تأثیر لایه گذاری بر خصوصیات خمشی کامپوزیتهای مرکب تقویت شده با پارچه‌های بازالت و نایلون

محمد هادی رجب زاده[1و*]، مجید طهرانی دهکردی[2]، هوشنگ نصرتی[1]

چکیده:

در این تحقیق تأثیر لایه‌گذاری بر خواص خمشی کامپوزیت‌های هیبرید لایه‌ای بازالت و نایلون بررسی شده است. بدین منظور کامپوزیت‌های چهارلایه با آرایش [۰، ۹۰، ٤] تولید گردیدند. در این کامپوزیت‌ها از پارچه بازالت و نایلون به عنوان تقویت‌کننده و رزین اپوکسی به عنوان زمینه استفاده گردیده است. در همه کامپوزیت‌های بررسی شده، درصد حجمی الیاف بازالت یکسان در نظر گرفته شده است ولی نوع لایه‌چینی با هم متفاوت می‌باشد. پس از آماده‌سازی نمونه‌های ساخته شده، آنها تحت تست خمش سه نقطه‌ای در دو سرعت کم و زیاد و براساس ASTM D.۷۹۰ قرار گرفتند. آنگاه تأثیر نوع لایه‌چینی در نمونه‌های مختلف بر نمودارهای نیرو-جابجایی، استحکام خمشی و مدول خمشی مورد مطالعه قرار گرفت. علاوه بر این نوع شکست سطح کامپوزیت‌ها با استفاده از عکس‌های میکروسکوپ الکترونیکی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد کامپوزیت‌های هیبرید لایه‌ای که در حین تست، الیاف نایلون در لایه‌ی پایینی و الیاف بازالت در لایه‌ی بالایی قرار دارند، خواص خمشی بهتری از خود نشان می‌دهند.

مقدمه

با توجه به پیشرفت روزافزون علم و تکنولوژی، ضرورت ایجاد مواد با خصوصیات منحصر به فرد هر روز بیش از بیش احساس می‌گردد. از طرفی کاربرد و موفقیت استفاده از مواد کامپوزیتی در صنایع مختلف مرهون تلاش‌های انجام شده در زمینه بررسی خواص کامپوزیت‌ها بوده است. در این میان خواص خمشی از جمله مهم‌ترین خصوصیات کامپوزیت‌ها می‌باشد که مخصوصاً در هنگام شکل‌پذیری و اعمال نیرو نمود بیشتری پیدا می‌کند. دانشمندان زیادی در زمینه خواص خمشی کامپوزیت‌ها کار کرده‌اند. در چند سال اخیر الیاف بازالت به عنوان یک تقویت‌کننده مناسب، هم از نظر خواص مکانیکی و هم قیمت به بازار عرضه شده است [۲-۱]. در این تحقیق مقاومت در برابر خمش کامپوزیت‌های مرکب لایه‌ای تقویت شده با آرایش‌های مختلف از پارچه‌های بازالت و نایلون بررسی گردیده است.

روش تحقیق

مواد مورد استفاده

پارچه‌های بازالت و نایلون مورد استفاده شامل الیاف بازالت و نایلون ۶ و دارای بافت تافته بودند.

نخ بازالت مورد نیاز از شرکت Hengdian Group Shanghai Russia & Gold Basalt Fiber از کشور چین با نمره ۸۰۰ تکس و ۳۶۰ فیلامنت به صورت رووینگ تهیه شدند. نخ نایلون نیز از شرکت Junma Tyre Cord Co کشور چین با نمره ۳۶۵ تکس و ۳۶۰ فیلامنت به صورت رووینگ تهیه گردیده بود. از رزین اپوکسی ML-۵۰۶ تهیه شده از شرکت مکرر ایران به عنوان زمینه استفاده گردید. برای آماده‌سازی رزین، از سخت‌کننده HA۱۱ محصول همان شرکت استفاده گردید. خواص مکانیکی الیاف بازالت، نایلون و رزین اپوکسی در جدول ۱ ارائه گردیده است.

پارچه‌های مورد استفاده در این کار، پارچه‌های همگن با درصدهای مساوی از الیاف بازالت و نایلون، به وسیله دستگاه بافندگی رپیری در دانشگاه صنعتی امیرکبیر تولید گردیده بود. مشخصات مربوط به پارچه‌ها در جدول ۲ آمده است. حرف N نشان‌دهنده‌ی نایلون و حرف B نشان‌دهنده‌ی بازالت است.

جدول ۱. خواص مکانیکی الیاف و ماتریس

خواص	بازالت	نایلون	اپوکسی
استحکام کششی (مگاپاسکال)	۱۸۰۰	۱۰۰۰	۷۵
مدول کششی (گیگاپاسکال)	۸۵	۲/۴۵	۲/۷۳
ازدیاد طول (درصد)	۲	۲۰/۵	۲

ساخت کامپوزیت‌ها

کامپوزیت‌ها به صورت صفحه‌های مربع شکل به ابعاد ۴۰ سانتیمتر ×۴۰ سانتیمتر ساخته شدند. چهار نمونه به روش لایه‌گذاری دستی و با آرایش S۲[(۹۰,۰)(۹۰,۰)] همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید، ساخته و کدگذاری شدند. برای مثال در نمونه BNBN لایه‌ها با آرایش بازالت – نایلون – بازالت – نایلون قرار گرفته‌اند.

شکل ۱. آرایش لایه‌های پارچه تقویت‌کننده در کامپوزیت‌هایی با چیدمان مختلف (B: بازالت، N: نایلون)

تست خمش سه نقطه‌ای براساس ASTM D.۷۹۰-۰۳ [۳] و با استفاده از دستگاه ZWICK ساخت کشور آلمان انجام گردید. نمونه‌ها طبق استاندارد در ابعاد ۱۰۰ میلیمتر در ۲۵ میلیمتر برش داده شدند و در دو سرعت کم (۱/۳ میلیمتر در دقیقه) و زیاد (۱۰۰ میلیمتر در دقیقه) تحت آزمایش قرار گرفتند.

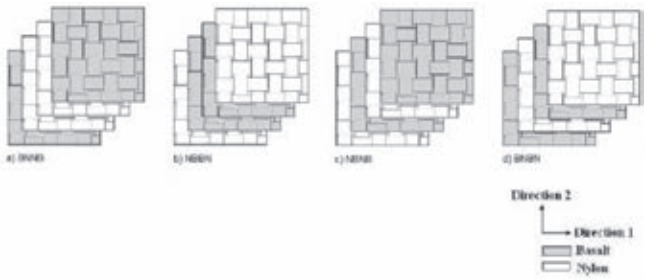
برخی از خصوصیات کامپوزیت‌های ساخته شده در جدول ۳ ذکر گردیده است. پس از تحلیل نتایج نمودارهای نیرو-جابجایی، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته برای هر کدام از نمونه‌ها تعیین گردید [۴]. همچنین به منظور بررسی عملکرد لایه‌های مختلف در برابر خمش، با استفاده از تصاویر به دست آمده از میکروسکوب الکترونی (SEM) از روی سطح و سطح مقطع نمونه‌ها، نوع و نحوه شکست در نمونه‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفت.

جدول ۲. خواص مکانیکی پارچه‌های مورد استفاده در تولید کامپوزیت‌ها

نوع پارچه	کد پارچه	وزن در مترمربع (kg/m^2)	دانسیته (kg/m^3)
پارچه بازالت	B	۰/۷۹۵	۲۷۰۰
پارچه نایلون	N	۰/۴۱۱	۱۲۵۰

جدول ۳. خواص مکانیکی کامپوزیت‌های ساخته شده

کد کامپوزیت	ضخامت	کسر حجمی الیاف(%)	دانسیته تجربی
BNBN	۲/۹۹±۰/۰۲	۵۲	۱۴۲۰
NBNB	۲/۹۸±۰/۰۵	۶۳	۱۴۳۰
BNNB	۲/۹۳±۰/۰۴	۶۴	۱۴۰۰
NBBN	۲/۹۷±۰/۰۲	۵۰	۱۳۷۰



شکل ۱. آرایش لایه‌های پارچه تقویت‌کننده در کامپوزیت‌هایی با چیدمان مختلف (نایلون :N ،بازالت :B)

نتایج و بحث

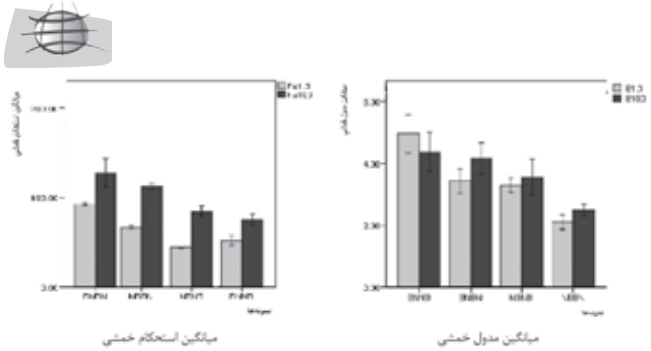
بعد از اندازه‌گیری ضخامت و عرض هر نمونه در پنج نقطه متفاوت، آن نمونه تحت آزمایش خمش قرار گرفت. در هنگام آزمایش، نمونه‌ها به صورت کاملاً افقی در وسط فک‌ها قرار می‌گیرند. همانطور که اشاره شد نیرو و ازدیاد طول نمونه مربوط به هریک از نمونه‌ها در بازه زمانی آزمایش از دستگاه دریافت می‌گردد. با استفاده از این اطلاعات می‌توان استحکام، مدول الاستیک را برای هر نمونه محاسبه کرد. استحکام و مدول الاستیسیته هر نمونه در بازه زمانی آزمایش با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه می‌گردد. در این رابطه‌ها، تنش اندازه‌گیری شده در الیاف بیرونی در نقطه میانی، E_B مدول الاستیسیته در خمش، P نیرو، L فاصله بین دو تکیه‌گاه، B و D به ترتیب متوسط عرض و ضخامت هر نمونه آزمایش شده و M معرف شیب مماس در قسمت خطی اولیه نمودار نیرو–جابجایی می‌باشد.

نتایج بدست آمده از آزمایش خمش در دو سرعت کم و زیاد بدست آمد و به صورت خلاصه در جدول ۴ آمده است.

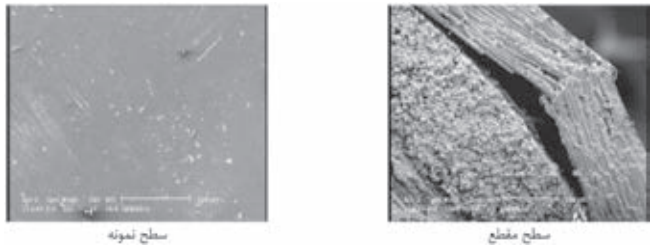
نتایج بدست آمده از تست خمش سه نقطه‌ای در هر دو سرعت نشان می‌دهد، در

جدول ٤. نتایج بدست آمده از دستگاه خمش

سرعت آزمایش	نمونه	بیشینه تنش	مدول الاستیسیته	تنش بیشینه مخصوص	مدول الاستیسیته مخصوص
۱۰۰ mm/min	BNBN	۸۱	۳/۰۷	۵۷	۲/۱۶
	NBNB	۳۹	۲/۹۷	۲۷	۲/۰۸
	BNNB	۵۵	۵/۰۴	۳۹	۳/۶
	NBBN	۷۶	۲/۳۷	۵۵	۱/۷۲
۳/۱ mm/min	BNBN	۱۲۸	۴/۱۶	۹۰	۲/۹۲
	NBNB	۸۴	۳/۵۶	۵۹	۲/۴۹
	BNNB	۷۶	۴/۳۷	۵۴	۳/۱۲
	NBBN	۱۱۲	۲/۴۹	۸۱	۱/۸۱



شکل ۲. تأثیر سرعت تست بر روی پارامترهای خمش



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپ الکترونیکی از نمونه BNNB

نمونه‌های تولید شده زمانی که لایه‌ی بازالت تحت فشار و لایه نایلون تحت کشش قرار بگیرد، بهترین استحکام خمشی را ارائه می‌دهد. نمونه BNNB بیشترین مدول خمشی را در بین نمونه‌ها ارائه داد.

همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد، افزایش سرعت تست باعث افزایش استحکام خمشی و مدول خمشی شده است ولی در روند تغییرات خواص خمشی هیچ تغییری ایجاد نشده است.

همانگونه که قبلاً گفته شد برای بررسی بهتر نحوه شکست کامپوزیت‌های تولید شده با استفاده از میکروسکوب الکترونی از سطح و سطح مقطع نمونه‌ها عکس گرفته شد تا عملکرد لایه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد.

در همه نمونه‌ها شکست الیاف در ناحیه‌ی تحت فشار مشاهده می‌گردد، در ادامه جدایی لایه‌ها باعث شکست کامپوزیت می‌شود و با افزایش فشار تنش برشی باعث شکست کامل نمونه می‌گردد. در شکل ۳ چگونگی لایه‌ای شدن نمونه BNNB در سطح مقطع و عدم آسیب جدی نمونه در سطح نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق خواص خمشی چهار نمونه کامپوزیت هیبرید لایه‌ای بازالت–نایلون با درصدهای مساوی بازالت مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر بدست آمد:

• نحوه‌ی لایه‌چینی بر روی خواص خمشی تأثیرگذار است و نمونه‌های BNBN و NBBN بالاترین استحکام خمشی و نمونه BNNB بالاترین مدول خمشی را ارائه دادند.

• افزایش سرعت تست باعث افزایش استحکام خمشی و مدول خمشی با همان روند قبلی گردید.

• در این نمونه‌ها شکست فشاری و لایه‌ای شدن لایه‌ها اصلی‌ترین حالت را در شکست کامپوزیت‌ها دارند.

پانوشت

۱. دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
۲. دانشکده فرش، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

مراجع در دفتر مجله موجود است.