



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

اثر فعل و انفعالات مبتنی بر دوده بر روی ویسکوالاستیسیته خطی و غیر خطی

آمیزه های SBR پخت شده و پخت نشده

چکیده

نقش دوده در رفتار ویسکوالاستیک آمیزه های لاستیکی برای درک بهتر مکانیسم تقویت کننده بررسی شد. اثر نانوذرات CB بر روی وابستگی کششی و پدیده استراحت چندین آمیزه لاستیک بوتادین استیرن با استفاده از دستگاه تحلیل فرایند لاستیک ارزیابی شد. نتایج رئولوژیکی نمونه های پخت نشده نشان داد که کاهش مدول کشسانی با افزایش فشار به شدت بستگی به فعل و انفعالات لاستیک CB دارد. آمیزه های پخت شده، مدول کشسانی بالاتری را در مقایسه با SBR خام نشان دادند که به طور ناگهانی کاهش یافت و این به معنی وجود رفتار ویسکو الاستیک غیر خطی قابل توجه است. روند مشاهده شده فاکتور میرایی، رفتار ویسکوالاستیک خطی را برای کرنش کم تر از 15 درصد نشان داد با این حال کرنش بالاتر با انحراف مثبت مشاهده شد. در منطقه کرنش زیر 15 درصد، لاستیک پخت شده با CB، رفتار الاستیکی بیشتری را نسبت به صمغ نشان داد، و با افزایش بار CB میزان الاستیسیته افزایش یافت در حالی که در ناحیه غیر خطی، روند معکوسی مشاهده شد. مدول استراحت پیچش بر اساس مدل خطی استاندارد، ترسیم شده و تغییرات زیادی از حیث فاکتور های مختلف مشاهده شد. هر دو مقدار مدول استراحتی و دامنه استراحت به صورت تابعی از سطح مقطع CB و محتوی آن افزایش پیدا کرده و زمان استراحت به مقادیر بالاتر تغییر پیدا کرد. به علاوه، CB بر خصوصیات پخت و بعد از استراحت پخت تاثیر زیادی گذاشت. در آمیزه های پخت شده، شیب مدول استراحت در زمان شروع بیشتر بود و در بلند مدت نسبت به آمیزه های اصلی کم تر بود و در انتهای دوره استراحت به میزان زیادی بسته به اندازه و سطح CB رسید.

لغات کلیدی: ویسکوالاستیکی، استراحت فشار، SBR پخت شده با دوده، دستگاه تحلیل لاستیک، اثرات متقابل

مبتنی بر دوده

مقدمه

به طور کلی، برای فرمولاسیون آمیزه های لاستیکی، دوده در ماتریکس لاستیک به صورت عامل تقویت کننده برای اصلاح خصوصیات مکانیکی محصول نهایی و کنترل رفتار ویسکوالاستیک آمیزه طی فراوری قبل از پخت، قرار داده می شود. افزایش CB به الاستومر ها، از اهمیت زیادی برای بهبود خصوصیات فنی برخوردار است. در حضور دوده، مدول کشسانی آمیزه لاستیکی، به دلیل مدول کشسانی بالای دوده به عنوان پر کننده و تشکیل اثرات متقابل قوی بین دوده-لاستیک افزایش می یابد. بسته به فرمولاسیون و شرایط ترکیب آمیزه، دوده را می توان در حالت های انتشاری مختلف از دانه های بزرگ تا دانه های کوچک یافت (1). غلظت و نوع دوده بر انتشار دوده در ماتریکس لاستیک به طور معنی داری اثر می گذارد. وضعیت دانه های دوده و و اثرات متقابل حاصله می تواند بر خواص و پارامتر های ویسکوالاستیک آمیزه تاثیر داشته باشد. اثر دوده بر روی ویسکوالاستیک (2)- (3)، قابلیت فراوری و آماس اکستروودیت (5) الاستومر های پر شده بررسی شده است. به طور طبیعی، آمیزه های لاستیکی پر شده با دوده توامایی انتشار بخش اصلی انرژی مکانیکی به کار برده شده طی دفورمه شدن را با میرایی دارد که بستگی به فعل و انفعالات دوده-دوده و دوده-لاستیک دارد. فاکتور میرایی را می توان برای مطالعه تست خزش کرنش در حالت دینامیکی استفاده کرد. به عنوان یک پاسخ به افزایش کرنش، آمیزه های لاستیکی، رفتار ویسکوالاستیک غیر خطی موسوم به اثر پاین (6) نشان می دهند که به صورت افت مدل کشسانی در برابر کرنش مربوط به اثر تقویت کنندگی دوده (7) و یا تغییرات در شرایطی نظیر دما (8) می باشد. به علاوه تانژانت $\delta (G''/G')$ زمانی افزایش می یابد که کرنش افزایش پیدا کند و به این طریق، انرژی تغییر شکل دینامیکی منتشر می شود.

در کرنش های پایین، آمیزه های لاستیکی، ناحیه ویسکوالاستیک خطی را نشان می دهند. در این ناحیه، مدول کشسانی پیچیده دارای مقدار ثابت (G^*_0) است که مستقل از کرنش می باشد. به علاوه در کرنش های بالا، مدول کشسانی به حداقل مقدار (G^*_∞) می رسد. در آمیزه های لاستیکی پر شده از دوده، نسبت به صمغ لاستیک و یا آمیزه پر نشده (G^*_g) بیشتر است زیرا اثرات متقابل دوده-دوده و لاستیک-دوده، بر مدول کشسانی این آمیزه اثر می گذارد. این اثرات در معادله 1 دیده می شوند

$$G^*_\infty = G^*_g f(\Phi) f(I) \quad (1)$$

که Φ کسر حجمی دوده، $f(\Phi)$ و $f(I)$ ، بیانگر اثر ذرات دوده و اثرات متقابل دوده-لاستیک بر روی مدول کشسانی است. کات و گولد، معادله ای را برای $f(\Phi)$ با فرض چسبندگی کامل دوده-لاستیک ارائه کردند که به صورت زیر است (9)

$$f(\Phi) = 1 + 2.5\Phi_e + 14.1\Phi_e^2 \quad (2)$$

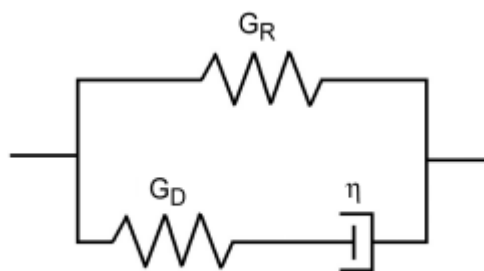
که Φ_e کسر حجمی موثر دوده است.

قبل از ولکانیزاسیون، مدول کشسانی آمیزه لاستیکی به شدت به ساختار زنجیره، و اثرات متقابل دوده-دوده و لاستیک-دوده دارد در حالی که بعد از ولکانیزاسیون، چگالی و نوع پیوند مهم ترین عوامل موثر هستند. به خوبی مشخص است که آزمایش استراحت فشار یکی از مهم ترین روش ها برای مطالعه و مقایسه خواص ویسکوالاستیک ترکیبات قبل و بعد از پخت می باشد. زمانی که کرنش ثابتی به یک آمیزه لاستیکی وارد می شود، تنش مورد نیاز برای حفظ کرنش ثابت با گذشت زمان کاهش می یابد. قبل از پخت، این پدیده ناشی از حافظه الاستیک زنجیره های لاستیکی بر اساس دو پدیده است که مستلزم درگیرش فیزیکی زنجیره ها و اثرات متقابل بین دوده و ماتریکس لاستیک است. با این حال، بعد از پخت، تنش استراحت به طور مستقیم تحت تشکیل پیوند مضاعف قرار می گیرد (10).

یک سری محصولات لاستیکی نظیر چسب یا واشرها در شرایط واقعی استفاده می شوند که مشابه با شرایط استراحت تنش فشاری هستند در حالی که استراحت تنش در حالت پیچش می تواند داده های مطمئنی را ارائه کند که ارتباط زیادی با تجمع دوده و اثر متقابل بین دوده و زنجیره های لاستیکی دارد. برای پیش بینی استراحت فشاری در آمیزه های لاستیکی، مدل های ساختاری در نظر گرفته می شوند (11). یکی از این مدل ها مدل SLS یا زنر است که یک مدل ساختاری حاوی ترکیبی از عنصر مکسول و موازی فنر است که در شکل 1 دیده می شود. در این مدل، مدول استراحت - تنش را می توان با معادله 3 برآورد کرد

$$G(t) = G_R + G_D (\exp(-t/\tau)) \quad (3)$$

که G_D و G_R مدول های کشسانی فنر ها و τ ، زمان استراحت مدل است. در $t=0$ ، وقتی که استراحتی رخ ندهد، G به صورت برابر با $G_R + G_D$ بوده و به صورت G_U نمایش داده می شود در حالی که در انتهای تست، $G(t)$ برابر با G_R است. در این مدل، τ از زمانی که در آن $G(t) = 0.63G_U$ می باشد برآورد می شود. پدیده استراحت تنش در ترکیبات لاستیکی دارای ماهیت ویسکوالاستیک بوده و تحت تاثیر برخی از متغیر ها نظیر سطح و نوع دوده در هر دو آمیزه های پخت شده و نشده قرار می گیرد. با این حال، رفتار ویسکوالاستیک ترکیبات لاستیکی پر شده با دوده آنقدر پیچیده است که اثرات متقابل موجود در این آمیزه ها بر روی پاسخ های الاستیک و گرانیو به طور شفاف در مقالات تشریح نشده اند. به علاوه، هیچ گزارش خاصی در خصوص رفتارهای ویسکوالاستیک حالت های پخت شده و نشده با تغییر سطوح و نوع دوده با استفاده از تست های



شکل 1

رئولوژیکی وجود ندارد. یک ابزار طراحی شده برای تست رئولوژیکی آمیزه های لاستیکی، دستگاه تحلیل فرایند لاستیک است. با استفاده از این دستگاه، خواص پخت و پاسخ های ویسکوالاستیک صمغ آمیزه های نهایی را می توان شناسایی کرد. در کار قبلی ما، دستگاه تحلیل فرایند برای بررسی کیفیت ترکیب آمیزه های لاستیکی جهت مقایسه گشتاور دستگاه و مخلوط کم داخلی (15) استفاده شد. در کار های تحقیقاتی دیگر، ما اقدام به ارزیابی اثرات سیستم پخت و دوده بر خصوصیات پخت ترکیبات SBR کردیم. هم چنین ما به بررسی و مطالعه خصوصیات ویسکوالاستیک ترکیبات پخت نشده (17) پرداختیم. نوآوری این تحقیق، بررسی خواص رئولوژیکی مهم SBR پر شده با دوده قبل و بعد از پخت با تاکید بر پیوند ساختاری بین زنجیره های دوده و پلیمر برای پیشنهاد جزئیات شمانیک در خصوص ماهیت این پیوند هاست. پاسخ های گرانیو و الاستیک ترکیبات با رد یابی تغییرات ویسکوالاستیک و در نظر گرفتن اثرات مبتنی بر دوده تحلیل شدند. فعل انفعالات مبتنی بر

دوده، عمل اصلی رفتار رئولوژیکی می باشد. در ابتدا، اثر دوده بر روی گذار خطی و غیر خطی ویسکوالاستیک مطالعه شده است. در گام بعدی، ویسکوالاستیک از نظر وضعیت پخت شده و نشده با توجه به نتایج به دست آمده از اندازه گیری های استراحت تنش مقایسه شد. در این رابطه، آمیزه های مختلف مبتنی بر دوده تهیه شدند که دارای سه سطح و دو نوع دوده بودند و پارامتر های ویسکوالاستیک با استفاده از دستگاه تحلیل فرایند مطالعه شد. اثر مقدار و نوع دوده بر روی وابستگی کرنش مدول پیچیده و فاکتور میرایی، بررسی شد. هم چنین، مدول استراحت پیش از پخت، با در نظر گرفتن مدل SLS و منحنی رگرسیون تحلیل شد. به علاوه، خصوصیات پخت و استراحت پس از پخت برای آمیزه های پر شده دارای سطوح مختلف و اندازه ذرات دوده بررسی شدند.

مواد و فرمولاسیون

دو گرید متفاوت از SBR (1502 و 1712) حاوی 22.5 تا 24.5 درصد استیرن، توسط شرکت پتروشیمی امام خمینی ارایه شد. SBR 1712 حاوی 25.5-28.5 درصد وزنی روغن بود طوری که ویسکوزیته منی 1712 و 1502 به ترتیب 42-52 و 46-58 بود. ترکیبات با طیفی وسیعی از انواع SBR فرموله شدند و اندازه ذرات دوده در جدول 1 نشان داده شده است. ترکیباتی نظیر دوده، روغن آروماتیک، اکسید روی، اسید استاریک، TMQ, TBBS و گوگرد توسط شرکت های فهرست شده در این جدول ارایه شدند.

Table 1. Samples formulations.

Ingredients		Concentration (phr)	Supplier Co.
SBR	1502 1712	100	Bandar Imam Petrochemical Co., Iran
CB	N330 ^a N550 ^b	30, 50, 70	Pars Co., Iran
Aromatic oil		10.00	Behran Co., Iran
Zinc oxide		3.00	Rangineh Pars, Iran
Stearic acid		1.50	Unichema International
2,2,4-Trimethyl-1,2-dihydroquinoline (TMQ)		1.00	Bayer, Germany
N-Tert-butyl-2-benzothiazolesulphenamide (TBBS)		1.25	Bayer, Germany
Sulphur		2.00	Rangineh Pars, Iran

^(a) N330: High abrasion furnace (HAF), average particle size = 30 nm, specific area = 80 m²/g; ^(b) N550: fast extruding furnace (FEF), average particle size = 50 nm, specific area = 50 m²/g. (From ASTM D1765- Standard classification system for carbon blacks used in rubber products).

جدول 1

روش ترکیب

لاستیک SBR 1502 با همه ترکیبات به طور یکنواخت به مدت 15 دقیقه با استفاده از دستگاه دو غلطکی 200 لیتری پلی میکس در دمای اتاق با سرعت روتور 15 دور بر دقیقه ترکیب شد. سپس ترکیب تحت شرایط اتاق به مدت 24 ساعت قرار گرفت. سپس، عوامل پخت به مستر برای تهیه ترکیب نهایی افزوده شدند. در انتها، نمونه ها به یک سری ورقه ها با استفاده از آسیب تقسیم شده و به مدت 24 ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند.

تجزیه تحلیل

در این پژوهش، سینتیک پخت آمیزه لاستیک SBR با استفاده از آزمون های رئومتری (همدما) و اندازه گیری مستقیم دما به کمک دستگاه چندثباتی (ناهمدما) و دستگاه تحلیل فرآیند لاستیک بررسی شد. پس از تهیه آمیزه درینبوری و آسیاب دوغلتکی با استفاده از آزمون های رئومتری در دماهای متفاوت، مقادیر مختلف پیشرفت پخت و مشتق آن بر حسب زمان محاسبه و با استفاده از برازش غیرخطی داده ها به وسیله نرم افزار، پارامترهای سینتیکی مدل های مختلف محاسبه و مقدار متوسط خطا برای هر مدل معین شد. با استفاده از عوامل محاسبه شده برای مدل ها در دما و زمان هایی که به طور مستقیم به وسیله دستگاه چند ثباتی از آمیزه در مرکز قالب، اندازه گیری شده و اعمال پروفیل دما- زمان به دستگاه تحلیل فرایند لاستیک (RPA) ، مقادیر درجه پیشرفت پخت (ناهمدما) محاسبه شد. سپس به کمک روش های مشتق گیری و انتگرال گیری عددی با استفاده از شرایط اولیه مشخص، این نتیجه بدست آمد که مدل خود کاتالیزوری با نتایج دستگاه RPA توافق بسیار خوبی را نشان می دهد. بدین ترتیب به کمک مدل خود کاتالیزوری می توان تفسیر مناسبی از رفتار پخت آمیزه در شرایط همدما و ناهمدما بدست آورد.

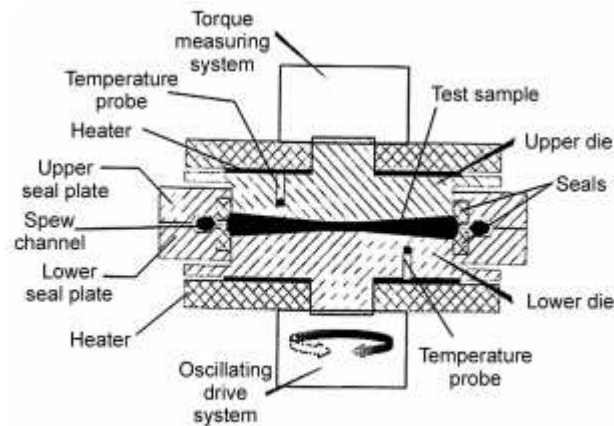


Figure 1. The cavity of rubber process analyzer (RPA).

شکل 1

Table 2. Performed tests conditions.

Test	Condition	Temperature (°C)		Strain (%)	Frequency (Hz)
Strain sweep		100		Range: 0.1-100	1.68
Relaxation before cure		50		14	Torsion mode
Relaxation after cure*	Cure		150	7	1.68
	Timed		50	7	1.68
	Relaxation		50	14	Torsion mode

*This test is performed at three stages: at first the rubber compound was cured at 150°C, then cooled to 50°C and timed for 4 min, and then relaxation test was done with the same conditions as the master compound.

جدول 2

در این جا، RPA2000 از شرکت فناوری های آبفا برای بررسی خواص ویسکوالاستیک لاستیک استفاده شد و این خواص با استفاده از rPA تحت شرایط مشخص همان طور که در جدول 2 نشان داده شده است اندازه گیری شد. یک نمونه دیسکی شکل در فاصله بین صفحات قرار داده شد. طی تست، صفحه پایینی دارای نوسان سینوسی در حالت پویا بوده و به حالت پیچشی تغییر کرد.

نتایج و بحث

تست خزش کرنش

تغییرات در خواص ویسکوالاستیک در برابر کرنش لاستیک را می توان با تست خزش کرنش بررسی کرد. به طور دقیق تر، منطقه کرنش، را می توان به سه بخش تقسیم کرد: کرنش کم، متوسط و زیاد. اکنون به بررسی

شماتیک انواع مختلف حرکت های قطعه ای در کرنش های مختلف برای لاستیک های پر شده با دوده در شکل 2 می پردازیم. همان طور که نشان داده شده است، در کرنش صفر، هیچ گونه تغییر شکلی در لاستیک SBR و نیز آمیزه وجود ندارد. بعد از استعمال کرنش پایین، هر دوی آمیزه و صمغ در یک منطقه الاستیک قرار می گیرند و به این معنی است که تغییر شکل برگشت پذیر رخ می دهد: سپس با افزایش کرنش به سطح متوسط، دیگر تغییرات در نمونه رخ داده و پاسخ های ویسکوالاستیک مشاهده می شوند. در این منطقه، ضریب کشسانی وابسته به زمان است که ارتباط نزدیکی با پاسخ های برگشت پذیر با گذشت زمان دارد. همه نوسانات حاوی تجزیه دوده-دوده، و کشش زنجیره به طور هم زمان رخ می دهد. در نتیجه، ضریب کشسانی در کرنش های متوسط کاهش می یابد. سپس در آخرین منطقه کرنش زیاد، که تنها پاسخ های گرانبه برگشت ناپذیر رخ می دهد، آشفستگی دوده-لاستیک، و تجزیه اثرات متقابل دوده-دوده می شود. در این ناحیه، مقاومت در برابر تغییر شکل به کم ترین میزان خود می رسد. و همین امر نیز برای مدول کشسانی صدق می کند. این دو عامل موثر رفتار ویسکوالاستیک لاستیک می توانند هم پوشانی داشته باشند و به آسانی تفکیک پذیر نمی باشند. آن ها می توانند شامل دو فرایند باشند: شکستن پیوند های بین ذره ای دوده، کشش و کسستگی پیوند های بین زنجیره های لاستیک و کربن سیاه.

	"In both gum & CB-filled rubber"		"Only in CB-filled rubber"	
	Entanglements	Chains movement	CB-rubber interactions	CB-CB interactions
No strain	(A0)	(B0)	(C0)	(D0)
Low strain Elastic response	(A1)	(B1) No considerable effect	(C1)	(D1) No considerable effect
	Medium strain Viscoelastic response	(A2)	(B2)	(C2)
High strain Viscous response	(A3) Disentanglement Chain scission	(B3) Limited by the interactions	(C3)	(D3) Depended on initial aggregates

Scheme II. Possible responses at various strain regions, for gum and CB-filled rubber.

شکل 2

پاسخ های مشاهده شده و مدول کشسانی بدست آمده تحت تاثیر عوامل فرموله کننده به خصوص اثرات متقابل مبتنی بر پر کننده قرار می گیرد. اثر نوع و مقدار کربن سیاه بر روی مدل کشسانی و منحنی های مربوطه به آمیزه های لاستیکی بر اساس 1502 SBR و 1712 در شکل 2 الف و ب نشان داده شده است. همان طور که در شکل 2 الف نشان داده شده است، لاستیک های SBR، هیچ گونه علائم غیر خطی را در منحنی نشان نمی دهند زیرا لاستیک پر نشده، عاری از پیوند دوده بوده و به خواص کششی و زنجیره ای دارد. بدیهی است که در کرنش های پایین تر، پدیده های اصلی بر روی مدول کشسانی SBR، به صورت اثرات متقابل لاستیک-دوده و دوده-دوده هستند. ترکیبات اصلی حاوی دوده دارای G^*_0 بزرگ تری در مقایسه با خود لاستیک بوده که با افزایش فعل انفعالات مبتنی بر دوده به شدت کاهش می یابد. اگرچه حضور داده های مربوط به دوده به وضوح می تواند حایز اهمیت باشد، هر دو گسستگی پیوند دوده-دوده و لاستیک و کربن سیاه با افزایش کرنش رخ می دهند و از این روی مدول کشسانی سریعاً کاهش می یابد و در نهایت مقدار برابر G^*_∞ حاصل می شود.

به عبارت دیگر، لاستیک پر شده، رفتار غیر الاستیک غیر خطی را نشان می دهند و سپس $G^* - G''_0$ به شدت افزایش می یابد.

شکل 2 الف، مدول کشسانی بالاتر را با کاهش اندازه ذرات دوده نشان می دهد.

اولین قانون عمومی اصطکاک در اواخر قرن پانزدهم میلادی توسط Leonardo Da Vinci بیان شد و پس از آن Coulomb قانون اصطکاک را به صورت زیر تعریف کرد:

$$F = \mu W$$

که در این رابطه F نیروی اصطکاک، W بار عمودی اعمال شده بر جسم و μ ضریب اصطکاک^۱ می باشد.

بلدیر نشان داد سطح مواد صاف نیست و در واقع می توان سطح آن ها را متشکل از برآمدگی های نیم کره ای نامنظم دانست. تقریباً هم زمان با وی امونتون نشان داد که اصطکاک ناشی از درگیری مکانیکی برآمدگی های بین دو سطح است. در واقع در اثر تماس دو سطح، برآمدگی های آن ها در هم گیر کرده و مانع از حرکت آزادانه می شوند. این پدیده منجر به نوعی اتلاف انرژی می گردد که همان اصطکاک ناشی از تغییر فرم^۲ است. نظریه امونتون نشان می داد که اصطکاک پدیده ای است که از سطح ظاهری ماده مستقل است و به زبری^۳ و سطح حقیقی آن وابسته است. هاردی نظریه چسبندگی^۴ را بیان کرد که طبق آن در حرکت دو جسم بر روی هم، در محل سطح تماس آن ها پیوندهای ضعیف بین مولکولی مانند هیدروژنی و واندروالس ایجاد می شوند که از حرکت آزادانه دو سطح روی هم ممانعت می کنند که انرژی مورد نیاز برای شکسته شدن این پیوندها به عنوان اصطکاک شناخته می شود (1).

طبق نظریه Moore هر دو عامل تغییر فرم و چسبندگی در ایجاد اصطکاک دخیل هستند که درصد مشارکت هر کدام از آن ها بسته به ماهیت و طبیعت سطوح متفاوت است (2). هرچه سطوح صاف تر باشند و یا سرعت حرکت بالاتر باشد، اثر عامل تغییر فرم کمتر می شود و در مقابل، وجود ماده ای حایل بین دو سطح مانند آب یا آلودگی، تاثیر عامل چسبندگی کاهش می دهد.

$$F = F_{Adhesion} + F_{Deformation}$$

¹ Friction Coefficient

² Deformatio

³ Roughness

⁴ Adhesion

این دو عامل در شکل 1 نشان داده شده است

لاستیک‌ها به دلیل ماهیت منعطفی که دارند، هنگامی که روی یک سطح سخت و زبر مانند جاده حرکت می‌کنند، مطابق شکل 2 درون ناهمواری‌های سطح نفوذ کرده و تغییر شکل می‌دهند که تاخیر در بازگشت این تغییر شکل سبب اتلاف انرژی می‌شود. به همین دلیل به اصطکاک تغییرفرم، اصطکاک اتلاfi یا پسماند⁵ نیز می‌گویند. عامل چسبندگی یک اثر سطحی است اما عامل اتلاfi پدیده‌ای مربوط به توده ماده و تحت تاثیر خواص ویسکوالاستیک آن است. همان طور که می‌دانیم لاستیک‌ها متشکل از مولکول‌های زنجیره‌ای منعطف هستند. هنگام حرکت لاستیک روی سطوح دیگر، بین مولکول‌های دوسطح پیوندهای ضعیف واندروالس ایجاد می‌شود. این پیوندها سبب می‌شوند که زنجیره‌های لاستیک کشیده شده سپس رها شده و مجدداً به شکل اولیه درآیند. این فرآیند تنش و آسودگی⁶ زنجیره‌ها که در حرکت لاستیک روی سطوح، متناوباً رخ می‌دهد سبب اتلاف انرژی در مقیاس نانومتری می‌شود. این فرآیند در شکل 3 نشان داده شده است. بر اساس مکانیسم اتصال-

لغزش می‌توان گفت در مورد لاستیک‌ها، عامل اصطکاک چسبندگی نیز نوعی از اصطکاک اتلاfi اما

در مقیاس نانومتری و وابسته به خواص ویسکوالاستیک لاستیک است، زیرا در حقیقت نوعی تغییر شکل به صورت کشش و رهایش زنجیره‌ها در دامنه تماس بسیار کوتاه در حد نانومتر و کمتر (و یا بسامدهای بسیار بالا) است (4). می‌توان نتیجه گرفت، نیروی کل اصطکاک وابسته به خواص ویسکوالاستیک ماده است و با پارامتر اتلاف رابطه مستقیم دارد.

$$\tan \delta = \frac{E''}{E'}$$

مشابهت رفتار نیروی اصطکاک و پارامتر اتلاف در برابر تغییرات دما برای لاستیک SBR در نمودارهای شکل 4 نشان داده شده است. تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه تاثیر ویژگی‌های مختلف پرکننده‌ها بر روی خواص ویسکوالاستیک خطی لاستیک به ویژه پارامتر اتلاف دینامیکی و اصطکاک انجام شده است. این تحقیقات را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود.

پژوهش‌هایی که به طور کلی تاثیر انواع پرکننده‌ها بر روی اصطکاک را با یکدیگر مقایسه کردند.

⁵Hysteresis
⁶Relaxation

پژوهش‌هایی که بر روی تاثیر اصلاح سطح، میزان و نوع آن انجام شده است.

پژوهش‌هایی که تاثیر ضخامت لاستیک کم تحرک حبس شده میان ذرات و عوامل مرتبط با آن مانند اندازه ذرات و کسر حجمی آن‌ها را بررسی کردند.

به طور کلی نتیجه تمام پژوهش‌ها در این زمینه به تاثیر لاستیک حبس شده میان ذرات پرکننده منجر می‌شود. مفهوم لاستیک حبس شده ابتدا توسط کافمن در دهه 80 میلادی بیان شد. او بیان کرد که از هر زنجیره لاستیک، 2 تا 3 درصد طول آن روی سطح ذرات پرکننده منجمد و کم تحرک می‌شود. این بخش جزئی از پرکننده می‌شود که باعث می‌شود کسر حجمی واقعی پرکننده افزایش یابد؛ 10 تا 20 درصد طول زنجیره لاستیک در فاصله‌ای دورتر از پرکننده قرار می‌گیرد که این بخش دمای انتقال شیشه‌ای بالاتری دارد و سهم اصلی تقویت‌کنندگی را برعهده دارد و بقیه طول زنجیره در توده لاستیک است. نظریه کافمن در شکل 5 داده شده است (5).

پس از آن، سایر محققان تاثیر عواملی چون نوع پرکننده، مقدار پرکننده، اصلاح سطح و غیره را بر مقدار لاستیک حبس شده و در نتیجه بر خواص ویسکوالاستیک خطی آمیزه‌های لاستیکی بررسی کردند.

بیشترین مطالعه و پژوهش در سال‌های اخیر در زمینه لاستیک محبوس شده میان ذرات SBR و تاثیرات آن، در مجموعه مقالات هنریخ انجام شده است. آن‌ها ضخامت لایه کم تحرک حول سطح سیلیکای رسوبی را در حدود 1-20 نانومتر و ضخامت پلیمر شیشه‌ای پل شده بین فاصله دو ذره مجاور را در حدود چند نانومتر معرفی کرده‌اند. آن‌ها همچنین بیان کردند انرژی فعال‌سازی برای حرکت زنجیره‌های محبوس شده و در نتیجه مدول کل آمیزه پر شده وابستگی آرنیوسی با دما دارد (6). این مساله در شکل 6 نشان داده شده است.

$$a_T = \frac{G_T}{G_{T0}}$$

$$\log(a_T) = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

Arab در سال 2012 مدل پیشنهادی اصطکاک هنریخ آمیزه‌های فاقد پرکننده و آمیزه‌های حاوی پرکننده SBR بررسی و با نتایج تجربی مقایسه کرد (7). نتایج این پژوهش نشان داد که مدل هایپرنیش-کلوپال می‌تواند

رفتار اصطکاکی آمیزه‌های بدون پرکننده را پیش‌بینی کند اما افزودن پرکننده، به دلیل تأثیر آن بر خواص دینامیکی لاستیک، منجر به کاهش دقت مدل می‌شود.

یکی از ویژگی‌های موثر پرکننده‌ها، نوع آن‌هاست. محققانی چون Amino و همکارانش در سال 2000، Pan و همکارانش در سال 2003 (8)، و Choi در همین سال این مساله را بررسی کردند و نشان دادند ضخامت لایه پلیمر منجمد شده روی سطح SBR در مقایسه با دوده بیشتر است و این مساله را به برهمکنش شیمیایی که بین SBR-عامل جفت‌کننده-پلیمر ایجاد می‌شود ارتباط داد (9). شکل 7 نتایج تحقیقات Amino و همکارانش را نشان می‌دهد که مقدار نسبت پارامتر اتلاف به مدول ذخیره و همچنین مقدار ضریب اصطکاک ذخیره در دامنه بسامد 107-103 هرتز (محدوده بسامدی وقوع اصطکاک سُرشی در تایر) برای آمیزه‌های حاوی SBR بیشتر از آمیزه‌های حاوی دوده است (10). این نتایج بیان‌گر تأثیر نوع پرکننده تقویتی بر رفتار دینامیکی و اصطکاکی آمیزه‌های لاستیکی است

از دیگر عوامل موثر بر ضخامت لاستیک حبس شده، کسر حجمی پرکننده است. افزایش کسر حجمی پرکننده سبب افزایش ضخامت لایه لاستیک حبس شده می‌شود. این مساله در سال 2003 توسط کوی بیان شد که در شکل 8 نشان داده شده است (9).

همچنین در سال 2003 یک قله ثانویه در نمودار پارامتر اتلاف، حدود 40 درجه سانتیگراد بالاتر از قله اصلی و در محدوده دمایی صفر تا 20 درجه سانتیگراد برای آمیزه‌های لاستیکی حاوی SBR توسط اریگی همکارانش گزارش شد. آن‌ها در شکل 9 نشان دادند که شدت این قله ارتباط مستقیم با کسر حجمی پرکننده تقویتی دارد و معتقدند کاهش تحرک زنجیره در لایه مرزی اطراف ذرات پرکننده عامل این پدیده است (11). گاتیر و همکارانش نیز در سال 2004 به نتایج مشابهی دست یافتند (12).

کتاسونو نیز در سال 2003 مطالعه‌ای بر روی غلظت پرکننده در آمیزه انجام داد و نشان داد که برای دستیابی به تقویت‌کنندگی مطلوب، حداقل کسر حجمی پرکننده نیاز است که به آن آستانه تداخل^۷ می‌گویند (13). گنزی در سال 2008 با مطالعه آمیزه SBR حاوی SBR نشان داد ایجاد شبکه ثانویه SBR به طور چشم‌گیری سبب بهبود خواص ویسکوالاستیک خطی و در نتیجه بهبود خواص اصطکاکی می‌شود. همچنین برای دست یافتن

^۷Percolation Threshold

به مزایای شبکه ثانویه پرکننده-پرکننده باید مقدار پرکننده تقویتی از حد آستانه ۸ بیشتر باشد. او همچنین نشان داد که شبکه ثانویه سیلیکای اصلاح شده در مقایسه با سیلیکای اصلاح نشده در کسر حجمی کمتری ایجاد می‌شود (14).

اصلاح سطح ذرات پرکننده بخصوص در مورد ذراتی مانند SBR که ماهیت قطبی و ناسازگار با ذات غیرقطبی لاستیک دارند، از ویژگی‌های بسیار مهم و موثر در خواص ویسکوالاستیک و نیز اصطکاک لاستیک‌هاست؛ زیرا با اصلاح سطح می‌توان برهمکنش لاستیک-پرکننده را افزایش داد که سبب افزایش ضخامت لاستیک محبوس شده می‌شود. این مساله توسط محققان مختلفی چون Vladimir و همکارانش در سال 2003 (15)، اریقی و همکارانش در سال 2003 (11) و Suzuki و همکارانش در سال 2005 (16) بررسی شده است. اریقی و همکارانش با تهیه دو نوع آمیزه حاوی SBR خام و اصلاح شده و اندازه‌گیری سطح زیر قله ثانویه منحنی اتلاف آن‌ها، ضخامت لایه کم‌تحرک مرزی را برای این آمیزه‌ها به ترتیب 1.9 و 5 نانومتر تخمین زدند (11). سزکی و همکاران تاثیر عامل جفت‌کننده سیلانی تک عاملی و دو عاملی را بر خواص ویسکوالاستیک آمیزه بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که عامل جفت‌کننده تک عاملی فقط گروه‌های عاملی سطح SBR را پوشش می‌دهد و تاثیری در پخت لاستیک و چگالی اتصالات عرضی آن ندارد. اما اصلاح‌کننده بیس (3-اتوکسی‌سیلیل پروپیل) تتراسولفید (TESPT) به دلیل داشتن گوگرد، در پخت لاستیک شرکت کرده و سبب افزایش چگالی اتصالات عرضی می‌شود (16). در صورت شکسته شدن زنجیره‌های لاستیک، بر روی آن‌ها رادیکال کربن تولید می‌شود. سزکی همکارانش با بررسی میزان رادیکال‌های تولید شده در برابر افزایش کرنش دریافتند که برای آمیزه‌های بدون جفت‌کننده و یا با جفت‌کننده تک عاملی، تا کرنش حدود 50 درصد شکست اتفاق نمی‌افتد. اما برای آمیزه حاوی TESPT از همان ابتدای اعمال تنش و کرنش، ترک‌های کوچک دیده می‌شود. از این پدیده نتیجه می‌گیرند که الزاما شکست در سطح مشترک نیست، بلکه در اطراف ذرات فیلر چون تراکم زنجیره‌ها بالاست و زنجیره‌ها تحرک کمی دارند، هنگام اعمال تنش قادر نیستند به راحتی حرکت کنند و شکست اتفاق می‌افتد (16). این مساله می‌تواند به نفع کل آمیزه باشد زیرا ایجاد ترک‌های ریز سبب اتلاف انرژی شده و در نتیجه خستگی و ازکارافتادگی کل آمیزه به تاخیر می‌افتد. در سال 2012 تاثیر نوع اصلاح سطح بر اصطکاک

بررسی شد (17). نتایج این تحقیقات نشان داد که اصلاح سطح SBR با استفاده از اصلاح‌کننده‌های سیلانی تاثیر بهتری در افزایش ضریب اصطکاک در سطوح خشک نسبت به اصلاح با لاستیک مایع دارد. از سویی دیگر ضریب اصطکاک سطوح خیس برای آمیزه‌های حاوی SBR اصلاح شده با لاستیک مایع بیشتر از نوع اصلاح شده با سیلان صنعتی است. تربنی فرد و همکاران همچنین نشان داد ضریب اصطکاک آمیزه‌های حاوی SBR در سطوح خیس بیشتر از آمیزه‌های حاوی دوده است.

استلکبر همکارانش در سال 2011 اثر اصلاح سطح ذرات بر خواص دینامیکی آمیزه‌های لاستیکی را بررسی کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها در شکل 10 نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشخص است بهترین نتایج مربوط به SBRهای اصلاح‌شده با عامل جفت‌کننده سیلانی TESPT است، زیرا این عامل سیلانی قادر به ایجاد اتصالات شیمیایی با سطح سیلیکا و لاستیک زمینه است تا سبب مقادیر بالاتر پارامتر اتلاف در محدوده 0-30 درجه سانتیگراد (مناسب برای اصطکاک) می‌شود. هم چنین این شکل برتری کاربرد سیلیکا اصلاح‌شده بر سیلیکای اصلاح‌نشده را تایید می‌کند (18).

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم و موثر پرکننده‌ها، اندازه ذرات آن‌هاست. پیرینی سال 2011 تاثیر اندازه ذرات بر روی اصطکاک و سایش را نشان داد. نتایج این پژوهش در شکل 11 نشان داده شده است. او بیان کرد بالاتر بودن ضریب اصطکاک نانو کامپوزیت‌های لاستیکی نسبت به میکرو کامپوزیت‌های لاستیکی حکایت از برهم‌کنش قویتر پرکننده تقویتی و رفتار اتلافی قوی‌تر نانو کامپوزیت‌ها در دمای آزمون اصطکاک دارد و به عبارت دیگر نمایشگر کم‌تر حرکت بودن زنجیره‌های نانو کامپوزیت‌ها در این دما هستند. از سمتی دیگر رشد محسوس ضریب اصطکاک با گذر درصد سیلیکا از آستانه تداخل پرکننده تقویتی بیانگر ضرورت کاربرد پرکننده‌های تقویتی تقویت‌کننده با درصد بالا در آمیزه‌های صنعت لاستیک است تا کسر حجمی بیشتری از زنجیره‌های لاستیکی با دسترسی به سطح تماس مشترک با پرکننده تقویتی در حالت زنجیره کم‌تر حرکت مجاور ذره پرکننده تقویتی قرار بگیرند (4).

از طریق رگرسیون در شروع فرایند استراحت، در دامنه زمانی 0.5-1 ثانیه، رابطه بین مدول کشسانی G و زمان را می‌توان به صورت $G(t) = A - Bt$ تعیین کرد: یک مثال در شکل 6 برای بارهای مختلف N550 نشان داده شده است. در این معادله، ثابت A اشاره به مدول اولیه نمونه دارد در حالی که مقدار V نشان دهنده

کاهش مدول با گذشت زمان است. "Bt" به طور پیوسته از A استنتاج می شود که نشان دهنده کاهش در مدول کشسانی استراحت است. ضرایب بدست آمده برای همه آمیزه ها در جدول 3 نشان داده شده اند. با افزایش بار CB و سطح مقطع، هر دوی A و B افزایش می یابند. دلیل افزایش مقدار دوده و فعل و انفعالات در این نمونه هاست که بر رفلکس های گرانو و الاستیک تاثیر بسزایی دارد. به عبارت دیگر، A ارتباط مستقیمی با G_U دارد که برای سطوح و سطح مقطع بالای CB بزرگ ار است و از این روی A نیز بالاتر می باشد. به علاوه، B نشان دهنده وابستگی زمانی و سرعت کاهش مدول کشسانی است. با این حال، نسبت "A/B" نشان دهنده مقدار τ است، و هر چه "A/B" بیشتر باشد مقدار τ بیشتر خواهد بود. همان طور که مشاهده می شود، روند افزایشی "A/B" از تغییرات مشاهده شده در τ تبعیت می کند. با افزایش مقدار دوده، A/B نیز مشابه با زمان استراحت بالا می رود.

Table 3. Estimated coefficients of the linear equation for the relaxation test, before cure.

SBR 1502 Compounds		A	B	A/B	R-squared (%)
CB type	CB content (phr)				
N330	30	198.3	70.2	2.82	97.0
	50	266.6	82.6	3.23	98.2
	70	477.4	131.8	3.62	98.4
N550	30	182.8	68.4	2.67	97.7
	50	221.5	72.7	3.05	98.3
	70	394.2	116.9	3.37	98.1

تست استراحت بعد از پخت

خواص پس از ولکانیزاسیون می تواند از موضوعات تحقیقاتی بر روی ویسکوالاستیسیته لاستیک و نیز خواص پخت نشده باشد. اثر دوده بر رفتار پخت CBR به طور کامل در کار های قبلی ما بحث و بررسی شده است (17). شکل 7 الف و ب، منحنی های استراحت و پخت زمانی را برای ترکیبات با بار های دوده و اندازه ذره مختلف نشان می دهد. در مرحله اول، جهت در دمای بالای 150 درجه صورت گرفته و سپس نمونه تا دمای 50 درجه خنک می شود. و سپس تست استراحت انجام می شود. خواص مربوط به پخت در این اشکال نشان داده شده است. همان طور که می توان دید، سرعت پخت با افزایش بار دوده افزایش می یابد، در همه مراحل استراحت

زمان پخت، لاستیک های پر شده دارای دوده بیشتر و ریز تری هستند که مدول کشسانی بالاتری را نشان می دهند. بعد از بررسی مدول های استراحتی، می توان به این نتیجه رسید که کاهش مدول استراحت بعد از پخت برای غلظت های بالاتر و سطح مقطع دوده بیشتر و نیز برای مدول کشسانی آمیزه های پخت نشده، بالاتر است.

شکل های 8 الف و 8 ب قبل و بعد از استراحت را برای آمیزه های با بار های دوده و اندازه ذرات مختلف را نشان می دهند. روش پخت موجب می شود تا پدیده استراحت به شدت تغییر کند. در هر آمیزه، شیب کاهش در مدول کشسانی در زمان های کم تر افزایش و در زمان های طولانی تر کاهش می یابد. همان طور که قبلاً نیز گفته شد، اولین کاهش در مدول کشسانی مربوط به ریکاوری پاسخ های الاستیک است در حالی که در زمان های طولانی تر، به طور کلی، نوسانات ویسکوز بسیار قابل توجه تر است. پیوند های تشکیل شده در نمونه های ولکانیزه باید دارای دو اثر باشند: از یک سو، این پیوند ها به صورت اتصالات مطلوب برای زنجیره های لاستیک محسوب شده و پاسخ های الاستیکی را ایجاد می کنند و این ریکاوری نوسانات را تسهیل می کند. از سوی دیگر، تحرک مولکول ها توسط شبکه محدود شده و از این روی مولفه گرانروی ضعیف تر است. به عبارت دیگر، الاستیسیته بعد از پخت افزایش می یابد از این روی مدول کشسانی سریعتر در مدت زمان کوتاه کاهش و در بلند مدت افزایش می یابد.

رگرسیون مدول استراحتی بعد از پخت در شکل های الف و ب نشان داده شده است. A نشان دهنده این است که مدول اولیه به طور معنی داری در آمیزه های ولکانیزه در مقایسه با غیر ولکانیزه بالاتر است که ناشی از تشکیل پیوند است. به علاوه در مقایسه با نمونه های غیر ولکانیزه، مقدار B نشان دهنده وابستگی مدول کشسانی و کاهش آن بعد از پخت است. "A/B" بزرگ تر بدست آمده در آمیزه های پخت شده نشان دهنده کاهش در مدول استراحتی بوده و در واقع، τ ناشی از فرایند پخت است و این ناشی از اثر محدود کننده پیوند ها بر روی حرکات ویسکوز است. این اثر در 30 phr CB بدیهی تر است که در آن "A/B" مشاهده می شود که ناشی از اثر محدود کنندگی برجسته تر در مقدار دوده پایین است. همانطور که قبلاً گفته شد، طی

استراحت فشاری، مدول کشسانی کاهش یافته و به مقدار نهایی می رسد. مقدار G_R نشان دهنده الاستیسیته

بالتر پلیمر است و یا نزدیک به مدل الاستیک جامد است. همان طور که مشاهده می شود، یک تنظیم فشاری در انتهای منحنی استراحت آمیزه های ولکانیزه وجود دارد. قبل از پخت، آمیزه های لاستیکی دارای زنجیره های قابل جریان و بلند مدت می باشند و از این روی در انتهای آزمایش تغییرات معنی داری از این حیث دیده نمی شود. لاستیک پخت شده دارای ماهیت الاستیک تر بوده و بخشی از نوسانات ویسکوز در حالت پخت نشده ، به دلیل محدود شدن پیوند ها رخ نمی دهد. از سوی دیگر، مقدار $G_U - G_R$ برابر با GD است که نشان دهنده وابستگی زمانی در مدل SLS است. در آزمایش استراحت فشاری، دفورماسیون گرانو موجب باز شدن فنر می شود و از این روی GD با گذشت زمان در حالت استراحت قرار می گیرد. چون پیوند محدود کننده جابه جایی است، کاهش کم تر در G در مولفه پخت شده دیده می شود و این منجر به افزایش GR در انتها خواهد شد. به علاوه مقدار فوق برای آمیزه های دارای مقدار دوده بیشتر و اندازه ذرات ریز تر دوده بیشتر است به خصوص این که شکل های 8 الف و ب این مقدار را به وضوح نشان می دهد. تنظیم زمان استراحت در حضور دوده بیشتر را می توان به نوسانات ویسکوز مربوط به اثرات متقابل در پیوند ها نشان داد. حجم این نوع محدود کنندگی برای سطوح و سطح مقطع بیشتر دوده بالاتر می باشد و از این روی مقدار GR افزایش می یابد. این رفتار ناشی از افزایش چگالی یا تراکم پیوند ناشی از ارتباط چگالی با اثر هیدرودینامیکی یا حرارتی دوده است.

نتیجه گیری

این مقاله به بررسی برخی مسائل کلیدی مربوط به ویسکوالاستیسیته آمیزه های لاستیکی پر شده می پردازد. رفتار رئولوژیکی آمیزه های SBR حاوی مقادیر مختلف $CB N330$ و $CB N550$ بررسی شدند طوری که تست های استراحت کرنش و خزش با استفاده از دستگاه فرایند لاستیک صورت گرفتند. نتایج زیر با در نظر گرفتن طرح های پیشنهادی نوسانات حاصل شدند:

- آمیزه های پر شده، مدول کشسانی بالاتری را در مقایسه با SBR خام نشان دادند که به طور ناگهانی کاهش یافت و این به معنی وجود رفتار ویسکوالاستیک غیر خطی قابل توجه است. روند مشاهده شده فاکتور میرایی، رفتار ویسکوالاستیک خطی را برای کرنش کم تر از ۱۵ درصد نشان داد با این حال کرنش بالاتر با انحراف مثبت مشاهده شد.

- تغییرات $\tan \delta$ در برابر کرنش به دو حوزه LVE و NLVE تقسیم شدند. برای 1502 SBR، LVE کم تر از کرنش 15٪ بود.
- در ناحیه LVE، مقدار پایین $\tan \delta$ با افزایش بار و سطح مقطع دوده مشاهده شد در حالی که در ناحیه NLVE، روند معکوسی مشاهده شد.
- ترکیبات پر شده حاوی دوده بیشتر و کم تر دارای مدول کشسانی اولیه بیشتری بودند که سریعاً با گذشت زمان کاهش یافت. در این نمونه ها، τ به زمان های طولانی تر تغییر می یابد.
- در ترکیبات یا آمیزه های پخت شده، در آمیزه های پخت شده، شیب مدول استراحت در زمان شروع بیشتر بود و در بلند مدت نسبت به آمیزه های اصلی کم تر بود و در انتهای دوره استراحت به میزان زیادی بسته به اندازه و سطح σ رسید
- در انتهای آمیزه های ولکانیزه، آمیزه های با مقدار دوده بیشتر و ریزتر، بعد از پخت، ماهیت الاستیکی بیشتری را نشان دادند.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی