نشریه صنعت لاستیک ایران
سال۲۶/شماره۱۰۳/پاییز۱۴۰۰

علمی- فنی

ارزیابی تجربی شکل هندسی جدید روتورها درمخلوط‌کن‌های مماسی

Experimental Evaluation of an Innovative Rotor Geometry on a Tangential Internal Mixer

چکیده:

به طورمتداول بیشترین آمیزه‌های تایر با مخلوط‌کن‌های داخلی مماسی تولید شده‌اند. کیفیت تجهیزات اختلاط یک عامل بسیار مهم در فرآیند آمیزه می‌باشد و برای شرکت‌های تولیدکننده، افزایش کیفیت و تولید به بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند و ماشین آلات وابسته است. هدف از این تحقیق، طراحی شکل هندسی جدید و بهینه‌سازی شده به جای آزمایش‌های سنتی با استفاده از شبیه‌سازی عددی بود که یک آزمایش تاییدی در پایان از روتورهای جدید توسعه‌یافته انجام شده است. دراین تحقیق، نتایج مطالعات تجربی برروی مخلوط‌کن‌های داخلی GK50 UK بررسی و شکل هندسی روتور استاندارد قدیمی برای مخلوط‌کن‌های داخلی مماسی با شکل هندسی روتورجدید توسعه‌یافته مقایسه شده بود. کارایی اختلاط پراکنشی وتوزیعی روتورها به عنوان مهم‌ترین عوامل برای دستیابی به یک فرآیند اختلاط مورد بحث قرارگرفته و علاوه براین نتایج استانداردها و تست‌های پیشرفته برروی فرآیند آمیزه‌کاری ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: روتور، پراکنش، توزیع، طیف رنگی، GK50 UK

نوع مقاله: ترجمه

رضا عابدی[1و*]، سمراء نیک‌بخت سرداری[2]
۱- کارشناسی ارشد، کارشناس تکنولوژی شرکت لاستیک سبلان رازی، تهران، ایران
۲- کارشناسی ارشد، کارشناس تکنولوژی شرکت لاستیک سبلان رازی، تهران، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:
1-*abedi._.reza@outlook.com
2-samra.nikbakht.s@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۱

۱- مقدمه

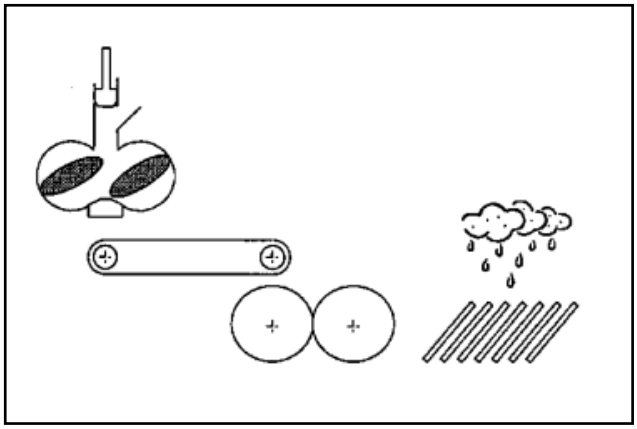
هدف از این تحقیق توسعه یک شکل هندسی جدید، بهینه‌سازی و نوآوری شده از مخلوط‌کن‌های داخلی است. این تحولات به طورگسترده به‌وسیله شبیه‌سازی عددی و به عنوان یک روش نوین با "رویکرد خطا و آزمایشات" مقایسه شده است[۱]. روتورهای جدید توسعه‌یافته باید کارایی اختلاط پراکنشی را بهبود دهند و آن‌ها برای مخلوط‌کننده‌های داخلی مماسی طراحی شده‌اند. هر رویکردی که برای بهینه‌سازی انتخاب شده است، باید به‌عنوان یک توسعه جدید برای شکل هندسی روتور به صورت آزمایشی بر روی مخلوط‌کن داخلی موجود تایید شود که مهم‌ترین مساله انتخاب سایز مخلوط‌کن برای ارزیابی تجربی است. ساده‌ترین وکم‌ترین ارزیابی برروی مقیاس آزمایشی (حدود۳ لیتر) می‌باشد، درحالی که بهترین ارزیابی برروی مخلوط‌کن‌های داخلی صنعتی است. در صنعت تایر، توان مصرفی مخلوط‌کن‌های داخلی و کارایی خط اختلاط به طورکلی به‌وسیله توسعه مخلوط‌کن‌های داخلی بزرگ انجام می‌شود. درحال حاضر مخلوط‌کن‌های داخلی مماسی معمولا با حجم آزاد بالای ۲۰۰ لیتر درتولید استفاده می‌شوند. متاسفانه توقف خط تولید برای توسعه به‌راحتی امکان‌پذیر نیست. در شروع تحقیق، برای انجام ارزیابی تجربی از یک روتور کوچک با شکل هندسی جدید استفاده شد، اما مخلوط‌کن سایز صنعتی ارزان قیمت برای انجام این پروژه به عنوان مخلوط‌کن مقیاس آزمایشی انتخاب شده است. مخلوط کننده GK50 UK با حجم آزاد ۸۰ لیتر در مرکز تحقیقات میشلن برای آمیزه‌کاری در مقیاس صنعتی انتخاب شده بود. درچارچوب این تحقیق دو هدف اصلی به وسیله ارزیابی تجربی بررسی شده است.

اول: چندین آزمایش برای جمع آوری اطلاعات مرجع با روتوراستاندارد قدیمی برای تایید مدل‌سازی عددی

دوم: آزمایش‌هایی با روتور استاندارد قدیمی و جدید توسعه یافته برای ارزیابی تجربی دو اختلاط متفاوت پراکنشی و توزیعی با دونوع شکل هندسی روتور

۲- خط اختلاط

مخلوط‌کن مماسی GK50 UK، در مرکز تحقیقات میشیلن‌اروپا در Ladoux فرانسه در اواخر دهه شصت به وسیله شرکت warner & pfleiderer نصب شده است. درابتدا مخلوط‌کن، با روتور استاندارد قدیمی ازشرکت warner & pfleiderer مجهزشده (شکل۱) و برای آزمایش‌های مرجع انتخاب شده بود [۲]. درمخلوط‌کن‌ها سه ناحیه تنظیم‌کننده مستقل دمایی، یکی برای روتورها، یکی برای محفظه و دیگری برای درب تخلیه و رام پنوماتیکی موجود می‌باشد و دما می‌تواند از۳۰ تا۹۰ درجه سانتیگراد به وسیله گردش آب تنظیم شود. در مخلوط‌کن یک دریچه اصلی با تسمه نقاله برای انتقال کائوچو ودیگر مواد و یک دریچه جدا هم برای دریافت پرکننده در پشت بدنه رام موجود می‌باشد.



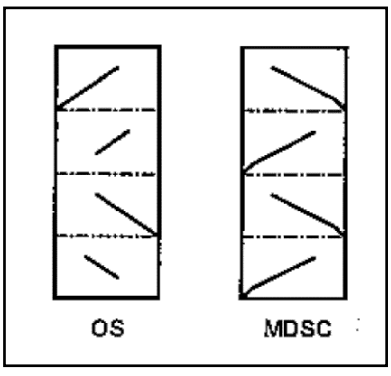
شکل۱- خط مخلوط‌کن GK50 UK

سیستم تزریق روغن، پیش‌گرم شده و محل تزریق در دیواره فوقانی محفظه روتور قرارگرفته است. تمام پارامترهای مخلوط‌کن مانند حرکت رام، سرعت روتور، تزریق روغن و باز شدن درب تخلیه به صورت دستی انجام می‌شود وانتقال آمیزه نیز دستی است. برای کنترل فرآیند، مخلوط‌کن‌های داخلی دارای یک سیستم اطلاعاتی با حداقل پنج حالت پایدار و جداگانه برای سرعت روتور، دمای

محفظه، دمای اختلاط، نیروی ورودی و جابه‌جایی رام هستند. بعد از بازشدن درب تخلیه، آمیزه تهیه شده بر روی تسمه نقاله می‌افتد و بر روی میل‌های ورقه‌کننده (آسیاب غلتکی روباز) برای ورقه‌شدن و خنک‌کردن انتقال داده می‌شود (شکل ۱). درجه حرارت هر دو غلتک از غلتک‌های اختلاط را می‌توان مستقل از دما با گردش آب تنظیم کرد. کنترل دستی وزن آمیزه را هم می‌توان بعد از بازیابی مجدد آمیزه‌ها از غلتک‌های اختلاط انجام داد. یک سیستم سرمایش برای خنک کردن دمای محفظه اختلاط و یک سیستم خشک‌کن هوا (دمنده‌ها) فرایند خط را کامل می‌کند. این خط اختلاط کاملا دستی است ومهم‌ترین تطبیق‌پذیری را برای اصلاح فرآیند در طول آزمایش‌ها در اختیار ما قرار می‌دهد.

۱-۲- شکل هندسی روتور

تفاوت بین روتور استاندارد قدیمی و جدید توسعه‌یافته را می‌توان در شکل ۲ مشاهده کرد. در هر دو روتور چهار لبه روتور برای اختلاط مماسی وجود دارد، اما، طول، جهت‌یافتگی و شکل لبه‌های بین روتور استاندارد قدیمی و جدید توسعه‌یافته متفاوت است [۳]. شکل هندسی روتور جدید توسعه‌یافته بیشتر در دو طرف دیواره محصور است و جریان جهت‌یافتگی اختلاط خیلی بیشتر از روتورهای قدیمی است. به‌طور متداول روتور استاندارد قدیمی برای تمام مراحل فرایند اختلاط (مستربچ، میل اختلاط، فاینال) توسعه داده شده و روتور جدید به‌طورخاص برای اختلاط مستربچ طراحی شده است.



شکل ۲- شکل هندسی روتورها

برای آزمایش‌های مختلف درمخلوط‌کن‌های GK50 UK روتورها تغییر داده شده‌اند و هیچ اصلاحی برروی خط اختلاط یا بازسازی محفظه اختلاط انجام نشده است. بنابراین حجم آزاد بر روی مخلوط‌کن GK50 UK برای هر دو شکل هندسی روتور اندازه‌گیری می شود. با روتور استاندارد قدیمی حجم آزاد ۷۸ لیتر به‌دست می‌آید، درحالی که با روتور جدید حجم آزاد ۷۵,۵ لیتر بدست آمده است. درمخلوط‌کن GK50 UK حدود ۳ درصد حجم آزاد در مقایسه با حالت مرجع از دست رفته است.

۳- ارزیابی تکنیک‌های فرآیند

درتجزیه و تحلیل فرآیند اختلاط مخلوط‌کن‌های داخلی، دوجنبه اصلی را باید درنظرگرفت. اختلاط پراکنشی به‌طور کلی همراه ذرات پرکننده و اختلاط توزیعی با دوحالت توزیع اجزا و توزیع دما انجام می‌شود [۴]. برای ارزیابی کارایی اختلاط پراکنشی و توزیعی مخلوط‌کن داخلی، مستقل از فرمول آمیزه، چندین آزمایش تعریف شده است. برخی آزمایش‌ها برروی اندازه صنعتی کوچک مخلوط‌کن GK50 UK و برخی برروی اندازه مخلوط‌کن آزمایشگاهی انجام شده است.

اول: آزمایش‌های طیف رنگی به‌منظور شناسایی مناطق مرده در محفظه اختلاط و کارایی اختلاط توزیعی روتورها ارزیابی شده است.

دوم: آزمایش‌های ایزوترمال برای پیدا کردن شرایط انرژی تعادل برای اختلاط انجام شده است و نشان می‌دهد که نیروی ورودی مشخص از روتورها به طورخاص استفاده می‌شود تا مدل شبیه‌سازی شده تایید شود.

سوم: سینتیک و فرآیند اختلاط و پراکنش با روش وارونه برای اختلاط پراکنشی وتوزیعی به‌وسیله اندازه‌گیری مونی و دانسیته، ارزیابی شده است.

چهارم: آزمایش‌هایی برروی تخریب کائوچوی طبیعی انجام گرفته و نیروی ورودی از روتورها و ظرفیت تغییر شکل کائوچوی

طبیعی تخمین زده شده است[۵].

۱-۳- آزمایش‌های طیف رنگی

چندین آزمایش طیف رنگی برای ارزیابی کارایی اختلاط توزیعی روتور استاندارد قدیمی درمقایسه با شکل هندسی روتور ZZ2 و شکل هندسی روتور جدید توسعه یافته انجام گرفته است. در شروع پروژه یک سری از آزمایش‌ها با همکاری بین شرکت‌های میشلن و TKEL برروی تجهیزات آزمایشگاهی انجام شده است. شرکت میشلن آزمایش‌ها را بر روی مخلوط‌کن GK2N ۳/۴ لیتری با روتور قدیمی و شرکت TKEL برروی مخلوط‌کن GK4 N با روتور ZZ2 انجام داده است و همچنین آزمایشات مشابه در این تحقیق با مخلوط کن GK4 N با مدل روتورجدید انجام گرفته است. در مخلوط‌کن GK50 UK آزمایش‌ها با روتور قدیمی به‌عنوان مرجع و همچنین با روتور جدید انجام گرفته است.

۱-۱-۳- اهداف آزمایشات

هدف کلی از آزمایش‌های طیف رنگی شناسایی مناطق مرده در مخلوط‌کن داخلی و ارزیابی کارایی اختلاط توزیعی بود. تعریف یک منطقه مرده شامل موادی است که قادر به شرکت در فرآیند اختلاط توزیعی و پراکنشی نیستند. در یک آزمایش در یک مخلوط‌کن، مستربچ سفید محفظه را پر کرده و فقط مقدار اندکی مستربچ سیاه اضافه شده است. اگر اختلاط کامل باشد در پایان چرخه اختلاط، بچ خاکستری خواهد بود. یک ناحیه مرده می‌تواند به آسانی برروی بچ به عنوان نواحی سفید باقی‌مانده، شناسایی شود. کارایی اختلاط توزیعی با سینتیک طیف رنگی ارزیابی می‌شود و اختلاط در زمان‌های مختلف کاهش می‌یابد. در نمونه‌های برش داده شده از بچ، ارزیابی از رنگ اختلاط سیاه و سفید تا خاکستری، سفید و بیشتر خاکستری می‌تواند تخمین زده و بررسی شود. مقایسه بین شکل هندسی دو روتور به‌طور خاص به انتخاب نوع برش بستگی دارد. در مقیاس آزمایشگاهی می‌توان به راحتی این مخلوط‌کن‌ها را مقایسه کرد. بچ به صورت ورقه‌ای برش داده شده، قالب‌گیری و پخت می‌شود. قالب‌های پخت شده سپس به تکه‌هایی برش داده شده و فوتوگراف‌های عددی از پخت این تکه‌ها تشکیل می‌شوند. در این مورد تصاویری از رنگ خاکستری به دست می‌آید که می‌تواند با نرم‌افزار مناسب، یک هیستوگرام از رنگ خاکستری که چگونگی تغییر در هیستوگرام از سفید تا خاکستری را نشان می‌دهد، آنالیز شود.

۲-۱-۳- فرمول‌ها

فرمول زیر برای تمام آزمایش‌های طیف رنگی آمیزه استفاده شده است(جدول ۱).

جدول ۱- آزمایش‌های طیف رنگی

۱۰۰ کسر جرمی	مستربچ سیلیکا سفید
۱ کسر جرمی	مستربچ کربن سیاه

مستربچ سفید یک مخلوط بسیارسخت با ویسکوزیته مونی حدود ۱۲۰ (100 C) ML 1+4 برای مخلوط کردن مجدد انتخاب شده که بعد از اختلاط باید شکل پایداری داشته باشد. هدف در واقع ایجاد شرایط (مخلوط ویسکوزیته، ضریب پرشوندگی) و محدودیت اختلاط بود. در این حالت می‌توان از آزمایش‌های طیف رنگی نتیجه‌گیری کرد و روش‌هایی برای اختلاط صنعتی ارائه داد.

۳-۱-۳- روش کار اختلاط

مخلوط‌کن‌های آزمایشگاهی و GK50 UK با روش کار یکسان مورد توجه قرارگرفته‌اند.(جدول ۲)

یک مقدار کوچک (یک درصد جرمی) از مستربچ‌های سیاه در حضور مستربچ سفید، سیلیکای نرم شده پیش گرم شده تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد در مخلوط‌کن‌های داخلی گرم شد.

جدول ۲- روش اختلاط برای آزمایش‌های طیف رنگی

زمان (ثانیه)	دما (سانتیگراد)	اقدامات
۰		مستربچ سفید رنگ
	۱۰۰	مستربچ سیاه رنگ پیش‌گرم شده
		(افت دما از تغییرx)

در طول آزمون اختلاط، دمای روتور و محفظه اختلاط برروی ۳۰ درجه سانتیگراد تنظیم شد و فشار رام نیز در ۷ بار برای مخلوط‌کن GK50 UK ثابت شد. سرعت روتور در طول نرم کردن مستربچ سفید رنگ در ۵۰ دور بر دقیقه تنظیم و بعد ازحضور مستربچ سیاه به ۳۰ دور بر دقیقه کاهش یافت. در تجهیزات آزمایشگاهی می‌توان مخلوط‌کن داخلی را متوقف کرد و مخلوطی با حداقل تغییر شکل بدست آورد. در آزمایش برروی روتورGK50 UK درب تخلیه بعد از تعدادی چرخش مشخص باز شده و انتقال بچ برروی نوارنقاله و سپس انتقال آن برروی میل‌های اختلاط بهبود یافت.

۲-۳- آزمایش‌های ایزوترمال

۱-۲-۳- اهداف آزمایش

هدف از آزمایش‌های ایزوترمال تعادل بین تغییرات انرژی حرارتی ایجاد شده به‌وسیله سطحی از محفظه اختلاط و انرژی مکانیکی گرفته شده از موتور است. بعد از بدست آوردن این تعادل، آزمایشات برروی مخلوط‌کن GK50 UK با سرعت کم روتور انجام و مشاهده شد که دمای تعادل یک نتیجه مطلوب است. این شرایط ایزوترمال در این تحقیق، برای تنظیم شرایط مدل‌سازی عددی استفاده شده و واضح است این نوع تعادل به حجم مخلوط‌کن بستگی دارد. تعادل، در مخلوط‌کن‌های صنعتی نسبت به سایر مخلوط‌کننده‌های آزمایشگاهی خیلی سخت به دست می‌آید.

۲-۲-۳- فرمول‌ها

فرمول‌های زیر برای آزمایش‌های ایزوترمال استفاده شده است (جدول ۳).

جدول۳- آزمایش‌های ایزوترمال و سینتیک پراکنشی

محلول استایرن بوتادین رابر	۱۰۰phr
دوده	۵۰ phr
اکسید روی	۳ phr
اسید استئاریک	۲ phr
آنتی اکسیدانت 6PPD	۱ phr

۳-۲-۳- روش کار اختلاط

روش کار اختلاط زیر برای آزمایش‌های ایزوترمال استفاده شده است (جدول ۴).

جدول۴- روش کار اختلاط برای آزمایشات ایزوترمال

زمان (ثانیه)	دما (سانتیگراد)	اقدامات
۰		همه مواد تشکیل دهنده در ۵۰ دور بر دقیقه
	۱۲۰	کاهش سرعت تا ۵ دور بر دقیقه
+۹۰		افت دما

۳-۳- سینتیک پراکنش

۱-۳-۳- اهداف آزمایش

روش دیگر در مخلوط‌کن داخلی ارزیابی کارایی اختلاط پراکنشی روتورها به وسیله دوده استاندارد مخلوط شده در تکنیک اختلاط وارونه در زمان‌های مختلف است. همه مواد تشکیل‌دهنده که در یک مخلوط‌کن در زمان یکسان و بعد از تعداد دورهای متفاوت اختلاط کاهش یافته است به عنوان B.I.T [1] (زمان تلفیق سیاه- لحظه‌ای که تمام پرکننده درآمیزه ترکیب می‌شود) [۶] تعریف خوبی برای مخلوط کن‌های صنعتی نیست. کاهش

1. Black incorporation time-the moment when the whole filler is incorporated into the rubber

زمان‌های مختلف به ما اجازه شناسایی لحظه‌ای که تمام پرکننده در ماتریس آمیزه ترکیب شده را می‌دهد. در سراسر مستربچ نمونه برداری، ویسکوزیته مونی و دانسیته اندازه‌گیری و کارایی اختلاط پراکنشی و اختلاط توزیعی روتورها ارزیابی شده است. اندازه‌گیری‌های دستگاه Dispergrader می‌تواند در ارزیابی کارایی اختلاط پراکنشی استفاده شود. اندازه‌گیری‌های مونی و دانسیته، میانگین کارایی اختلاط پراکنشی و انحراف استاندارد کارایی اختلاط توزیعی را نشان می‌دهد.

۲-۳-۳- فرمول‌ها

برای سینتیک پراکنشی و آزمایش ایزوترمال، فرمول یکسان استفاده شده است.(جدول ۳)

۳-۳-۳- روش کار اختلاط

روش زیر برای سینتیک پراکنشی انتخاب شده است(جدول ۵).

جدول۵- روش کار برای سینتیک پراکنشی

زمان (ثانیه)	دما (سانتیگراد)	اقدامات
۰		همه مواد تشکیل دهنده در ۲۰ تا ۳۰ دور بر دقیقه
	۱۲۰	یک حرکت رام
زمان متغیر		افت دما

۴-۳- نرم کردن کائوچوی طبیعی

۱-۴-۳- اهداف آزمایشات

به طور کلی آمیزه‌های مورد استفاده در صنعت تایر بر پایه کائوچوی طبیعی است. از طرفی کائوچوی طبیعی خام، همیشه دارای خواص رئولوژی مناسب و مطلوب نیست، تخریب حرارتی- مکانیکی در طول فرآیند اختلاط یک فاکتور مهم است. برای اندازه‌گیری ظرفیت مخلوط‌کن‌های داخلی، مخلوط‌کن را با کائوچوی طبیعی خام پر کرده و اختلاط تا افت دما انجام می‌شود. ارزیابی به وسیله جستجوی یک لایه نازک کائوچوی طبیعی نرم نشده[2] انجام شده که این لایه نازک به وسیله یکبار عبور از میل‌های اختلاط (آسیاب غلتکی روباز) به دست آمده است. علاوه بر این، اندازه‌گیری‌های مونی برروی حداقل شش نمونه از بچ‌های یکسان انجام شده و ارزیابی برروی میزان پراکنش از میانگین مقادیر ویسکوزیته مونی مشاهده شده است.

۲-۴-۳- فرمول‌ها

فرمول زیر انتخاب شده است (جدول ۶).

جدول ۶- فرمول آزمایش کائوچوی طبیعی

کائوچوی طبیعی (لاستیک استاندارد تایلند STR20)	۱۰۰ phr
اکسید تیتانیوم	۰,۱۵ phr

مقدار کمی اکسید تیتانیوم به کائوچوی طبیعی اضافه شده برای اینکه تفکیک بخش‌های نرم نشده آسان‌تر شود.

۳-۴-۳- روش کار اختلاط

برای این ارزیابی مقدار کمی از کائوچوی طبیعی را برای مخلوط کردن در نظر گرفته و اختلاط در دمای معینی کاهش داده می‌شود(جدول ۷).

جدول۷- روش اختلاط آزمایش کائوچوی طبیعی

زمان (ثانیه)	دما (سانتیگراد)	اقدامات
۰		همه مواد تشکیل دهنده در ۵ دور بر دقیقه
	۱۲۰	حرکت رام
	۱۵۰ یا ۱۷۰	افت دما

محفظه اختلاط و رروتورهای مخلوط‌کن داخلی در دمای۳۰ درجه سانتیگراد برای آزمایش‌ها تنظیم شده‌اند و سرعت روتور و فشار رام، پارامترهای متغیری هستند.

1. Non-Masticated

۴- منسوجات آمیزه‌های تایر

به طور کلی آزمایش‌های ارزیابی کارایی اختلاط توزیعی و پراکنشی روتورها و همچنین تولید بعضی از مخلوط‌های تایر با هر دو حالت اختلاط توزیعی و پراکنشی می‌باشد. دو نوع روتور به وسیله اندازه‌گیری رئولوژی مقایسه شده و آزمون‌های پیشرفته و آزمون تایر انجام شده بود. در ابتدای آزمایش تمام مواد اصلی مانند کائوچو و مواد پرکننده برای هر دو حالت اختلاط، جداسازی شده و تاثیر مواد خام برروی نتایج به حداقل رسیده است.

۴-۱- نوع اختلاط

هدف اصلی تحقیق، بهبود اختلاط پراکنشی و تایید آن به وسیله افزایش دوام در تایر بود که برای انجام آزمون های سایشی درپایان پروژه چهار فرمول آج تعریف شده است.

۴-۱-۱- فرمول دوده برای آمیزه‌های آج تایر

فرمول‌های انتخاب‌شده برای آمیزه‌های دوده در جدول ۸ مشاهده می‌شوند. فرمول A یک فرمول سنتی دوده بدون روغن برای آج تایر است و فرمول B اختلاط مشابه حاوی روغن آزاد است.

جدول۸- دوده برای آج تایر

	فرمول A	فرمول B
استایرن بوتادین رابر	۱۰۰	۱۰۰
دوده	۵۰	٦٥
روغن		۲۰
اکسید روی	۳	۳
اسید استئاریک	۱	۱
6PPD	۲	۲
سولفور	۱,۲	۱,٤
CBS	۱,۲	۱,٤

۴-۱-۲- فرمول سیلیکا برای آمیزه آج تایر

برای اختلاط سیلیکا دو متغیر انتخاب شده است. فرمول C بدون روغن آزاد و فرمول B حاوی روغن آزاد است(جدول ۹).

جدول ۹- سیلیکا برای آمیزه آج تایر

	فرمول C	فرمول D
استایرن بوتادین رابر	۱۰۰	۱۰۰
سیلیکا	۵۰	۸۰
سیلان	٤	٦,٤
روغن	۰	٤۰
اکسید روی	۳	۳
اسید استئاریک	۲	۲
6PPD	۲	۲
سولفور	۱	۱
CBS	۲	۲
DPG	۱	۱,۵

۴-۲- اندازه‌گیری‌های رئولوژی

هدف اصلی بهبود کیفیت پراکنش مخلوط‌کن و تمرکز برروی اختلاف اندازه‌گیری‌ها درپراکنش پرکننده است. اولین بار دستگاه Dispergrader ۱۰۰۰ NT برای ارزیابی پراکنش ماکرو استفاده شد که علاوه‌براین، میکروسکوپ نوری و آزمون خستگی نیز استفاده شده بود.

۴-۲-۱- فتوگراف‌های میکروسکوپی

تصاویر در حالت انعکاس با یک میکروسکوپ نوری استاندارد و با بزرگ‌نمایی ۴۰ X گرفته شد. تصاویر میکروسکوپی می‌تواند یک سطح زبر را که به پراکنش پرکننده مرتبط است، نشان دهد.

۴-۲-۲- اندازه‌گیری‌های ویسکوزیته مونی

اندازه‌گیری‌های مونی با روتور بزرگ در۱۰۰ درجه سانتیگراد و برحسب واحد (ML 1+4 100 C) انجام شد. همچنین، اندازه‌گیری بعد از ۴ دقیقه و با زمان پیش‌گرم یک دقیقه انجام می‌شود.

۴-۲-۳- اندازه‌گیری خستگی

اندازه‌گیری‌های خستگی جهت ارزیابی حالت پراکنش بچ‌های مختلف انجام شد.

۴-۲-۴- سختی (SHORE A)

سختی A از خواص مهم انتخاب شده برای آزمودن تایر است که اندازه‌گیری‌های انجام شده براساس استانداردهای بین المللی انجام می‌شوند.

۴-۲-۵- Dispergrader

۴-۲-۵-۱- مقادیر X و Y

X و Y مقادیر استاندارد محاسبه شده به وسیله Dispergrader 1000 NT.X هستند که X مقدار نسبی به‌عنوان قوانین استاندارد بین المللی [۷] و Y مقدار محاسبه شده با اندازه توزیعی هیستوگرام با در نظر گرفتن یک تراکم بزرگتر از ۲۳ میکرون است[۸].

۴-۲-۵-۲- مقادیر Z از Dispergrader

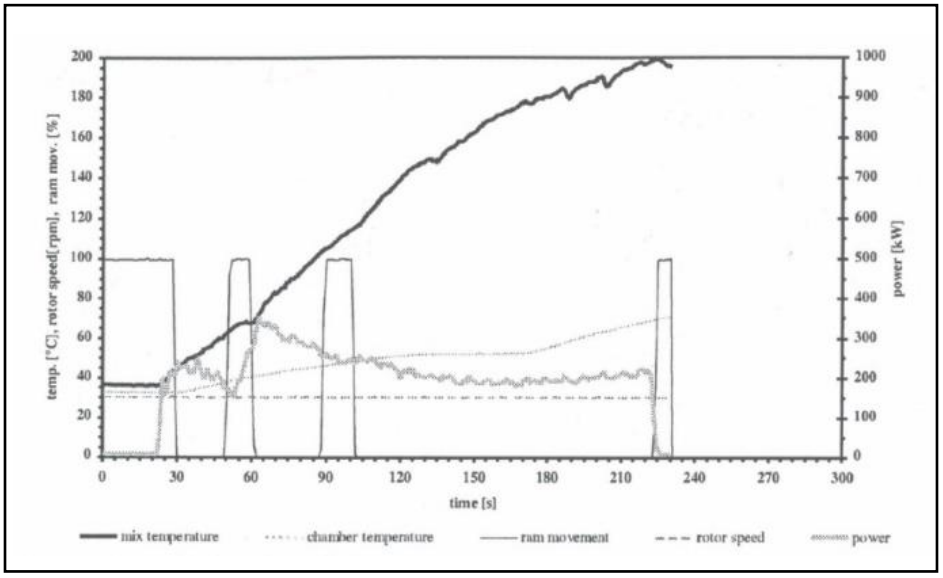
در طول تحقیق روتور مقادیر استاندارد توصیف شده درقوانین ASTM به‌وسیله Dispergrader ارائه داده شده است و X و Y به خوبی تفاوت بین اختلاط را بررسی نمی کند. بنابراین یک رابطه از نتایج Dispergrader 1000 NT.X و اختلاط پراکنشی بدست آمده است که این رابطه مقدار Z را نشان می دهد [۹]. این مقادیر به طور مستقیم می تواند بر سایز هیستوگرام ارائه شده به‌وسیله Dispergrader وسطح ناحیه سفید مربوط باشد.

۵- نتایج ارزیابی تکنیکی فرآیند

۵-۱- آزمایش‌های طیف رنگی

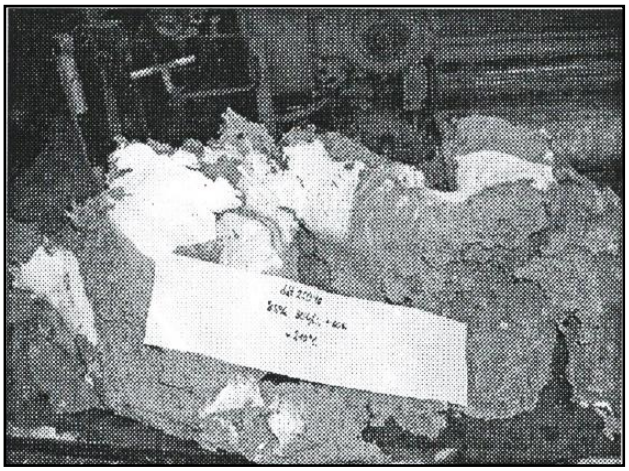
۵-۱-۱- GK50 UK

در مخلوط‌کن GK50 UK برای آزمایش‌های طیف رنگی اختلاط با ۵، ۱۰،۲۰ و ۶۰ دور بر دقیقه و زمان‌های ۱۰،۲۰،۴۰ و ۱۲۰ ثانیه در ۳۰ دور بر دقیقه کاهش مشاهده می‌شود. شکل ۳ یک نوع منحنی اختلاط برای آزمایش طیف رنگی با وجود مستربچ سفید در دو زمان مختلف و مستربچ سیاه در ۱۲۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد.



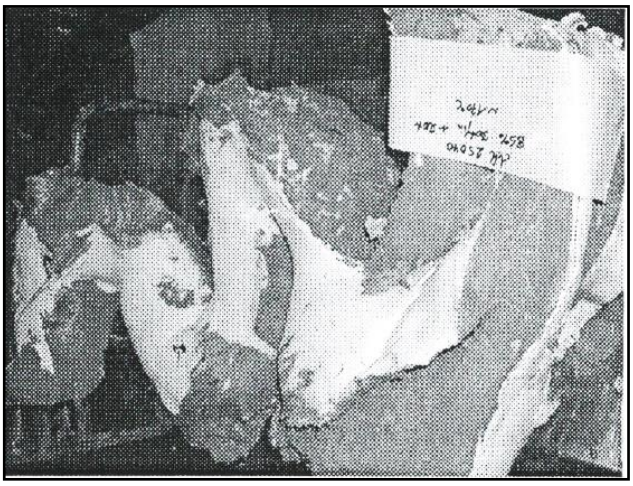
شکل۳- منحنی اختلاط آزمایش‌های طیف رنگی

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بعد از ۶۰ دور بر دقیقه، یک بچ همگن به رنگ خاکستری تشکیل شده و تنها برخی از مناطق به رنگ سفید (مرده) باقی مانده است. بررسی دقیق‌تر این مناطق، نشان می‌دهد که موقعیتهای مرده در مقابل نوک باله و در لبه درب تخلیه قرار دارند.



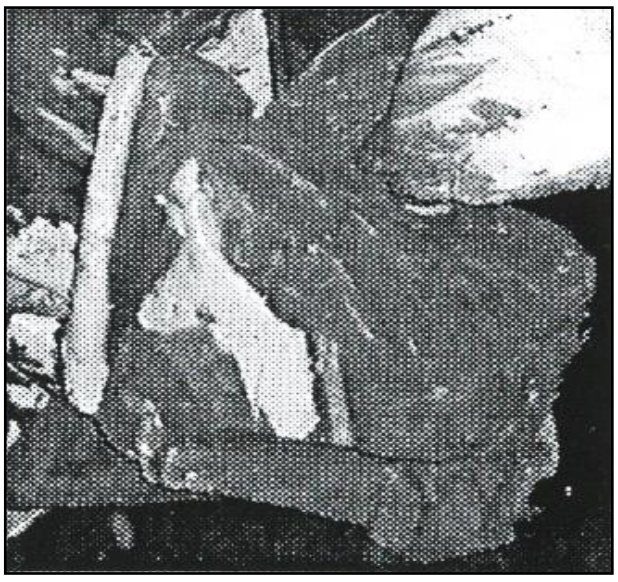
شکل ۴-GK50 UK، روتورجدید، ضریب پرشوندگی ۸۵ درصد، ۲۰ دور

مناطق مرده نزدیک به لبه در ورودی روتور استاندارد قدیمی وجود دارد که این روتور می‌تواند به‌عنوان یک روتور مستقل درنظر گرفته شود. از طرفی دیگر، اندازه مناطق مرده در مقابل نوک باله، به شکل هندسی روتور، عامل پرکننده و سرعت روتور بستگی دارد. بهینه‌سازی درمخلوط‌کن آزمایشگاهی GK 4N نشان می‌دهد که تغییر جزیی شکل هندسی روتور به حذف این مناطق مرده منجر می‌شود. در مخلوط‌کن GK50 UK توده‌های عظیم درمناطق مرده به هیچ‌وجه کوچک نیستند. در تخمین تقریبی مناطق مرده، کمتر از ۰,۴ درصد حجم بچ را نشان می‌دهد. حتی اگراختلاط توزیعی پس از ۶۰ دور بر دقیقه انجام شود باید به زمان‌های مخلوط کوتاه‌تر توجه کرد، زیرا زمان باقی‌مانده بین عرضه اولیه مواد و پایان چرخه اختلاط همیشه آنقدر طولانی نیست که بتواند ۶۰ دور بر دقیقه را انجام دهد. اگر بچ‌های شکل ۵ به شکلی در نظر گرفته شوند که تنها ۲۰ دور بر دقیقه را نشان دهند، می‌توان مشاهده کرد که کارایی اختلاط توزیعی در مخلوط‌کن کاملا خوب است و تنها سطوح نازکی از مناطق مرده تاثیر اختلاط توزیعی را برهم می‌زنند.



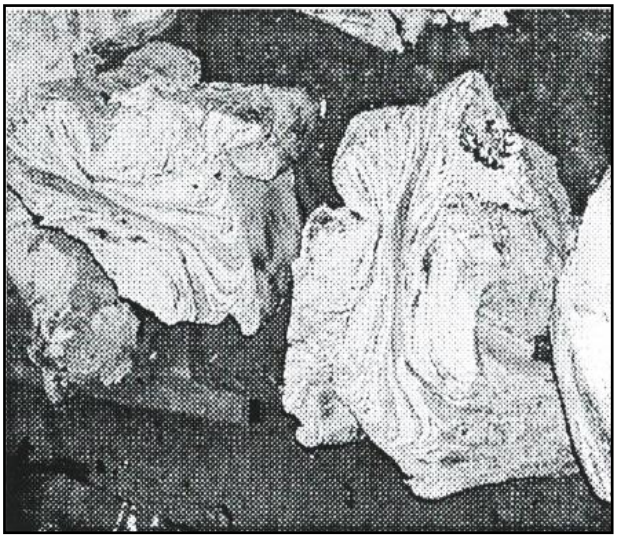
شکل ۵- GK50 UK، روتور جدید، ضریب پرشوندگی ۸۵ درصد، ۲۰ دور

یک نگاه دقیق به یک سطح برش (شکل۶) تایید می‌کند که مخلوط به‌طور یکنواخت خاکستری و تنها یک منطقه مرده در آن باقی مانده است.

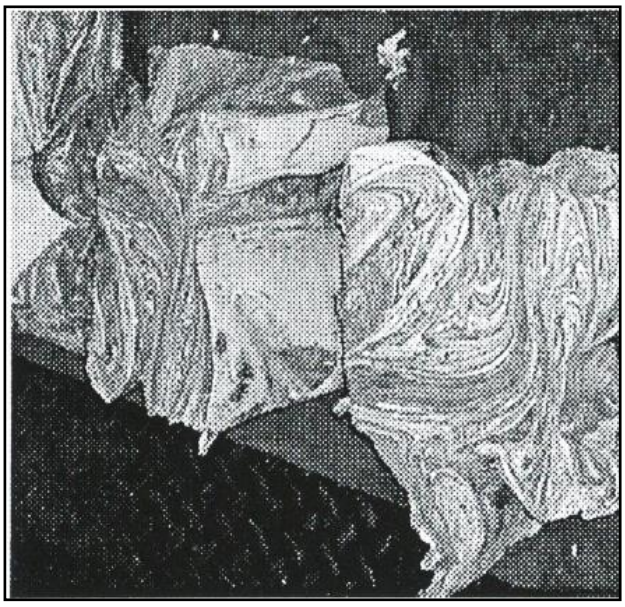


شکل ۶-GK50 UK، روتورجدید، ضریب پرشوندگی ۸۵ درصد، ۲۰ دور

درشکل۷ و۸ می‌توان از سینتیک توزیع استنباط کرد که پس از ۵ دور بر دقیقه اختلاط توزیعی آغاز شده، اما بعد از۱۰ دور بر دقیقه مقدار سطح خاکستری از اهمیت بیشتری برخوردار است.

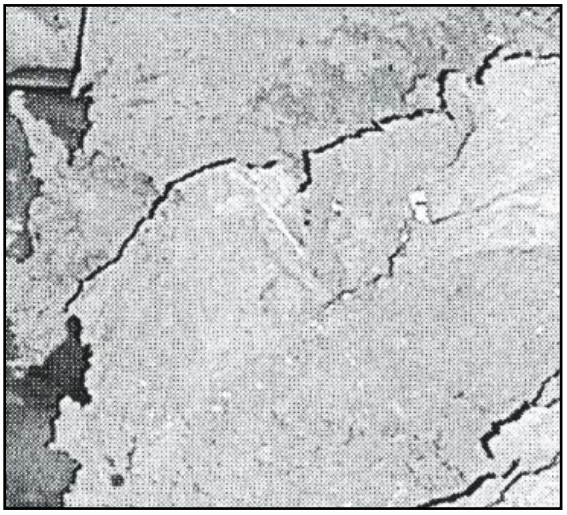


شکل ۷- GK50 UK، روتورجدید، ضریب پرشوندگی ۸۵ درصد، ۵ دور



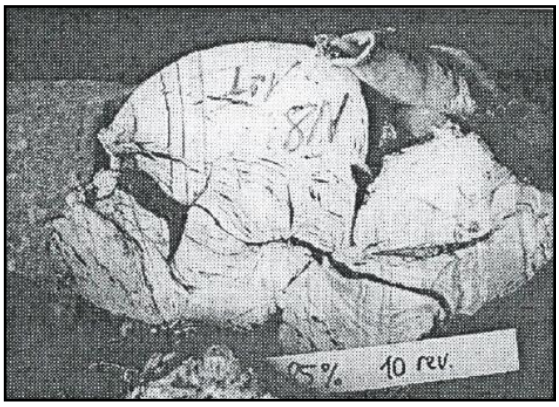
شکل ۸- GK50 UK، روتورجدید، ضریب پر شوندگی ۸۵ درصد،۱۰ دور

برای تکمیل سینتیک طیف رنگی می‌توان نگاهی دقیق به کاهش طیف رنگی بعد از ۶۰ دور بر دقیقه داشت (شکل ۹) و مشاهده کرد که اختلاط توزیعی خیلی بهتر از۲۰ دور بر دقیقه نیست(شکل ۶).

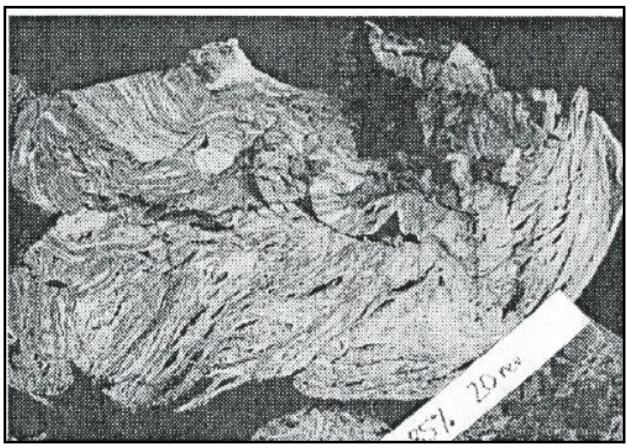


شکل ۹- GK50 UK، روتورجدید، ضریب پرشوندگی ۸۵ درصد،۶۰ دور

به عنوان یک نتیجه‌گیری، اول در مورد آزمایش‌های طیف رنگی بر روی GK50 UK می‌توان نتیجه گرفت که با مناطق مرده برروی روتورها و درب تخلیه مشکلات کمی وجود دارد که می‌تواند با تغییرات درب خروجی و شکل هندسی روتور حذف شوند. دوم اینکه می‌توان تایید کرد که بازده اختلاط توزیعی روتورهای جدید نسبتا بهتر و به حدود ۲۰ دور نیاز دارد تا به درستی یک ماده خام جدید که به مخلوط‌کن وارد شده است توزیع شود. اختلاط توزیعی با روتورهای قدیمی با سرعت کمتری نسبت به روتورهای جدید انجام می‌شود که در شکل ۱۰ و ۱۱ مورد ارزیابی قرار گرفته است.



شکل ۱۰- GK50 UK، روتور قدیمی، ضریب پرشوندگی ۸۵ درصد،۱۰ دور

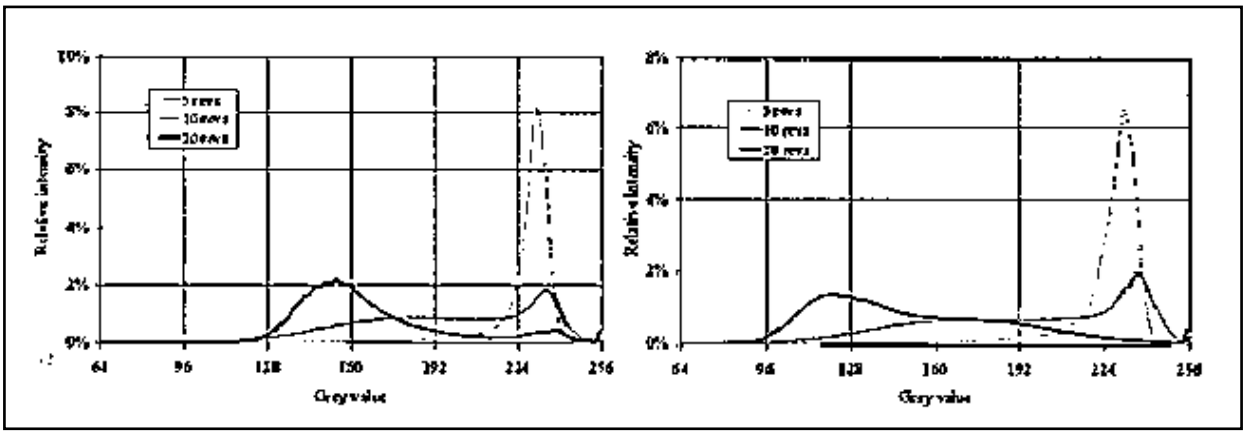


شکل ۱۱- GK50 UK، روتورقدیمی، ضریب پرشوندگی ۸۵ درصد، ۲۰ دور

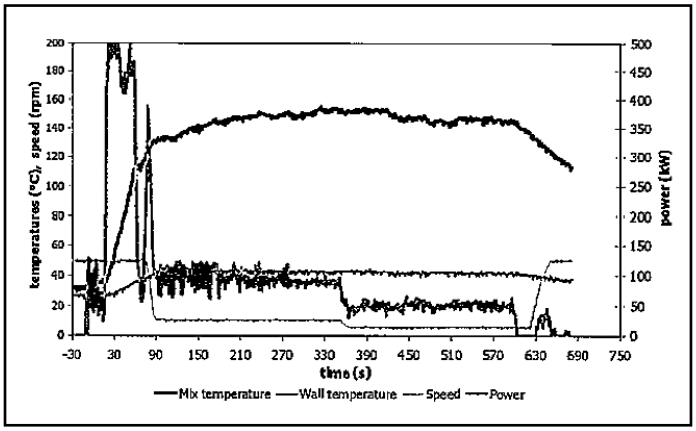
قدیمی، ZZ2 و روتورجدید توسعه یافته است. همان‌طور که در بخش ۴-۱-۱ توضیح داده شد، سینتیک اختلاط از ۱۰،۵ و ۲۰ دور بر دقیقه به دست آمده است و تمام بچ‌ها به صورت برش برای آنالیز نوری آماده شده‌اند. نتایج حاصل از آنالیز مقیاس خاکستری را می‌توان در شکل ۱۲ با روتورهای قدیمی در سمت چپ و روتورهای ZZ2 در سمت راست مشاهده نمود. با شیب بسیار باریک در مقیاس خاکستری منحنی به سمت چپ تغییر می‌کند. مشاهده می‌شود که بعد از ۲۰ دور بر دقیقه در روتور ZZ2 توزیع بسیار بزرگتر و پیک باقی‌مانده از مستربچ سفید کوچک‌تراست. می‌توان نتیجه گرفت کارایی اختلاط توزیعی برای روتورهای ZZ2 نسبت به روتورهای استاندارد قدیمی بیشتر است. برای روتورهای جدید توسعه یافته نیز از همین روش استفاده شده است.

۲-۱-۵- مخلوط‌کن‌های آزمایشگاهی

مقایسه مخلوط‌کن‌های آزمایشگاهی شامل روتورهای استاندارد



شکل ۱۲- توزیع مقیاس خاکستری OS (چپ) و روتورهای ZZ2 (راست)



شکل ۱۳- منحنی اختلاط آزمایش ایزوترمال در GK50 UK با روتورهای استاندارد قدیمی

۲-۵- آزمایش‌های ایزوترمال

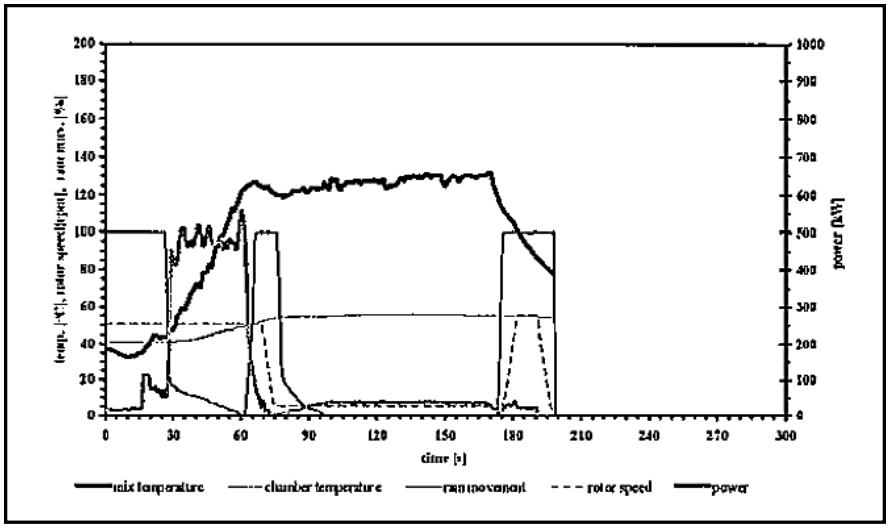
با توجه به منحنی اختلاط (شکل ۱۳و۱۴) می‌توان مشاهده نمود که، شرایط ایزوترمال درمخلوط‌کن GK50 UK در دمای قابل قبول برای هر دو شکل هندسی روتور با سرعت روتور ۵ دور بر دقیقه به دست آمده است. این یک سرعت بسیار پایین است که نمی‌توان آن را به طور منطقی برروی یک مخلوط کن انجام داد.

زمان اختلاط بیشتر برای آزمایش با روتورهای استاندارد قدیمی انتخاب شده است. بنابراین باعث تعجب نیست که برای مونی از ۱۱۸ واحد و انرژی ویژه از J/g ۹۲۱ از روتورهای جدید استفاده شود (۱۲۵,۵ واحد مونی و J/g ۳۱۴,۴). دمای ایزوترمال در ۵ دور بر دقیقه برای روتورهای قدیمی ۱۴۵)درجه سانتیگراد (نسبت به روتورهای جدید (۱۳۰ درجه سانتیگراد) بیشتر است.

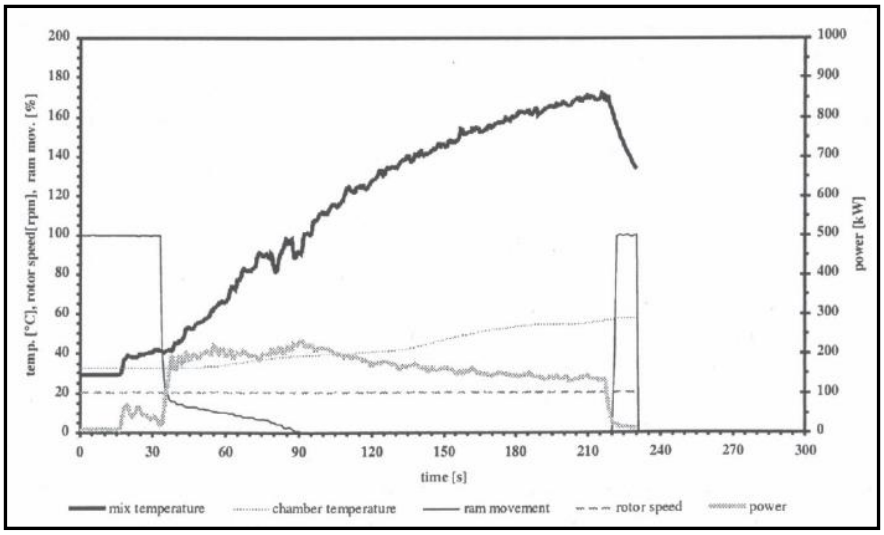
۳-۵- سنتیک پراکنشی

با استفاده از روش وارونه برای روتور قدیمی و جدید در مخلوط‌کن GK50 UK اختلاط انجام شده است. منحنی اختلاط بدون حرکت رام را می‌توان در شکل ۱۵ مشاهده نمود.

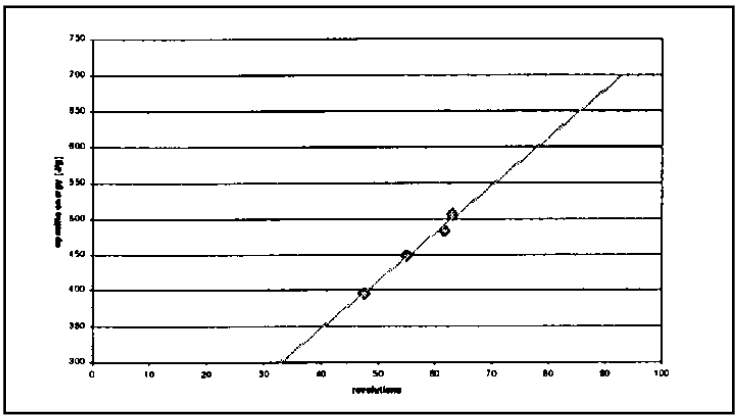
با توجه به شکل۱۶ و۱۷ می‌توان پی برد که انرژی به‌عنوان تابعی از تعداد دورها یک همبستگی خطی را دنبال می‌کند.



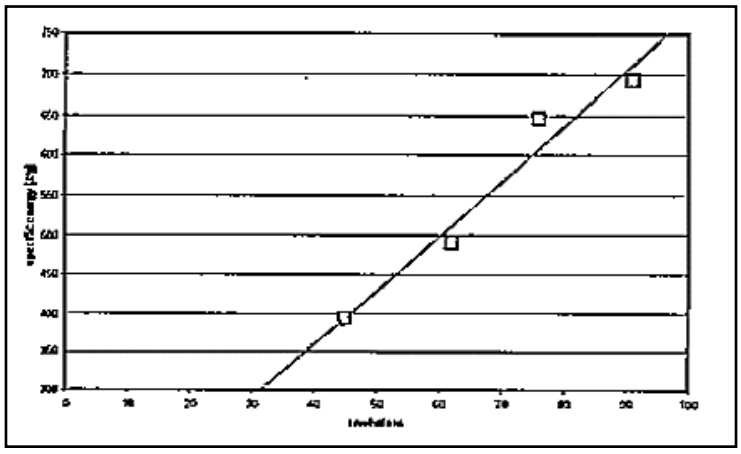
شکل ۱۴- منحنی اختلاط ازمایش ایزوترمال GK50 UK با روتورهای جدید



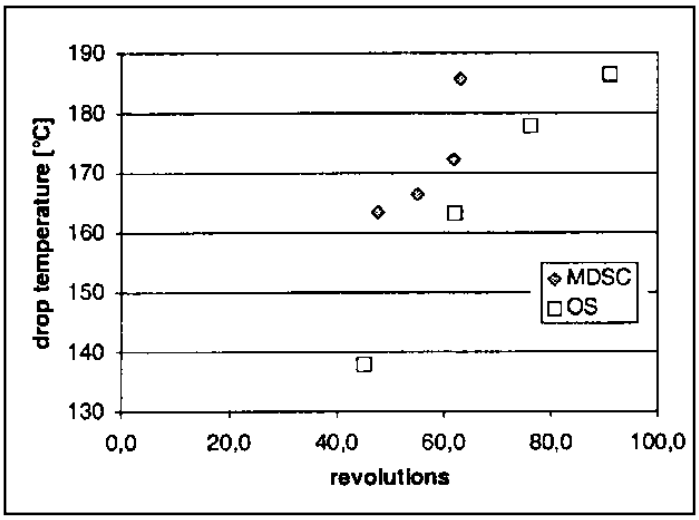
شکل ۱۵- منحنی سینتیک پراکنشی



شکل ۱۶- سینتیک پراکنشی در روتور جدید: انرژی در مقابل تعداد دورها



شکل ۱۷- سینتیک پراکنشی در روتور قدیمی: انرژی در مقابل تعداد دورها



شکل ۱۸- سینتیک پراکنشی: کاهش دما درمقابل تعداد دورها

تفاوت بین دو نوع روتور وقتی ظاهر می‌شود که به شکل ۱۸ توجه شود. حتی اگر انرژی به عنوان تابعی از تعداد دورها باشد، دمای بدست آمده بعد از تعداد معینی از دورها، زمانی که از روتور جدید نسبت به روتور قدیم استفاده شده بسیار بیشتر است.

نتایج بدست‌آمده با مخلوط‌کن‌های مختلف درجدول ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. ضریب پرکننده برای تمام مخلوط‌های انجام شده ۸۰ درصد با روتورهای استاندارد قدیمی و جدید تنظیم شده است. با روتورهای قدیمی می‌توان تعداد زیادی از دورها را بدست آورد، درحالی‌که افزایش سریع درجه حرارت با روتورهای جدید باعث می‌شود که سرعت روتور در طول آزمون تغییر یابد. با این حال حتی با سرعت روتور کمتر تعداد دورها به بیش از ۶۰ دور بر دقیقه نمی‌رسد. از آنجا که تعدادی از دورها بسیار شبیه به تمام بچ‌های روتورهای جدید است مقادیر مونی چندان متفاوت نیستند.

جدول ۱۲ نتایج اندازه‌گیری چگالی برروی بچ‌های ساخته شده با روتورهای جدید توسعه یافته و جدول ۱۳ نتایج به دست آمده با روتورهای استاندارد قدیمی را نشان می‌دهد. اگر زمان اختلاط نسبتا کوتاه و سرعت روتور محدود باشد، می‌توان مشاهده کرد که چگالی میانگین، نزدیک به چگالی تئوری (۱/۱۳) و انحراف استاندارد برای ۳۰ نمونه از هر بچ بهتر است. اگر انحراف استاندارد بین روتورهای قدیمی و جدید مقایسه شود باید توجه داشت که روتورهای جدید مقادیر کمتری را ارائه می‌دهند.

جدول ۱۰- روتورهای جدید. نتایج حاصل از سینتیک پراکنشی

اختلاط	n* 3 MDSC	n* 4 MDSC	n* 5 MDSC	n* 6 MDSC
انرژی ویژه (ژول برگرم)	۵۰۵,۹	۳۹۶,۱	٤٨٣,١	٤٤٨,٤
سرعت روتور(دوربردقیقه)	۳۰	۳۰	۲۰	۲۰
زمان اختلاط بهینه	۱۲٦	۹۵	۱۸۵	١٦٥
چرخش (دور)	٦٣	٤٧,٥	٦١,٧	٥٥
دمای تخلیه (سانتیگراد)	۱۸۵,۷	١٦٣,٤	۱۷۲,۲	١٦٦,٤

جدول ۱۱- روتور های قدیمی. نتایج حاصل از سینتیک پراکنشی

اختلاط	n* 3 OS	n* 4 OS	n* 5 OS	n* 6 OS
انرژی خاص (ژول برگرم)	٣٩٤	٤٩١	٦٤٦	٦٩٣
سرعت روتور(دوربردقیقه)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
زمان اختلاط بهینه	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰
چرخش (دور)	٤٥	٦٢	٧٦	۹۱
دمای تخلیه (سانتیگراد)	۱۳۸	١٦٣,٣	۱۷۷,۹	١٨٦,٥

جدول ۱۲- اندازه‌گیری چگالی در روتورهای جدید توسعه یافته

اختلاط	n* 3 MDSC	n* 4 MDSC	n* 5 MDSC	n* 6 MDSC
میانگین دانسیته (گرم برسانتی مترمکعب)	۱,۱۳۰۵	۱,۱۲۹۲	۱,۱۳۲۰	۱,۱۳۵۸
انحراف معیار	۰,۰۰۱۰	۰,۰۰۱۱	۰,۰۰۰۹	۰,۰۰۰٦
مینیمم	۱,۱۲٦۰	۱,۱۲٦۰	۱,۱۳۰۰	۱,۱۳٤۰
ماکزیمم	۱,۱۳۱۰	۱,۱۳۱۰	1.۱۳۵۰	۱,۱۳۷۰
ماکزیمم – مینیمم	۰,۰۰۵۰	۰,۰۰۵۰	۰,۰۰۵۰	۰,۰۰۳۰

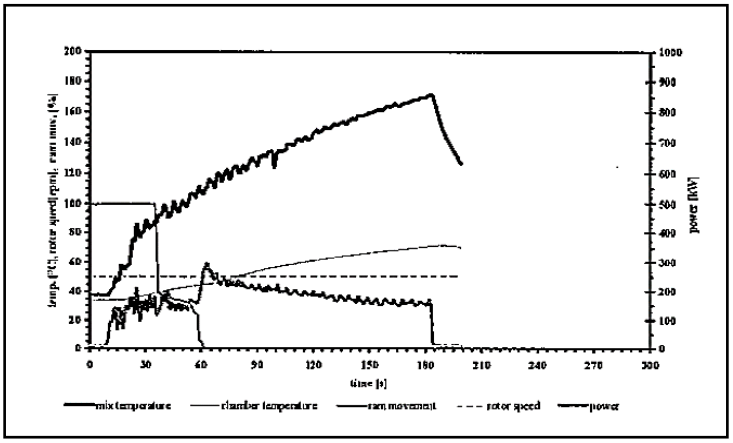
همانطورکه در جدول ۱۲ و جدول ۱۳ مشاهده می‌شود، چگالی میانگین بیشتر از چگالی تئوری است که این مسئله را می‌توان به‌وسیله دوده سیاه حاصل از آمیزه قبلی که در داخل مخلوط‌کن به دام افتاده تشریح کرد. این حقیقت که مخلوط‌های قدیمی دارای چگالی میانگین کوچکتری هستند را می‌توان با کربن آزاد در بچ توضیح داد.

۴-۵- نرم کردن کائوچوی طبیعی

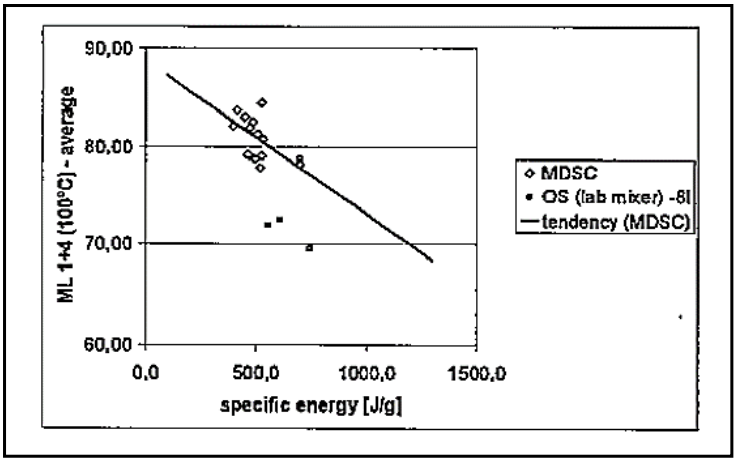
آزمایش نرم‌کردن تنها با روتورهای جدید توسعه یافته و با مخلوط کن GK50 UK انجام شده است. عوامل پرکننده مختلف در دماهای پایین و سرعت‌های مختلف روتور به گونه‌ای استفاده شده که می‌توان آن‌ها را در شکل‌های زیر مشاهده نمود. مقادیر مرجع در شکل ۲۰ در یک مخلوط‌کن ۸ لیتری با روتورهای استاندارد قدیمی به دست آمده است و شکل ۱۹ یک منحنی اختلاط را در طی آزمایش‌های نرم‌سازی بدون حرکت رام نشان می‌دهد.

یک تجزیه و تحلیل از بچ روتورهای جدید نشان داده است که استفاده از عوامل پرکننده بالاتر از ۸۰ درصد منجر به عدم نرم‌سازی کائوچو و حتی حبس کائوچو زیر رام می‌شود. تمام عوامل پرکننده کمتراز ۸۰ درصد نتایج مشابهی با عدم نرم‌سازی گره‌ها (برآمدگی) در بچ از خود نشان داده‌اند

بیش‌ترین نتایج را می‌توان در شکل ۲۰ مشاهده نمود. مقدار مونی به عنوان تابعی از انرژی اختلاط ترسیم شده است. همانطورکه مشاهده می‌شود، مقدار مونی با افزایش انرژی کاهش می‌یابد (هر نقطه یک مقدار متوسط از شش اندازه‌گیری از یک بچ است). مقادیر مختلف مونی با انرژی معادل تغییر پارامترهای فرآیندی دیگر مانند افت دما و ضریب پرکنندگی متناظر است.



شکل۱۹- منحنی آزمایش‌های نرم سازی



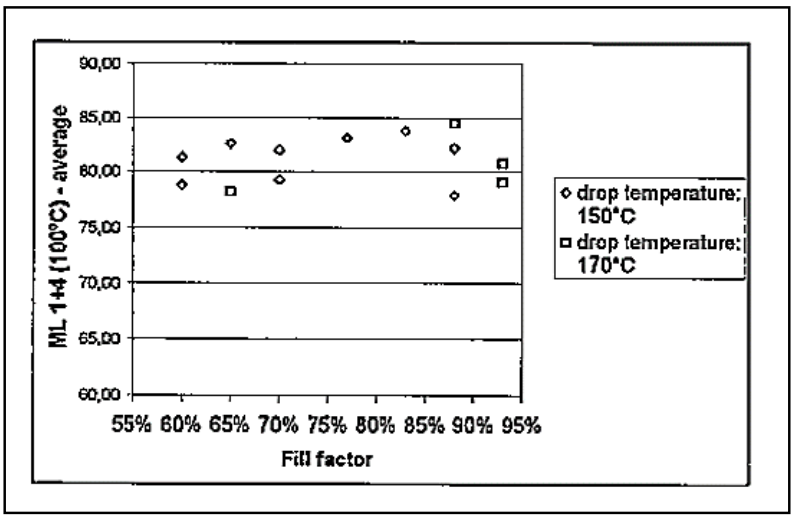
شکل ۲۰- نرم‌سازی کائوچوی طبیعی. مقدار مونی در مقابل انرژی

در شکل ۲۱ می‌توان مشاهده کرد که ضریب پرکنندگی تنها تاثیر اندکی در مقدار میانگین مونی دارد. حتی دمای بالا نیز به وضوح بهبود مونی را نشان نمی‌دهد.

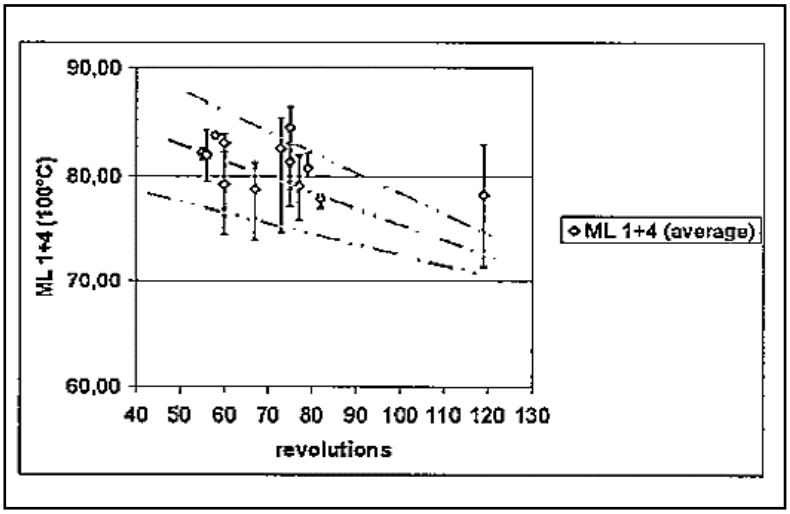
در شکل ۲۲ مقدار مونی به عنوان تابعی از تعداد دورها ترسیم و با در نظر گرفتن حداقل و حداکثر برای محاسبه مقدار میانگین استفاده شده است. بچ‌هایی با پراکنشی بسیار کوچک از اندازه‌گیری مونی وجود دارد اما هیچ همبستگی مشخص بین اندازه‌گیری مونی و تعداد دورها وجود ندارد.

۶- نتایج حاصل از آمیزه شکننده

زمان اختلاط و دمای کمتر دو پارامترهایی هستند که سعی شده ثابت نگه داشته شوند یا حداقل برای آزمایش با هر دو روتور مشابه عمل شود. با توجه به سرعت روتورو ضریب پرکنندگی برای هر روتور و هر ترکیب یک حالت بهینه پیدا می‌شود. آزمایش‌های اولیه در این تحقیق نشان می‌دهد که عامل پرکننده بهینه برای روتورهای جدید نسبت به روتورهای قدیمی کمتر و دما بسیار سریع‌تر بالا می‌رود و همچنین سرعت کمتر روتورهای جدید را نسبت به روتورهای قدیمی مقایسه شده است[۱۰].



شکل۲۱- نرم کردن کائوچوی طبیعی در روتور جدید مقدار مونی در مقابل ضریب پراکنشی

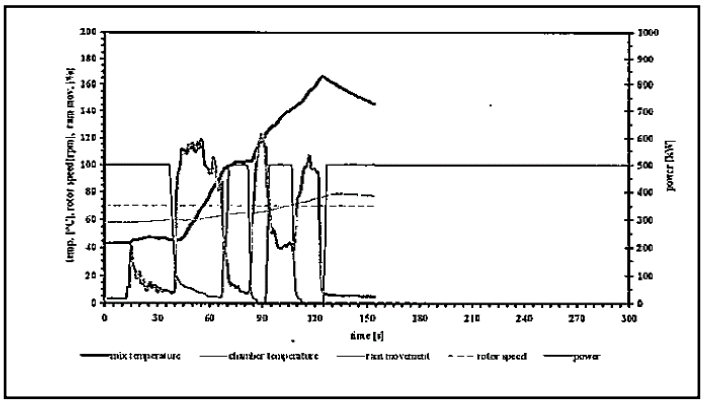


شکل ۲۲- نرم‌سازی کائوچوی طبیعی در روتور جدید مقدار مونی در مقابل تعداد دورها

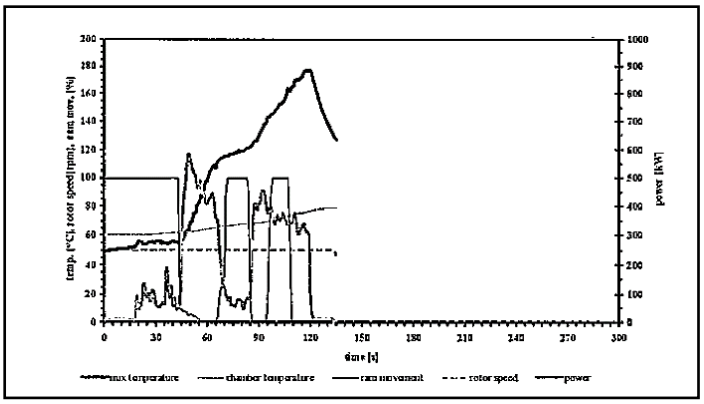
۱-۶- دوده SBR

شکل ۲۳ و ۲۴ منحنی‌های اختلاط بدست‌آمده ازمخلوط‌کن GK50 UK در حین تولید آمیزه A را نمایش می‌دهد. حتی اگر پروفایل دما و زمان کلی اختلاط کاملا شبیه هم باشند می‌توان مشاهده کرد که سرعت روتور بسیار کمتر از روتورهای جدید توسعه یافته است (۵۰ دور بر دقیقه به‌جای ۷۰ دور بر دقیقه) و چسبندگی آمیزه در حرکت دوم رام با روتورهای جدید بهتر به نظر می‌رسد.

اگر به نتایج اندازه‌های مختلف در جدول ۱۴ توجه شود مشاهده می‌شود که پراکنش ترکیب با روتورهای جدید بهتراست حتی اگر مقدار مونی کمی بالاتر باشد.



شکل ۲۳- منحنی اختلاط مخلوط کردن A با روتورهای استاندارد قدیمی



شکل۲۴- منحنی اختلاط مخلوط کردن A با روتورهای جدید

جدول ۱۴- نتایج کربن سیاه با مخلوط A

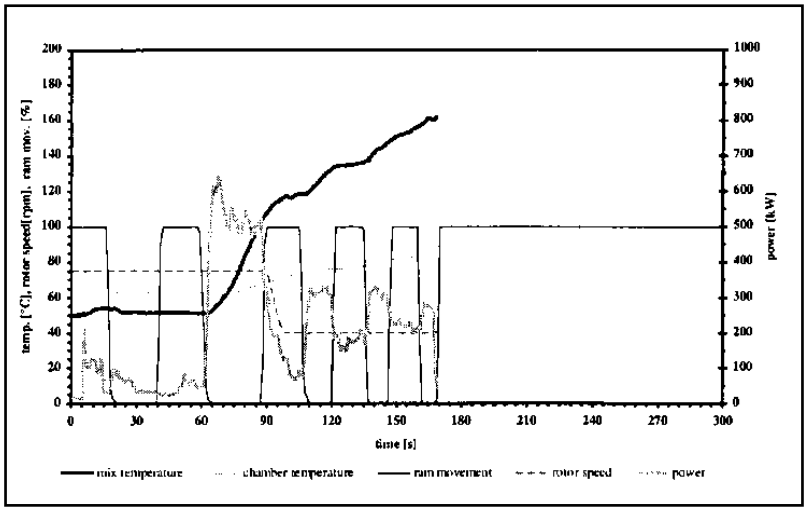
	روتور استاندارد قدیمی	روتور جدید توسعه یافته	Gain
	رفرنس	n* 3	
مقادیر Dispergrader X	۸۳	۸۵	۲,٤۱ درصد
مقادیر Dispergrader Y	۵,۳	۵,۹	۱۱,۳۲ درصد
مقادیر Dispergrader Z	۹,۱	۹,٦	۵,٤۹ درصد
ML 1+4 (100°C)-overshoot	۱۲۷,۱	۱۲۳,٤	-۲,۹۱ درصد
ML 1+4 (100°C)-final value	۸٤,۳	۹۱,۱	۸,۰۷ درصد
Faligue to failure - (kcycles)	۲٤,۷	۲۸,۷	۱٦,۲۱درصد

متاسفانه این افزایش در مخلوط‌کن با ضریب پراکنشی کمتر بدست می‌آید (۶۹ درصد به‌جای ۷۴ درصد) درحالی که حجم آزاد کمتری درنظرگرفته می‌شود، وزن بچ برای روتورهای جدید ۱۰ درصد کم‌تر نسبت به روتورهای قدیمی برای افزایش معادل کیفیت پراکنش هستند.

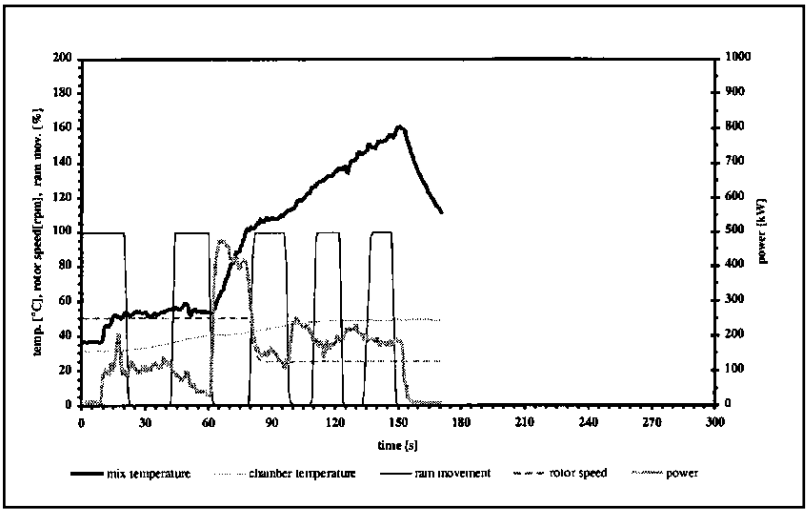
۲-۶- سیلیکا SBR

شکل ۲۵ و۲۶ منحنی اختلاط را نشان می‌دهد که با آمیزه C و در مخلوط کن GK50 UK بدست آمده است.

در مورد اختلاط دوده نیز سرعت روتور کاهش یافته تا پروفایل دمایی مشابهی بدست بیاید. با این وجود، این آمیزه تقریبا ۳۰ ثانیه زودتر با روتور های جدید کاهش می‌یابد. نتایج رئولوژی و اندازه‌گیری پراکنشی همگی مثبت است که می‌توان آنها را در جدول ۱۵ مشاهده نمود. کیفیت پراکنش در حدود ۴ درصد براساس نتایج دستگاه Dispergrader و حدود ۲۰ درصد براساس اندازه گیری خستگی[1] بدست آمد، در این حالت مقدار مونی نیز



شکل۲۵- منحنی اختلاط آمیزه C با روتورهای قدیمی



شکل ۲۶- منحنی اختلاط آمیزه C با روتورهای جدید

1.fatigue to failure

کاهش می‌یابد.

برای این فرمول، ضریب پرشدگی بهینه کاملا مشابه بوده و وزن بچ که با روتورهای جدید بدست آمده تنها ۴,۵ درصد کمتر از روتورهای استاندارد قدیمی است.

۷- نتیجه‌گیری کلی در مورد کارایی روتورهای جدید

آزمایش‌های انجام شده برروی مخلوط کن GK50 UK با روتورهای جدید باعث بهبود کارایی اختلاط توزیعی در مخلوط‌کننده داخلی شده و نتایج بهتری را در اندازه‌گیری Dispergrader و اندازه‌گیری‌های خستگی را از خود نشان می‌دهد. امید است که این نتایج با آزمون آمیزه وآزمایش پیشرفته نیز تایید شود و آزمایش‌های طیف رنگی نیز نشان می‌دهد که کارایی اختلاط توزیعی روتورهای قدیمی به غیر از مناطق مرده مناسب است. با این وجود، روتورهای جدید پیشرفت‌های مکمل هستن که در آخرین آزمون‌های آزمایشگاهی پیشنهاد شده بودند. با توجه به روند اختلاط که باید با روتورهای جدید توسعه یافته اعمال شوند در آزمایش‌های مقدماتی به اثبات رسیده است که باید از عوامل پرکننده کمتر و سرعت روتور پایین‌تر نسبت به روتورهای قدیمی استفاده کرد. کاهش ضریب پرشدگی و حجم آزاد کمتر برای روتورهای جدید نصب شده GK50 UK تمایل به کاهش توان مصرفی مخلوط‌کن را دارد. برای برخی از مخلوط‌کن‌ها زمان اختلاط می تواند کاهش یابد به طوری که تجزیه و تحلیل باید شامل کل خط اختلاط باشد و افزایش پتانسیل زمان اختلاط درنظر گرفته شود.

سپاسگزاری

IRM ...

جدول ۱۵- نتایج حاصل از سیلیکا با آمیزه C

	روتور استاندارد قدیمی	روتور جدید توسعه یافته	Gain
	رفرنس	n* 3	
مقادیر Dispergrader X	۵,۳	۵,۷	۷,۵۵ درصد
مقادیر Dispergrader Y	۹,۱	۹,٤	۳,۳۰ درصد
مقادیر Dispergrader Z	۸۱	۸۱	۰,۰۰ درصد
ML 1+4 (100°C)-overshoot	۱۸۰	۱٤۲	۲۱,۱۱- درصد
ML 1+4 (100°C)-final value	۱۳۱	۱۰۲	۲۲,۲۱ -درصد
Faligue to failure - (kcycles)	٦,۸	۸,۰	۱۸,۵۲ درصد

مراجع

1. Contract of the European Research Project ROTOR: Annexe 1, Description of work, 2001

2. Patent of Werner and Pfleiderer, DE 738 787, 1943

3. Patent of ThyssenKrupp Elastomertechnik: MDSC rotor, 2004

4. Manas-Zloczower I., Tadmor Z : Mixing and Compounding of Polymers, Theory and Practice, Hanser Publishers, Munich, 1993

5. Otto S., Malle, J.; Cantaloub, B.: Experimental Evaluation of an Innovative Rotor Geometry on a Tangential Internal Mixer, Conference on European Rubber Research - Practical Improvements of the Mixing Process, Paderborn 2005

6. Cotten G.R.: Mixing of carbon black with rubber I. Measurement of dispersion rate by changes in mixingtorque, Rubb. Chem. Technol. 57_ (1984) 118- 133

7. ISO 11345, on the evaluation of carbon black dispersion

8. Manual of the Dispergrader 1000NT, Optigrade, 99

9. Otto S., Randl O., Goncalves O., Cantaloube B.: New reference value for the description of filler dispersion with the Dispergrader 1000 NT, submitted to Kautschuk Gummi Kunststojfe, 2004

10. European research project ROTOR: Progress report on experimental results obtained on GK50 UK, 2004

Experimental Evaluation of an Innovative Rotor Geometry on a Tangential Internal Mixer

R Abedi[1,*], S. Nikbakht-sardari[2]

1. Master, technology expert of Sabalan Razi Rubber Company, Tehran, Iran
2. Master, technology expert of Sabalan Razi Rubber Company, Tehran, Iran

*Corresponding author Email: abedi._.reza@outlook.com

Abstract: Traditionally; most of the rubber mixes for the tire industry are produced in tangential internal mixers. The quality of the mixing equipment contributes in an important way to the quality of the semi-finished rubber profiles and further on to the performance of the tires. To enhance quality and to increase production output, manufacturers are always interested in optimizing process parameters and machinery equipment. The geometry of the rotors of an internal mixer is one of the key elements of the machinery equipment. The aim of the European research project rotor is to develop an innovative and optimized rotor geometry by the means of the numerical flow simulation, instead of a classical trial and error approach. At the end of the project an experimental validation of the newly developed rotors is done. In the present paper, the authors describe the results of experimental studies on a GK50 UK internal mixer. The old standard rotor geometry for tangential internal mixers (OS geometry) is compared to the newly developed rotor geometry (MD-SC geometry). The most important aspects of mixing, as dispersive and distributive mixing efficiency of the rotors, are discussed.

Keywords: rotor, dispersion, distribution, coloration, GK50 UK