بررسی تجربی اثر جذب آب بر استحکام کششی کامپوزیت‌های زمینه فنولیک حاوی نانوذرات و الیاف

حسین دهقانیان[۱]، سید مهدی حسینی فراش[۲*]، محمد جعفری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا، دانشکده‌ی مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

۲- استادیار، دانشکده‌ی مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

۳- دانشیار، دانشکده‌ی مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

* آدرس پست الکترونیکی(farrash@shahroodut.ac.ir)

چکیده

در این پژوهش، اثر افزودن نانو ذرات آلومینیوم اکسید بر استحکام کششی کامپوزیتی شیشه/فنولیک که در معرض آب قرار گرفته بودند به روش تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. برای ساخت کامپوزیت‌های شیشه/فنولیک از رزین فنولیک آی ال ۸۰۰ ، سخت‌کننده اچ ۰۰۲ ، الیاف شیشه دو جهته ۴۰۰ گرمی و از نانو ذرات آلومینیوم اکسید محصول شرکت یو اس نانو به مقدار ۰/۲۵٪ وزنی استفاده شده است. صفحات کامپوزیتی به‌روش لایه چینی دستی ساخته شد و به‌کمک برش لیزری نمونه‌های تیری شکل از آن استخراج گردید. تیرهای کامپوزیتی چهار لایه‌ی مستطیل شکل از جنس شیشه/فنولیک و تقویت شده با ۰/۲۵٪ وزنی نانو ذرات آلومینیوم اکسید تحت آزمون کشش قرار گرفتند. این تیرها برای آزمون کشش به‌دستگاه سنتام مدل اس تی ام -۱۵۰ بسته شد و بار به‌صورت کششی و راستای طولی به‌آن‌ها اعمال شد. بخشی از نمونه‌ها نیز در در آب مقطر غوطه‌ور شده و سپس آزمون کشش بر روی آن‌ها انجام شد. مدت زمان پیشنهاد شده در استاندارد ASTM D۵۲۲۹ برای انجام آزمون جذب رطوبت ۲۴ ساعت ذکر شده است. ولی طی آزمایش مشاهده شد که در این مدت زمان نمونه‌ها جذب آب زیادی انجام می‌دهند. به همین سبب آزمایش مذکور تا زمان ثبات میزان جذب آب ادامه داده شد. نتایج نشان داد که افزودن ۰/۲۵٪ درصد نانو آلومینیوم اکسید به رزین فنولیک در حین ساخت، استحکام کششی را تا حد قابل توجهی افزایش می‌دهد. همچنین افزودن این نانوذرات، مقاومت خوبی در برابر جذب آب برای کامپوزیت ایجاد می‌کند.

واژه های کلیدی: *کامپوزیت، الیاف شیشه، نانو ذرات آلومینیوم اکسید، اثر جذب رطوبت، کشش.*

۱- مقدمه

امروزه کامپوزیت‌ها به طور گسترده‌ای در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت در برابر خوردگی و شکل‌پذیری آسان از جمله مزیت‌های به‌کارگیری این مواد در صنعت است. در برخی از کاربردها نظیر سازه‌های هوایی یا دریایی، سازه‌های کامپوزیتی در معرض جذب آب و رطوبت قرار دارند. جذب رطوبت توسط رزین می‌تواند باعث افت خواص مکانیکی کامپوزیت و کاهش چسبندگی بین الیاف و ماده زمینه شود. همچنین جذب آب بر خاصیت عایق بودن کامپوزیت‌ها نیز اثر می‌گذارد. انتخاب مناسب مواد، آماده‌سازی صحیح سطح الیاف و نیز بهره‌گیری از تکنیک‌های جدید ساخت، می‌تواند کمک شایانی به کاهش جذب رطوبت در کامپوزیت‌ها نماید. امروزه با گسترش به‌کارگیری فناوری نانو، استفاده از نانوذرات در ساختار کامپوزیت‌ها نیز بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است. این پرکننده‌های مقیاس نانو (Nano fillers) می‌توانند در ساختار ماده وارد شده و بهبود خواص مکانیکی، حرارتی و افزایش چسبندگی بین الیاف و رزین را باعث شوند. عیسی و شجاعی در سال ۲۰۱۴ [۱]، تأثیر نانورس‌ها بر خواص مکانیکی و دوام کامپوزیت فنولیک، نوولاک/شیشه را در محیط‌های مختلف شیمیایی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد ۰/۵ درصد وزنی بارگذاری خاک رس باعث کاهش دوام کامپوزیت‌های فنولیک/شیشه در محلول های آبی می‌شود که احتمالاً به دلیل ماهیت آبدوستی خاک رس‌ها، باعث ارتقای استعداد جذب آب کامپوزیت‌ها می‌شود و در نتیجه تخریب‌ناشی از آب را در کامپوزیت‌ها افزایش می‌دهد. ساینی و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۲]، در پژوهشی به بررسی اثر ترکیبی رطوبت و دما بر روی خواص ساختاری نمونه‌های پلیمر-های تقویت‌شده با الیاف شیشه پرداختند. تأثیر این شرایط بر ویژگی‌هایی مانند، افزایش وزن، کسر حجمی رزین، استحکام کششی نهایی مورد بررسی قرار گرفت. فنگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۳]، در مطالعه تجربی به مقایسه خواص مکانیکی کامپوزیت‌های فنولیک تقویت‌شده با نانو کربن و نانو گرافن به کمک تست کشش پرداختند. نتایج تجربی نشان داد که مقدار استفاده مناسب از نانو کربن یا نانو گرافن آماده شده می تواند خواص کششی و فشاری کامپوزیت‌های فنولیک را بهبود بخشد. فیما و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۴]، ریزساختار و خواص مکانیکی همچون استحکام کششی کامپوزیت‌های حاوی رزین فنلی تقویت شده با نیترات نیکل را مورد بررسی قرار دادند. وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ [۵]، اثر افزودن نانولوله‌های کربنی بر رفتار مکانیکی کامپوزیت‌های فنولیک تحت بارگذاری کششی را مورد مطالعه قرار دادند. پرابهاکار و بابو در سال ۲۰۱۸ [۶]، در مقایسه‌ای به ارزیابی خصوصیات خواص مکانیکی و کششی کامپوزیت‌های اپوکسی و فنولیک تقویت‌شده با الیاف شیشه و الیاف کربن پرداختند. جسیا و نایاکب در سال ۲۰۱۹ [۷]، در مطالعه تجربی بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت‌های هیبریدی از طریق بازآرایی متقابل الیاف‌های بافته شده شیشه و کربن برای کاربردهای دریایی پرداختند. کندولا و هما در سال ۲۰۱۹ [۸]، در پژوهشی اثرات ماتریس حاصل از مخلوط پخته‌شده یک پلی‌استر غیراشباع با رزول فنولی بر عملکرد خواص مکانیکی و اثرات آتش کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف شیشه‌ای حاصل مورد بررسی قراردادن. راویندران و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۹]، تأثیر نانولوله‌ها کربنی بر رفتار مکانیکی،حرارتی و مورفولوژیکی نانوکامپوزیت‌های فنل فرمالدئید را مورد بررسی تجربی قرار دادند.

ما در این پژوهش به بررسی تجربی اثر جذب آب بر استحکام کششی کامپوزیت‌های زمینه فنولیک حاوی نانو ذره آلومینیوم اکسید و الیاف شیشه به کمک انجام آزمون کشش پرداختیم

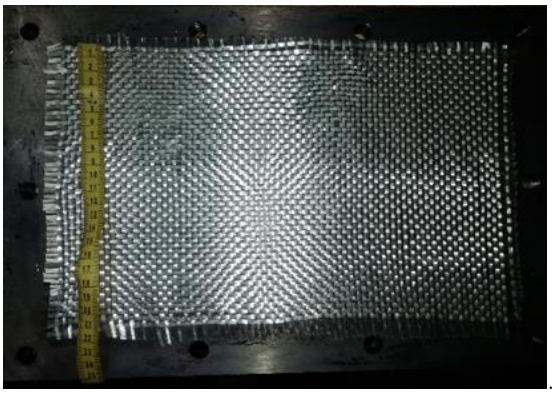
۲- ساخت نمونه‌ی تیرهای کامپوزیتی و نانو کامپوزیتی

در این پژوهش، ماتریس از نوع رزین فنولیک مایع آی ال- ۸۰۰ شرکت رزیتان مطابق شکل (۱) که این رزین با نام رزین ترموستاتیک نیز شناخته می‌شوند انتخاب گردید. پلیمر این رزین در حرارت های بالا، پایداری فوق العاده خوبی دارد که کاربرد مهم این ماده محسوب می‌شود. این رزین در حرارت های بالا، پایداری خود را حفظ کرده و همچنین در برابر اثرات مواد شیمیایی و نفوذ آب، مقاومت عالی از خود نشان می‌دهد. از کاربردهای فراوان این رزین در عایق‌های حرارتی، فیلترهای صنعتی، صنایع ریخته‌گری، صنایع نسوز، تولید ساینده‌ها، صنایع لاستیک و تایر خودرو جهت ایجاد استحکام در تایر نام برد. سخت کننده مورد استفاده با این رزین با نام نجاری اچ ۰۰۲ می‌باشد. این سخت‌کننده به شکل مایع شفاف بوده که دارای عدد اسیدی $mgKOH/g$ ۳۴۰ و چگالی g/cm^3 ۱/۲۳ و ph کمتر از ۱ است. بر اساس اطلاعات و نتایج آزمون سعی و خطا نسبت ترکیب سخت کننده به رزین فنولیک ۴ به ۱۰۰ گرفته شد.

(الف) (ب)

شکل ۳-۱: (الف) هاردنر H002، (ب) : رزین فنولیک IL-800

برای ساخت کامپوزیت‌ها از الیاف شیشه نوع S، ۴۰۰ گرمی که بافت دو بعدی با خواص عرضی و طولی یکسان، استفاده شد که در شکل (۲) الیاف شیشه مورد استفاده به نمایش در آمده است. این نوع الیاف از ویژگی‌هایی چون مقاومت بالا در برابر آتش، مقاومت بالا در برابر خوردگی، مقاومت بالا در برابر مواد شیمیایی، جذب کم آب، شفافیت خوب، استحکام بالا، توانایی قالب‌گیری خوب بهره‌مند بوده و بدین منظور به طور گسترده‌ای در صنایع مختلف نظیر سازه‌های هوایی، کشتی‌سازی، خودروسازی کاربرد دارد.



شکل۲- الیاف شیشه دو جهته ۴۰۰ گرمی برای ساخت صفحه کامپوزیتی

در ابتدا با آزمون سعی و خطا بهترین نسبت هاردنر به رزین ۴ به ۱۰۰ برای ساخت نمونه‌های کامپوزیتی انتخاب شد و به مدت ۲ دقیقه توسط همزن مکانیکی همزده شد. برای ساخت نمونه‌های آزمایشی شیشه/فنولیک از رزین فنولیک و الیاف شیشه دوجهته استفاده شد. ساخت نمونه‌های ورقه کامپوزیتی به روش لایه‌گذاری دستی انجام گرفت که در این روش هر ورقه الیاف شیشه در مجموع شامل چهار لایه‌ی الیاف دو جهته با ابعاد ۲۱*۳۳ سانتی‌متر که تمامی لایه ها با زوایای صفر و نود درجه بر روی یکدیگر لایه‌گذاری شدن. به عبارتی دیگر تمامی الیاف در راستای طول و عرض ورق‌ها بروی یکدیگر قرار گرفتند. به منظور جدایش آسان‌تر کامپوزیت بعد از فرآیند پرس و پخت از قالب کامپوزیتی که در شکل (۳) آورده شده است، قالب به واکس مخصوص آغشته شده و به‌دلیل مقاومت بالا نسبت به حرارت و خاصیت جداکنندگی در زمان پرس و پخت کامپوزیت در قالب، صفحات قالب را با مایع سیلیکونی چرب نموده سپس لایه‌گذاری الیاف انجام شد. پس از چینش هر لایه از الیاف، هر لایه به رزین آغشته شده و بر روی هر لایه به جهت از بین بردن هر گونه حباب هوا، با غلطک مخصوص هواگیری انجام شد و این فرآیند تا چهار لایه ادامه یافت. سپس صفحه بالایی قالب کاپوزیتی به‌منظور پرس صفحه کامپوزیتی گذاشته شده و برای خروج رزین اضافه و در نتیجه افزایش نسبت الیاف به رزین و نیز بهبود خواص مکانیکی، صفحات قالب کاپوزیتی توسط پیچ و مهره‌های عملیات حرارت دیده به صورت ضربدری به هم بسته شدن. قالب بسته شده به مدت ۸۵ دقیقه در دما ۹۰ درجه سانتی‌گراد در کوره قرار داده شد تا کامپوزیت به حالت نیمه پخت برسد. سپس دما کوره به مدت ۳۰ دقیقه تا ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شده تا پخت کامل بروی کامپوزیت فنولیک تحت فشار صورت گیرد. در نهایت با خارج کردن قالب از داخل کوره به‌مدت نیم ساعت قالب سرد شده و صفحه کامپوزیت از قالب جدا شدند.

شکل ۳- قالب کامپوزیت

برای ساخت نمونه‌های نانو کامپوزیت یکی از چالش‌های اصلی در ترکیب نانو ذره آلومینیوم اکسید با رزین فنولیک، پخش یکنواخت و مناسب نانو ذرات آلومینیوم اکسید در کل ماتریس است. در این پژوهش ابتدا برای آماده سازی زمینه برای نمونه‌های تقویت‌شده، نانو ذره آلومینیوم اکسید با در صد وزنی ۰/۲۵ به رزین فنولیک اضافه شده و سپس ۱۵ دقیقه به وسیله همزن مکانیکی مطابق شکل (۴) با سرعت (۱۰۰ دور در دقیقه) مخلوط گردید این فرآیند سه نوبت تکرار شد. در نهایت ماده سخت‌کننده به مخلوط اضافه شده و به‌مدت ۲ دقیقه توسط همزن مکانیکی هم زده شد.

شکل ۴- همزن مکانیکی

۳- آزمون کشش

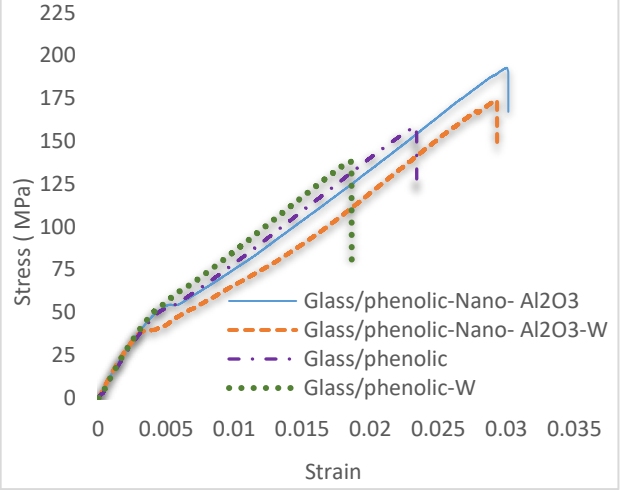
این آزمایش توسط دستگاه آزمایشگاهی سنتام مدل اس تی ام -۱۵۰ که در شکل (۵) نشان داده شده است انجام شد. آزمون کشش با بارگذاری ۲ میلی‌متر/دقیقه بر روی ۳ نمونه برای هر چهار حالت کامپوزیت شیشه/فنولیک، کامپوزیت شیشه/فنولیک حاوی ۰/۲۵٪ نانو ذرات آلومینیوم اکسید قبل و بعد از غوطه‌وری در آب انجام شد. جهت غوطه‌وی نمومه‌ها از آب مقطر استفاده شد شکل (۶). نمونه‌ها به مدت ۷۱ روز تا رسیدن به زمان ثبات میزان جذب آب در آب مقطر قرار گرفتند.

در شکل (۷) نمودار تنش - کرنش برای تیرهای کامپوزیتی شیشه/فنولیک (Glass/phenolic)، شیشه/فنولیک حاوی نانو آلومینیوم اکسید (Glass/phenolic-Nano- Al_2O_3)، شیشه/فنولیک بعد از غوطه‌وری در آب (Glass/phenolic-W) و شیشه/فنولیک حاوی نانو ذرات آلومینیوم اکسید بعد از غوطه‌وری در آب (Glass/phenolic-Nano- Al_2O_3-W) قابل مشاهده می‌باشد.

استحکام کششی به‌دست آمده از این نمونه‌ها در جدول (۱) قابل مشاهده می‌باشد.

شکل ۵- کمانش تیرهای کامپوزیتی تحت بارگذاری کششی

شکل ۶- نمونه‌های آزمون کشش بدون نانو و با نانو ذره آلومینیوم اکسید غوطه‌ور در آب مقطر



شکل ۷- نمودار تنش-کرنش تیرهای کامپوزیتی شیشه/فنولیک، شیشه/فنولیک حاوی ۰/۲۵٪ نانو ذرات آلومینیوم اکسید قبل و بعد از غوطه‌وری در آب

جدول ۱- میانگین نتایج آزمایش کشش برای تیرهای کامپوزیتی

نام نمونه‌های کامپوزیتی	استحکام کششی (مگاپاسکال)
شیشه/فنولیک	۱۵۸/۴۹
شیشه/فنولیک بعد از غوطه‌وری در آب	۱۳۷/۹۹
شیشه/فنولیک حاوی نانوذرات ۰/۲۵٪	۱۹۲/۸۳
شیشه/فنولیک حاوی نانوذرات ۰/۲۵٪ بعد از غوطه‌وری در آب	۱۷۳/۸۱

٤- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از نمودار تنش- کرنش در آزمون کشش نشان داد که افزودن ۰/۲۵٪ وزنی نانو ذرات آلومینیوم اکسید به رزین فنولیک در کامپوزیت‌های از جنس شیشه/فنولیک، باعث افزایش استحکام کششی می‌شود. می‌توان گفت توزیع مناسب نانو ذرات آلومینیوم اکسید در زمینه منجر به افزایش سطح تماس بین نانوذرات آلومینیوم اکسید و زمینه پلیمری کامپوزیت شیشه/فنولیک گردیده است و مقاومت کامپوزیتی را در برابر بارهای اعمالی افزایش داده است. نتایج نشان می‌دهد استحکام کششی برای حالت کامپوزیت شیشه/فنولیک برابر با ۱۵۸/۴۹ مگاپاسکال بوده و در حالت کامپوزیت شیشه/فنولیک حاوی ۰/۲۵٪ نانوذرات آلومینیوم اکسید با حدود ۲۱/۶۶٪ افزایش برابر با ۱۹۲/۸۳ مگاپاسکال را نشان می‌دهد. همچنین بعد از غوطه‌وری در آب نیز استحکام کششی برای نمونه بدون نانوذرات حدود ۱۲/۹۳-٪ کاهش و برای نمونه‌ی حاوی نانو ذرات حدود ۹/۶۶٪ افزایش پیدا کرده است.

جهت صحت‌سنجی نتایج به‌دست آمده، نتایج مشابه برای کامپوزیت‌های زمینه اپوکسی توسط محقق دیگر نیز حاصل شده است [۱۰]. ایشان توانستند با افزودن نانوذرات آلومینیوم اکسید به کامپوزیت‌های شیشه/اپوکسی استحکام برشی بین لایه‌ای را به میزان ۱۱ درصد و مقاومت خمشی را تا ۱۳ درصد در مقایسه با کامپوزیت‌های شیشه/اپوکسی بدون نانوذرات غوطه‌ور شده در آب دریا را بهبود دهند.

مراجع

[1] M. Eesaee ,A. Shojaei, Effect of nanoclays on the mechanical properties and durability of novolac phenolic resinwoven glass fiber composite, Composites Part A: Engineering, vol. 63, pp. 149-158, 2014.

[2] A. Saini1, R. ChhibberEffect of combined fatigue and hygrothermal loading on structural properties of E-glasspolymers, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, vol. 231, pp. 1-11, 2016.

[3] X.Feng Wu, Y.Ke Zhao, The Comparison of Mechanical and Thermal Properties of Carbon Nanotubes and Graphene Naonosheets Enhanced Phenol-formaldehyde Resin . Xiang-Feng Wu et al, Vol. 39, No. 05, pp. 737-742, 2017.

[4] T.fei Ma, X.xian Wu, Microstructures and mechanical properties of pyrocarbons produced from phenolic resin with added Ni(NO3)2, New Carbon Materials, Volume 32, pp. 137-142, 2017.

[5] B. Wang, Q. Fu, Beibei Wang-Grafting CNTs on carbon fabrics with enhanced mechanical and thermal properties for tribological applications of carbon fabricsphenolic composites, Carbon, vol. 139, pp. 45-51, 2018.

[6] S.Prabhakara, R. Babu, Characterization of mechanical and thermal properties of high strength glass epoxy and rayon carbon phenolic composites, Materials Today: Proceedings, vol. 5, pp26898-26903, 2018.

[7] D. K. Jesthia, R. K. NayakImprovement of mechanical properties of hybrid composites through interply rearrangement of glass and carbon woven fabrics for marine application, Composites Part B: Engineering, vol. 168, pp. 467-475, 2019.

[8] B.K. Kandola, L. Krishnan, Structure-property relationships in structural glass fibre reinforced composites from unsaturated polyester and inherently fire retardant phenolic resin matrix blends, Composites Part B: Engineering, vol. 182, pp. 107607, 2020.

[9] L. Ravindran, M. Sreekala, Effect of MWCNT carboxylation on mechanical, thermal and morphological behaviour of phenol formaldehyde nanocomposites, Journal of Composite Materials, vol. 55, pp1-16 , 2020.

[10] R. K. Nayak, Influence of seawater aging on mechanical properties of nano-Al2O3 embedded glass fiber reinforced polymer nanocomposites, Construction and Building Materials, vol. 221, pp. 12-19, 2019.