



بررسی تجربی خزش در کامپوزیت‌های پلیمری فنولیک تقویت شده با الیاف بازالت

سید محمدرضا خلیلی^{۱*}، رضا اسلامی فارسانی^۲، علی دستمرد^۳، علی سعیدی^۴

۱- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، مرکز تحقیقات مواد و سازه‌های پیشرفته و هوشمند، تهران

۲- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، مرکز تحقیقات مواد و سازه‌های پیشرفته و هوشمند، تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد واحد جنوب، تهران

۴- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، مرکز تحقیقات مواد و سازه‌های پیشرفته و هوشمند، تهران

* تهران، صندوق پستی ۴۳۳۴۴-۱۹۹۹۱، smrkhalili2005@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت: شهریور ۹۳	رفتار کامپوزیت‌ها تحت اثر بار مکانیکی و دما در مدت زمان عملکرد، یکی از زمینه‌های مهم تحقیقات در حوزه مواد مرکب می‌باشد، چرا که پاسخ خزشی کامپوزیت‌ها بر عمر و عملکرد آن‌ها در طول دوره استفاده به‌صورت چشمگیری تاثیر گذار است. در تحقیقات صورت گرفته در زمینه خزش کامپوزیت‌های پلیمری، کامپوزیت تقویت شده با الیاف بافته شده بازالت کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله رفتار خزشی کامپوزیت رزین فنولیک تقویت شده با پارچه بافته شده از الیاف بازالت به‌صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. دو نوع پارچه بافته شده از الیاف بازالت با بافت ساده (Plane weave) و بافت اطلسی (Satin weave) برای آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی اثر دما و تنش بر رفتار خزشی کامپوزیت تقویت شده با الیاف بازالت، نمونه‌های کامپوزیتی در سه دمای مختلف ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد و همچنین دو بارگذاری مکانیکی با مقادیر ۳/۸ و ۶/۵ مگاپاسکال تحت آزمایش قرار گرفتند. مقایسه نتایج نشان داد نرخ کرنش در کامپوزیت‌های با بافت اطلسی نسبت به نمونه‌های با بافت ساده کاهش یافته است و این میزان کاهش تا حدود ۶۸٪ در دمای ۲۰۰ درجه به‌دست آمد. همچنین پارامترهای دیگر نظیر عمر و مکانیزم گسیختگی کامپوزیت‌ها مورد بررسی قرار گرفت.
پذیرش: آبان ۹۳	
کلیدواژگان: خزش کامپوزیت پلیمری الیاف بازالت	

Experimental investigation of creep behavior in Phenolic based polymer composites

Seyed Mohamad Reza Khalili^{1*}, Reza Eslami Farsani¹, Ali Dastmard², Ali Saedi¹

1- Department of Mechanical Engineering, K.N. Toosi university of technology, Tehran, Iran.

2- MSC Student, Islamic azad university, Tehran, Iran

*P.O.B. 19991-43344, Tehran, Iran, smrkhalili2005@gmail.com

Keywords

Creep
Polymeric composites
Basalt fiber

Abstract

The behavior of composite structures under applied loads and temperatures is one of the most important topics of research in composite materials. The creep properties of composite materials have very important effect on the behavior of the structure during life time. Among various investigations on creep behavior of polymeric composites, Basalt fiber reinforced polymers has been rarely investigated. In the present paper the creep of basalt/polymer composites with two different types of basalt woven including plane weave and satin weave are experimentally investigated. Creep tests were performed at three different temperatures: 100, 150 and 200 °C and also two mechanical stresses including 3.8 and 6.5 MPa. The results showed that strain rate in satin wave is reduced by 68% at 200 °C in comparison with the plane weave. Moreover, some other parameters such as failure mechanism and creep life of specimens were investigated.

۱- مقدمه

نظیر خواص استاتیکی، دینامیکی، خستگی، تخریب و مواردی مشابه صورت گرفته است. یکی از زمینه‌های مهم تحقیقات حوزه کامپوزیت‌ها، پاسخ این مواد به بارگذاری‌های اعمالی در طول زمان و تحت دماهای بالا می‌باشد. خزش در کامپوزیت‌های پلیمری در هر دمایی حتی در دمای پایین به علت تغییر شکل ویسکوالاستیک زمینه ممکن است اتفاق بیفتد، اگر چه بطور عادی در این دما الیاف دچار خزش نمی‌شوند. رفتار خزشی کامپوزیت‌ها

کامپوزیت‌های پایه پلیمری بخش مهمی از کامپوزیت‌ها می‌باشند که در سال‌های اخیر کاربردهای متنوعی را در صنایع مختلف از جمله صنایع هوا فضا، خودروسازی، حمل و نقل، ساختمان و مواردی این‌چنین را به خود اختصاص داده‌اند. به جهت کاربردهای فراوان این کامپوزیت‌ها در صنایع مختلف، تحقیقات وسیعی نیز در زمینه مشخصه‌سازی خواص مختلف آن‌ها،

Please cite this article using:

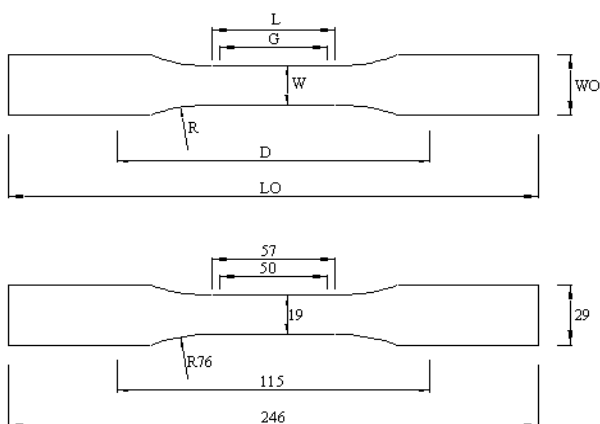
Khalili, S.M.R. Eslami Farsani, R. Dastmard, A. and Saedi, A., "Experimental investigation of creep behavior in Phenolic based polymer composites" Journal of Science and Technology of Composite, Vol. 1, No. 2, pp. 37-42, 2015.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

مختلف ۲۵، ۵۰ و ۸۰ درجه اندازه‌گیری شده‌اند. رن و همکاران [۸]، رفتار خزشی کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده را برای بررسی پایداری مورد کاوش قرار دادند. ایشان نتیجه گرفتند افزایش دما و یا رطوبت، مقاومت خزشی و مدت زمان گسیختگی را کاهش می‌دهد. همچنین در دمای اتاق تنش گسیختگی خزشی در ارتباط با سیالات روغنی (روغن موتور، روغن ترمز) آب و سیالات پایه آب (آب نمک، ضدجوش و ضد یخ) و اسید باتری (فرو بردن و چرب کردن) کاهش می‌یابد. مقاومت خزشی و زمان گسیختگی اندکی بوسیله ارتعاش کاهش می‌یابد، اما توسط نیروهای دوره‌ای با فرکانس پایین مقاومت خزشی و زمان گسیختگی بطور آشکار افت پیدا می‌کند. هوشیار و همکاران [۹] بر روی رفتار خزش کششی کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن تقویت شده با الیاف پلی‌پروپیلن کار کردند. ایشان نشان دادند که الیاف بلند پلی‌پروپیلن در داخل ماتریس پروپیلن همراه اتیلن، مقاومت خزشی و مدل الاستیسیته کامپوزیت را در مقایسه با ماتریس‌های پلیمری بهبود بخشیده است. ماتریس پلی‌پروپیلن به همراه اتیلن دارای بیشترین خزش (۹۰ درصد) می‌باشد، در حالیکه هنگامیکه الیاف پلی‌پروپیلن به ماتریس اضافه شده است خزش کمتری (۱۰ درصد) را نشان می‌دهد. همچنین با افزایش نیروها در دمای اتاق تغییر شکل خزشی کامپوزیت نیز افزایش یافته است. پاپانیکولا و همکاران [۱۰] پژوهشی در زمینه تاثیر جهت الیاف کربن پیوسته در رفتار ویسکوالاستیک غیرخطی کامپوزیت‌های زمینه اپوکسی ارائه دادند. ایشان از معادله ساختاری غیرخطی برای توصیف رفتار ویسکوالاستیک غیرمحوری مواد کامپوزیتی کربنی استفاده نمودند. کاوایی و همکاران [۱۱] بر روی خزش کششی غیر محوری در کامپوزیت پلیمری تقویت شده با الیاف کربن در دمای بالا مطالعه نمودند. نمودارهای تنش کرنش کامپوزیت هنگامیکه الیاف با زاویای ۱۰ تا ۹۰ درجه جهت داده شده اند، به دست آمده است. نشان داده شده است که با افزایش زاویه الیاف مدول یانگ و تنش شکست کاهش می‌یابند. همچنین مقاومت گسیختگی خزش غیرمحوری هنگامی که زاویه جهت‌گیری الیاف زیاد است کاهش می‌یابد. گیدس و همکاران [۱۲] پیش بینی طول عمر کامپوزیت‌های پلیمری تحت نیروی ثابت یکنواخت را مورد بررسی قرار داد. نمونه‌ها شامل دو نوع الیاف شیشه خرد شده و جهت‌گیری تصادفی و همچنین الیاف پیوسته کربن و ماتریس پلی‌یورتان می‌باشند. گورتزن و همکاران [۱۳] رفتار خزشی کامپوزیت‌های زمینه اپوکسی با الیاف کربن را مورد توجه قرار دادند. ایشان آزمایش‌های کشش و پیچش را برای بررسی رفتار خزشی کامپوزیت بر روی نمونه‌ها انجام دادند. فراس و همکاران [۱۴] به مطالعه رابطه بین طول عمر کامپوزیت تحت خزش و نرخ تنشی ثابت برای کامپوزیت‌های پلیمری پرداختند. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که نمودارهای تنش-زمان گسیختگی تحت نرخ تنشی ثابت شکل یکسانی دارند. پراساد و همکاران [۱۵] تأثیرات دما بر روی رفتار خزشی کامپوزیت با الیاف نمد شکل شیشه مورد مطالعه قرار دادند. آزمایش‌های خزشی با تنش در محدوده‌ی ۲۰ تا ۶۰ مگاپاسکال و دمای ۹۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد انجام شده است. نتایج نشان می‌دهند که نمی‌توان از کرنش ویسکوالاستیک در شرایط دما و تنش بالا صرف نظر نمود. پیش‌بینی‌های مدل، انطباق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی در اکثر سطوح دمایی و تنشی دارند. در نهایت نتایج مشخص می‌کنند که این نوع کامپوزیت‌ها نمی‌بایست در تنش بالاتر از ۶۰ مگاپاسکال بویژه اگر سرویس کاری دمای بالاتر از ۶۵ درجه سانتی‌گراد دارد به کار گرفته شوند. اسپاتیس و همکاران [۱۶] یک مدل تحلیلی بر اساس مسیرهای ویسکوالاستیک در کرنش‌های کوچک و

بطور کلی متاثر از هندسه و خصوصیات مواد سازنده و اجزاء متشکله آن‌ها است.

ویژگی‌های خزشی کامپوزیت‌ها در سال‌های اخیر توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته است. هوگو و همکاران [۱] خزش و آسیب خزشی کامپوزیت پلی‌پروپیلن تقویت شده با الیاف شیشه را مورد بررسی قرار دادند. ایشان آزمایش‌های تجربی بر روی نمونه‌ها را در دماهای مختلف و سطوح تنش متفاوت انجام دادند. نتایج نشان داد که خزش و گسیختگی خزشی بوسیله مکانیسم خزش حالت پایدار پلی‌پروپیلن کنترل می‌شوند. همچنین دریافتند مکانیسم خزش غیر قابل بازیافت پلی‌پروپیلن در حضور الیاف شیشه بدون تغییر باقی می‌ماند و تفاوت بین خزش پلی‌پروپیلن و کامپوزیت زمینه پلی‌پروپیلن اندک است. راگوان و میشی [۲] پیش بینی گسیختگی خزشی کامپوزیت پلیمری اپوکسی تقویت شده با الیاف کربن تک جهته را مورد بررسی قرار دادند. ایشان پیش بینی گسیختگی خزشی کامپوزیت را در دمای نزدیک به دمای شیشه ای شدن (T_g) مورد بررسی قرار دادند. نمودارهای مدل خزشی پیش بینی شده با نتایج خزش آزمایشگاهی در محدوده دمای مورد بررسی تطابق خوبی را نشان داد. همچنین تطابق بسیار خوبی بین انرژی فعالسازی بدست آمده از مدل عددی و نتایج آزمایشگاهی وجود دارد. بتگیت و همکاران [۳] تأثیر دما را بر روی رفتار خزشی کامپوزیت‌های وصله شده مورد توجه قرار دادند. آزمایش‌های خزش در دماهای مختلف انجام گرفت و نتایج نشان دادند که تغییر شکل خزشی پس از وصله کردن کامپوزیت در جهت ضخامت بطور چشمگیری بهبود یافته و گسیختگی خزشی و مقاومت خزشی کامپوزیت افزایش می‌یابد. تای و همکاران [۴] بر روی رفتار خزشی کامپوزیت ۴ لایه‌ای پلی‌پروپیلن تقویت شده با الیاف کربن بازوایه ۴۵ درجه کار مطالعاتی انجام دادند. خصوصیات کششی کامپوزیت در دمای بالا اندازه‌گیری شده و شکل شناسی شکست در دمای بالا بوسیله‌ی واری میکروسکوپ الکترونی پژوهش شده است. ایشان دریافتند که رفتار خزشی کامپوزیت ۴ لایه‌ای ۴۵ درجه، تغییرات غیرخطی با تنش و دما را نشان می‌دهند. تأثیر نواقص در رفتار خزشی در کامپوزیت‌های پلیمری با الیاف بافته شده گرافیت در دمای بالا توسط گویندراجان و همکاران [۵] مورد بررسی قرار گرفت. رفتار کرنش خزشی با دو کسر حجمی مختلف ۴۰ درصد و ۶۰ درصد با یکدیگر مقایسه شده اند. نشان داده شد که با افزایش الیاف، کرنش خزشی به میزان چشمگیر ۱۸ درصد کاهش می‌یابد. همچنین تأثیر حفره‌های موجود در زمینه در دو دما مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که در کسرهای حجمی کمتر حفره‌ها، کرنش‌های خزشی و الاستیک کمتری ایجاد می‌شوند. فیاپنگ و همکاران [۶] مدلی برای پیش بینی خزشی کامپوزیت‌های الیافی بافته شده و کامپوزیت‌های وصله شده ارائه کردند. ایشان فرض کردند که الیاف کربن در محدوده الاستیک باقی می‌مانند و ماتریس به صورت ویسکو الاستیسیته خطی رفتار می‌کند. نشان داده شده است که مدل ارائه شده برای هر دو نوع کامپوزیت بافته شده معمولی و کامپوزیت با وصله، با نتایج آزمایشگاهی همخوانی دارد. نتایج نشان دادند که کامپوزیت‌های وصله شده نیازمند تنش بالاتر و مدت زمان بیشتر برای غالب شدن کرنش خزشی نسبت به کامپوزیت‌های معمولی وصله نشده می‌باشند. گسیختگی خزشی کامپوزیت شیشه / پلی‌استر در دمای بالا توسط پیاش و همکاران [۷] مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیقات ایشان رفتار کششی و فشاری کامپوزیت تحت بار ثابت در درجه حرارت بالا ارائه شده است. تغییر شکل حرارتی وابسته به زمان و تنش‌های واماندگی در سه درجه حرارت



شکل ۱ شکل هندسی و ابعاد نمونه مورد آزمایش [۲۱]

۲-۲- انجام آزمایش خزش

آزمایش‌های مکانیکی توسط دستگاه آزمایش خزش انجام گرفت. دمای آزمایشگاه بین 25°C تا 27°C ثابت شد. میزان افزایش طول نمونه‌ها تحت دما و بارگذاری، با فواصل $1/100$ میلی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. انجام آزمایش در دو حالت بارگذاری با مقادیر تنش وارده $3/8$ مگاپاسکال و $6/5$ مگاپاسکال و تحت سه دمای مختلف 100°C ، 150°C و 200°C انجام شده است. شکل ۲ تجهیزات انجام آزمایش را نمایش می‌دهد. هر نمونه آزمایش در محفظه هم دمای دستگاه قرار داده می‌شود و سپس جهت انجام آزمایش خزش، تحت تنش ثابتی برابر با $3/8$ یا $6/5$ مگاپاسکال قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری کرنش توسط دستگاه آزمایش خزش انجام پذیرفت. بدین صورت که برای اندازه‌گیری کرنش، تغییر طول‌های به دست آمده از دستگاه بر طول اولیه نمونه‌ها تقسیم شده و کرنش خزشی در دماهای مختلف و در هر زمان اندازه‌گیری گردید.



شکل ۲ تجهیزات مورد استفاده برای آزمایش خزش

۳- نتایج

پس از انجام آزمایش بر روی نمونه‌ها، داده‌های کرنش بر حسب زمان از دستگاه استخراج گردید. نمونه‌های کامپوزیتی تا گسیختگی کامل تحت بارگذاری قرار داده شدند. شکل ۳ نمونه‌های با بافت ساده را پس از گسیختگی نمایش می‌دهد.

مسیرهای ویسکوپلاستیک در کرنش‌های بزرگ ارائه دادند. ایشان پارامترهای مدل را با آزمایش بر روی مواد پلیمری و کامپوزیت‌های پلیمری مورد بررسی قرار دادند و به تطابق خوبی با نتایج آزمایش دست یافتند. ندجار [۱۷] مدلسازی گسیختگی خزشی را در کامپوزیت‌های پلیمری با الیاف تک جهت مورد بررسی قرار داد. مدل ایشان بر اساس رفتار پلاستیک فصل مشترک الیاف و زمینه پایه‌گذاری شد. مدل توسعه داده شده توانایی پیش‌بینی عمر خزشی کامپوزیت‌های پلیمری را داراست. اخیراً رفیعی و مظهری [۱۸] به بررسی روش‌های مختلف پیش‌بینی خزش در کامپوزیت‌های پایه پلیمری از قبیل روش‌های تجربی، نیمه تجربی، اجزاء محدود، بر هم نهی و رئولوژی‌کال پرداخته و با مقایسه تطبیقی روش‌های موجود، نحوه مناسب پیش‌بینی عمر خزشی در کامپوزیت‌های پلیمری را مورد توجه قرار دادند. رفتار خزشی در کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده توسط ذرات نانو نیز در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. خسروچردی و همکاران [۱۹] تاثیر افزودن نانوذرات کربنات کلسیم را بر رفتار خزشی کامپوزیت پلی‌اتیلن مورد بررسی قرار دادند. همچنین مدلسازی اجزاء محدود خزش در نانوکامپوزیت‌های پلیمری توسط شاه‌آبادی و همکاران مورد توجه قرار گرفت [۲۰].

همانگونه که ذکر شد، در پژوهش‌های انجام شده تا کنون کمتر به بررسی رفتار کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف بازالت پرداخته شده است و مطالعه بر روی کامپوزیت پلیمری فنولیک با الیاف بازالت بسیار محدود است. از این رو در این مقاله رفتار خزشی کامپوزیت پلیمری فنولیک با الیاف بازالت به صورت تجربی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مشخصه سازی تجربی

۲-۱- ساخت نمونه‌ها

برای ساخت کامپوزیت از زمینه رزین فنولیک و پارچه بافته شده از جنس الیاف بازالت استفاده شد. جدول ۱ خصوصیات مکانیکی رزین و الیاف را نمایش می‌دهد.

جدول ۱ ویژگی‌های مکانیکی رزین فنولیک و الیاف بازالت

ماده	خواص فیزیکی مکانیکی
رزین فنولیک	ویسکوزیته: 320 cp
	وزن مخصوص: 1.25 kg/m^3
	استحکام کششی: 98 MPa
	استحکام خمشی: 177 MPa
پارچه بازالت	مدول خمشی: 6 GPa
	چگالی: 2.7 kg/m^3
	نقطه ذوب: 1350°C
	مدول یانگ: 84-87 GPa

دو نوع پارچه با بافت ساده و بافت اطلسی استفاده گردید. پارچه‌ها با زاویه 45° درجه نسبت به راستای طولی نمونه قرار داده شدند. ساخت نمونه‌ها به روش لایه‌چینی دستی انجام گرفت. تعداد لایه‌های بازالت در نمونه‌ها پنج لایه بوده و کسر حجمی الیاف در کامپوزیت ۲۳ درصد بدست آمد. ابعاد و شکل نمونه مورد استفاده در آزمایش مطابق استاندارد ASTM D638 به صورت شکل ۱ می‌باشد [۲۱].

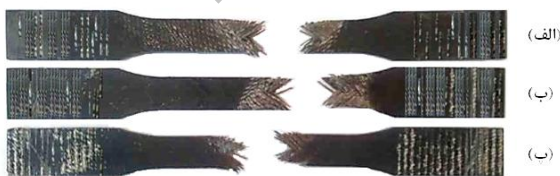
جدول ۲ نتایج آزمایش خزش برای نمونه‌های با بافت ساده

زمان گسیختگی (دقیقه)	نرخ کرنش $\frac{\Delta \epsilon}{\Delta t}$	زمان تاخیر (دقیقه)	تنش وارده (مگاپاسکال)	دما (°C)
۵۷	۰/۰۶۹	۳۰	۳/۸	۱۰۰
۴۴	۰/۰۸۱۷	۱۷	۶/۵	۱۰۰
۴۳	۰/۰۹۱۳	۱۵	۳/۸	۱۵۰
۳۷/۵	۰/۰۹۱۸	۱۱	۶/۵	۱۵۰
۱۸/۵	۰/۲۳۸۳	۶	۳/۸	۲۰۰
۱۴/۵	۰/۲۵۰۰	۴	۶/۵	۲۰۰

با توجه به نتایج مشخص است که در دمای ثابت با افزایش تنش، زمان گسیختگی و زمان تاخیر کاهش یافته و آهنگ کرنش خزشی افزایش می‌یابد. همچنین در تنش ثابت با افزایش دما، زمان گسیختگی و تاخیر زمانی قطعه کاهش یافته و آهنگ کرنش افزایش می‌یابد.

با بررسی سطح نمونه‌ها مشخص است که در لایه‌های سطحی (لایه‌های ۱ و ۵ در طرفین نمونه) الیاف زودتر گسیخته می‌شوند و سپس لایه‌های ۲ و ۴ و در نهایت لایه ۳ که دقیقاً در وسط این کامپوزیت قرار دارد دچار گسیختگی می‌شوند. در ابتدای بارگذاری، تنش توسط الیاف هر ۵ لایه تحمل می‌گردد. پس از قرار گرفتن در معرض حرارت، دما بر روی لایه‌های خارجی اثر کرده و باعث تسلیم این لایه‌ها می‌گردد. در این حالت تعداد کمی از الیاف لایه‌های بیرونی نیروی اعمالی را تحمل می‌کنند. از این رو بیشتر تنش اعمالی بر روی لایه‌های ۲ و ۴ قرار می‌گیرد. حال بعد از گسیخته شدن لایه‌های ۱ و ۵ حرارت بیشتری می‌تواند به لایه‌های میانی نفوذ کند و لایه‌های ۲ و ۴ نیز در معرض حرارت بالاتری قرار می‌گیرند. بعد از آنکه لایه‌های ۲ و ۴ نیز به مرز تسلیم می‌رسند، لایه میانی یعنی لایه ۳ تمامی تنش اعمالی را تحمل می‌کند و در نهایت پس از تسلیم این لایه، گسیختگی نهایی رخ می‌دهد. علاوه بر الیاف بازالت، زمینه نیز نقش مهمی در رفتار خزشی کامپوزیت ایفا می‌کند. آزمایش‌ها نشان دادند که در هر سه دمای بکار برده شده (۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ درجه سانتیگراد) رزین مقاومت خوبی را از خود نشان داده است. بدین معنی که هرگز سیال و روان نشده و حالت خود را در طول آزمایش‌ها حفظ کرده است.

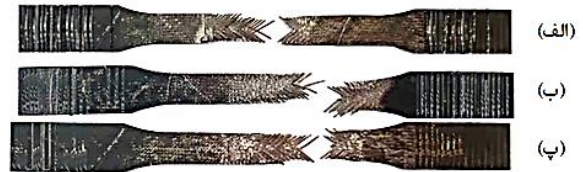
آزمایش‌های مشابهی بر روی نمونه‌های ساخته شده توسط الیاف بازالت با بافت اطلسی انجام گرفت. شکل ۷ نمونه‌های تولید شده با پارچه بافته شده اطلسی را پس از گسیختگی نمایش می‌دهد.



شکل ۷ نمونه‌های کامپوزیتی با بافت اطلسی پس از آزمایش در سه دمای

(الف) ۱۰۰، (ب) ۱۵۰، (پ) ۲۰۰ درجه سانتیگراد

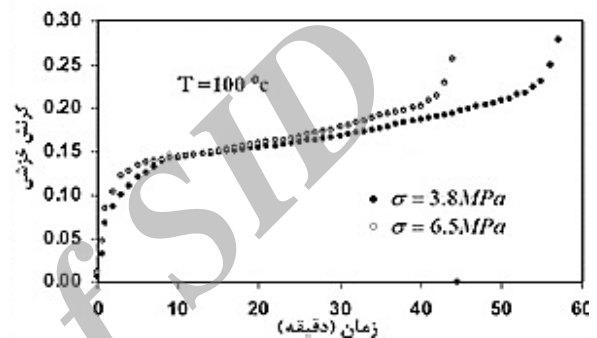
نمودار کرنش بر حسب زمان در طول بارگذاری برای نمونه‌های با بافت اطلسی در شکل ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است. جدول ۳ نرخ کرنش محاسبه شده برای نمونه‌های کامپوزیتی را نمایش می‌دهد.



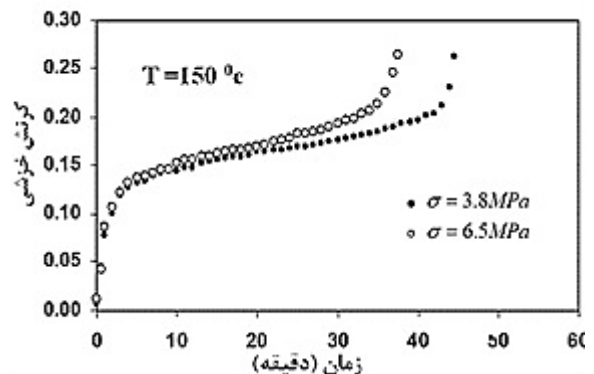
شکل ۳ نمونه‌های کامپوزیتی با بافت ساده پس از آزمایش در سه دمای

(الف) ۱۰۰، (ب) ۱۵۰، (پ) ۲۰۰ درجه سانتیگراد

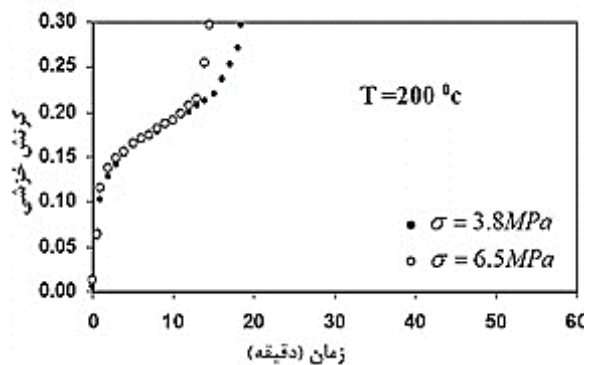
نمودار کرنش بر حسب زمان در طول بارگذاری برای نمونه‌های با بافت ساده در شکل ۴ تا ۶ نشان داده شده است. نرخ کرنش برای نمونه‌ها در دماها و بارگذاری‌های مختلف در جدول ۲ محاسبه و نشان داده شده است.



شکل ۴ نمودار کرنش خزشی بر حسب زمان برای دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد- نمونه با بافت ساده



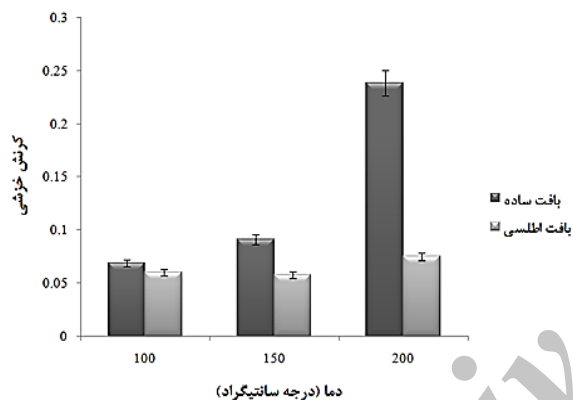
شکل ۵ نمودار کرنش خزشی بر حسب زمان برای دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد نمونه با بافت ساده



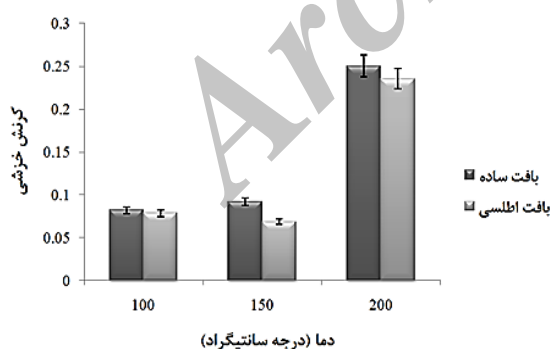
شکل ۶ نمودار کرنش خزشی بر حسب زمان برای دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد نمونه با بافت ساده

نتایج نشان می‌دهند که مشابه نمونه‌های با بافت ساده، در دمای ثابت با افزایش تنش، زمان گسیختگی و زمان تاخیر کاهش یافته و آهنگ کرنش خزشی افزایش می‌یابد. همچنین در تنش ثابت با افزایش دما زمان گسیختگی و تاخیر زمانی قطعه کاهش یافته و آهنگ کرنش افزایش می‌یابد. سطح گسیخته شده قطعات نشان می‌دهد بر خلاف الیاف پارچه‌ای بافت ساده، که هر لایه در زمان متفاوتی گسیخته می‌شود، الیاف پارچه‌ای اطلسی تقریباً در یک زمان گسیخته می‌شوند. این بدان معنی است که تمامی الیاف در ۵ لایه تحت تنش تقریباً برابری قرار دارند، در حالی که در الیاف پارچه بافت ساده اینگونه نیست. نکته دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد این است که کامپوزیتی که با الیاف بافت اطلسی ساخته شده است در مقایسه با آزمایش مشابه آن با کامپوزیت با الیاف بافت ساده نرخ کرنش کمتری را نشان می‌دهد و زمان گسیختگی آن نیز بیشتر است.

برای مقایسه رفتار نرخ کرنش نمونه‌های با بافت ساده و بافت اطلسی، نمودار نرخ کرنش این نمونه‌ها در تنش ۳/۸ مگاپاسکال در شکل ۱۱ و برای تنش ۶/۵ مگاپاسکال در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.

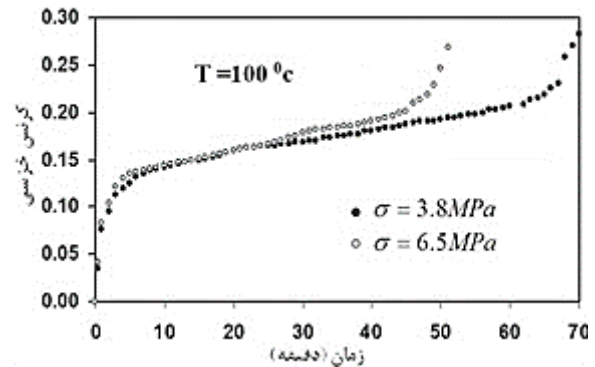


شکل ۱۱ مقایسه نتایج نرخ کرنش برای نمونه‌های با بافت ساده و بافت اطلسی در تنش ۳/۸ مگاپاسکال

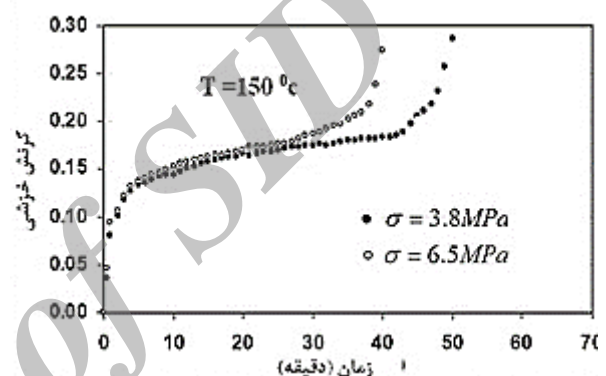


شکل ۱۲ مقایسه نتایج نرخ کرنش برای نمونه‌های با بافت ساده و بافت اطلسی در تنش ۶/۵ مگاپاسکال

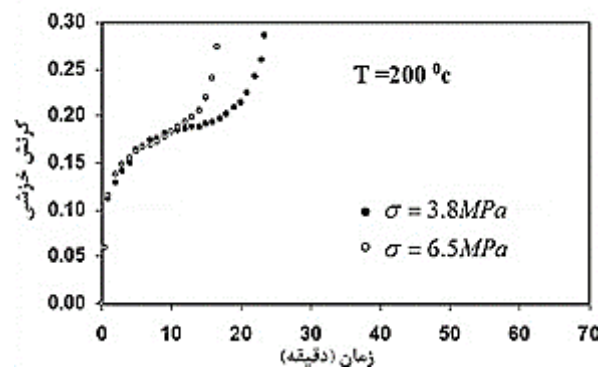
با توجه به نمودار ۱۱ مشخص است که در تنش ۳/۸ مگاپاسکال و در هر سه دما نرخ خزش نمونه‌های بافت اطلسی پایین از نمونه‌های بافت ساده می‌باشد. تفاوت در نرخ کرنش در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در این دما نرخ کرنش نمونه‌های با بافت اطلسی ۶۸٪



شکل ۸ نمودار کرنش خزشی بر حسب زمان برای دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد نمونه با بافت اطلسی



شکل ۹ نمودار کرنش خزشی بر حسب زمان برای دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد نمونه با بافت اطلسی



شکل ۱۰ نمودار کرنش خزشی بر حسب زمان برای دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد نمونه با بافت اطلسی

جدول ۳ نتایج آزمایش خزش برای نمونه‌های با بافت اطلسی

زمان گسیختگی (دقیقه)	نرخ کرنش ($\Delta \epsilon / \Delta t$)	زمان تاخیر (دقیقه)	تنش وارده (مگاپاسکال)	دما (°C)
۷۰	۰/۰۶۰۲	۴۰	۳/۸	۱۰۰
۵۱	۰/۰۷۸۳	۳۰	۶/۵	۱۰۰
۵۰	۰/۰۵۷۷	۲۷	۳/۸	۱۵۰
۴۰	۰/۰۶۸۴	۱۴	۶/۵	۱۵۰
۲۳/۵	۰/۰۸۵۰	۶	۳/۸	۲۰۰
۱۶/۵	۰/۲۳۵۰	۴	۶/۵	۲۰۰

- 319, 2002.
- [9] Houshyar, S. Shanks, R. A. & Hodzic, A., "Tensile creep behaviour of polypropylene fibre reinforced polypropylene composites." *Polymer Testing*, Vol. 24, No. 2, pp.257-264, 2005.
- [10] Papanicolaou, G. C. Zaoutos, S. P. Kontou, E. A., "Fiber orientation dependence of continuous carbon/epoxy composites nonlinear viscoelastic behavior." *Composites science and technology*, Vol. 64, No. 16, pp. 2535-2545, 2004.
- [11] Kawai, M. Masuko, Y. Sagawa, T., "Off-axis tensile creep rupture of unidirectional CFRP laminates at elevated temperature." *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 37, No. 2, pp. 257-269, 2006.
- [12] Guedes, R. M. "Lifetime predictions of polymer matrix composites under constant or monotonic load." *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 37, No. 5, pp. 703-715, 2006.
- [13] Goertzen, W. K., & Kessler, M. R. "Creep behavior of carbon fiber/epoxy matrix composites." *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 421, No. 1, pp.217-225, 2006.
- [14] Guedes, R. M. "Relationship between lifetime under creep and constant stress rate for polymer-matrix composites." *Composites Science and Technology*, Vol. 69, No. 7, pp. 1200-1205, 2009.
- [15] Dasappa, P., Lee-Sullivan, P., & Xiao, X. "Temperature effects on creep behavior of continuous fiber GMT composites." *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 40, No. 8, pp.1071-1081, 2009.
- [16] Spathis, G. Kontou, E., "Creep failure time prediction of polymers and polymer composites." *Composites Science and Technology*, Vol. 72, No. 9, pp.959-964, 2012.
- [17] Nedjar, B. "Modeling long-term creep rupture by debonding in unidirectional fibre-reinforced, composites." *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 51, No. 10, pp. 1962-1969, 2014.
- [18] Rafiei, R. and Mozafari, B., "Comparison of methods for predicting creep in polymer-based composites" 22th ISME, Ahwaz, Iran, 2014, (In persian).
- [19] Khosrojerdi, H. Abedi, A. Farzi, Gh., "The effect of calcium carbonate nanoparticles on the creep behavior of nanocomposite bridge Yatyln either Ypayyn / calcium carbonate", 6th IMES, Iran, 2012
- [20] Shahabadi, Z. Hajimoradi, Ab. Hajimoradi, Ah., "Finite element modeling of creep in CNT polymer nanocomposites", National Conference of Mechanical Engineering, Shiraz, Iran, 2014
- [21] ASTM D638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, 2010.

نسبت به نمونه بافت ساده کاهش یافته است. کاهش چشمگیر نرخ کرنش به دلیل تفاوت در مکانیزم تحمل تنش در نمونه‌ها می‌باشد. همانطور که پیشتر ذکر شد، در نمونه‌های بافت ساده لایه‌ها در زمان‌های مختلف و به ترتیب گسیخته شدند، در حالی که در نمونه‌های بافت اطلسی گسیختگی به یک‌باره اتفاق افتاد. رفتار مشابهی برای نرخ کرنش در تنش ۶/۵ مگاپاسکال مشاهده می‌گردد. همانگونه از نمودار ۱۲ مشخص است، در این سطح تنش نیز نرخ کرنش نمونه‌های بافت اطلسی نسبت به بافت ساده کاهش یافته است.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله آزمایش خزش کششی، در تنش‌ها و شرایط دمایی مختلف بر روی کامپوزیت رزین فنولیک تقویت شده با پارچه بافته شده از الیاف بازالت انجام گرفت. ساخت نمونه‌ها توسط دو نوع پارچه بافته شده از الیاف بازالت شامل بافت ساده و بافت اطلسی انجام شد. آزمایش خزش در سه دما و دو تنش متفاوت انجام پذیرفت. دماهای ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد و تنش‌های ۳/۸ و ۶/۵ مگاپاسکال برای آزمایش انتخاب شدند. در همه‌ی حالات بارگذاری و نیز در همه دماها نرخ کرنش در کامپوزیت‌های با بافت اطلسی نسبت به نمونه‌های با بافت ساده کمتر بوده است. در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد و در تنش ۳/۸ مگاپاسکال، اختلاف بین نرخ کرنش پارچه‌های بافت ساده و بافت اطلسی ۶۸٪ محاسبه گردید. در همه نمونه‌ها در دمای ثابت با افزایش تنش، زمان گسیختگی و زمان تاخیر کاهش یافته و آهنگ کرنش خزشی افزایش می‌یابد. همچنین در تنش ثابت با افزایش دما، زمان گسیختگی و تاخیر زمانی قطعه کاهش یافته و آهنگ کرنش افزایش می‌یابد. بررسی سطح شکست نمونه‌ها نشان داد که در پارچه بافت ساده، ابتدا لایه‌های بیرونی و سپس لایه‌های درونی گسیخته می‌شوند، در حالی که در نمونه‌های با بافت اطلسی، تمامی لایه‌ها تقریباً در یک زمان دچار گسیختگی شدند. تفاوت در مکانیزم انتقال تنش در نمونه‌ها عامل تفاوت در رفتار گسیختگی خزشی کامپوزیت می‌باشد.

۵- مراجع

- [1] Hugo, J. Sova, M. Cizinsky, J., "Creep and creep damage of glass fibre reinforced polypropylene". *Composite structures*. Vol. 24, No. 3, pp.233-244, 1993.
- [2] Raghavan, J. & Meshii, M., "Prediction of creep rupture of unidirectional carbon fiber reinforced polymer composite." *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 197, NO. 2, pp. 237-249, 1995.
- [3] Bathgate, R. G. Wang, C. H. Pang, F., "Effects of temperature on the creep behaviour of woven and stitched composites." *Composite structures*, Vol. 38, No. 1, pp. 435-445, 1997.
- [4] Ma, C. C. M., Tai, N. H. Wu, S. H. Lin, S. H. Wu, J. F. Lin, J. M., "Creep behavior of carbon-fiber-reinforced polyetheretherketone (PEEK)[±45]_{4s} laminated composites" (I). *Composites Part B: Engineering*, Vol. 28, No. 4, pp. 407-417, 1997.
- [5] Govindarajan, S. Langrana, N. A. & Weng, G. J. "The influence of imperfections on the creep behavior of woven polymer composites at elevated temperatures" *Finite elements in analysis and design*, Vol. 23, No. 2, pp.333-347, 1996.
- [6] Pang, F. & Hui Wang, C., "A predictive creep model for un-stitched and stitched woven composites." *Composites science and technology*, Vol. 60, No.(2), pp. 255-261, 2000.
- [7] Dutta, P. K. Hui, D., "Creep rupture of a GFRP composite at elevated temperatures." *Computers & Structures*, Vol. 76, No. 1, pp. 153-161, 2000.
- [8] Ren, W., "Creep behavior of a continuous strand, swirl mat reinforced polymeric composite in simulated automotive environments for durability investigation: Part I: experimental development and creep-rupture." *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 334, No. 1, pp. 312-