ابر سازه های کامپوزیتی در ناوهای جنگی

سال هاست که سازه های روی عرشه کشتی های نیروی دریایی را با استفاده از کامپوزیت ها تولید می کنند. از اواسط دهه ۱۹۶۰ میلادی تا کنون، در اتاق های بالای عرشه ناوهای کوچک توپدار و از اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی در ابر سازه های کشتی های مین روب از کامپوزیت ها استفاده می گردد. اخیراً نیز نیروی دریایی پادشاهی فنلاند در قایق گشت زنی پر سرعت خود که رائوما نام دارد، یکی از ابر سازه های آلومینیومی را با نمونه کامپوزیت ساندویچی جایگزین نموده است. اتاق های کامپوزیتی روی عرشه، بر دو چالشی که نمونه های فولادی با آن روبرو هستند فائق آمده اند. به عبارت دیگر بر خلاف فولاد، کامپوزیت ها علاوه بر اینکه دچار خوردگی شدید نمی گردند، سبک تر نیز می باشند. به این ترتیب جایگزین شدن فولاد با کامپوزیت ها سبب گردید که وزن یک کشتی نیروی دریایی که کمتر از ۲۰ متر طول داشت، ۶۵% کاهش یابد.

در گذشته برای پایین آوردن وزن ابر سازه های کشتی های جنگی بزرگ، آنها را از جنس آلیاژهای آلومینیوم تولید می کردند. اما در جنگ هایی نظیر جنگ فالکلند مشاهده شد که ابر سازه های آلومینیومی نمی توانند در برابر آتش سلاح های جنگی به خوبی مقاومت کنند. از طرف دیگر چون آلومینیوم از رسانایی حرارتی بالایی برخوردار است، حتی در دمای نسبتاً پایین، نرم و سپس ذوب می شود. به علاوه در قسمت هایی که ابرسازه های آلیاژ آلومینیوم به بدنه فولادی جوش شده بودند، در اثر خستگی، ترک ایجاد می شد. ضمناً در قسمت هایی که شاه تیر مرکزی کف کشتی، بیشتر دچار کرنش خمشی می شد، تَرَک ها بیشتر رشد می کردند. در برخی کشتی های جنگی، تَرَک ها چنان عمیق و فراوان بودند که باید هرچند وقت یکبار برای تعمیر آنها هزینه زیادی صرف می شد. در برخی کشتی های جنگی برای جلوگیری از رشد ترک ها، مناطقی که در معرض ترک خوردن قرار داشتند را تقویت می نمودند. اما این راه حل نیز گران تمام می شد ضمن اینکه گاهی لازم می شد برای اجرای آن، کشتی را از خط سرویس دهی خارج کنند. چنین چالش هایی سبب گردید که نیروی دریایی همه کشورها در تولید ابر سازه های کشتی ها به استفاده از کامپوزیت ها روی آورند.

استحکام تسلیم کامپوزیت پلاستیک تقویت شده با الیاف شیشه، ۱۰ برابر فولاد است بنابراین ابرسازه های کامپوزیتی که روی بدنه فولادی کشتی ها نصب گردیده اند، در اثر خستگی کمتر دچار ترک خوردگی می گردند. لازم به ذکر است که استحکام تسلیم به مقدار تنشی گفته می شود که

باعث تغییر شکل مومسان می گردد. تغییر شکل مومسان یعنی با برداشتن بار از روی یک جسم تغییر شکل ایجاد شده از بین نمی رود.

در اواسط دهه ۱۹۸۰ میلادی برای اولین بار کشف شد که می توان برای بدنه فولادی کشتی های جنگی بزرگ، ابرسازه های کامپوزیتی تولید نمود. از آن زمان به بعد در این زمینه تحقیقات زیادی صورت گرفت و نتیجه بیشتر آنها این بود که بهترین راه حل این است که یا ابرسازه ها را با صفحات کامپوزیتی تک پوسته تولید کنند و آنها را با قاب فولادی تقویت نمایند و یا با استفاده از صفحات کامپوزیت ساندویچی که پوسته بالایی آن تقویت شده باشد، نسبت به تولید ابرسازه های مذکور اقدام نمایند. به علاوه این تحقیقات نشان دادند که ابرسازه های کامپوزیتی ۷۰-۱۵% سبک تر از نمونه های فولادی هم اندازه خود می باشند. البته میزان کاهش وزن به نوع کامپوزیت و مقدار فولاد تقویت کننده بستگی دارد. قرار است که برای نسل آینده ناو محافظ فری گیت نیروی دریایی پادشاهی نروژ، ابر سازه های کامپوزیتی تولید شود که به این ترتیب وزن ناو جدید نسبت به نمونه قبلی که ابر سازه های فولادی داشته کاهش می یابد و به ۱۸۰ تن می رسد.

جایگزین نمودن قطعات ابر سازه های فولادی با قطعات کامپوزیتی نیز به کاهش وزن ابر سازه ها کمک شایانی می نماید. به عنوان مثال نیروی دریایی نروژ تخمین زده است که اگر در ناو محافظ فری گیت مدل ۲۳ خود آشیانه های تمام فولادی هلیکوپترها را با قاب هایی از صفحات هیبریدی کامپوزیت/فولاد جایگزین نماید در وزن این ناو ۳۱% (۹ تن) صرفه جویی می گردد.

آقایان دادکینز و ویلیامز در کنفرانس بین المللی کامپوزیت ها در سازه های فراساحل و شناورها (انگلستان، ۵-۶ آوریل سال ۲۰۰۰ میلادی) مقاله ای تحت عنوان استفاده از سازه های ساندویچی در کشتی های نیروی دریایی ارائه دادند. در این مقاله آمده بود که جایگزین نمودن ابرسازه های فولادی یک ناو محفظ فری گیت (در اندازه متوسط) با کامپوزیتی که توسط قاب های فولادی تقویت شده است، تا حدودی وزن ناو را کاهش می دهد اما هزینه تولید آن را به طور چشمگیری افزایش می دهد. طبق برآورد این دو، اگر ابرسازه های ناو مذکور را تماماً با استفاده از صفحات کامپوزیتی تقویت شده تولید کنند، وزن ناو فری گیت به میزان قابل توجهی (حدود ۴۰%) کاهش می یابد و هزینه تولید نیز آنقدرها افزایش پیدا نمی کند. با کاهش یافتند وزن ابر سازه ها ظرفیت حمل سلاح بالا می رود و ناو مذکور بهتر می تواند از آبهای ساحلی محافظت نماید. اگرچه استفاده از کامپوزیت ها سبب می گردد که وزن ابرسازه ها نسبت به نمونه های فولادی کاهش یابد اما ابرسازه های کامپوزیتی از انواع آلومینیومی خود ۳۰% سنگین تر می باشند.

در مقایسه با ابرسازه های فولادی و آلیاژ آلومینیوم، ابرسازه های کامپوزیتی از نقاط ضعفی برخوردار می باشند. هزینه تولید ابر سازه های کامپوزیتی بسیار بالاتر از ابر سازه های فلزی است زیرا اتصال ابر سازه های کامپوزیتی به عرشه فولادی با روش های گران قیمتی صورت می گیرد. به عنوان مثال در کنفرانس بین المللی آخرین پیشرفت ها در تولید سازه های سبک (انگلستان، ۲۵-۲۴ فوریه سال ۲۰۰۰ میلادی) آقایان هوینینگ و تَبی عنوان کردند که در ابرسازه های یک ناو فری گیت با ابعاد

متوسط، جایگزین نمودن فولاد با کامپوزیت ها هزینه تولید را ۱۴۰-۴۰% افزایش می دهد. این افزایش قیمت به نوع ماده کامپوزیتی، سیستم قاب بندی و میزان رادار گریزی ناو مذکور بستگی دارد. از سوی دیگر آقایان دادکینز و ویلیامز پیش بینی کرده بودند که ابرسازه های کامپوزیتی تنها ۴۷-۹ % گران تر از نمونه های فولادی خود باشند. انتظار می رود که استفاده از کامپوزیتها در ابر سازه های ناو شکن رلی بورک (مدل دی دی جی ۵۱) و ناو فری گیت مدل ۲۳ هزینه تولید این دو ناو شکن را به ترتیب ۱۸ و ۳۵ درصد افزایش دهد. برخی تولید کنندگان کشتی نیروی دریایی بعضی از کشورها پذیرفتند که زیر بار چنین هزینه هنگفتی بروند زیرا به این نتیجه رسیده بودند که طی طول عمر این کشتی ها استفاده از کامپوزیت ها مقرون به صرفه خواهد بود. به عبارت دیگر کاهش کاهش یافتن دوره تعمیر و نگهداری کامپوزیت ها و پایین آمدن احتمال بروز ترک در اثر خستگی و در نتیجه خارج نشدن کشتی از خط سرویس دهی دو عاملی هستند که سبب می گردند طی دوره خدمت رسانی کشتی های نیروی دریایی، با استفاده از کامپوزیت ها از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد. اما در این رابطه هنوز یک چالش دیگر وجود دارد و آن هم این است که بسیاری از کارخانه های کشتی سازی برای تولید ابر سازه های کامپوزیتی با اشکال پیچیده، از تجهیزات و مهارت های لازم برخوردار نیستند.

نیروی دریایی فرانسه به عنوان اولین مصرف کننده ابرسازه های کامپوزیتی در کشتی های جنگی بزرگ، شناخته می گردد. در سال ۱۹۹۲ میلادی این کشور ناو محافظ خود را که لافایت نام داشت به آب انداخت و در حال حاضر نیز ۵ فروند از ناو مذکور به نیروی دریایی فرانسه خدمت رسانی می کنند. قرار است یک فروند دیگر از این ناو به ناوگان دریایی فرانسه بپیوندد.

همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می گردد ابرسازه های قسمت عقب ناو لافایت از صفحات کامپوزیتی ساندویچی پلاستیک های تقویت شده با الیاف شیشه تولید شده اند.

شکل ۶- ابرسازه های قسمت عقب ناو محافظ لافایت

قسمت عقب ناو محافظ لافایت که آشیانه هواپیما در آن قرار گرفته است، طول ۳۸ متر و عرض ۱۵ متر، ارتفاع ۶۵۰ الی ۸۵۰ سانتی متر و وزن ۸۵ تن دارد و بزرگترین ابرسازه ای می باشد که تا کنون روی عرشه کشتی های نیروی دریایی نصب گردیده است. دودکش های ناو محافظ لافایت نیز از مواد کامپوزیتی تولید شده اند. قسمت جلویی ناو محافظ لافایت که شامل سکان، مرکز اطلاعات جنگ و مرکز کنترل تجهیزات مخابراتی ناو مذکور می باشد، با استفاده از فولاد تولید شده است.

نیروی دریایی کشور تایوان شش فروند و کشور عربستان سعودی سه فروند از مدل اف-۳۰۰۰ ناو محافظ لافایت را خریداری نموده اند.

در حال حاضر ناو محافظ لافایت تنها کشتی جنگی بزرگی است که دارای ابرسازه های کامپوزیتی می باشد. اما نیروی دریایی کشور آمریکا قصد دارد ابرسازه های فولادی ناوشکن آرلی بورک مدل دی دی جی-۵۱ را به صورت یکپارچه و از کامپوزیت ساندویچی تولید نماید.

سامانه پدافند نقطه ای یا سامانه دفاع نزدیک فالاتکس (موشکهای ضد هوایی که از روی عرشه ناوگان نیروی دریایی، پرتابه ها و هواپیماهای کوتاه بُرد دشمن را، ردیابی و منهدم می کند) اتاق ستاد فرماندهی کشتی، آشیانه هلیکوپتر، درهای آشیانه هلیکوپتر و دودکش های کشتی از جمله سازه هایی هستند که می توان آنها را با استفاده از کامپوزیت ها تولید نمود.

نیروی دریایی آمریکا قصد دارد اتاق های روی عرشه کشتی گراسپ مدل ای آر اس ۵۱ را با استفاده از مواد کامپوزیتی تولید نماید. لازم به ذکر است که کشتی مذکور یک کشتی نجات است و به منظور بیرون کشیدن کشتی های مغروقه و نجات شناورهای در معرض خطر به کار می رود.

نیروی دریایی پادشاهی انگلستان نیز قصد دارد آشینه هلیکوپتر ها و ابرسازه های نسل آینده و مدل ۲۳ ناو محافظ فری گیت را از کامپوزیت ها تولید نماید. شرکت وسپر تورنی کرافت با استفاده از کامپوزیت های ساندویچی برای رزم ناوها و کشتی های گشت زنی، ابر سازه های کامپوزیتی تولید می کند. قرار است ابرسازه های مذکور جایگزین نمونه های فولادی خود شوند. عملکرد موفقیت آمیز ابرسازه های کامپوزیتی در نا محافظ لافایت و در دیگر کشتی های جنگی متوسط (با وزن ۱۰۰۰ الی ۶۰۰۰ تن) این امکان را به وجود آورده است که تمام یا بخشی از ابرسازه های ناو شکن ها و ناوهای هواپیمابَر نسل آینده نیز با استفاده از کامپوزیت ها تولید شوند.

دکل های کامپوزیتی

در دهه ۱۹۶۰ میلادی برای اولین بار دکل های ارتباطی ناوگان نیروی دریایی آمریکا به جای فولاد با استفاده از کامپوزیت ها تولید شدند. دکل های مذکور که ۲۵-۱۰ متر ارتفاع داشتند با استفاده از پلاستیک های تقویت شده با الیاف شیشه تولید گشتند و روی عرشه کشتی های رایت و سایپان نصب گردیدند. دکل های خرپایی سنتی که از جنس فولاد ساخته می شدند به علت برخورداری از یک ساختار مشبک و به دلیل داشتن بخش های پیش آمده، در سیستم رادار و مخابرات کشتی اختلالاتی ایجاد می نمودند. به علاوه دکل های فولادی، امواج رادار را منعکس می کنند و باعث می شوند کشتی توسط دشمن ردیابی گردد ضمناً اینگونه دکل ها در معرض خوردگی نیز قرار دارند.

در اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی بار دیگر برای تولید دکل های کشتی های جنگی از کامپوزیت ها استفاده شد. در همین زمان بود که محققانی نظیر آقای کریچفیلد ثابت کردند که دکل های کامپوزیتی می توانند بر بسیاری از چالش هایی که دکل های فولادی با آنها روبرو هستند، فائق آیند. به همین دلیل

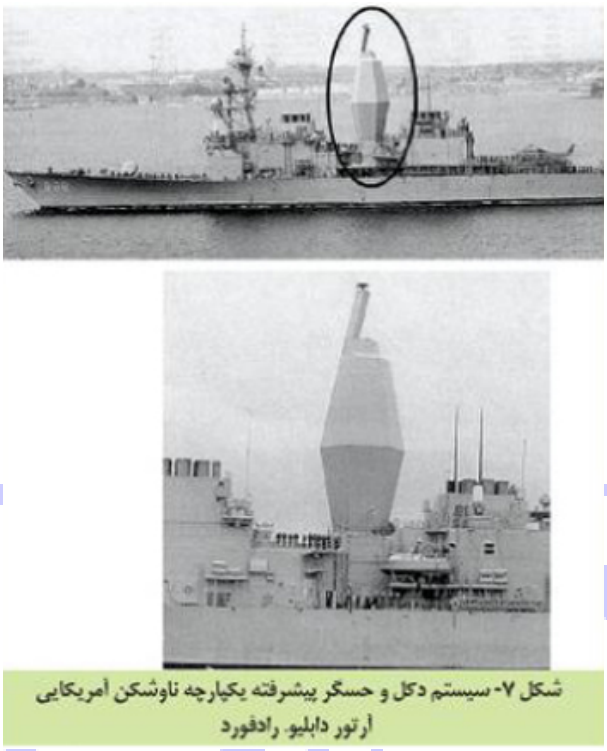
برای کشتی های جنگی در اندازه متوسط، دکل های خرپایی بلندی به طول ۱۱ متر تولید شد. در تولید دکل های مذکور از یک نوع کامپوزیت هیبریدی استفاده گردید که در آن الیاف شیشه نوع S2 و الیاف کربن به کار رفته بود. الیاف شیشه سبب می شد که عملکرد بالستیک (خواص ضد گلوله یا مقاومت در برابر ضربه سلاح های پرتابی) این دکل ها به حداکثر خود برسند و الیاف کربن نیز به آنها سفتی بالایی می بخشید. محققان مذکور به این نتیجه رسیدند که یک دکل کامپوزیتی از نمونه آلومینیومی خود که در اندازه مشابه تولید شده است، ۵۰-۲۰% سبک تر می باشد. به علاوه دکل های کامپوزیتی که برای کشتی های جنگی تولید شدند، در مقابل خستگی از خود مقاومت بالاتری نشان دادند، دچار خوردگی نگشتند و چون حسگرهای الکتریکی آنها کمتر دچار انسداد می شدند، نسبت به حسگرهای دکل فولادی از خود عملکرد بهتری نشان می دادند.

استانداردهای نیروی دریایی آمریکا در مورد مقاومت در برابر ارتعاش، مقاومت در برابر موج انفجار و مقاومت در برابر انفجار ناشی از اصابت مستقیم سلاح های پرتابه ای، در دکل های کامپوزیتی رعایت شده بود. با این وجود مطالعات امکان سنجی حاکی از آن بود که هزینه تولید دکل های کامپوزیتی ۵۰% بیشتر از هزینه تولید نمونه های آلیاژ آلومینیوم می باشد.

در سال ۱۹۹۵ میلادی، نیروی دریایی آمریکا برای تولید نسل آینده دکل های کشتی، پروژه دکل و حسگر پیشرفته یکپارچه را اجرا نمود. پروژه مذکور یک فناوری پیشرفته بود که نشان می داد می توان برای کشتی های جنگی بزرگ، دکل های کامپوزیتی ارزان قیمتی تولید نمود. ضمناً اجرای موفقیت آمیز این پروژه ثابت می کرد که دکل های کامپوزیتی قادر خواهند بود در برابر خوردگی مقاومت کنند، کارایی حسگرهای دکل را افزایش دهند و سطح مقطع راداری را کم کنند. لازم به ذکر است که سطح مقطع راداری، میزان قابل شناسایی بودن یک شیء توسط رادار را بیان می کند. هرچه این مقدار بیشتر باشد، شیء برای رادار قابل رویت تر است.

در اوایل سال ۱۹۹۷ میلادی، سیستم دکل و حسگر پیشرفته یکپارچه روی عرشه ناوشکن آمریکایی آرتور دابیلو. رادفورد (مدل اسپروانس) نصب گردید و دکل خرپایی اصلی پاشنه کشتی با آن جایگزین گردید. لازم به ذکر است که پاشنه کشتی، نزدیک و یا به سمت عقب کشتی قرار دارد. در شکل ۷ تصویر ناو شکن آمریکایی آرتور دابیلو. رادفورد و نمای نزدیکی(نزدیک ترین نمایی که دوربین، آن را ظبط می کند) از دکل کامپوزیتی آن نشان داده شده است.

در تصویر مذکور تفاوت در شکل دکل خرپایی فولادی که در جلوی کشتی نصب شده است و دکل کامپوزیتی که در پاشنه کشتی قرار گرفته نشان می دهد که چه قدر طراحی سیستم دکل و حسگر پیشرفته یکپارچه با طراحی دکل خرپایی سنتی فرق دارد.



شکل ۷- سیستم دکل و حسگر پیشرفته یکپارچه ناوشکن آمریکایی آرتور دابلیو. رادفورد

سیستم دکل و حسگر پیشرفته یکپارچه با داشتن ۲۸۰۰ سانتی متر ارتفاع و ۱۰۷۰ سانتی متر قطر، بزرگترین ابرسازه کامپوزیتی ناوگان نیروی دریایی آمریکا می باشد. در این سیستم، دکل با استفاده از یک کامپوزیت هیبریدی و به شکل یک شش وجهی ساخته شده است که می تواند امواج الکترومغناطیس با طول موج مشخصی را تابانده یا منعکس نماید. طراحی منحصر به فرد این سیستم سبب می گردد که امواج الکترومغناطیسی که توسط حسگرهای کشتی دریافت می شوند، با کمترین افت انرژی، توسط دکل کامپوزیتی جذب شوند و امواج الکترومغناطیسی با فرکانس هایی غیر از فرکانس مذکور منعکس گردند. به این ترتیب عملکرد آنتن ها و حسگرهای دیگر افزایش می یابد و سطح مقطع راداری کاهش پیدا می کند.

از دیگر مزایای این سیستم می توان به این مورد اشاره نمود که سازه دکل، تمام آنتن های اصلی و تجهیزات حساس الکترونیکی را در میان می گیرد و در برابر تغییرات آب و هوایی از آنها محافظت می نماید. به این ترتیب تجهیزات مذکور به تعمیر و نگهداری زیادی نیاز نخواهند داشت. عملکرد سیستم دکل و حسگر پیشرفته یکپارچه که بر روی ناوشکن آمریکایی آرتور دابیلو. رادفورد نصب شده است، کاملاً با استانداردهای نیروی دریایی این کشور مطابق است. عملکرد موفقیت آمیز سیستم مذکور باعث می گردد که نیروی دریایی آمریکا در نسل آینده شناورهای جنگی خود نیز از دکل های کامپوزیتی استفاده نماید. نیروی دریایی آمریکا قصد دارد در نسل آینده ناوشکن اس سی ۲۱، ناو هواپیمابر سی وی اکس، کشتی نظامی تدارکاتی ال ایج اکس، ناو آبی-خاکی سانت آنتونیو (مدل ال پی دی که وظیفه آن جا بجایی و پیاده کردن نیروی پیاده نظام و خودروهای نظامی است) و به جای دکل های پیشرفته کشتی های جنگی موجود از سیستم دکل و حسگر پیشرفته یکپارچه استفاده نماید.

در سال ۱۹۹۶ میلادی نیروی دریایی پادشاهی انگلستان و شرکت انگلیسی وسپر تورنی کرافت با استفاده از مواد کامپوزیتی، دکل های یکپارچه ای تولید نمودند. دکل های مذکور نیز نظیر سیستم دکل و حسگر پیشرفته یکپارچه، برای فائق آمدن بر چالش هایی که دکل های خرپایی فولادی با آنها روبرو بودند، طراحی شدند.

دکل یکپارچه یک سازه کامپوزیت ساندویچی است که با استفاده از مواد جاذب امواج رادار تولید شده است. دکل مذکور دارای آنتن های مخابراتی و آنتن های شنود است که داخل آنها حسگرهایی تعبیه شده است. رادارگریز کردن، مقاومت در برابر شرایط مختلف آب و هوایی و کاهش دادن تداخل امواج الکترومغناطیسی که توسط حسگرها دریافت می شوند، از مزایای دکل یکپارچه کامپوزیتی می باشند. به علاوه دکل های کامپوزیتی نسبت به نمونه های فولادی سنتی که در همین اندازه تولید می شدند، ۳۰-۱۰ % سبکتر می باشد.

قرار است برای رزم ناو رادارگریز سی راث و برای نسل آینده شناورهای سطحی و ناوهای هواپیمابر نیروی دریایی انگلستان که بعد از سال ۲۰۱۲ میلادی به آب انداخته خواهند شد، دکل های یکپارچه کامپوزیتی تولید گردد. ممکن است در برخی ناوهای گشت زنی، نظیر ناو محافظ هالیفاکس که سالهاست نیروی دریایی کانادا از آن استفاده می کند نیز دکل های کامپوزیتی نصب گردند.

شرکت ای عماد

منبع: موسسه کامپوزیت ایران
نشریه الکترونیکی کامپوزیت
سایت انجمن کامپوزیت ایران
نشریه الکترونیکی شماره – ۳۹۱ الی ۳۹۴
اردیبهشت ۱۳۹۳