

اثر سیستم پخت بر چسبندگی نخ پلی استر به لاستیک در تایرهای رادیال

Effect of Curing System on Adhesion of Polyester Cord to Rubber in Radial Tires

مهرداد کوکی^{۱*}، سعید سلطانی نژاد^۱، عباس عباسی ایبانه^۲

۱- تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پلیمر، صندوق پستی ۴۸۲۸-۱۴۱۵۵

۲- تهران، خ سهروردی شمالی، خ هویزه غربی، مجتمع صنایع لاستیک کرمان

دریافت: ۷۸/۶/۱۵، پذیرش: ۷۸/۹/۲۰

چکیده

استفاده از نخ ریون در ساخت منجید و بلت تایر رادیال متداول است، ولی به علت منشاء طبیعی نخ ریون و عوارض زیست محیطی، یعنی از بین رفتن جنگلها برای تولید این نخ، کوشش بشر صرف جایگزینی نخهای مصنوعی به جای نخ ریون شده است. نخ پلی استر به عنوان یک جایگزین با خواص فیزیکی و مکانیکی قابل قبول در مقایسه با نخ ریون، دارای مزایایی نظیر پایداری ابعادی و استحکام کششی بیشتر، قیمت و وزن کمتر است، اما این ضعف را دارد که در شرایط کار یا همراه با تایر حین فرایند پخت در دمای بالا، چسبندگی آن به لاستیک کاهش می یابد و خواص مکانیکی ضعیفی نشان می دهد. علت اصلی این ضعف، آبکافت و آمین دار شدن زنجیرهای پلی استر در سطح نخ است. منبع اصلی آمین دار شدن، سیستم پخت آمیزه است. در این پژوهش، هدف شناسایی عوامل مشکل زا در چسبندگی مطلوب نخ پلی استر به لاستیک و حذف یا کاهش این عوامل در سیستم پخت است. با استفاده از طرح آزمایشهای عاملی (روش تاگوچی) اثر کائوچو، سیلیکا، گوگرد، شتاب دهنده، رزورسینول و هگزامتیلن تترامین مطالعه شد. و آمیزه های مختلف طراحی و به صورت سازمان یافته بررسی شده است. نتایج مطالعات بیانگر این واقعیت است که افزایش مقدار سیلیکا، گوگرد و رزورسینول تا درصدهای معینی موجب افزایش چسبندگی نخ پلی استر به لاستیک می شود. آمیزه بهینه حاصل، از خاصیت مطلوب چسبندگی به نخ (بیش از 4 kg_F) و خواص فرایندی و مکانیکی مناسب (استحکام کششی بیش از 225 kg_F و مدول (۳۰۰ درصد) بیش از 130 kg_F) برای تولید تایرهای رادیال برخوردار است.

واژه های کلیدی: نخ تایر، پلی استر، تایر رادیال، چسبندگی، سیستم پخت

Key Words: tire cord, polyester, radial tire, adhesion, curing system

مقدمه

برای ساخت منجید و بلت تایر رادیال، نخ ریون و پلی استر خواص

فیزیکی و مکانیکی قابل قبولی دارند، اما نخ پلی استر نسبت به نخ ریون از مزایای زیر برخوردار است:

- قیمت نخ پلی استر از نخ ریون کمتر است،

* مؤلف مسئول مکاتبات.

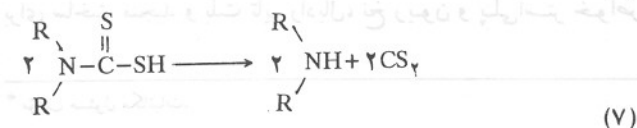
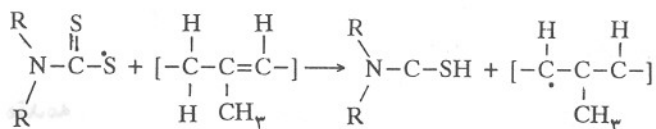
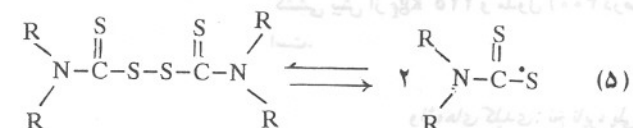
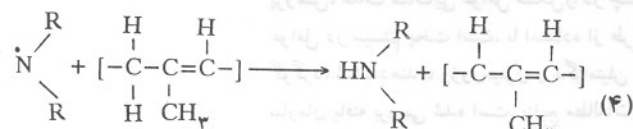
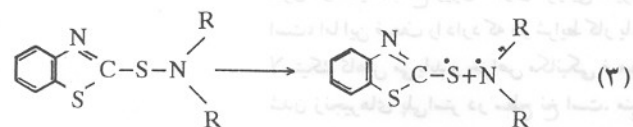
شتاب‌دهنده‌های آمین‌زا مثل سولفنامیدها و استفاده از شتاب‌دهنده‌های ثانویه مناسب به همراه آنها در آمیزه.

استفاده از سیلیکا، آمینها در اصل بازهای آلی‌اند که می‌توان با پرکننده‌های دارای بنیان اسیدی، آنها را به طریق جذب سطحی خنثی کرد. بهترین انتخاب برای این کار سیلیکاست [۳].

استفاده از کائوچوی مصنوعی در آمیزه، با کم کردن مقدار کائوچوی طبیعی، غلظت ناخالصیهای مضر ناشی از کائوچوی طبیعی نیز کاهش می‌یابد [۳].

استفاده از مواد افزایش‌دهنده چسبندگی، رزورسینول (R) و هگزامتیلن تترامین (HMT) از طریق واکنش تراکمی با فرو بردن نخ (در مخلوط رزورسینول - فرمالدهید - لاتکس) باعث بهبود چسبندگی نخ به لاستیک می‌شوند. از طرفی HMT به عنوان یک شتاب‌دهنده نیز عمل می‌کند. با استفاده از این ماده، مقدار شتاب‌دهنده اصلی لازم برای آمیزه نیز کاهش می‌یابد [۸].

هدف اصلی در این پژوهش، طراحی آمیزه مناسب برای پوشش دهی نخ پلی‌استر در تایر رادیال است. برای غلبه بر پیچیدگیهای آمیزه‌کاری، همه تدابیر یاد شده بطور همزمان در قالب طرح آزمایشهای عاملی (روش تاگوچی) گنجانده و بررسی شده است.

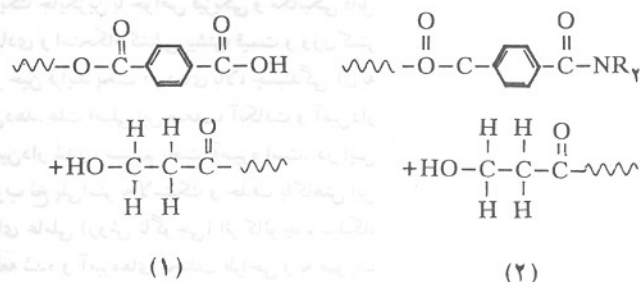
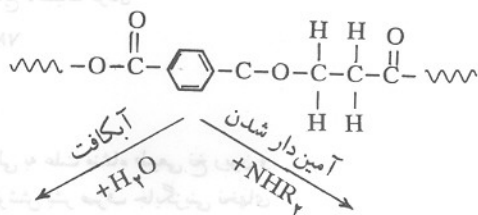


پایداری ابعادی نخ پلی‌استر از ریون بیشتر است،

استحکام کششی نخ پلی‌استر از ریون بیشتر است [۱] و

وزن نخ پلی‌استر ۱۰ درصد از نخ ریون کمتر است [۱، ۲].

به دلایل یاد شده تایر ساخته شده از نخ پلی‌استر از کارایی بهتری نسبت به نخ ریون برخوردار است. از این رو، اغلب کارخانه‌های تایر سازی نخ پلی‌استر را جایگزین نخ ریون در تایرهای رادیال کرده یا در صدد جایگزینی‌اند. اما، در عمل مشاهده شده است که نخ پلی‌استر تایرها حین فرایند پخت یا کار در دمای بالا، دچار کاهش چسبندگی به لاستیک و تضعیف خواص مکانیکی می‌شود. دلیل این امر همان‌گونه که در معادلات شیمیایی ۱ و ۲ ارائه شده، آبکافت و آمین‌دار شدن زنجیرهای استری روی سطح نخ به وسیله رطوبت و آمینهای همراه آمیزه لاستیکی است [۳-۶].



در آمیزه لاستیک، شتاب‌دهنده‌های سولفنامیدی و تیورام که خواص خوبی به تایر می‌بخشند، در اثر واکنشهای سیستم پخت و تخریب گرمایی، آمین تولید می‌کنند. این واکنشها در معادلات شیمیایی ۳ تا ۷ ارائه شده است. همچنین، کائوچوی طبیعی نیز شامل ۸-۷ درصد ناخالصی است که اغلب آن را مواد آمینی و رطوبت‌زا تشکیل می‌دهد [۷]. این مشکل نخ پلی‌استر را می‌توان با تدابیر زیر رفع کرد:

حذف شتاب‌دهنده‌های آمین‌زا از آمیزه، برای این کار باید از شتاب‌دهنده‌هایی چون شتاب‌دهنده‌های مرکاپتوبنزوتیازیل دی‌سولفید (MBTS) و فسفریل دی‌سولفید استفاده کرد. اما، متأسفانه این شتاب‌دهنده‌ها خواص خوبی در تایر ایجاد نمی‌کنند [۳، ۶].

تنظیم مقدار مصرف شتاب‌دهنده، کاهش مقدار مصرف

جدول ۱ - مشخصات مواد پرکننده (طبق استاندارد ISO ۵۷۹۴/۱).

ماده	سازنده	سطح ویژه (m ² /g)	رطوبت (%)	ناخالصی (%)	جذب DBP الف (mL/۱۰۰g)	جذب ید (mL/۱۰۰g)	pH
دوده N-۶۶۰	کربن پارس - ساوه	—	۰/۹۱	—	۸۷	۳۶	۶/۱
سیلیکا	بایر آلمان	۱۸۳	—	—	—	—	۶/۴

الف: DBP مخفف dibutylphthalate است.

تجربی

پخت می‌کنند. نخ به صورت بخش الف شکل ۱ درون آمیزه قرار می‌گیرد. برای اندازه‌گیری نیروی چسبندگی، نمونه‌هایی به صورت بخش ب شکل ۱ از نمونه اصلی تهیه می‌شود، نخها به یک فک و لاستیک به فک دیگر دستگاه کشش متصل شده و به آنها نیرو وارد می‌شود.

مقدار نیروی لازم برای جداشدن هر تار نخ از لاستیک بر حسب کیلوگرم نیرو به عنوان نیروی چسبندگی در نظر گرفته می‌شود. حداقل قابل قبول نیروی چسبندگی که به روش آزمایش چسبندگی نخ به لاستیک (cord to rubber adhesion, CRA) اندازه‌گیری می‌شود ۲ kgf است.

آزمایشهای انجام شده روی آمیزه خام

گرانروی مونی

این آزمایش براساس استاندارد ASTM D ۱۴۴۶-۸۹ به وسیله

مواد

در آزمایشهای چسبندگی از نخ پلی استر شماره DTEX ۱۱۰۰، سه لا با قطر ۰/۶۷ mm، ساخت کشور ترکیه استفاده شده است. مشخصات سایر مواد در جدولهای ۱ و ۲ ارائه شده است.

دستگاهها و روشها

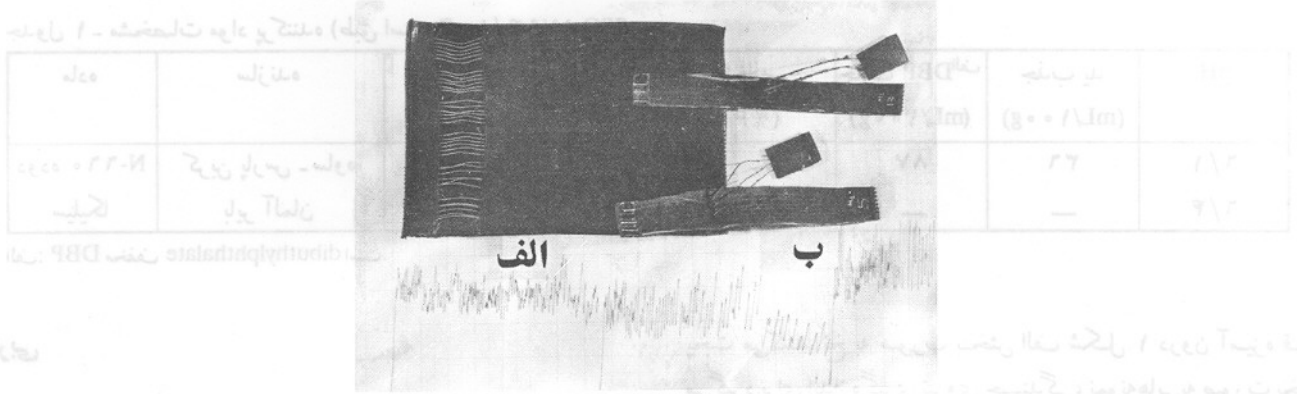
آزمایش میزان چسبندگی نخ به لاستیک

این روش از دانش فنی شرکت تیرسازی بریجستون گرفته شده است. در این روش نخ و آمیزه را در قالب مخصوص قرار داده و به کمک پرس در شرایط دمای C ۱۴۵ و فشار ۱۲۰ kg/cm² و زمان ۳۰ دقیقه،

جدول ۲ - مشخصات مواد مورد استفاده.

چگالی (g/cm ³)	گرانروی مونی (lb.in)	ناخالصی (%)	رطوبت (%)	دمای ذوب (°C)	قدرت اسیدی (mgKOH/g)	سازنده		ماده
						شرکت	کشور	
۰/۹۱۵	۹۲	—	—	—	—	Lee Rubber	مالزی	کائوچو SMR۲۰
۰/۹۴۲	۴۱/۲	—	—	—	—	پتروشیمی اراک	ایران	کائوچو BR۰۱
۰/۹۱	۴۶/۸	—	—	—	—	پتروشیمی بندر امام	ایران	کائوچو SBR۱۵۰۰
۱/۰۲	۶۰/۲۴cSt الف	—	—	—	—	شرکت نفت بهران	ایران	روغن آروماتیک
—	—	—	۰/۰۲	—	۹۹/۵	صنایع رنگینه پارس	ایران	روی اکسید
۰/۸۹	—	—	—	—	۲۱۱	Nat.Oleo	مالزی	استتاریک اسید
۱/۶	—	۰/۱۴	۰/۰۱	—	—	Oriental Carbon	هند	گوگرد نامحلول
۱/۲۷	—	—	۰/۲۵	۱۰۲/۷	—	Flexsys	بلژیک	شتاب دهنده CBS ^۳
—	۱/۵۱	—	—	۰/۳۵	۱۷۲	Flexsys	بلژیک	شتاب دهنده MBTS
—	—	۰/۰۲	—	۹۱-۸۹	—	Flexsys	ژاپن	کند کننده PVI ^۳
۱/۰۳	—	۰/۱۴	—	—	۶۴/۹	Flexsys	ژاپن	رزین EP-۳۰
۱/۳	—	۲۰ EPDM	—	۱۱۰-۱۳۰	—	Bayer	آلمان	رزورسینول
۱/۲	—	۲۰ EPDM	—	—	—	Bayer	آلمان	HMT
—	۱/۰۸	—	—	—	۱۲۰	Bayer	آلمان	ضد اکسند TMQ

الف: گرانروی روغن آروماتیک بر حسب سانتی استوک اندازه‌گیری شده است، ب: CBS مخفف ۱,N-cyclohexyl benzothiazol-2-sulfenamide و ج: PVI مخفف prevulcanization inhibitor است و د: این مواد همراه با ۲۰ قسمت اتیلن پروپیلن دی آمین (EPDM) مصرف می‌شوند.



شکل ۱ - نمونه‌های آزمایش چسبندگی نخ به لاستیک.

دستگاه گرانیروی سنج مونی ساخت شرکت مونسانتو در دمای 130°C و زمان پیش گرم کردن ۱ دقیقه و بادیسک بزرگ (L) دستگاه انجام شده است. مقدار گرانیروی در ۴ دقیقه پس از شروع چرخش دیسک یا ۵ دقیقه پس از شروع آزمایش و زمان برشتهگی مونی (Mooney scorch time, MST) آمیزه در دمای 130°C گزارش شده است.

دستگاه EFNOU-KT ساخت ژاپن انجام شده است. در این آزمایش نمونه‌های دمبلی شکل پخت شده در دمای 145°C ، فشار 200 kg/cm^2 و به مدت ۳۰ با سرعت کشش 200 mm/min دقیقه تحت کشش قرار گرفته و نتایج زیر گزارش شده است:

- میزان استحکام کششی نهایی، یعنی مقدار نیروی مورد نیاز برای پاره شدن نمونه،

- درصد ازدیاد طول نمونه تا پارگی (EB) و مدول که عبارت است از مقدار استحکام کششی در درصد مشخصی از ازدیاد طول (معمولاً ۳۰۰ درصد، $M300$).

خاصیت رئولوژیکی آمیزه طی پخت این آزمایش براساس استاندارد ۲۰۳-۸۸ ASTM D به کمک دستگاه رثومتر چرخشی ساخت شرکت مونسانتو برای سنجش حالت پخت آمیزه در شرایط 150°C و با زاویه نوسان ۳ درجه دیسک انجام و نتایج زیر گزارش شده است:

- گشتاور حداکثر (MH)، گشتاور حداقل (ML) و زمانی که گشتاور به میزان ۹۰ درصد گشتاور حداکثر رسیده است (زمان پخت یا t_90).

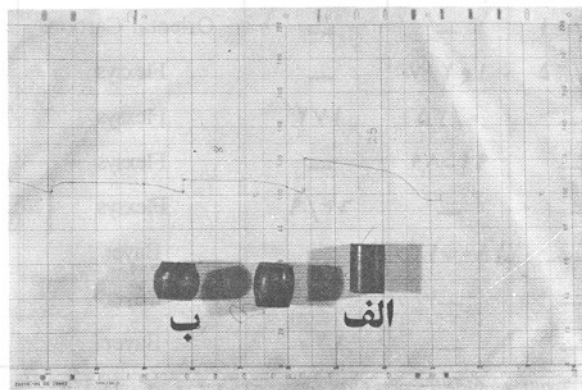
سختی آزمایش سختی (HD) به وسیله سختی سنج الکتریکی فرانک مدل ۳۸۰۱۸ مطابق با استاندارد ۲۲۴۰ ASTM D به روش شور A انجام و نتایج گزارش شده است.

آزمایشهای انجام شده روی آمیزه پخت شده

استحکام کششی

این آزمایش براساس استانداردهای ۴۱۲-۸۷۸۶ ASTM D و ۶۳۰۱ JIS K برای بررسی خواص فیزیکی لاستیک پخت شده به وسیله

خستگی میزان خستگی به کمک دستگاه خمش سنج (flexometer) گودریچ مطابق با استاندارد ۶۲۳-۵۸ ASTM D (روش A) انجام می‌شود. در



شکل ۲ - نمونه مورد استفاده در آزمایش خستگی.

جدول ۴- آرایه (۴۵) الف [۹].

شماره آمیزه	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲	۲	۲
۳	۱	۳	۳	۳	۳
۴	۱	۴	۴	۴	۴
۵	۲	۱	۲	۳	۴
۶	۲	۲	۱	۳	۴
۷	۲	۳	۴	۱	۲
۸	۲	۴	۳	۲	۱
۹	۳	۱	۲	۴	۲
۱۰	۳	۲	۳	۴	۱
۱۱	۳	۳	۴	۱	۲
۱۲	۳	۴	۱	۲	۳
۱۳	۴	۱	۲	۳	۴
۱۴	۴	۲	۳	۴	۱
۱۵	۴	۳	۴	۱	۲
۱۶	۴	۴	۱	۲	۳

الف: عدد ۱۶ تعداد آمیزه‌های آزمایشی، عدد ۵ تعداد متغیرها و عدد ۴ تعداد سطوح را نشان می‌دهد.

انجام شده است. در این روش، ابتدا متغیرها و سطوح مربوط معین شده و سپس با توجه به تعداد متغیرها و سطوح، آرایه متعامد مناسب انتخاب می‌شود و براساس آن آزمایش‌های لازم انجام می‌گیرد و نتایج حاصل تجزیه و تحلیل آماری می‌شود. متغیرهای عبارت است از: کائوچو، پرکننده، گوگرد، شتاب‌دهنده CBS و رزورسینول. سایر مواد آمیزه‌ها براساس آمیزه جدول ۳ یا فرمول پایه اختیار شده است. از این آمیزه برای ساخت لایه‌های تیر رادیال با نخ ریون استفاده می‌شود، اما از نظر چسبندگی به نخ پلی استر مردود است [۳]. برای هر متغیر چهار سطح در نظر گرفته شده است. در روش تاگوچی، برای طرح شامل پنج متغیر با چهار سطح، از آرایه متعامد ۱۶ سطری (L۱۶) استفاده می‌شود. در

جدول ۳- فرمول پایه [۳].

میزان مصرف (phr)	ماده شیمیایی
۶۰	SMR۲۰
۱۰	BR۰۱
۳۰	SBR۱۵۰۰
۵۰	دوده N-۶۶۰
۱/۵	استتاریک اسید
۵	ZnO
۲/۵	گوگرد نامحلول
۰/۹۵	TBBS الف
۰/۱	لخته‌زدا PCTP ب
۵	روغن آروماتیک
۰/۷۵	ضد اکسنده TMQ ج
۱	رزین EP-۳۰
۰/۱	PVI

الف: TBBS مخفف tert-butylbenzothiazol-2-sulfenamide؛ ب: PCTP مخفف 2,2,4-trimethyl-1-pentachlorothio phenol؛ ج: TMQ مخفف 2-dihydroquinoline است.

این دستگاه یک قطعه لاستیک استوانه‌ای به صورت عمودی در نیروی ثابتی فشرده و سپس سریعاً این نیرو قطع می‌شود. به این طریق میزان تغییر شکل دایمی یا مانایی فشاری، مقدار افزایش دمای ناشی از پسماند گرمایی در اثر انباشتگی گرما (heat build up, HBU) و همچنین، تعداد چرخه مورد نیاز تا نقطه شکست اندازه‌گیری می‌شود. بخش الف شکل ۲ نمونه مورد استفاده در دستگاه گودریچ را نشان می‌دهد. نمونه در قالب مخصوص در دمای ۱۴۵ C و فشار ۱۱۰ kg/cm² به مدت ۳۰ دقیقه پخت می‌شود. بخش ب شکل ۲ نمونه با HBU را نشان می‌دهد که دچار تغییر شکل شده است.

طرح آزمایش کلیه آزمایشها در قالب طرح آزمایشهای عاملی [۹]، روش تاگوچی،

جدول ۵- متغیرها و سطوح طرح (اعداد همه برحسب phr است).

سطوح	x_1 (کائوچو)			x_2 (پرکننده)		x_3	x_4	x_5
	SMR۲۰	BR۰۱	SBR۱۵۰۰	دوده N-۶۶۰	سیلیکا			
۱	۱۰۰	۰	۰	۵۰	۰	۰/۸	شتاب‌دهنده CBS	R
۲	۸۰	۱۰	۱۰	۴۵	۵	۱/۶		
۳	۶۰	۱۰	۲۰	۴۰	۱۰	۲/۴		
۴	۶۰	۱۰	۳۰	۳۵	۱۵	۳/۲		

جدول ۶- متغیرها و سطوح طرح به صورت خلاصه شده.

سطوح	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
۱	P_1	q_1	$o/8$	$o/8$	۰
۲	P_2	q_2	$1/6$	$1/6$	۱
۳	P_3	q_3	$2/4$	$2/4$	۲
۴	P_4	q_4	$3/2$	$3/2$	۳

جدول ۴ آرایه L_{16} و در جدول ۵ متغیرها و سطوح مربوط ارائه شده است. برای اختصار، متغیرهای کیفی x_i با حروف انگلیسی اندیس دار P_n و q_m و متغیرهای کمی با مقدار واقعی در جدول ۶ ذکر شده است. از یک تا پنج و m و n از یک تا چهار تغییر می‌کند.

نتایج و بحث

در جدول ۷ اجزای ۱۶ آمیزه آزمایشی که براساس جدولهای ۲ و ۳ تهیه شده، آمده است و میانگین نتایج آزمایشهای مربوط به این آمیزه‌ها در جدول ۸ درج گردیده است.

با استفاده از این نتایج، آثار کلی و درصد تأثیر هر متغیر بر هر

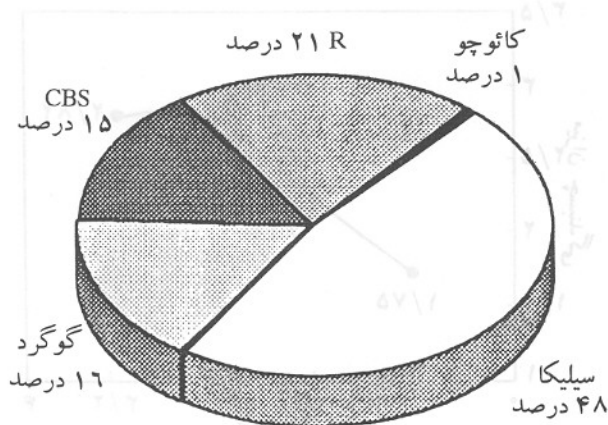
جدول ۷- آمیزه‌های آزمایشی طرح (اعداد همه بر حسب phr است).

شماره آمیزه	x_1			x_2	x_3	x_4	x_5	HMT	ZnO	استاریک اسید	روغن آروماتیک	TMQ	EP-۳۰	DPB	PVI
	SBR۱۵۰۰	BR۰۱	SMR۲۰												
۱	۰	۰	۱۰۰	۰	$o/8$	$o/8$	۰	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	۰	$o/1$	$o/1$
۲	۰	۰	۱۰۰	۵	$1/6$	$1/6$	۱	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	۰	$o/1$	$o/1$
۳	۰	۰	۱۰۰	۴۰	$2/4$	$2/4$	۲	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	۰	$o/1$	$o/1$
۴	۰	۰	۱۰۰	۳۵	$3/2$	$3/2$	۳	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	۰	$o/1$	$o/1$
۵	۱۰	۱۰	۸۰	۵۰	$2/4$	$1/6$	۳	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	$o/3$	$o/0.8$	$o/1$
۶	۱۰	۱۰	۸۰	۴۵	$3/2$	$o/8$	۲	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	$o/3$	$o/0.8$	$o/1$
۷	۱۰	۱۰	۸۰	۴۰	$o/8$	$3/2$	۱	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	$o/3$	$o/0.8$	$o/1$
۸	۱۰	۱۰	۸۰	۳۵	$1/6$	$2/4$	۰	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	$o/3$	$o/0.8$	$o/1$
۹	۲۰	۱۰	۷۰	۵۰	$3/2$	$2/4$	۱	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	$o/6$	$o/0.7$	$o/1$
۱۰	۲۰	۱۰	۷۰	۴۵	$2/4$	$3/2$	۰	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	$o/6$	$o/0.7$	$o/1$
۱۱	۲۰	۱۰	۷۰	۴۰	$1/6$	$o/8$	۳	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	$o/6$	$o/0.7$	$o/1$
۱۲	۲۰	۱۰	۷۰	۳۵	$o/8$	$1/6$	۲	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	$o/6$	$o/0.7$	$o/1$
۱۳	۳۰	۱۰	۶۰	۵۰	$1/6$	$3/2$	۲	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	۱	$o/0.6$	$o/1$
۱۴	۳۰	۱۰	۶۰	۴۵	$o/8$	$2/4$	۳	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	۱	$o/0.6$	$o/1$
۱۵	۳۰	۱۰	۶۰	۴۰	$3/2$	$1/6$	۰	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	۱	$o/0.6$	$o/1$
۱۶	۳۰	۱۰	۶۰	۳۵	$2/4$	$o/8$	۱	۱	۵	۱/۵	۵	$o/75$	۱	$o/0.6$	$o/1$

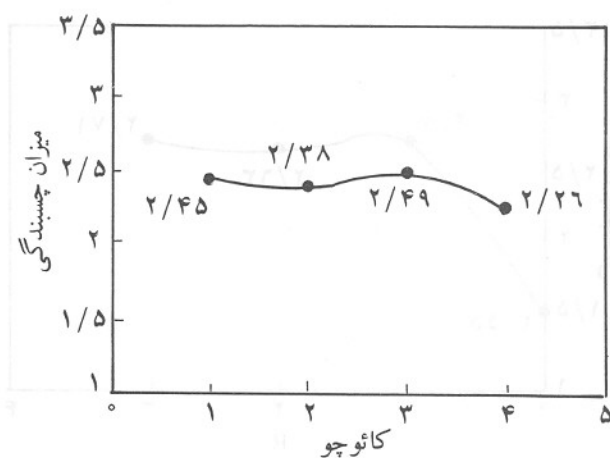
HD	HBU	EB	M ₃₀₀	کشش	ML	MH	MV	t ₉₀	MST	چسبندگی	شماره
(شور A)	(°C)	(%)	(kgf)	(kgf)	(lb _f in)	(lb _f in)	(lb _f in)	(min)	(min)	(kgf)	آمیژه
۵۳/۶۷	۱۵	۵۵۵	۹۰/۶۸	۲۵۱/۱	۵/۱۷	۲۵/۶۹	۳۸	۶/۸۶	۱۷/۰۳	۰/۴۶۷	۱
۶۳/۲۳	۸/۱۵	۴۲۱/۶۷	۱۵۵/۸۳	۳۲۸/۷	۶/۳۹	۳۸/۵۱	۴۳/۸	۵/۲۴۵	۹/۷۲	۲/۴۹۷	۲
۶۵/۷	۶	۳۹۶/۶۷	۱۶۳/۹۴	۲۴۵/۴	۷/۶۱	۴۵/۳۸	۵۰/۶	۴/۲۴۵	۷/۸۱	۳/۳۶۹	۳
۶۸/۵	۹/۲۵	۳۲۰	۱۶۴/۲۶	۱۷۷/۷	۷/۴۶	۴۵/۳۸	۵۸/۲۵	۳/۹۴	۵/۰۳۵	۳/۴۷۶	۴
۶۶/۳۳	۱۵	۳۲۷/۵	۱۵۰/۶۹	۱۷۶/۹	۶/۲۷	۳۸/۷۸	۴۶/۵	۳/۳۲۵	۵/۰۲	۱/۰۲۴	۵
۶۱/۲	۱۵	۴۲۳/۳۳	۱۲۱/۱۵	۲۰۳/۷	۷/۰۴	۳۶/۰۱	۴۷/۳	۵/۷۸	۸/۳۴۵	۱/۳۳۳	۶
۶۳/۸۷	۹/۲۵	۳۹۸/۳۳	۱۴۶/۳۹	۲۱۹/۳	۷/۹۶	۴۱/۷۴	۵۲/۷	۹/۳۶۵	۹/۹۹۵	۴/۳۹۹	۷
۶۷/۶۳	۱۱/۷۵	۳۳۵	۱۵۶/۵۱	۱۹۵/۵	۸/۲۱	۴۶/۱۷	۵۶/۵	۶/۳۳۵	۱۳/۳۰۵	۲/۷۴۹	۸
۷۱/۱۷	۱۱/۵	۱۹۶/۷	۱۱۵	۱۱۵	۵/۳۸	۵۱/۶۶	۳۵/۸۵	۵/۵۸	۱۰/۱۲	۱/۷	۹
۶۹/۷	۱۱/۵	۲۲۹	۱۳۵/۷	۱۳۵/۷	۶/۳۴	۵۱/۳۲	۴۳	۶/۴۶	۱۲/۹۵	۱/۴۰۱	۱۰
۵۲	۵۰	۴۵۵	۷۳/۶۷	۱۳۹/۸	۷/۰۶	۲۵/۹۸	۴۸	۹/۴۳	۱۰/۷۱۵	۳/۰۲	۱۱
۵۰/۲	۴۱	۴۶۶/۶۷	۸۳/۶۷	۱۷۰/۹	۷/۴۴	۲۷/۹۸	۵۱/۶۵	۱۳/۷۳	۱۱/۷۷	۳/۸۴۳	۱۲
۷۰/۰۷	۱۱/۵	۲۶۱/۶۷	۸۳/۴۹	۱۴۸/۴	۶/۱۵	۴۶/۱۳	۴۰/۲۵	۶/۸۴	۹/۶۳۵	۱/۹۹	۱۳
۶۳/۰۳	۱۶/۲۵	۳۸۸/۳۳	۱۴۸/۴	۱۲۹/۰۳	۶/۶۷	۳۸/۷۸	۴۵/۵۵	۹/۷۸۵	۱۱/۱۷۵	۳/۳۰۱	۱۴
۶۵/۴	۱۲	۳۵۱/۶۷	۱۲۹/۰۳	۱۲۳/۷۲	۶/۴۹	۴۱/۲۶	۴۶/۷۵	۷/۷۱	۱۹/۵۶۵	۱/۵۶۵	۱۵
۵۶/۱۷	۲۴	۴۸۶/۶۷	۸۶	۱۷۹/۵	۷/۳۷	۳۰/۴۲	۴۹/۸	۱۱/۳۱۵	۱۶/۴۸۵	۲/۱۹۹	۱۶

که سبب بیشترین چسبندگی نخ به لاستیک می‌شود، در جدول ۹ ارائه شده است. آمیزه حاوی این اجزا از چسبندگی عالی نخ به لاستیک برخوردار است، اما خواص مکانیکی خوبی ندارد. آمیزه‌هایی که همه خواص آنها در حد قابل قبول نباشند، عملاً بی‌ارزش‌اند. در ادامه، نحوه انتخاب آمیزه بهینه از نظر خواص مکانیکی،

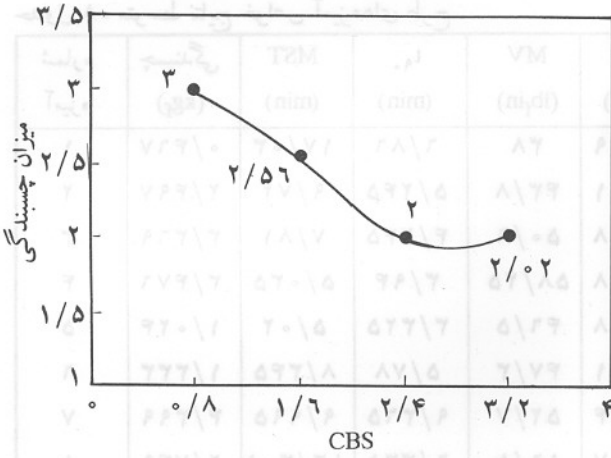
درصد است. نخ آغشته شده شامل رزین رزورسینول - فرمالدهید است و افزایش مقدار رزورسینول در آمیزه، باعث تکمیل و افزایش واکنشهای آغشته‌سازی نخ و نفوذ بیشتر چسب در لاستیک می‌شود. با استفاده از نقاط بیشینه در شکل‌های ۳ تا ۷، سطوحی از متغیرها



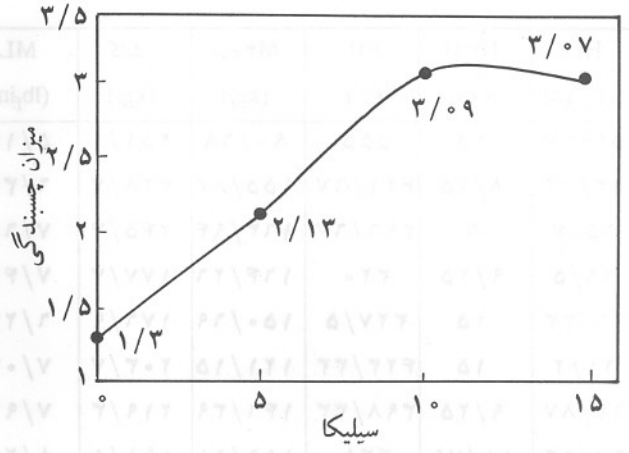
شکل ۴ - اثر افزایش مقدار سیلیکا بر میزان چسبندگی لاستیک به نخ پلی استر.



شکل ۳ - اثر افزایش مقدار کائوچو بر میزان چسبندگی لاستیک به نخ پلی استر.



شکل ۷- اثر افزایش مقدار زورسینول بر میزان چسبندگی لاستیک به نخ پلی استر.



شکل ۵- اثر افزایش مقدار گوگرد بر میزان چسبندگی لاستیک به نخ پلی استر.

در این معادله حرف γ جایگزین هر خاصیت مانند چسبندگی، زمان پخت، استحکام کششی و x_1 تا x_8 نشان دهنده متغیرهای مستقل (کائوچو - گوگرد و ...) است و مقدار ضرایب A_1 تا A_{16} در جدول ۱۰ برای هر خاصیت درج شده است. ضریب همبستگی (R^2) برای تمام معادلات بیشتر از ۰/۹۵ بدست می آید.

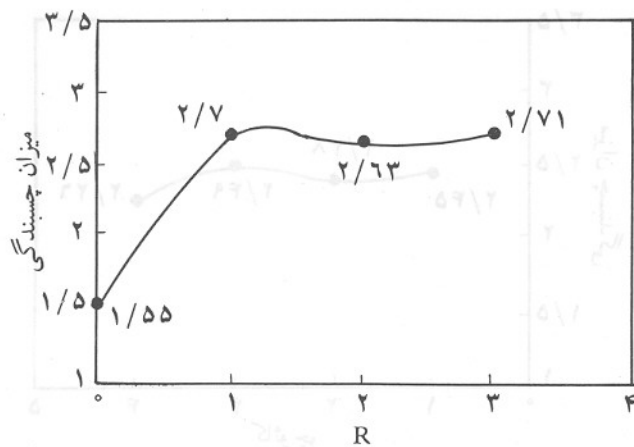
فرایندی و چسبندگی به نخ شرح داده می شود.

بهبودسازی

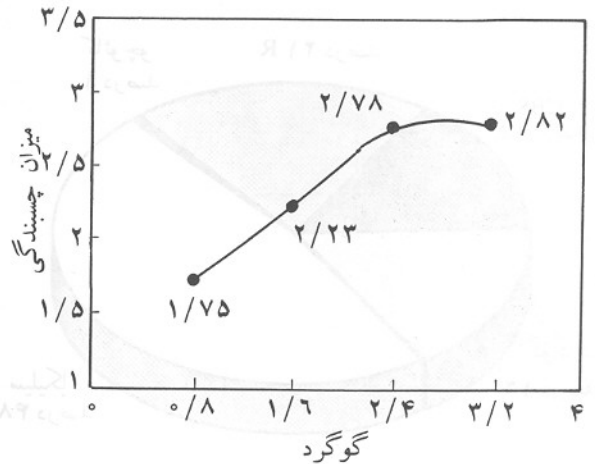
مدلسازی ریاضی اثر تغییر اجزای آمیزه برخواص، به روش رگرسیون چندگانه چند جمله‌ای با استفاده از نرم افزار آماری SPSS انجام شده است. برای این منظور متوسط نتایج خواص آمیزه به عنوان متغیر وابسته و توابع توانی اجزای آمیزه براساس جدول ۴ به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. معادله کلی حاصل به صورت زیر پیشنهاد شده است:

$$y = A_1x_1^3 + A_2x_1^2 + A_3x_1 + A_4x_2^3 + A_5x_2^2 + A_6x_2 + A_7x_3^3 + A_8x_3^2 + A_9x_3 + A_{10}x_4^3 + A_{11}x_4^2 + A_{12}x_4 + A_{13}x_5^3 + A_{14}x_5^2 + A_{15}x_5 + A_{16}$$

برنامه رایانه‌ای برای تعیین آمیزه بهینه این برنامه با استفاده از یک مدل ریاضی نوشته شده که برای خواص ارائه شده است. محدودیتهای مربوط به متغیرها، خواص و قیمت آمیزه است. خواص آمیزه مخصوص لایه تایر رادیال دارای محدوده تغییرات معین است. برای بیان این محدودیتهای خواص آمیزه مبنای که مخصوص نخ ریون است و محدوده خواص آمیزه خارجی که



شکل ۸- درصد تاثیر متغیرها بر چسبندگی لاستیک به نخ پلی استر.



شکل ۶- اثر افزایش مقدار CBS بر میزان چسبندگی لاستیک به نخ پلی استر.

جدول ۹- مقادیری از متغیرها که سبب بیشترین چسبندگی لاستیک به نخ می شود.

X ₅		X ₄	X ₃	X ₂		X ₁			طرح
HMT	R	CBS	گوگرد	سیلیکا	دوده ۶۶۰-N	SBR۱۵۰۰	BR۰۱	SMR-۲۰	
۱	۱	۰/۸	۲/۴	۱۰	۴۰	۲۰	۱۰	۷۰	C

پیش بینی شده و تجربی نشان می دهد که میزان خطا کمتر از ۱۲ درصد است. این میزان خطا برای آمیزه کاری، که از پیچیدگی زیادی برخوردار است، مطلوب بنظر می رسد. مقایسه خواص اندازه گیری شده با خواص آمیزه خارجی در جدول ۱۳ نشان می دهد که آمیزه پیشنهادی در جدول ۱۲ از خواص مناسب برای ساخت لایه های تایر رادیال برخوردار است.

نتیجه گیری

نتایج برجسته این پژوهش که به صورت سازمان یافته با استفاده از روش طرح آزمایشهای عاملی (روش تاگوچی) انجام شده، مبین این است که آمیزه بهینه پیشنهادی با قیمت مناسب، دارای خواص نظیر چسبندگی

برای پوشش دهی نخ پلی استر از آن استفاده می شود، در جدول ۱۱ ارائه شده است. محدوده تغییرات مربوط به متغیرها همان محدوده سطوح آنهاست که در جدول ۵ آمده است. در مورد قیمت، هدف آمیزه های است که با وجود داشتن خواص مناسب دارای کمترین قیمت نیز باشد.

برنامه طوری تنظیم شده است که محدودیتها را در ابتدا به صورت ورودی دریافت کرده و پس از انجام محاسبات، نتیجه بهینه را در خروجی چاپ می کند. شکل ۹ روند نمایی برنامه رایانه ای بهینه سازی را نشان می دهد.

با استفاده از برنامه رایانه ای یاد شده آمیزه های بهینه با ترکیب آمده در جدول ۱۲ حاصل می شود. در جدول ۱۳ خواص آمیزه بهینه که به دو طریق پیش بینی به وسیله مدل ریاضی و اندازه گیری در آزمایشگاه بدست آمده، در مقایسه با خواص آمیزه خارجی مورد استفاده در کارخانه برای نخ پلی استر درج شده است. مقایسه ستون نتایج

جدول ۱۰- ضرایب معادله رگرسیون طرح.

HD	HBU	EB	M۳۰۰	استحکام	ML	MH	MV	t ₉₀	MST	چسبندگی	A
(شور A)	(°C)	(%)	(kg _f)	کششی (kg _f)	(lb _f in)	(lb _f in)	(lb _f in)	(min)	(min)	(kg _f)	
۲/۱۴۲۵	-۶/۸۱۸۷	۸/۵۵۷۱	۱۷/۲۱۱۷	۱۹/۷۳۳۳	۰/۴۰۵۸	۰/۷۸۷۹	۲/۷۱۶۷	-۰/۶۳۴۴	-۰/۳۹۱۹	-۰/۱۱۳۸	۱
-۱۵/۸۳۷	۴۷/۲۱۲۵	-۴۲/۲۹۴	-۱۲۴/۱۳	-۱۳۲/۹۶	-۳/۱۹۲	-۶/۴۱۵	-۲۰/۹۰۶	۴/۴۹۱۲	۳/۸۲۸۸	۰/۸۲۸۱	۲
۳۴/۴۹	-۹۰/۷۵۶	۱۴/۶۸۶۷	۲۵۱/۹۲۸	۲۳۱/۳۷۹	۷/۴۳۸	۱۵/۶۶۴۶	۴۶/۷۸۹۶	-۷/۸۵۴۴	-۹/۴۷۵۶	-۱/۸۱۳۷	۳
۰/۴۹۴۲	-۱/۹۱۸۷	-۶/۲۷۲۹	۳/۴۶۶۲	۰/۴۶۶۷	-۰/۰۲۰۸	۰/۷۶۹۶	۰/۰۱۶۷	۰/۰۸۶۵	-۰/۵۳۷۳	-۰/۲۰۷۴	۴
-۳/۷۲۸۷	۱۵/۰۶۸۷	۳۹/۸۷۲۵	-۳۰/۷۳۱	-۱۱/۲۶۳	۰/۰۲۲۵	-۶/۱۹۵	-۰/۱۸۱۳	-۰/۶۴۱۹	۳/۹۱۲۵	۱/۳۵۳۰	۵
۶/۷۰۷۱	-۳۲/۳	-۴۵/۳۴۲	۷۵/۹۱۹۶	۴۹/۱۹۵۸	۰/۹۵۳۳	۱۳/۷۸۷۹	۵/۱۸۹۶	۲/۴۳۶۷	-۷/۸۸۰۲	-۱/۸۱۹۶	۶
-۰/۷۴۹۲	۱/۲۲۷۱	۱/۷۲۶۳	۲/۹۵۸۳	-۲/۴۷۵	-۰/۱۱۰۸	-۱/۶۶۲۹	۰/۴۸۷۵	۰/۲۵۰۶	-۰/۱۶۵۲	-۰/۰۸۸۵	۷
۴/۵۲۶۳	-۷/۷۱۲۵	۲/۳۵۲۵	-۲۹/۱۸۵	۱۵/۸۲۵	۰/۸۳۸۸	۱۰/۸۵۶۳	-۳/۶۵	-۱/۶۴	۱/۳۴۵۶	۰/۵۴۰۷	۸
-۲/۸۰۶۴	۷/۵۸۵۴	-۱۰۷/۲۶	۱۰۲/۴۰۴	-۳۴/۹	-۱/۷۶۰۴	-۱۳/۸۲۱	۸/۹۳۷۵	۲/۳۷۱۹	-۴/۵۰۵۴	-۰/۴۷۵۵	۹
۰/۸۵۹۲	۱/۷۰۶۲	-۱۷/۳۳۹	۲/۸۶۵۸	-۸/۷۳۳	-۰/۰۰۰۵	۰/۵۳۲۹	-۰/۱۵۸۳	-۰/۴۰۹	-۰/۱۴۹	۰/۱۱۰۵	۱۰
-۷/۳۰۳۷	-۱۳/۳۳۸	۱۴۱/۷۱۹	-۲۷/۵۵۸	۶۷/۶۵	۰/۰۳۹۵۰	-۴/۸۸۳۷	۱/۰۳۷۵	۳/۶۵۱۹	۱/۵۷۹۴	-۰/۷۲۶۹	۱۱
۲۱/۴۳۷۱	۲۸/۰۴۳۷	-۲۸۷/۵۳	۸۳/۸۱۶۷	-۱۶۸/۵۴	۰/۰۳۹۵	۱۶/۵۷۰۸	-۱/۸۴۱۷	-۱۱/۰۶۵	-۵/۳۴۴۲	۰/۹۶۸۳	۱۲
۰/۶۳۷۵	-۸۹۷۹	-۴/۷۸۱۳	-۱/۲۶	-۴/۸۴۱۷	-۰/۰۹۱۷	۰/۲۰۷۱	-۰/۳۷۰۸	۰/۰۸۵۲	-۰/۱۹۲۷	۰/۲۵۰۸	۱۳
-۴/۴۸۷	۷/۶۳۱۲	۳۰/۲۲۱۳	۹/۷۰۳۷	۳۰/۸۳۷۵	۰/۵۸۱۳	-۱/۸۳۲۵	۳/۴۴۳۷	-۱/۱۴۲۵	۲/۱۲۷۵	-۲/۱۳۸۹	۱۴
۸/۵۱۳۷	-۱۹/۹۴۶	-۴۹/۰۲	-۲۱/۱۳۹	-۵۸/۲۲۱	۰/۸۷۹۶	۳/۵۲۰۴	-۸/۲۶۰۴	۳/۸۷۷	-۹/۱۶۶	۵/۸۱۴۳	۱۵
۸/۷۷۵	۷۶/۲۱۲۵	۹۷۵/۷۱	-۲۲۵/۷۶	۲۵۷/۹۷	۰/۶۶۷۵	-۲/۱۹۷۵	۴/۷۵	۱۳/۰۰۷۵	۴۲/۰۴۳۷	-۲/۰۱۴۵	۱۶

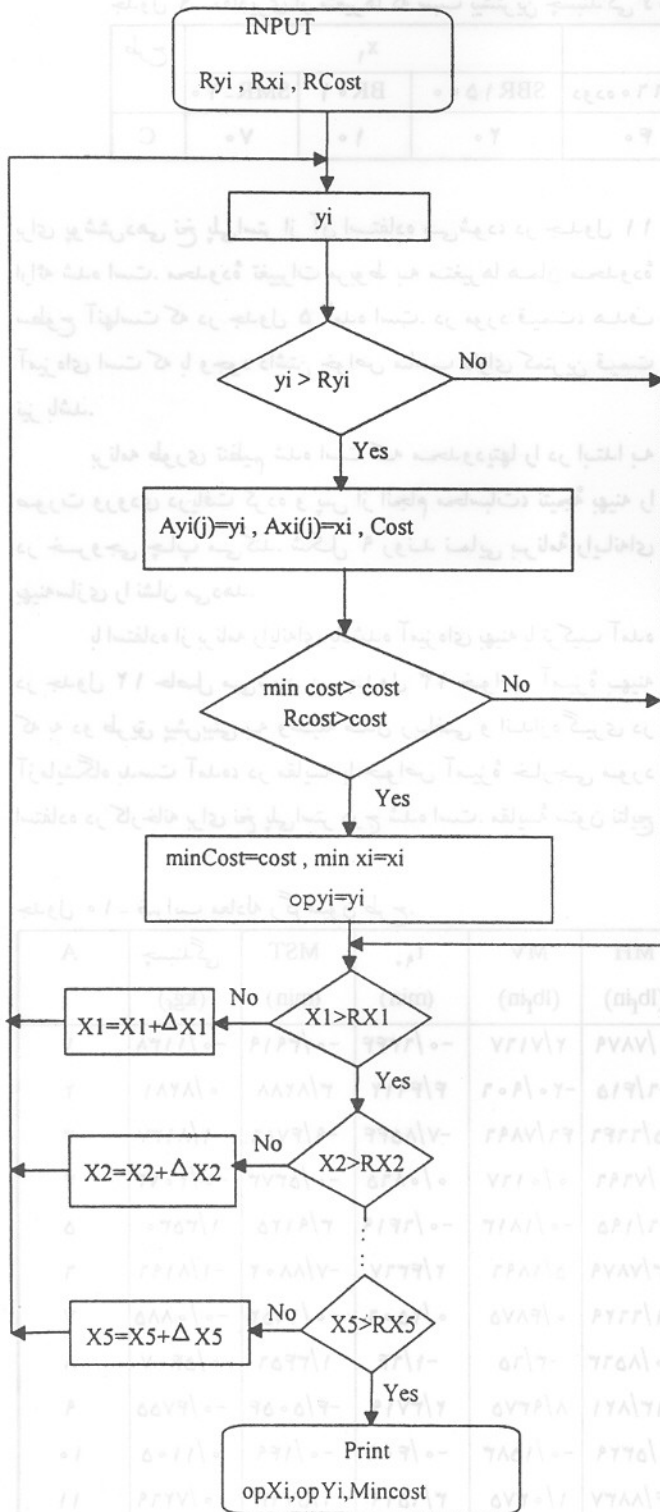
جدول ۱۱- محدوده خواص آمیزه مینا و آمیزه خارجی.

خواص	آمیزه خارجی (نخ پلی استر)	آمیزه مینا (نخ ریون)
زمان برشتگی مونی، MST (min)	۱۲±۲	۲۴/۲۸
زمان پخت، t ₉₀ (min)	۱۰±۲	۹/۸۸
چسبندگی به نخ پلی استر (kg _f)	>۲	۲/۲
گشتاور حداکثر، MH (kg _f in)	۴۵±۵	۴۲/۱۲
استحکام کششی (kg _f)	>۲۰۰	۱۹۸
مدول (M۳۰۰) (kg _f)	>۱۳۰	۱۳۸
درصد ازدیاد طول تا پارگی، EB	>۳۵۰	۴۱۱
گرانروی مونی (lb _f in)(MV)	۴۵±۵	۳۲/۸
افزایش دما، در اثر HBU (°C)	<۲۰	۱۱
سختی، HD(شور A)	۶۴±۲	۶۵

۴ kg_f استحکام کششی ۲۲۸ kg_f، مدول (M۳۰۰) ۱۳۱ kg_f و سختی (شور A) ۶۲ است که همگی با خواص آمیزه های خارجی مورد استفاده رقابت می کند (جدول ۱۳).

جدول ۱۲- اجزای آمیزه بهینه.

اجزای آمیزه	فرمول آمیزه (phr)
SMR۲۰	۱۰۰
BR۰۱	—
SBR۱۵۰۰	—
دوده N-۶۶۰	۴۰
سیلیکا	۱۰
روغن آروماتیک	۵
روی اکسید	۵
استتاریک اسید	۱/۵
TMQ	۰/۷۵
رزین EP-۳۰	—
DPB	۰/۱
گوگرد نامحلول	۳/۲
شتاب دهنده CBS	۰/۸
PVI	۰/۱
HMT	۱
R	۰/۷
مجموع	۱۶۸/۱۵



شکل ۹- روند نمایی برنامه رایانه ای بهینه سازی.

قدردانی

از مجتمع صنایع لاستیک کرمان به دلیل حمایت همه جانبه از این پژوهش، صمیمانه قدردانی و سپاسگزاری می شود.

جدول ۱۳ - خواص آمیزه بهینه پیش‌بینی شده به وسیله مدل در مقایسه با خواص آمیزه خارجی.

فرمول آمیزه		آمیزه خارجی	خواص
پیش‌بینی مدل	تجربی		
۱۲	۱۳/۶	۱۲±۲	زمان برشته‌گی مونی، MST (min)
۸	۸/۴۵	۱۰±۲	زمان پخت، ۹۰ t (min)
۴/۴	۴	>۲	چسبندگی به نخ پلی استر (kgf)
۴۰	۴۰	۴۵±۵	گشتاور حداکثر، MH (kg.in)
۲۴۶	۲۲۸	>۲۰۰	استحکام کششی (kgf)
۱۴۵	۱۳۱/۱	>۱۳۰	مدول (M۳۰۰) (kgf)
۴۴۶	۴۵۰	>۳۵۰	درصد ازدیاد طول تا پارگی، EB
۴۹	۴۱	۴۵±۵	گرانروی مونی، Mv (kg.in)
۷/۲	۸	<۲۰	افزایش دما، در اثر HBU (°C)
۶۲	۶۲	۶۴±۲	سختی، HD (شور A)

Fatigue Mechanism: Fatigue PET Cords in Compounds;

Rubber World; January 1991.

6. Cochet P. Silica; *Tire Tech. Int.*; June 1998.

۷- شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک، مقدمه‌ای بر مبانی آمیزه‌کاری و تکنولوژی لاستیک، ۱۳۷۵.

8. Vysoky J.A., Adhesion Enhances for Rubber/Reinforcement Bonding; *Tire Tech. Int.*; 1997.

9. Ranjit K. R.; *A Primer on the Taguchi Methode*; Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

مراجع

1. Pomise F. and Burrows J.; *Tire Tech. Int.*; June 1998.

2. Harry I. and Feijen H.W.; The New Polyester Generation HMLS, Tire Symposium, 1987.

۳- رامین روشنک؛ بررسی چسبندگی نخ پلی استر به لاستیک؛ واحد تحقیقات و توسعه مجتمع صنایع لاستیک کرمان، ۱۳۷۴.

4. Vantansever A. and Efes M.Z., Effect of Moisture on Adhesion of RFL Dipped Fabrics; *Tire Tech. Int.*; 1997.

5. Hirotsuke, W. and Tadahiko, T., An Experimental Study on