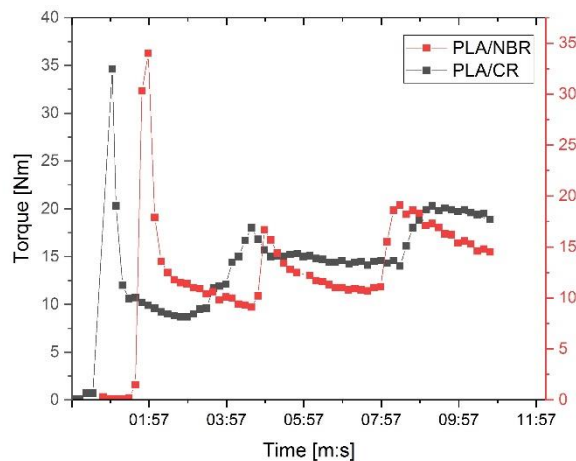


تهیه و مقایسه خواص مکانیکی و مقاومت ضربه ترموپلاستیک الاستومر پخت دینامیکی شده بر پایه PLA/NBR و PLA/CR

در چند دهه اخیر، به دلیل آلودگی‌های زیست محیطی و کاهش ذخایر نفتی، مطالعات گسترده‌ای بر روی پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر صورت گرفته‌است. پلی لاکتیک‌اسید (PLA)، به دلیل زیست سازگاری و خواص مکانیکی بالا، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است. با این وجود، کرنش پذیری و چقرمگی پایین PLA منجر به محدودیت در استفاده از این پلیمر شده‌است. از روش‌های متفاوتی برای اصلاح چقرمگی PLA استفاده شده که اختلاط با یک (لاستیک)، به کمک اختلاط مذاب بیشترین کاربرد را دارد. از طرفی ایجاد اتصالات عرضی در لاستیک حین اختلاط مذاب، موجب بهبود خواص مکانیکی آلیاژ می‌شود. در این کار ما به بررسی و مقایسه خواص مکانیکی و چقرمگی سامانه‌های پخت دینامیکی شده بر پایه PLA/NBR و PLA/CR می‌پردازیم. به منظور بررسی خواص مکانیکی آلیاژها، از آزمون کشش و ضربه استفاده شد. ازدیاد طول تا شکست در نمونه حاوی NBR در حدود ۲۰۰ برابر و برای CR در حدود ۸۰ برابر PLA خالص شد که نسبت به نمونه‌های پخت نشده برای NBR در حدود ۱۱ برابر و برای CR حدود ۶ برابر بهبود یافته است. استحکام کششی در نمونه حاوی NBR در حدود ۵۰ درصد و برای CR حدود ۱۰ درصد نسبت به PLA خالص کاهش یافته‌است. چقرمگی نمونه حاوی NBR، ۴۸ برابر و نمونه حاوی CR، ۲۰ برابر PLA خالص است. به عنوان نتیجه این بررسی، برای بهبود خواص کششی و چقرمگی PLA، استفاده از NBR نسبت به CR، ارجحیت داشته و برای جلوگیری از کاهش استحکام PLA، استفاده از CR پیشنهاد می‌شود.

۱-۱- بررسی فرایند پخت دینامیکی

به منظور تهیه آمیزه‌های ترموپلاستیک الاستومر و بررسی چگونگی وقوع پخت دینامیکی، از مخلوط کننده داخلی استفاده شد. همه نمونه‌ها در دمای 170°C و دور 70 rpm به مدت ده دقیقه تهیه شدند. در شکل ۱ منحنی گشتاور اختلاط دو سامانه نسبت به زمان نشان داده شده‌است. پیک اولیه مربوط به ذوب فاز ترموپلاستیک PLA می‌باشد؛ بعد از گذشت ۲ الی ۳ دقیقه گشتاور اختلاط کاهش یافته و ثابت می‌شود و سپس فاز لاستیک به مخلوط کن افزوده شد. ۳ الی ۴ دقیقه، اختلاط فاز PLA با فاز لاستیک ادامه یافته و سپس سامانه پخت پراکسیدی به مخلوط اضافه شد و افزایش گشتاور مشاهده شده که شاهدهی بر وقوع پخت فاز لاستیکی، برهمکنش بین اجزا در فصل مشترک دو فاز و بهبود فصل مشترک می‌باشد. پخت تا ۲ الی ۳ دقیقه ادامه یافت؛ سپس نمونه را از دستگاه خارج کرده و در نهایت در دمای محیط خنک شد. نمونه‌ها حاوی ۸۰ درصد PLA و ۲۰ درصد NBR و دیگری ۲۰ درصد CR بوده که به ترتیب به صورت DP8N2 و DP8C2 نمایش داده شده‌اند.



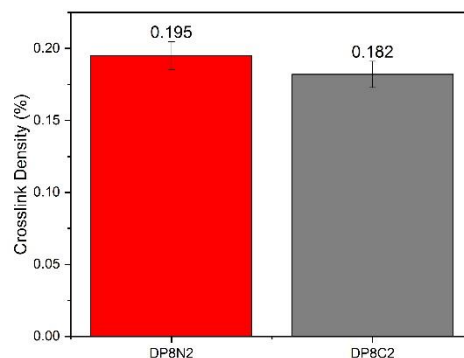
شکل ۱- منحنی گشتاور اختلاط علیه زمان برای دو سامانه

۲-۱- بررسی اتصالات عرضی

به منظور بررسی میزان اتصالات ایجاد شده در فاز لاستیکی، از آزمون تورم استفاده شد. طی این آزمون، نمونه‌ها به مدت ۱۲۰ ساعت در دمای محیط در حلال تولوئن قرار گرفتند. می‌دانیم ایجاد اتصالات عرضی در فاز لاستیکی از انحلال این فاز در تولوئن جلوگیری می‌کند. پس از ۱۲۰ ساعت شاهد تورم در نمونه‌ها بوده و پس از توزین نمونه‌ها و استفاده از رابطه ۱ به محاسبه این میزان اتصالات عرضی پرداختیم.

$$V_r = \frac{1}{1 + \left(\frac{m_2 - 1}{m_1}\right) \frac{\rho_r}{\alpha \rho_s}} \quad \text{رابطه ۱-}$$

که در این رابطه m_1 و m_2 وزن نمونه‌ها قبل و بعد از تورم، ρ_r چگالی فاز لاستیکی، α درصد وزنی فاز لاستیک و ρ_s چگالی تولوئن (0.865 g/cm^3) می‌باشد. میزان اتصالات عرضی به دست آمده در شکل ۲-۱ مشاهده می‌شود.

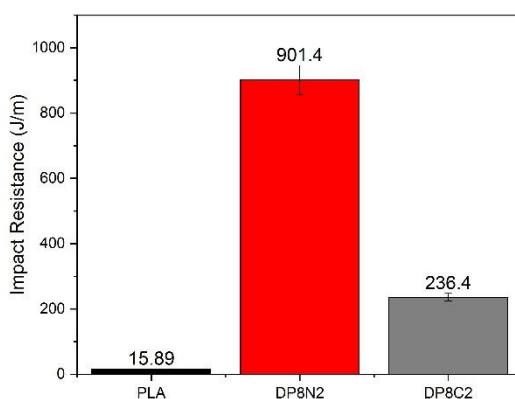


شکل ۲- میزان اتصال عرضی در دو سامانه

۳-۱- بررسی خواص مکانیکی

۳-۱-۱- مقاومت ضربه

برای بررسی میزان چقرمگی نمونه‌ها از آزمون مقاومت ضربه (نوع Izod) استفاده شد. برای تهیه نمونه‌ها از ASTM256 استفاده شد و پس از تهیه نمونه، در نمونه‌ها ناچ ایجاد شد. در شکل ۳ مقاومت ضربه مشاهده می‌شود. با توجه به شکل، چقرمگی نمونه حاوی NBR، ۴۸ برابر و نمونه حاوی CR ۲۰ برابر PLA خالص شد. با توجه به اینکه چگالی اتصالات عرضی تشکیل شده در فاز لاستیکی سامانه PLA/NBR و PLA/CR نزدیک به هم می‌باشد، مشاهده شده‌است که مقاومت به ضربه سامانه PLA/NBR به مراتب بالاتر از سامانه PLA/CR شده‌است؛ در نتیجه این امر باعث ارجحیت استفاده از فاز NBR نسبت به CR برای بهبود مقاومت ضربه PLA می‌باشد. در واقع بالاتر بوده مقاومت ضربه سامانه PLA/NBR نسبت به PLA/CR به دلیل تخریب حرارتی فاز CR در حین پخت دینامیکی می‌باشد. از این رو در کار جداگانه‌ای، سازوکار تخریب CR در حضور سامانه پخت پراکسیدی و تنش مکانیکی در حال بررسی می‌باشد. از طرفی، به دلیل نزدیک بودن پارامتر حلالیت NBR به PLA نسبت به CR، شاهد برهمکنش بهتر PLA با NBR بوده که دلیل دیگری برای بهبود مقاومت ضربه PLA در این سامانه است که در ادامه با بررسی خواص کششی نتایج فوق تایید خواهد شد.



شکل ۳- میزان مقاومت ضربه PLA خالص و سامانه‌ها

۳-۱-۲- خواص کششی

برای بررسی خواص کششی، پس از تهیه نمونه‌ها، توسط قالب‌گیری فشاری، ورقه تهیه شد و طبق استاندارد، دنبل برای خواص کششی تهیه شد و طبق ASTM D638 آزمون کششی انجام شد. نتایج در جدول ۱ جمع آوری شده‌است. افزایش شدید ازدیاد طول تا شکست نمونه‌ها نسبت به PLA خالص، بیانگر چقرمگی بالا این سامانه‌ها می‌باشد. طبق نتایج به دست آمده ازدیاد طول تا شکست در نمونه حاوی NBR در حدود ۲۰۰ برابر و برای CR در حدود ۸۰ برابر PLA خالص شده است که نسبت به نمونه‌های پخت نشده برای NBR در حدود ۱۱ برابر و برای CR حدود ۶ برابر بهبود یافته است. استحکام کششی در نمونه حاوی NBR در حدود ۵۰ درصد و برای CR حدود ۱۰ درصد نسبت به PLA خالص کاهش یافته‌است. مدول نمونه حاوی NBR برابر و نمونه حاوی CR برابر نسبت به PLA خالص کاهش یافت.

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمون کشش

نمونه	استحکام کششی (MPa)	مدول کششی (MPa)	ازدیاد طول تا پارگی (%)
PLA خالص	65.31	3000	2.3
NBR پخت شده	2.332	0.661	498.83
CR پخت شده	10.8	2.280	1281.7
DP8N2	35.2	1800	380
DP8C2	57.22	2980	132.5

به عنوان نتیجه گیری نهایی از لحاظ شیمیایی برهمکنش بهتری بین PLA و NBR برقرار میشود؛ همچنین به دلیل ریزساختار خاص CR، در حین واکنش در دمای بالا، این لاستیک دچار تخریب حرارتی شده و گاز هیدروکلریک اسید آزاد شده باعث افت خواص سامانه می شود که در این کار تا درصد بالایی از تخریب CR جلوگیری کردیم. از لحاظ مکانیکی نیز، اختلاف مدول بین PLA و NBR کمتر از CR بوده و در نتیجه ازدیاد طول تا شکست و چقرمگی سامانه PLA/NBR به مراتب بیشتر از سامانه حاوی CR است. از طرفی به دلیل مدول و استحکام بالاتر لاستیک CR، افت مدول و استحکام در این آلیاژ به مراتب کمتر از سامانه حاوی NBR است. به طور کلی برای رسیدن به خواص کششی مطلوب، علاوه بر سازگاری شیمیایی، سازگاری مکانیکی نیز اهمیت دارد.