J. Energy Conversion
Volume: 11, Issue 4, 2025, 65-85

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)

دوره ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص: ۸۵-۶۵

ساخت، مدل‌سازی و تحلیل سیالاتی ساندویچ‌پانل کامپوزیتی با هسته‌ی مشبک برای استفاده در ساخت مخازن حامل سوخت

محمد نصرت بخش[۱]، سروش مداح [۲و*] ، یاسر رستمیان [۳]

۱- دکتری، گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران Nosratbakhshmohammad@gmail.com
*۲- استادیار، گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران S.Maddah@iausari.ac.ir
۳- دانشیار، گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران Yasser.Rostamiyan@iausari.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۹/۱۴، بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۸

چکیده

در مقاله حاضر به تحلیل سیالاتی ساندویچ پانل کامپوزیتی با هسته‌ی مشبک برای استفاده در ساخت مخازن کامپوزیتی حامل سوخت پرداخته می شود. مخازن حامل سوخت عموماً از مواد غیرکامپوزیتی و سازه‌های یکپارچه ساخته می شود که وزن و هزینه تمام شده بالایی دارد. با این‌حال، تحقیق حاضر مخازن کامپوزیتی با ساختار ساندویچی را مورد تحلیل قرار می‌دهد. بدین منظور، ابتدا یک ساندویچ پانل کامپوزیتی تقویت شده با الیاف کولار و رزین اپوکسی با استفاده از روش قالب انتقال رزین به کمک خلأ ساخته می شود و فوم پلی‌یورتان به آن تزریق می‌گردد. سپس انواع تحلیل‌های سیالاتی در سه قسمت ارائه می‌گردند. در قسمت اول، در آزمایشگاه، مخزن تحت آزمون فشار هیدرواستایکی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مخزن می‌تواند فشار داخلی تا حدود ۱۶۰ بار را تحمل کند. در قسمت دوم، به شبیه سازی سیالاتی رفتار فوم پلی‌یورتان و تأثیر آن روی ساندویچ پانل پرداخته شد. بدین منظور فرآیند تغییر فاز فوم از حالت مایع با دمای بالا به حالت جامد با دمای پایین در نرم افزار انسیس شبیه‌سازی گردید و پارامترهایی هم‌چون کسرحجمی فوم، تغییرات دمای فوم، و فشار وارده از سمت فوم به دیواره‌های ساندویچ پانل گزارش شدند. در قسمت سوم، به کمک نرم افزار آباکوس، به تحلیل حرارتی مخزن ساندویچی تحت فشار که در یک محیط با گرادیان دمایی قرار دارد پرداخته می شود و اثر فشار داخلی و بیرونی به همراه اثر اختلاف دمای بیرونی روی بدنه سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد. درنهایت، نتایج تحلیل‌های انجام شده روی مخازن ساخته شده در این تحقیق نشان می‌دهد که مخازن کامپوزیتی با ساختار ساندویچی علاوه بر وزن کم و استحکام بالا، هزینه ساخت پایین‌تری نسبت به مخازن غیرکامپوزیتی دارد و درنتیجه برای ساخت مخازن حامل سوخت پیشنهاد می‌گردد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** سروش مداح S.Maddah@gmail.com

کلمات کلیدی: ساندویچ پانل، آزمون هیدرواستاتیک، تحلیل سیالاتی، تحلیل حرارتی، روش المان محدود

نحوه استناد به این مقاله محمد نصرت بخش، سروش مداح، یاسر رستمیان. ساخت، مدل‌سازی و تحلیل سیالاتی ساندویچ پانل کامپوزیتی با هسته‌ی مشبک برای استفاده در ساخت مخازن حامل سوخت. **تبدیل انرژی. ۱۴۰۳؛ ۱۱ (۴) : ۸۵-۶۵.**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

۱- مقدمه

تحلیل سیالاتی مخازن تحت فشار حامل سوخت از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. این تحلیل‌ها به افزایش ایمنی این مخازن کمک می‌کند، زیرا اغلب آن‌ها حاوی مواد قابل اشتعال هستند و طراحی ایمن آن‌ها بسیار ضروری است. هم‌چنین، این تحلیل‌ها به شناسایی نقاط ضعف و قوت سیستم کمک کرده و امکان بهبود طراحی و افزایش کارایی مخازن را فراهم می‌سازند. علاوه بر این، شبیه‌سازی خواص سیال درون مخازن، امکان پیش‌بینی رفتار آن‌ها در شرایط مختلف را فراهم کرده و به برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری برای یک طراحی بهینه کمک می‌کند. هم‌چنین این تحلیل‌ها می‌توانند در ارزیابی و بهبود کنترل فرآیندهای مربوط به این مخازن و برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری آن‌ها به‌کار روند. در مجموع، تحلیل سیالاتی مخازن تحت فشار حامل سوخت موجب افزایش ایمنی، کارایی و اطمینان‌پذیری این سیستم‌ها می‌شود.

مطالعات زیادی در زمینه تحلیل سیالاتی مخازن فلزی تحت فشار انجام شده‌است. به‌عنوان مثال، مویا و همکاران [۱] یک تحقیق جامع در مورد طراحی و ارزیابی مخازن آلومینیومی تحت فشار مونوبلوک با استفاده از طراحی به‌کمک کامپیوتر و نرم افزار مهندسی به‌کمک کامپیوتر ارائه کردند. ارسلان و همکاران [۲] به تحلیل سیالاتی مخازن تحت فشار کروی فولادی/آلومینیمی تحت بارگذاری حرارتی پرداختند. آن‌ها دریافتند که مخازن از جنس مواد مدرج تابعی که ترکیبی از فولاد و آلومینیوم است استحکام بیش‌تر و وزن کم‌تری نسبت به مخازت آلومینیومی و فولادی دارند. ابرمن و همکاران [۳] یک رویکرد تحلیلی و عددی برای تعیین ضرایب نفوذ موثر برای مخازن تحت فشار کامپوزیتی ارائه کردند. از آنجایی که نشتی مخازن کامپوزیتی توسط ترک‌ها به شدت کاهش می‌یابد، آن‌ها بیشتر اثر ترک‌های بین الیاف را از طریق یک روش همگن‌سازی مرتبه دوم اضافه کردند و دریافتند که این روش موثرتر از روش های قبلی است. دقیقی و ویور [۴] اثرات سه‌بعدی مؤثر بر خرابی در مخازن تحت فشار کامپوزیتی بدون خمش و سختی متغیر را ارزیابی کردند. سپس مطالعات پارامتریک برای ارائه بینش فیزیکی و هم‌چنین برای ارزیابی اثر خواص مواد مختلف بر تفاوت در پیش‌بینی بار شکست که توسط این معیارها یافت می‌شود، انجام دادند. ون و همکاران [۵] به ارزیابی عملکرد حرارتی و مکانیکی یک مخزن داغ در یک سیستم ذخیره حرارت نمک مذاب دو مخزنی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که سفتی کم‌تر بستر الاستیک، محدوده تنش کلی را کاهش می‌دهد که این به نوبه خود خستگی حرارتی را کاهش می‌دهد، اما سفتی دیواره حلقه و پرکننده‌های بسترالاستیک مخزن باید به‌ترتیب بالای ۳۰ مگاپاسکال بر متر و ۵ مگاپاسکال بر متر برای نشست ایمن و حالت تنش باشد.

استفاده از سازه‌های ساندویچ پانل در ساخت مخازن حامل سیال دارای مزایای متعددی است. یکی از مهم‌ترین این مزایا وزن کم این سازه‌ها در مقایسه با سایر مواد مانند فلزات و سرامیک‌هاست. این امر موجب کاهش بار وزنی وارده بر سازه و در نتیجه افزایش سهولت ساخت و نگه‌داری می‌شود. هم‌چنین، مواد به‌کار رفته در ساندویچ پانل‌ها دارای مقاومت مکانیکی بالایی هستند که امکان ساخت مخازن با دیواره‌های نازک‌تر و در نتیجه گنجایش بیش‌تر را فراهم می‌آورد. علاوه براین، هسته عایق درون ساندویچ پانل‌ها امکان عایق‌بندی حرارتی و صوتی مناسب را برای مخازن حامل سیالات فراهم می‌کند. این امر کارایی سیستم را افزایش می‌دهد. ساندویچ پانل‌ها هم‌چنین می‌توانند در برابر رطوبت، خوردگی، امواج فرابنفش و سایر شرایط نامساعد محیطی مقاوم باشند و بنابراین مناسب برای استفاده در ساخت مخازن در محیط‌های صنعتی هستند. علاوه براین، با توجه به وزن کم و قابلیت اتصال سریع به یکدیگر، نصب و نگه‌داری آن‌ها نیز آسان‌تر است.

یکی از مهم‌ترین مزایای سازه‌های کامپوزیتی و ساندویچ پانل‌ها هزینه پایین ساخت آن‌ها می‌باشد. درواقع، هزینه ساخت سازه‌های کامپوزیتی و ساندویچ پانلی معمولاً به‌دلیل ویژگی‌های خاص این مواد و فرآیندهای تولید آن‌ها پایین‌تر است. اولاً، وزن کم کامپوزیت‌ها به کاهش نیاز به زیرساخت‌های سنگین و پرهزینه منجر می‌شود، که این موضوع به خودی خود هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. هم‌چنین، روش‌های تولید مدرن مانند قالب‌گیری و تولید انبوه، امکان ساخت سریع و کارآمد این سازه‌ها را فراهم می‌کنند، که زمان و هزینه‌های نیروی کار را کاهش می‌دهد. علاوه براین، سازه‌های ساندویچ پانلی به دلیل طراحی خاص خود، می‌توانند سریع‌تر نصب و راه‌اندازی شوند، که این امر به کاهش هزینه‌های کلی پروژه کمک می‌کند. از سوی دیگر، این مواد معمولاً عمر طولانی‌تری دارند و نیاز به نگه‌داری کم‌تری دارند؛ این ویژگی‌ها به‌همراه مقاومت بالای آن‌ها در برابر خوردگی و

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

عوامل محیطی، می‌تواند هزینه‌های تعمیر و نگهداری را کاهش دهد. به‌طور کلی، این عوامل باعث می‌شوند که سازه‌های کامپوزیتی و ساندویچ پانلی گزینه‌ای اقتصادی و به صرفه برای بسیاری از کاربردها باشند. بنابراین تحلیل‌های حرارتی و سیالاتی زیادی در زمینه ساندویچ پانل‌ها صورت گرفته است. به عنوان مثال، وانگ و همکاران [۶] رسانایی گرمایی مؤثر و خواص حرارتی یک سری از ساندویچ پانل‌های هسته مشبک سبک وزن را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که ساندویچ پانل مشبک همیشه چگالی نسبی کم و راندمان عایق بالایی را ارائه می‌دهد. پراب‌هاکاران و همکاران [۷] به مطالعه تجربی بر روی تحلیل‌های حرارتی و مورفولوژیکی ساندویچ پانل‌های کامپوزیتی ساخته شده از کتان و چوب پنبه پرداختند. آن‌ها آزمایش‌هایی برای پیش‌بینی خواص حرارتی، یعنی هدایت حرارتی، انبساط حرارتی، اشتعال‌پذیری و پایداری حرارتی سازه انجام دادند. وادار و همکاران [۸] تأثیر بارگذاری حرارتی بر ساندویچی‌پانل کامپوزیتی ترکیبی پر از فوم را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که دمای بحرانی کمانش با پرکننده فوم افزایش می‌یابد و عملیات سطحی رفتار کمانش را تا حدی افزایش می‌دهد. لاوبی و ابود [۹] به تجزیه و تحلیل شرایط حرارتی یک کلاس درس ساخته شده از ساندویچ پانل به کمک روش دینامیک سیالات محاسباتی پرداختند. تحلیل‌های عددی نشان داده است که بین موقعیت تهویه مطبوع و توزیع جریان‌های همرفتی در اتاق رابطه وجود دارد. با این‌حال، نتایج نشان داد که دمای میانگین وزنی در اتاق تقریباً در همه موارد یکسان هستند، اما اختلاف دمای استاتیکی در نواحی مختلف برای یک مورد مشابه در موقعیت تهویه مطبوع مشاهده می‌شود. سان و همکاران [۱۰] به‌کمک روش دینامیک سیالات محاسباتی راندمان انتقال حرارت ساندویچ پانل‌های با هسته مشبک موج‌دار را محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پارامترهای هندسی هسته ساندویچ پانل تأثیر قابل توجهی در راندمان انتقال حرارت سازه دارد. بای و همکاران [۱۱] به تجزیه و تحلیل عملکرد انتقال حرارت بر روی ساندویچ پانل‌های با هسته مشبک پرداختند. آن‌ها نشان دادند که این سازه عملکرد بسیار خوبی از خود نشان می‌دهد زیرا جریان به سمت دیوارهای گرم‌شده هدایت می‌شود. یان و همکاران [۱۲] به تجزیه و تحلیل انتقال حرارت همرفتی در یک ساندویچ پانل چند کاربره سبک وزن با هسته مشبک فلزی با هندسه ایکس شکل پرداختند. آن‌ها نشان دادند که هسته پیشنهادی دارای ۶۶ درصد چگالی سطحی بالاتر از هسته مشبک چهار وجهی است که می‌تواند به‌عنوان مکانیزم اصلی افزایش انتقال حرارت عمل کند. چن و همکاران [۱۳] به تجزیه و تحلیل عملکرد عایق حرارتی و مکانیسم انتقال حرارت ساندویچ‌پانل مشبک راه راه پرداختند. آن‌ها نشان دادند که ساندویچ پانل دولایه عملکرد بهتری نسبت به مابقی ساندویچ پانل‌ها دارد. کان و همکاران [۱۴] به بررسی تأثیر تنش‌های حرارتی بر اثرات تاول‌زایی در ساندویچ پانل‌ها پرداختند. آن‌ها نشان دادند که تغییر شکل‌های افقی و خارج از صفحه با افزایش دما افزایش می‌یابد، در حالی‌که تغییر شکل‌های عمودی، بسته به دمای ورق، هم مقادیر منفی و هم مثبت را در نظر می‌گیرند. ستینک و لانگ [۱۵] تأثیر دما بر رفتار ساندویچ پانل‌ها را بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که فوم پلی‌یورتان خواص مکانیکی خود را با تغییر دما تغییر می‌دهد. بنابراین در نظر گرفتن دما در طراحی از اهمیت بالایی برخوردار است. نتایج تجربی آن‌ها نشان می‌دهد که شکست برشی به دلیل پروفیل قوی در اجزای سقف رخ نمی‌دهد.

مرور مطالعات قبلی نشان می‌دهد که تاکنون برای ساخت مخازن حامل سوخت تحت فشار از ساندویچ پانل دارای هسته مشبک استفاده نشده‌است. بنابراین به‌دلیل مزایای سازه‌های ساندویچی کامپوزیتی که پیش‌تر بیان شد در تحقیق حاضر، به تحلیل سیالاتی ساندویچ‌پانل کامپوزیتی با هسته‌ی مشبک برای استفاده در ساخت مخازن حامل سوخت پرداخته است. بدین منظور، ابتدا یک ساندویچ پانل کامپوزیتی تقویت شده با الیاف کولار و رزین اپوکسی با استفاده از روش قالب انتقال رزین به کمک خلا ساخته می‌شود و فوم پلی‌یورتان به آن تزریق می‌گردد. ابتدا، به‌صورت تجربی مخزن تحت آزمون فشار هیدرواستایکی قرار گرفت. سپس، به شبیه‌سازی سیالاتی رفتار فوم پلی‌یورتان و تأثیر آن روی ساندویچ‌پانل به‌کمک نرم افزار انسیس پرداخته شد. در قسمت بعد، به‌کمک نرم افزار آباکوس، به تحلیل حرارتی مخزن ساندویچی تحت فشار که در یک محیط با گرادیان دمایی قرار دارد پرداخته می‌شود و اثر فشار داخلی و بیرونی به همراه اثر اختلاف دمای بیرونی روی بدنه سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

۲- خواص مواد

در این تحقیق از پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف کولار و فوم پلی‌یورتان برای ساخت ساندویچ پانل‌های کامپوزیتی پرشده با فوم استفاده شده است. خواص مکانیکی و فیزیکی پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف کولار و فوم پلی‌یورتان در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است. در جدول (۱)، X_1^+، X_1^-، X_2^+ و X_2^- به‌ترتیب نشان‌دهنده مقاومت کششی و فشاری در امتداد الیاف و عمود بر جهت الیاف هستند و S نشان دهنده مقاومت برشی است. خواص مکانیکی و حرارتی فوم پلی‌یورتان در جدول(۲) نشان داده شده است.

جدول ۱: خواص مکانیکی و فیزیکی پلیمر تقویت‌شده با الیاف کولار

خواص	نماد و واحد	مقدار
چگالی	ρ (Kg/m^3)	۱۴۴۰
	E_1 (GPa)	۳/۰
خواص الاستیک	E_2 (GPa)	۳/۵
	G_{12} (GPa)	۲/۷
	v_{12}	۰/۰۴
	X_{1+} (MPa)	۵۴۴
	X_{1-} (MPa)	۴۵۴
خواص استحکامی	X_{2+} (MPa)	۶۵۳
	X_{2-} (MPa)	۵۷۲
	S (MPa)	۷۸

جدول ۲: خواص مکانیکی و حرارتی فوم پلی‌یورتان

خاصیت	واحد	مقدار
چگالی	Kg/m^3	۲۰۰
مدول یانگ	MPa	٤٠
ضریب پواسان	-	۰/۰۵
تنش تسلیم	MPa	۱/٤۳۵
ظرفیت گرمایی ویژه	J/gr.K	۱/۲
ضریب هدایت حراراتی	W/m.K	۰/۰٤
نقطه ذوب	درجه سانتی‌گراد	۱۷۰
نقطه انجماد	درجه سانتی‌گراد	-۲۰
جوشی‌گرمای نهان هم	J/Kg	۱۷٦۰۰۰

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

۳- ساخت ساندویچ پانل و مخزن

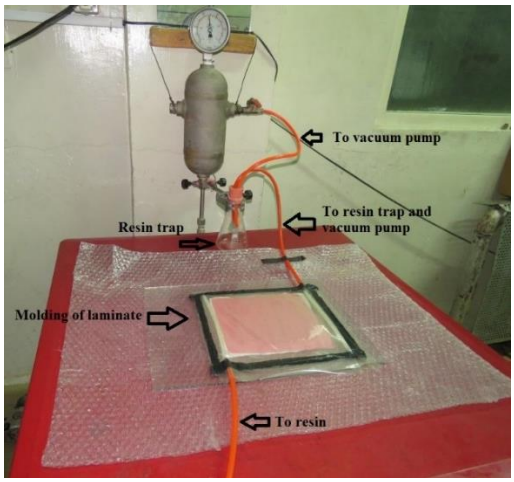
روش انتقال رزین به کمک خلأ[1] نامیده می‌شود روشی است که از فشار خلأ برای تزریق رزین درون قالب استفاده می‌کند. در این روش، الیاف کولار درون قالب قرار گرفته، با کیسه خلأ آب‌بندی شده و به آن خلأ اعمال می‌شود. با ایجاد خلأ، الیاف بر روی هم فشرده می‌شوند و از آن‌جایی که فشار بیرون قالب از فشار درون قالب بیش‌تر است، اختلاف فشار ایجاد شده باعث انتقال رزین از طریق یک مجرا به درون قالب می‌شود. فرایند نفوذ در خلأ یک فرآیند قالب بسته بوده و انتشار ترکیبات آلی فرّار[2] موجود در رزین اپوکسی تقریباً صفر است، زیرا آغشته شدن الیاف در کیسه خلأ رخ داده و در نتیجه، آلودگی محیط کار کم‌تر خواهد بود. ترکیبات آلی فرّار مواد شیمیایی هستند که در ساختمان آن‌ها اتم کربن وجود داشته و به‌سادگی بخار و تبدیل به گاز می‌شوند. فرآیند نفوذ رزین در خلأ به‌کمک تجهیزات و مواد مخصوصی انجام می‌گیرد که در ادامه تشریح خواهند شد. شایان ذکر است، از آن‌جائی‌که تمام لایه‌های مورد بررسی در مقاله حاضر تماماً از مواد یکسان و به‌صورت ۸ لایه ساخته شده است.
مراحل ساخت نمونه چندلایه مرکب به‌روش فوق در این مقاله به‌ترتیب عبارتند از:

- تمیز کردن سطح قالب و سپس آغشته کردن آن توسط مایع جداکننده جهت جدا کردن نمونه از قالب
- برش و قرار دادن الیاف بر روی هم به تعداد و ابعاد مورد نیاز (لمینیت هشت لایه)
- قرار دادن چسب آب‌بند[3] دور تا دور قالب
- قرار دادن لوله های اسپیرال[4] در دو طرف قالب جهت تزریق و خروج رزین
- قرار دادن تجهیزات وکیوم[5] بر روی الیاف که عبارتند از: پارچه داکرون[6] و لایه توزیع جهت توزیع بهتر و یکنواخت رزین و در انتها، قرار دادن نایلون وکیوم بر روی تجهیزات قالب و اتصال آن به چسب آب‌بند جهت جلوگیری از نفوذ هوا به درون قالب.
- قرار دادن یه سر لوله اسپیرال درون ظرف حاوی رزین و سر انتهای دیگر لوله اسپیرال به تله رزین[7] که به پمپ خلأ متصل است دلیل استفاد از تله رزین جلوگیری از ورود رزین اضافی خروجی از قالب به درون پمپ می‌باشد.

قبل از شروع فرآیند تزریق، با روشن کردن پمپ خلأ ، باید از آب‌بند بودن قالب اطمینان پیدا کرد هم‌چنین با ایجاد فشار منفی درون قالب، الیاف بر روی هم فشرده شده و شکل چندلایه یکپارچه را به خود می‌گیرند. سپس، لوله اسپیرال ورودی درون ظرف حاوی رزین و سخت‌کننده[8] قرار داده شده تا فرآیند تزریق رزین درون قالب شروع شود. زمان فرآیند تا تزریق کامل در سرتاسر قالب و بین الیاف ادامه می‌یابد. و بعد از تزریق رزین در بین الیاف، لوله اسپیرال ورودی که درون ظرف رزین قرار دارد توسط گیره مسدود شده تا از ورود هوا به درون قالب و ایجاد حباب جلوگیری گردد. سپس پمپ خاموش شده و قالب در دمای محیط به مدت ۲۴ ساعت رها می‌گردد تا مکانیزم سخت‌شوندگی (پخت اولیه توسط سخت‌کننده) انجام شود. بعد از پخت اولیه، تجهیزات وکیوم باز شده و لمینیت از قالب جدا می‌گردد در این مرحله، لمینیت جهت پخت نهایی آماده می‌باشد. در انتها جهت پخت نهایی، لمینیت‌ها پس از پخت اولیه (پس از ۲۴ ساعت)، به مدت ۶ ساعت و تحت دماهای ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد (هر دو ساعت، ۲۰ درجه افزایش دما) درون کوره قرار می‌گیرند. بعد از فرآیند پخت نهایی در کوره و خنک‌کاری، لمینیت‌ها آماده می‌شوند. تمامی لایه‌های مورد بررسی در این مقاله کاملاً از یک ماده و از هشت لایه تشکیل شده‌است. صفحات کامپوزیتی دارای هشت لایه با لایه‌چینی به صورت $[0/90]_8$ هستند. شکل (۱) فرآیند ساخت لمینیت‌های تقویت شده با الیاف کولار و رزین اپوکسی را نشان می‌دهد.

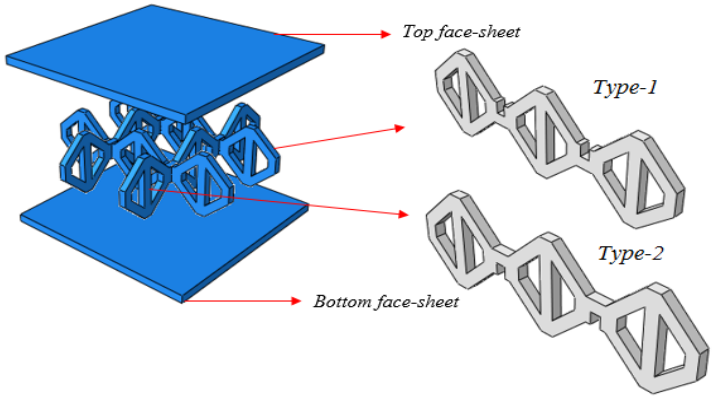
[1] Vacuum-assisted Resin Transfrom Molding Method
[2] Volatile Organic Compound
[3] Gasket
[4] Spiral
[5] Vacuum
[6] Dukron
[7] Resin
[8] Hardener

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]



شکل ۱: دستگاه کیسه خلأ برای ایجاد فضای خلأ روی نمونه

مرحله دوم ساخت صفحات بالا و پایین به همراه هسته خرپای لوزی شکل ساندویچ پانل است. در واقع ساندویچ پانل از دو صفحه بالا و پایین به همراه هسته‌ی خرپایی شکل تشکیل شده است که این هسته خرپایی شکل خود از سه قسمت نری و سه قسمت مادگی ساخته شده که هسته ساندویچ پانل را تشکیل می‌دهد. شکل (۲) مدل هندسی ساندویچ پانل به همراه نوع هسته را نشان می‌دهد.

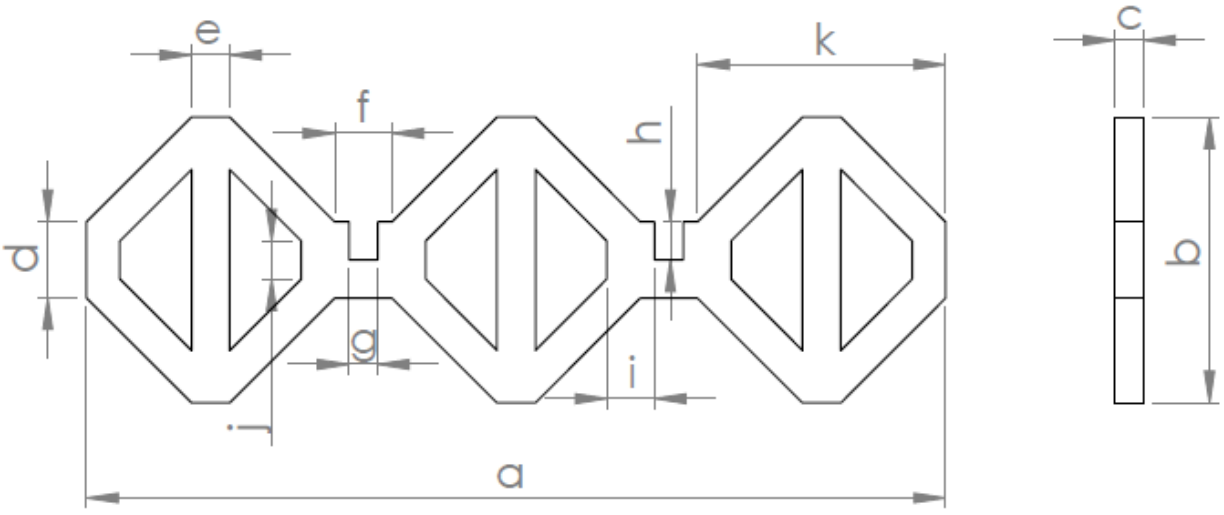


شکل ۲: مدل هندسی ساندویچ پانل به همراه نوع هسته

به منظور ایجاد صفحات و هسته ساندویچ پانل، برروی لمینیت به‌دست‌آمده توسط دستگاه واترجت عملیات برش انجام می‌شود. ابعاد و اندازه‌های قسمت نری و مادگی هسته در شکل (۳) و جدول (۳) نشان داده شده است. سپس الگوهای به‌دست‌آمده، طبق نقشه روی هم قرار می‌گیرند. و در آخر، هسته‌ها به‌صورت قسمت نری و قسمت مادگی مونتاژ شده و هسته تشکیل می‌شود. شکل(۴) ساندویچ پانل ساخته شده را نشان می‌دهد. سپس لمینیت بالا و پایین را با رزین اپوکسی بر روی هسته جانمایی می‌کنیم. برای متصل کردن لمینیت به هسته، ساندویچ پنل‌ها را به مدت ۹ ساعت در دمای ۴۰درجه سانتی‌گراد داخل آون قرار می‌دهیم. سپس از فوم پلی‌یورتان برای پر کردن فضای خالی بین هسته نوع لوزی شکل و سطوح ساندویچ پانل استفاده شده است. شکل(۵) ساندویچ پانل پر از فوم را نشان می‌دهد. سپس در مرحله دوم برای ساخت مخزن رویه‌های داخلی و بیرونی به همراه هسته خرپای لوزی شکل ساخته می‌شود. درواقع مخزن از دو رویه داخلی و بیرونی به

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

همراه هسته‌ی خرپایی شکل تشکیل شده است که این هسته خرپایی شکل خود از سه قسمت نری و سه قسمت مادگی ساخته شده که هسته مخزن ساندویچی را تشکیل می‌دهد. شکل(۶) مخزن ساندویچی ساخته شده را نشان می‌دهد.



Core (M-type)

شکل ۳: ابعاد و اندازه های هسته‌ی ساندویچ پانل



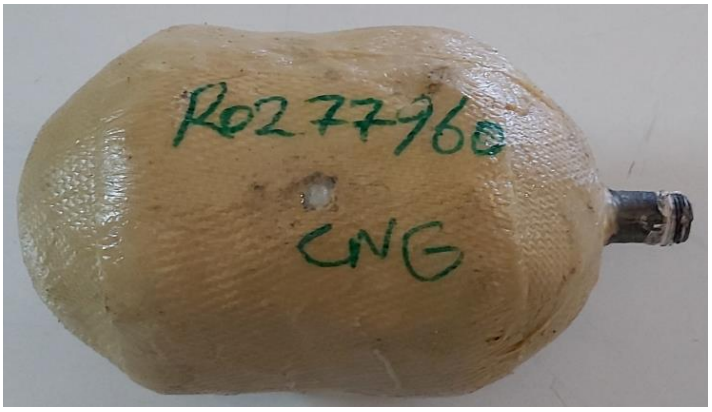
شکل ۴: نمونه نهایی از ساندویچ پانل ساخته شده الیاف کولار



شکل ۵: نمونه نهایی از ساندویچ پانل ساخته شده الیاف کولار همراه با فوم

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]



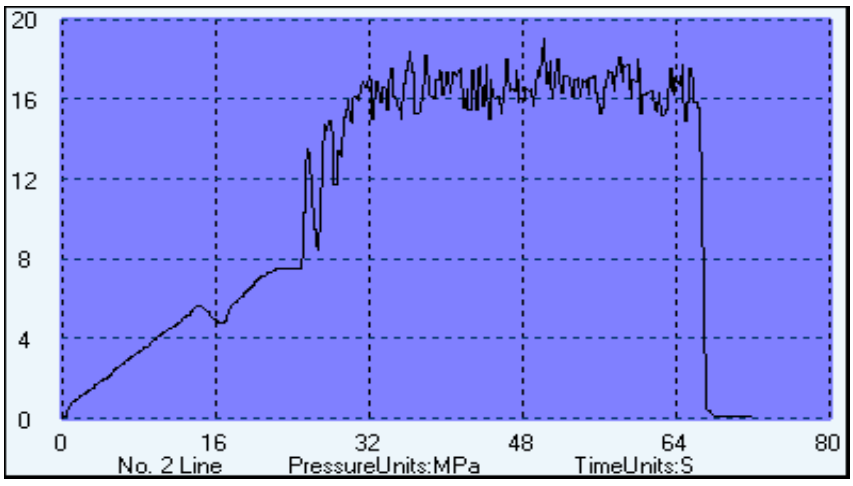
شکل ۶: نمونه نهایی مخزن ساندویچی

جدول ۳: ابعاد و اندازه های هسته ساندویچ پانل

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
۱۰۰/۰	۳۰/۰	۴/۰	۸/۰	۴/۰	۶/۰	۳/۰	۴/۰	۵/۰	۴/۰	۲۶/۰

۴- آزمون هیدرواستاتیک مخزن کامپوزیتی

پس از ساخت مخزن ساندویچی کامپوزتی نوبت به آزمون هیدرواستاتیکی بر روی آن است. هدف از انجام این آزمون، قرار دادن مخزن تحت فشار هیدرواستاتیک جهت مشخص نمودن فشار ترکیدگی می‌باشد. بنابراین از دستگاه PT-150 به‌منظور اعمال فشار هیدرواستاتیک استفاده می‌شود. مخزن، بایستی تحت فشار هیدرواستاتیک قرارگرفته تا ترکیدن آن مشاهده گردد. لازم به‌ذکر است که این آزمون در شرکت آزمایش و تحقیقات قطعات و مجموعه‌های خودرو ایتراک انجام شده است. نمونه تحت فشار هیدرواستاتیک قرار گرفت و در فشار ۱۸۰ بار به‌دلیل وجود نشتی از سطح مخزن، ترکیدن مشاهده نگردید. گراف فشار هیدرواستاتیک اعمال شده (مگاپاسکال) برحسب زمان (ثانیه) در شکل(۷) نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل مشاهده می‌شود، مخزن ساندویچی فشار داخلی قابل توجهی را که حدود ۱۶ مگاپاسکال یا ۱۶۰ بار می‌باشد را تحمل کرده است.



شکل ۷: گراف فشار هیدرواستاتیک اعمال شده (مگاپاسکال) برحسب زمان (ثانیه)

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

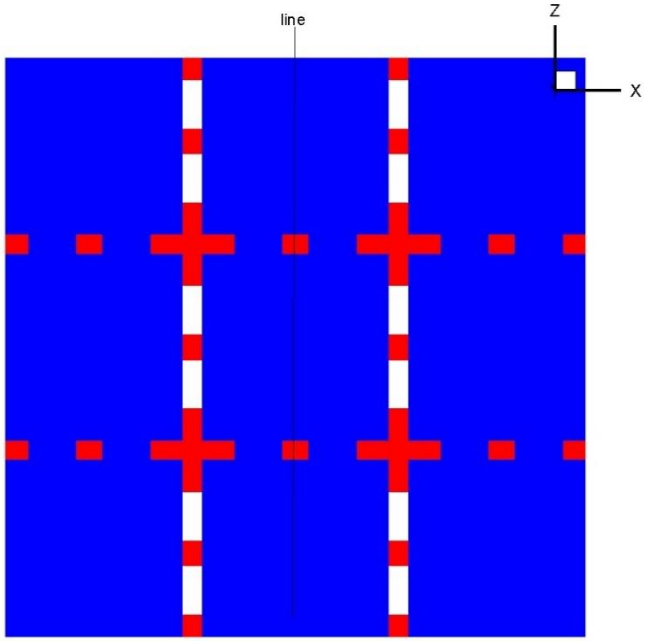
[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

۵- تحلیل سیالاتی تغییر فاز فوم

در این قسمت، به شبیه‌سازی سیالاتی رفتار فوم پلی‌یورتان و تأثیر آن روی ساندویچ پانل پرداخته شد. بدین منظور فرآیند تغییر فاز فوم از حالت مایع با دمای بالا به حالت جامد با دمای پایین در نرم افزار انسیس شبیه‌سازی گردید و پارامترهایی هم‌چون کسرحجمی فوم، تغییرات دمای فوم و فشار وارده از سمت فوم به دیواره‌های ساندویچ پانل گزارش شدند. در این تحلیل از شبکه بندی مثلثی هرمی استفاده شده است و می‌توان با توجه به شکل (۸) آن‌ها را مشاهده کرد. برای تفهیم بهتر نتایج حل عددی مسئله موردنظر، یک خط[1] دو صفحه عمودی[2] و افقی[3] تعریف شده‌است که در شکل (۹) ارائه شده است.



شکل ۸: مش‌بندی ساندویچ پانل

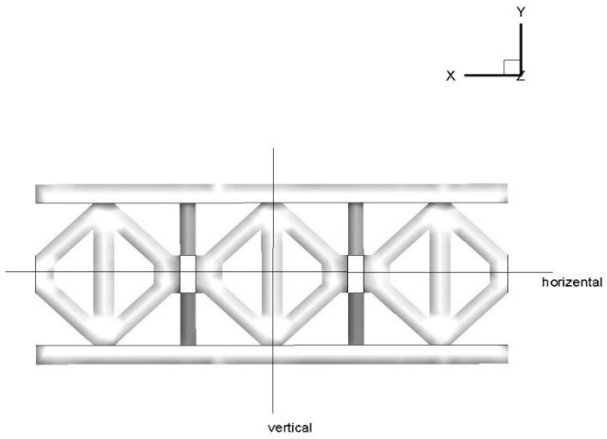


شکل ۹: خط مجازی تعریف شده

[1] Line
[2] Vertical
[3] Horizental

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

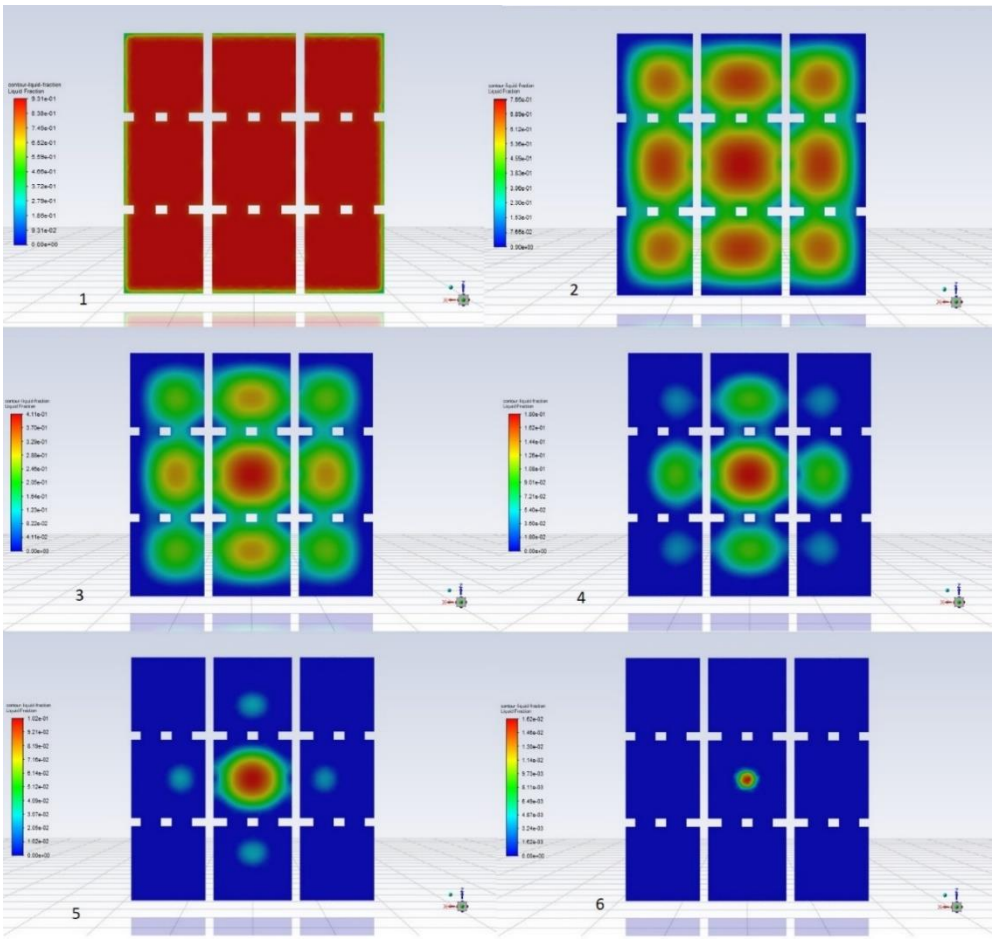
[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]



شکل ۱۰: دوصفحه عمودی و افقی

۵-۱- تغییرات کسرحجمی فوم

با توجه به شکل (۱۱) می‌توان دریافت که با گذر زمان فوم مایع به‌تدریج سرد شده و منجمد می‌شود و این تغییر فاز از دیواره‌های دامنه حل و پانل شروع شده تا به انجماد کامل فوم منتهی شود. در این شکل همان‌طور که دیده می‌شود رنگ قرمز نشانگر مایع و رنگ آبی نشانگر جامد است. رنگ‌های مختلف در این شکل محدوده پارامتر کسر حجمی مایع را نشان می‌دهد.

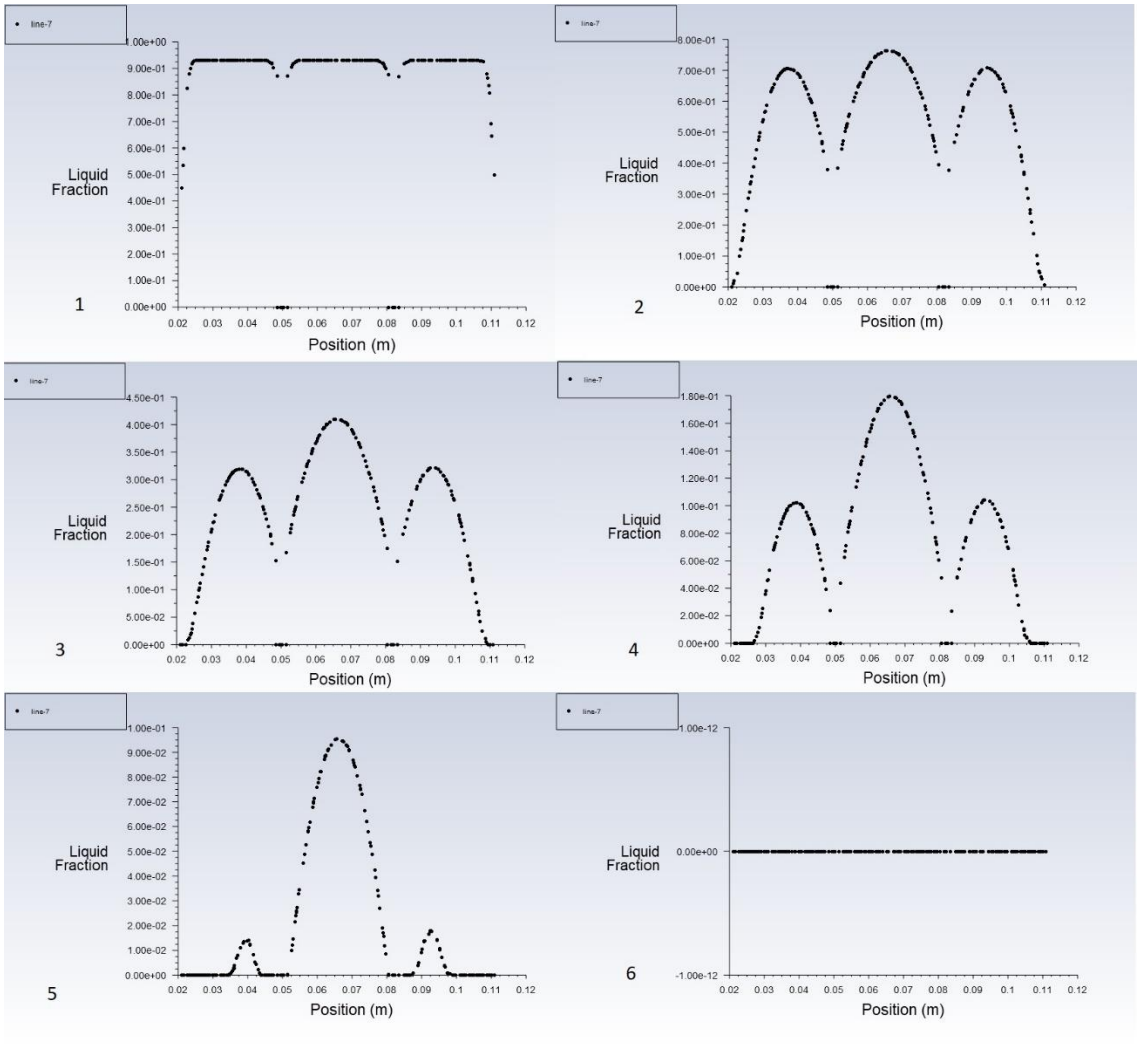


شکل ۱۱: کسر حجمی مایع در گذر زمان

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

با توجه به شکل (۱۲) می‌توان تغییرات کسر حجمی فوم مایع در طول خط با گذر زمان مشاهده کرد. همان‌طور که در نمودار قابل مشاهده است در ابتدا کسر حجمی نزدیک به عدد یک (فوم کاملا مایع) است ولی با گذر زمان سه قله در نمودار ایجاد شده است تا نهایتاً به عدد صفر منتهی شود. این نکته قابل توجه است که عدد یک کسر حجمی مایع نشان دهنده فاز مایع است و عدد صفر کسر حجمی مایع نشان دهنده فاز جامد فوم است.



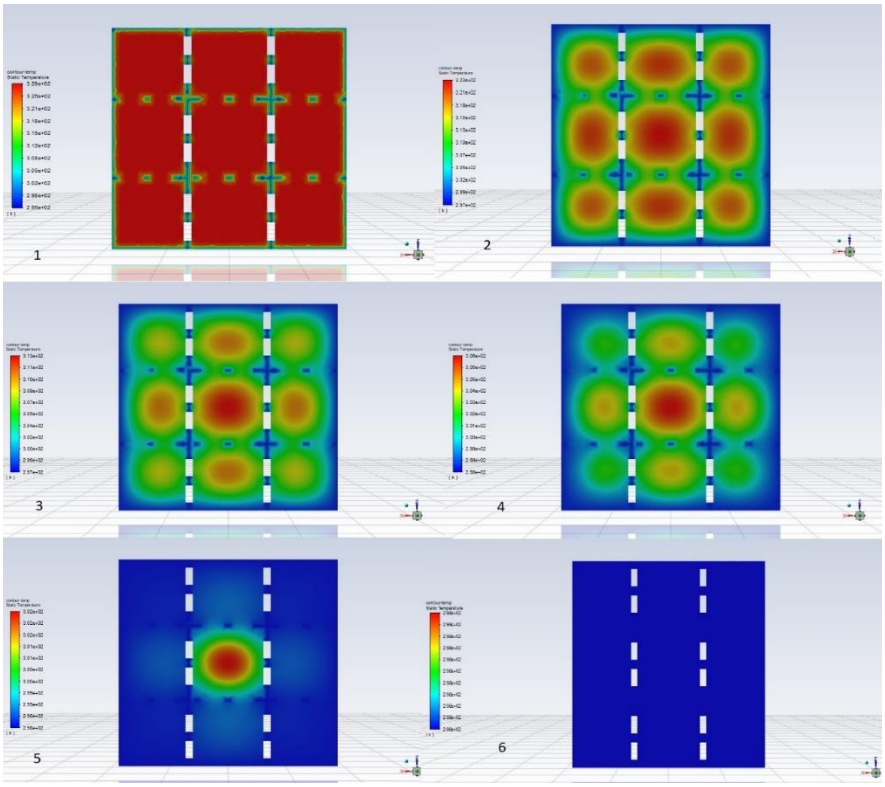
شکل ۱۲: کسر حجمی فوم مایع در طول خط line تعریف شده در مسئله

۵-۲- تغییرات دمای فوم

شکل (۱۳) تغییرات دمای فوم در گذر زمان را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل قابل مشاهده است تغییرات دمای فوم در دمای ابتدایی ۵۵ درجه سانتی‌گراد(۳۲۸ کلوین) شروع شده است و با انجام فرآیند انجماد به ۲۵ درجه سانتی‌گراد ختم می‌شود.

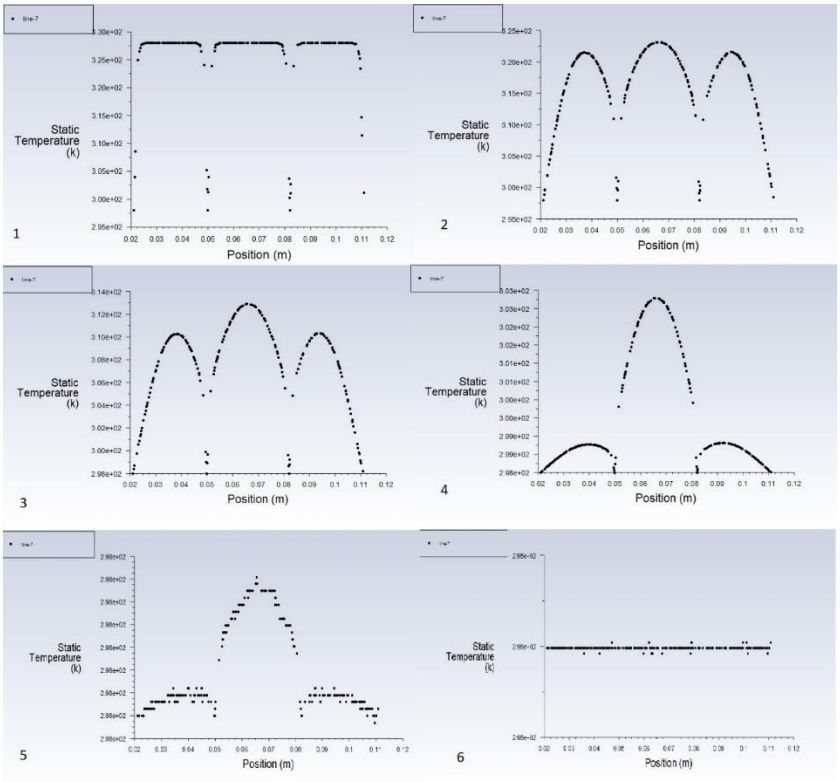
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]



شکل ۱۳: تغییرات دمای فوم در گذر زمان

در شکل (۱۴) تغییرات دمای در طول خط بر حسب کلوین به سادگی قابل مشاهده است. تغییرات دما در زمان‌های ابتدایی با ۵۵ درجه شروع شده است و با ایجاد قله و تبدیل آنها به خط صاف روند تغییرات دما، قابل مشاهده است.



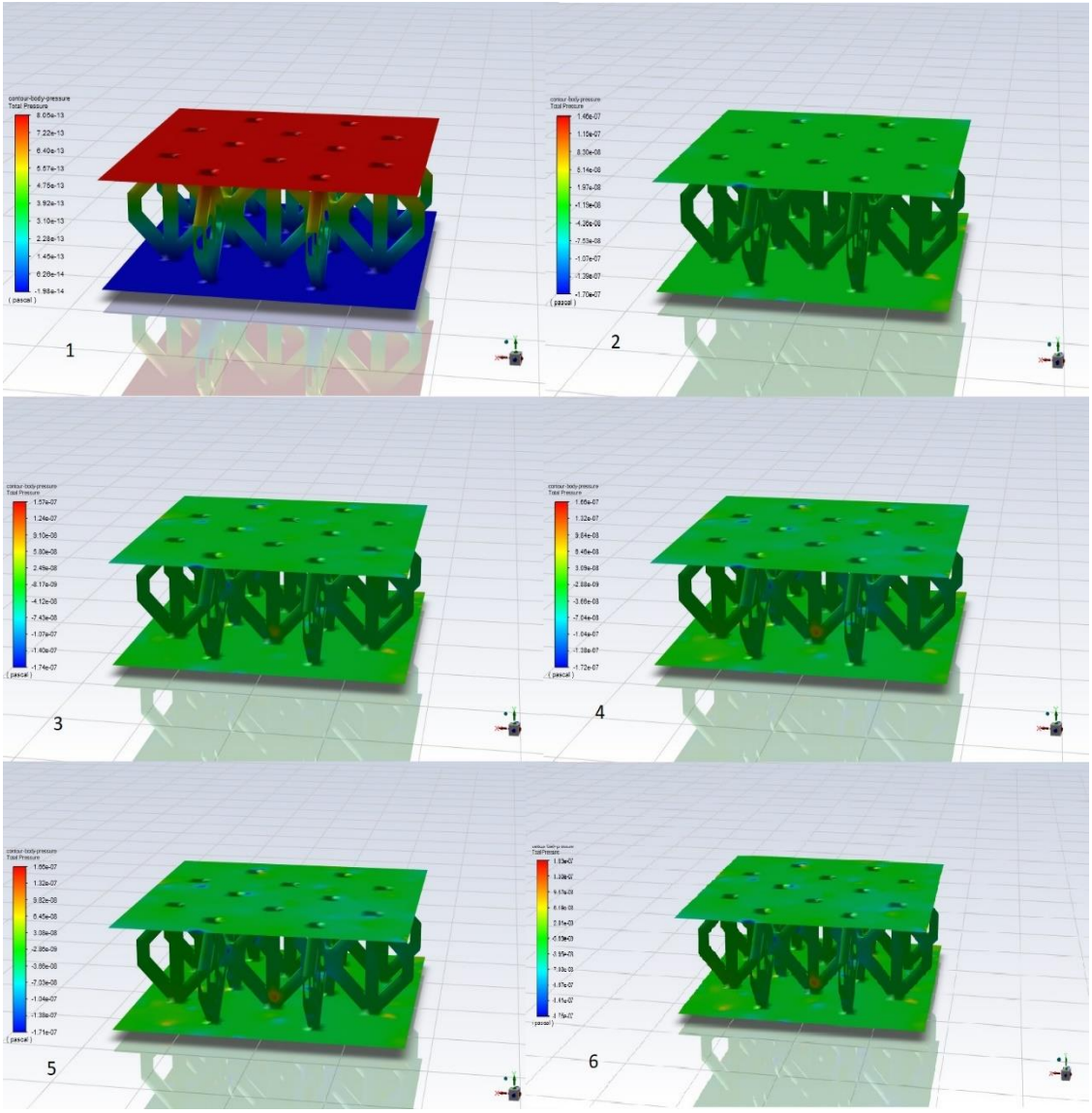
شکل ۱۴: تغییرات دما در طول خط line در گذر زمان

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

۵-۳- تغییرات فشار اعمالی بر ساندویچ پانل از سمت فوم

شکل (۱۵) تغییرات فشار اعمالی بر ساندویچ پانل از سمت فوم را نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، تغییر فاز و تغییر دمای فوم پلی‌یورتان فشار بسیار ناچیزی به بدنه ساندویچ پانل اعمال می‌کند. بنابراین، نه تنها تزریق فوم خسارتی به ساندویچ پانل اعمال نمی‌کند بلکه همان‌طور که پیش‌تر مشاهده شد استحکام ساندویچ پانل را افزایش می‌دهد.



شکل ۱۵: تغییرات فشار اعمالی بر ساندویچ پانل از سمت فوم

با توجه به این‌که تحلیل سیالاتی در طی زمان انجام شده است لذا مقادیر کمی پارامترهای مورد مطالعه هم‌چون کسرحجمی فوم، دمای فوم و فشار اعمالی بر ساندویچ پانل از سمت فوم در ابتدا، انتها و اواسط تحلیل در جدول (۴) ارائه شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

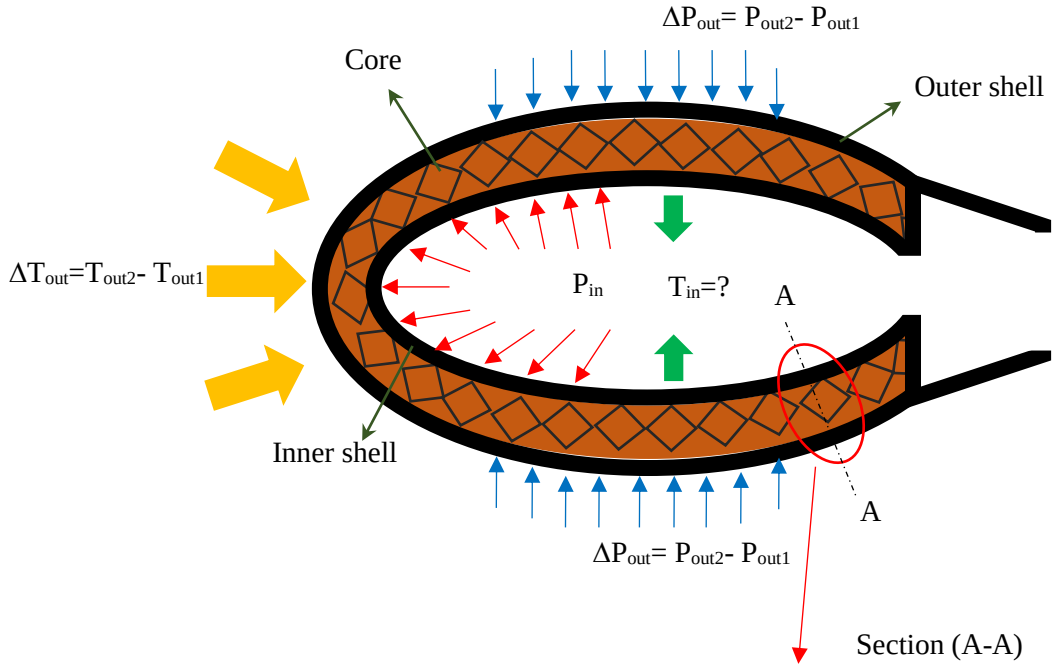
[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

جدول ۴: مقادیر کمی پارامترهای مختلف در تحلیل سیالاتی در زمان‌های مختلف

پارامتر مورد بررسی	در ابتدای حل ($t = 0s$)	در اواسط حل ($t = 150s$)	در انتهای حل ($t = 300s$)
کسرحجمی فوم (برحسب درصد)	۱	۵۴	۱۰۰
دمای فوم (برحسب سانتی‌گراد)	۵۵	۴۳	۲۵
فشار اعمالی بر ساندویچ پانل از سمت فوم (برحسب مگاپاسکال)	۰/۰۰۰۱	۸	۱۵

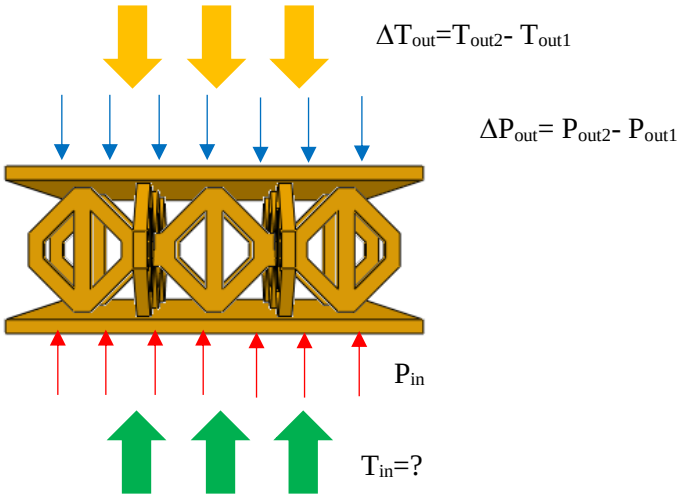
۶- تحلیل حرارتی سازه

در این قسمت سعی برآن است تا تحلیل حرارتی مخزن ساندویچی تحت فشار که در یک محیط با گرادیان دمایی قرار دارد انجام شود و اثر فشار داخلی و بیرونی به همراه اثر اختلاف دمای بیرونی روی بدنه سازه مورد بررسی قرار گیرد. به‌منظور فهم بیش‌تر مساله، شماتیک سازه و محیط درشکل (۱۶) نشان داده شده است. شکل (۱۶) یک مخزن ساندویچی را نشان می‌دهد که از دو پوسته داخلی و خارجی به همراه یک هسته خرپایی ساخته شده‌است. همانطور که از این شکل مشخص است، مخزن از داخل تحت یک فشار داخلی ثابت (P_{in}) و از محیط بیرون تحت یک اختلاف فشار (ΔP_{out}) قرار گرفته است. به‌علاوه، مخزن از محیط بیرونی تحت یک اختلاف دما (ΔT_{out}) قرار دارد و دمای داخل (T_{in}) مخزن مجهول می‌باشد. مقطع A-A که در شکل (۱۶) با یک بیضی قرمزرنگ نشان داده شده است قسمتی از مخزن ساندویچی را نشان می‌دهد که در واقع یک ساندویچ پانل مکعبی بوده که صفحه بالایی آن با محیط بیرون و صفحه پایینی آن با سیال درون مخزن در تماس است. بنابراین، به‌منظور تحلیل کل مخزن، کافیست آن قسمتی که توسط مقطع A-A برش داده شده در نرم افزار آباکوس مدل‌سازی گردید.



[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]



شکل ۶: شماتیک مخزن ساندویچی تحت فشار در یک محیط حرارتی

در این قسمت ورودی‌های مسأله که شامل فشار داخلی، فشار بیرونی و اختلاف دمای بیرونی است در جدول (۵) ارائه شده است. لازم به‌ذکر است که دما داخلی مخزن مجهول است و بایستی به‌دست آید.

جدول ۵: مشخصات و کمیت‌های ورودی مسأله

P_{in} (bar)	P_{out1} (bar)	P_{out2} (bar)	T_{in} (bar)	T_{out1} (bar)	T_{out2} (bar)
۱۰۰	۱	۰/۰۱	؟	۸۵	-۱۰

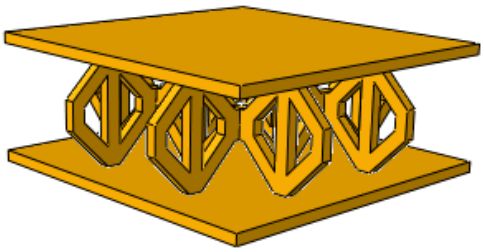
۶-۱- شبیه‌سازی المان محدود

در این قسمت تحلیل حرارتی ساندویچ پانل در نرم‌افزار آباکوس انجام می‌شود. بدین منظور، ابتدا از قسمت مدل‌سازی هندسی[1] رویه‌ها و هسته ساندویچ پانل طراحی می‌شود و در قسمت مونتاژ[2] به یکدیگر مونتاژ شده تا ساندویچ پانل مطابق شکل (۲) مدل‌سازی شود. در قسمت خواص[3] خواص مکانیکی و حرارتی سازه به آن اختصاص داده می‌شود. از قسمت گام[4] تحلیل کوپل مکانیکی و حرارتی[5] از نوع گذرا[6] با دوره زمانی ۱ ساعت و گام زمانی ۶ ثانیه انتخاب می‌شود. به‌منظور اتصال چسبی هسته و رویه‌های ساندویچ پانل، از قسمت برهم‌کنش[7] رویه‌های بالا و پایین ساندویچ پانل به‌کمک قید چسبی[8] به هسته متصل می‌شوند. هم‌چنین در این ماژول، از قسمت شرایط جریان سطحی[9] ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی هوا محیط و دمای محیط داده می‌شود. هم‌چنین می‌توان از قسمت تشعشعات سطحی[10] ضریب انتقال حرارت تشعشعی و دمای محیط را وارد کرد. از ماژول نیرو[11] ابتدا

[1] Part
[2] Assembly
[3] Property
[4] Step
[5] Coupled-temp-displacement
[6] Transient
[7] Interaction
[8] Tie
[9] Surface film condition
[10] Surface radiation
[11] Load

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

از قسمت شرایط مرزی[1]، شرایط لبه‌های ساندویچ پانل به‌صورت کاملاً گیردار اعمال می‌شود و سپس در قسمت ایجاد نیرو[2] مقدار فشار داخلی و خارجی که به‌صورت گسترده به‌ترتیب روی سطح رویه پایینی و رویه بالایی اعمال می‌شود به نرم افزار داده می‌شود. سپس از ماژول المان‌بندی[3] ابتدا اندازه المان‌ها برابر با ۲ میلی‌متر انتخاب می‌شود. لازم به‌ذکر است با توجه به این‌که انتقال حرارت بیش‌تر در راستای ضخامت ساندویچ پانل یعنی از سمت رویه بالایی به سمت رویه پایینی انجام می‌شود، لازم است تا اندازه المان‌های ضخامت رویه‌ها کوچک تر از مابقی المان‌ها انتخاب شود که این مقدار برابر با ۰/۶ میلی‌متر است. بعد از انتخاب اندازه المان‌ها، تکنیک مش‌زنی برای رویه‌ها و هسته به‌ترتیب حالت ساختاری[4] و سوئیپ[5] انتخاب می‌شود که از دقت بالاتری برخوردار هستند. به‌علاوه، نوع المان به صورت سه‌بعدی مکعبی هشت گره‌ای[6] انتخاب می‌گردد. درنهایت، مسأله تعریف شده حل می‌گردد.



شکل ۱۷: مدل‌سازی ساندویچ پانل در محیط نرم‌افزار آباکوس

۶-۲- نتایج و بحث

در این قسمت، خروجی‌ها و نتایج تحلیل مکانیکی-حرارتی در قالب کانتورها و نمودارها ارائه شده‌است.

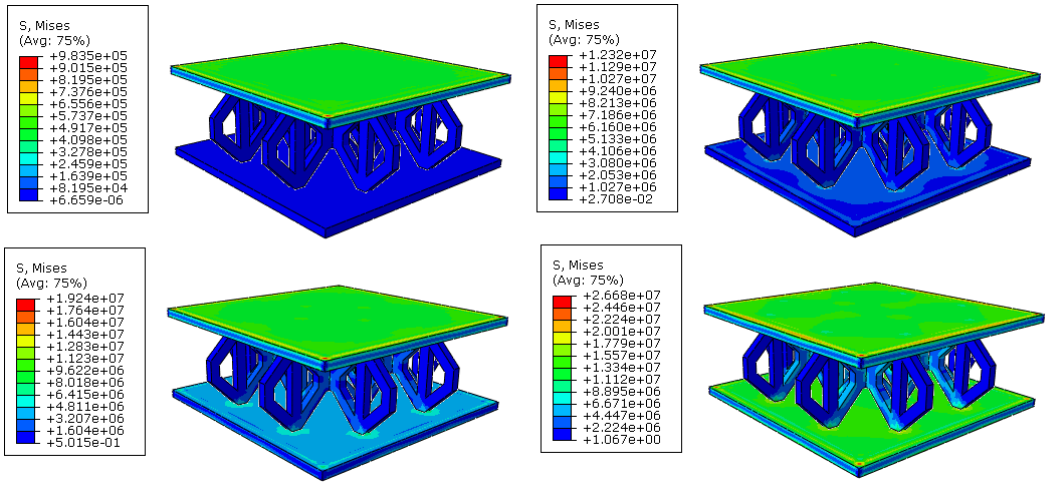
۶-۲-۱- تنش حرارتی

در این قسمت توزیع تنش حرارتی روی سازه که به واسطه گرادیان حرارتی خارجی به آن اعمال شده است درشکل (۱۸) به‌صورت کانتورهای رنگی نشان داده می‌شود. همان‌طور که از این کانتور مشخص است بیش‌ترین تنش حرارتی اعمالی به سازه براساس معیار ون مایسز برابر با ۲۶/۶۸ مگاپاسکال می‌باشد که در لبه‌ی رویه‌ها اعمال شده است. این شکل نشان می‌دهد که بیش‌ترین تنش توسط رویه‌های بالایی و پایینی تحمل شده و هسته نسبت به رویه‌های ساندویچ پانل تنش کم‌تری را تحمل می‌کند. هم‌چنین شکل (۱۹) نمودار تنش حرارتی یک المان روی رویه برحسب زمان را نشان می‌دهد. براساس این شکل، تنش حرارتی به‌واسطه دمای محیط که ابتدا ۸۵ درجه سانتی‌گراد بوده رفته رفته زیاد شده و بعد از ۲۵ دقیقه به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد سپس با کاهش دما تا مقدار ۱۰- درجه سانتی‌گراد، تنش حرارتی کاهش یافته تا نهایتاً به مقدار ۷/۵ مگاپاسکال برسد. لازم به‌ذکر است، نواحی بحرانی که بیش‌ترین تنش به آن اعمال می‌شود نواحی هستند که در این شکل‌ها با رنگ قرمز مشخص شده‌اند.

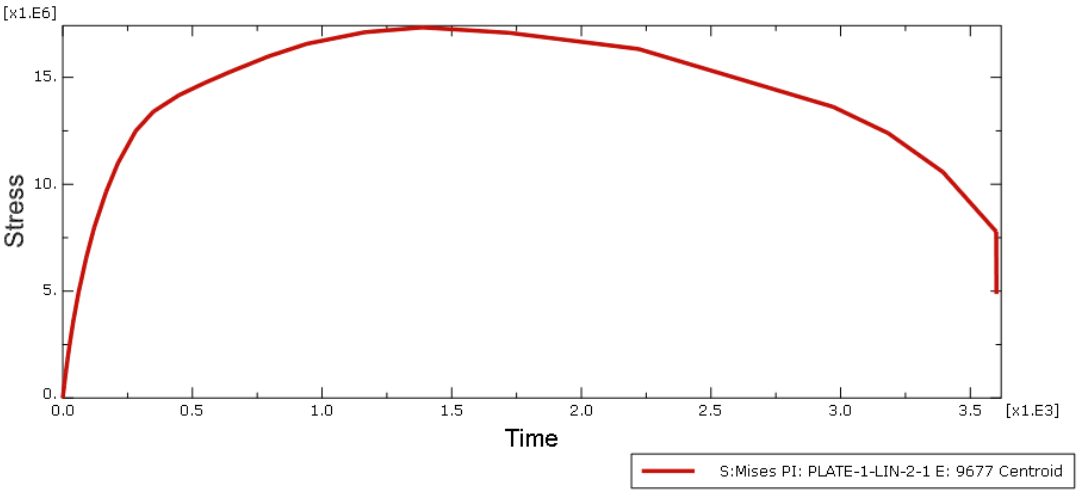
[1] Boundary Condition
[2] Create Load
[3] Mesh
[4] Structured
[5] Sweep
[6] C3D8T

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]



شکل ۱۸: کانتور توزیع تنش حرارتی روی سازه به واسطه گرادیان حرارتی خارجی در زمان‌های مختلف



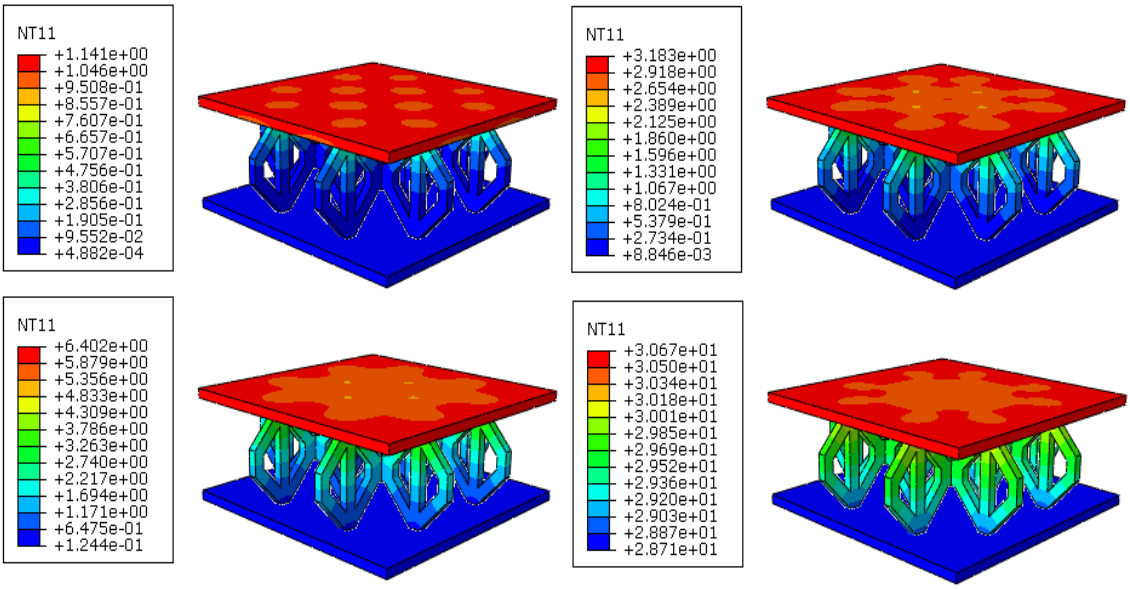
شکل ۱۹: نمودار تنش حرارتی یک المان روی رویه برحسب زمان

۶-۲-۲- توزیع دما

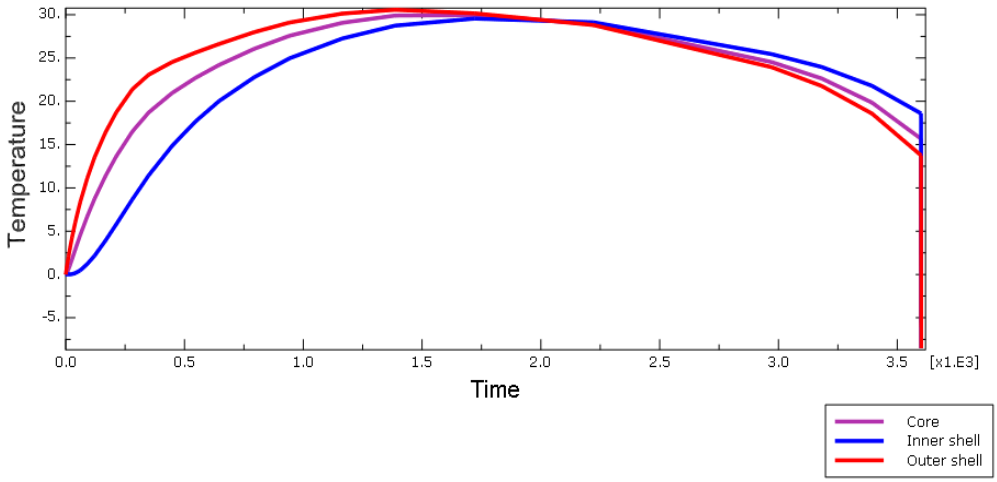
در این قسمت دمای قسمت‌های مختلف سازه که تحت بارهای فشاری و حرارتی قرار دارد درشکل (۲۱) به‌صورت کانتورهای رنگی نشان داده می‌شود. همان‌طور که از این کانتور مشخص‌است بیش‌ترین دما که با رنگ قرمز نشان داده شده است برابر با ۳۰/۶۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که در نواحی رخ داده‌اند. شکل (۲۲) نمودار دما برحسب زمان را برای هسته و رویه‌های داخلی و بیرونی ساندویچ پانل نشان می‌دهد. براساس این نمودار، دمای قسمت‌های مختلف سازه به واسطه بارگذاری حرارتی ابتدا افزایش یافته و بعد از ۲۵ دقیقه به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد سپس با کاهش دما تا مقدار ۱۰- درجه سانتی‌گراد، دمای سازه کاهش می‌یابد. لازم به‌ذکر است که تغییرات دمای سطح داخلی سازه برحسب زمان با منحنی آبی رنگ در شکل (۲۱) نشان داده شده است که بیش‌ترین مقدار آن تقریباً برابر با ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]



شکل ۲۰: کانتور توزیع دما روی سازه به واسطه گرادیان حرارتی خارجی در زمان‌های مختلف



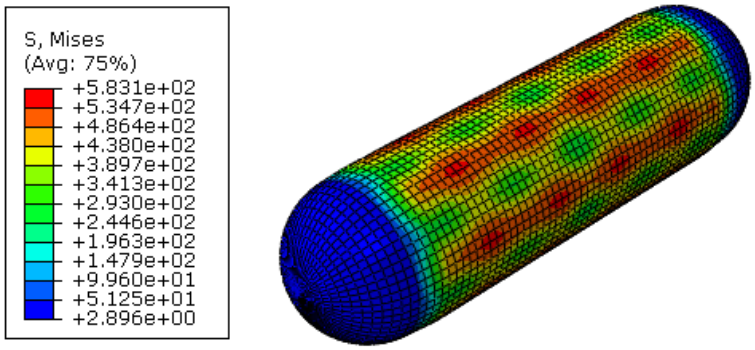
شکل ۲۱: نمودار دما برحسب زمان هسته و رویه‌های داخلی و بیرونی ساندویچ پانل

۶-۲-۳- توزیع تنش روی مخزن تحت فشار

در این قسمت توزیع تنش روی مخزن که به واسطه فشار سیال داخلی به آن اعمال شده است به صورت کانتورهای رنگی نشان داده می‌شود. شکل (۲۲) تحلیل تنش و کانتور تنش روی مخزن کامپوزیتی تحت فشار داخلی ۱ بار را نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل و کانتورهای رنگی مشخص است، بیش‌ترین وکم‌ترین تنش اعمالی به مخزن براساس معیار ون‌مایسز به‌ترتیب برابر با ۵۸۳/۱ مگاپاسکال و ۲/۸۹۶ مگاپاسکال می‌باشد. لازم به‌ذکر است، نواحی بحرانی که بیش‌ترین تنش به آن اعمال می‌شود نواحی هستند که در این شکل‌ها با رنگ قرمز مشخص شده‌اند.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]



شکل ۲۲:کانتور توزیع دما روی سازه به واسطه گرادیان حرارتی خارجی در زمان‌های مختلف

۷- جمع‌بندی

هدف از مقاله حاضر تحلیل سیالاتی و حرارتی ساندویچ پانل کامپوزیتی با هسته‌ی مشبک برای استفاده در ساخت مخازن کامپوزیتی حامل سوخت بود. بدین منظور، ابتدا یک ساندویچ پانل کامپوزیتی با الیاف کولار و رزین اپوکسی با استفاده از روش قالب انتقال رزین به کمک خلأ ساخته و سپس فوم پلی‌یورتان به آن تزریق شد. سپس انواع تحلیل‌های سیالاتی و حرارتی در سه قسمت ارائه گردید. در قسمت اول، به ساخت مخزن ساندویچی کامپوزیتی با هسته مشبک پرداخته شد. سپس مخزن تحت آزمون فشار هیدرواستایکی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مخزن می‌تواند فشار داخلی تا حدود ۱۶۰ بار را تحمل کند. در قسمت دوم، به شبیه‌سازی سیالاتی رفتار فوم پلی‌یورتان و تاثیر آن روی ساندویچ پانل پرداخته شد. بدین منظور فرآیند تغییر فاز فوم از حالت مایع با دمای بالا به حالت جامد با دمای پایین در نرم افزار انسیس شبیه‌سازی گردید و پارامترهایی هم‌چون کسرحجمی فوم، تغییرات دمای فوم و فشار وارده از سمت فوم به دیواره‌های ساندویچ پانل گزارش شدند. در قسمت سوم، به تحلیل حرارتی مخزن ساندویچی تحت فشار که در یک محیط با گرادیان دمایی قرار دارد پرداخته شد و اثر فشار داخلی و بیرونی به همراه اثر اختلاف دمای بیرونی روی بدنه سازه مورد بررسی قرار گرفت. در این قسمت تحلیل حرارتی ساندویچ پانل در نرم‌افزار آباکوس انجام شد و تنش حرارتی و توزیع دما روی ساندویچ پانل ارائه گردید. درنهایت، نتایج تحلیل‌های انجام شده روی مخازن ساخته شده در این تحقیق نشان داد که مخازن کامپوزیتی با ساختار ساندویچی علاوه بر وزن کم و استحکام بالا، هزینه ساخت پایین‌تری نسبت به مخازن غیرکامپوزیتی دارد و درنتیجه برای ساخت مخازن حامل سوخت پیشنهاد می‌گردد.

مراجع

[1] Moyya, S., Thejasree, P., Abraham, B. C., & Mangalathu, G. S. Design and analysis of single and multi-layer pressure vessel. Materials Today: Proceedings, (2023).
[2] Arslan, E., Mack, W., & Apatay, T. U. N. Ç. Thermo-mechanically loaded steel/aluminum functionally graded spherical containers and pressure vessels. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 191 (2021) 104334.
[3] Ebermann, M., Bogenfeld, R., Kreikemeier, J., & Glüge, R., Analytical and numerical approach to determine effective diffusion coefficients for composite pressure vessels. Composite Structures, 291 (2022), 115616.
[4] Daghighi, S., & Weaver, P. M., Three-dimensional effects influencing failure in bend-free, variable stiffness composite pressure vessels. Composite Structures, 262 (2021), 113346.
[5] Wan, Z., Wei, J., Qaisrani, M. A., Fang, J., & Tu, N., Evaluation on thermal and mechanical performance of the hot tank in the two-tank molten salt heat storage system. Applied Thermal Engineering, 167 (2020), 114775.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

[6] Wang, X., Wei, K., Wang, K., Yang, X., Qu, Z., & Fang, D., Effective thermal conductivity and heat transfer characteristics for a series of lightweight lattice core sandwich panels. Applied Thermal Engineering, 173 (2020), 115205.
[7] Prabhakaran, S., Krishnaraj, V., Sharma, S., Senthilkumar, M., Jegathishkumar, R., & Zitoune, R., Experimental study on thermal and morphological analyses of green composite sandwich made of flax and agglomerated cork. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 139 (2020), 3003-3012.
[8] Waddar, S., Pitchaimani, J., & Doddamani, M., Effect of thermal loading on syntactic foam sandwich composite. Polymer Composites, 41(5) (2020), 1774-1784.
[9] Laubi, R. N., & Abbood, N. K., CFD analysis of the classroom thermal conditions built from the sandwich panel. In Journal of Physics: Conference Series 1773(1) (2021), 012019). IOP Publishing.
[10] Sun, S., Sheng, Y., Feng, S., & Lu, T. J., Heat transfer efficiency of hierarchical corrugated sandwich panels. Composite Structures, 272 (2021), 114195.
[11] Bai, X., Zheng, Z., & Nakayama, A., Heat transfer performance analysis on lattice core sandwich panel structures. International journal of heat and mass transfer, 143 (2019), 118525.
[12] Yan, H., Yang, X., Lu, T., & Xie, G., Convective heat transfer in a lightweight multifunctional sandwich panel with X-type metallic lattice core. Applied Thermal Engineering, 127 (2017), 1293-1304.
[13] Chen, Y., Zhang, L., He, C., He, R., Xu, B., & Li, Y., Thermal insulation performance and heat transfer mechanism of C/SiC corrugated lattice core sandwich panel. Aerospace Science and Technology, 111 (2021), 106539.
[14] Kühn, A., Haugwitz, C., Hinrichs, J., Kupnik, M., & Lange, J., Investigating the impact of thermal stresses on blistering effects in sandwich panels. ce/papers, 6(3-4) (2023), 22-27.
[15] Steineck, S., & Lange, J., Influence of Temperature on the Behavior of Sandwich Panels. ce/papers, 6(3-4) (2023), 16-21.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]

Fabrication, modeling and fluid analysis of a composite sandwich panel with a lattice core for use in the construction of fuel tanks

Mohammad Nosratbakhsh, Soroush Maddah*, Yasser Rostamiyan

Department of Mechanical Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran.

Received: December 2024 Accepted: February 2025

Abstract

This article analyzes the fluid analysis of composite sandwich panels with a lattice core for use in the construction of composite fuel tanks. Fuel tanks are generally made from non-composite materials and monolithic structures, which results in high weight and cost. However, the present study examines composite tanks with a sandwich structure. For this purpose, first, a composite sandwich panel reinforced with Kevlar fibers and epoxy resin is made using the Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding method, and polyurethane foam is injected into it. Then, three types of fluid analyzes are presented. In the first part, in the laboratory, the tank was subjected to a hydrostatic pressure test and the results showed that the tank can withstand an internal pressure of up to 160 bars. In the second part, fluid simulation of polyurethane foam behavior and its effect on sandwich panel was discussed. For this purpose, the process of foam phase change from liquid state with high temperature to solid state with low temperature was simulated in ANSYS software and parameters such as foam volume fraction, foam temperature changes, and pressure applied from the foam side to the sandwich panel walls was reported. In the third part, using ABAQUS software, the thermal analysis of the pressurized sandwich tank located in an environment with a temperature gradient is discussed, and the effect of internal and external pressure along with the effect of external temperature difference on the body of the structure is investigated. Ultimately, the results of the analyses conducted on the tanks constructed in this study indicate that composite tanks with a sandwich structure not only have low weight and high strength but also lower construction costs compared to non-composite tanks. Therefore, they are recommended for the construction of fuel-carrying tanks.

Key words: Sandwich panel, hydrostatic test, fluid analysis, thermal analysis, finite element method.

*corresponding author: S.Maddah@iausari.ac.ir

Cite this article as: Mohammad Nosratbakhsh, Soroush Maddah, Yasser Rostamiyan. Fabrication, modeling and fluid analysis of a composite sandwich panel with a lattice core for use in the construction of fuel tanks. **Journal of Energy Conversion**, 2025, 11(4), 65-85.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.w.526]