

بهبودسازی چند معیاری اجزای آمیزه‌ی رویه‌ی تایر موتورسیکلت بر مبنای مدل تلفیقی تحلیل رابطه‌ی خاکستری- سلسله مراتبی

M

ulti-criteria Optimization of Motorcycle Tire Tread Compound Based on AHP-GRA Combined Model

چکیده:

در این مقاله بهبودسازی چند معیاری آمیزه‌ی رویه‌ی تایر موتورسیکلت بر مبنای مدل تلفیقی تحلیل رابطه‌ی خاکستری-سلسله مراتبی^(۱)، به منظور بررسی همزمان چندین ویژگی آمیزه و انتخاب بهترین فرمولاسیون که دربرگیرنده‌ی ایده‌آل‌ترین مجموعه خواص باشد مدنظر بوده است. در این مطالعه بر اساس روش طراحی آزمایش تاکوچی، ۹ فرمولاسیون طراحی و برای رتبه‌بندی از روش تحلیل رابطه‌ی خاکستری استفاده شد. برای مشخص کردن وزن اهمیت هر یک از ویژگی‌ها جهت رتبه‌بندی، از سه روش آنتروپی شانون^(۲)، فرایند سلسله مراتبی، و میانگین وزن‌ها استفاده و خروجی تمامی روش‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. با این‌که فنی‌ترین مدل روش AHP است ولی تمامی سه مدل یادشده به یک نوع فرمولاسیون به‌عنوان بهترین حالت رسیده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بهبودسازی چند معیاری، تحلیل رابطه‌ی خاکستری-سلسله مراتبی، آنتروپی شانون، روش تاکوچی.

نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه

مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های استخراج وزن اهمیت این است که یک روش کاملاً عینی است و جهت‌گیری‌های نظرات خبرگان در آن وجود ندارد؛ بنابراین اگر شرایط به‌گونه‌یی باشد که احتمال خطا در قضاوت خبرگان وجود داشته باشد، استفاده از این روش می‌تواند جایگزین خوب و قابل قبولی باشد [۲ و ۳]. روش دیگر وزن دهی که برخلاف روش آنتروپی به‌طور مستقیم بر مبنای نظر خبرگان است روش AHP

امروزه بیشتر مدل‌های مورد استفاده برای بهبودسازی یک معیاری طراحی شده ولی از آنجایی که طراحان فرمولاسیون جهت رسیدن به بهترین آمیزه باید چندین معیار را به‌طور همزمان مدنظر قرار دهند، از این رو لازم است از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاری^(۳) استفاده کنند [۱]. یکی از روش‌های استخراج وزن اهمیت معیارها در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، آنتروپی شانون است.

حسین روشنائی
واحد تحقیق و توسعه شرکت ایران یاسا تایر
ورابر

* عهده دار مکاتبات:
Roshanaei.hossein@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۱۷
تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۲۲

1. Analytical Hierarchy Process-Grey Relational Analysis

2. Shannon Entropy

3. Multiple-criteria decision-making

- مرحله‌ی دوم: نرمال‌سازی^(۱) تمامی مقادیر معیارها (Y_{ij}) از مسیر روابط زیر:

$$Z_{ij} = \frac{Y_{ij} - \min(Y_{ij}, i=1, 2, \dots, n)}{\max(Y_{ij}, i=1, 2, \dots, n) - \min(Y_{ij}, i=1, 2, \dots, n)} \quad (۱)$$

در صورتی که مقادیر ستون معیار، هر چه بیشتر- بهتر باشد از رابطه‌ی ۱ استفاده می‌کنیم:

$$Z_{ij} = \frac{\max(Y_{ij}, i=1, 2, \dots, n) - Y_{ij}}{\max(Y_{ij}, i=1, 2, \dots, n) - \min(Y_{ij}, i=1, 2, \dots, n)} \quad (۲)$$

در صورتی که مقادیر ستون معیار، هر چه کمتر- بهتر باشد از رابطه‌ی ۲ استفاده می‌کنیم:

$$Z_{ij} = \frac{|Y_{ij} - Target| - \min(|Y_{ij} - Target|, i=1, 2, \dots, n)}{\max(|Y_{ij} - Target|, i=1, 2, \dots, n) - \min(|Y_{ij} - Target|, i=1, 2, \dots, n)} \quad (۳)$$

و در صورتی که مقادیر ستون معیار، هر چه به مقدار هدف نزدیک‌تر- بهتر باشد از رابطه‌ی ۳ استفاده می‌کنیم:

- مرحله‌ی سوم: تعیین تابع افت کیفیت با استفاده از رابطه‌ی ۴.

$$\Delta = (quality\ loss) = |Y_{oj} - Y_{ij}| \quad (۴)$$

- مرحله‌ی چهارم: محاسبه‌ی ضرایب خاکستری معیارها (GC_{ij}) برای مقادیر نرمال‌سازی شده (جدول ۷).

$$GC_{ij} = \frac{\Delta_{min} - \delta \Delta_{max}}{\Delta_{ij} - \delta \Delta_{max}} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, k \end{cases} \quad (۵)$$

در این روابط:

$$GC_{ij} = \text{ضریب رابطه‌ی خاکستری برای پاسخ هر معیار}$$

$$Y_{oj} = \text{مقدار بهینه‌ی پاسخ هر معیار}$$

است که هدف استفاده از این روش شناسایی گزینه‌ی برتر و همچنین تعیین رتبه‌ی گزینه‌ها با لحاظ کردن همزمان کلیه‌ی معیارهای تصمیم‌گیری‌ست. این روش تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد که ساختار پیچیده‌ی یک مسئله را به فرمت ساده‌ی سلسله‌مراتبی تبدیل کرده و تعداد زیادی از فاکتورهای کمی و کیفی را در یک روش سیستماتیک با معیارهای متضاد ارزیابی کند [۱، ۴ و ۵]. امروزه یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاری روش تحلیل رابطه‌ی خاکستری (GRA) است که برای حل مسائل مبهم و مسائلی که داده‌های گسسته و اطلاعات ناقص دارد به‌کار می‌رود. این تئوری در زمینه‌های بسیاری از جمله حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاری تحت عنوان تحلیل رابطه‌ی خاکستری به‌کار گرفته شده است [۶ تا ۹]. روش Hierarchy-GRA از دخالت AHP در GRA به‌دست می‌آید و در این مدل تلفیقی از AHP جهت وزن دهی به معیارها استفاده می‌شود. سپس رتبه‌بندی نهایی توسط روش GRA صورت می‌پذیرد [۱، ۴ و ۵]. از آنجایی که تاکنون در صنعت لاستیک از این مدل تلفیقی جهت بررسی آمیزه‌های تولیدی و یا انتخاب گزینه‌ی مطلوب بهره‌گیری نشده است، این روش می‌تواند کمک شایانی به خبرگان این صنعت جهت طراحی فرمولاسیون بنماید.

بخش تجربی

در این بخش به تشریح مدل‌های استفاده‌شده در این آزمایش و همچنین مدل تلفیقی استفاده شده پرداخته خواهد شد.

چگونگی طی مراحل تئوری و روش‌شناسی روش GRA به‌قرار زیر است [۱۱]:

- مرحله‌ی اول: مقادیر به‌دست آمده (پاسخ) برای تمامی معیارها، متناظر با شمارهی آزمایش صورت گرفته، در یک جدول ماتریسی درج می‌شود.

Y_{ij} = مقدار نرمال‌سازی شده‌ی پاسخ هر معیار

Δ = افت کیفیت

Δ_{\min} = حداقل مقدار Δ

Δ_{\max} = حداکثر مقدار Δ

δ = ضریب تمایز ($0 \leq \delta \leq 1$) که ممکن است با توجه به

نیازهای سیستم تغییر کند (در این آزمایش ضریب تمایز ۱ در نظر گرفته شده است).

i = مشخصه‌ی مقادیر ردیف آزمایش

j = مشخصه‌ی مقادیر ستون معیار

- مرحله‌ی پنجم: محاسبه‌ی مقادیر درجه‌ی خاکستری.

برای محاسبه‌ی مقادیر درجه‌ی خاکستری (G_i) به روش‌های سلسله‌مراتبی (AHP) و آنتروپی شانون، از رابطه‌ی ۶ استفاده می‌کنیم.

$$G_i = \sum GC_{ij} \times W_j \quad (6)$$

در این رابطه W_j مقدار وزن هر معیار است که توسط روش سلسله‌مراتبی (AHP)، میانگین و یا آنتروپی شانون محاسبه شده است.

- مرحله‌ی ششم: با توجه به مقادیر به‌دست آمده، به ترتیب هرچه مقدار درجه‌ی خاکستری بیشتر-بتر، مقادیر به‌دست آمده را رتبه‌بندی می‌کنیم.

- فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^(۱)

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نخستین بار توسط ساعتی ارائه شد. هدف از استفاده از این روش، شناسایی گزینه‌ی برتر و همچنین تعیین رتبه‌ی گزینه‌ها با در نظر گرفتن همزمان کلیه‌ی معیارهای تصمیم‌گیری است. این روش، تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد که ساختار پیچیده‌ی یک مسأله را به شکل ساده‌ی سلسله‌مراتبی تبدیل کرده و تعداد زیادی از فاکتورهای کمی و کیفی را در یک سیستماتیک

با معیارهای متضاد ارزیابی کند.

روش AHP شش گام زیر را شامل می‌شود:

- تعریف مسئله و بیان شفاف اهداف و نتایج مورد انتظار

- تبدیل مسئله‌ی پیچیده به عناصر تصمیم‌گیری (بیان جزئیات و معیارها)

- به‌کارگیری مقایسه‌های زوجی بین عناصر تصمیم‌گیری، به‌منظور ایجاد ماتریس‌های مقایسه

- استفاده از روش بردار ویژه برای برآورد وزن‌های نسبی عناصر تصمیم‌گیری

- محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری ماتریس‌ها برای اطمینان از سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان

- جمع‌آوری عناصر وزن‌دهی شده، برای به‌دست آوردن رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی می‌تواند یکی از روش‌های مناسب برای انجام تحلیل‌های چند معیاره در حالت گسسته باشد. سه‌گام اصلی برای حل هر مسئله با بهره‌گیری از این روش شامل: ساختار سلسله‌مراتبی، محاسبه‌ی وزن‌ها و محاسبه‌ی نرخ سازگاری است [۱].

- تحلیل رابطه‌ی خاکستری^(۲)

این نظریه را دنگ در سال ۱۹۸۲ مطرح کرد [Deng, 1982]. این نظریه هنگام تصمیم‌گیری در شرایط وجود اطلاعات ناقص مورد استفاده قرار می‌گیرد. زمانی که نمونه‌ها کوچک و اطلاعات در مورد پدیده کم باشد، می‌توان از این نظریه استفاده کرد [Liu & Lin, 2006]. این نظریه در زمینه‌های بسیاری همچون حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاری با نام تحلیل رابطه‌ی خاکستری (GRA) به‌کار گرفته می‌شود. تحلیل رابطه‌ی خاکستری جزئی از نظریه‌ی خاکستری است و برای حل مسائلی به‌کار گرفته می‌شود که از روابط پیچیده‌ی بین عوامل و متغیرهای‌شان برخوردارند [Moran et al, 2006].

نظریه‌ی سیستم‌های خاکستری الگوریتمی است که روابط غیرقطعی اعضای یک سیستم با یک عضو مرجع را تحلیل می‌کند و قابلیت استفاده در حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاری را دارد.

در هر سیستم عمومی عوامل متعددی مؤثر است که تأثیر متقابل آن‌ها، وضعیت و روند رشد و توسعه‌ی سیستم را تعیین می‌کند. بیشتر مواقع در تجزیه و تحلیل سیستم‌ها تلاش می‌شود عوامل با اهمیت بیشتر شناسایی شود؛ اما در عمل، در هر سیستم عوامل ناشناخته یا کمتر شناخته شده‌ی نیز وجود دارد. یکی از روش‌هایی که برای روبه‌رویی با این‌گونه سیستم‌ها استفاده می‌شود، تحلیل رابطه‌ی خاکستری است که از اجزای مهم نظریه‌ی سیستم خاکستری به شمار می‌رود. یادآوری می‌شود که تحلیل رابطه‌ی خاکستری، لزوماً بر داده‌های خاکستری استوار نیست. داده‌ی خاکستری داده‌ی است که مقدار واقعی آن نامشخص و بازه‌ی که در آن قرار دارد، مشخص است. ایده‌ی اصلی تحلیل رابطه‌ی خاکستری که یک روش تجزیه و تحلیل کمی است، بر این نکته بنا شده که مقدار نزدیکی و همبستگی رابطه‌ی بین دو عامل مختلف، در یک فرآیند پویای در حال رشد است که باید بر اساس میزان شباهت منحنی‌های آنان سنجیده شود. هر چه میزان این شباهت بیشتر باشد؛ یعنی درجه‌ی بالاتری از رابطه بین سری‌ها وجود دارد و برعکس. برای سنجش میزان این شباهت، از درجه‌ی رابطه‌ی خاکستری استفاده می‌شود [۱۰].

تئوری سیستم‌های خاکستری الگوریتمی است که روابط غیرقطعی اعضای یک سیستم را با یک عضو مرجع تحلیل کرده و دارای قابلیت استفاده در حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاری است [۱].

به صورت کلی فرایند تحلیل رابطه‌ی خاکستری بدین شرح است:
- تعیین ساختار سلسله مراتبی؛

- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری؛
- نرمال‌سازی ماتریس یا تولید رابطه‌ی خاکستری؛
- محاسبه‌ی ضریب خاکستری؛
- محاسبه‌ی درجه‌ی خاکستری؛
- رتبه‌بندی گزینه‌ها.

- تحلیل رابطه‌ی خاکستری - سلسله مراتبی

روش Hierarchy- GRA از دخالت AHP در GRA به دست می‌آید و در این مدل تلفیقی از AHP جهت وزن دهی به معیارها استفاده می‌شود و سپس رتبه‌بندی نهایی توسط روش GRA صورت می‌پذیرد.

روش تلفیقی شامل مراحل زیر است:

۱- استفاده از AHP برای ایجاد ساختار سلسله مراتبی در تعیین مناسب‌ترین گزینه و تعیین وزن معیارهای مختلف در هر ردیف.

۲- استفاده از GRA برای تعیین اهمیت نسبی هر فاکتور در هر ردیف ساختار سلسله مراتبی.

جهت سنجش کارایی روش بالا، از دو روش دیگر آنتروپی شانون و مقدار میانگین جهت تعیین وزن معیارها در روش GRA استفاده شده است [۱، ۴ و ۵].

بخش تجربی

جهت تهیه‌ی فرمولاسیون‌های موردنظر از روش طراحی آزمایش تاگوچی استفاده گردید (جدول‌های ۲ و ۳). مبنای طراحی، فرمولاسیون آمیزه‌ی ترد تایر موتورسیکلت بود که ۴ متغیر (فاکتور) پلیمر، دوده، روغن و گوگرد را در ۳ سطح شامل می‌شد. به منظور کاهش تعداد انجام آزمایش‌ها، مدل ۹ مرحله‌ی این روش انتخاب و در تمامی آمیزه‌ها از مواد شیمیایی مطابق جدول (۱) استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات مواد شیمیایی مورد استفاده

ماده‌ی شیمیایی	میزان مصرف (Phr)
SBR-1502	متغیر
PBR-1220	متغیر
SBR-1712	۳۰
دوده N330	متغیر
فعال کننده‌ی پخت	۷
ضد تخریب کننده	۶
رزین	۵
روغن آروماتیک ۲۹۰	متغیر
شتاب دهنده	۱,۴
گوگرد	متغیر

نتیجه‌ها و بحث:

خواص فیزیکی- مکانیکی اخذ شده از آمیزه‌های تولیدی، به‌عنوان معیارهایی که باید فرایند بهینه‌سازی روی آن‌ها صورت پذیرد در نظر گرفته شد. تمامی معیارهای انتخابی به همراه مقادیر به‌دست‌آمده آن‌ها (طبق روش‌های ASTM) در جدول (۴) قابل مشاهده است. بر اساس مدل GRA و مطابق جدول (۵)، نخست باید میزان مطلوبیت هر یک از معیارها را مشخص کرد و سپس بر اساس معادله‌های استفاده‌شده در این روش مطابق جدول (۶)، مقادیر ضریب خاکستری را برای هر یک از معیارها محاسبه کرد. پس از مشخص شدن ضرایب خاکستری باید برای محاسبه‌ی درجه‌ی خاکستری ابتدا با بهره‌گیری از سه روش یادشده‌ی آنتروپی شانون، فرایند سلسله مراتبی و روش میانگین، وزن هر یک از معیارها را مشخص کرد. جدول (۷) وزن تمامی معیارها برحسب این سه روش را نشان می‌دهد. مطابق این جدول با توجه به "وزن‌های اهمیت" اختصاص داده‌شده به هر معیار، فنی‌ترین مدل جهت وزن دهی، روش AHP است زیرا دربرگیرنده‌ی مقدار مناسبی از هر ویژگی است. هرچند که دو مدل دیگر در شرایطی که هیچ درکی از اهمیت ویژگی‌ها وجود ندارد و یا به نظر طراح تمامی ویژگی‌ها به یک اندازه دارای اهمیت باشد می‌تواند مفید واقع شود.

جدول ۲- متغیرها و سطوح طرح (تمامی اعداد برحسب Phr است)

سطوح	متغیرها				
	گوگرد	روغن آروماتیک ۲۹۰	دوده N330	پلیمرها	
				SBR-1502	PBR-1220
۱	۱,۸	۲۰	۶۰	۵۸	۲۰
۲	۲,۵	۲۵	۷۰	۴۸	۳۰
۳	۳,۲	۳۰	۸۰	۳۸	۴۰

میزان درجه‌ی خاکستری و رتبه‌بندی صورت گرفته بر اساس هر سه روش وزن دهی در جدول (۸) قابل مشاهده است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، آمیزه‌ی (۹) در هر سه روش به‌عنوان اولویت اول انتخاب شده است، ولی در رتبه‌های بعدی فرمولاسیون‌های پیشنهادی با یکدیگر متفاوت است. البته روش آنتروپی شانون یک مدل اصلاح‌شده نیز دارد که در آن نظر خبرگان را به‌عنوان ضریبی در وزن‌های به‌دست آمده لحاظ می‌کند و تا حدودی نتایج را به واقعیت نزدیک‌تر می‌کند، ولی به دلیل این‌که تمایز بین وجود و عدم وجود رأی خبرگان در این مقاله مدنظر بود، از این مدل اصلاح‌شده استفاده نشد.

جدول ۳- طراحی آزمایش بر مبنای روش تاگوچی

شماره‌ی آمیزه	متغیرها		
	گوگرد	روغن	دوده
۱	۱	۱	۱
۲	۲	۲	۱
۳	۳	۳	۱
۴	۳	۲	۱
۵	۱	۳	۲
۶	۲	۱	۳
۷	۲	۳	۱
۸	۳	۱	۲
۹	۱	۲	۳

جدول ۴- مقادیر معیارها به تفکیک هر آمیزه

شماره آمیزه	استحکام کششی	ازدیاد در نقطه پارگی	استحکام پارگی	سختی	سایش	جهندگی	وزن مخصوص	خمش به روش دی متیا
	Kg/cm ²	%	Kg/cm	Shore-A	mm ³	%	-	cycle
۱	۱۶۴	۶۶۵	۲۶	۵۲	۹۹	۲۶	۱,۱۳	۶۰,۶۶۷
۲	۱۵۸	۵۰۰	۲۷	۵۷	۷۹	۲۴	۱,۱۵	۱۹,۳۳۳
۳	۱۴۳	۳۹۰	۲۵	۶۳	۹۳	۱۸	۱,۱۶	۱۰,۶۶۷
۴	۱۲۸	۴۰۰	۱۸	۵۹	۷۹	۲۷	۱,۱۳	۳۷,۰۰۰
۵	۱۷۲	۶۷۰	۳۰	۵۳	۱۱۲	۲۱	۱,۱۴	۶۵,۰۰۰
۶	۱۸۰	۴۲۰	۲۵	۶۵	۶۵	۱۹	۱,۱۷	۶,۶۶۰
۷	۱۴۳	۵۲۰	۲۲	۵۳	۱۰۸	۲۵	۱,۱۳	۵۱,۰۰۰
۸	۱۶۳	۳۶۰	۱۹	۶۲	۶۹	۲۵	۱,۱۶	۳۳,۳۰۰
۹	۱۷۶	۵۸۰	۳۰	۵۹	۵۵	۱۹	۱,۱۷	۱۰۰,۰۰۰

جدول ۵- جدول میزان و نوع مطلوبیت معیارها

مقدار هدف	میزان مطلوبیت	خواص
۱۸۰	هرچه بیشتر بهتر	استحکام کششی (Kg/cm ²)
۳۰		استحکام پارگی (Kg/cm)
۱۰۰,۰۰۰		خمش دی متیا (cycle)
۵۵	هرچه کمتر بهتر	سایش (mm ³)
۱,۱۳		وزن مخصوص
۵۰۰	هرچه به مقدار هدف نزدیک تر بهتر	ازدیاد طول در نقطه پارگی (%)
۶۲		سختی (Shore-A)
۲۰		جهندگی (%)

جدول ۶- ضرایب خاکستری معیارها به تفکیک هر آمیزه

شماره آمیزه	استحکام کششی	ازدیاد در نقطه پارگی	استحکام پارگی	سختی	سایش	جهندگی	وزن مخصوص	خمش به روش دی متیا
	Kg/cm ²	%	Kg/cm	Shore-A	mm ³	%	-	cycle
۱	۰,۷۶۵	۰,۵۰۷	۰,۷۵۰	۰,۵۰۰	۰,۵۶۴	۰,۶۱۵	۱,۰۰	۰,۷۰۴
۲	۰,۷۰۳	۱,۰۰	۰,۸۰۰	۰,۶۶۷	۰,۷۰۴	۰,۷۲۷	۰,۶۶۷	۰,۵۳۶
۳	۰,۵۸۴	۰,۶۰۷	۰,۷۰۶	۰,۹۰۹	۰,۶۰۰	۰,۸۸۹	۰,۵۷۱	۰,۵۱۱
۴	۰,۵۰۰	۰,۶۳۰	۰,۵۰۰	۰,۷۶۹	۰,۷۰۴	۰,۵۷۱	۱,۰۰	۰,۵۹۷
۵	۰,۸۶۷	۰,۵۰۰	۱,۰۰	۰,۵۲۶	۰,۵۰۰	۱,۰۰	۰,۸۰۰	۰,۷۲۷
۶	۱,۰۰	۰,۶۸۰	۰,۷۰۶	۰,۷۶۹	۰,۸۵۱	۱,۰۰	۰,۵۰۰	۰,۵۰۰
۷	۰,۵۸۴	۰,۸۹۵	۰,۶۰۰	۰,۵۲۶	۰,۵۱۸	۰,۶۶۷	۱,۰۰	۰,۶۵۶
۸	۰,۷۵۴	۰,۵۴۸	۰,۵۲۲	۱,۰۰	۰,۸۰۳	۰,۶۶۷	۰,۵۷۱	۰,۵۸۳
۹	۰,۹۲۹	۰,۶۸۰	۱,۰۰	۰,۷۶۹	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۵۰۰	۱,۰۰

جدول ۷- وزن معیارها (برحسب درصد)

روش وزن دهی	استحکام کششی	ازدیاد طول در نقطه‌ی پارگی	استحکام پارگی	سختی	سایش	جهندگی	وزن مخصوص	خمش دی متیا
Shannon Entropy	۱,۷۶	۷,۸۶	۴,۴۸	۰,۹۵	۸,۰۲	۳,۳۳	۰,۰۳	۷۳,۵۷
AHP	۲۵,۹۰	۱۴,۸۲	۹,۳۲	۶,۲۶	۲۷,۹۱	۳,۱۰	۱,۷۰	۱۰,۹۹
Average	۱۲,۵۰	۱۲,۵۰	۱۲,۵۰	۱۲,۵۰	۱۲,۵۰	۱۲,۵۰	۱۲,۵۰	۱۲,۵۰

جدول ۸- مقادیر درجه‌ی خاکستری و اولویت‌بندی آمیزه‌ها

(هرچه عدد بیشتر بهتر)

اولویت	Shannon Entropy		AHP		Average	
	شماره‌ی آمیزه	G	شماره‌ی آمیزه	G	شماره‌ی آمیزه	G
۱	۹	۰,۹۷۱	۹	۰,۹۱۱	۹	۰,۸۶۰
۲	۵	۰,۷۱۳	۶	۰,۸۰۶	۶	۰,۷۵۱
۳	۱	۰,۶۷۵	۲	۰,۷۳۶	۲	۰,۷۴۰
۴	۷	۰,۶۵۹	۸	۰,۷۰۶	۸	۰,۷۲۵
۵	۲	۰,۶۰۹	۵	۰,۶۸۹	۵	۰,۶۸۱
۶	۸	۰,۶۰۵	۱	۰,۶۴۵	۱	۰,۶۸۱
۷	۴	۰,۶۰۳	۷	۰,۶۲۷	۷	۰,۶۷۶
۸	۶	۰,۵۸۰	۳	۰,۶۲۵	۳	۰,۶۷۲
۹	۳	۰,۵۵۲	۴	۰,۶۱۴	۴	۰,۶۵۹

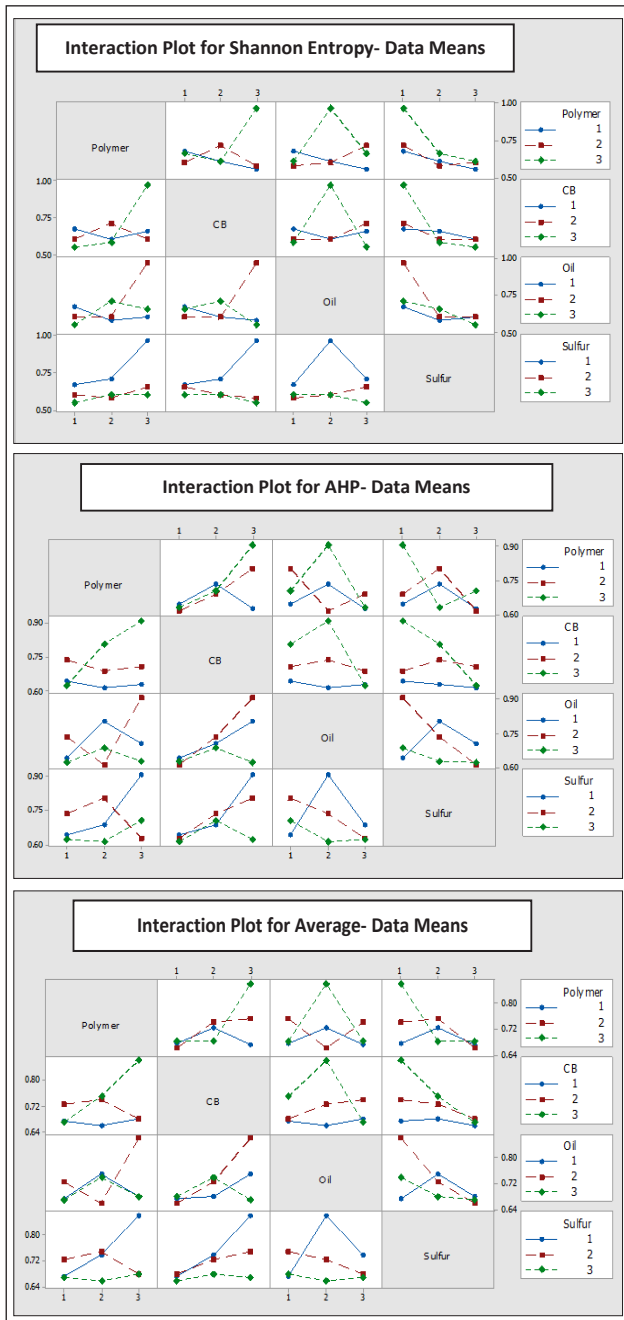
اثرهای اصلی فاکتورها، و نمودار (۲) برهمکنش فاکتورها برای نسبت‌های S/N طبق سه روش AHP، آنتروپی شانون و میانگین را نشان می‌دهد.

جدول ۹- پاسخ درجه‌ی خاکستری برای نسبت Signal به Noise

روش وزن دهی	سطح	پلیمر	دوده	روغن	گوگرد
Shannon Entropy	۱	-۴,۲۹۴	-۳,۸۰۹	-۴,۱۷۱	-۲,۲۰۰
	۲	-۴,۰۲۳	-۳,۸۷۱	-۲,۹۸۷	-۴,۲۲۵
	۳	-۲,۷۴۶	-۳,۳۸۴	-۳,۹۰۷	-۴,۶۳۹
	تفاضل	۱,۵۴۸	۰,۴۸۷	۱,۱۸۴	۲,۴۳۹
	رتبه	۲	۴	۳	۱
AHP	۱	-۳,۵۱۸	-۴,۰۳	-۲,۹۰۱	-۲,۶۱۷
	۲	-۳,۱۱۶	-۲,۹۷۵	-۲,۵۶۹	-۲,۸۶۵
	۳	-۲,۶۲۷	-۲,۲۵۷	-۳,۷۹۲	-۳,۷۷۹
	تفاضل	۰,۸۹	۱,۷۷۳	۱,۲۲۳	۱,۱۶۲
	رتبه	۴	۱	۲	۳
Average	۱	-۳,۲۱۴	-۳,۴۵۶	-۳,۰۷۸	-۲,۴۴۴
	۲	-۲,۹۱۰	-۲,۹۱۳	-۲,۵۷۵	-۲,۸۷۳
	۳	-۲,۶۶۳	-۲,۴۱۸	-۳,۱۳۵	-۳,۴۷۰
	تفاضل	۰,۵۵۱	۱,۰۳۹	۰,۵۶۰	۱,۰۲۶
	رتبه	۴	۱	۳	۲

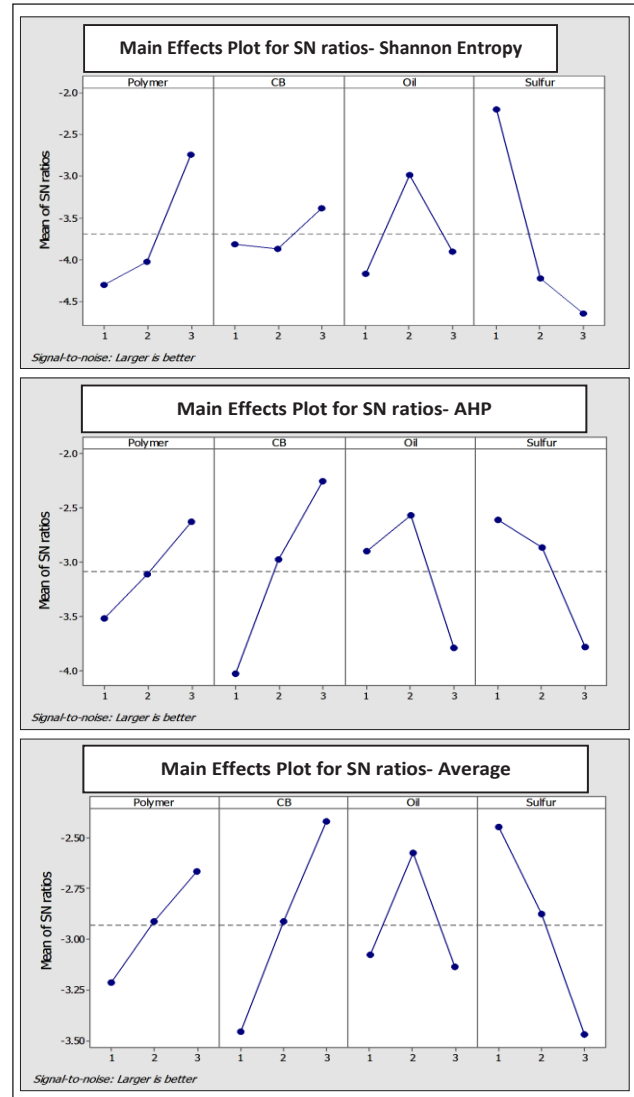
مطابق نتایج آمده در جدول (۹) که حاصل بهره‌گیری از نرم‌افزار Minitab جهت محاسبه‌ی پاسخ درجه‌ی خاکستری برای نسبت Signal به Noise به متغیرهای موجود در فرمولاسیون‌های آزمایشی است، میزان درجه‌ی اهمیت هر متغیر با توجه به روش وزن دهی آن مشخص شده است. هرچه میزان تفاضل نسبت S/N بیشتر باشد میزان تأثیر آن متغیر روی درجه‌ی خاکستری بیشتر و در نتیجه در رتبه‌بندی دارای مرتبه‌ی بالاتری خواهد بود. بر این اساس، در روش وزن دهی آنتروپی شانون، گوگرد و مطابق روش‌های AHP و میانگین، دوده به‌عنوان اثرگذارترین متغیر انتخاب شد. نمودار (۱)

با توجه به مقادیر S/N کسب‌شده (مربوط به درجه‌ی خاکستری) در مجموعه‌ی آزمایش‌ها در روش‌های مختلف وزن دهی، نرم‌افزار Minitab سطوح پیش نهایی خود را مطابق جدول ۱۰ ارائه کرد.



نمودار ۲- نمودار برهمکنش فاکتورها برای نسبت‌های S/N طبق سه روش AHP، آنتروپی شانون و میانگین

نمودار (۳) که نتیجه‌ی محاسبه‌ی اختلاف مقادیر S/N مربوط به درجه‌ی خاکستری متغیرهای موجود در فرمولاسیون‌های



نمودار ۱- نمودار اثرهای اصلی فاکتورها برای نسبت‌های S/N طبق سه روش AHP، آنتروپی شانون و میانگین

جدول ۱۰- فرمولاسیون پیشنهادی با توجه به روش‌های وزن دهی مختلف

سطح				روش وزن دهی
گوگرد	روغن	دوده	پلیمر	
۱	۲	۳	۳	Shannon Entropy
۱	۲	۳	۳	AHP
۱	۲	۳	۳	Average

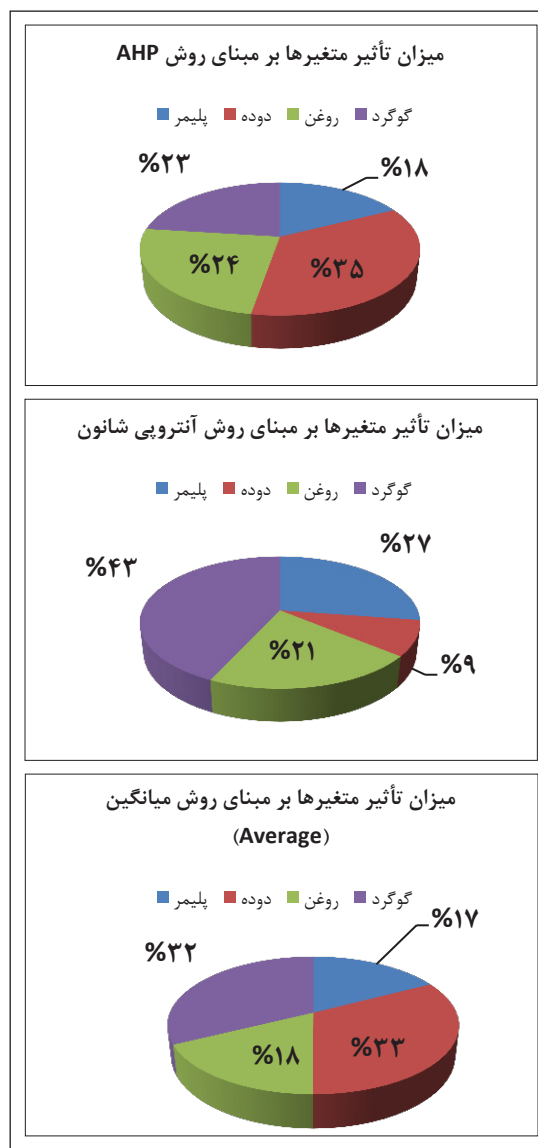
نتیجه‌گیری

به‌منظور بهینه‌سازی چند معیاری آمیزه‌ی رویه‌ی تایر موتورسیکلت بر مبنای مدل تلفیقی تحلیل رابطه‌ی خاکستری-سلسله مراتبی^(۱) و بررسی همزمان چندین ویژگی آمیزه و انتخاب بهترین فرمولاسیون که دربرگیرنده‌ی ایده‌آل‌ترین مجموعه خواص است، این پژوهش صورت گرفته است. با توجه به استفاده از روش‌های مختلف وزن دهی در تلفیق با روش GRA می‌توان نتیجه گرفت که بهترین و دقیق‌ترین مدل که دقیقاً منطبق با نظر خبرگان طراحی فرمولاسیون باشد، روش وزن دهی AHP است؛ هرچند که روش‌های دیگر نیز می‌تواند در برخی موارد سودمند باشد. بدیهی‌ست بر اساس مدل تلفیقی تحلیل رابطه‌ی خاکستری-سلسله مراتبی استفاده‌شده در این مقاله، طراحان این نوع آمیزه‌ها باید هدف خود را روی طراحی فاکتورهای همچون دوده که درصد تأثیر بیشتری روی مقدار درجه‌ی خاکستری دارد معطوف نمایند.

مراجع

- ۱- حاتمی فرزاد، بهروش محمد، نخعی آغمیونی مارال (۱۳۹۲). کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مدیریت پروژه، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۲.
- ۲- اصغری‌پور محمدجواد (۱۳۷۷). تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
3. Alexi Delgado, I. Romero, Environmental conflict analysis using an integrated grey clustering and entropy-weight method: A case study of a mining project in Peru, Environmental Modelling & Software 77 (2016) 108 – 121.

آزمایشی است، نشان‌دهنده‌ی اولویت‌بندی درصد تأثیر هر یک از متغیرها بر فرایند بهینه‌سازی و مقدار درجه‌ی خاکستری‌ست. مطابق نتایج به‌دست آمده، بیشترین میزان تأثیر بر مبنای مدل سلسله مراتبی متعلق به دوده به میزان ۳۵٪ و رتبه‌های بعدی به ترتیب مربوط به روغن به میزان ۲۴٪، گوگرد به میزان ۲۳٪، و پلیمر به میزان ۱۸٪ است.



نمودار ۳- میزان تأثیر متغیرها روی درجه‌ی خاکستری طبق سه روش AHP، آنتروپی شانون و میانگین

4. Firoozeh Salardini, An AHP-GRA method for asset allocation: A case study of investment firms on Tehran Stock Exchange, *Decision Science Letters* 2 (2013) 275–280.
5. Yan Wang, Chengyu Xi, Shuai Zhang, Dejian Yu, Wenyu Zhang, and Yong Li, A Combination of Extended Fuzzy AHP and Fuzzy GRA for Government E-Tendering in Hybrid Fuzzy Environment, *The Scientific World Journal* 2014 (2014).
6. Zulfiqar Ali Raza, Naseer Ahmad, Shahid Kamal, Multi-response optimization of rhamnolipid production using grey relational analysis in Taguchi method, *Biotechnology Report* 3 (2014) 86-94.
7. Şefika Kasman, Multi-response optimization using the Taguchi-based grey relational analysis: a case study for dissimilar friction stir butt welding of AA6082-T6/AA5754-H111, *Int J Adv Manuf Technol* (2013) 68:795–804.
8. Surendra Kumar Sainia, Sharad Kumar Pradhanb, Optimization of Multi-Objective Response during CNC Turning using Taguchi-Fuzzy Application, *Procedia Engineering* 97 (2014) 141 – 149.
9. T. Muthuramalingam, B. Mohan, Application of Taguchi-grey multi responses optimization on process parameters in electro erosion, *Measurement* 58 (2014) 495 – 502.
- ۱۰- میرغفوری سید حبیب اله، مروتی شریفآبادی علی، اسدیان اربکانی فائزه (۱۳۹۱). تحلیلی بر ریسک‌های تأمین‌کنندگان در زنجیره‌ی تأمین با رویکرد ترکیبی تحلیل رابطه‌ی خاکستری و VIKOR فازی، *مجله مدیریت صنعتی*، دوره ۴، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۱، صص ۱۵۳-۱۷۸.
11. Zulfiqar Ali Raza, Naseer Ahmad, Shahid Kamal, Multi-response optimization of rhamnolipid production using grey rational analysis in Taguchi method, *Biotechnology Reports* 3 (2014) 86–94.

M

ulti-criteria Optimization of Motorcycle Tire Tread Compound Based on AHP-GRA Combined Model

H. Roshanaei*

Research and Development, Iran Yasa Tire and Rubber Company

*Corresponding author Email: Roshanaei.hossein@gmail.com

Received: July 2017, Accepted: September 2017

Abstract: In this paper, multi-criteria optimization of motorcycle tire tread compound based on AHP-GRA (Analytical Hierarchy Process – Grey Relational Analysis) model has been accomplished. This model has been used in order to simultaneously investigate several properties of rubber blends and choosing the best formulation involving the most ideal properties. In this study, according to Taguchi experimental design method, nine formulations have been designed and grey analysis method has been used for ranking. To determine weight importance of each property for ranking, Shannon entropy, hierarchy process and weighted average techniques were employed. Afterwards, all of the obtained outputs were compared. Although AHP is the most technically method, all three mentioned models have reached to a type of formulation as the best mode.

Keywords: Multi-criteria optimization, AHP-GRA, Shannon entropy, Taguchi method.