مجله علوم و تکنولوژی پلیمر ، سال شانزدهم،
شماره ۱ ، صفحه ۳۹-۳۱، ۱۳۸۲
ISSN : 1016-3255

بررسی اثر نخ هیبریدی مغزه - تاب شیشه و پلی‌استر بر خواص مکانیکی رزین پلی استر سیرنشده

Study of the Effect of Core-Twist Hybrid Yarn Glass / PET on Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resin

حمیدرضا موحد[۱]*، احمد عارف آذر[۲]، صفدر اسکندرنژاد[۱]، محمد حسین بهشتی[۳]

۱ ـ تهران، دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم و تحقیقات، صندوق پستی ۱۹۳۹۵/۴۱۵۸

۲ ـ تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پلیمر، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۴۴۱۳

۳ ـ تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت : ۸۱/۷/۱۷، پذیرش : ۸۱/۱۱/۱۹

چکیده

استفاده از نخهای پیوسته با ویژگیهای منحصر به فرد در فرایندهای شکل دهی کامپوزیتها مانند رشته پیچی و پولتروژن روز به روز در حال افزایش است. در این پژوهش، از نخ شیشه به علت داشتن مدول و استحکام کششی زیاد به عنوان تقویت کننده مرکزی و از نخ پلی استر سیر شده با ساختارهای مختلف به دلیل داشتن ازدیاد طول و چقرمگی زیاد به عنوان پوسته روی نخ شیشه، به شکل نخ مغزه - تاب، استفاده شد. نخهای هیبریدی تهیه شده به شکل پارچه های تک جهتی در سه لایه با رزین پلی‌استر سیر نشده آغشته و از سیستم پخت سرد برای ساخت قطعات کامپوزیتی استفاده شد. اثر میزان پوشش دهی و همچنین اثر ساختار نخ پلی استر بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیتهای تهیه شده مورد مطالعه قرار گرفت. با انجام آزمونهای مختلف، خواص فیزیکی و مکانیکی قطعات در دو جهت موازی و عمود بر الیاف معین شد. نتایج بدست آمده و بررسیهای میکروسکوپی نشان می‌دهند که کامپوزیتهای هیبریدی تقویت شده با نخ شیشه پوشش یافته با نخ پلی استر ریسیده در مقایسه با کامپوزیتهای دیگر از خواص مکانیکی، جذب انرژی دراثر کشش و استحکام ضربه ای بمراتب بهتری برخوردارند و کامپوزیتهای هیبریدی، که از نخهای پوششی با ۴۰۰ تاب در متر ساخته شده اند،خواص مکانیکی بهتری نسبت به سایر نخهای پوششی دارند. در نتیجه وجود تاب، نوع ساختار و جنس نخهای پوششی می تواند بر تغییر نحوه شکست نمونه های کامپوزیتی از حالت مخرب به حالت کنترل شده مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی

نخ پوششی، هیبرید، الیاف پلی استر، الیاف شیشه، ریسیده شده

Key Words

covering yarn, hybrid, polyester fibers, glass fibers, spun

مقدمه

کامپوزیتهای هیبریدی که در آنها از دو یا چند نوع تقویت کننده استفاده می‌شود خصوصیات برجسته‌ای در مقایسه با کامپوزیتهای معمولی دارند. از جمله این مزیتها نسبت استحکام به چگالی عالی، کاهش وزن، کاهش حساسیت به شکاف برداشتن و بهبود چقرمگی شکست است[۱].

در سالهای اخیر استفاده از نخ هیبریدی برای ساخت مواد کامپوزیتی کاربرد زیادی پیدا کرده است. برای ساخت این نوع نخها روشهای متعددی وجود دارد، از جمله در کنارهم قرار دادن دو یا چند رشته از الیاف، مخلوط کردن الیاف به روش کامینگل، روش پوسته - مغزه و

* مسئول مکاتبات، پیام نگار: Hrmovahed@yahoo.com

روش پیچاندن پیشنهاد شده است [۷-۲]. انتخاب نوع نخ هیبریدی به خواص نهایی قطعات هیبریدی بستگی دارد. استفاده از الیاف با ازدیاد طول کم و زیاد و مخلوط آنها می تواند باعث بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی گردد. بکارگیری مناسب الیاف معدنی و آلی در یک بستر پلیمری می تواند اثری مثبت بر نوع تقویت کنندگی در کامپوزیتهای پلیمری داشته باشد[۸].

استحکام ضربه ای، استحکام کششی عرضی و میزان جذب انرژی کم و شکنندگی از ضعفهای عمده کامپوزیتهای تقویت شده به وسیله الیاف شیشه محسوب می شوند [۹] که فرایند شکست مخرب و غیر قابل پیش بینی و کاهش استحکام ضربه ای محصولات ساخته شده به وسیله الیاف شیشه را موجب می شوند. هر چند در بعضی موارد با افزودن برخی پرکننده ها و تقویت کننده ها این ضعفها بر طرف می شوند، ولی اصلاحات و تحقیقات بیشتر در این زمینه ها لازم است تا زمینه رشد استفاده از نخهای هیبریدی و کامپوزیتهای هیبریدی برای بهبود خواص نهایی محصولات کامپوزیتی تک لیفی فراهم شود.

در این کار پژوهشی از روش پیچاندن چند نخ پلی استر در جهتهای مثبت و منفی روی نخ مرکزی شیشه ای استفاده شده است که از این پس نخ پوششی یا مغزه - تاب (core-twist) نامیده می شود. برای تعیین اثر مقدار پوشش روی نخ مرکزی از تابهای مختلف استفاده شده است. ویژگی مؤثر تاب بر نخ مرکزی، وجود نواحی برجسته برای چسبندگی بهتر نخ به رزین و نواحی خالی از نخ پوسته برای نفوذ رزین به مرکز نخ پوششی است. باید توجه داشت که ساختار، جنس نخ پوششی و میزان تاب اثر زیادی بر خواص می گذارد.

هدف اصلی در این پژوهش، استفاده از نخ شیشه با پوشش پلی استر با ساختارهای مختلف و بررسی نقش تاب بر خواص کامپوزیت با ماتریس پلی استر سیر نشده برای کاربردهای مهندسی و مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیتهای ساخته شده با نخهای هیبریدی پوششی با کامپوزیت شیشه خالص است.

تجربی

مواد

مواد اولیه مورد استفاده در این کار پژوهشی عبارتند از :

- الیاف شیشه به شکل نخ رشته ای از نوع E با چگالی خطی ۱۰۰tex ساخت شرکت روسی Staclobvelenco،
- الیاف پلی استر با طول کوتاه که به کمک سیستم ریسندگی حلقه‌ای با چگالی خطی ۳۰ tex در کارخانه قرقره زیبا ریسیده شده است،
- الیاف پلی استر رشته ای کاملاً جهت یافته (FOY) از کارخانه ایران ترمه با چگالی خطی ۱۸/۱ tex،
- الیاف پلی استر بافته شده از کارخانه رضا باف با چگالی خطی ۱۶/۶tex،
- رزین پلی استر نوع ایزو ۷۹۴۰۳۵۱۲ از شرکت صنایع شیمیایی بوشهر و
- متیل اتیل کتون پروکسید و کبالت نفتنات تجاری ساخت هلند.

دستگاهها

از دستگاه بروکفیلد مدل LVT برای اندازه‌گیری گرانروی رزین، دستگاه SPI مدل BD 111 برای اندازه گیری رفتار پخت رزین، دستگاه کشش SDL Universal Strenght Tester برای اندازه گیری استحکام نخهای پوششی و تعیین استحکام چسبندگی نخ به ماتریس، آزمون پوسته شدن، دستگاه کشش اینسترون مدل ۴۴۸۳ برای اندازه‌گیری استحکام کششی قطعات کامپوزیتی، دستگاه ضربه Charpy مدل CI-30 برای اندازه‌گیری استحکام ضربه‌ای، دستگاه سختی سنج بارکول(Barcol) مدل GYZ 934/1 برای تعیین سختی و از میکروسکوپ الکترون پویشی (SEM)، میکروسکوپ پروژکتینا و دوربین عکاسی برای عکس برداری از سطح شکست قطعات استفاده شده است.

روشها

آزمونها

کلیه آزمونهای خواص فیزیکی و مکانیکی مطابق روشهای استاندارد ASTM انجام شده است. آزمونهای خواص فیزیکی از قبیل گرانروی مطابق استاندارد ASTM D۲۹۸۳ زمان ژل شدن و دمای بیشینه پخت ASTM D۲۴۷۱ روی آمیزه رزینی انجام شد و نیز آزمایشهای خواص مکانیکی شامل آزمون کشش نخ ASTM D ۲۲۸۳۸۲۲-۹۵a، آزمون کشش قطعات کامپوزیتی ASTM D ۳۰۳۹M-۹۵، ضربه ASTM D ۲۵۶-۹۷ سختی ASTM D۲۵۸۳ روی نمونه های ساخته شده انجام گردید. از هر حالت دست کم پنج نمونه آزمایش شده و متوسط نتایج حاصل و انحراف معیار آنها گزارش شده است.

جدول ۱ - وزن واحد سطح (g/m^2) پارچه های تک جهتی تهیه شده.

نوع نخ	میزان تاب در متر				
	۱۰۰۰	۷۰۰	۴۰۰	۱۰۰	۰
نخ پوششی با نخ ریسیده شده	۴۵۸	۴۲۶	۴۰۴	۳۷۶	۳۵۲
نخ پوششی با نخ کاملاً جهت یافته	۳۳۸	۳۱۲	۳۱۰	۳۰۵	۳۰۰
نخ پوششی با نخ بافته شده	۳۳۸	۳۱۰	۳۰۸	۳۰۴	۲۹۳

www.SID.ir

سیستم تهیه نخ پوششی

برای ساخت نخ پوششی از دستگاه تابندگی با دو دوک توخالی که طراحی و ساخت آن در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات توسط مؤلف صورت گرفته است استفاده شد. در این دستگاه، نخ مغزه شیشه پس از عبور از راهنما های خاص از میان دو دوک توخالی گردان عبور و نخهای پوسته به صورت ضربدری روی نخ مغزه تابانده می شوند که این کار باعث برقراری تعادل و تاب نخوردن نخ مغزه می شود. برای افزایش میزان پوشش دهی نخ پوششی به نخ مغزه از روش تاب دادن استفاده شده است. میزان تاب در هر متر نخ پوششی ۰، ۱۰۰، ۴۰۰، ۷۰۰ و ۱۰۰۰ است.

سیستم تهیه پارچه تک جهتی

برای تهیه پارچه تک جهتی از دستگاه کلاف پیچ استفاده شده است. به کمک این دستگاه نخهای تهیه شده در یک جهت و با تراکم مشخص و به منظور تهیه پارچه تک جهتی در کنار هم قرار داده می شوند. چگالی سطحی پارچه های تک جهتی تهیه شده در جدول ۱ آورده شده است.

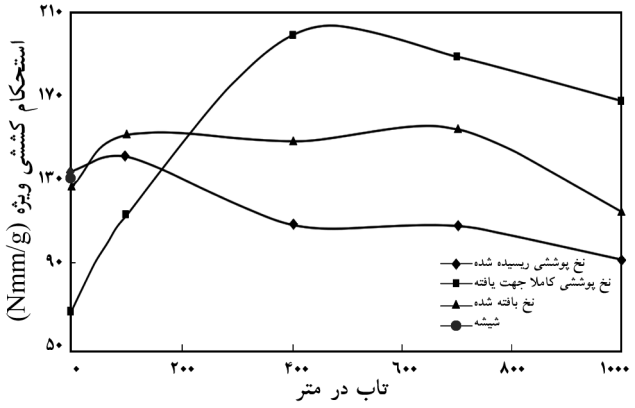
ساخت قطعات

آمیزه رزین پلی استر ایزوفتالیک سیر نشده همراه با ۱/۵ درصد پروکسید، ۱ درصد کبالت نفتنات با گرانروی ۳۵۰ mPas، زمان ژل شدن ۱۷ دقیقه و بیشترین دمای واکنش پخت ۲۷۱ °C تهیه شد و اختلاط رزین و الیاف به صورت دستی در سه لایه با درصد جزء حجمی کل الیاف ۲ ± ۲۱/۳ (جزء حجمی الیاف شیشه ۱ ± ۱۰/۱ درصد و جزء حجمی الیاف پلی استر ۲ ± ۱۱/۲ درصد) انجام شد. باید خاطر نشان کرد که به دلیل اشتعال پذیری الیاف پلی استر امکان انجام آزمون سوزاندن میسر نیست، از این رو با استفاده از معادلات تعیین خواص، نمره نخ پوششی و وزن نمونه، محاسبات تعیین درصد حجمی اجزا انجام گرفت. برای کنترل بیشتر میزان الیاف و رزین مصرفی در هر قطعه از قالب سیلیکونی استفاده شد. نمونه های کامپوزیتی برای آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D ۳۰۳۹ به ابعاد ۲۰۰×۲۵×۳ mm تهیه و به منظور اطمینان از کامل شدن فرایند پخت، قطعات ساخته شده به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰°C برای عملیات پس پخت قرار گرفته و سپس آزمون روی قطعات آماده شده انجام گرفت.

جدول ۲ - خواص فیزیکی و مکانیکی نخهای پوششی‌تهیه شده (اعداد داخل پرانتز انحراف معیار مقادیر محاسبه شده است).

نوع نخ	خواص	میزان تاب در متر			
		۱۰۰۰	۷۰۰	۴۰۰	۱۰۰
شیشه پوشش داده شده با نخ پلی استر ریسیده شده	چگالی (g/cm^3)	۱/۷۶ (۰/۵)	۱/۸۰ (۰/۳)	۱/۸۰ (۰/۴)	۱/۸۸ (۰/۴)
	مقاومت سایشی (دور)	۵۹/۲ (۱۳)	۸۸/۶ (۱۸)	۸۶ (۱۵)	۶۵ (۱۸)
	استحکام کششی (g/tex)	۳۱/۹ (۲)	۳۳/۶ (۲)	۳۵/۸ (۱)	۳۸ (۲)
	ازدیاد طول تا پارگی (٪)	۸/۸ (۰/۶)	۷/۲ (۰/۴)	۷/۲ (۰/۵)	۶ (۰/۵)
شیشه پوشش داده شده با نخ پلی استر کاملاً جهت یافته	چگالی (g/cm^3)	۱/۹۶ (۰/۶)	۲/۰۳ (۰/۳)	۲/۰۴ (۰/۴)	۲/۰۵ (۰/۷)
	مقاومت سایشی (دور)	۳۴ (۷/۵)	۴۵ (۶/۶)	۴۷/۸ (۵)	۴۴/۱ (۶/۱)
	استحکام کششی (g/tex)	۴۶/۷ (۳)	۴۷/۹ (۲)	۴۷/۹ (۲)	۴۸/۸ (۲/۵)
	ازدیاد طول تا پارگی (٪)	۶/۲ (۰/۴)	۶/۶ (۰/۴)	۵/۸ (۰/۳)	۵/۳ (۰/۳)
شیشه پوشش داده شده با نخ پلی استر بافته شده	چگالی (g/cm^3)	۱/۹۶ (۰/۴)	۲/۰۳ (۰/۷)	۲/۰۳ (۰/۳)	۲/۰۵ (۰/۳)
	مقاومت سایشی (دور)	۴۰/۳ (۴/۲)	۳۵/۵ (۴/۳)	۴۳/۶ (۴/۴)	۴۹/۱ (۶/۵)
	استحکام کششی (g/tex)	۴۲/۴ (۳)	۴۸/۳ (۲)	۴۷/۳ (۲)	۴۸/۹ (۲)
	ازدیاد طول تا پارگی (٪)	۷ (۰/۴)	۶/۵ (۰/۵)	۶/۵ (۰/۳)	۶/۵ (۰/۶)
نخ شیشه	چگالی (g/cm^3)	۲/۵۴ (۱)	* استحکام کششی نخ یا الیاف بر حسب g/tex معین شده و بیانگر مقدار نیروی اعمال شده به یک واحد tex است.		
	مقاومت سایشی (دور)	۲۷/۸ (۳/۸)			
	استحکام کششی (g/tex)	۵۷/۹ (۴)			
	ازدیاد طول تا پارگی (٪)	۵/۳ (۰/۶)			

www.SID.ir



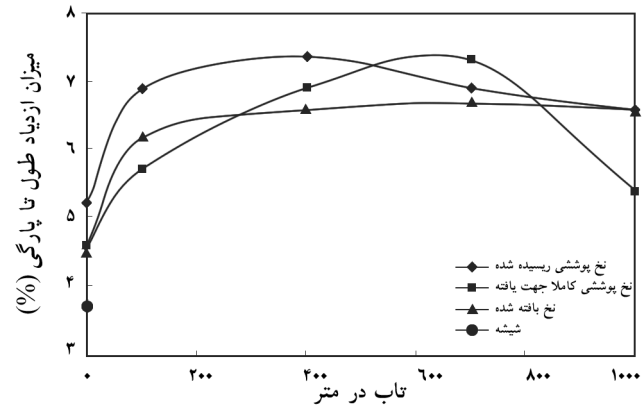
شکل ۱- استحکام کششی ویژه در جهت الیاف قطعات کامپوزیتی تقویت شده با انواع نخهای پوششی در تابهای مختلف و مقایسه آنها با قطعه کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه.

نتایج و بحث

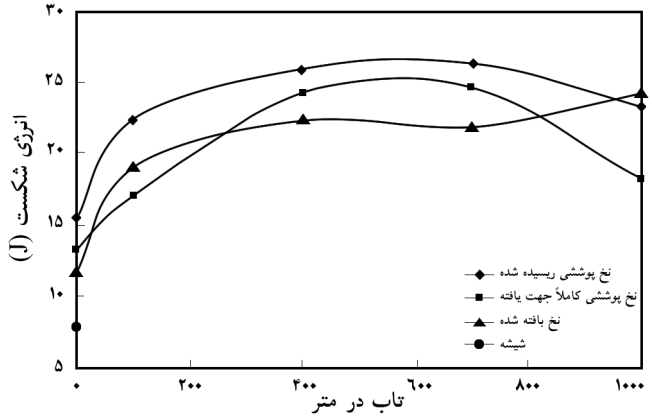
بررسی خواص فیزیکی نخ پوششی

عملیات پوشش دهی نخ شیشه به وسیله الیاف پلی استر با ساختار نخ ریسیده شده با پرزهای بلند، کاملاً جهت یافته رشته ای و بافته شده با حالت پفکی روی خواص و چگالی نخ هیبریدی اثر می گذارد.

از آنجا که چگالی الیاف شیشه نوع E برابر $2/54\ g/cm^3$ و چگالی الیاف پلی استر $1/38\ g/cm^3$ گزارش شده است[۲]، چگالی نخهای پوششی تهیه شده با مقادیر مختلف پوسته پلی استر محاسبه و نتایج آن همراه با نتایج تجربی در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان می دهد که عملیات پوشش دهی باعث کاهش چگالی نخ و بهبود خواص مکانیکی می گردد. افزایش میزان تاب باعث افزایش میزان پوسته با



شکل ۲- میزان ازدیاد طول تا پارگی در جهت الیاف قطعات کامپوزیتی تقویت شده با انواع نخهای پوششی در تابهای مختلف و مقایسه آنها با قطعه کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه.



شکل ۳- انرژی شکست در جهت الیاف قطعات کامپوزیتی تقویت شده با انواع نخهای پوششی در تابهای مختلف و مقایسه آنها با قطعه کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه.

چگالی کم شده و چگالی نخ پوششی را کاهش و مقاومت سایشی نخ شیشه را افزایش می دهد و می توان دریافت که نیروی حد تحمل و ازدیاد طول الیاف تا پارگی نخهای پوششی نسبت به نخ شیشه افزایش می یابد و همچنین افزایش تاب، باعث افزایش نمره و مقاومت سایشی نخ پوششی در برابر عوامل فرایندی و موجب کاهش استحکام کششی و مدول اولیه نخهای پوششی می شود.

بررسی خواص مکانیکی کامپوزیتهای تهیه شده

با استفاده از آزمون کشش، استحکام کششی، مدول کششی و درصد ازدیاد طول تا پارگی و میزان جذب انرژی کامپوزیتهای تک جهتی تقویت شده با نخهای پوششی در جهت موازی و عمود بر الیاف بدست آمد که نتایج آن در شکلهای ۱ تا ۶ آورده شده است.

یکی از ویژگیهای مهم کامپوزیتهای هیبریدی نسبت استحکام به وزن عالی آنهاست [۱۰]. چگالی قطعات هیبریدی تهیه شده بر اساس قانون مخلوطها محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که وجود نخهای پوششی در کامپوزیتهای تقویت شده باعث کاهش چگالی نسبت به کامپوزیتهای تقویت شده با نخ شیشه می‌شود و میزان تاب اثری بر چگالی کامپوزیت ندارد. در ضمن، کلیه نتایج تجربی بدست آمده از آزمونهای فیزیکی و مکانیکی به وسیله نرم افزار تجزیه و تحلیل آماری SPSS به روش تحلیل واریانس یک طرفه و دو طرفه و مقایسه دو به دوی آنها به روش LSD بررسی شده است.

خواص کششی در جهت الیاف

نتایج بدست آمده از آزمایش کشش قطعات هیبریدی در جهت الیاف در شکلهای ۱ تا ۳ آورده شده است و نشان می دهد که استحکام کششی و

www.SID.ir

مدول کششی در تاب ۴۰۰ برای نخ پوششی با پوسته نخ کاملاً جهت یافته بیشترین مقدار را نسبت به سایر نخهای پوششی داراست و دلیل آن ساختار رشته‌ای و وجود منافذ سطحی برای نفوذ رزین به مرکز نخ است. از طرفی، نسبت استحکام کششی به چگالی (شکل ۱) و ازدیاد طول تا پارگی قطعات برای تاب ۴۰۰ (شکل ۲) نشان می‌دهد که استحکام ویژه قطعات تقویت شده با نخ پوششی با پوسته نخ کاملاً جهت یافته ۶۵/۶ درصد و ازدیاد طول تا پارگی قطعات تقویت شده با نخ پوششی با پوسته نخ ریسیده ۵۰/۲ درصد نسبت به کامپوزیت تقویت شده با الیاف شیشه بهبود یافته است. یکی دیگر از ویژگیهای مهم نخهای پوششی میزان جذب انرژی تا شکست آنهاست که دلیل بارز آن وجود الیاف پلی استر(آلی) در سطح خارجی الیاف شیشه است. میزان جذب انرژی کششی در قطعات تقویت شده با نخهای پوششی در شکل ۳ نشان می دهد که در تاب ۴۰۰ میزان جذب انرژی در قطعات تقویت شده با نخ پوششی با نخ ریسیده شده، نسبت به کامپوزیت تقویت شده با الیاف شیشه بیش از سه برابر افزایش یافته است.

استحکام کششی در جهت عمود بر الیاف

یکی از نقاط ضعف کامپوزیتهای تقویت شده با الیاف تک جهتی استحکام ضعیف در جهت عمود بر الیاف است[۱۰] که باعث رشد ترک در سطح مشترک الیاف و رزین شده و موجب کاهش استحکام کششی، فشاری، خمشی و میزان جذب انرژی قطعات ساخته شده می گردد [۱۱] و این افت استحکام در سیستمهای رشته پیچی و پولتروژن که از الیاف ممتد و موازی استفاده می شود بشدت مشاهده می گردد [۱۲] و همچنین با توجه به مکانیسم شکست قطعات کامپوزیتی در بعضی موارد جداسازی لایه ها، به علت عدم وجود الیاف تقویت کننده در ضخامت مشاهده می شود [۱۳]. روشهایی برای کنترل مکانیسم رشد ترک پیشنهاد شده است، از جمله استفاده از تقویت کننده های سه بعدی تا حدودی در موارد خاص این مشکل را برطرف کرده است [۱۴].

یکی از ویژگیهای خاص نخهای پوششی وجود نواحی برجسته روی نخ مرکزی است که در اثر تاب روی نخ بوجود آمده و ساختار ویژه نخ پوششی باعث چسبندگی مکانیکی و شیمیایی بهتر به ماتریس می شود [۱۵].

نتایج بدست آمده از آزمون استحکام کششی در جهت عمود بر الیاف در شکلهای ۴ تا ۶ آورده شده است و نشان می دهد که استحکام ویژه، ازدیاد طول تا پارگی و میزان جذب انرژی قطعات تقویت شده به کمک نخ پوششی با پوسته ریسیده شده در تابهای مختلف از موارد دیگر بیشتر و در تاب ۱۰۰۰ نسبت به کامپوزیت تقویت شده با الیاف شیشه بیش از دو برابر افزایش یافته است.

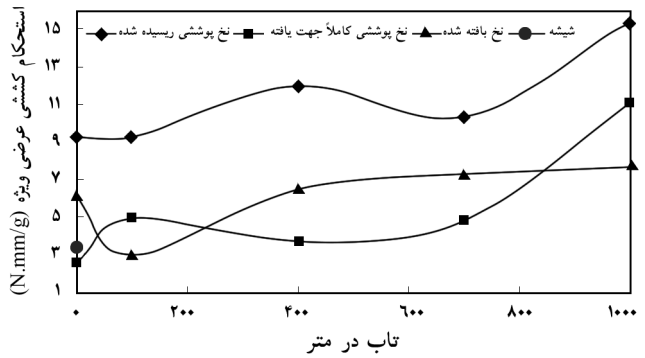
جدول ۳ - نیروی چسبندگی نخهای پوششی به ماتریس در تابهای مختلف برحسب نیوتن (اعداد داخل پرانتز انحراف معیار مقادیر محاسبه شده است).

نوع نخ	نیروی چسبندگی (N)			
	میزان تاب در متر			
	۱۰۰۰	۷۰۰	۴۰۰	۱۰۰
شیشه پوشش داده شده با نخ ریسیده شده	۱۴/۰۱ (۲/۵)	۱۳/۵ (۲/۲)	۱۴/۳ (۳)	۹/۸۹ (۱/۷)
شیشه پوشش داده شده با نخ کاملاً جهت یافته	۷/۷۸ (۲/۹)	۶/۴ (۴)	۸/۱ (۱/۵)	۷/۴ (۳)
شیشه پوشش داده شده با نخ بافته شده	۸/۸ (۱/۴)	۷/۵ (۱/۷)	۶/۷۹ (۱/۹)	۳/۸۷ (۰/۶)
شیشه	۲/۶۸ (۰/۷)	—	—	—

استحکام ضربه ای

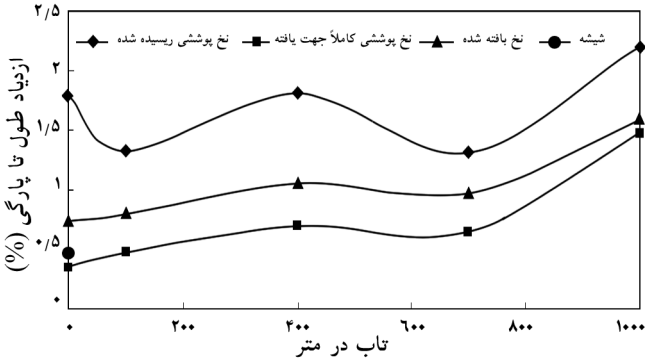
یکی از معایب بزرگ کامپوزیتهای پلیمری با ماتریس پلیمرهای گرما سخت، مقاومت در برابر ضربه کم آنهاست[۹] و حالت شکنندگی این کامپوزیتها باعث شده تا در اثر نیروهای ناگهانی انرژی کمی را جذب و مکانیسم شکست پیچیده‌ای را به نمایش گذارند[۱۱]. یکی از راههای افزایش استحکام ضربه ای و جلوگیری از تخریب ناگهانی قطعه عملیات هیبریدی کردن است[۱۶].

انرژی جذب شده در اثر اعمال نیروی ضربه بر آمیزه های تقویت شده با الیاف پوششی در شکل ۷ آورده شده است. نتایج نشان می دهد



شکل ۴- استحکام کششی عرضی ویژه در جهت عمود بر الیاف قطعات کامپوزیتی تقویت شده با انواع نخهای پوششی در تابهای مختلف و مقایسه آنها با قطعه کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه.

www.SID.ir

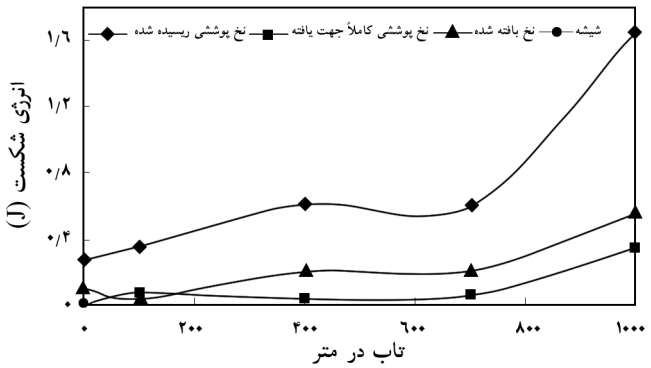


شکل ۵- ازدیاد طول تا پارگی در جهت عمود بر الیاف قطعات کامپوزیتی تقویت شده با انواع نخهای پوششی در تابهای مختلف و مقایسه آنها با قطعه کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه.

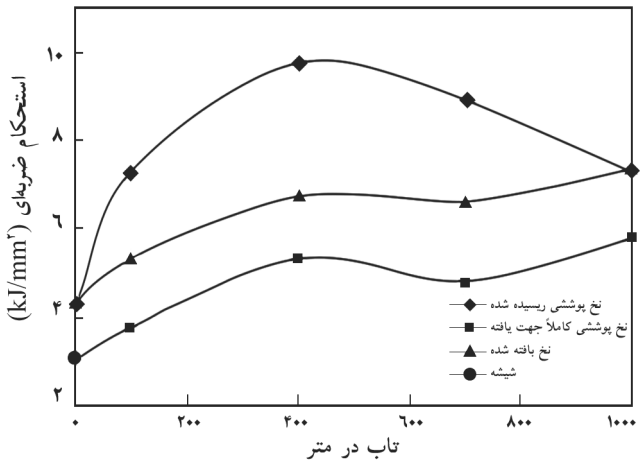
که نخ پوششی با پوسته نخ ریسیده شده در تاب ۴۰۰ بیشترین استحکام ضربه‌ای را داشته است. این امر به دلیل ساختار پفکی، پرزدار و برجسته‌ای است که نخ پوسته روی نخ مغزه شیشه ایجاد می‌کند و همچنین خصوصیات ذاتی و انعطاف پذیری، الیاف پلی استر باعث شده که میزان جذب انرژی نسبت به کامپوزیت تقویت شده با الیاف شیشه بیش از سه برابر افزایش یابد.

سختی

سختی سطحی ترکیبات کامپوزیتی برای کاربردهای مختلف از اهمیت زیادی برخوردار است. سختی قطعات ساخته شده با نخهای پوششی



شکل ۶- انرژی شکست در جهت عمود بر الیاف قطعات کامپوزیتی تقویت شده با انواع نخهای پوششی در تابهای مختلف و مقایسه آنها با قطعه کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه.

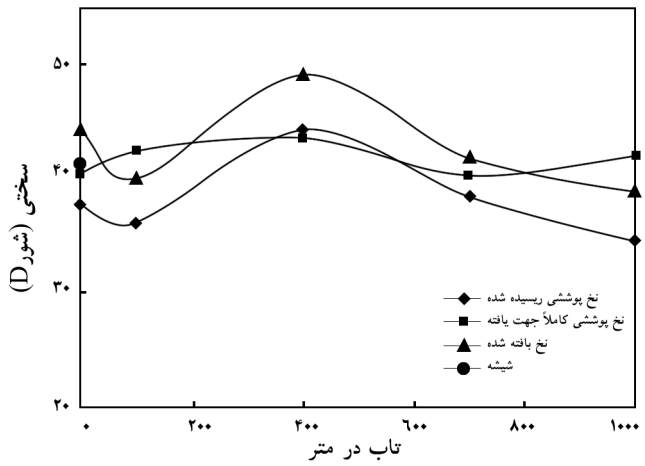


شکل ۷- استحکام ضربه‌ای قطعات کامپوزیتی تقویت شده با انواع نخهای پوششی در تابهای مختلف و مقایسه آنها با قطعه کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه.

تقریباً با سختی قطعات تقویت شیشه با الیاف شیشه یکسان است (شکل۸).

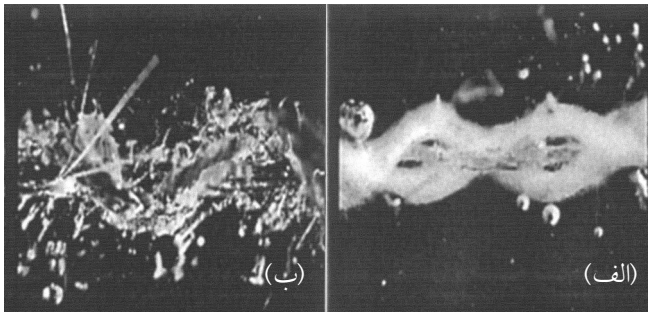
تعیین میزان چسبندگی نخهای تقویت کننده به رزین

یکی از روشهای ساده برای تعیین میزان چسبندگی الیاف یا نخ به ماتریس، آزمون پوسته کندن (peel test) است[۱۶]. با استفاده از این آزمون می توان استحکام چسبندگی یا نیروی لازم برای جدا کردن الیاف و نخ از ماتریس را مشخص و از نیروهای معین شده چنین استنباط کرد که نیروی سطح مشترک الیاف یا نخ با ماتریس به چه میزان است و آیا در



شکل ۸- سختی قطعات کامپوزیتی تقویت شده با انواع نخهای پوششی در تابهای مختلف و مقایسه آنها با قطعه کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه.

www.SID.ir



شکل ۹- نخ پوششی با پوسته نخ ریسیده شده با تاب ۴۰۰ : (الف) نخ پوششی در رزین و (ب) شیار نخ پوششی.

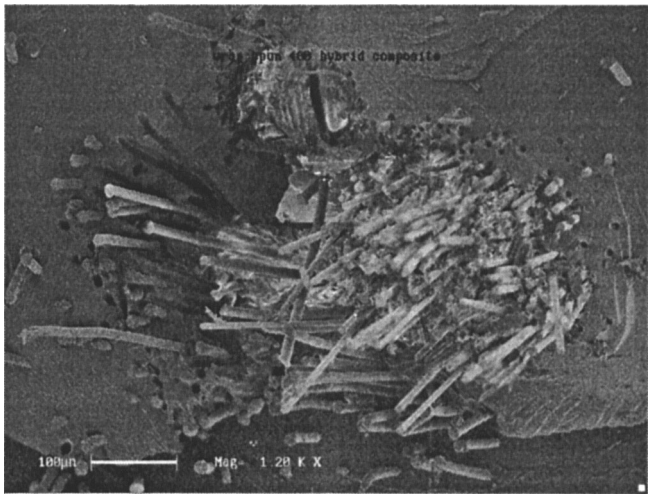
اثر اعمال نیروهای مکانیکی به قطعه الیاف و نخ چسبندگی لازم را به ماتریس دارند تا در مقابل نیروی رشد ترک در سطح مشترک مقاومت کنند.

مشاهدات و نتایج عملی بدست آمده از آزمایشهای تعیین میزان چسبندگی نخهای تقویت کننده به رزین و استحکام کششی قطعات کامپوزیتی در جهت عمود بر الیاف (transverse) بررسیهای میکروسکوپی انجام شده از سطح شکست نشان دهنده بهبود چسبندگی نخهای پوششی مغزه - تاب به ماتریس است. نتایج ارائه شده در جدول ۳ و شکلهای ۴ تا ۶ نشان می دهد که تاب اثر زیادی بر میزان چسبندگی نخ پوششی به رزین ندارد، بلکه ساختار نخ پوسته و عمق و سطح نقاط ناهموار اثر چسبندگی مکانیکی و شیمیایی را معین می کنند. نتایج نشان می دهد که میزان چسبندگی نخ پوششی با پوسته ریسیده شده در مقایسه با چسبندگی نخ شیشه به ماتریس بیش از پنج برابر افزایش یافته است.

ریز ساختار کامپوزیتهای هیبریدی

به کمک میکروسکوپ نوری عکسهایی از سطح قطعات پوسته کن شده گرفته شد. مشاهدات نشان می دهد که در اثر کنده شدن پوسته نخهای

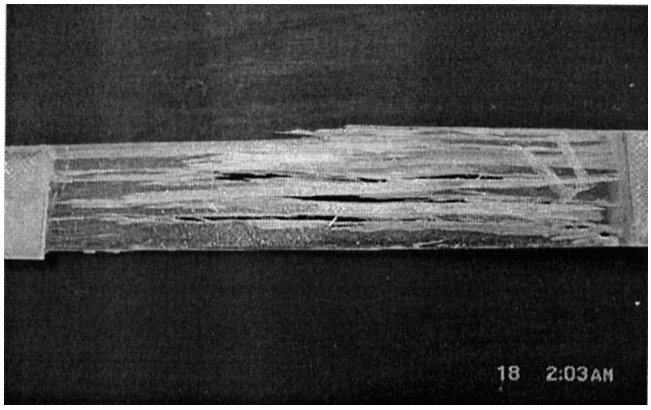
شکل ۱۰ - تصویر میکروسکوپ الکترونی ازمیزان چسبندگی رزین به نخ درکامپوزیت هیبریدی با نخ پوششی ریسیده شده با تاب ۴۰۰ در متر.



شکل ۱۱ - تصویر میکروسکوپ الکترونی از میزان نفوذ رزین به ساختار داخلی نخ درکامپوزیت هیبریدی با نخ پوششی ریسیده شده با تاب ۴۰۰ در متر.

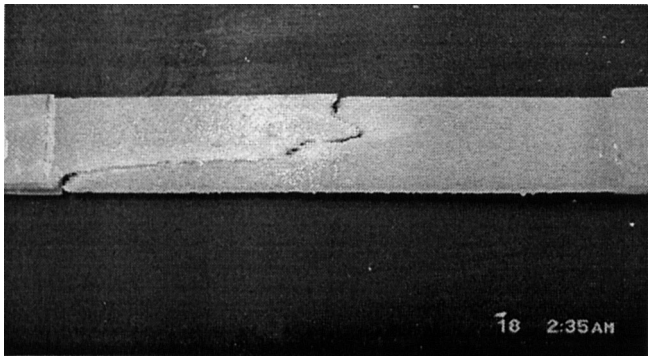
پوششی با ساختارهای مختلف و وجود پستی و بلندیهایی که روی نخ پوششی در اثر اعمال تاب بوجود آمده، چسبندگی مکانیکی نخ به رزین افزایش یافته به حدی که تکه هایی از رزین به همراه نخ پوششی از سطح قطعه بیرون کشیده شده اند. شکل ۹ (الف) نشان می دهد که نخ شیشه در مرکز نخ پوششی قرار گرفته و نخهای پلی استر ریسیده شده پوشش مناسبی روی نخ مرکزی ایجاد کرده است، به حدی که فضای لازم برای نفوذ رزین به مرکز نخ فراهم شده است و نقاط برجسته ایجاد شده به وسیله نخ پوسته و تاب می تواند چسبندگی شیمیایی و مکانیکی نخ به رزین را فراهم کند. شیار ایجاد شده در اثر بیرون کشیدن نخ از داخل رزین شکل ۹ (ب) نشان می دهد که قطعاتی از ماتریس شکسته شده و تعدادی از الیاف پرز مانند پوسته هنوز در داخل رزین وجود دارد که نشان دهنده درگیری مکانیکی و چسبندگی خوب نخ به رزین است.

بررسیهای انجام شده به کمک میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ۱۲۰۰ برابر از سطح قطعات هیبریدی که تحت نیروی کششی



شکل ۱۲ - نحوه شکست کامپوزیت تقویت شده با الیاف شیشه.

www.SID.ir

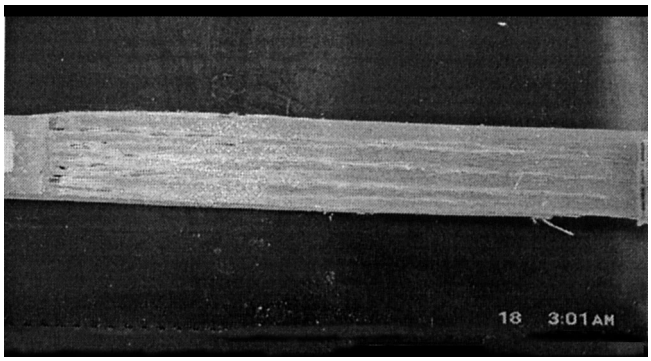


شکل ۱۳ - نحوه شکست کامپوزیت تقویت شده با نخ پوششی با پوسته ریسیده شده با تاب ۴۰۰ در متر.

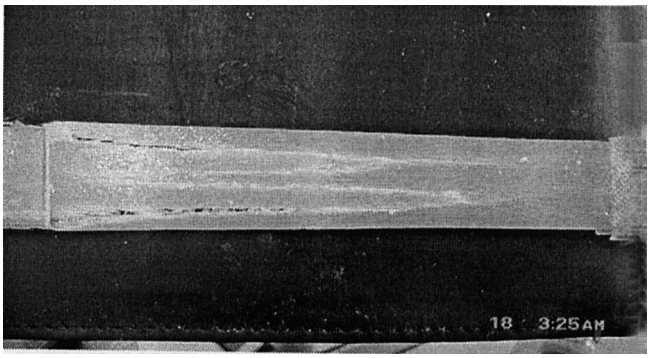
در جهت الیاف شکسته شده اند در شکلهای ۱۰ و ۱۱ آورده شده است و نشان می‌دهد که چسبندگی الیاف پلی استر به رزین و نفوذ رزین پلی استر به ساختار داخلی نخ پوششی ریسیده شده با تاب ۴۰۰ مطلوب است.

عکسهایی که از سطح قطعات کامپوزیتی برداشت شده است نشان می دهد که در اثر نیروی کششی اعمال شده در جهت الیاف سطح شکست قطعات کامپوزیتی تقویت شده با الیاف شیشه (شکل ۱۲) بسیار مخرب بوده و ترک در سطح مشترک الیاف و رزین در نواحی زیادی رشد پیدا کرده و باعث جدایی الیاف از رزین و باز شدن لایه ها از هم شده است. اما، در قطعاتی که نخ هیبریدی شیشه با پوسته نخ پلی استر ریسیده شده (شکل ۱۳) بکار رفته، سطح شکست مخرب نبوده و چون چسبندگی نخ به رزین افزایش یافته امکان رشد ترک در سطح مشترک نخها و رزین کاهش یافته است و به ترک امکان حرکت در سطح مشترک داده نشده است.

از مقایسه شکلهای ۱۴ و ۱۵ می توان تفاوت میان ساختار نخ پوششی کاملاً جهت یافته و بافته شده را مشاهده کرد و این نتیجه را گرفت که



شکل ۱۴- نحوه شکست کامپوزیت تقویت شده با نخ پوششی با پوسته کاملاً جهت یافته با تاب ۴۰۰ در متر.



شکل ۱۵- نحوه شکست کامپوزیت تقویت شده با نخ پوششی با پوسته بافته شده با تاب ۴۰۰ در متر.

چون نخهای پوششی با پوسته کاملاً جهت یافته سطح صافتری دارند به ترک امکان بیشتری داده می شود تا در سطح مشترک نخ و رزین رشد کند، اما در قطعات تقویت شده با نخ پوششی بافته شده، چون نخ پوسته حالت پفکی و حجیم داشته و چسبندگی بهتری به رزین دارد، مشاهده می شود که امکان رشد ترک در نخ پوششی با پوسته بافته شده کمتر از نخ پوششی با پوسته نخ کاملاً جهت یافته است و نتایج بدست آمده در این مقاله مشاهدات را تأیید می کنند.

نتیجه گیری

پوشش دهی الیاف شیشه به وسیله الیاف پلی استر با تابهای مختلف سبب کاهش چگالی، افزایش استحکام کششی ویژه، ازدیاد طول تا پارگی و جذب انرژی کششی بیشتر در جهت موازی و عمود بر الیاف در قطعات کامپوزیتی تقویت شده با نخهای پوششی می شود و استحکام ضربه ای را افزایش می دهد. بررسی اثر نوع ساختار نخ پوششی نشان می دهد که نخ پوششی با پوسته نخ ریسیده شده، بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی را دارد و آن هم به دلیل وجود نواحی برجسته و پرزهایی است که روی ساختار نخ پوششی قرار دارد و همچنین نخهای پوششی با نخ بافته شده به دلیل پفکی بودن نخ پوسته افزایش چسبندگی الیاف، جذب انرژی بهتر و بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی را نشان می دهد. افزایش تاب باعث افزایش نقاط برجسته و کاهش فضای لازم برای نفوذ رزین به مرکز نخ پوششی و افت خواص می شود، اما در تاب بهینه ۴۰۰ بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی مشاهده می‌شود، به نحوی که استحکام کششی ویژه، ازدیاد طول تا پارگی و جذب انرژی کششی در جهت الیاف به ترتیب ۶۵/۶، ۵۰/۲ و ۳۰۰ درصد و در جهت عمود بر الیاف بیش از دو برابر و میزان جذب انرژی ضربه ای بیش از سه برابر

www.SID.ir

افزایش می یابد. بررسیهای میکروسکوپی نشان می دهد که وجود الیاف پلی استر با ساختارهای متفاوت روی نخ شیشه بر مکانیسم شکست و رشد ترک تأثیر می گذارد و ساقط شدگی را با جذب انرژی بیشتر به تعویق و از شکست مخرب و جدایی لایه ها جلوگیری می کند.

قدردانی

از آقای مهندس ظهیرامامی مدیر عامل شرکت تولیدی و صنعتی فراسان و آقای دکتر موسوی پور غربی به دلیل همکاری و راهنماییهای بی شائبه در این طرح صمیمانه قدردانی می شود.

مراجع

1. Hancox N.L.; *Fiber Composite Hybrid Materials;* Applied Science, London, UK, 1981.
2. Clemans S.R.; *Advances in Composites;* **3**, Charlotte, USA, 1987.
3. Lauke B., Bunzel U. and Schneider K., Effect of Hybrid Yarn Structure on the Delamination Behaviour of Thermo-Plastic Composites , *Composites*; **29A**, 1397-1409, 1998.
4. Chaudhuri R.A. and Garala H., Analytical / Experimental Evaluation of Hybrid Commingled Carbon / Glass / Epoxy Thick-Section Composites under Compression , *J. Compos. Mater*.; **29**, 13, 1695-1718, 1995.
5. Suensson N. and Shishoo R., Interlaminar Fracture of Commingled GF/PET Composite Laminates , *J. Compos. Mater.;* **32**, 20, 1808-1835, 1998.
6. Natarajan S. and Michielsen S., Using Confocal Raman Microscopy to Determin the Structure and Orientation of the PET Interior of PET/PP Core / Shell Fibers , *J. Text. Res.;* **69**, 12, 903-907, 1999.
7. http://www.meyer-snamo.com, Stretch Twisted Yarns , 2002.
8. Qiu Y. and Schwartz P., Micromechanical Behavior of Kevlar-149/S-Glass Hybrid Seven-Fiber Microcomposites , *Compos. Sci. Technol.;* **47**, 289-301, 1993.
9. Cantwell W.J. and Morton J., The Impact Resistance of Composite Materials , *Composites;* **22**, 5, 347-362, Sep .1991.
10. Crawford R.J.; *Plastics Engineering;* Queen's Belfast, UK, 1998.
11. Jones D. and Dibenedetto T., Fiber Fracture in Hybrid Composite Systems , *Compos. Sci. Technol.;* **51**, 53-62, 1994.
12. Carroll M. and Ellyin F., The Rate Dependent Behaviour of $\pm 55^{\circ}$ Filament Wound Glass Fiber/Epoxy Tubes under Biaxial Loading , *Compos. Sci. Technol.;* **55**, 391-403, 1995.
13. French M.A. and Pritchard G., The Fracture Surfaces of Hybrid Fiber Composites , *Compos. Sci. Technol.;* **47**, 214-223, 1993.
14. Matthews F.L. and Rawlings R.D.; *Composite Materials: Engineering and Science;* Chapman and Hall, 1994.
15. Cheon S.S., Lim T.S. and Lee D.G., Impact Energy Absorption Characteristics of Glass Fiber Hybrid Composites , *Compos. Struc.;* **46**, 267-278, 1999.
16. Alimuddin M.A. and Piggott M.R., Fracture Toughness of Fiber-Polymer Interfaces Estimated from Single Fiber Peel Tests , *Polym. Compos.;* **20**, 5, 655-663, Oct. 1999.

www.SID.ir