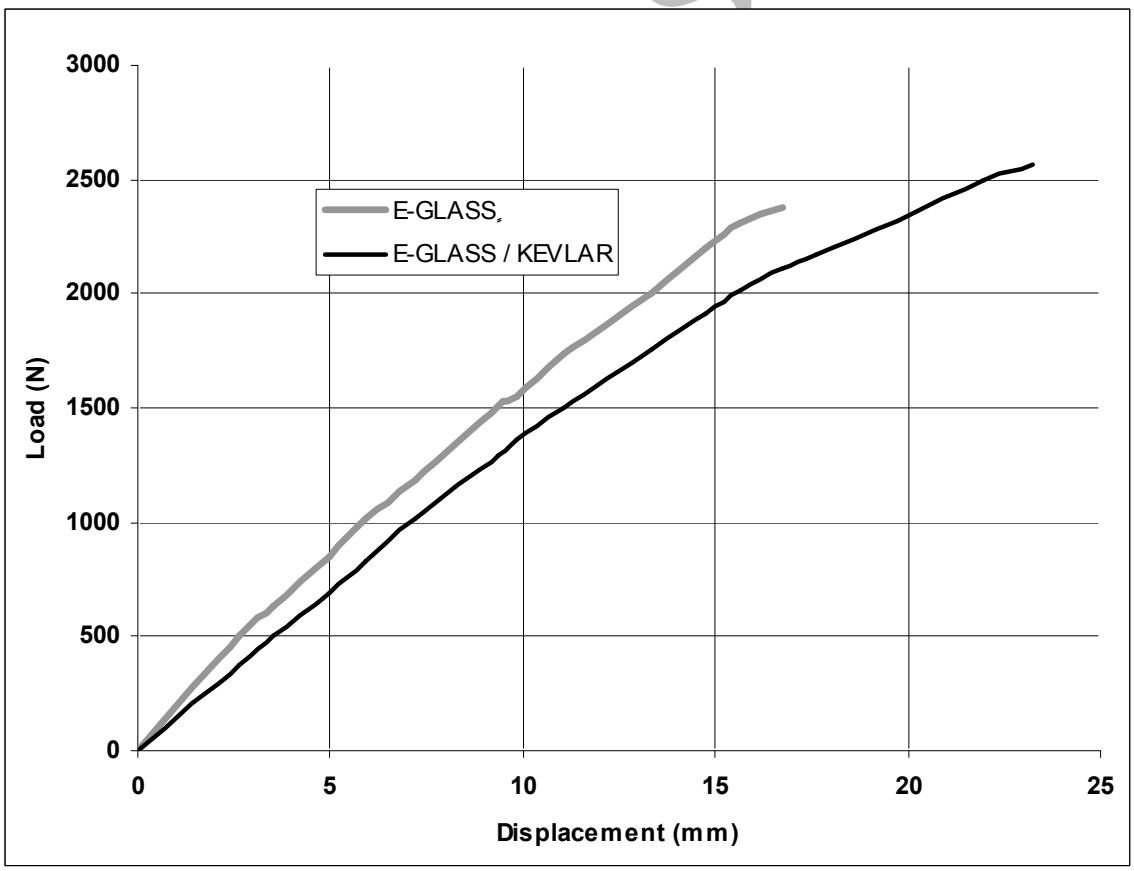
| لایه گذاری | ضخامت (mm) | وزن مخصوص (Kg/m^2) | درصد کاهش وزن | درصد افزایش قیمت |
|---|---|---|---|---|
| (Gel coat+300)+(450+600+450)*4 | 12.7 | 19.75 | --- | --- |
| (Gel coat+300+450)+(300+800+300)*3+(300+195+300) | 12 | 18.37 | 7 | 28 |

Archive of SID
www.SID.ir

**جدول ۲: خواص عمده استفاده از الیاف کولار در شناورهای تندرو**

| ویژگی | تاثیر |
|---|---|
| استحکام و مدول کششی | افزایش |
| استحکام و مدول خمشی | افزایش |
| سفتی | افزایش |
| وزن | کاهش |
| استحکام فشاری | کاهش |
| چقرمگی | ارتجاعی |
| صدا | کاهش |
| جذب آب | بالا |

SID




**شکل (۱) : مقایسه نتایج آزمون مقاومت خمشی کامپوزیت الیاف شیشه و کامپوزیت هیبریدی الیاف شیشه-کولار**

www.SID.ir