

تأثیر روش اختلاط مایع در فاز لاتکس بر پراکنش نانوذرات و بهبود خواص آمیزه های لاستیکی

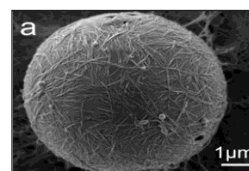
دلارام سیداحمدنیا، مهدی رزاقی کاشانی^{*}، مانا نبویان کلات و محمد رائف
گروه مهندسی پلیمر، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
Mehdi.razzaghi@modares.ac.ir

چکیده: اختلاط در فاز مایع با استفاده از لاتکس الاستومرها به عنوان یک روش پیشرفته و زیست سازگار، روشی مؤثر برای دستیابی به پراکنش یکنواخت و پایدار پرکننده های نانو ساختار در آمیزه های لاستیکی به شمار می رود. در این پژوهش، عملکرد این روش در دو سامانه ی لاستیکی حاوی نانوذرات مورد بررسی قرار گرفته است. سامانه ی اول شامل آمیزه ی استایرن بوتادی-ان با گرافن اکسید کاهش یافته (SBR/rGO) و سامانه ی دوم مشتمل بر ترکیب سیلیکا اصلاح شده و لاتکس استایرن-بوتادی-ان است. اختلاط مایع در لاتکس توزیع یکنواخت و پیوند قوی فازها را ایجاد کرد. نتایج نشان داد در سامانه ی اول احیای در جامنجر به افزایش سطح لاستیک متصل و کاهش نفوذ پذیری گاز تا حدود ۹۲ درصد شده است. در سامانه ی حاوی سیلیکا، حضور مقدار کم گرافن اکسید کاهش یافته (حدود ۰/۵ phr) افزون بر کاهش اثر پین، موجب افزایش ۴۵ درصد استحکام کششی و ۶۳ درصد مقاومت سایشی شد. یافته ها نشان می دهد اختلاط مایع در لاتکس با پراکنش یکنواخت، عملکرد لاستیک را بهبود داد.

واژه های کلیدی: اختلاط مایع، اختلاط لاتکس، لاستیک متصل، اثر پین، ساختار توزیعی گرافن اکسید کاهش یافته

مقدمه

اختلاط مایع روشی پیشرفته در فرایند آمیزه سازی الاستومرهاست که در آن پرکننده های نانو ساختار ابتدا در یک محیط مایع مانند آب یا حلال های سازگار با پلیمر پراکنده می شوند تا پیش از ورود به ماتریس پلیمری از حالت تجمع خارج شده و توزیعی یکنواخت بیابند [۱]. این روش برخلاف اختلاط مکانیکی خشک، با فراهم کردن امکان کنترل برهم کنش های بین سطحی و انجام اصلاحات شیمیایی در فاز مایع، منجر به پراکنش بهتر و چسبندگی قوی تر میان پرکننده و زمینه پلیمری می شود. در حالت کلی، اختلاط مایع شامل سه نوع اصلی است: اختلاط در محلول پلیمری، اختلاط در امولسیون و اختلاط در فاز لاتکس، که نوع سوم یعنی اختلاط لاتکس برای لاستیک های امولسیون نظیر لاستیک استایرن بوتادی-ان، لاستیک طبیعی و لاستیک نیتریل بوتادی-ان مناسب ترین و کارآمدترین روش محسوب می شود [۲]. در این فرایند، نانوذرات در فاز آبی لاتکس پخش شده و هنگام انعقاد با جذب بر سطح مایسل ها شکل ۱، از کلوخه شدن جلوگیری کرده و لایه ای یکنواخت از پرکننده در شبکه لاستیک ایجاد می کنند.



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از ساختار سطح امولسیون های استایرن/آب پلیمریزه شده با نانوکریستال های سلولز [۳].

افزون بر این محیط مایع لاتکس بستری مناسب برای احیای شیمیایی یا اصلاح سطحی درجا فراهم کرده و موجب تقویت پیوند فصل مشترک و افزایش پایداری فیزیکی-شیمیایی بین نانوذرات و پلیمر می شود؛ از این رو، اختلاط در فاز لاتکس به عنوان روشی زیست سازگار، کم مصرف و مؤثر برای دستیابی به ساختارهای یکنواخت و پایدار در نانوکامپوزیت های لاستیکی شناخته می شود.

بخش تجربی

مواد و آمیزه سازی

در این پژوهش دو سامانه لاستیکی اینرلایر و رویه تایر مدنظر قرار گرفتند.

هر دو سامانه بر پایه ی لاتکس استایرن بوتادی-ان با کد ۱۵۰۲ محتوای جامد ۲۰ درصد از پتروشیمی بندر امام به ترتیب مستریج آمیزه ی استایرن بوتادی-ان با گرافن اکسید کاهش یافته (SBR/rGO) و آمیزه ی سیلیکا اصلاح شده و لاتکس استایرن-بوتادی-ان (SBR/SiO₂-rGO) به روش اختلاط مایع در فاز لاتکس تهیه شدند. مواد مورد استفاده شامل گرافن اکسید (GO) سنتز شده به روش هامرز، عامل احیای هیدرازین هیدرات (N₂H₄•H₂O) برای تولید گرافن اکسید کاهش یافته (rGO)، سیلیکا نوع VN3 با سطح ویژه ۱۸۰ مترمربع بر گرم از شرکت ایونیک آلمان، اسیدسولفوریک یا کلریدریک شرکت به عنوان عامل انعقاد و ترکیبات پخت شامل گوگرد، اسید روی و شتاب دهنده بودند. برای ساخت آمیزه، ابتدا سوسپانسیون آبی پرکننده ها تحت فراصوت (۲۰ دقیقه) یکنواخت شد و سپس به لاتکس استایرن-بوتادی-ان افزوده شد. در سامانه های لاتکسی استایرن-بوتادی-ان، گرافن اکسید با احیای درجا توسط هیدرازین یکنواخت روی ذرات لاتکس قرار گرفت. در نمونه های حاوی سیلیکا، گرافن احیاء شده ابتدا اضافه شد تا به عنوان پراکنش دهنده ی ذرات سیلیکا عمل کند. پس از تنظیم pH به ۳-۴، انعقاد، شست و شو و خشک کردن در خلأ انجام شد و نمونه ها برای پخت آماده شدند. جدول ۱ درصدهای مختلف پرکننده های هیبریدی سیلیکا-گرافن و جدول ۲ سطوح مختلف احیای گرافن اکسید (۰، ۴۰، ۶۰٪) در مستریج SBR را نشان می دهد.

جدول ۱- ترکیب درصد مواد مورد استفاده در آمیزه لاستیک استایرن بوتادی-ان-سیلیکا

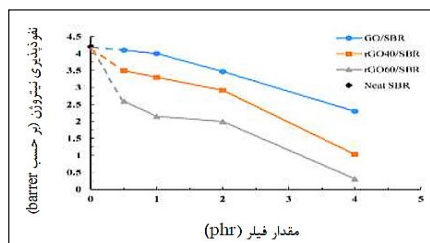
نمونه	گرافن اکسید کاهش یافته	سیلیکا	لاتکس
phr	(درصد حجمی)	phr	(درصد حجمی)
Si	۰	۴۰	۱۰۰
Si/0.25rGO	۰/۰۹	۴۰/۰۵	۰/۲۵
Si/0.5rGO	۰/۱۸	۴۰/۱	۰/۵
Si/0.75rGO	۰/۲۷	۴۰/۱۵	۰/۷۵
Si/1rGO	۰/۳۶	۴۰/۲۱	۱

آزمون ها

آزمون سایش آکرون، و آزمون افزایش دما برای ارزیابی دوام و رفتار دینامیکی آمیزه رویه تایر گرفته شدند. در شکل های زیر مشاهده می شود، با افزایش مقدار گرافن اکسید کاهش یافته در سامانه ی SBR/SiO₂-rGO، حجم سایش به طور

جدول ۲- ترکیب درصد مواد مورد استفاده در آمیزه لاستیک استایرن بوتادی-ان-گرافن اکساید اصلاح شده

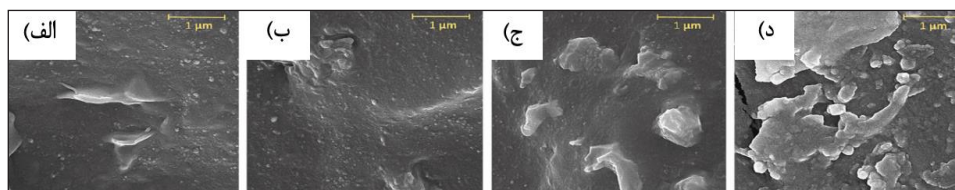
ترکیب	اسید سیتریک	IPPD	اکسید زینک	TBBS	سولفور	پرکننده	لاستیک
SBR	۲	۱	۳	۱	۱	۰	۱۰۰
SBR/rGO	۰.۵, ۱.۲, ۴						
SBR/rGO40	۰.۵, ۱.۲, ۴						
SBR/rGO60	۰.۵, ۱.۲, ۴						



شکل ۵- نتایج نفوذپذیری گاز در نمونه‌های SBR حاوی rGO
rGO40 و rGO60 در مقادیر مختلف پرکننده (۰.۵، ۱.۰، ۲.۰ و ۴ phr)

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش به روشنی نشان داد که اختلاط در فاز مایع با استفاده از لاتکس الاستومرها یک رویکرد علمی، کارآمد و زیست‌سازگار برای غلبه بر چالش پراکنش نانوذرات در مقیاس نانو و بهینه‌سازی خواص فیزیکی، مکانیکی و عملکردی آمیزه‌های لاستیکی است. در این فرایند، ذرات پرکننده در محیط آبی لاتکس به صورت یکنواخت بر سطح ذرات لاستیکی پخش شده و طی مرحله انعقاد بدون بروز پدیده فلوکولاسیون، درون فاز پلیمری تثبیت می‌شوند. این مکانیسم موجب ایجاد پیوندهای بین فازی قوی بین پرکننده و ماتریس و افزایش بخش لاستیک متصل می‌شود که نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود انتقال تنش، کاهش فضای آزاد نفوذپذیر و ارتقای استحکام مکانیکی دارد. در سامانه‌ی شامل آمیزه‌ی استایرن بوتادی‌ان با گرافن اکساید کاهش یافته (SBR/rGO) به واسطه‌ی احیای درجا و سازگاری سطحی بهبود یافته، نفوذپذیری نیتروژن تا ۹۲ درصد کاهش یافت که افزون بر تأثیر مسیر پرپیچ‌وخم ذرات صفحه‌ای گرافن اکساید به کیفیت بالای فصل مشترک نسبت داده شده است. در آمیزه رویه تاپر مشتمل بر ترکیب سیلیکا اصلاح شده و لاتکس استایرن-بوتادی‌ان با افزودن مقادیر کم گرافن اکساید کاهش یافته (۰.۲۵ تا ۰.۵ phr) سبب بهبود پراکنش سیلیکا، کاهش اثر پین و افزایش ۴۵ درصد حرارت زایی و ۶۳ درصدی مقاومت سایشی شد. بنابراین، اختلاط لاتکس با فراهم‌سازی امکان اصلاح سطحی در محیط آبی و توزیع پایدار نانوذرات، موجب شکل‌گیری ساختارهای تقویتی منظم و پایدار در مقیاس نانو شده و امکان تنظیم دقیق ویژگی‌های بین‌سطحی و خواص نهایی را فراهم می‌آورد. این ویژگی‌ها در کنار سهولت فرایند، کاهش مصرف انرژی و حذف نیاز به حلال‌های آلی، این روش را به فناوری پایدار و قابل‌اتکا برای توسعه‌ی تایرهای سبز، نانوکامپوزیت‌های مقاوم در برابر نفوذ گاز و سایر محصولات پیشرفته‌ی مهندسی لاستیک تبدیل می‌کند که قابلیت تجاری‌سازی گسترده به صورت مسترچ سازی در صنایع پلیمری را نیز دارا است.



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی از سطح شکست انجمادی کوپلیمر استایرن-بوتادی‌ان پر شده با درصد حجمی ثابت سیلیکا (۱۴/۶۶ درصد حجمی) و حاوی (الف) ۰.۲۵ phr (ب) ۰.۵ phr (ج) ۰.۷۵ phr و (د) ۱ phr گرافن اکساید کاهش یافته

مراجع

- [1] Nwosu, C.N., M. Iliut, and A. Vijayaraghavan, Graphene and water-based elastomer nanocomposites—a review. *Nanoscale*, 2021. 13(21): p. 9505-9540.
- [2] Boonmahitthisud, A., et al., Nanocomposites of NR/SBR Blend Prepared by Latex Casting Method: Effects of Nano-TiO₂ and Polystyrene-Encapsulated Nano-TiO₂ on the Cure Characteristics, Physical Properties, and Morphology. *Journal of Nanomaterials*, 2017. 2017(1): p. 7676158.
- [3] Kalashnikova, I., et al., Modulation of cellulose nanocrystals amphiphilic properties to stabilize oil/water interface. *Biomacromolecules*, 2012. 13(1): p. 267-275.