بررسی تاثیر سازگارکننده های پلی اولفینی بر خواص مکانیکی و حرارتی کامپوزیت های پلی پروپیلن-الیاف شیشه و HDPE-چوب

حسین چیانی[1*]، محمد علی آبادی فراهانی[2]، جواد مفتخریان اصفهانی[3]

1. کارشناس واحد تحقیق و توسعه شرکت آریا پلیمر پیشگام، research@ariapolymer.ir
2. مدیرعامل شرکت آریا پلیمر پیشگام
3. مدیر واحد تحقیق و توسعه شرکت آریا پلیمر پیشگام

چکیده

یکی از مهمترین فاکتورهای موثر در بهبود خواص کامپوزیت های تقویت شده با الیاف تقویت کننده، چسبندگی مناسب ماتریس پلیمری با الیاف تقویت کننده است؛ این چسبندگی باید منجر به انتقال نیروی وارد شده از کامپوزیت به اجزای تشکیل دهنده کامپوزیت شود. برای تشکیل پیوند مناسب بین الیاف و پلیمر در کامپوزیت، لازم است از سازگارکننده ها یا عوامل اتصال دهنده استفاده شود. در این مقاله به بررسی تاثیر عامل اتصال دهنده بر پایه مونومر مالئیک انیدرید و رزین پایه پلی اتیلن(PE) و پلی پروپیلن(PP) روی خواص مکانیکی و حرارتی کامپوزیت های پلی اتیلن با دانسیته بالا HDPE-چوب و پلی پروپیلن-الیاف شیشه پرداخته می شود . خواص مکانیکی و حرارتی بحث شده پیرامون این دو کامپوزیت عبارتند از استحکام کششی، مدول کششی، استحکام خمشی، مدول خمشی، ضربه پذیری، استحکام تسلیم، ازدیاد طول تا نقطه شکست، ذوب و بلورینگی می باشد. به عنوان نمونه در یک مقایسه که بین عوامل اتصال دهنده مالئیک انیدرید و اکریلیک اسید بر پایه رزین های پلی پروپیلنی و پلی اتیلنی برای بهبود خواص کامپوزیت HDPE-چوب انجام شده، مشاهده شده است که عامل اتصال دهنده مالئیک انیدرید بر پایه رزین پلی اتیلنی HDPE تاثیر بیشتری نسبت به سایر عوامل اتصال دهنده و کامپوزیت بدون عامل اتصال و HDPE خالص، روی بهبود خواص استحکام تسلیم، ازدیاد طول تا نقطه شکست، مدول کششی، استحکام خمشی و مدول خمشی داشته است. همچنین با بررسی و مقایسه دو عامل اتصال دهنده مالئیک انیدرید بر پایه رزین پلی پروپیلن(PP-g-MA) و مالئیک انیدرید بر پایه رزین کوپلیمر استایرن اتیلن بوتیلن استایرن(SEBS-g-MA) در بهبود خواص کامپوزیت پلی پروپیلن-الیاف شیشه مشخص شد که افزودن PP-g-MA منجر به افزایش استحکام کششی، مدول کششی، استحکام خمشی، مدول خمشی و کاهش ضربه پذیری و افزودن SEBS-g-MA منجر به کاهش استحکام کششی، مدول کششی، استحکام خمشی، مدول خمشی و افزایش ضربه پذیری می شود. همچنین افزودن این دو عامل اتصال باعث افزایش دمای بلورینگی می شوند اما تاثیر چندانی روی دمای ذوب نخواهند داشت. درابتدای مقاله

به بررسی تاثیر عوامل اتصال دهنده مالئیک انیدرید و اکریلیک اسید بر روی کامپوزیت HDPE-چوب و در ادامه به تاثیر عوامل اتصال دهنده مالئیک انیدرید و اکریلیک اسید بر روی کامپوزیت HDPE-چوب پرداخته می شود.

واژه های کلیدی: عامل اتصال دهنده، سازگارکننده، الیاف شیشه، کامپاند

1. مقدمه

پلی پروپیلن(PP) یکی از پرمصرف ترین پلیمر های دنیا شمار می آید. این ماده به علت ویژگی های فرایندی مناسب، پایداری شیمیایی بالا و عایق الکتریکی، به طور فراگیر در اجزای یدکی وسایل نقلیه، دوچرخه ها، محصولات الکترونیکی، لوازم عمرانی، ابزار پزشکی و محصولات شیمیایی استفاده می شود. با تمام این ها، PP دارای خواص مکانیکی نسبتا پایینی است و به این جهت چارچوب کاربری و استفاده از آن محدود می شود. مطالعات بیشماری بر روی افزایش خواص مکانیکی PP صورت گرفته است. این مطالعات نشان می دهد موادی نظیر نانوذرات، کلسیم کربنات، سیلیکون اکسید و همچنین الیاف شیشه ای، الیاف کربنی و الیاف بازالت و به خصوص الیاف شیشه ای کوتاه باعث استحکام مکانیکی PP می شود.

در بخش نخستین درباره کامپوزیت پلی پروپیلن-الیاف شیشه ای(PP/SGF) و اثرات عامل اتصال دهنده و مکانیزم آنها در کامپوزیت پلیمری صحبت می شود و در بخش دوم، به بررسی تاثیر دو عامل عامل اتصال دهنده PP-g-MA و SEBS-g-MA با مونومر یکسان مالئیک انیدرید و با دو پایه پلیمری مختلف روی خواص مکانیکی و حرارتی کامپوزیت PP/SGF پرداخته می شود.

تحقیقات متعددی برای اصلاح سطح الیاف چوب با استفاده از عوامل اتصال دهنده به جهت بهبود خواص کامپوزیت های پلاستیک-الیاف چوب صورت گرفته است. یکی از این تحقیقات، مطالعه بهبود خواص کامپوزیت HDPE-چوب به وسیله عوامل اتصال دهنده اکریلیک اسید و مالئیک انیدرید بر پایه PE و PP می باشد.

در بخش نخستین مقاله به بررسی تاثیر جفت کننده (بر پایه مونومر اکریلیک اسید و مالئیک انیدرید) و رزین پایه(پلی اتیلن(PE) و پلی پروپیلن(PP)) روی خواص کششی و خمشی کامپوزیت پلی اتیلن با دانسیته بالا(HDPE)-چوب پرداخته می شود. پلیمرهای ترموپلاستیک روند تازه ای در توسعه مواد ایجاد کرده اند. دارای مزایایی از قبیل قیمت پایین تولید، تنوع بالا، منابع کافی، وزن سبک، خواص مکانیکی خوب، مقاومت شیمیایی و همچنین فرایند تولید با بازده بالا می باشند.

2. بررسی تاثیر عوامل اتصال دهنده مالئیک انیدرید و اکریلیک اسید بر روی کامپوزیت HDPE-چوب

2.1. ساخت کامپوزیت HDPE-چوب

انواع مختلفی از دو عامل سازگار کننده نامبرده(عوامل سازگار کننده بر پایه اکریلیک اسید و مالئیک انیدرید) در این کامپوزیت شرکت استفاده می شوند. جدول زیر مشخصات این کوپلینگ ایجنت ها (Coupling agents) را بررسی می کند.

جدول1: مشخصات عوامل اتصال دهنده استفاده شده در کامپوزیت

Coupling Agents	Acronyms	Base Resins	Functional Monomers	Percent Functionality
Acrylic acid-functionalized polypropylene (Polybond 1001)	AA-PP	PP homopolymer	Acrylic acid	6.0
Acrylic acid-functionalized high-density polyethylene (Polybond 1009)	AA-HDPE	HDPE	Acrylic acid	6.0
Maleated high-density polyethylene (Polybond 3009)	MA-HDPE	HDPE	Maleic anhydride	1.0
Maleated linear low-density polyethylene (Polybond 3109)	MA-LLDPE	LLDPE	Maleic anhydride	1.0
Maleated polypropylene (Polybond 3200)	MA-PP	PP homopolymer	Maleic anhydride	1.0

2.2. آزمون خواص مکانیکی

نتایج این آزمون در جدول زیر قابل مشاهده است.

جدول2: خواص مکانیکی HDPE خالص و کامپوزیت های HDPE-چوب

Samples[1]	Tensile Properties[2]			Flexural Properties[2]	
	Yield Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Tensile Modulus (GPa)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
Neat HDPE	19.3±1.0^{A}	Did not break	0.9±0.1^{A}	19.5±1.2^{A}	0.8±0.0^{A}
Composites without coupling agent	9.3±0.6^{B}	1.6±0.2^{A}	1.7±0.0^{B}	20.8±1.5^{AB}	1.6±0.2^{B}
HDPE–wood-flour composites with AA-PP (Polybond 1001)	11.9±0.9^{C}	1.4±0.3^{B}	1.8±0.1^{B}	22.8±2.7^{B}	1.4±0.3^{B}
HDPE–wood-flour composites with AA-HDPE (Polybond 1009)	10.9±0.6^{C}	1.5±0.2^{AB}	1.6±0.2^{B}	24.4±1.7^{BC}	1.6±0.2^{B}
HDPE–wood-flour composites with MA-HDPE (Polybond 3009)	21.6±1.4^{D}	2.5±0.3^{C}	1.9±0.2^{B}	37.0±0.8^{D}	2.0±0.0^{C}
HDPE–wood-flour composites with MA-LLDPE (Polybond 3109)	19.1±1.5^{A}	2.0±0.2^{D}	1.8±0.2^{B}	35.2±3.2^{D}	2.0±0.2^{C}
HDPE–wood-flour composites with MA-PP (Polybond 3200)	14.8±1.1^{E}	1.3±0.1^{B}	1.8±0.2^{B}	26.2±1.9^{C}	1.6±0.1^{B}
R^2	0.944	0.965	0.906	0.920	0.897
Prob. > F	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

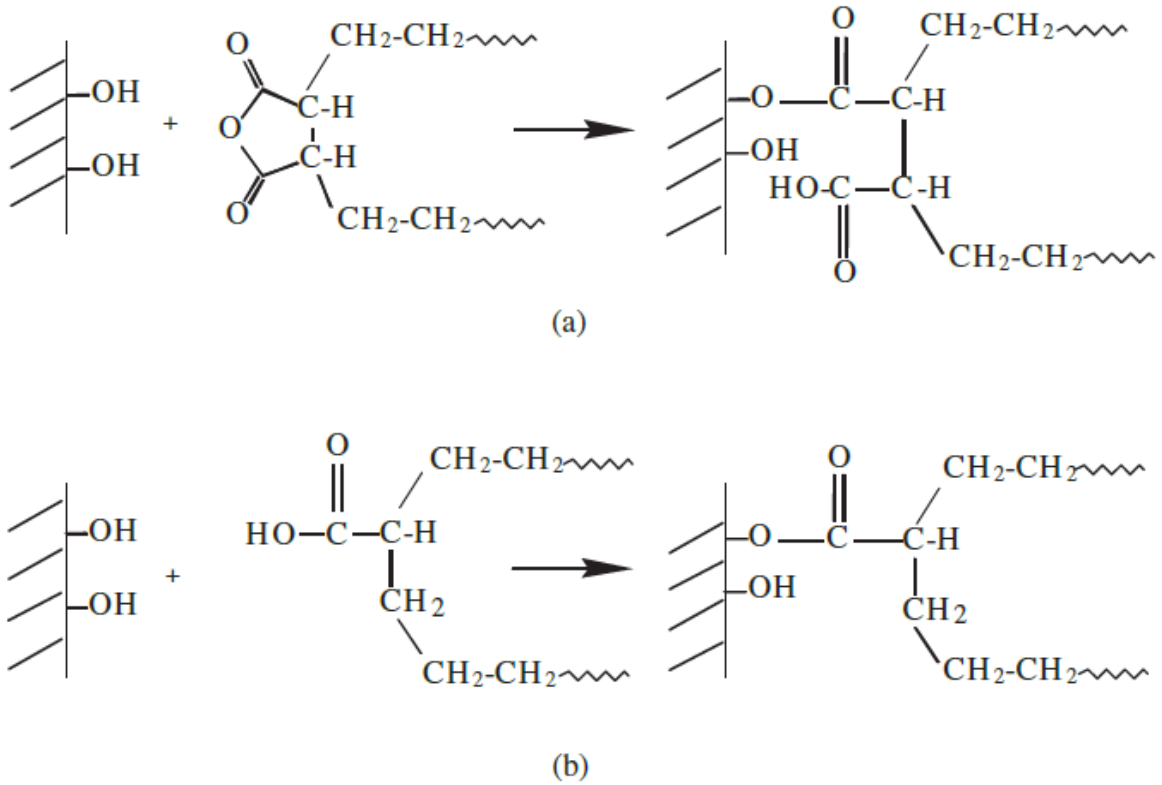
[1]Composites were made of 60% HDPE and 40% wood flour based on the total weight of composites. The coupling agent contents were fixed at 5% based on the oven-dry weight of wood flour.
[2]The capitalized letters represent the ANOVA results. The means with the same letter denote that the difference between these two treatments is not statistically significant ($p > 0.1$). Otherwise, the difference is statistically significant ($p<0.05$).

نکته ای که در جدول فوق حائز اهمیت است، این است که استحکام کششی کامپوزیت HDPE-چوب کمتر از HDPE خالص است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که چسبندگی ضعیف بین سطحی میان چوب و ماتریس HDPE یکی از عوامل افت استحکام کششی است.

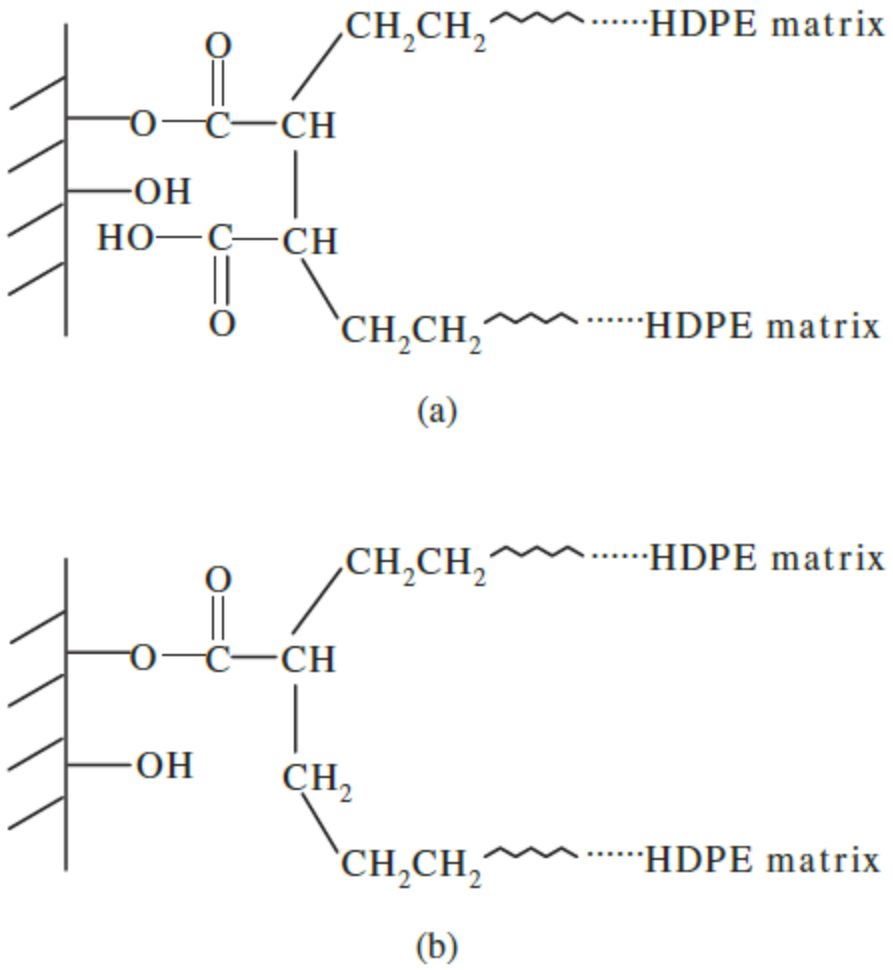
وجود عامل اتصال دهنده، صرف نظر از مونومر عامل و نوع رزین پایه، تاثیر مثبتی روی استحکام کششی کامپوزیت دارد. تمام پلی اولفین های عامل دار به طرز قابل توجهی استحکام تسلیم کامپوزیت HDPE-چوب را نسبت به کامپوزیت های بدون جفت کننده بهبود می بخشند. این افزایش چشمگیر در استحکام کششی کامپوزیت ها ممکن است به بهبود چسبندگی بین سطحی میان چوب و ماتریس HDPE نسبت داده شود.

بهبود چسبندگی بین سطحی میان آرد چوب و ماتریس HDPE با افزودن عوامل اتصال دهنده را می توان به ماهیت واکنش شیمیایی گروه های عاملی عوامل اتصال دهنده و گروه های هیدروکسیلی چوب و انتشار زنجیره پلی اولفینی سازگار کننده های داخل فاز ماتریس HDPE حین فرایند مرتبط دانست. در این حالت، اکریلیک اسید و گروه های مالئیک انیدرید بر روی سطح آرد چوب چسبانده شده که می تواند زنجیره های پلی اولفین را به سطح آرد چوب متصل کند.

می توان واکنش های شیمیایی فوق را در شکل های زیر مشاهده نمود.



شکل 1: شما واکنش استری بین آرد چوب و a) مالئات پلی اتیلن b)اکریلیک اسید



شکل2: مکانیزم های فرضیه ای بین ماتریس HDPE و آرد چوب با افزودن پلی اتیلن های عامل دار شده با عوامل اتصال دهنده: a) مالئات پلی پروپیلن و b) پلی اتیلن عامل دار شده با اکریلیک اسید

شکل های بالا روند واکنش شیمیایی فرایند مورد بحث را نشان می دهد. شکل اول واکنش شیمیایی گروه های عاملی عوامل اتصال دهنده و گروه های هیدروکسیلی چوب را نمایش می دهد و در شکل دوم به پخش شدن زنجیره پلی اولفینی عوامل اتصال دهنده در ماتریس HDPE پرداخته می شود.

بهبود چشمگیر استحکام در نقطه تسلیم کامپوزیت HDPE-چوب به شدت به مونومر های عاملی کوپلینگ ایجنت ها و نوع رزین پایه بستگی دارد(شکل2).

با توجه به نوع مونومر های عامل دار، پلی اولفین های عامل دار شده با مالئیک انیدرید، عملکرد بهتری نسبت به پلی اولفین عامل دار شده با اکریلیک اسید دارند. قابل توجه است که پلی اولفین های عامل دار شده با اکریلیک اسید باعث بهبود استحکام کامپوزیت می شود؛ اما تاثیر آن کمتر از افزودن عامل اتصال دهنده پلی اولفین گرافت شده با مالئیک انیدرید است. این نتایج، دلالت بر بهبود

بیشتر خاصیت های خیس شوندگی و چسبندگی سطحی آرد چوب و ماتریس HDPE توسط پلی اولفین گرافت شده با مالئیک انیدرید دارد.

3. تاثیر دو عامل اتصال دهنده SEBS-g-MA و PP-g-MA روی خواص مکانیکی PP/SGF

3.1. بررسی خواص مکانیکی

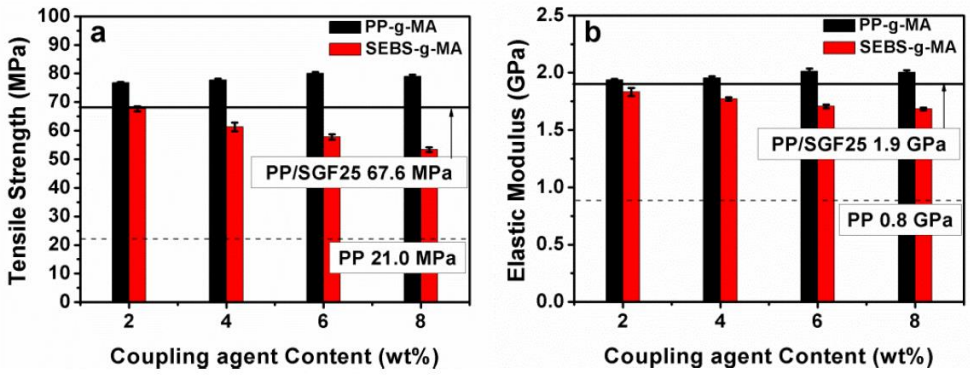
در این قسمت سعی بر آن است به تاثیر عوامل اتصال دهنده بر خواص مکانیکی کامپوزیت پلی پروپیلن-الیاف شیشه ای پرداخته شود.موادی که در تولید این کامپوزیت استفاده می شود بدین صورت است:

جدول3: خواص فیزیکی مواد: پلی پروپیلن PP، الیاف شیشه ای کوتاه SGF، مالئیک اسید پیوند شده با پلی پروپیلنPP-g-MA، مالئیک انیدرید پیوند شده با کوپلیمر استایرن اتیلن بوتیلن استایرنSEBS-g-MA

Material	Density (g/cm^3)	Melt Index (g/10 min)	Diameter (μm)	Length (mm)	Graft Weight (%)
PP	0.900	10 (230 °C / 2.16 Kg measured)	-	-	-
SGF	-	-	13	3.2	-
PP-g-MA	0.903	120 (190 °C / 2.16 Kg calculated)	-	-	0.5
SEBS-g-MA	0.910	22 (230 °C / 5 Kg measured)	-	-	1.5

در نمودار و جدول زیر مقایسه ای بین خواص کششی کامپوزیت پلی پروپیلن-الیاف شیشه ای(Polypropylene/Short Glass Fibers یا به اختصار PP/SGF) در مقادیر مختلف عوامل اتصال دهنده PP-g-MA و SEBS-g-MA با پلی پروپیلن-الیاف شیشه ای خالص صورت گرفته است. استحکام کششی کامپوزیت ها وابسته به مقدار این عوامل اتصال دهنده است. نتایج نشان می دهد که افزودن عامل اتصال دهنده بر پایه پلی پروپیلن باعث بهبود استحکام کششی کامپوزیت می شود. به عنوان مثال افزودن 8% عامل PP-g-MA استحکام کششی را از 67.6 Mpa به 79.0 Mpa می رساند. این در حالی است که با توجه به ماهیت SEBS به عنوان یک ترموپلاستیک الاستومر، افزودن عامل اتصال دهنده کاهش استحکام کششی را منجر می شود به گونه ای که همین مقدار از عامل SEBS-g-MA استحکام کششی را به 50.6 Mpa می رساند که نشان می دهد استحکام کششی کامپوزیت با مقدار SEBS-g-MA اضافه شده، کاهش می یابد.

همچنین مدول کششی کامپوزیت با افزایش میزان سازگار کننده پایه پلی پروپیلن افزایش می یابد به عنوان مثال افزودن 8% عامل PP-g-MA از 1998 Mpa به 2004 Mpa افزایش پیدا می کند. بنابراین مدول کاموزیت به شدت تحت تاثیر مقدار PP-g-MA است. برعکس، با افزایش میزان عامل اتصال دهنده بر پایه SEBS مدول کاهش می یابد. به عنوان مثال افزودن 8 درصد از عامل SEBS-g-MA مدول را تا مقدار 1683.6 Mpa پایین می آورد.



شکل3: a) استحکام کششی و b) مدول کششی کامپوزیت PP/SGF

جدول4: خواص مکانیکی PP خالص و کامپوزیت PP/SGF با مقادیر مختلف عوامل اتصال دهنده

Composite	σ_T (MPa)	E_T (GPa)	σ_F (MPa)	E_F (GPa)	IS (J/m)
PP	21.0 ± 0.8	0.8 ± 0.032	47.9 ± 1.3	1.3 ± 0.051	44.8 ± 0.0
PP/SGF25	67.6 ± 0.9	1.9 ± 0.026	99.3 ± 2.7	3.5 ± 0.045	73.7 ± 3.3
PP-g-MA (2 wt %)	76.8 ± 0.2	1.9 ± 0.008	120.0 ± 4.2	3.2 ± 0.268	101.9 ± 7.5
PP-g-MA (4 wt %)	77.7 ± 0.4	1.9 ± 0.013	123.3 ± 1.0	3.4 ± 0.031	103.5 ± 10.1
PP-g-MA (6 wt %)	80.0 ± 0.6	2.0 ± 0.022	127.2 ± 0.9	3.5 ± 0.032	103.5 ± 3.6
PP-g-MA (8 wt %)	79.0 ± 0.5	2.0 ± 0.016	123.4 ± 2.8	3.6 ± 0.035	97.5 ± 5.6
SEBS-g-MA (2 wt %)	61.3 ± 1.5	1.8 ± 0.035	97.8 ± 2.9	3.2 ± 0.320	77.7 ± 0.0
SEBS-g-MA (4 wt %)	57.8 ± 0.9	1.8 ± 0.014	90.6 ± 1.0	3.2 ± 0.031	82.0 ± 3.5
SEBS-g-MA (6 wt %)	53.4 ± 0.8	1.7 ± 0.016	84.8 ± 1.0	3.0 ± 0.052	86.2 ± 2.7
SEBS-g-MA (8 wt %)	50.6 ± 0.9	1.7 ± 0.012	81.4 ± 1.2	2.9 ± 0.076	90.3 ± 2.7

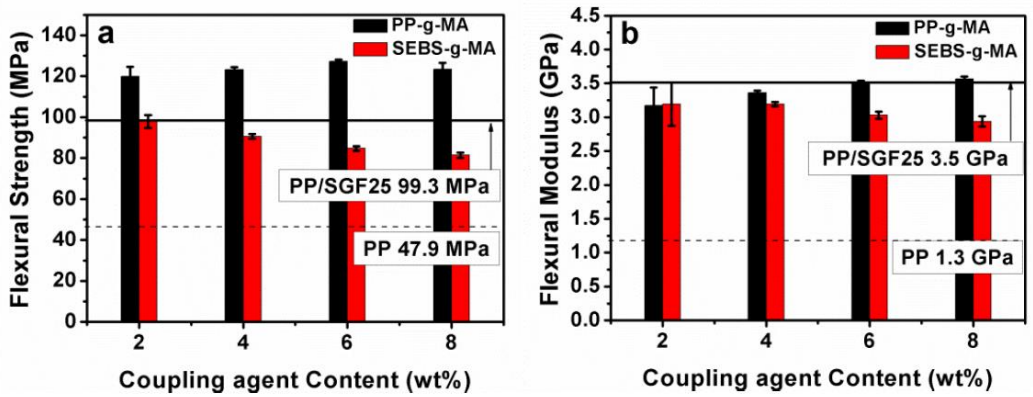
Note. σ_T is the tensile strength; E_T is the tensile modulus; σ_F is the flexural strength; E_F is the flexural modulus; and IS is the impact strength.

نمودار و جدول زیر همچنین خواص خمشی کامپوزیت PP/SGF را به ازای مقادیر مختلف عوامل اتصال دهنده مذکور نشان می دهد. افزودن 8% عامل PP-g-MA استحکام خمشی را از 99.3Mpa به 123.4 Mpa می رساند که نشان دهنده ارتباط مستقیم بین مقادیر PP-g-MA و استحکام خمشی است. ولی وقتی همین درصد از عامل SEBS-g-MA افزوده می شود استحکام کششی تا مقدار 81.3 Mpa کاهش می یابد که این مورد هم حاکی از رابطه عکس استحکام خمشی و مقدار SEBS-g-MA است.

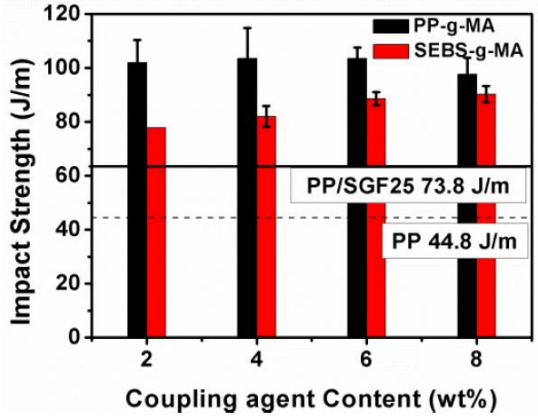
مشاهده می شود که تقریبا در تمام موارد، افزایش خاصیت مکانیکی با افزایش مقدار PP-g-MA رابطه مستقیم و با SEBS-g-MA رابطه عکس دارد. تنها موردی که در این گزاره صدق نمی کند، خاصیت ضربه پذیری است. همانطور که از داده ها مشخص می شود، افزودن 8% از دو عامل PP-g-MA و SEBS-g-MA به ترتیب میزان ضربه پذیری را از 73.6 J/m برای کامپوزیت بدون عامل اتصال دهنده را به 97.5 J/m و 90.2 J/m می رساند. این موضوع حاکی از آن است افزایش مقدار هردو عامل، تاثیر مستقیمی بر میزان خواص ضربه پذیری PP دارد.

حال باید بررسی نمود که ریشه این تغییرات در چه پارامترهایی قرار دارد. در این بررسی باید تاثیر فاکتورهای مختلف همچون عدم سازگاری پایه پلیمر ماتریس (PP)، با پایه عامل اتصال دهنده SEBS، خاصیت سازگارکنندگی SEBS-g-MA و جریان پذیری مذاب در پدیده خیس شوندگی

بررسی شود. همانطور که گفته شد با اضافه کردن عامل SEBS-g-MA استحکام کششی و خمشی PP دچار افت می شود. SEBS-g-MA یک ماده ترموپلاستیک الاستومر است و پایه پلیمری الاستومری آن منجر به کاهش استحکام کششی و خمشی کامپوزیت حاصل شده می گردد. هرچه مقدار SEBS-g-MA بیشتر شود، کاهش استحکام بیشتر خواهد بود. با این حال در خواص ضربه، بهبود در سازگاری بین SEBS-g-MA و SGF پدید می آید که تا حدی منجر به تقویت خواص کامپوزیت می شود. شکل 7 نشان می دهد که اختلاط یک SEBS-g-MA منجر به واکنشی شیمیایی بین PP و SGF می شود که سازگاری سطح مشترک آن ها را دربر دارد.این بهبود سازگاری در سطح مشترک به تغییر شکل کامپوزیت تحت ضربه کمک می کند؛ و همین تغییر شکل می تواند انرژی حاصل از ضربه را جذب کند و کامپوزیت را چقرمه تر کند. همین امر منجر به افزایش استحکام ضربه پذیری می شود. اگر چه چقرمگی کامپوزیت به سبب وجود SEBS-g-MA بالا می رود، ولی استحکام کششی و خمشی کم می شوند. در واقع الاستومر ها چقرمگی کامپوزیت را به ازای قربانی کردن سفتی و ثبات شکل آن ها، افزایش می دهند.



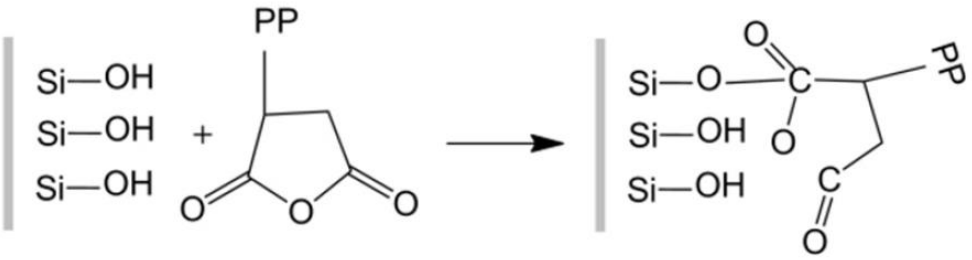
شکل4: a) استحکام خمشی b) مدول خمشی کامپوزیت PP/SGF



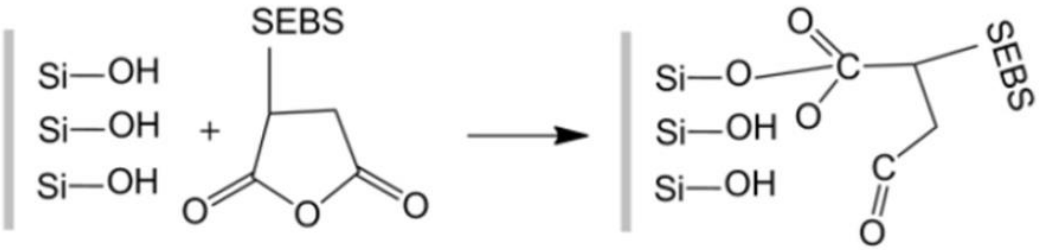
شکل5: استحکام ضربه پذیری کامپوزیت PP/SGF به ازای مقادیر مختلف عامل اتصال دهنده

جدول5: تغییرات خواص کششی، خمشی و ضربه پذیری بر حسب درصد

Coupling Agent (wt %)	PP-g-MA					SEBS-g-MA				
	σ_T (%)	E_T (%)	σ_F (%)	E_F (%)	IS (%)	σ_T (%)	E_T (%)	σ_F (%)	E_F (%)	IS (%)
PP/SGF25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 wt %	14	−3	21	−9	38	−8	−8	−2	−8	5
4 wt %	15	−2	24	−4	41	−14	−11	−9	−8	12
6 wt %	18	1	28	1	41	−21	−14	−15	−13	17
8 wt %	18	0	24	2	33	−25	−15	−18	−16	23



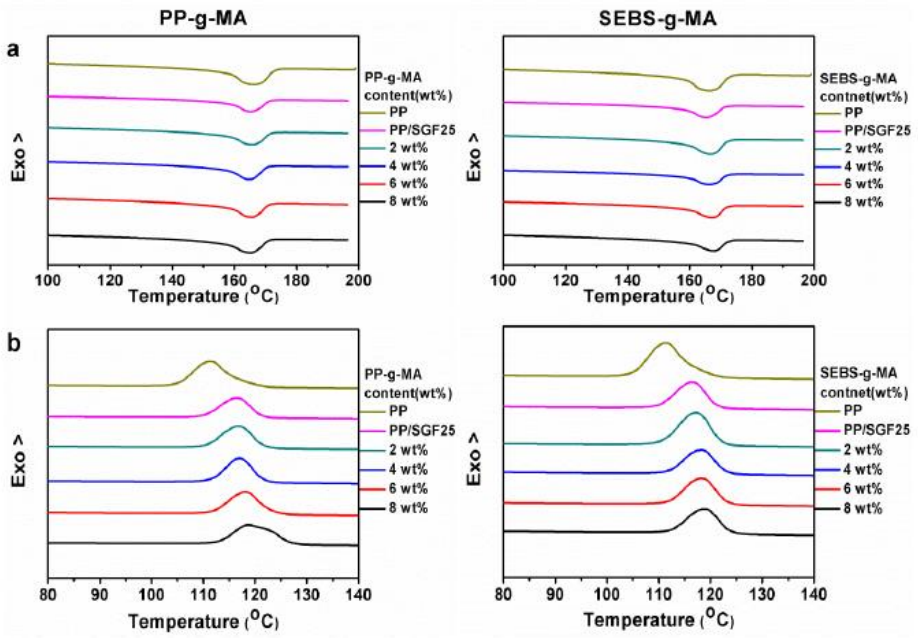
شکل6: واکنش شیمیایی بین PP-g-MA و SGF



شکل7: واکنش شیمیایی بین SEBS-g-MA و SGF

3.2. تاثیر دو عامل اتصال دهنده SEBS-g-MA و PP-g-MA روی رفتار های حرارتی PP/SGF

طبق مقایسات انجام شده بین دمای بلورینگی(T_c) و نقطه ذوب(T_m) PP خالص و کامپوزیت PP/SGF، کامپوزیت های PP/SGF که دارای عامل PP-g-MA هستند، دارای T_c و T_m کمی بالاتری هستند. می توان در شکل های زیر این مقایسه را بررسی کرد.



شکل8: منحنی های DSC برای a) رفتار های ذوب b)رفتار های بلورینگی کامپوزیت PP/SGF

پیک های موجود در منحنی های شکل های a و b به ترتیب نمایانگر نقطه ذوب و نقطه بلورینگی می باشد.

همانطور که مشاهده می شود، افزودن 8% از PP-g-MA به کامپوزیت PP/SGF دمای بلورینگی از 116.4°C به 118.8°C افزایش پیدا می کند. در کامپوزیت PP/SGF، وجود رشته SGF در PP خالص، خود باعث افزایش دمای بلورینگی می شود و افزودن PP-g-MA به SGF کمک می کند تا موثر تر عمل کند و سازگاری بیشتری با ماتریس PP نشان دهد. در نهایت، SGF مساحت سطح بیشتری با PP پیدا می کند که منجر به پدیده هسته گذاری می شود و می تواند دمای بلورینگی را بالا ببرد.

نقطه ذوب کامپوزیت PP/SGF با حضور PP-g-MA در حدود 165.4°C می باشد. همچنین مشاهده می شود دمای ذوب به مقدار PP-g-MA وابسته نیست. بدان معنی که پیوند عامل PP-g-MA به ساختار کریستالی و پایداری حرارتی PP ارتباطی ندارد. افزودن 8% از SEBS-g-MA به کامپوزیت PP/SGF، دمای بلورینگی را از 116.4°C تا 118.8°C بالا می برد. در کامپوزیت PP/SGF، پیوند های رشته SGF باعث افزایش T_c می شوند. SEBS-g-MA به عنوان یک عامل هسته گذار وارد کامپوزیت می شود و باعث پدیده هسته گذاری PP و در نتیجه باعث افزایش T_c می شود. همچنین T_m کامپوزیت PP/SGF با افزودن 8% از SEBS-g-MA از 166.21°C به 167.51°C می رسد. نتایج نشان می دهد افزودن این عامل هم در تغییر دمای ذوب بی تاثیر است.

به طور خلاصه، افزودن هرکدام از دو عامل PP-g-MA و SEBS-g-MA موجب افزایش اندکی در T_c می شود که هرچه مقدار عامل بیشتر باشد، به این روند افزایشی کمک می شود؛ همچنین افزودن این دو عامل باعث افزایش T_m می شود اما زیادتر کردن مقدار عامل در کامپوزیت، تاثیری روی نقطه ذوب ندارد.

4. جمع بندی

با توجه به مقایسه موارد فوق می توان به این نتیجه رسید که انتخاب عامل اتصال دهنده مناسب، امری مهم در فرایند Coupling می باشد. چنانچه مشاهده شد رفتار عوامل اتصال دهنده مختلف در برابر هر خاصیتی از خواص مکانیکی و حرارتی می تواند متفاوت باشد.

برای انتخاب یک سازگارکننده مناسب، در نظر گرفتن مواردی نظیر خواص مکانیکی و حرارتی مطلوب متناسب با کاربرد پلیمر امری ضروری است. برای مثال ممکن است در یک کاربرد خاص، پلیمری با دمای بلورینگی بالا یا ضربه پذیری پایین و یا مدول خمشی بسیار زیاد مدنظر باشد. تمام این موارد در انتخاب یک سازگارکننده لحاظ می شود.

با این وجود عوامل سازگارکننده ای نظیر مالئیک انیدرید به دلیل تاثیرات مساعدی که روی بسیاری از خواص مکانیکی و اثرات قابل قبولی روی خواص حرارتی دارد، ارائه دامنه وسیعی از میزان خواص مکانیکی و حرارتی و به دلیل دامنه کاربرد گسترده این میزان خواص در صنعت، همواره مورد توجه صنعتگران در زمینه های پلیمری بوده و هست. بنابراین اینگونه مواد سازگارکننده را می توان از مواد اثربخش در فرایند های مربوطه برشمرد.

منابع:

1. Li, Q., Matuana, L.M. (2003). Effectiveness of Maleated and Acrylic Acid-Functionalized Polyolefin Coupling Agents for HDPE–Wood-Flour Composites
2. Lin, J.H., Huang, C.L., Liu, C.F., Chen, C.K., Lin, Z.L. and Lou, C.W. (2015). Polypropylene/Short Glass Fibers Composites: Effects of Coupling Agents on Mechanical Properties, Thermal Behaviors, and Morphology
3. Liao, B., Huang, Y. and Cong, G. (1997). Influence of Modified Wood Fibers on the Mechanical Properties of Wood Fiber-Reinforced Polyethylene
4. Lai, S.M., Yeh, F.C., Wang, Y., Chan, H.C., Shen, H.F. and Hsiao, K.K. (2001). Effectiveness of Functionalized Polyolefins as Compatibilizers for Polyethylene/Wood Flour Composites
5. Tam, W.Y.; Cheung, T.Y.H.; Li, R.K.Y. (2000). Impact properties of glass fibre/impact modifier/polypropylene hybrid composites
6. Shubhra, Q.T.; Alam, A.; Quaiyyum, M. (2013). Mechanical properties of polypropylene composites: A review. J. Thermoplast. Compos