

# بررسی مواد مختلف برای استفاده در کاربردهای دریایی

محمد امین رئیسی تنگی<sup>۱</sup>، سعید جامعی<sup>۲</sup>، رامین صالح پور<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه خلیج فارس

۲- استادیار، دانشگاه خلیج فارس

۳- کارشناسی ارشد، دانشگاه خلیج فارس

## چکیده

در این مقاله با گردآوری مقالات مرتبط با مواد مورد استفاده در شناورها و سایر سازه‌های صنعتی، تلاش شد که کاربردهای مختلف مواد، شناسایی و خواص آنها برای استفاده‌های متنوع در این حوزه‌ها بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. مواد مختلفی همچون آلومینیوم و آلیاژهای آن، نانومواد، کامپوزیت‌های الیاف طبیعی، فیبر کربن و فایبرگلاس در این مقاله مورد توجه قرار گرفته و خواص فیزیکی و مکانیکی هر یک، به‌طور جامع توضیح داده شد. همچنین در این مقاله به روش‌های نوین برای افزایش طول عمر و استحکام مواد پرداخته شد. به‌عنوان مثال، فرآیند آنادایزینگ برای آلیاژهای آلومینیوم، به‌منظور افزایش طول عمر آنها شرح داده شد. علاوه بر این، نتایج بررسی‌ها نشان داد که ترکیب الیاف شیشه با الیاف طبیعی می‌تواند منجر به افزایش چشمگیر استحکام مواد شود. این یافته‌ها نه تنها در صنعت شناورسازی، بلکه در بهینه‌سازی سازه‌های دریایی و صنعتی دیگر نیز کاربرد دارند و می‌توانند به بهبود عملکرد و دوام آنها کمک کنند.

## کلمات کلیدی

آلومینیوم، اندایزینگ، کامپوزیت، الیاف طبیعی، نانومواد، استحکام، فایبرگلاس، فیبر کربن

## Comprehensive Analysis of Materials for Marine Applications

Mohammad Amin Raeesi Tangaki<sup>1</sup>, Saeed Jamei<sup>2</sup>, Ramin Salehpour<sup>3</sup>

1,2,3 Persian Gulf University, Faculty of Engineering, Bushehr, Iran

### Abstract

In this paper, by collecting related articles on materials used in ships and other industrial structures, the aim was to identify the various applications of materials and better understand their properties for different uses in these fields. Various materials such as aluminum and its alloys, nanomaterials, natural fiber composites, carbon fiber, and fiberglass were discussed in depth, and the physical and mechanical properties of each were explained in detail. The paper also explored modern methods to increase the longevity and strength of these materials, focusing on practical applications. For example, the anodizing process for aluminum alloys was described to significantly enhance their lifespan and durability. Additionally, the results showed that combining glass fibers with natural fibers could notably increase the strength and performance of materials. These findings not only apply to the shipbuilding industry but also have wider implications for optimizing marine structures and other industrial applications, ultimately improving their performance, reliability, and long-term durability.

### Keywords

Aluminum, anodizing, composite, natural fibers, nanomaterials, strength, fiberglass, carbon fiber.

از زمانی که بشر برای اولین بار با اقیانوس آبی روبرو شد، کنجکاو آن برای بررسی آنچه در پشت افق است او را وادار به جستجو کرد. اولین قایق‌ها، کانو، کایاک، انواع قایق‌های ماهیگیری و بادبانی کوچک تا دوران طلایی کشتی‌های بزرگ و کلیپرها، معمولاً از مواد طبیعی با نقش اصلی چوب ساخته شدند [۱]. بشر از گذشته تاکنون در حال پیشرفت و تکامل بوده است. از جمله مواردی که می‌توان به آن اشاره کرد پیشرفت در صنعت کشتی‌سازی می‌باشد که از چوب و مشتقات آن به سمت فولادهای دریایی رو آورد و اخیراً از آلیاژهای آلومینیوم و کامپوزیت‌ها به علت وزن کم در مقابل استحکام بالای آنها و همچنین در بعضی موارد به علت سازگار بودن با محیط استفاده می‌کند. از اوایل دهه ۱۹۹۰ آلیاژهای آلومینیوم در ساختار کشتی‌های مسافربری و تجاری با سرعت متوسط تا بالا که در مسیرهای دریایی کوتاه کار می‌کردند مورد استفاده قرار گرفت. در بیست سال اخیر استفاده از آلومینیوم برای ساخت شناورها افزایش یافته است و همچنین پتانسیل آلومینیوم به عنوان یک ماده قابل دوام برای ساخت کشتی‌های پرسرعت و اقیانوس پیما باعث شده که استفاده از آن همچنان ادامه داشته باشد [۲]. همان‌گونه که میدانید اکسید آلومینیوم از آلومینیوم طبیعی مقاوم‌تر است. از طرفی اکسید شدن آلومینیوم به صورت طبیعی به علت نازک بودن لایه اکسیدی مقاومت خوبی ندارد که با روش‌های مختلفی به افزایش قطر لایه اکسیدی می‌پردازند [۳]. تطبیق پذیری و کاربرد ویژه آلیاژهای آلومینیوم همراه با مزایای متعدد از جمله قابلیت ماشین کاری، استحکام و مقاومت در برابر خوردگی آنها را برای محصولات و بازارهای مختلف مناسب می‌کند [۴، ۵]. آلومینیوم و آلیاژهای آن به عنوان مواد بسیار سودمند برای ساخت وسازهای دریایی و سازه‌های فراساحلی توسط معماران دریایی و مهندسان اقیانوس شناخته می‌شوند [۴، ۶]. وزن کم، خواص مکانیکی بهتر و مقاومت در برابر خوردگی باعث به کارگیری آن در صنعت کشتی‌سازی شده است. با استفاده از آلومینیوم، معماران دریایی می‌توانند کشتی‌ها و قایق‌هایی با قابلیت سرعت بالا، عمر بیشتر، تحمل وزن بیشتر و هزینه‌های نگهداری کم و همچنین ارزش بازیافت بالا طراحی کنند [۷].

آلومینیوم و آلیاژهای آن نیز مزایای قابل توجهی در کاهش وزن سازه و نگهداری بدنه دارند [۸]. از دیگر موادی که بیش از پیش مورد توجه کشتی‌سازان قرار گرفته است کامپوزیت‌ها هستند. همان‌طور که قرن بیستم انقلاب پلیمرهای مصنوعی را به ارمغان آورد نوع جدیدی از مواد که در مقیاس جهانی سنتز شده‌اند، بازار را تحت سلطه خود درآوردند. پلاستیک وارد صنعت کشتیرانی شد و مهندسی طراحی را به طور قابل توجهی تغییر داد [۹، ۱۰]. ارزان بودن، شکل پذیری راحت و در دسترس بودن، به زودی آنها را به مواد ایده آل برای بدنه قایق و تجهیزات کوچک تبدیل کرد [۱۰]. در دهه‌های اخیر، علاقه روزافزون به مواد پایدار، محققان و صنایع را به این سمت سوق داده است. توسعه و بهره‌برداری از سیستم‌های کامپوزیتی برای کاربردهای ساختاری با ترکیب بخش بزرگ‌تری از مواد طبیعی، به ویژه در فاز تقویت‌کننده سازه‌ها، پیشرفت چشم‌گیری داشته است [۱۱، ۱۲]. شناورها، سازه‌های ساحلی و سایر اجزای دریایی به چالش‌های زیست‌محیطی مرتبط هستند، بنابراین باید از موادی که مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهند و نیاز به تعمیر و نگهداری کمی یا بدون تعمیر و نگهداری برای دوره‌های زمانی طولانی هستند استفاده کرد. علاوه بر این، سبک بودن، مقاومت در برابر خوردگی، سرعت و قابلیت اطمینان از جمله مواردی هستند که هنگام طراحی باید به آنها توجه شود [۱۳]. به طور خاص، امروزه الیاف طبیعی جایگزین قابل توجهی برای کامپوزیت‌های الیاف شیشه، نه تنها به دلیل پایداری، بلکه به دلیل چشم‌انداز اقتصادی مثبت آنها محسوب می‌شوند [۱۱، ۱۴، ۱۵]. تقاضاهای رو به رشد صنعتی و تلاش برای مواد پایدار و سبز فرصتی عالی در تحقیقات کامپوزیت الیاف طبیعی ارائه می‌دهد. ماده اصلی تشکیل‌دهنده فیبر طبیعی سلولز است. مطالعات، ارتباط مثبتی بین مدول یانگ و استحکام کششی با محتوای سلولز نشان می‌دهد [۱۶، ۱۷]

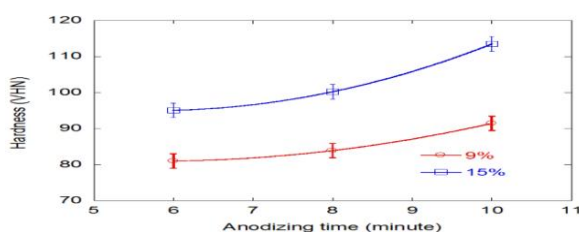
## ۲- آلومینیوم

### ۲-۱ اندازینگ آلومینیوم

{ Soekrisno, 2014 } با اندازینگ کردن ورق آلومینیوم با استفاده از محلول  $H_2SO_4$  و نیروی الکتریکی ۲۰ ولتی

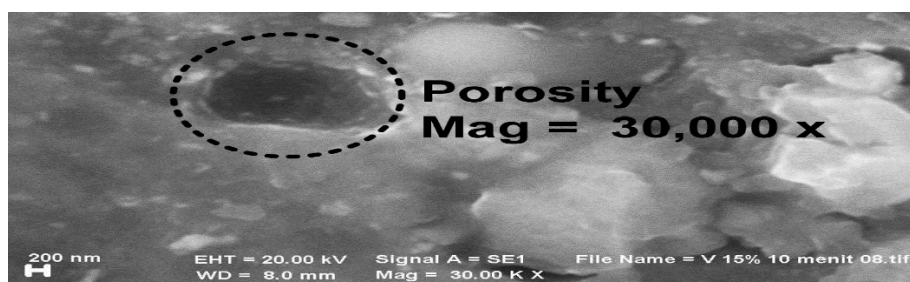
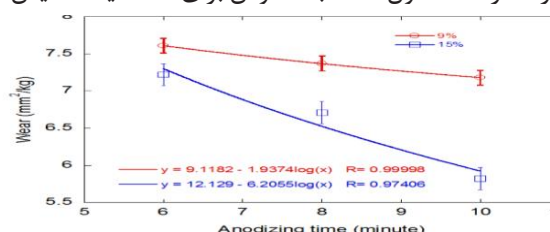
کمتری می‌دهد. شکل ۲ تصویر اندازینگ سطح بدون پولیش کردن آن، در ۱۵٪ محلول  $H_2SO_4$  به مدت ده دقیقه را نشان می‌دهد همچنین تخلخل در سطح مشاهده می‌شود که می‌توان مشاهده کرد که قطر آن حدود هشت میکرومتر است.

تخلخل مهم است، زیرا بدون تخلخل، ضخامت لایه اکسیدی نمی‌تواند ایجاد شود. شکل ۳ تصویر مقطع ضخامت لایه اکسید را با استفاده از SEM (برحسب میکرومتر) نشان می‌دهد که در پنج نقطه اندازه‌گیری شده است. از چپ به راست: ۲.۷۴۲ - ۴.۲۹۲ - ۲.۰۱۱ - ۱.۸۱۵ و ۲.۴۴۸ میکرومتر و به‌طور میانگین ۲.۶۶۲ میکرومتر است.

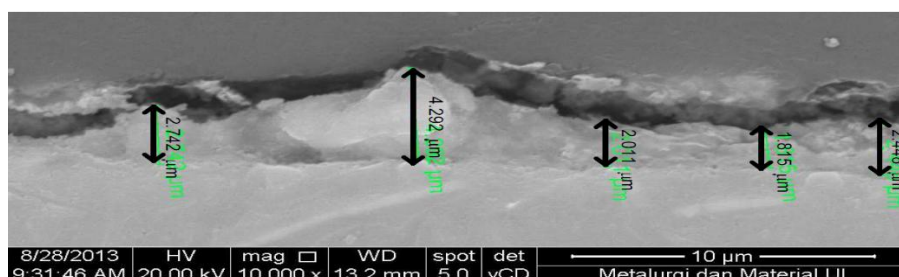


شکل ۱- سختی و سایش ورق آلومینیوم در محلول با غلظت ۹ و ۱۵ درصد

به‌سختی بیشتر و افزایش قطر لایه اکسیدی دست یافت. او لایه اکسیدی را با دستگاه SEM بررسی کرد و به این نتیجه رسید که کیفیت سطح با افزایش محلول افزایش میابد و همچنین برای زمان طولانی‌تر انداز کردن بهتر است. در نهایت به نتیجه کلی رسید که فرایند انداز کردن در محلول ۱۵ درصد  $H_2SO_4$  به مدت ۱۰ دقیقه، سختی کافی و سایش بهتر پروانه را به همراه دارد و ممکن است عمر آن را دو برابر کند. شکل ۱ سختی سطح را پس از انداز کردن نشان می‌دهد. داده‌ها خطی نیستند، بلکه درجه دوم هستند. از آن می‌توان دریافت که برای سختی بیشتر، انداز در ۱۵٪ محلول  $H_2SO_4$  بهتر از آنودایز در ۹٪ است. شکل ۱ نشان می‌دهد که برای سایش، آنودایز کردن در ۱۵ درصد محلول  $H_2SO_4$  بهتر از آنودایز کردن در ۹ درصد محلول است. به‌خصوص برای ۱۰ دقیقه، سایش



شکل ۲- تخلخل بر روی سطح انداز شده



شکل ۳- ضخامت لایه اکسیدی

## ۲-۲ آلیاژهای آلومینیوم

{Wahid, 2020} تحقیق خود را بر روی آلیاژهای آلومینیوم سری 5xxx, 6xxx (AAs) شروع کرد در پایان کار به چند نتیجه اساسی رسید:

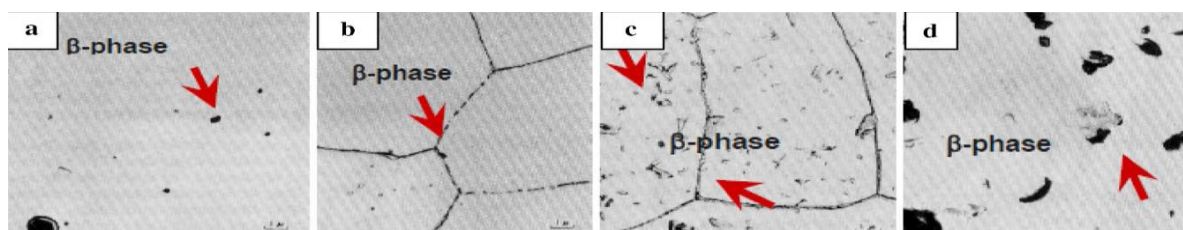
-آلیاژهای آلومینیوم از نظر وزن حدود ۳ برابر سبک‌تر از فولاد است.

-به دلیل نسبت استحکام به وزن بالا همراه با مقاوم در برابر خوردگی این آلیاژها از آنها در قسمت‌های مختلف از جمله بدنه، روسازه‌ها، پانل‌های عرشه و ... می‌توان استفاده کرد. -انداز کردن و روکش کاری از جمله روش‌هایی هستند که می‌توان با استفاده از آنها عمر آلیاژها را افزایش داد.

-برای جوشکاری این آلیاژها از طریق فرایند جوشکاری ذوبی GMAW به مشکل می‌خوریم بنابراین برای جوشکاری این نوع آلیاژها باید از روش پرتو انرژی GTAW استفاده کرد.

-جوشکاری FSW (جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی به کمک منبع حرارتی) به‌عنوان یک روش بسیار کارآمد در نظر گرفته می‌شود [۴].

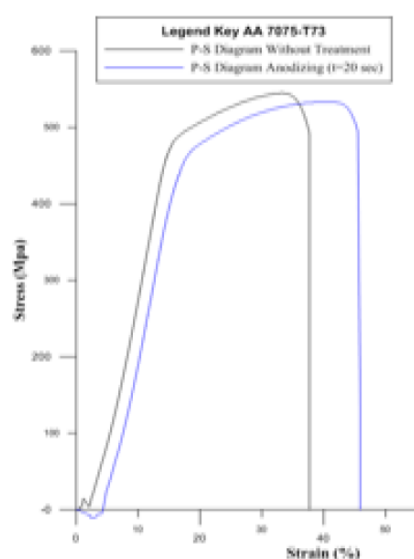
حساسیت به خوردگی AAها به شدت تحت تأثیر شکل و توزیع ذرات  $\beta$ -phase در ساختار است. توزیع لایه‌ای پیوسته  $\beta$ -phase دارای نرخ خوردگی بالایی است. (شکل ۵ b,c) درحالی‌که توزیع تصادفی ذرات  $\beta$ -phase منجر به نرخ بالایی مقاومت در برابر خوردگی می‌شود (شکل ۵ a,d).



شکل ۵- ریزساختار AA 5356-H12، a,d مقاومت در برابر خوردگی؛ b,c مستعد خوردگی

در جدول ۱ خواص فیزیکی و مکانیکی پنج ماده پرکاربرد در صنعت کشتی‌سازی آورده شده است.

{M AL-Sudani,} تحقیق خود را با هدف بررسی تأثیر استفاده از فرایند اندازینگ بر میزان خوردگی، خواص مکانیکی و همچنین طول عمر خستگی آلیاژ آلومینیوم انجام داد. نتایج به‌دست‌آمده، نشان‌دهنده کاهش نرخ خوردگی (۱۵۵.۰۶٪) در مقایسه با انداز نشده، افزایش سختی (۲۱.۵۴٪) و کاهش جزئی در طول عمر خستگی (۷.۷٪) به دلیل انداز کردن به مدت ۲۰ دقیقه بود [۱۸]. شکل ۴ نشان می‌دهد که با انداز کردن آلومینیوم طول عمر بیشتر می‌شود نسبت به آلومینیوم انداز نشده.



شکل ۴- نمودار S-n برای آلومینیوم انداز شده و انداز نشده

استفاده از کامپوزیت‌های نانو یا فیبر کربن در پروژه‌هایی با نیاز بالا به استحکام و وزن پایین توصیه می‌شود. در مقابل، کامپوزیت‌های الیاف طبیعی گزینه‌ای اقتصادی و سازگار با

جدول ۱- مقایسه خواص مکانیکی و فیزیکی مواد

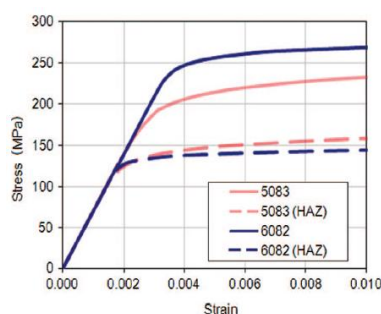
| ماده                   | چگالی<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | استحکام<br>کششی (MPa) | مدول یانگ<br>(GPa) | مقاومت به<br>خوردگی | نسبت استحکام به<br>وزن |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|------------------------|
| آلومینیوم H116-۵۰۸۳    | 2.66                          | 350-275               | 70                 | خوب                 | بالا                   |
| فایبرگلاس (GFRP)       | 2.0-1.8                       | 350-200               | 30-20              | متوسط تا خوب        | متوسط                  |
| فیبرکربن (CFRP)        | 1.6                           | 1500-500              | 200-70             | خوب                 | بسیار بالا             |
| الیاف طبیعی (کامپوزیت) | ۱.۵-۱.۲                       | ۲۰۰-۵۰                | 25-10              | پایین تا متوسط      | پایین تا متوسط         |
| نانو کامپوزیت گرافنی   | حدود ۱.۸                      | ۲۰۰۰-۸۰۰              | 1000-150           | بسیار خوب           | بسیار بالا             |

رطوبت بالا، حساسیت به شرایط محیطی و دوام کم از ضعف‌های آنهاست. برای بهبود دوام این مواد در محیط‌های دریایی، از روش‌هایی مانند اصلاح شیمیایی (تیمار قلیایی یا سیلان‌ها)، پوشش‌دهی ضدآب و ترکیب با الیاف مصنوعی مانند شیشه استفاده می‌شود.

{Collotta, 2016} کار خود را با تحقیق بر روی کامپوزیت‌های تقویت‌شده توسط الیاف طبیعی شروع کرد همچنین وی مقایساتی بین کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف شیشه و کامپوزیت‌های الیاف طبیعی انجام داد. تجزیه و تحلیل FEM بر روی قایق طراحی و ساخته شده، انتخاب موفق مواد را برای کاربرد واقعی نشان داد همچنین این نتیجه را گرفت که بیش از ۲۸ درصد هزینه نسبت به کامپوزیت‌های فیبر کربن صرفه جویی می‌شود. به منظور تجزیه و تحلیل پایداری اقتصادی کامپوزیت طبیعی توسعه یافته، هزینه‌ها برای تولید ۱ مترمربع کامپوزیت است. از آنجایی که فرآیند تولید در هر دو مورد یکسان است، تفاوت فقط در مورد مواد مورد استفاده رخ می‌دهد.

جدول ۲ اختلاف قیمت بین کامپوزیت‌های مرسوم با کامپوزیت‌های طبیعی جدید را نشان می‌دهد که همان‌طور که مشاهده می‌کنید کامپوزیت‌های طبیعی جدید بسیار به صرفه‌تر از کامپوزیت‌های مرسوم هستند و با استفاده از آنها می‌توان به‌طور قابل ملاحظه‌ای در قیمت‌ها صرفه جویی کرد. هزینه حاصل برای کامپوزیت استاندارد 168 €/m<sup>2</sup> است، در حالی که برای کامپوزیت طبیعی 232 €/m<sup>2</sup> است. این نتیجه پایداری اقتصادی مواد طبیعی ابتکاری توسعه یافته را تضمین می‌کند، زیرا امکان صرفه جویی در هزینه را تا ۲۸ درصد فراهم می‌کند.

{Benson, 2011} بر روی تأثیر پارامترهایی از جمله نوع آلیاژ، نقص هندسی، نرم شدن در ناحیه متأثر از گرما، تنش‌های پسماند، فشار جانبی و بار دومحوری تحقیقات خود را آغاز کرد. او به این نتیجه رسید که اثرات فشار جانبی و بارگذاری دومحوری تأثیر قابل توجهی بر مقاومت فروپاشی و منحنی بار کوتاه شدن صفحات آلومینیوم دارد. خواص مواد در HAZ با آزمایش مکانیکی تعیین می‌شود، اگرچه چندین تناقض بین آزمایش‌ها، از جمله طول نمونه آزمایش و روش تشکیل کوپن، به این معنی است که داده‌های منابع مختلف دارای تنوع زیادی هستند. در این بخش یک بلوک HAZ ایده‌آل با ضریب شکست ۰.۶۷ برای 5083-H116 و ۰.۵۳ برای 6082-T6 انتخاب شده است. منحنی‌های تنش-کرنش مواد حاصل در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- نمودار تنش-کرنش آلیاژهای ۵۰۸۳-H116 and

### ۳- کامپوزیت‌ها

#### ۳-۱ الیاف طبیعی

الیاف طبیعی مورد استفاده شامل کنف، نارگیل، کتان، چتایی و برگ موز هستند. این الیاف به دلیل وزن پایین، تجزیه پذیری زیستی و هزینه کم مورد توجه‌اند؛ اما جذب

جدول ۲- مقایسه قیمت بین کامپوزیت‌های مرسوم و کامپوزیت‌های طبیعی جدید

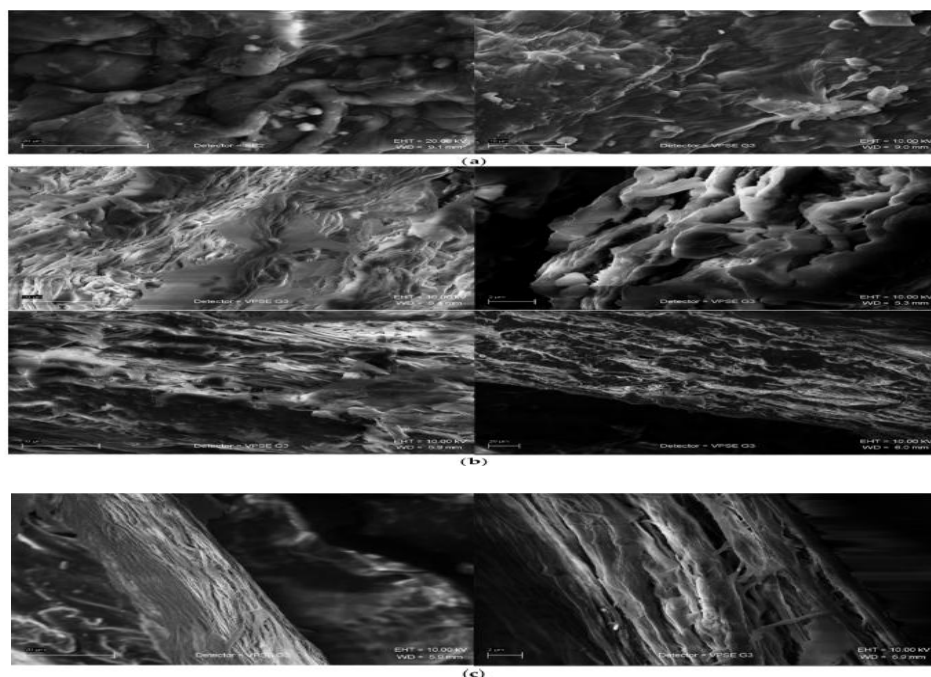
| New Natural Composite   | Unit cost [€/m <sup>2</sup> ] | Conventional Sandwich    | Unit cost [€/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Flax (UD +0)            | 17                            | Carbon fiber (UD +0)     | 25                            |
| Flax (BD +45-45)        | 21                            | Carbon fiber (BD +45-45) | 27                            |
| Flax (UD +90)           | 17                            | Carbon fiber (UD +90)    | 25                            |
| Cork 10 (5 mm)          | 8                             | PVC Foam (10 mm)         | 40                            |
| Cork 10 (5 mm)          | 8                             | Carbon fiber (UD +90)    | 25                            |
| Flax (UD +90)           | 17                            | Carbon fiber (BD +45-45) | 27                            |
| Flax (BD +45-45)        | 21                            | Carbon fiber (UD +0)     | 25                            |
| Flax (UD +0)            | 17                            | Resin carbon uptake      | 6,84                          |
| Resin flax uptake       | 7,52                          | Resin PVC foam uptake    | 30,76                         |
| Resin cork uptake       | 33,84                         | Microballons and silica  | 0,87                          |
| Microballons and silica | 0,87                          | -                        | -                             |
| Total                   | 168                           | Total                    | 232                           |

و تولید در آن تأثیر دارد. الیاف‌های طبیعی همچنین دارای نسبت ابعاد مطلوب و چگالی کم هستند. عملکرد سلولزی به‌شدت به نسبت بین لیگین (جذب رطوبت کمتر) و همپسلولز (پایداری حرارتی و زیستی بهتر، تخریب کمتر UV) بستگی دارد. شکل ۷ نمای کلی از تصاویر میکروسکپ الکترونی رومیزی (SEM) الیاف نانو سلولز از منابع طبیعی انتخاب‌شده را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی پرتو ایکس برای تصفیه و پیش‌تصفیه که برای این نوع مواد معمول است، انجام‌شده و مورد تأیید قرار گرفته است.

{Dąbrowska, 2022} از جمله کسانی بود که بر روی کامپوزیت‌های سبز تحقیق کرد. او کامپوزیت‌های الیافی مبتنی بر روغن گیاهی برای بدنه قایق‌ها را بررسی کرد. سبک‌تر بودن آن حدود ۴۰ درصد از الیاف شیشه، قابلیت جذب لرزش و صدا، ایمن بودن و همچنین سازگار بودن با محیط از جمله عواملی بود که در پایان تحقیق خود به آن دست یافت. الیاف ممکن است مستقیماً از محصولات کشت‌شده (کتان، کنف) یا ضایعات کشاورزی (برگ آناناس، پوست نارگیل) استخراج شود. جدول ۳ مقادیر خواص محصولات نهایی را نشان می‌دهد که تمامی مراحل کشت

جدول ۳- مشخصات فیبرهای طبیعی

| Fibre        | Elastic Modulus [GPa] | % Elongation | Tensile Strength [MPa] | Young Modulus [GPa] | Density [g/mL] |
|--------------|-----------------------|--------------|------------------------|---------------------|----------------|
| Hemp         | 70                    | 1.6          | 550-900                | 30-80               | 1.48           |
| Flax         | 60-80                 | 1.2-3.2      | 345-2000               | 15-80               | 1.45           |
| Sisal        | 38                    | 2-14         | 300-700                | 10-30               | 1.33-1.5       |
| Kenaf        |                       | 1.6          | 200-900                | 22-60               | 1.3            |
| Jute         |                       | 1.5-1.8      | 300-700                | 13-55               | 1.3            |
| Ramie        |                       | 2-3          | 400-938                | 61-128              | 1.5            |
| Bamboo       |                       | 1.4          | 190-600                | 21-50               | 0.6-0.9        |
| Banana       |                       | 1-3.5        | 161-780                | 7.6-9.4             | 0.72-0.88      |
| Coconut      |                       |              | 150-180                | 4-6                 | 1.2            |
| Pineapple    |                       | 0.8-1        | 126.6                  | 4.4                 | 1.07           |
| Coir         |                       | 15-40        | 175                    | 4-6                 | 1.2            |
| E glass      | 73                    | 3.4          | 2400                   | 72                  | 2.55           |
| Kevlar 29    | 70.5                  |              | 2920-4100              | 130                 | 1.44           |
| Nylon 66     | 3.5                   |              | 85                     |                     | 1.14           |
| 1080 steel   | 207                   |              | 2550                   |                     | 7.9            |
| Carbon fibre |                       | 1.3-1.8      | ~4000                  | 235                 | 1.4            |



شکل ۷- تصاویر SEM نانو سلولز از (a) سیر، (b) پیاز، (c) آناناس

و ضریب پواسون برای مواد مختلف NFRP در شکل‌های ۸-۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۴- مشخصات فیبرها

| Property                      | Pineapple Fiber | Bamboo Fiber | Waste Silk Fiber |
|-------------------------------|-----------------|--------------|------------------|
| $E_{fl}$ (N/m <sup>2</sup> )  | 1.16E+09        | 3.00E+09     | 4.50E+09         |
| $G_{fl2}$ (N/m <sup>2</sup> ) | 9.00E+08        | 1.00E+09     | 2.00E+09         |
| $\nu_{12}$                    | 0.25            | 0.32         | 0.30             |
| Property                      | Silk Fiber      | Jute Fiber   | Abaca Fiber      |
| $E_{fl}$ (N/m <sup>2</sup> )  | 5.00E+09        | 1.06E+09     | 9.57E+08         |
| $G_{fl2}$ (N/m <sup>2</sup> ) | 2.50E+09        | 7.00E+08     | 8.00E+08         |
| $\nu_{12}$                    | 0.32            | 0.28         | 0.15             |

از این خواص مکانیکی، الیاف ابریشم جایگزین جذابی برای فیبر شیشه است. خواص مکانیکی محاسبه شده برای کامپوزیت در جدول ۵ آورده شده است. با استفاده از معادلات Halpin-Tsai، استحکام کامپوزیت الیاف ابریشم ۴۶.۸ مگاپاسکال به دست آمد.

{Renjith, 2019} به مقایسه بین کامپوزیت‌های الیاف طبیعی مانند بامبو، موز و الیاف ابریشم با فیبر شیشه پرداخت. علاوه بر وزن کم و بازیافت بهتر این نوع کامپوزیت‌ها او به کمک آنالیز توسط انسیس به این نتیجه رسید که ضریب ایمنی کامپوزیت‌های NFRP در محدوده قابل قبولی قرار دارد، شرایط پایداری را کاملاً ارضا می‌کند و همچنین بین الیاف‌های موردبررسی الیاف ابریشم برای کاربردهای ساختاری مناسب‌تر است. دو نوع الیاف برای کامپوزیت‌ها استفاده می‌شود: ساخت دست بشر و طبیعی. الیاف طبیعی، همان‌طور که از نام آن پیداست، به‌طور طبیعی تکامل می‌یابند. انواع الیاف طبیعی به همراه جزئیات در جدول ۴ آورده شده است. خواص مواد به‌دست‌آمده از محاسبات در زیر آورده شده است. در میان الیاف طبیعی، ابریشم خواص مکانیکی خوبی از خود نشان می‌دهد. دهد.

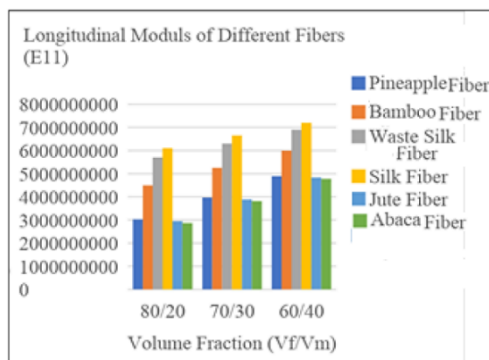
مدول الاستیسیته و نسبت پواسون دو ویژگی مستقل موردنیاز برای یک ماده همسانگرد هستند. فیبر شیشه به‌عنوان یک ماده همسانگرد برای آنالیز در نظر گرفته می‌شود. کامپوزیت NFRP گرفته‌شده برای تجزیه و تحلیل به‌عنوان یک ورقه یک‌طرفه در نظر گرفته شد. ۱۰ لایه لامینا روی هم چیده شده‌اند تا مدل ارتوتروپیک ایجاد شود؛

ASTM 5083, ASTM D256 انجام داد وی نتیجه گرفت که ترکیب این دو الیاف خواص کششی را بهبود می‌بخشد و همچنین روش قالب‌گیری فشرده برای استفاده در ساخت قایق کوچک از کامپوزیت‌های الیاف طبیعی مناسب‌تر است [19].

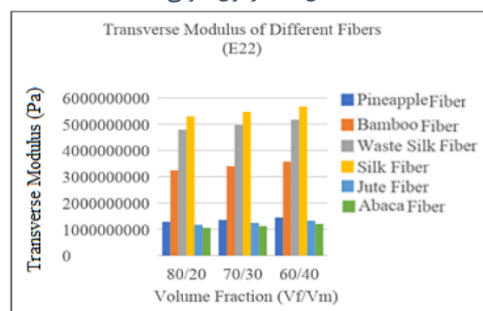
{ Windyandari, 2022 } از ترکیب الیاف شیشه و نارگیل (HCGFRP) برای طراحی قایق ماهیگیری استفاده کرد. او آنالیزهای خود را در انسیس انجام داد و به این نتیجه رسید که آسیب برخورد نمی‌تواند باعث نشت بدنه شود و دیواره برخورد در تست‌های مختلف سالم مانده است پس می‌توان از (HCGFRP) به‌عنوان یک ماده جایگزین استفاده کرد [۲۰]. تولید نمونه‌های هیبریدی نارگیل و الیاف شیشه، با تولید ورقه‌هایی از آن آغاز شد. همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، فیبر نارگیل از طریق فشار و کمی مایع رزین الیاف نارگیل به هم چسبانده شد. فیبر نارگیل درست در وسط لمینیت قرار داده شده است. ترتیب مراحل ساخت کامپوزیت شیشه-نارگیل را می‌توان در شکل ۱۲ مشاهده کرد.

جدول ۵- مشخصات کامپوزیت‌ها

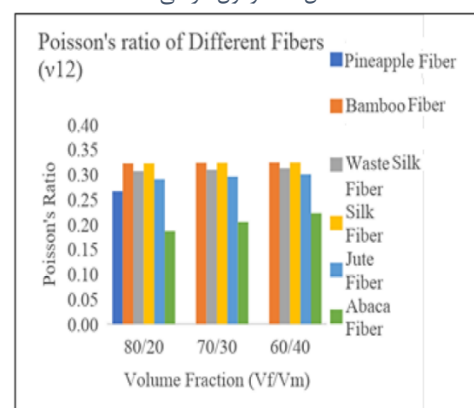
| Property                              | Pineapple Fiber | Bamboo Fiber | Waste Silk Fiber |
|---------------------------------------|-----------------|--------------|------------------|
| $E_{11}$ (N/m <sup>2</sup> )          | 4.90E+09        | 6.00E+09     | 6.90E+09         |
| $E_{22}$ $E_{11}$ (N/m <sup>2</sup> ) | 1.45E+09        | 3.58E+09     | 5.17E+09         |
| $G_{12}$ $E_{11}$ (N/m <sup>2</sup> ) | 9.61E+08        | 1.05E+09     | 1.76E+09         |
| $\nu_{12}$                            | 0.27            | 0.32         | 0.31             |
| Property                              | Silk Fiber      | Jute Fiber   | Abaca Fiber      |



شکل ۸- مودول طولی



شکل ۹- مودول عرضی



شکل ۱۰- نسبت پواسون

{ Misri , 2010 } از ترکیب الیاف نخل قند با شیشه استفاده کرد و آزمایش ضربه و کشش مطابق با استاندارد



شکل ۱۱- ورقه فیبر نارگیل



شکل ۱۲- فرایند دستی ساخت کامپوزیت هیبریدی شیشه-نارگیل (HCGFRP)

استحکام کششی هر یک از نمونه‌های آزمایش شده را نشان می‌دهد. جدول ۷ درصد ترکیبی رزین و سخت کننده برای هر یک از نمونه‌های جدول ۶ را نشان می‌دهد. جدول ۸ مقادیر مقاومت کششی مواد کامپوزیت پلیمری (PCM) تقویت شده با فایبرگلاس را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که مواد مرکب پلیمری تقویت شده با فایبرگلاس استحکام را تغییر می‌دهد که همراه با افزودن تقویت کننده به ماده منجر به افزایش مقاومت کششی می‌شود. بر اساس جدول ۸ نیز مقادیر استحکام کششی تولید شده برای هر نمونه A1 تا A5 از ۴ مگاپاسکال تا ۱۲ مگاپاسکال متفاوت است.

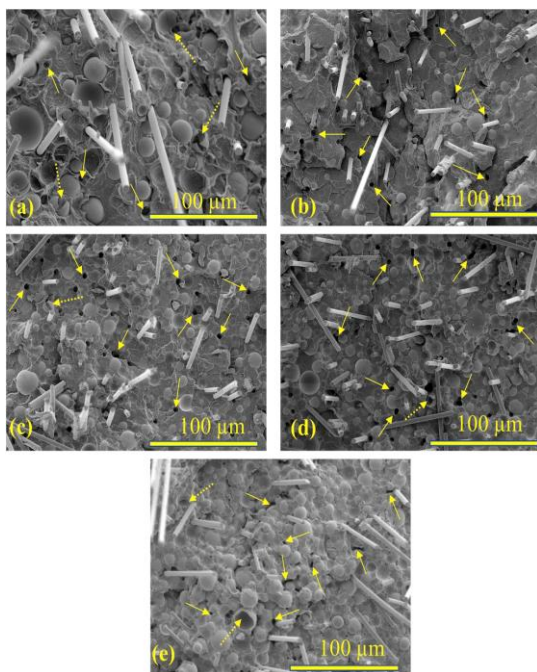
ترکیب الیاف شیشه با الیاف طبیعی موجب بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها می‌شود. الیاف شیشه سختی و مدول بالایی دارند و تنش‌های وارده را بهتر در ماتریس منتقل می‌کنند. نسبت‌های ۳۰:۷۰ یا ۴۰:۶۰ بین الیاف شیشه و طبیعی در تحقیقات عملکرد مناسبی نشان داده‌اند. این ترکیب منجر به کاهش جذب رطوبت، افزایش استحکام خمشی و دوام بیشتر می‌شود. روش‌های نوینی مانند افزودن نانوذرات (نانوگرافن، نانورس)، اندایزینگ فلزات مجاور، یا استفاده از بافت‌های سه بعدی نیز به افزایش عملکرد این ترکیبات کمک می‌کنند.

## ۲-۳ فایبرگلاس و فیبر کربن

{Ruzuqi, 2020} بر روی استحکام کششی مواد کامپوزیت پلیمری تقویت شده با فایبرگلاس تحقیق کرد. او آزمایش‌های خود را برای تعداد لایه‌های مختلف و درصد وزنی مواد سخت کننده آغاز کرد و به این نتیجه رسید که هر چه تعداد لایه‌ها بیشتر باشد استحکام کششی افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش وزن سخت کننده استحکام کاهش می‌یابد. طبق آزمایش‌های او دریافت که بهترین حالت آن هشت لایه تقویت کننده با محتوای ماتریس ۰.۵ درصد وزنی مواد سخت کننده می‌باشد [۲۱]. جدول ۶ کاهش در

جدول ۶- مواد کامپوزیت تقویت شده با فایبرگلاس

| No. | Description      | Lamination Arrangement |                       |                       |                       |                       |
|-----|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|     |                  | Sample A <sub>1</sub>  | Sample A <sub>2</sub> | Sample A <sub>3</sub> | Sample A <sub>4</sub> | Sample A <sub>5</sub> |
| (1) | (2)              | (3)                    | (4)                   | (5)                   | (6)                   | (7)                   |
| 1.  | Order of layers: |                        |                       |                       |                       |                       |
|     | Layer 1          | CSM 300                | CSM 300               | CSM 300               | CSM 300               | CSM 300               |
|     | Layer 2          | WR 600                 | CSM 450               | CSM 450               | CSM 450               | CSM 450               |
|     | Layer 3          | CSM 450                | WR 600                | WR 600                | WR 600                | WR 600                |
|     | Layer 4          | CSM 450                | CSM 450               | CSM 450               | CSM 450               | CSM 450               |
|     | Layer 5          |                        | CSM 450               | WR 600                | WR 600                | WR 600                |
|     | Layer 6          |                        |                       | CSM 450               | CSM 300               | CSM 300               |
|     | Layer 7          |                        |                       |                       | CSM 450               | WR 600                |
|     | Layer 8          |                        |                       |                       |                       | CSM 450               |



شکل ۱۳- تصاویر SEM از کامپوزیت‌های PP با ۸ درصد وزنی SCF

(a)BM/C8/G5, (b)BM/C8/G10,  
(c)BM/C8/G20, (d)BM/C8/G30, (e)  
BM/C8/G40

{Håkansson, 2018} بر روی استفاده از مواد و روش‌هایی برای سبک‌سازی شناور همراه با حفظ استحکام آن تحقیق خود را شروع کرد. او در تحقیق خود به استفاده از کامپوزیت‌ها به‌ویژه فیبر کربن و همچنین پانل‌های ساندویچ دست یافت و همچنین معایب و مزایای این روش را شرح داد [۲۳].

#### معایب:

- هزینه‌های اولیه بالا.
- قابلیت اشتعال و خطر آتش‌سوزی مواد کامپوزیتی.

#### مزایا:

- ساختارهای فیبر کربن به‌طور متوسط تقریباً ۲۰-۳۰ درصد سبک‌تر از ساختارهای فیبر شیشه هستند.
- ساندویچ پانل‌ها از نظر وزن بهتر از پانل‌های تک پوسته در اکثر اجرای ساختاری کشتی هستند، به استثنای سازه‌های پایینی که برای فشار بالا طراحی شده‌اند و برای آنها پانل‌های تک پوسته ترجیح داده می‌شوند.
- در بسیاری از موارد، حداقل ضخامت مورد نیاز تعیین شده توسط قوانین، در مقایسه با ساختاری که کاملاً با استحکام طراحی شده است، وزن اضافه می‌کند.

جدول ۷- طرح‌های آزمایشی مواد کامپوزیت پلیمری (PCM) ماتریکس تقویت‌شده با فایبرگلاس

| No. | Description       | Weight Percentage [wt.-%] |                       |                         |                       |                       |
|-----|-------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
|     |                   | Sample B <sub>1</sub>     | Sample B <sub>2</sub> | Sample I B <sub>3</sub> | Sample B <sub>4</sub> | Sample B <sub>5</sub> |
| (1) | (2)               | (3)                       | (4)                   | (5)                     | (6)                   | (7)                   |
| 1.  | Lamination Order: |                           |                       |                         |                       |                       |
|     | Epoxy Resins      | 99.5                      | 99                    | 98.5                    | 98                    | 97.5                  |
|     | Hardener          | 0.5                       | 1                     | 1.5                     | 2                     | 2.5                   |

جدول ۸- تست کشش برای تعداد لایه‌های نمونه A و محتوای ماتریکس مواد سخت‌کننده نمونه B

#### Sample Tensile Strength [MPa]

|    |        |
|----|--------|
| A1 | 59.467 |
| A2 | 63.722 |
| A3 | 75.816 |
| A4 | 82.899 |
| A5 | 87.054 |

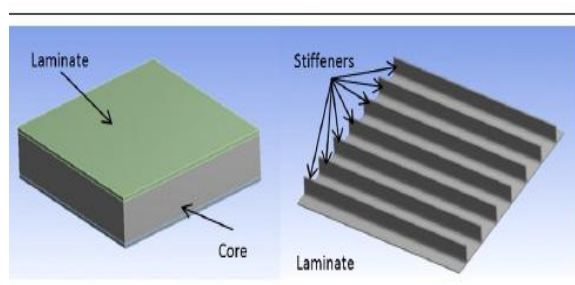
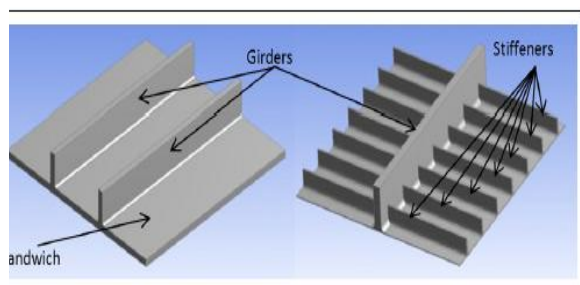
#### Sample Tensile Strength [MPa]

|    |        |
|----|--------|
| B1 | 73.921 |
| B2 | 69.117 |
| B3 | 67.592 |
| B4 | 65.967 |
| B5 | 65.342 |

{Gogoi, 2019} تحقیقات خود را با کامپوزیت‌های هیبریدی PP (پلیمر بازگشت‌پذیر) آغاز کرد و دریافت که کامپوزیت‌های هیبریدی با ۸ درصد وزنی SCF (فیبر کربن) استحکام کششی و مدول الاستیسیته بالایی از خود نشان می‌دهد به‌گونه‌ای که این نوع کامپوزیت از نظر استحکام کششی با کامپوزیت‌های تجاری که از محتوای الیاف نسبتاً بسیار بالاتر از ۴۰ درصد استفاده می‌کنند برابر بود [۲۲]. تصاویر SEM از سطوح شکسته کرایونیک با وضوح بالا برای تمام کامپوزیت‌های هیبریدی با ۵ درصد وزنی SCF و در شکل ۱۳ نشان داده شده است. عدم وجود هرگونه تجمع قابل مشاهده نشان‌دهنده پراکندگی و توزیع نسبتاً یکنواخت SCFs و HGMs در BM است. همچنین هم الیاف و هم پرکننده‌ها به‌طور معقول در ماتریکس پلیمری جاسازی شده‌اند.

- برای اندازه پانل آستانه‌ای وجود دارد که فراتر از آن پانل‌های دارای تیر، سبک‌تر از پانل‌های بدون تیر هستند. تحقیقات به دو صورت بررسی شدند در بخش اول تیرها در طول بررسی حذف شدند و در بخش دوم آنها گنجانده شدند دلیل اصلی این نوع تقسیم‌بندی این بود که بررسی

پانل‌های بدون تیر در مقایسه با پانل‌های دارای تیر راحت‌تر است در نتیجه می‌توان تحلیل‌های عمیق‌تری که شامل راه‌حل‌های قوی‌تر و فاکتورهای حیاتی‌تر است، انجام داد. در شکل ۱۴ می‌توان هر دو حالت با تیر و بدون تیر را مشاهده کرد.



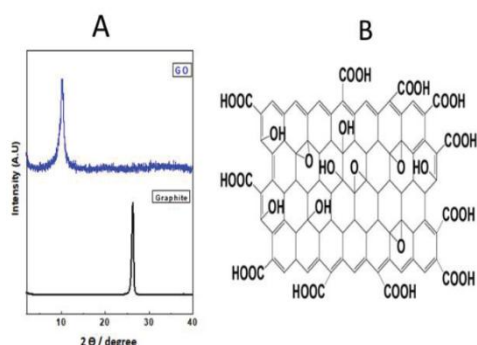
تصویر چپ: ساندویچ پانل دارای تیر  
تصویر راست: پانل تک پوسته دارای تیر

تصویر چپ: ساندویچ پانل  
تصویر راست: پانل تک پوسته

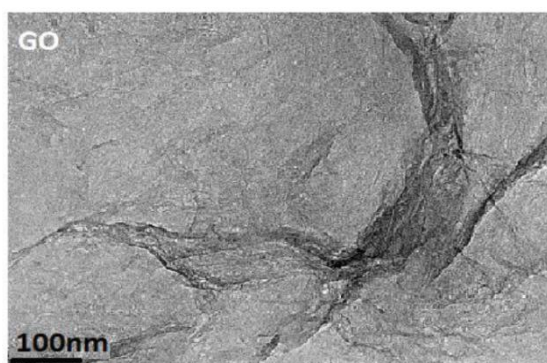
شکل ۱۴- نمایش ساندویچ پانل و پانل تک پوسته همراه با تیر و بدون تیر

#### ۴- مواد نانو

{Aftab, 2019} نانو مواد مبتنی بر گرافن را مورد بررسی قرار داد. او دریافت که گرافن یک نانو مواد دوبعدی با شبکه گسترده حلقه‌های بنزن است، از فولاد ضدزنگ قوی‌تر است و رسانایی بالایی دارد. اکسید گرافن شکل عامل دار گرافن است که بیشتر ویژگی‌های گرافن دست‌نخورده است [۲۴]. شکل A۱۵ الگوهای XRD گرافیت و اکسید گرافن را نشان می‌دهد. ماده اولیه گرافیت به دلیل صفحه پراش (002) پیک شدیدی را در حدود  $2\theta$   $26^\circ$  نشان می‌دهد. این امر نشان‌دهنده تبدیل موفقیت‌آمیز گرافیت به اکسید گرافن است. ساختار اکسید گرافن با استفاده از نرم‌افزار chemdraw همان‌طور که در شکل B۱۵ نشان داده شده است ترسیم شد. اکسید گرافن دارای ساختار اولیه مشابه ماده اصلی گرافن است با گروه‌های عاملی اضافی مانند لبه‌ها با اسید کربوکسیلیک و بدنه اصلی با گروه‌های هیدروکسیل و اپوکسی، عامل دار می‌شوند. شکل ۱۶ میکروگراف الکترونی عبوری از اکسید گرافن را نشان می‌دهد. گرافن بسیار صاف‌تر از مورفولوژی اکسید گرافن است. زبری به دلیل عاملی شدن گرافن است. روشی که به کار گرفته می‌شود، عامل دارسازی اکسیداتیو گرافیت است.



شکل ۱۵- (A) الگوهای XRD گرافیت و اکسید گرافن. (B) دوبعدی اکسید گرافن



شکل ۱۶- میکروگراف الکترونی عبوری با وضوح بالا اکسید گرافن {Dhinakaran, 2021} بر روی استفاده از مواد نانو در فضاپیماها تحقیق کرد او مواد نانو مانند  $MgB_2$ ، نانولوله‌های کربنی چند جداره و نانوکامپوزیت‌های اکریلونیتریل بوتادین استایرن/ مونتموریلونیت و به

کامپوزیت‌های فایبرگلاس (GFRP) ارزان‌تر از فیبر کربن هستند و تولید آنها نیز ساده‌تر است، اما از نظر زیست‌محیطی مشکل‌سازند، زیرا بازیافت‌پذیری کمی دارند. فیبر کربن هرچند بسیار مقاوم و سبک است، اما به دلیل هزینه بالای تولید و تجهیزات پیشرفته موردنیاز، فقط در پروژه‌های خاص مانند شناورهای نظامی یا مسابقه‌ای استفاده می‌شود. کامپوزیت‌های الیاف طبیعی، اگرچه عمر مفید و مقاومت پایین‌تری دارند، اما از نظر اقتصادی برای پروژه‌های کم‌هزینه و پایدار، گزینه مناسبی هستند. نانوکامپوزیت‌ها مانند گرافن نیز عملکرد مکانیکی عالی دارند ولی به دلیل فناوری پیچیده تولید، هنوز برای کاربردهای گسترده، اقتصادی محسوب نمی‌شوند. در جدول ۹، مقایسه‌ای بین این مواد از نظر هزینه، دوام، نگهداری و بازیافت ارائه شده است.

جدول ۹- مقایسه اقتصادی مواد دریایی

| ماده                 | هزینه تقریبی (یورو بر مترمربع) | هزینه نگهداری | عمر مفید    | بازیافت‌پذیری | توضیحات اقتصادی                                          |
|----------------------|--------------------------------|---------------|-------------|---------------|----------------------------------------------------------|
| آلومینیوم ۵۰۸۳       | ۲۰۰-۱۵۰                        | کم            | بالا        | بالا          | دوام زیاد، نیاز به تعمیر کم، ارزش بازیافت بالا           |
| فایبرگلاس (GFRP)     | ۱۵۰-۱۰۰                        | متوسط         | متوسط       | پایین         | ارزان و در دسترس، ولی مشکلات زیست‌محیطی و بازیافت        |
| فیبر کربن (CFRP)     | ۵۰۰-۳۰۰                        | کم            | بسیار بالا  | پایین         | بسیار مقاوم ولی بسیار گران، مناسب پروژه‌های خاص          |
| کامپوزیت الیاف طبیعی | ۱۷۰-۱۳۰                        | بالا          | کم تا متوسط | بالا          | مقرون‌به‌صرفه، زیست‌تخریب‌پذیر، اما نیاز به محافظت بیشتر |
| نانوکامپوزیت گرافنی  | ۴۰۰-۲۵۰                        | بسیار کم      | بسیار بالا  | محدود         | عملکرد عالی در برابر عوامل محیطی، ولی هزینه بالا         |

دسته از کامپوزیت‌ها می‌توان به قابلیت‌های چشمگیری دست یافت.

## ۶- منابع

- [1] A. Dąbrowska, "Plant-oil-based fibre composites for boat hulls," *Materials*, vol. 15, no. 5, p. 1699, 2022.
- [2] S. Benson, J. Downes, and R. Dow, "Ultimate strength characteristics of aluminium plates for high-speed vessels," *Ships and Offshore Structures*, vol. 6, no. 1-2, pp. 67-80, 2011.
- [3] S. Soekrisno and B. Anggoro, "Effect of Anodizing in Surface Finishing on Speed Boat Impeller Made of Aluminum," *Advanced Materials Research*, vol. 896, pp. 253-256, 2014.
- [4] M. A. Wahid, A. N. Siddiquee, and Z. A. Khan, "Aluminum alloys in marine construction: characteristics, application, and problems from a fabrication viewpoint," *Marine Systems & Ocean Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 70-80, 2020.
- [5] E. A. Starke and H. M. A. Rashed, "Alloys: Aluminum," in *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*: Elsevier, 2017.

ویژگی‌هایی همچون استحکام مکانیکی، دوام، تأخیر در شعله، مقاومت شیمیایی و پایداری حرارتی دست یافت. همچنین او دریافت که پیچیدگی مراحل که باید دنبال شود و پیچیدگی ماشین‌آلات، انتخاب تکنیک می‌تواند تأثیر زیادی بر کیفیت نانوکامپوزیت داشته باشد. گرافن خواص مکانیکی برتری را نشان داده است و شبیه‌سازی دینامیک مولکولی نشان داد که گرافن باعث افزایش پایداری، استحکام و کاهش تنش خستگی می‌شود [۲۵]. در انتخاب مواد برای ساخت شناورها، تنها خواص مکانیکی مطرح نیست، بلکه عوامل اقتصادی همچون هزینه‌ی اولیه، نیاز به نگهداری، قابلیت بازیافت و عمر مفید نیز تأثیر زیادی دارند. آلومینیوم یکی از گزینه‌های رایج و اقتصادی محسوب می‌شود؛ چون هم دوام بالایی دارد و هم نیاز به تعمیرات کمتری دارد، ضمن آنکه به راحتی قابل بازیافت است.

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب گفته‌شده در قسمت‌های قبل می‌توان این برداشت را کرد که بسته به نوع کاربرد می‌توان مواد موردنیاز را مورد استفاده قرار داد به عنوان مثال اگر طول عمر و سبک بودن شناور برای ما اهمیت دارد می‌توان از آلیاژهای آلومینیوم استفاده کرد و همچنین با انداز کردن آن می‌توان طول عمر را افزایش داد و یا اگر سبک بودن به همراه استحکام بالای شناور برای ما اهمیت دارد می‌توان از کامپوزیت‌ها استفاده کرد و در بین کامپوزیت‌ها، کامپوزیت‌هایی که از الیاف طبیعی در آنها استفاده شده است به علت سازگاری با محیط و راحتی کار با آنها و از همه مهم‌تر قیمت مناسب آنها می‌تواند گزینه خوبی برای کاربردهای مختلف باشد. با توجه به پیشرفت صنعت کشتی‌سازی و استفاده از کامپوزیت‌های الیاف طبیعی بیش‌ازپیش، این نوید را می‌دهد که با کار کردن روی این