

## Effect of Composition and Type of Phenolic Resin on Mechanical Properties and Morphology of Phenolic Nanocomposites

G. Naderi<sup>1</sup>, M.H. Beheshty<sup>1\*</sup>, and M. Baba Mohammadi<sup>2</sup>

1. Iran Polymer and Petrochemical Institute, P.O. Box: 14965-115, Tehran, Iran
2. South Tehran Branch, Islamic Azad University, Faculty of Graduate Studies, Postal Zone: 1418761135, Tehran, Iran

Received 7 February 2009, accepted 27 February 2010

### ABSTRACT

#### Key Words

nanocomposite,  
phenolic resin,  
novolac,  
resol,  
nanoclay

Nanocomposites based on phenolic resol and novolac resins and Cloisite 30B were prepared. Different kinds of phenolic resins and clay content were studied with respect to the morphology and mechanical properties of the polymer silicate layers. The phenolic resins, namely resol, novolac and their mixture and four different percentages of clay contents, 0.5, 1, 2 and 5 wt% have been considered. XRD analysis has been used to investigate clay distribution in the prepared polymer matrices. Chopped strand mat glass fiber was impregnated with each phenolic resin solution and after hand-lay-up, specimens were prepared by hot press compression molding. The mechanical properties of the nanocomposites were assessed by tensile, flexural and Izod impact tests. XRD results show that the degree of clay distribution in resol type phenolic resin is more satisfactory than novolac resin. Based on mechanical properties evaluations, the novolac nanocomposites showed better mechanical properties than other systems under study. The mixture of novolac resin and resol showed improved mechanical properties relative to each phenolic system. The final results indicate that nanocomposites with 2 wt% clay content show maximum modulus and tensile strength increased by 23%. Impact test results also show that optimum properties can be achieved with 2 wt% clay content.

(\*) To whom correspondence should be addressed.

E-mail: [m.beheshty@ippi.ac.ir](mailto:m.beheshty@ippi.ac.ir)

## اثر ترکیب درصد و نوع رزین فنولی بر خواص مکانیکی و شکل شناسی نانوکامپوزیت‌های رزین فنولی

قاسم نادری<sup>۱</sup>، محمد حسین بهشتی<sup>۱\*</sup>، محسن بابامحمدی<sup>۲</sup>

۱- تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی، صندوق پستی ۱۱۵-۱۴۹۶۵

۲- تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، کدپستی ۱۴۱۸۷۶۱۱۳۵

دریافت: ۸۷/۱۱/۱۹، پذیرش: ۸۸/۱۲/۸

### چکیده

در این پژوهش، نانوکامپوزیت بر پایه رزین‌های فنولی (رزول و نووالاک) و نانوخاک رس تهیه شد. اثر نوع زمینه پلیمری و ترکیب درصد‌های مختلف نانوخاک رس (Cloisite 30B) روی ساختار شکل شناسی و خواص مکانیکی نانوکامپوزیت مطالعه شده است. در این بررسی از سه زمینه رزول، نووالاک و مخلوط رزول-نووالاک به همراه چهار ترکیب درصد (۰/۵، ۱، ۲ و ۵) از کلویزیت 30B استفاده شد. برای بررسی نوع ساختار لایه‌های سیلیکاتی در زمینه پلیمری از آزمون XRD بهره گرفته شد. الیاف شیشه سوزنی با آمیزه‌های تهیه شده به روش لایه‌گذاری دستی آغشته‌سازی شدند و پخت زیر فشار و دما انجام شد. نتایج XRD نشان می‌دهد، درجه لایه لایه شدن نانوخاک رس در نانوکامپوزیت‌های بر پایه رزین رزول بیشتر از نووالاک است. اما، خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های بر پایه نووالاک بیشتر است و با افزودن رزین نووالاک به رزول خواص مکانیکی افزایش می‌یابد. آزمون‌های کشش و خمش نشان می‌دهند، با افزایش نانوخاک رس (تا ۲ درصد)، مدول و استحکام کششی نانوکامپوزیت‌ها حدود ۲۳ درصد افزایش می‌یابد، ولی پس از آن روند افزایشی ندارد. نتایج آزمون ضربه نیز بیان‌گر آن است که خواص بهینه در ۲ درصد نانوخاک رس حاصل می‌شود.

### واژه‌های کلیدی

نانوکامپوزیت،  
رزین فنولی،  
نووالاک،  
رزول،  
نانوخاک رس

## مقدمه

ویژگی‌های منحصر به فرد نانوکامپوزیت‌های پلیمری و کاربرد ویژه آنها در صنایع مختلف، دلیل اصلی انجام مطالعات گسترده در این شاخه از صنعت کامپوزیت است [۳-۱].

با کوچک شدن اندازه ذرات تقویت کننده، تمایل آنها به مولکول‌های مجاور بیشتر شده و تمایل زیادی برای ایجاد اتصالات قوی پیدا می‌کنند. اگر این کوچکی اندازه در حد نانو شود، این اتصالات بسیار قوی شده و نام نانوتقویت کننده را به خود می‌گیرد [۴]. ۲ تا ۳ درصد از این مواد خواصی معادل با ۴۰ تا ۶۰ درصد وزنی از پرکننده‌های معمولی ایجاد می‌کند. با افزودن نانوتقویت کننده به زمینه پلیمری، اشتعال پذیری محصول کاهش و پایداری گرمایی آن افزایش می‌یابد.

با بالا رفتن دما، لایه‌ای از زغال متراکم روی سطح نانوکامپوزیت تشکیل می‌شود. این فرایند سبب کاهش سرعت تخریب گرمایی نانوکامپوزیت شده و با جلوگیری از نفوذ اکسیژن به لایه‌های زیری از اکسید شدن آنها ممانعت می‌کند [۵]. با توجه به افزایش چگالی، گرانشی، شکنندگی و کاهش فرایندپذیری در هنگام استفاده از تقویت کننده‌های معمولی، استفاده از نانوتقویت کننده‌ها ترجیح داده می‌شود [۶].

از انواع متداول نانوتقویت کننده‌ها می‌توان سیلیکات‌های لایه‌ای را نام برد که پر مصرف‌ترین آنها شامل مونت‌موریلونیت، هکتوریت و ساپونیت است [۷]. نانوکامپوزیت‌های با سیلیکات‌های لایه‌ای به شرط پخش خوب لایه‌ها در زمینه پلیمری سبب افزایش چشم گیری در مدول، استحکام، خواص گرمایی و کاهش نفوذپذیری می‌شود [۸]. بهبود مدول و سختی نانوکامپوزیت‌ها به مقدار نفوذ پلیمر بین لایه‌های سیلیکاتی بستگی دارد [۴].

با افزایش درصد وزنی نانوتقویت کننده، مدول افزایش می‌یابد. اما، اگر این افزایش از حدی بیشتر شود، تشکیل ساختارهای تجمع ذرات بین لایه‌های سیلیکاتی باعث افت مدول می‌شود [۶]. طول لایه‌ها، هم‌سانی نسبت منظر و پخش مناسب، اثری کاملاً افزایش دهنده بر مدول دارد [۸]. متداول‌ترین سیلیکات لایه‌ای، خاک رس اصلاح شده است که سبب کاهش اشتعال پذیری و بهبود چشم گیر خواص مکانیکی می‌شود [۸].

خاک رس اصلاح شده یا خاک رس آلی دارای انرژی سطحی کمی است و با محیط آلی سازگار است [۹]. نانوکامپوزیت‌های خاک رس با توجه به روش تهیه و شکل قرار گرفتن لایه‌های سیلیکاتی در زمینه پلیمر دارای سه نوع ساختار هستند [۴]:

- ۱- میکروکامپوزیت‌های دوفازی،
- ۲- نانوکامپوزیت درهم رفته و

## ۳- نانوکامپوزیت لایه‌ای.

با تغییر ساختار نانوکامپوزیت از ۱ به ۳ برهم کنش بین لایه‌های خاک رس و زنجیرهای پلیمری افزایش می‌یابد. این افزایش برهم کنش، در آزمون XRD، با انتقال نقطه بیشینه به زوایای کمتر و کاهش شدت آن مشخص می‌شود [۶-۱۰]. هنگامی که پلیمر مورد استفاده در نانوکامپوزیت، رزین فنولی باشد، محدوده مطالعاتی و کاربردی این مواد بسیار گسترده می‌شود. محصولات رزینی بر پایه فنول و فرمالدهید را ابتدا VonBayer در سال ۱۸۷۲ به دست آورد و در سال ۱۹۰۷ با کلند تولید تجاری آن را آغاز کرد [۳]. از آن‌جا که رزین‌های فنولی خواص عایق بودن عالی داشتند به زودی جای‌گزین رزین‌های طبیعی در این کاربردها شدند [۱۱]. این رزین‌ها ارزان و مقاوم هستند و با وجود گذشت بیش از صد سال از ورود آنها به بازار هم چنان از کاربردهای قابل توجهی برخوردارند و روز به روز بر کاربردهای آن افزوده می‌شود [۲۰-۱۲].

رزین‌های فنولی به دو گروه رزول (گرماسخت) و نووالاک (گرمانرم، پیش از افزودن عامل پخت) دسته‌بندی می‌شوند. از مزایای این رزین‌ها می‌توان به پایداری گرمایی و شیمیایی زیاد، عایق الکتریکی بودن و خواص مکانیکی مطلوب آنها اشاره کرد. در مقابل، معایبی چون مقاومت به ضربه کم، نیاز به دما و فشار زیاد برای پخت، رنگ تیره محصولات و جمع‌شدگی زیاد به هنگام پخت دارند [۲۱].

برای کاهش دمای پخت رزین‌های فنولی تلاش‌هایی انجام شده است [۲۲، ۲۳] و به کمک ترکیبات اسیدی کامپوزیت‌هایی در دمای محیط پخت شده‌اند که خواص مطلوبی دارند [۱۶]. نانوکامپوزیت‌های رزین فنولی - سیلیکات‌های لایه‌ای (PLSN) هرچند خواص خوبی دارند، اما ساختار بسیار سخت رزین فنولی پخش لایه‌های سیلیکاتی را در آن مشکل می‌سازد.

پژوهش‌گران زیادی چون [۱۹] Byun، [۲۰] Min Ho Choi، [۲۴] Kaynak و بهرامیان [۲۵] برای رفع این مشکل تلاش و خواص مختلفی از نانوکامپوزیت‌های فنولی را مطالعه کرده‌اند.

در این مقاله، برای بررسی اثر ترکیب درصد نانو خاک رس و نوع زمینه پلیمری روی مقدار پراکندگی لایه‌های سیلیکاتی و خواص نهایی نانوکامپوزیت، مخلوط‌هایی از رزین فنولی نوع رزول، نووالاک و مخلوط ۵۰/۵۰ رزول - نووالاک به همراه نانو خاک رس کلویزیت 30B با ترکیب درصد‌های مختلف و با زمان اختلاط ۷۲ h تهیه شد.

برای بررسی نوع ساختار لایه‌های سیلیکاتی تشکیل شده در هر ترکیب درصد و هر یک از زمینه‌های فنولی، آزمون‌های پراش پرتو X (XRD) استفاده شد. سپس، برای مشاهده اثر این دو عامل روی خواص مکانیکی نمونه نهایی، آزمون‌های کشش، خمش و ضربه انجام شدند.

بر اساس بررسی‌های انجام شده، تا به امروز مقاله‌ای از نحوه

تبخیر حلال از گرم خانه معمولی به مدت 20 min در دمای 110°C استفاده شد. از دستگاه همگن ساز Polytron محصول شرکت Kinemhatica به مدت 3h با سرعت 3000 rpm برای مخلوط کردن نانوذرات با الکل و برای اختلاط رزین فنولی و نانوذرات خاک رس آغشته شده به الکل از هم زن مکانیکی Heidolph 2102 ساخت آلمان در مدت زمان 72h و سرعت 120 rpm استفاده شد. برای قالب گیری فشاری ورق های کامپوزیتی از پرس 70 تنی محصول شرکت حقیقت ایران استفاده شد.

### روش ها

ابتدا نانوخاک رس رطوبت زدایی و خشک شد و سپس در اتیل الکل به مدت زمان مناسب مخلوط و در اندازه های معین به زمینه های پلیمری افزوده شد، به طوری که ترکیب درصد وزنی نانو خاک رس در مخلوط نهایی 0/5، 1، 2 و 5 درصد وزنی باشد.

سه نوع زمینه رزول خالص، نوالاک خالص و مخلوط 50/50 رزول - نوالاک برای تهیه نانوکامپوزیت به کار رفت. برای پراکنده کردن لایه های نانو خاک رس در این سه زمینه فنولی، مخلوط های حاصل با استفاده از هم زن مکانیکی و در مدت زمان 72h مخلوط شدند. پانزده آمیزه تهیه شد که مشخصات آنها در جدول 3 آمده است.

پس از آن، با استفاده از مخلوط های حاصل به روش لایه گذاری دستی، الیاف شیشه نمدی (CSM) آغشته سازی شدند، به طوری که مقدار الیاف شیشه آنها یکسان و پس از قالب گیری حدود 40 درصد وزنی باشد. قالب گیری و پخت با پرس گرمایی، زیر فشار 150 atm، دمای 150°C و در مدت زمان 9 min انجام شد.

یادآور می شود، از آن جا که واکنش های پخت رزین های فنولی از نوع تراکمی است و با آزاد شدن یک ماده با وزن مولکولی کم نظیر آب یا آمونیاک همراه است، قالب گیری آنها به تنهایی و بدون استفاده از تقویت کننده امکان پذیر نیست. بنابراین، از الیاف شیشه نمدی استفاده شد که آرایشی اتفاقی داشته و مقدار رزین زیادی جذب می کنند.

جدول 2- مشخصات نانوخاک رس کلویزیت 30B به کار رفته در تهیه نانوکامپوزیت.

مقدار	مشخصات
90	ظرفیت تبادل یون (meq/100)
1/185	فاصله لایه ها (nm)
4/8327	زاویه 2θ (°)

تهیه و بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت های رزین فنولی از نوع مخلوط رزول و نوالاک ارائه نشده است.

### تجربی

#### مواد

برای ساخت نانوکامپوزیت های رزین فنولی، رزین رزول با نام تجاری Resitan IL800 و رزین نوالاک با نام تجاری Resitan LPM002 ساخت شرکت رزیتان به کار گرفته شد. مشخصات این دو رزین در جدول 1 آمده است. خاک رس استفاده شده از نوع کلویزیت 30B تولید شرکت Southern آمریکا بود. مشخصات خاک رس استفاده شده در جدول 2 آمده است. الکل مصرفی اتیل الکل صنعتی بود. از الیاف شیشه نوع نمد رشته ای خرد شده (chopped strand mat, CSM) با وزن واحد سطح 300 g/m<sup>2</sup> ساخت شرکت Camalyaf ترکیه به عنوان تقویت کننده استفاده شد.

#### دستگاه ها

برای بررسی نحوه توزیع ذرات نانوخاک رس در زمینه پلیمری، دستگاه XRD مدل Miniflex Defractometer به کار گرفته شد. آزمون کشش به کمک دستگاه STM-150 Santam ساخت ایران طبق استاندارد ASTM D3039 با سرعت 4 mm/min و آزمون خمش نیز به وسیله همین دستگاه طبق استاندارد ASTM D790 با سرعت 1/5 mm/min انجام شد.

از دستگاه Zwick 5102 ساخت آلمان برای انجام آزمون ضربه نوع ایزود طبق استاندارد ASTM D256 استفاده شد. در این آزمون شکاف های نمونه مطابق استاندارد به وسیله دستگاه Ceast 6991 ساخت آلمان ایجاد شد. از هر آمیزه پنج نمونه مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج ذکر شده متوسط پنج اندازه گیری است.

برای رطوبت زدایی و خشک کردن نانوذرات از گرم خانه خلاء به مدت 30 min و دمای 120°C و برای B-Stage کردن رزین و

جدول 1- مشخصات رزین های رزول و نوالاک به کار رفته در تهیه نانوکامپوزیت ها.

مشخصه	رزول	نوالاک
مقدار مواد جامد (%)	75 ± 3	71 ± 2
گرانروی در 20°C (mPa.s)	600-800	2000-2500
چگالی در 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	1/21 ± 0/02	1/1 ± 0/02

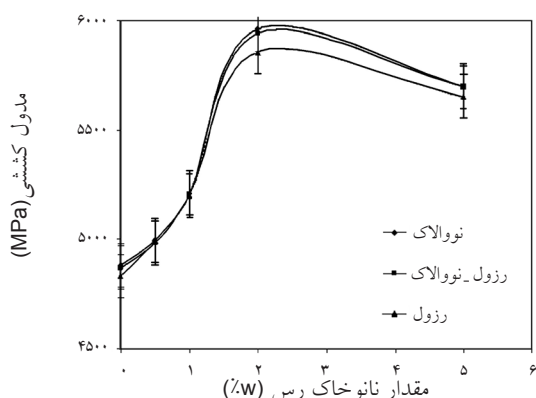
جدول ۳- مشخصات و ترکیب درصد نمونه‌های تهیه شده.

کد آمیزه	R	Z	RN	R-0.5	N-0.5	RN-0.5	R-1	N-1	RN-1	R-2	N-2	RN-2	R-5	N-5	RN-5
نووالاک	۰	۶۰	۳۰	۰	۵۹/۵	۲۹/۷۵	۰	۵۹	۲۹/۵	۰	۵۸	۲۹	۰	۵۵	۲۷/۵
رزول	۶۰	۰	۳۰	۵۹/۵	۰	۲۹/۷۵	۵۹	۰	۲۹/۵	۵۸	۰	۲۹	۵۵	۰	۲۷/۵
نانو خاک رس	۰	۰	۰	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۵	۵	۵
الیاف شیشه	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
زمان اختلاط (h)	-	-	-	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲

### نتایج و بحث

متوسط ۲ حلقه بنزن وجود دارد. اما، در هر مولکول نووالاک به طور متوسط ۵ حلقه بنزن وجود دارد که باعث سختی بیشتر زنجیرهای نووالاک می‌شود [۲۱]. هم چنین، به دلیل داشتن گرانیوی بیشتر (جدول ۱) و استفاده از عامل پخت، حرکت زنجیر در نمونه‌های رزین نووالاک مشکل‌تر است.

از مقایسه طیف‌های XRD آمیزه‌های حاوی ۲ و ۵ درصد نانو خاک رس مشخص شد که پخش ۲ درصد نانو خاک رس بهتر انجام شده است. می‌توان گفت که در ۵ درصد نانو خاک رس به دلیل تجمع ذرات، پخش آنها دشوارتر شده و رسیدن به ساختار لایه لایه سخت‌تر می‌شود [۱۰]. شکل‌های ۱ تا ۴ به ترتیب نتایج استحکام کششی، استحکام خمشی، مدول کششی و مدول خمشی را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای هر یک از زمینه‌های فنولی با افزایش درصد وزنی نانو خاک رس خواص گفته شده افزایش می‌یابند. شکل ۱ نشان می‌دهد، مدول کششی هر سه نوع کامپوزیت تقریباً یکسان است و مقدار تغییرات آن با مقدار نانو خاک رس تقریباً یکسان است. هم چنین شکل مزبور نشان می‌دهد، افزایش ۲ درصد نانو خاک رس سبب شده است که مدول کششی ۲۲/۵ درصد افزایش یابد و نقطه بیشینه آن حدود ۵۹۰۰ MPa است.



شکل ۱- تغییرات مدول کششی با ترکیب درصدهای مختلف نانو خاک رس و نوع زمینه پلیمری.

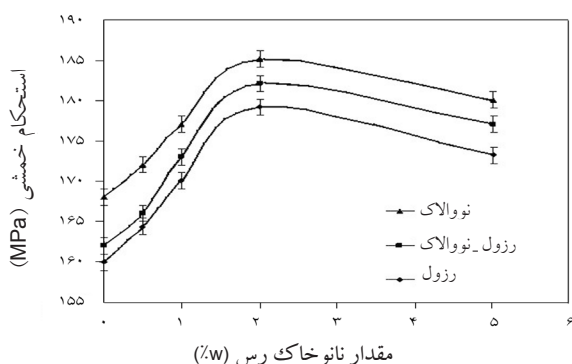
ابتدا از نانو خاک رس اصلاح شده کلویزیت 30B و سپس از آمیزه‌های مختلف تهیه شده با ۲ و ۵ درصد نانو خاک رس آزمون XRD گرفته شد، تا نوع ساختار لایه‌های نانو خاک رس در زمینه‌های متفاوت بررسی شود. در جدول ۴ نتایج حاصل از پراش پرتو X مربوط به نانو خاک رس، آمیزه‌های رزول و نووالاک خالص و آمیزه با مقدار مساوی از رزول و نووالاک آمده است.

در جدول ۴ دیده می‌شود، شاخص پیک XRD مربوط به نانو خاک رس در  $2\theta$  برابر  $4/9^\circ$  ظاهر شده که با مشخصات ارائه شده توسط شرکت سازنده مطابقت دارد. هم چنین، جدول یاد شده نشان می‌دهد، پیک  $d_{001}$  نانو خاک رس در نمونه شامل رزین نووالاک به زوایای کوچک‌تر جا به جا شده است، در حالی که در نمونه تهیه شده با رزین رزول خالص پیکی دیده نمی‌شود.

در جدول ۴ همین روند در ترکیب درصدهای شامل ۵ درصد نانو خاک رس دیده می‌شود. با دقت در نتایج به دست آمده از طیف‌ها مشاهده می‌شود، ذرات نانو خاک رس در نمونه‌های با ترکیب درصد رزول بیشتر نسبت به نووالاک خالص بهتر پخش می‌شود. دلیل این امر آن است که در هر مولکول رزول به طور

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون XRD.

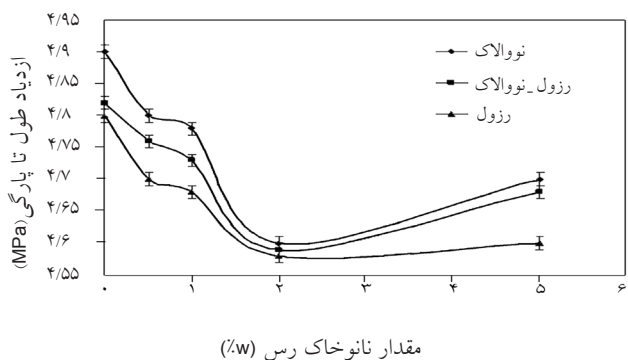
نمونه	$d_{001}$ (Å)	$2\theta$ ( $^\circ$ )
کلویزیت 30B	۱۸/۰۱	۴/۹
N-2	۴۹/۰۴	۱/۸
RN-2	-	-
R-2	-	-
N-5	۴۶/۴۵	۱/۹
RN-5	-	-
R-5	-	-



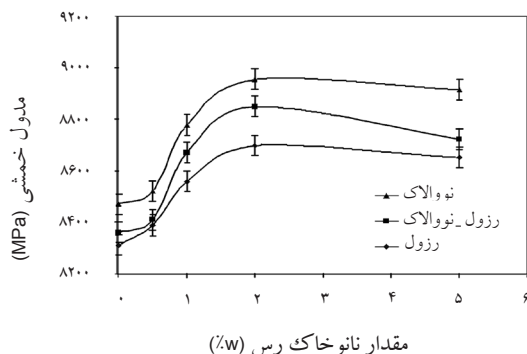
شکل ۴- تغییرات استحکام خمشی با ترکیب درصدهای مختلف نانو خاک رس و نوع زمینه پلیمری.

در هر سه نوع نانوکامپوزیت بر پایه رزول، نووالاک و آمیزه آنها با افزایش درصد وزنی نانو خاک رس ازدیاد طول تا پارگی کاهش می‌یابد. این امر به دلیل ایجاد برهم کنش بیشتر بین لایه‌های سیلیکاتی نانو خاک رس و زمینه پلیمری است که در نتیجه آزادی حرکت زنجیرها کاسته شده و ازدیاد طول کم می‌شود. از آنجا که رزین نووالاک از رزول سفت‌تر است، بنابراین خواصی چون ازدیاد طول و مقاومت ضربه کاهش می‌یابد. ازدیاد طول و مقدار خمش نهایی نانوکامپوزیت‌های بر پایه آن نیز کمتر است.

هنگامی که از مخلوط رزول - نووالاک به عنوان زمینه استفاده می‌شود، خواصی میان خواص دو حالت رزول و نووالاک خالص حاصل می‌شود. این موضوع از نتایج به دست آمده از آزمون‌های مختلف که در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده کاملاً مشهود است. شکل ۷ نتایج آزمون مقاومت به ضربه را نشان می‌دهد. مطابق این شکل با افزایش درصد نانو خاک رس به دلیل کاهش قابلیت تحرک زنجیرها و امکان اتلاف انرژی آنها، مقاومت به ضربه برای هر سه نوع زمینه فنولی کاهش می‌یابد. در نانوکامپوزیت نووالاک، خواصی هم چون مدول و استحکام افزایش می‌یابد. مقاومت به ضربه رزین نووالاک از رزول بیشتر است (حدود ۲۷ درصد)، به همین دلیل با افزودن



شکل ۵- اثر ترکیب درصدهای مختلف نانو خاک رس و نوع زمینه پلیمری بر ازدیاد طول تا پارگی در آزمون کشش.



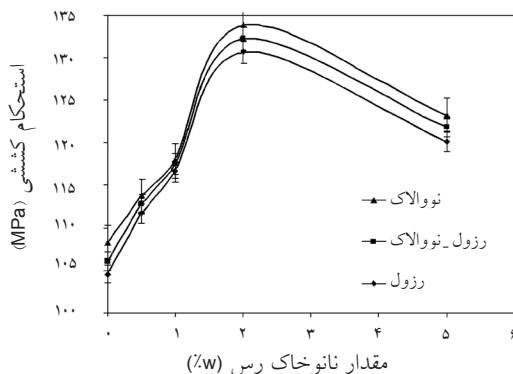
شکل ۲- تغییرات مدول خمشی با ترکیب درصدهای مختلف نانو خاک رس و نوع زمینه پلیمری.

شکل ۲ نشان می‌دهد، مدول خمشی نیز تغییرات مشابهی نظیر مدول کششی دارد.

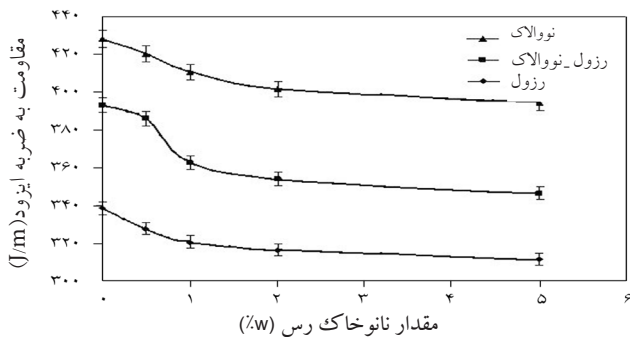
این شکل بیان گر آن است که کامپوزیت بر پایه نووالاک مدول خمشی بیشتری دارد. افزودن ۲ درصد نانو خاک رس سبب شده است که مدول خمشی در هر سه نوع کامپوزیت حدود ۶ درصد افزایش یابد.

شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهند، ازدیاد ۲ درصد نانو خاک رس سبب شده است که استحکام کششی و خمشی به ترتیب به مقدار ۲۳ و ۱۰ درصد افزایش یابد. افزایش مشاهده شده به دلیل ایجاد اتصالات قوی و محکم بین لایه‌های سیلیکاتی و زنجیرهای رزین نووالاک و رزول است. البته در مقدار ۵ درصد وزنی به دلیل ایجاد تجمع ذرات و کاهش مقدار لایه لایه شدن نانو خاک رس و پدیده تمرکز تنش، خواص نسبت به ۲ درصد وزنی کاهش می‌یابد.

این کاهش برای تمام زمینه‌ها دیده می‌شود. هم‌چنین به دلیل بیشتر بودن مدول و استحکام رزین نووالاک از رزول، خواص نانوکامپوزیت‌های تهیه شده با رزین نووالاک بهتر از نانوکامپوزیت‌های تهیه شده با رزول است. شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نشان‌دهنده ازدیاد طول و مقدار خمش در آزمون‌های کشش و خمش است.



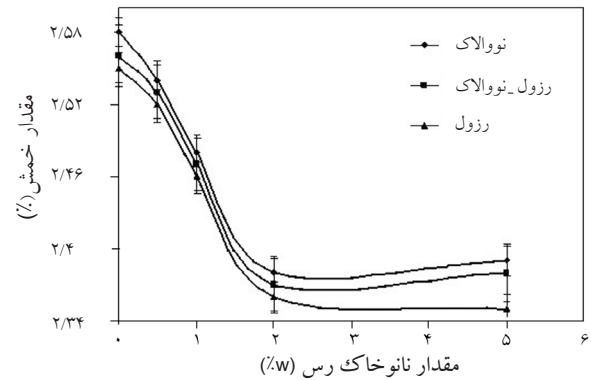
شکل ۳- تغییرات استحکام کششی با ترکیب درصدهای مختلف نانو خاک رس و نوع زمینه پلیمری.



شکل ۷- اثر ترکیب های مختلف درصد نانوخاک رس و نوع زمینه پلیمری بر مقاومت ضربه نانوکامپوزیت.

درصد های مختلف نانوخاک رس (کلویزیت 30B) بر خواص مکانیکی و شکل شناسی نانوکامپوزیت های رزین فنولی بررسی شد. نتایج XRD نشان می دهد، درجه لایه لایه شدن نانو خاک رس در آمیزه های تهیه شده با رزین رزول خالص بیشتر از نوالاک خالص است. همچنین، پخش لایه های نانوخاک رس در زمینه رزین فنولی با افزایش درصد وزنی رزین رزول آسان تر می شود.

آزمون های کشش، خمش و ضربه نشان می دهند، با افزایش درصد نانوخاک رس (تا ۲ درصد) و رزین نوالاک در نانوکامپوزیت، خواصی هم چون مدول و استحکام افزایش می یابد.



شکل ۶- اثر ترکیب درصدهای مختلف نانوخاک رس و نوع زمینه پلیمری بر مقدار خمش تا پارگی در آزمون خمش.

نوالاک به زمینه رزول مقاومت به ضربه آن نسبت به رزول افزایش می یابد. شکل ۷ نشان می دهد، در هر سه کامپوزیت با افزودن نانوخاک رس مقاومت ضربه به یک مقدار (حدود ۹ درصد) کاهش یافته است. نکته جالب توجه آن است، با افزایش نانو خاک رس از ۲ به ۵ درصد تغییری در مقاومت ضربه ایجاد نشده است.

## نتیجه گیری

در این پژوهش اثر نوع رزین فنولی (رزول و نوالاک) و ترکیب

## مراجع

1. Le Baron P.C. and Leemetyine H., Polymer-Layered Silicate Nanocomposite: A Review, *J. Appl. Clay Sci.*, **15**, 1773-1792, 1999.
2. Ray S. and Okamoto M., Polymer Silicate Nanocomposite: A Review from Preparation to Processing, *Prog. Polym. Sci.*, **28**, 1539-1641, 2003.
3. Rahimi A., *Introducing Polymers and Application (in Persian)*, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran, 2006.
4. Alexander M. and Dubois P., Polymer Silicate Nanocomposite Preparation Properties and Uses of Materials, *Polym. Eng. Sci.*, **28**, 1-63, 2000.
5. Wang H., Synthesis of Novalac-Layered Silicate by Reaction Exfoliation Using Acid Modified-Montmorillonite, *Macromol. Rapid. Commun.*, **23**, 44-48, 2002.
6. Zhu J., Thermal Stability and Flame Retardancy of Poly(methyl methacrylic) Clay Nanocomposites, *Polym. Degrad. Stab.*, **77**, 1012-1021, 2002.
7. Konmann X. and Bergland L.A., Synthesis and Characterization of Thermoset Layered Silicate Nanocomposite, *J. Macromol. Commun.*, **27**, 537-541, 2006.
8. Gultek A., Poly(methacrylic acid) and Methacryloxy Propyl Trimethoxy Silane/Clay Nanocomposite Prepared by In Situ Polymerization, *J. Turki Chem.*, **26**, 57-62, 2002.
9. Utracki L.A., *Clay-containing Polymeric Nanocomposites*, Rapra Technology, UK, Chap. 1

- and 2, 2004.
10. Naderi G., Lafleur P.G., and Dubios C., Micro structure-Properties Correlations in Dynamically Vulcanized Nanocomposite Thermoplastic Elastomers Based on PP/EPDM, *Polym. Eng. Sci.*, **47**, 207- 217, 2007.
  11. Zohurian Mehr M.J., *Applied Polymer Chemistry, (in Persian)*, Sharif University of Technology, Tehran, Iran, 1997.
  12. Knob A. and Pilato L.A., *Phenolic Resins Chemistry, Application and Performance*, Springer-Verlage, Berlin, 244-264, 1985.
  13. Jafari S.H., Fallahzadeh F., and Rona S.K., Effect of Post Curing on Frictional Behaviour of Non-Newtonian Phenolic Composites in Automobile Clutch Facing, *Iran. Polym. J.*, **18**, 143-148, 1999.
  14. Mohseni-Lavi R., Kokabi M., and Beheshty M.H., Thermal Degradation Kinetics of Phenolic Resins Used in Ablative Heat Shield, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persian)*, **15**, 245-250, 2002.
  15. Wolfrum J. and Ehrenstein G.W., Interdependence between the Curing, Structure and the Mechanical Properties of Phenolic Resins, *J. Appl. Polym. Sci.*, **74**, 3173-3185, 1999.
  16. Hong K.C., Razavi M., Keil N., Vigan B., and Ma Y., Effect of Organic Acid on Mechanical Properties of Phenolic Resins, *J. Appl. Polym. Sci.*, **76**, 642-647, 2000.
  17. Laza J.M., Vilas L., Rodriguze M., Migangos M.T., and Leon L.M., Analysis of Crosslinking Process of Phenolic Resins by Thermal Scanning Rheometry, *J. Appl. Polym. Sci.*, **83**, 57-65, 2002.
  18. Burkhart T., Oberresel P., and Oldring P.K.T., *The Chemistry and Application of Phenolics or Phenoplasts*, John Wiley and Sons, UK, **5**, 1-120, 1998.
  19. Byun H.Y., Choi M.H., and Chung I.J., Synthesis and Characterization of Resol Type Phenolic Resins-Layered Silicate Nanocomposites, *Chem. Mater.*, **13**, 4221-4226, 2003.
  20. Choi M.H. and Chung I.J., Mechanical and Thermal Properties of Phenolic Resin-Layered Silicate Nanocomposite Synthesized by Melt Intercalation, *J. Appl. Polym. Sci.*, **90**, 2316-2321, 2003.
  21. Beheshty M.H. and Rezaoust A.M., *Reinforced Plastics Polymer Composites, (in Persian)*, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, 2005.
  22. Beheshty M.H. and Doustkhah K., Studying Room Temperature Curing of Phenolic Resin and their Composites, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persian)*, **20**, 331-336, 2007.
  23. Karami Ghahi M., Beheshty M.H., Esfandeh M., and Rezaoust A.M., Study of Room Temperature Curing of Phenolic Resin and its Silica Reinforced Composites, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (in Persian)*, **21**, 149-155, 2008.
  24. Kayank C. and Tasan C.C., Effect of Production Parameter on Structure of Resol Type Phenolic Resin-Layered Silicate Nanocomposite, *Eur. Polym. J.*, **42**, 1908-1921, 2006.
  25. Bahramian A.R., Kokabi M., Beheshty M.H., and Navid Famili M.H., Thermal Degradation Process of Resol Type Phenolic Matrix/Kaolinite Layered Silicate Nanocomposite, *Iran. Polym. J.*, **16**, 375-387, 2007.