

تولید واگن های ساخته شده از مواد کامپوزیتی پایه پلیمری و بررسی میزان اشتعال پذیری آنها

محور مقاله: نقش فناوری های نوین در ناوگان باری و مسافربری
فرخنده همتی^۱

چکیده:

در این مقاله، فرآیند تولید بدنه یک واگن با ساختار کامپوزیتی ساندویچی برای پانل ها و ساختار فولادی برای شاسی مورد بررسی قرار گرفته است. اگرچه کاربرد مواد کامپوزیتی به دلیل مزایایی چون کاهش وزن، افزایش میزان بار قابل حمل، افزایش سرعت و کاهش مصرف انرژی در صنایع ریلی افزایش یافته است ولی معایبی نظیر مقاومت در برابر آتش، این رشد را کاهش داده است. بنابراین، به دلیل این ضعف یا به عبارت دیگر مقاومت کم مواد آلی در برابر آتش، نتایج تست مقاومت در برابر اشتعال یک بدنه کامپوزیتی در مقیاس کوچک و بزرگ ارزیابی شده و با معیارهای مورد پذیرش استانداردهای جهانی مورد قیاس قرار گرفته است. بررسی های انجام شده نشان می سازد که پانل های کامپوزیتی، معمولاً مد نظر تست های انتشار شعله، سمیت و دانسیته دود را برآورده ساخته و از ایمنی کافی در برابر آتش برخوردارند.

واژه های کلیدی: کامپوزیت، پلیمر، اشتعال پذیری، فرآیند تولید، پانل داخلی

۱- مقدمه:

کاهش وزن ساختاری بدنه واگن که جزئی بزرگ از قطار است اثرات هم افزایی^۲ برای بقیه قسمت ها عتبار به همراه دارد. به عنوان مثال، کاهش وزن بدنه منجر به کاهش بار وارده به سیستم محرکه، تعلیق، ترمزها و بقیه سیستم های متعلقه شده و علاوه بر این سبب استهلاک کمتر ریل ها، چرخ ها و یاتاقان ها نیز خواهد گردید که به نوبه خود هزینه نگهداری کمتری را دربرخواهد داشت. به دلیل خواص مکانیکی برجسته مواد کامپوزیتی نسبت به مواد رایج مانند فلزات، این مواد کاربردهای وسیعی در طراحی ها یافته اند. به عنوان مثال، در صنعت هوافضا، بدنه وسیله معمولاً از موادی با استحکام و مدول

^۱ - کارشناس کنترل کیفیت شرکت صنایع ریلی ایران خودرو

آدرس: زنجان - ابهر - کوچه امامی - بن بست فتحی - پلاک ۱۰۲، تلفن: ۰۲۴۲-۵۲۷۱۷۷۸ Farkhondeh.Hemati@gmail.com

^۲ - Synergy effects

بالا نسبت به وزن ساخته می‌شوند. مواد کامپوزیتی ماتریس پلیمری به خوبی این مشخصات را برآورده می‌سازند. به علاوه، مواد کامپوزیتی از پتانسیل قابل ملاحظه‌ای برای کاربرد در زمینه ریلی برخوردارند. از آن جمله، اینکه این مواد کم وزن و بادوام بوده و به آسانی قابلیت قالب‌گیری در اشکال پیچیده‌تری را دارند. کامپوزیت‌ها معمولاً در کابین‌ها و اجزای داخلی مثل صندلیها و پانل‌ها به کار گرفته می‌شوند. در همه این موارد، کامپوزیت‌ها اساساً ولدی ویژه هستند زیرا می‌توانند اجزایی سبک و بهینه از لحاظ هزینه را در اشکال نسبتاً پیچیده شکل دهند. اخیراً، کامپوزیت‌ها در طراحی بدنه سبک قطارها به کار گرفته می‌شوند زیرا وسایل نقلیه سبک‌تر منجر به افزایش ظرفیت می‌گردند. این افزایش ظرفیت یا از طریق افزایش بار قابل حمل و یا از طریق کاهش اثر زیان‌آور سرویس‌ها بر روی زیرساخت‌های موجود در راه آهن به وجود خواهد آمد. [۱-۳]

به هر حال، علیرغم این برتری‌ها، سرعت رشد مواد کامپوزیتی ماتریس پلیمری در کاربردهای مهندسی در حمل و نقل و زیرساخت‌ها به دلیل مقاومت اندک ماتریسشان در برابر آتش‌سوزی کاهش یافته و این امر فاکتور اصلی بازدارنده بوده است. حوادثی نظیر حادثه آتش‌سوزی قطار Daegu در ۳۰۰ کیلومتری سئول در کره جنوبی در سال ۲۰۰۳ که منجر به کشته شدن ۱۹۲ و زخمی شدن ۱۲۷ نفر گردید سبب شده است تا شرایط مورد نیاز ایمنی تعریف شده برای همه کاربری‌های مواد کامپوزیتی در صنایع ریلی سختگیرانه‌تر از قبل گردد. [۴-۵]

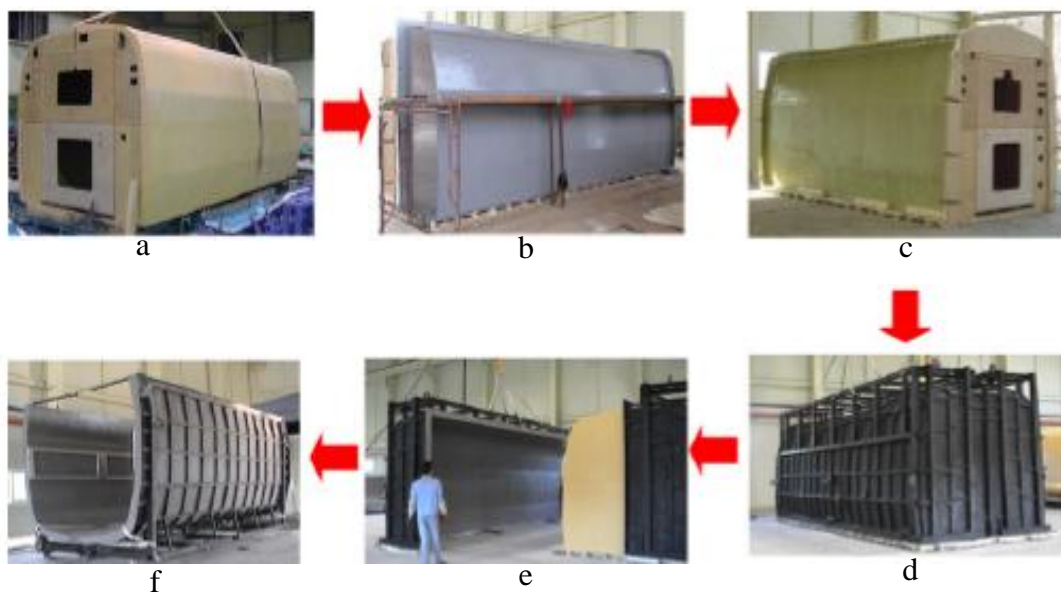
بنابراین، در این مقاله ابتدا فرآیند تولید بدنه کامپوزیتی یک قطار خم‌شود که با استفاده از یک اتوکلاو ویژه ساخته می‌شود، مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس، نتایج تست‌های آتش‌سوزی یک قطار کامپوزیتی در مقیاس کوچک و بزرگ که توسط Kim و همکارانش [۶] گزارش شده است با شرایط استاندارد BS6853 مورد مقایسه قرار خواهند گرفت. در این راستا، مقادیر گزارش شده همانند انتشار شعله، سم جگالیه‌ت‌وو برای واگنی با پانل‌های داخلی کامپوزیتی ماتریس پلیمری ذکر خواهند شد.

۲- فرآیند تولید واگنی با بدنه کامپوزیتی ساندویچی ماتریس پلیمری:

فرآیند تولید واگن کامپوزیتی با استفاده از یک اتوکلاو ویژه بزرگ و از طریق فرآیند کیه‌خلا و لایه‌گذاری دستی صورت می‌پذیرد. این اتوکلاو قابلیت کلرکرد در محدوده دمایی اتاق تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد و حداکثر فشار ۷ bar را داراست. دما و فشار به صورت اتوماتیک کنترل می‌گردند. علت انتخاب اتوکلاو برلی سیستم پخت کامپوزیت، شکل پیچیده بدنه، جابجایی آسان آن و تولیدش به صورت یک جزء یکپارچه است. فرآیند تولید بدنه کامپوزیتی شامل ۵ مرحله است.

۲-۱- مرحله اول (فرآیند تولید قالب):

در راستای تولید یک بدنه کامپوزیتی ساندویچی بزرگ، در مرحله اول نیاز به یک قالب وجود خواهد داشت. یک قالب چوبی و یک قالب کامپوزیتی برای ساخت بدنه مورد استفاده قرار می‌گیرند. قالب چوبی از سه قطعه بزرگ مجزا تشکیل شده است. از این قالب به عنوان فرم اصلی برای ساخت قالب کامپوزیتی بهره گرفته می‌شود. قالب کامپوزیتی بعد از اعمال ژل کوت (gel coat) از طریق فرآیند لایه‌گذاری دستی بر روی این قالب چوبی تولید می‌گردد. این قالب کامپوزیتی از ورق‌های پیش‌آغشته اپوکسی/شیشه ساخته می‌شود. بعد از لایه‌گذاری دستی، قالب کامپوزیتی در دمای محیط برای ۵ روز پخت شده و سپس پخت آن در دمای ۸۰°C برای ۴ ساعت تکمیل می‌گردد. اسکلت فولادی تقویت‌کننده نیز در دوره خارجی قالب نصب می‌گردد. شکل ۱ فرآیند تولید این قالب کامپوزیتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- فرآیند تولید قالب کامپوزیتی: (a) قالب چوبی، (b) اعمال ژل کوت روی قالب چوبی، (c) لایه گذاری دستی مواد قالب کامپوزیتی، (d) تقویت قالب با استفاده از اسکلت فولادی، (e) جدانمودن قالب پس از پخت نهایی، (f) قالب پلاستیک تقویت شده با الیاف (FRP) [۷]

۲-۲- مرحله دوم (لایه گذاری و پخت پوسته خارجی) :

زمانی که ساخت قالب کامپوزیتی به پایان رسد فرآیند لایه گذاری پوسته خارجی بر روی سطح داخلی قالب آغاز می گردد. این پوسته از ورق های پیش آغشته اپوکسی/ پارچه الیاف کربن ساخته می شود. بعد از لایه گذاری، این قسمت درون کیسه خلاء قرار گرفته و تحت فشار قرار داده می شود. سپس برای پخت وارد اتوکلاو می گردد. شکل ۲ فرایندهای لایه گذاری و پخت پوسته خارجی را نشان می دهد.

۳-۲- مرحله سوم (جایگذاری هسته لانه زنبوری آلومینیومی و ساختار تقویت کننده داخلی بر روی پوسته خارجی) :

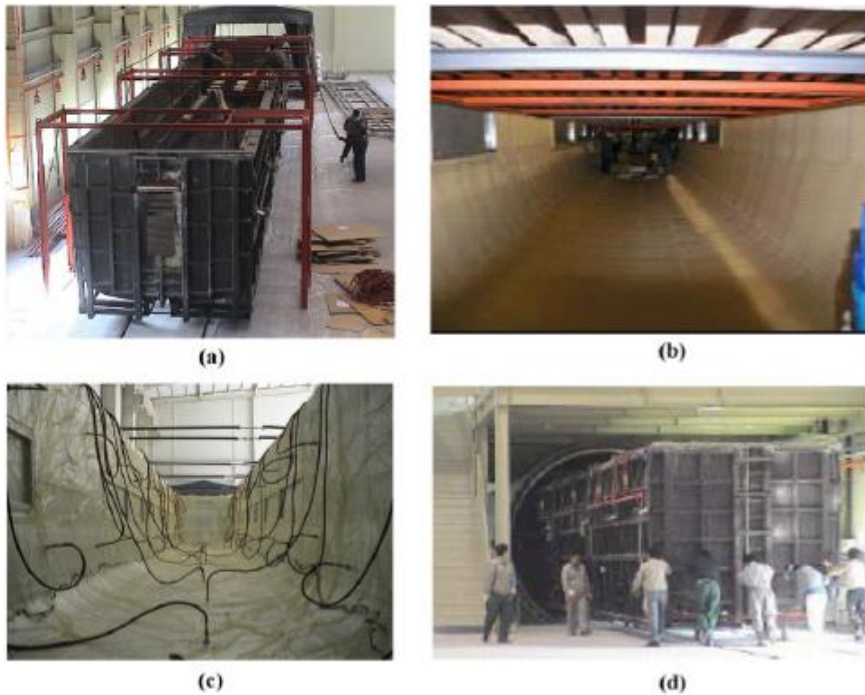
بعد از پخت پوسته خارجی، هسته لانه زنبوری آلومینیومی و اسکلت تقویت کننده داخلی بر روی سطح آن قرار داده میشود. جهت افزایش استحکام فصل مشترک این دو لایه، از یک چسب مخصوص برای اتصال این هسته به پوسته خارجی بهره گرفته می شود. شکل ۳ فرآیند نصب اسکلت داخلی و هسته های هانی کامب را بر روی پوسته پخت شده خارجی نشان می دهد.

۴-۲- مرحله چهارم (لایه گذاری پوسته داخلی) :

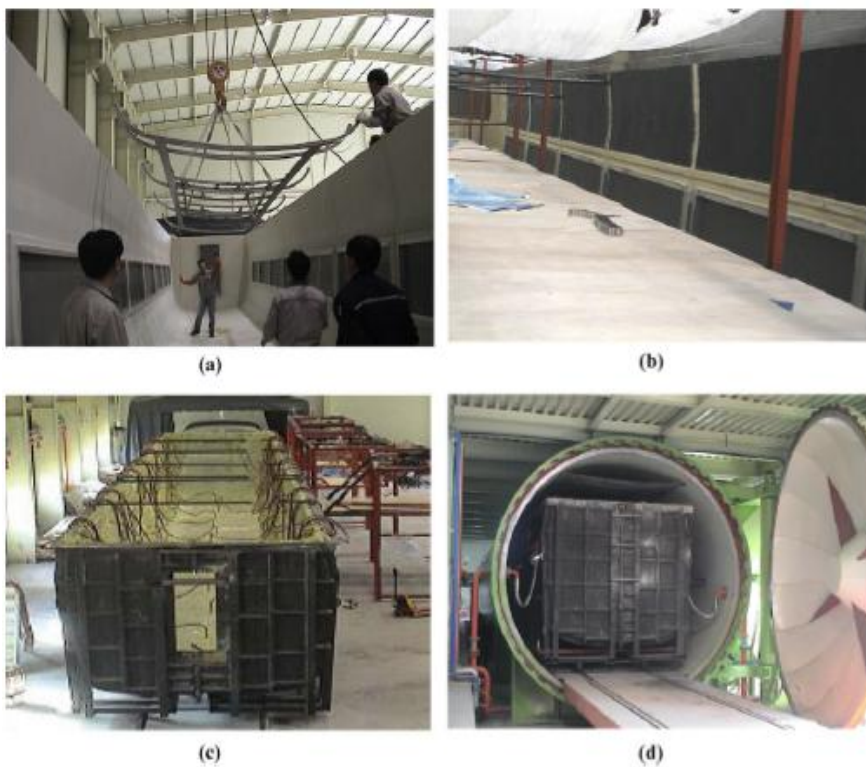
بعد از قرار گرفتن هسته لانه زنبوری آلومینیومی و اسکلت داخلی، چسب مخصوص مرحله قبل را بر روی هسته ها اعمال کرده و پوسته داخلی را لایه گذاری می نمایند.

۵-۲- مرحله پنجم (پخت در اتوکلاو و باز کردن قالب) :

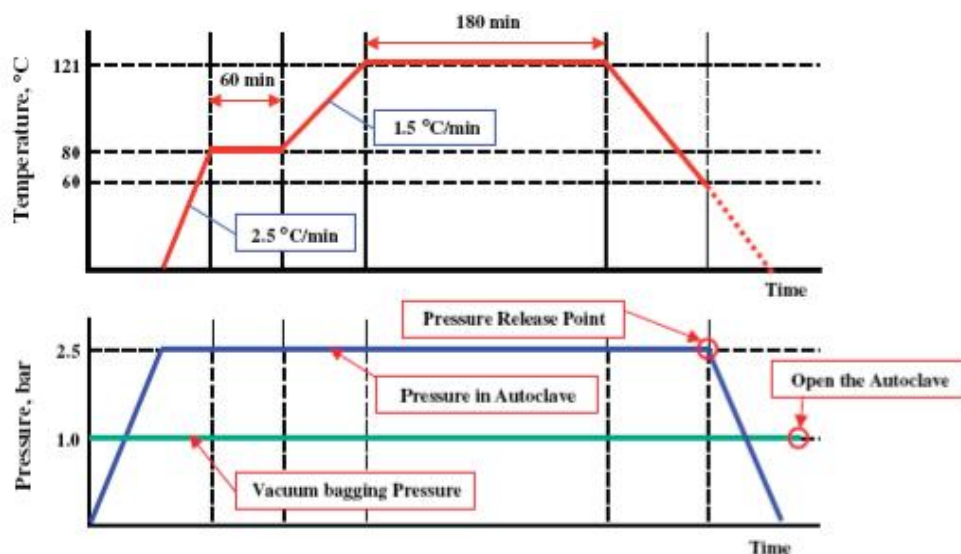
زمانی که همه مراحل لایه گذاری به اتمام رسید، کیسه خلاء را به وجود آورده و کل ساختار را وارد اتوکلاو نموده و طبق شکل ۴ مراحل پخت را در طی دو مرحله در دو دمای مختلف و فشار ثابت انجام می دهند. بعد از اتمام فرآیند پخت، ساختار بدنه از درون قالب خارج می گردد. سپس، این بدنه کامپوزیتی بر روی شاسی فولادی مونتاژ می گردد. از پرچ ها و چسب های ویژه برای این امر بهره گرفته می شود. [۷]



شکل ۲- فرآیندهای لایه گذاری و پخت پوسته خارجی : (a) نصب نگهدارنده های صفحات لایه گذاری شده در قالب FRP ، (b) لایه گذاری دستی پیش آغشته های اپوکسی / کربن ، (c) ایجاد کیسه و اعمال خلاء ، (d) پخت پوسته خارجی در اتوکلاو [۷]



شکل ۳- فرآیند نصب اسکلت داخلی و هسته های هانی کامپ بر روی پوسته خارجی پخت شده : (a) نصب اسکلت داخلی ، (b) جایگذاری هسته های لانه زنبوری ، (c) ایجاد کیسه و اعمال خلاء ، (d) پخت تکمیلی در اتوکلاو [۷]



شکل ۴ - سیکل پخت بدنه کامپوزیتی [۷]

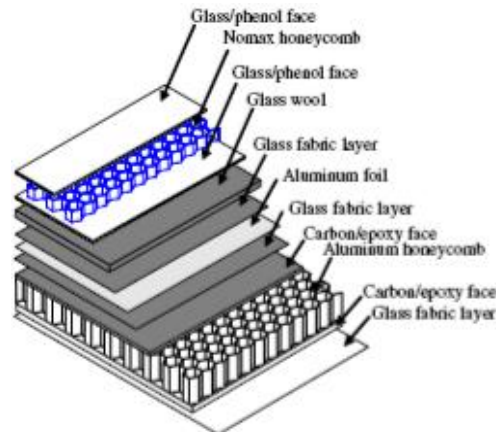
۳- تست مقاومت در برابر آتش واگن کامپوزیتی :

کشورهای مختلف استانداردهای اشتعال پذیری مخصوص خود را در صنایع ردیابی، جدول ۱ استاندارد های ملی ۴ کشور انگلستان، فرانسه، آلمان و آمریکا در بخش‌هایی در برابر آتش سوزی را به همراه جزئیاتشان و معیارهای پذیرششان نشان می‌دهد.

جدول ۱- استانداردهای ملی در زمینه ایمنی در برابر آتش سوزی

کشور	انتشار شعله	سمیت دود	ایجاد دود
انگلستان	BS6853	B-پیوست BS6853	D-پیوست BS6853
فرانسه	NF F16 101	NF F16 101 6.3	NF F16 101 6.2
آلمان	DIN 53438	-----	-----
آمریکا	ASTM E162	SMP 800C	ASTM E662

در این مطالعه، شرایط پذیرش استاندارد BS 6853 UK برای تعیین عملکرد واگن کامپوزیتی در برابر آتش مورد بررسی قرار گرفته است. در تست های آتش سوزی انجام شده توسط گروه Kim و همکارانش، برای افزایش مقاومت در برابر آتش واگن مواردی در تولید پانل کامپوزیتی در نظر گرفته شده است. پانل های داخلی از یک ساختار ساندویچی از ورق های فنول/الیاف شیشه و هسته لانه زنبوری تشکیل شده اند. پوسته این پانل ها یک ساختار ساندویچی از ورق های اپوکسی/پارچه کربن بافته شده، می باشد. الیاف کربن به دلیل استحکام و مدول یانگ بالا انتخاب شده تلخیر دهنده شعله نیز جهت بهبود عملکرد در برابر آتش به رزین اپوکسی اضافه شده است. همچنین، از یک لایه پارچه الیاف شیشه در خارجی ترین لایه بهره گرفته شده است. برای افزایش مقاومت در برابر اشتعال و ایجاد یک لایه سد مانند در برابر اکسیژن و گازهای فرار ناشی از آتش سوزی یک لایه فویل آلومینیومی نیز بین پوسته و قطعات قرار گرفته شده است. ساختار این پانل را می توان به صورت شماتیک در شکل ۵ مشاهده نمود. علاوه بر این موارد، همه قسمت های داخلی مثل پانل ها، صندلیها، کف و پرده نیز می بایست مقررات ایمنی در برابر آتش سوزی را برآورده سازد.



شکل ۵- برشی از پانل کامپوزیتی ساندویچی تیلتینگ به کار گرفته شده در تست آتش سوزی [۶]

طبق استاندارد BS 6853 بخش انتشار شعله، طول انتشار شعله بعد از گذشت ۱/۵ دقیقه و پایان آزمایش می بایست کمتر از ۱۶۵ میلی متر باشد تا ماده موردنظر از نظر این استاندارد قابل پذیرش باشد. برای پانل های ذکر شده طول نهایی انتشار شعله برای همه نمونه ها ۴۰ میلیمتر بوده است که نشان می دهد این پانل ها از نظر این معیار قابل قبول هستند. معیار دوم پذیرش در این استاندارد، سمیت گازهای حاصل از انتشار بوده که در زیربند B4-2 ذکر شده است. در این زیربند شاخصی به نام شاخص مجموع وزن R_{max} تعریف شده است که مقدار آن م بایستی زیر ۳۶ باشد. برای محاسبه این شاخص، این پانل ها تحت شرایط خاص تحت تخریب حرارتی قرار گرفته و گازهای انتشار یافته حاصل از سوختن مورد اندازه گیری کمی قرار گرفته اند. در این آزمایش گزارش شده است که انواع گاز مختلف تولید شده که دی اکسید کربن بیشترین حجم را دارا بوده و مقدار شاخص R_{max} ۱/۲۶ بدست آمده است. جدول ۲ گازهای حاصل از انتشار این نمونه ها را نشان می دهد.

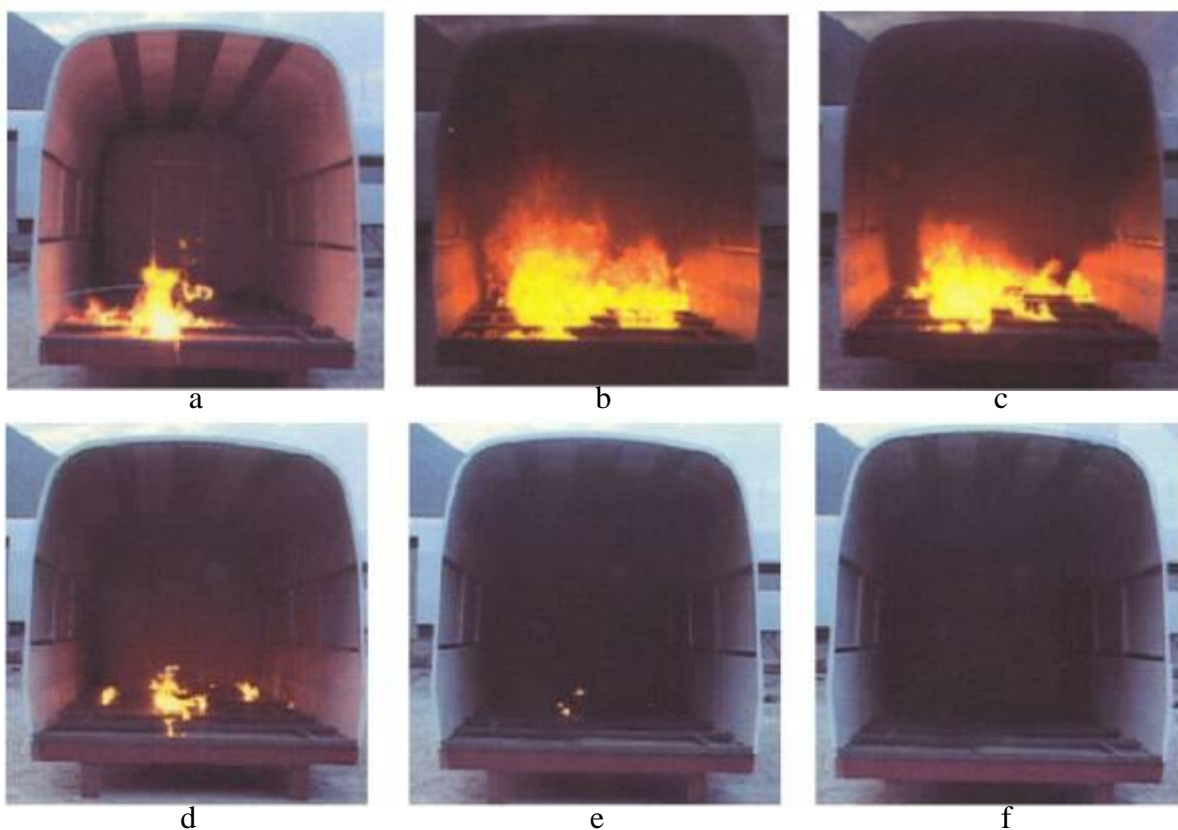
جدول ۲- گازهای منتشر شده در حین اندازه گیری سمیت دود [۶]

مقدار متوسط (g/m^2)	گاز
۵۰/۵	مونو اکسید کربن
۲۷۵۳/۸	دی اکسید کربن
۰/۳۳	دی اکسید گوگرد
۰/۹۴	کلرید هیدروژن
۰	برمید هیدروژن
۰	فلورید هیدروژن
۰/۸	سیانید هیدروژن
۵/۶۱	اکسیدهای نیتروژن

معیار سوم پذیرش استاندارد BS 6853، دانسیته دود می باشد که مطابق پیوست D این استاندارد صورت م پذیرد که دو شاخص A_0 (On) و A_0 (Off) آن باید به ترتیب کمتر از ۱۴/۴۹ و ۱۴/۴۹ باشد. مقادیر گزارش شده این دو شاخص برای دو آزمایش در حدود ۱/۶ بوده است.

با توجه به نتایج گزارش شده، در تست های مقیاس آزمایشگاهی این پانل ها کامپوزیتی معیارهای پذیرش جهانی را برآورده می سازند. اگرچه، نتایج تست در نمونه ها مقیاس کوچک شرایط لازم ایمنی را برآورده م بسازند ولی تغییرات

بسیار ناچیز در ترکیب یا ضخامت پانل ها ممکن است اساساً عملکرد آنها را در برابر آتش تحت تاثیر قرار دهند. بنابراین، برای تأیید این پانل ها در برابر آتش سوزی، تست هایی در مقیاس بزرگ مورد نیاز می باشند. Kim و همکارانش تست آتش سوزی مقیاس بزرگ را برای دو حالت بدنه کامپوزیتی با و بدون قطعات داخلی انجام داده اند. در تست اول، به عبارتی واگن بدون قطعات داخلی، ۴ تلیتینر روی کف ریخته شده و پس از اشتعال دما بر روی سطح و داخل پانل ها در موقعیت های مختلف با گذشت زمان اندازه گیری و ثبت شده است. در تست دوم یا به عبارتی بدنه تجهیز شده با قطعات داخلی نیز از مقدار مشابهی تینر بهره گرفته شده است. در این مورد ۴ جفت صندلی با پوشش پشم/پلی استر و فوم پلی یورتان در داخل واگن قرار گرفته اند. زیرا صندلیها نقش کلیدی در رفتار آتش سوزی واگن در یک حادثه واقعی فایمی کنند. شکل های ۶ و ۷ تصاویر آتش سوزی واگنها و جدول ۳ نتایج تستها را نشان می دهد.



شکل ۶- تست آتش سوزی در مقیاس بزرگ بدنه کامپوزیتی بدون قطعات داخلی: (a) شروع، (b) پس از ۱۰ ثانیه، (c) پس از ۲۰ ثانیه، (d) پس از ۴۰ ثانیه، (e) پس از ۶۰ ثانیه، (f) پس از ۱۲۰ ثانیه [۶]



شکل ۷- تست آتش سوزی در مقیاس بزرگ بدنه کامپوزیتی به همراه قطعات داخلی: (a) شروع، (b) پس از ۲۰ ثانیه، (c) پس از ۳۰ ثانیه، (d) پس از ۴۰ ثانیه، (e) پس از ۵۰ ثانیه، (f) پس از ۲۹۰ ثانیه [۶]

جدول ۳- نتایج تست آتش سوزی مقیاس بزرگ [۶]

نوع تست	منبع آتش	رفتار آتش سوزی		حداکثر دما (°C)		دمای اشتعال (°C)	
		رفتار	زمان تا خاموش شدن آتش	سطح واگن	فضای داخل واگن	بدنه	قطعات داخلی
بدنه واگن بدون قطعات داخلی	۴ لیتر تینر	به طور طبیعی خاموش می گردد	۹۰ ثانیه	۱۵۶/۳	۶۰۱/۴	>۴۵۰	----
بدنه واگن به همراه قطعات داخلی	۴ لیتر تینر	به طور طبیعی خاموش می گردد	۲۹۰ ثانیه	۳۰۷/۲	۷۸۰/۸	----	>۵۷۰

همانطور که از جدول ۳ مشاهده می گردد، ماکزیمم دمای سطح در هیچ زمانی بیشتر از دمای اشتعال بدنه و قطعات داخلی نبوده است. بنابراین، طبیعتاً پس از اشتعال، آتش به طور طبیعی خاموش می شود. اگر دمای سطح بیشتر از دمای اشتعال باشد، انتشار آتش وسیع شده و خسارات شدیدی صورت می گیرد. همانطور که از تصاویر شکل ۸ نمایان است خسارات وارده به واگن اندک بوده که از آن موارد می توان به رنگ سوخته سقف اشاره نمود.



شکل ۸- (a) داخل بدنه مورد آزمایش، (b) رنگ پوسته شده سقف بعد از خاموش شدن آتش [۶]

۴- نتیجه گیری:

در این مطالعه، فرآیند تولید بدنه کامپوزیتی با استفاده از یک اتوکلاو بزرگ مورد بررسی قرار گرفت. در این فرآیند، تکمیل پخت در طی دو مرحله صورت می پذیرد. با وجود اصلاحات انجام شده در پانل های کامپوزیتی به کار گرفته شده، مقاومت در برابر آتش سوزی بگونه های کامپوزیتی افزایش یافته و نتایج بررسی شده نمایان می سازد که مقررات ایمنی در برابر آتش همانند انتشار شعله، سمیت و دانسیته دود برآورده می گردد. علاوه برآن، تست آتش سوزی در مقیاس بزرگ نشان می دهد که ماکزیمم دمای سطح داخل بدنه از دمایی کمتر بوده است. بنابراین، بدنه های کامپوزیتی ساندویچی علاوه بر برتریهایشان نسبت به بدنه های فلزی نظیر شکل دهی آسان قطعات پیچیده و وزن کم، شرایط پذیرش در برابر آتش را نیز می توانند برآورده سازند.

5- References:

- [1] Wennage P., Structural-acoustic optimization of sandwich panels, 2001, Report 2001-05
- [2] Kim J.S., Jeong J.C., Natural frequency evaluation of a composite train carbody, Composite science and technology, 66, 2006, 2272-2283
- [3] Plaiasu A.G., The composite material a way to replace traditional materials, The annals of Dunarea Dejos university of Galati, Technologies in machine building, ISSN 1221-4566, 2008
- [4] George M., Fire-safe composites for mass transit vehicles, Reinforced plastics, 2002, 26-30
- [5] www.intlrailsafety.com
- [6] Kim J., Jeong J., Cho S., Seo S., Fire resistance evaluation of a train carbody made of composite material by large scale tests, Composite structures, 83, 2008, 295-303
- [7] Kim J., Lee S., Shin K., Manufacturing and structural safety evaluation of a composite train carbody, Composite structures, 78, 2007, 468-476