بررسی بار بحرانی کمانش تیرهای کامپوزیتی شیشه/اپوکسی حاوی نانوذرات تحت اثر تابش نور خورشید

محمد میرزاپور رودپیشی[۱]، سید مهدی حسینی فراش[۲*]، علیرضا شاطرزاده[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 اکسید روی بر بار بحرانی کمانش تیرهای کامپوزیتی شیشه/اپوکسی تحت اثر تابش نور خورشید به‌روش تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. برای ساخت کامپوزیت‌های شیشه/اپوکسی از رزین اپوکسی ال آر ۶۲۰ ، سخت‌کننده اچ۶۲۰ ، الیاف شیشه تک جهته ۲۸۰گرمی و از نانو ذرات اکسید روی محصول شرکت یو اس نانو به‌مقدار ۱٪ وزنی استفاده شده است. ورق‌های 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/اپوکسی و تقویت شده با ۱٪ وزنی نانو ذرات اکسید روی تحت آزمون کمانش قرار گرفتند. این تیرها در شرایط دوسر گیردار برای آزمون کمانش به‌دستگاه سنتام ۶۰ تن بسته شد و بار به‌صورت فشاری و راستای طولی به‌آن‌ها اعمال شد. بخشی از نمونه‌ها نیز در دستگاه شبیه‌ساز نورخورشید، تحت تابش قرار گرفتند و سپس آزمون بر روی آنها انجام شد. دستگاه شبیه‌ساز نور خورشید دارای لامپ زنون ۳۰۰۰وات بوده و گرما و تابش نور خورشید را مطابق استانداردهای موجود به قطعه تابانده است. نتایج نشان داد که افزودن ۱٪ درصد نانو اکسید روی به رزین اپوکسی در حین ساخت، بار بحرانی کمانش را تا حد قابل توجهی افزایش می‌دهد. همچنین افزودن این نانوذرات، مقاومت خوبی در برابر تابش نور خورشید برای کامپوزیت ایجاد می‌کند.

واژه های کلیدی: *کامپوزیت، الیاف شیشه، نانو ذرات اکسید روی، اثر تابش نور خورشید، کمانش.*

۱- مقدمه

ورق‌ها و تیرهای کامپوزیتی از مهم‌ترین و پرکاربردترین سازه‌های مورد استفاده در صنایع مختلف هستند. این سازه‌ها در صنایع مختلفی نظیر هوافضا، دریایی و خودروسازی کاربرد فراوان دارند. یکی از مباحث مهم در طراحی، وزن سازه‌ها می‌باشد که باید تلاش شود تا حد امکان کم شوند و مقاومت خوبی نیز داشته باشند. همچنین استفاده از مواد مرکّب (کامپوزیت‌ها) برای جایگزینی با فلزات به سرعت در حال گسترش است. کامپوزیت‌ها با زمینه پلیمری، شامل الیاف شیشه، کربن و آرمید کاربرد گسترده‌ای در صنعت دارند. این کامپوزیت‌ها در ساخت بدنه‌ی انواع هواپیما، پهپادها، ربات‌های پرنده، شناورهای دریایی، خودروهای برقی، لوله‌های انتقال نفت و گاز، پره‌ی توربین‌های بادی و بسیاری از موارد مشابه کاربرد دارند. از دیگر مباحث مهم در طراحی سازه‌های کامپوزیتی، بحث پایداری این سازه‌ها در برابر بارهای وارد شده می‌باشد. در سال های اخیر مطالعه بر روی خواص مختلف مواد نانو ساختار به موضوعی جذاب برای پژوهشگران تبدیل شده است. اصلان و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۱]، اثر لایه برداری‌های چندگانه بر استحکام فشاری، کامپوزیت‌های شیشه/اپوکسی و ارزیابی اثرات آن‌ها بر اولین بارهای کمانش و کمانش بحرانی را مورد بررسی قرار دادند. جیاپراکش و همکاران در سال ۲۰۱۸ [۲]، به مطالعات تجربی کامپوزیت‌های کربن/اپوکسی تحت بار کمانش پرداختند. در این مطالعه مقاطع هندسی مختلفی برای تحلیل بار کمانش، صفحه با سوراخ و بدون سوراخ را مورد برررسی قرار دادند. حسینی فراش و همکاران در سال ۱۴۰۰ [۳]، اثر افزودن نانولوله‌های کربنی به‌عنوان تقویت کننده به‌ماده‌ی زمینه‌ی پلیمری و دارای الیاف شیشه بر بار بحرانی کمانش ورقه‌ی کامپوزیتی را تحت بارگذاری فشاری، به‌روش تجربی مورد بررسی قرار دادند. عبدالکریم و همکاران در سال ۲۰۱۸ [۴]، در آزمایشی اثر نور خورشید بر روی کامپوزیت‌های پلی استر تقویت شده با نانو ذرات اکسید روی را مورد مطالعه قرار دادند. الدین و همکاران در سال ۲۰۱۹ [۵]، در مطالعه‌ای خواص نمونه‌های کامپوزیتی شیشه/اپوکسی قبل و بعد از قرارگیری در معرض اشعه ماوراء بنفش مورد بررسی قرار دادند. جیاکومار و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۶]، اثر نور خورشید بر روی خواص مکانیکی، سختی و مقاومت برشی بین‌لایه‌ای کامپوزیت‌های تقویت شده با نانو ذرات اکسید روی را مورد بررسی قرار دادند. لی ژیانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۷]، بهبود عملکرد کامپوزیت‌های زمینه پلیمری و افزایش استحکام سطحی در برابر نور خورشید با افزودن نانو اکسید روی را مورد بررسی قرار دادند.هاتی و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۸]، کامپوزیتی جدید مبتنی بر پلیمر با جهت گیری زاویه‌های متفاوت را مورد بررسی قرار داده‌اند. الدلیمی و همکاران در سال ۲۰۲۱ [۹]، تأثیر رویکرد پیش بار بر خواص کششی الیاف شیشه با کامپوزیت اپوکسی را مورد آزمایش قرار دادند. لیو و همکاران در سال ۲۰۲۱ [۱۰]، استحکام کششی کامپوزی دارای نانو ذرات اکسید روی را مورد بررسی قرار دادند. ما و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۱۱]، بهبود عملکرد کامپوزیت‌های پلیمری و افزایش استحکام سطحی در برابر نور خورشید با افزودن اکسید روی را مورد بررسی قرار دادند. گویات و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۱۲]، نقش نانو ذرات بر خواص مکانیکی و مکانیزم‌های سخت‌شوندگی نانو کامپوزیت‌های اپوکسی را بررسی کردند. مرور مقالات نشان می‌دهد که کارهای اندکی در زمینه اثر تابش نور خورشید بر کامپوزیت‌های شیشه/اپوکسی حاوی نانو ذرات تحت بارگذاری محوری انجام شده است. در این پژوهش تأثیر افزودن نانوذرات اکسید روی به رزین اپوکسی، بر بار بحرانی کمانش تیرهای کامپوزیتی، قبل و بعد از تابش نور خورشید مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- ساخت نمونه‌ی تیرهای کامپوزیتی و نانو کامپوزیتی

برای ساخت نمونه‌های آزمایشی از رزین اپوکسی و الیاف شیشه استفاده شد. رزین اپوکسی ال آر ۶۲۰ با هاردنر ۲۰ درصد مطابق شکل (۱) تهیه شد. این رزین از مقاومت مکانیکی و شیمیایی بالایی برخوردار می‌باشد. همچنین از ویژگی‌های این رزین می‌توان به مقاومت خوب نسبت به نور، ضربه، استحکام مکانیکی و شیمیایی بالا اشاره کرد. از مزیت‌های خوب و عالی این رزین کم حباب بودن در هنگام استفاده از آن در مقابل با رزین‌های هم رده آن می‌باشد. از کاربردهای مهم این رزین سختی مناسب به منظور استفاده در صنایع هوافضا، دریایی، ساخت قالب، مدل‌های کامپوزیتی، ساخت ماکت و پوشش روی یونولیت است. بر اساس اطلاعات و دستورالعمل شرکت سازنده نسبت ترکیب سخت‌کننده به رزین اپوکسی ۲۰ به ۱۰۰ است.

شکل۱- رزین اپوکسی ال آر۶۲۰

الیاف شیشه کاربرد فراوانی در صنایع هوافضا و ساخت قطعات کامپوزیتی مهندسی مثل سازه‌های هوایی و تقویت‌سازه‌ها فلزی و بتنی دارد. در این تحقیق، الیاف شیشه تک جهته ۲۸۰گرمی (گرم/متر مربع)، تک جهته از نوع اس-گلس، با عرض ۵۰ سانتی‌متر مطابق شکل (۲) استفاده شد. الیاف‌های شیشه تارهای بسیار باریک از جنس شیشه با قطر ثابت (حدود ۵ تا ۲۵ میکرون) و طول نامحدود هستند. از مهم‌ترین ویژگی‌های الیاف شیشه می‌توان به بالا بردن مقاومت کششی و تقویت کامپوزیت‌ها اشاره کرد، همچنین قیمت مناسب‌تری نسبت به الیاف کربن دارند.

شکل۲- الیاف شیشه تک جهته ۲۸۰گرمی UD برای ساخت صفحه کامپوزیتی

ساخت نمونه تیرهای کامپوزیتی به روش لایه گذاری دستی انجام گرفت. هر ورق درمجموع شامل چهار لایه‌ی الیاف شیشه تک جهته‌ی ۲۸۰ گرمی بود که تمامی لایه‌ها با زاویه‌ی صفر درجه بر روی یکدیگر قرار گرفتند. برای یکنواختی و صاف بودن سطح زیرین و جدا شدن آسان کامپوزیت، از شیشه به‌عنوان سطح زیرین آن استفاده شد. برای جدایش راحت‌تر، شیشه به واکس جداکننده مخصوص آغشته شد. سپس لایه گذاری الیاف شیشه آغاز شد. پس از چیدن هر لایه، الیاف با رزین آغشته شدند تا چهار لایه پایان یافت. سپس روی آن‌ها یک لایه‌ی آستری مخصوص و یک لایه‌ی نمد رزین‌گیر قرار گرفت. درنهایت یک وزنه صاف بر روی آن گذاشته شد تا رزین اضافه از آن خارج شود و افزایش نسبت الیاف به رزین و بهبود خواص مکانیکی تحت فشار صورت گیرد. برای ساخت نمونه دارای نانو ذرات اکسید روی، به‌جای رزین از رزین شامل نانو ذرات استفاده شد. حمام آلتراسونیک با توان ۹۰ وات برای همگن کردن ذرات نانو اکسید روی در ترکیب رزین اپوکسی/نانو ذرات اکسید روی که در شکل (۳) مشاهده می‌کنید مورد استفاده قرار گرفت. ۳۵۰ گرم رزین اپوکسی و ۱٪ وزنی نانو اکسید روی معادل ۳/۵ گرم با هم همگن شدند. این کار ۳ مرتبه هر نوبت ۴۵ دقیقه انجام شده است.

شکل۳- حمام آلتراسونیک

همزن مغناطیسی مطابق شکل (۴) با توجه به‌این که دارای گرمکن می‌باشد ماده را رقیق‌تر کرده و باعث بهتر همگن شدن ترکیب رزین اپوکسی/نانو ذره اکسید روی می‌شود. ۳۵۰ گرم رزین اپوکسی و ۱٪ وزنی نانو اکسید روی معادل ۳/۵ گرم با هم همگن شدند. این‌کار ۳ مرتبه هر نوبت ۱۵ دقیقه انجام شده است.

شکل ۴- همزن مغناطیسی

۳- آزمون کمانش

این آزمایش توسط دستگاه آزمایشگاهی سنتام ۶۰ تن که در شکل (۵) نشان داده شده است انجام شد. به‌منظور اعمال فشار بر نمونه‌ها، از دو فک

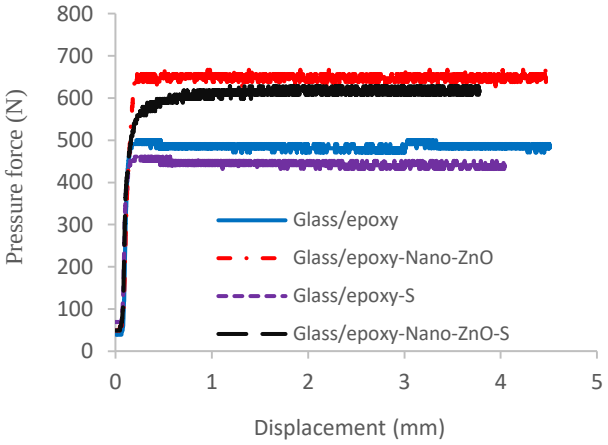
ساخته شده در بالا و پایین تیرهای کامپوزیتی استفاده شد. تیرها تحت شرایط مرزی دوسرگیردار قرار گرفتند. آزمون کمانش با بار محوری فشاری بر روی ۳ نمونه برای هر چهار حالت کامپوزیت شیشه/اپوکسی، کامپوزیت شیشه/اپوکسی حاوی ۱٪ نانو ذرات اکسید روی قبل و بعد از تابش نور خورشید انجام شد. جهت تابش نور خورشید به نمونه‌ها، از دستگاه شتاب‌دهنده‌ی شرایط محیطی AWS300 ساخت شرکت نانوشات در ایران استفاده شد شکل (۶). نمونه‌ها در این دستگاه به مدت زمان ۲۴ ساعت معادل ۳۰ روز قرار گرفتند.

در شکل (۷) نمودار نیرو - جابه‌جایی برای تیرهای کامپوزیتی شیشه/اپوکسی (Glass/epoxy)، شیشه/اپوکسی حاوی نانو ذرات اکسید روی (Glass/epoxy-Nano-ZnO)، شیشه/اپوکسی بعد از تابش نور خورشید (Glass/epoxy-S) و شیشه/اپوکسی حاوی نانو ذرات اکسید روی بعد از تابش نور خورشید (Glass/epoxy-Nano-ZnO-S) قابل مشاهده می‌باشد.

میانگین بار بحرانی کمانش به‌دست آمده از این نمونه‌ها در جدول (۱) قابل مشاهده می‌باشد. در این جدول بار بحرانی کمانش برای حالت کامپوزیت شیشه/اپوکسی برابر با ۴۳۱/۷ می‌باشد. بار بحرانی کمانش در حالت کامپوزیت شیشه/اپوکسی حاوی ۱٪ نانو ذرات اکسید روی با حدود ۴۰٪ افزایش برابر با ۶۰۱/۷ می‌باشد. همچنین بعد از تابش نور خورشید نیز بار بحرانی کمانش برای نمونه‌ی حاوی نانو ذرات حدود ۳۰٪ افزایش را نشان می‌دهد.

شکل ۵- کمانش تیرهای کامپوزیتی تحت بارگذاری فشاری

شکل ۶- دستگاه شتاب‌دهنده‌ی شرایط محیطی جهت شبیه‌سازی تابش نور خورشید



شکل ۷- نمودار نیرو- جابه‌جایی تیرهای کامپوزیتی شیشه/اپوکسی، شیشه/اپوکسی حاوی ۱٪ نانو ذرات اکسید روی، قبل و بعد از تابش نور خورشید

جدول ۱- بار بحرانی کمانش برای تیرهای کامپوزیتی ساخته شده

نام نمونه‌های کامپوزیتی	میانگین	افزایش درصد بهبود
شیشه/اپوکسی	۴۳۱/۷	٪۰
شیشه/اپوکسی بعد از تابش نور خورشید	۴۲۱/۷	٪ -۲/۳
شیشه/اپوکسی حاوی نانو ذرات ٪۱	۶۰۱/۷	٪ ۳۹/۴
شیشه/اپوکسی حاوی نانو ذرات ٪۱ بعد از تابش نور خورشید	۵۵۹/۹	٪ ۲۹/۵

۴- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از نمودار نیرو –جابه‌جایی در آزمون کمانش نشان داد که افزودن ۱٪ وزنی نانو ذرات اکسید روی به رزین اپوکسی تیر کامپوزیتی از جنس شیشه/اپوکسی، باعث افزایش بار بحرانی کمانش برای تیر می‌شود. می‌توان گفت توزیع مناسب نانو ذرات اکسید روی در زمینه منجر به افزایش سطح تماس بین ذرات اکسید روی و زمینه پلیمری کامپوزیت شیشه/اپوکسی گردیده است و مدول الاستیسیته و مقاومت تیر کامپوزیتی را در برابر بارهای اعمالی افزایش داده است. همچنین نمونه‌ی حاوی نانوذرات مقاومت خوبی در برابر نور خورشید از خود نشان داد. میزان بار بحرانی کمانش در این نمونه بعد از ۳۰ روز تابش معادل نور خورشید تنها ۱۰٪ کاهش را نشان می‌دهد.

۵- مراجع

[1] Z. Aslan, F. Daricik, Effects of multiple delaminations on the compressive, tensile, flexural, and buckling behaviour of E-glass/epoxy composites, Composites Part B: Engineering, vol. 100, pp. 186-196, 2016.

[2] P. Jeyaprakash, V. Prabhakaran, Experimental and Numerical Analysis of Carbon Epoxy Fibre Composite under Buckling Load, Materials Today: Proceedings, vol. 5, pp. 14526-14530, 2018.

[3] H.R. Sabermanesh, M. Ghannad, and S.M. Hossein Farrash, Effect of adding carbon nanotubes into the matrix material on the buckling behavior of glass/epoxy composite plates: An experimental study. Amirkabir Journal of Mechanical Engineering, vol. 53(4 (Special Issue)), pp.12-12. 2021.

[4] S. Y. Hussain Abdalkarim, Hou-Yong Yu, Chuang Wang, Sheet-like Cellulose Nanocrystal-ZnO Nanohybrids as Multifunctional Reinforcing Agents in Biopolyester Composite Nanofibers with Ultrahigh UV-Shielding and Antibacterial Performances, No. 3, pp. 714-727, 2018.

[5] M. N. Uddin, J. M. George, Investigating the effects of UV light and moisture ingression on low-impact resistance of three different carbon fiber–reinforced composites, Advanced Composites and Hybrid Materials, vol. 2(4), pp.701-710, 2019.

[6] R. Jeyakumar, R. Ramamoorthi, K. Balasubramanian, Mechanical and wear characteristics of glass fiber reinforced modified epoxy nano composites – A review, Materials Today: Proceedings, vol. 37, pp. 901-907, 2020.

[7] Lixiang Ma, J. Zhang, Covalent functionalization of aramid fibers with zinc oxide nano-interphase for improved UV resistance and interfacial strength in composites, Composite Science and Technology, vol. 188, pp. 107996, 2020.

[8] Prashant S. Hatti, Sampath Kumar L., Anupama B. Somanakatti, Rakshith M., Investigation on tensile behavior of glass-fiber reinforced polymer matrix composite with varying orientations of fibers, Materials Today: Proceedings, vol. 54, pp. 137-140, 2020.

[9] Ali khalid M.A. Al-Dulaimy, Mohammed O. Atteaa Al-hassany, Safa waleed shakir, The effect of unidirectional pre-load on tensile characteristics of E-glass fiber and epoxy composite, Materials Today: Proceedings, vol. 42, pp. 2510-2515, 2021.

[10] H. Liu, Dechao Hu, Wenshi Ma, Cinnamic acid-functionalized ZnO nanoparticles for constructing UV-shielding and mechanically robust polyvinyl butyral composites, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, vol. 629, p. 124338, 2021.

[11] Lixiang Ma, J. Zhang, C. Teng, Covalent functionalization of aramid fibers with zinc oxide nano-interphase for improved UV resistance and interfacial strength in composites, Composite Science and Technology, vol. 188, p. 107996, 2020.

[12] M.S. Goyat, A. Hooda, T. K. Gupta, K. Kumar, S. Halder, P. K. Ghosh, B. S. Dehiya, Role of non-functionalized oxide nanoparticles on mechanical properties and toughening mechanisms of epoxy nanocomposites, Ceramics International, vol. 47, pp. 22316-22344, 2020.