

## کائوچوهای مهندسی در تولید فرآورده‌های ماسک

# E

## ngineering Elastomers Used in Gas Mask Production

### چکیده:

در پژوهش حاضر و با توجه به اثرهای معنادار نوع کائوچوی مورد استفاده بر ویژگی‌های کیفی و عملکردی فرآورده‌های ماسک محافظ، به‌ویژه طول عمر انبارداری فرآورده، به ارزیابی مقایسه‌ای کائوچوهای مهندسی به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای طراحی در فرمول‌بندی آمیزه‌های لاستیکی مورد نیاز پرداخته شده است. برای این منظور، با استخراج ۱۳ معیار ارزیابی (شامل هشت معیار فنی، دو معیار اقتصادی و سه معیار مشعوف‌ساز)، ماتریس ارزیابی و نمودار رادار متغیرها، تشکیل و با تعیین شاخص جذابیت هر گروه از این معیارها، به غربال کائوچوهای مورد استفاده در فرآورده‌های ماسک دنیا پرداخته شده است. بر پایه‌ی دانش و تجربه‌های تولیدکننده‌ی فرآورده‌های ماسک، شاخص جذابیت معیارهای فنی، اقتصادی و مشعوف‌ساز به‌ترتیب برابر با ۶۰٪، ۳۰٪ و ۱۰٪ تعیین شد. ارزیابی فنی کائوچوهای موجود، بیانگر پتانسیل یکسان کاربرد تمامی کائوچوهای مورد بررسی است. اگرچه، توجه هم‌زمان به ملاحظه‌های فنی و اقتصادی تولید ماسک در داخل کشور، بیانگر آن است که جذابیت کاربرد کائوچوهای مورد بررسی، از ترتیب پلی‌ایزوپرن (کائوچوی طبیعی)، کلروپرن، اتیلن‌پروپیلن‌دی‌ان، پلی‌ایزوبوتیلن، پلی‌سیلوکسان و آکریلونیتریل‌بوتادین پیروی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: کائوچوهای مهندسی، غربال‌گری، ماسک محافظ، معیارهای ارزیابی، نمودار رادار.

### نوع مقاله: پژوهشی

عباس محمدی<sup>۱</sup> و یاسر امانی

شرکت بعثت

\* عهده دار مکاتبات:

Mohammadi.abs@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۲۴

تاریخ بازنگری: ۹۸/۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۲۵

موردها، قطعه‌ی بندسرنگه‌دارنده<sup>(۲)</sup>، به‌دلیل

### مقدمه

حساسیت فرسایشی بالاتر نسبت به شرایط

انبارش، قطعات محدودکننده‌ی طول عمر

انبارداری فرآورده محسوب می‌شود. با

توجه به اهمیت بالای عملیات انبارش در

چرخه‌ی تولید و مصرف این دسته از

فرآورده‌ها و همچنین نتیجه‌های به‌دست آمده

فرآورده‌های ماسک محافظ عموماً متشکل

از سه گروه کلی از قطعات (شامل قطعات

لاستیکی، پلاستیکی و فلزی) است که در

این‌میلن، قطعات لاستیکی (مانند بیافراگم‌های

دم و بازدم<sup>(۱)</sup>، بیافراگم بخارگیر<sup>(۲)</sup>، قطعه‌ی

دهانی<sup>(۳)</sup>، قطعه‌ی صورتی<sup>(۴)</sup> و در برخی از

1. Inhalation/ Exhalation valves

2. Interior anti-fog valve disk

3. Nosecup

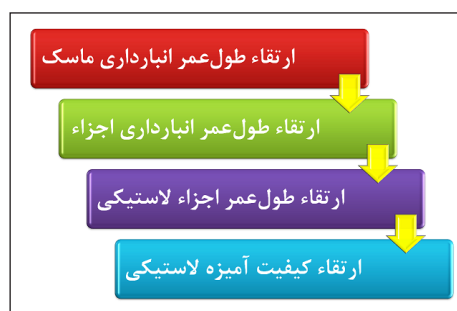
4. Facepiece

5. Head harness

کلر، آمونیاک، سولفید هیدروژن؛ بخارهای هیدروکربنی، مانند سیکلوگزن؛ بخار حلال‌های آلی، مانند انواع تینرها و رقیق‌سازها و سایر موردهای مشابه، مورد استفاده قرار گرفته می‌شود.

(ب) به دلیل تفاوت در ماهیت شیمیایی ساختار مولکولی هر یک از این کائوچوها (نظیر وجود یا عدم وجود پیوندهای غیراشباع) و همچنین تفاوت در کیفیت فرمول‌بندی آن‌ها، آمیزه‌های گوناگون به دست آمده نیز دارای رفتارهای به نسبت متفاوتی در برابر پدیده انحلال - نفوذ<sup>(۷)</sup> گازها خواهند بود. در بیشتر موردها، به منظور بررسی این پدیده در پلیمرها، به مطالعه مقدار تراوایی (نفوذپذیری)<sup>(۸)</sup> گازهایی با اتم‌های کوچک، مانند گازهای نیتروژن و اکسیژن پرداخته می‌شود. در جدول (۲) به مقایسه مقدار تراوایی گاز نیتروژن در هر یک از پایه‌های لاستیک‌های مورد بررسی، پرداخته شده است [۲]. نکته قابل توجه در این مورد آن است که با وجود تفاوت محسوس در مقدار تراوایی گاز معیار نیتروژن در لاستیک‌های گوناگون، به دلیل ضخامت قابل توجه قطعات لاستیکی فرآورده‌های ماسک (به طور معمول بیش از ۱/۴ میلی‌متر)، مقدار مقاومت آن‌ها در برابر نفوذ گازهای گوناگون، در تمامی لاستیک‌های مورد بررسی، قابل قبول است. ضخامت‌های مورد استفاده تا حدیست که افزون بر چالش گاز-گاز (اعمال فازهای گازی در بالادست و پایین دست صفحه‌ی لاستیکی در حین آزمون)<sup>(۹)</sup>، قطعات لاستیکی موجود در برابر چالش‌های سخت‌تری چون چالش‌های مایع-گاز (اعمال فاز مایع در بالادست و فاز گاز در پایین دست صفحه‌ی لاستیکی در حین آزمون)<sup>(۱۰)</sup> و مایع-مایع (اعمال فازهای مایع در بالادست و پایین دست صفحه‌ی لاستیکی در حین آزمون)<sup>(۱۱)</sup> نیز به خوبی مقاومت مورد انتظار را از خود به نمایش می‌گذارند. در نتیجه، همان‌گونه که در جدول (۱) نیز مشاهده شد، تمامی پایه‌ی کائوچوهای مورد بررسی از این نظر قابل قبول بوده و در توسعه‌ی فرآورده‌های ماسک گوناگون، مورد استفاده قرار گرفته شده است.

از نمونه‌برداری فرآورده‌های دهه‌های اخیر، مشاهده شد که کیفیت فرمول‌بندی آمیزه‌ی لاستیکی مورد استفاده در تولید ماسک (به ویژه نوع و گونه‌ی<sup>(۱)</sup> کائوچوی پایه‌ی مورد استفاده در فرمول‌بندی آمیزه)، گلوگاه اصلی در تولید قطعه‌ی لاستیکی با طول عمر انبارداری مطلوب است. از این رو، فرایند دستیابی به فرآورده‌ی ماسکی با طول عمر انبارداری بالا، به صورت شکل (۱) قابل جمع‌بندی است. در این راستا، پژوهش حاضر به غربالگری شش گروه اصلی از لاستیک‌های قابل استفاده به منظور دستیابی به فرآورده‌ی ماسکی با یک طول عمر انبارداری مطلوب در کشور پرداخته است.



شکل ۱- فرایند ارتقای طول عمر انبارداری فرآورده‌های ماسک محافظ

### متغیرهای طراحی فرمول‌بندی

در گام نخست، به تعیین رایج‌ترین کائوچوهای پایه‌ی مورد استفاده در فرآورده‌های ماسک موجود در دنیا، به عنوان مهم‌ترین متغیرهای موجود در طراحی فرمول‌بندی آمیزه‌ی لاستیکی مورد نیاز پرداخته شد. نتیجه‌های به دست آمده از این بخش، در جدول (۱) آمده است [۲ و ۱]. از این رو، مهم‌ترین متغیرهای طراحی موجود عبارت است از کائوچویی طبیعی، کلروپرن، هالوبیوتیل‌ها (مانند بروموبیوتیل)، کائوچوهای نیتریلی، سیلیکون، اتیلن پروپیلن دی‌ان و فرمول‌بندی‌های ویژه به دست آمده از ترکیب آن‌ها.

در این‌جا، اشاره به پنج نکته‌ی زیر ضروری است. (الف) ماسک‌های محافظ مورد بررسی در این پژوهش، به منظور ایجاد حفاظت فیزی در برابر گازهای صنعتی، مانند گازهای

1. Grade 2. Solution- Diffusion 3. Permeability 4. Vapor challenge/vapor permeation (V/V challenge)  
5. Liquid challenge/vapor permeation (L/V challenge) 6. Liquid challenge/liquid permeation (L/L challenge)

جدول ۱- کائوچوهای پایه‌ی مورد استفاده در تولید فراورده‌های ماسک دنیا (متغیرهای طراحی فرمول‌بندی) [۱ و ۲]

نام فراورده	پایه‌ی پلیمری آمیزه‌ی لاستیکی مورد استفاده	طول عمر انبارداری
ماسک BIC-Panorama	مخلوطی از کائوچوی طبیعی و کائوچوی کلروپرن	۸ سال
ماسک CT12	کائوچوی Butyl ناتراوا	۷-۱۰ سال
ماسک FM12	کائوچوی Butyl ناتراوا	۷-۱۰ سال
ماسک SF10	کائوچوی Butyl ناتراوا	۷-۱۰ سال
ماسک Adv. 1000 CBA/RCA	مخلوطی نیمه‌تراوا از کائوچوی‌های طبیعی و نیتریلی*	نامحدود**
ماسک Millennium CB	مخلوطی نیمه‌تراوا از کائوچوی‌های طبیعی و نیتریلی	نامحدود**
ماسک Phalanx CBA/RCA	مخلوطی از کائوچوی‌های طبیعی و مصنوعی*	نامحدود**
ماسک MCU-2A/P و MCU-2/P	کائوچوی سیلیکون	نامحدود
ماسک Ultra Elite	کائوچوی نرم سیاه‌رنگ Hycar*	بیش از ۱۵ سال
ماسک 4A1	فرمول‌بندی ویژه از کائوچوی ناتراوا	۲۰ سال
ماسک M15-A30	فرمول‌بندی ویژه از کائوچوی ناتراوا	۲۰ سال
ماسک Opti-Fit™	کائوچوی Butyl	بیش از ۱۵ سال
ماسک CDR 4500	موجود در دو حالت کائوچوی EPDM و یا کائوچوی سیلیکونی	بیش از ۱۰ سال
ماسک M110	قطعه‌ی صورتی از کائوچوی Halo-Butyl و قطعه دهانی از سیلیکون	۷ سال***
ماسک C4	کائوچوی Bromobutyl ناتراوا	بیش از ۱۰ سال
ماسک M95	قطعه‌ی صورتی از کائوچوی Halo-Butyl و قطعه دهانی از سیلیکون	۲۰ سال

\* فرمول‌بندی ویژه از کائوچوی طبیعی و کائوچوهای مصنوعی به‌فرم آمیزه‌ی فوق‌نرم Hycar؛

\*\* در صورت مناسب بودن شرایط انبارش؛

\*\*\* در بسته‌بندی اصلی فراورده

جدول ۲- مقدار تراوایی (نفونپذیری) گازهای شیمیایی در پایه‌های کائوچویی مورد مطالعه [۳]

معیار ارزیابی	کائوچوی طبیعی <sup>(۱)</sup>				
	پلی‌ایزوپرن <sup>(۲)</sup>	پلی‌کلروپرن	پلی‌ایزوبوتیلن	بیوتیل	نیتریل
	NR <sup>(۳)</sup>	CR	IIR	NBR	Q
ضریب تراوایی گاز نیتروژن (۱۰ <sup>-۸</sup> ) cm <sup>2</sup> /(sec.atm)	۶،۱۲	۰،۸۹	۰،۲۵	۰،۳۱	۲۰۰
					۶،۴۰

۱- نام معمول؛ ۲- نام شیمیایی؛ ۳- علامت اختصاری.

نقش مهمتری را در مقایسه با سایر اجزای موجود در آمیزه، داراست [۴].

### معیارهای غربالگری

در تعیین مهم‌ترین معیارهای ارزیابی (غربالگری) پایه‌های کائوچویی و به‌منظور حذف احتمال هرگونه قلم‌افتادگی در معیار موردنیاز ارزیابی، موردهای زیر موردتوجه قرار گرفته شد. (۱) شناسایی و انتخاب معیارهای مرتبط با ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی و ویژگی‌های کیفی و عملکردی ماسک؛ (۲) شناسایی و انتخاب معیارهای مرتبط با مقدار سهولت دسترسی و قیمت تمام شده‌ی آمیزه‌ی لاستیکی در تولید تجاری ماسک؛ (۳) شناسایی و انتخاب معیارهای مرتبط با تغییرات یا بهبودهای محتمل فرآورده در آینده و (۴) اهمیت نسبی مجموعه معیارهای استخراج شده از بندهای بالا.

در پژوهش حاضر و به‌منظور دستیابی به فرآورده‌ی ماسکی با طول عمر انبارداری مطلوب، هشت معیار ارزیابی مبتنی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آمیزه و ویژگی‌های کیفی و عملکردی فرآورده‌ی نهایی، به‌صورت (۱) مقاومت ازونی، (۲) مقاومت در برابر شرایط جوئی، (۳) کشامد در نقطه‌ی پارگی، (۴) جهندگی، (۵) مانایی فشاری، (۶) استحکام کششی، (۷) مقدار سختی و (۸) مقاومت پارگی، استخراج و انتخاب شد. همچنین، با توجه به ملاحظه‌های روند تأمین مواد اولیه‌ی موردنیاز از بازارهای جهانی، دو معیار ارزیابی (۱) مقدار و سهولت دسترسی و (۲) قیمت نسبی لاستیک به‌عنوان شاخصه‌های اقتصادی فرایند غربالگری انتخاب شد. در نهایت، سه معیار (۱) سبکی، (۲) رنگ‌پذیری و (۳) پایداری رنگ نیز به‌عنوان مهم‌ترین موردهای مرتبط با تغییر و بهبود احتمالی فرآورده در آینده، مدنظر قرار گرفته شد. در این مورد، اشاره به سه نکته‌ی زیر مناسب است.

(الف) یکی از مهم‌ترین معیارهای غربالگری پایه‌های کائوچویی

(ج) در برخی از موردها، به‌منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی و عملکردی قطعات لاستیکی فرآورده و یا کاهش هزینه‌های تولید، در مرحله‌ی فرمول‌بندی آمیزه‌ی لاستیکی به ترکیب پایه‌های کائوچویی گوناگون پرداخته می‌شود. برای این منظور می‌توان به ترکیب کردن کلروپرن با کائوچوی طبیعی به‌منظور افزایش مقاومت اوزنی و یا بهبود مقاومت در برابر شرایط جوئی آن و یا افزایش سایر پایه‌های کائوچویی به هالوبیوتیل‌ها به‌منظور رفع دشواری‌های احتمالی ناشی از پخت ضعیف و کند آن‌ها اشاره کرد. لازم به ذکر است که ترکیب پایه‌های کائوچویی گوناگون، منجر به بهبود مقدار مقاومت آن‌ها در برابر نفوذ گازهای گوناگون نیز خواهد شد. این امر نیز دوباره تأییدکننده‌ی نتیجه‌ی نام برده شده در بند بالاست.

(د) با توجه به مطلب‌های بالا در بندهای (ب) و (ج) می‌توان چنین نتیجه گرفت که مهم‌ترین دلیل تنوع در پایه‌ی کائوچوهای مورداستفاده در فرآورده‌های ماسک گوناگون، عبارت است از ملاحظه‌های اقتصادی حاکم بر تولید فرآورده؛ به‌نحوی‌که تولیدکنندگان گوناگون با توجه به قیمت و مقدار سهولت دسترسی به پایه‌ی کائوچوها و همچنین تجربه‌های خود در حوزه‌ی فرمول‌بندی آمیزه‌ی آن‌ها، به انتخاب کائوچویی با بالاترین پتانسیل اقتصادی پرداخته‌اند. همان‌گونه که در بخش (۱) نیز اشاره شد، این امر یکی از هدف‌های اصلی پژوهش حاضر به‌منظور انتخاب بهترین پایه‌ی کائوچو در تولید بومی و اقتصادی فرآورده‌ی ماسک محافظ در داخل کشور است.

(ه) طول عمر انبارداری آمیزه، علاوه بر نوع و گونه‌ی کائوچوی مورداستفاده، تابعی از دانش فرمول‌بندی، کیفیت اختلاط اجزاء و در نهایت، نوع و گونه‌ی سایر افزودنی‌های آمیزه مانند عامل‌های پخت، روان‌کننده‌ها، نرم‌کننده‌ها، شتاب‌دهنده‌ها، ضداکسندها، ضدآزون‌ها، پایدارکننده‌ها، تقویت‌کننده‌ها و غیره نیز است. اگرچه تجربه‌های موجود بیانگر آن است که در این میان، نوع، گونه و کیفیت پایه‌ی کائوچوی مورداستفاده

تولید ماسک و همچنین سهم قابل توجه مناطق گرمسیری در گستره‌ی ارضی کشور، توجه به تولید فراورده‌هایی با رنگ روشن (مانند سبز و کرم) می‌تواند از طریق کاهش جذب تشعشعات گرمایی خورشید و مقدار تعرق فرد، منجر به افزایش در قابلیت‌های عملیاتی کاربران و سهولت کاربری فراورده شود. این امر در محیط‌های صنعتی که به‌طور معمول شامل تجهیزات گرم‌زاست، از اهمیتی دوچندان برخوردارست. در فرایند غربال‌گری مبتنی بر معیارهای سیزده‌گانه‌ی بالا، هشت معیار نخست (معیارهای اکتساب دانش فنی طراحی فرمول‌بندی آمیزه‌ای با طول‌عمر مطلوب) دارای بالاترین سطح اولویت (یا جذابیت) با وزن نسبی ۶۰٪، معیارهای ۹ و ۱۰ (معیارهای اقتصادی) با اولویت درجه‌ی دوم با وزن نسبی ۳۰٪ و معیارهای ۱۱ الی ۱۳ (معیارهای مشعوف‌ساز)، با اولویت درجه‌ی سوم و وزن نسبی ۱۰٪، منظور شد. اختصاص یافتن وزن نسبی هر یک از این معیارها، از راه خبرگی و بر پایه‌ی دانش طراحی، تولید و آزمون فراورده‌های ماسک محافظ در شرکت بعثت صورت پذیرفته است. لازم به ذکرست که شرکت بعثت نخستین و تنها تولیدکننده‌ی فراورده‌های ماسک محافظ در کشور بوده و گروه طراحی و پژوهشی این شرکت، از تجربه‌های ارزشمندی در توسعه‌ی فراورده‌های ماسک تمام‌صورت<sup>(۱)</sup> و نیمه‌ماسک‌ها<sup>(۲)</sup> برخوردارست. وزن‌های اختصاص یافته‌ی نام‌برده شده، میانگین مقدارهای به‌دست آمده از نظرسنجی کمیته‌ی ۸ نفر از کارشناسان خبره‌ی این حوزه است. همچنین، نظرهای کاربران نهایی فراورده (به‌ویژه در مورد معیارهای مشعوف‌ساز)، نیز مدنظر قرار گرفته شده است.

### نتیجه‌ها و بحث

#### توسعه‌ی ماتریس ارزیابی

پس از استخراج معیارهای ارزیابی (غربال‌گری) کائوچوها و تعیین وزن (یا جذابیت) نسبی هر یک از آن‌ها در دستیابی به

در تولید فراورده‌های ماسک محافظ عبارت است مقدار مقاومت هر پایه در برابر نفوذ گازها و بخارهای موجود در معرض فراورده. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، این شاخص در میان معیار ارزیابی مورب‌بررسی، انتخاب نشده است. مهم‌ترین دلیل این امر، آن است که تمامی پایه‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر، از میان پایه‌های کائوچویی متداول در تولید فراورده‌های ماسک دنیا انتخاب شده است. همان‌گونه که در بخش (۲) نیز به تفصیل تشریح شد، تمامی پایه‌های منتخب ارض‌کننده‌ی این معیار بوده و اعمال یا حذف آن در ماتریس ارزیابی، بی‌تأثیر خواهد بود.

(ب) در میان قطعات لاستیکی ماسک، قطعه‌ی صورتی به‌عنوان بدنه‌ی اصلی فراورده و با دارا بودن سهم به‌تقریب ۶۵ درصدی از وزن کل فراورده، از بالاترین درجه‌ی اهمیت در مورد وزن فراورده برخوردارست. افزون بر این قطعه، اجزای دیگری چون قطعه‌ی دهانی و در بیشتر موارد، بندهای نگه‌دارنده نیز از جنس لاستیک هستند. در نتیجه، دستیابی به فرمول‌بندی آمیزه‌ای با طول‌عمر مطلوب و وزن کم، تا حد بسیاری می‌تواند به سبک‌سازی فراورده‌ی ماسک و ارتقای قابلیت‌های عملیاتی کاربر کمک کند. ملاحظه‌های آگونومیکی کاربری این دسته از فراورده‌ها (ناشی از وزن وارده بر گردن کاربر) به‌خوبی نشانگر اهمیت توجه کامل به بهینه‌سازی وزن فراورده است. (ج) یک کائوچوی مناسب در تولید فراورده‌های ماسک، افزون بر برآورده کردن الزام‌های فیزیکی- مکانیکی آمیزه (نظیر وزن، مقاومت در برابر پارگی، سختی، جهندگی و کشش) و در اختیار قرار دادن ویژگی‌های عملکردی مناسب (نظیر ایجاد توان آب‌بندی کامل، طول‌عمر انبارداری بالا، عدم ایجاد حساسیت پوستی، عدم انتشار بوی هرچند مطبوع، مقاومت بالا نسبت به نفوذ آلاینده‌های شیمیایی و سایر موارد مشابه)، بایستی امکان دستیابی به ویژگی‌های دیگری چون قابلیت تولید فراورده‌های ماسکی با تنوع رنگی گوناگون را نیز ایجاد کند. با توجه به هدف‌های پژوهش حاضر مبنی بر بومی‌سازی

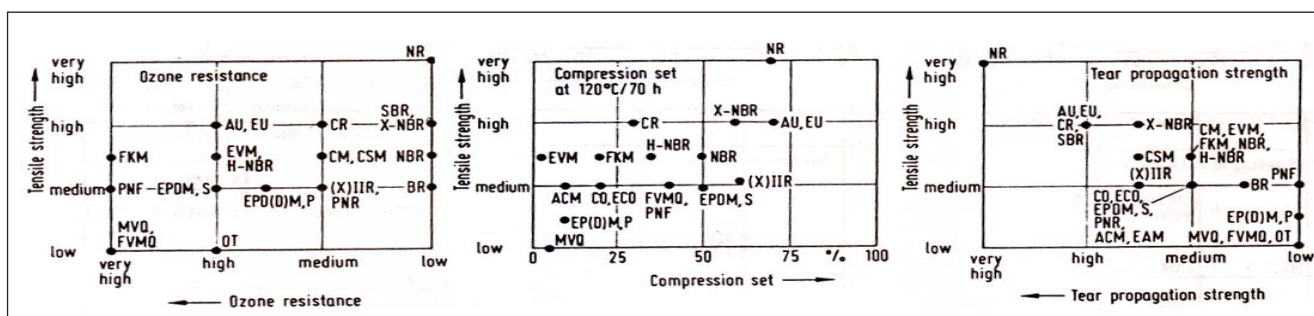
1. Full-Face Masks

2. Half Masks

شکل (۳) به نمایش ساختار درختی انتخاب کائوچوی موردنیاز براساس سطح کیفی مورد انتظار در مورد هر یک از ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی آن پرداخته شده است [۸]. اگرچه، در این پژوهش و با توجه به مشخص بودن کائوچوهای موردبررسی و نیاز به استخراج وضعیت کیفی ویژگی‌های آن‌ها، کاربرد این نمودار به‌صورت از پایین به بالا بوده است. درنهایت، شکل (۴) نمودارهای رادار ویژگی‌های گوناگون کائوچوهای موردبررسی را نمایش داده است. نکته‌ی قابل‌توجه در این نمودارها، "تقارن" یا "عدم تقارن" این نمودارهاست. هرچه تقارن نمودارها بیشتر باشد، بیانگر شباهت بیشتر آن ویژگی در کائوچوهای گوناگون است. برای نمونه، تقارن نسبی عامل مانایی فشاری در لمی ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌خوبی نشان‌دهنده‌ی برابری تقریبی این عامل در پایهی کائوچوهای گوناگون است؛ اگرچه این امر در مورد عامل‌هایی چون مقاومت ازونی، مقاومت اکسیداسیونی و یا مقاومت در برابر شرایط جوئی، به‌هیچ‌وجه صادق نیست. جمع‌بندی داده‌های استخراج‌شده از این جدول‌ها و شکل‌ها، در جدول (۳) آمده است. درنهایت، اشاره به این نکته ضروری‌ست که به‌طور معمول انتخاب یک پایهی کائوچویی به‌منظور دستیابی به سطح قابل‌قبول از یک مشخصه، ممکن و آسان است. لیکن در موردهای مشابه پژوهش حاضر که هدف، بهینه‌سازی و تجمیع چندین ویژگی مطلوب به‌صورت هم‌زمان در یک ترکیب لاستیکی‌ست، انتخاب پایهی کائوچوی موردنیاز، پیچیده و نیازمند بررسی همه‌جانبه است.

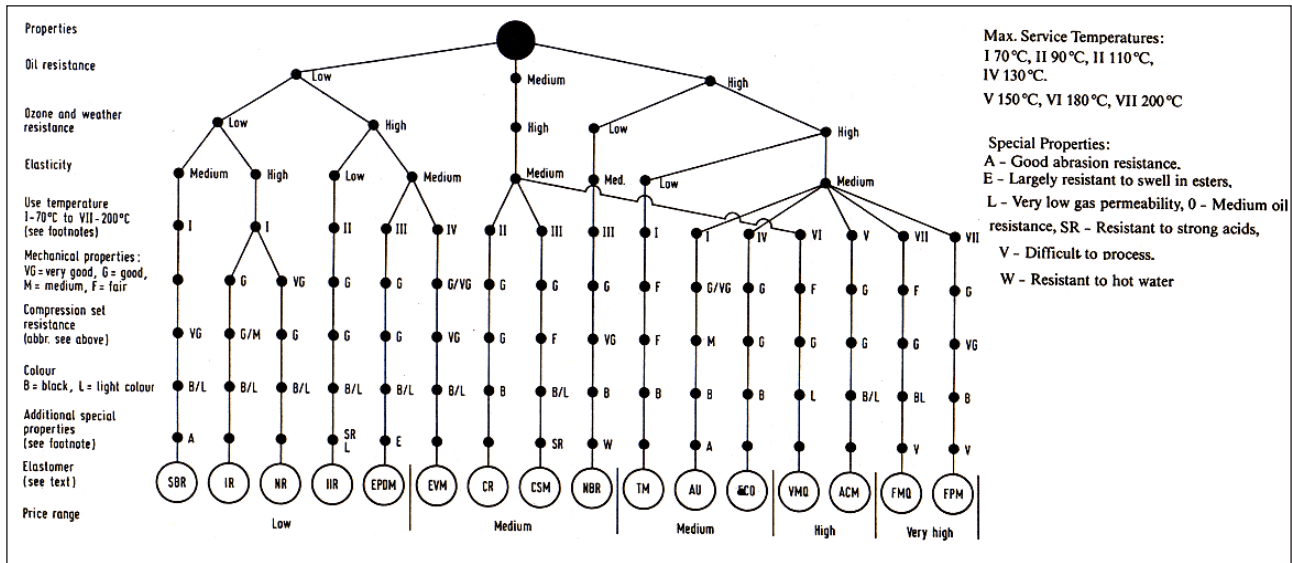
یک فرمول‌بندی با طول‌عمر انبارداری مطلوب، ماتریس ارزیابی متغیرها بر پایهی جدول (۳) تکمیل شد [۴ و ۵]. به‌دلیل پراکنندگی‌های موجود میان داده‌های گزارش‌شده در مراجع گوناگون، تلاش شد تا داده‌های موردنیاز در مرحله‌ی تشکیل ماتریس ارزیابی کائوچوها، از منابع و مراجع گوناگون استخراج شود. برای نمونه، مقدارهای مانایی فشاری کائوچوهای بیوتیلی و سیلیکونی در مرجع [۵] به ترتیب به‌صورت "ضعیف" و "غیرقابل‌قبول" گزارش شده است؛ این در حالی‌ست که مرجع [۶] مقدار این عامل را برای دو کائوچو به‌صورت "خوب" گزارش کرده است. به‌عنوان نمونه‌ای دیگر، مقدار عامل مقاومت پارگی کائوچوی سیلیکونی در مرجع [۵] به‌صورت "خوب" اما در مرجع [۶] به‌صورت "ضعیف" گزارش است.

در ادامه، به نمونه‌هایی از مراجع و داده‌های مورداستفاده در استخراج ماتریس ارزیابی کائوچوها اشاره شده است. در جدول (۴) و به‌صورت کدبندی‌شده در شش سطح از "ناکافی" تا "عالی"، به مقایسه‌ی نسبی ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی کائوچوهای موردبررسی در پژوهش حاضر پرداخته است [۸]. شکل (۲) نیز به مقایسه‌ی گرافیکی عامل‌های فیزیکی- مکانیکی مقاومت پارگی، مقاومت کششی، مانایی فشاری و مقاومت ازونی چهارده کائوچوی گوناگون در چهار سطح "خیلی زیاد"، "زیاد"، "متوسط" و "کم" پرداخته است. همچنین در این شکل می‌توان به بررسی رابطه‌ی میان عامل‌های مقاومت پارگی، مانایی فشاری و مقاومت ازونی با عامل مقاومت کششی در هر کائوچو نیز پرداخت. در

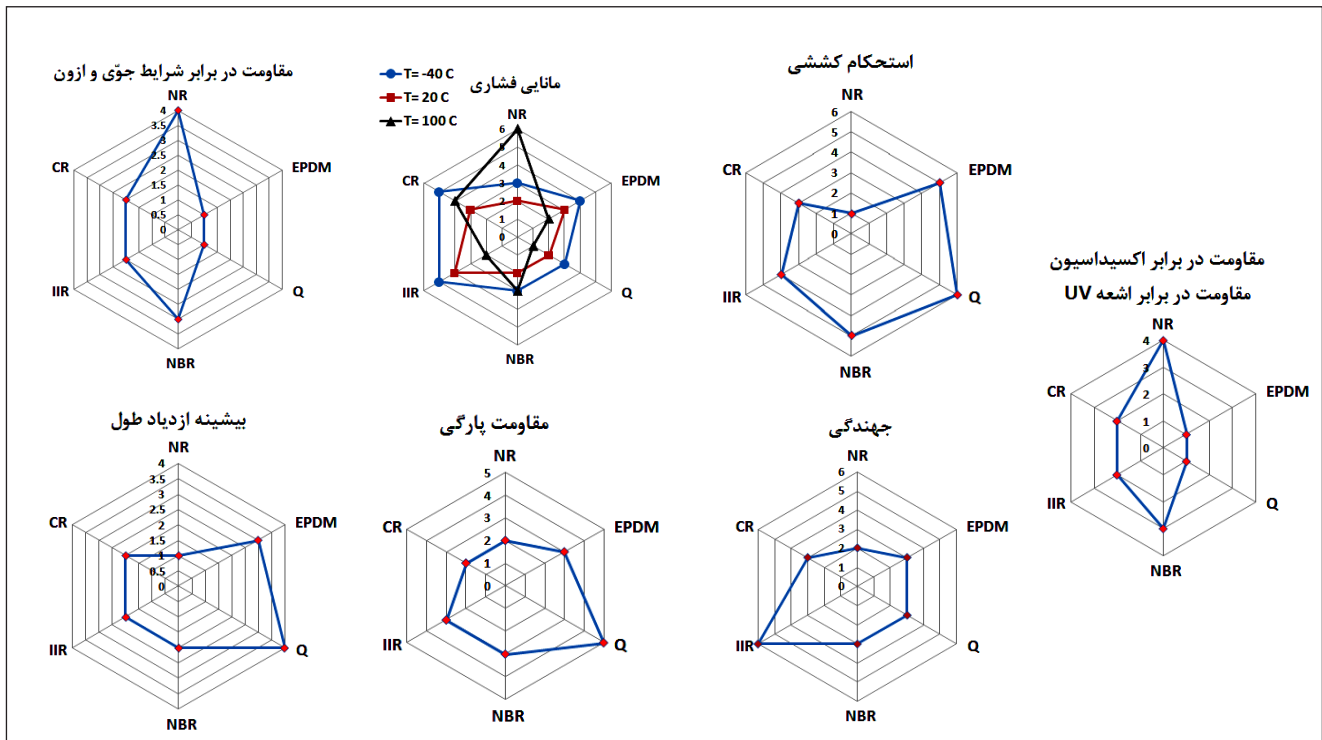


شکل ۲- ارتباط ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی کائوچوها [۵]





شکل ۳- ساختار درختی ارزیابی و انتخاب کائوچوها [۵]



شکل ۴- نمودارهای رادار در ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی پایه‌های کائوچویی و لکانیزه‌شده‌ی قابل‌استفاده در فرآورده‌ی ماسک (۱= عالی و ۶= ناکافی)

جدول ۳- ماتریس ارزیابی متغیرهای گوناگون طراحی فرمول‌بندی آمیزه‌ی لاستیکی فرآورده‌ی ماسک

معیار ارزیابی	واحد	NR	CR	IIR	NBR	Q	EPDM	مرجع
مقاومت جوی	-	ضعیف	خوب	عالی	غیرقابل قبول	عالی	عالی	[۵ و ۶]
مقاومت ازونی	-	غیرقابل قبول	خوب	خوب	غیرقابل قبول	عالی	عالی	[۵ و ۶]
ازدیاد طول پارگی	%	حداکثر ۷۰۰	حداکثر ۶۰۰	حداکثر ۸۵۰	حداکثر ۶۰۰	حداکثر ۷۰۰	حداکثر ۶۰۰	[۶]
جهندگی	-	عالی	عالی	نسبتاً خوب	خوب	خوب	خوب	[۶]
مانایی فشاری	%	عالی؛ عالی؛ (۱۰-۱۵)	خوب؛ خوب؛ (۱۵-۳۰)	ضعیف؛ خوب؛ (۱۵-۳۰)	خوب؛ خوب؛ (n.a.) <sup>(۱)</sup>	غیرقابل قبول؛ خوب؛ (n.a.)	خوب؛ خوب؛ (۱۰-۳۰)	[۵ تا ۷] <sup>(۲)</sup>
استحکام کششی	psi	عالی؛ ۴۰۰۰-۳۵۰۰ (۵۰۰)	خوب؛ ۴۰۰۰ (۵۰۰-۳۰۰۰)	مناسب؛ ۳۰۰۰ (۵۰۰-۳۰۰۰)	خوب؛ (۲۰۰-۳۰۰۰)	ضعیف؛ -۱۵۰۰ (۲۰۰)	خوب؛ ۳۵۰۰-۲۵۰۰ (۵۰۰)	[۵ و ۶]
سختی Shore A	-	۳۰-۹۰	۲۰-۹۵	۲۰-۷۵	۲۵-۹۵	۱۸-۸۰	۲۵-۹۵	[۵]
مقاومت پارگی	lb/in	عالی؛ عالی؛ (۲۰۰-۲۵۰)	خوب؛ خوب؛ (۲۰۰-۲۵۰)	خوب؛ خوب؛ (۱۵۰-۲۰۰)	خوب؛ خوب؛ (n.a.)	خوب؛ ضعیف؛ (n.a.)	ضعیف؛ نسبتاً خوب (۱۰۰-۲۵۰)	[۵ و ۶]
سهولت دسترسی <sup>(۳)</sup>	-	۲	۲	۱	۲	۲	۲	اطلاعات بازار
قیمت نسبی <sup>(۴)</sup>	-	۱؛ (۱)؛ کم	۱٫۵؛ (۳٫۱)؛ متوسط	۴؛ (n.a.)؛ کم	۱٫۵؛ (۱٫۹)؛ متوسط	۱۱؛ (۳٫۹)؛ بالا	۱٫۵؛ (۱٫۳)؛ کم	[۴، ۵ و ۸]
وزن مخصوص	-	۰٫۹۲	۱٫۲۳	۰٫۹۲	(۰٫۹۴-۱٫۰۲)	۱٫۱-۱٫۶	۰٫۸۶	[۵]
رنگ پذیری	-	کامل (F.R.) <sup>(۵)</sup>	کامل (F.R.)	محدود (L.R.) <sup>(۶)</sup>	محدود (L.R.)	کامل (F.R.)	محدود (L.R.)	[۴]
پایداری رنگ	-	خوب	غیرقابل قبول	خوب	مناسب	عالی	عالی	[۵]

۱- داده‌ها در مرجع ناموجود (not available)

۲- ترتیب مراجع متناظر با ترتیب داده‌ها در جدول؛

۳- امتیازدهی براساس نحوه‌ی دسترسی‌ست. عدد ۲= تولید خارج با دسترسی راحت و عدد ۱= تولید خارج با دسترسی محدود؛

۴- بر پایه‌ی قیمت کائوچوی طبیعی؛

۵- Full Range؛

۶- Limited Range



جدول ۴- مقایسه‌ی نسبی ویژگی‌های فیزیکی - مکانیکی پایه‌های کائوچویی [۵]

به‌منظور اصلاح پراکندگی داده‌های استخراج شده و همچنین تجزیه و تحلیل داده‌های درج شده در ماتریس ارزیابی (جدول ۳)، به کدبندی داده‌های موجود پرداخته شد. برای این منظور، با تعریف سه سطح از کیفیت، به تعیین میانگین امتیازهای هر یک از کائوچوهای پایه در هر یک از معیارهای سیزده‌گانه‌ی موردبررسی، پرداخته شد. بر این اساس، عدد "۳" نشانگر کیفیت "خوب"، عدد "۲": نشانگر کیفیت "متوسط" و عدد "۱": نشانگر کیفیت "ضعیف" است. در ادامه، با متوسط‌گیری از این نتیجه‌ها، امتیاز پایه‌های کائوچویی موردبررسی در هر یک از معیارهای سیزده‌گانه به‌صورت جدول (۵) به‌دست آمد.

پایه‌ی کائوچویی						معیار ارزیابی
EPDM	Q	NBR	IIR	CR	NR	
۱	۱	۳	۲	۲	۴*	مقاومت در برابر شرایط جوی
۱	۱	۳	۲	۲	۴	مقاومت ازونی
۳	۴	۲	۲	۲	۱	بیشینه کشامد
۳	۳	۳	۶	۳	۲	جهندگی
۴	۳	۳	۵	۵	۳	در دمای ۴۰°C -
۳	۲	۲	۴	۳	۲	در دمای ۲۰°C
۲	۱	۳	۲	۴	۶	در دمای ۱۰۰°C
۵	۶	۵	۴	۳	۱	استحکام کششی
۳	۵	۳	۳	۲	۲	مقاومت پارگی
۱	۱	۳	۲	۲	۴	مقاومت در برابر اکسایش
۱	۱	۳	۲	۲	۴	مقاومت در برابر اشعه UV

\* سطح کیفیت: ۱= عالی (Excellent) و ۶= ناکافی (Insufficient)

جدول ۵- میانگین امتیاز پایه‌های کائوچویی در معیارهای ارزیابی گوناگون

پایه‌های کائوچویی موردبررسی						معیار ارزیابی
EPDM	Q	NBR	IIR	CR	NR	
۳	۳	۱٫۳	۳	۲٫۷	۱*	معیار ۱: مقاومت در برابر شرایط جوی
۳	۳	۱٫۳	۲٫۷	۲٫۷	۱	معیار ۲: مقاومت ازونی
۱٫۵	۱٫۵	۲	۳	۲	۲٫۵	معیار ۳: کشامد
۲	۲	۲	۱	۲٫۳	۳	معیار ۴: جهندگی
۲	۲	۲٫۳	۱٫۷	۲	۳	معیار ۵: مانایی فشاری
۱٫۷	۱	۱٫۷	۱٫۷	۲٫۳	۳	معیار ۶: استحکام کششی
۲	۲	۲	۲	۲	۲	معیار ۷: سختی
۱٫۷	۱	۲	۲	۲٫۳	۳	معیار ۸: مقاومت پارگی
۳	۳	۳	۱	۳	۳	معیار ۹: قابلیت (سهولت) دسترسی
۲٫۵	۱	۲	۲٫۵	۲	۳	معیار ۱۰: قیمت نسبی
۳	۱	۲	۲	۱	۲	معیار ۱۱: مقدار سبکی (وزن مخصوص)
۲	۲٫۵	۱٫۵	۲	۲٫۵	۳	معیار ۱۲: رنگ پذیری
۳	۳	۲	۲	۱	۲	معیار ۱۳: پایداری رنگ
۱۶٫۹	۱۵٫۵	۱۴٫۶	۱۷٫۱	۱۸٫۳	۱۸٫۵	I- امتیاز در معیارهای اکتساب فناوری (۸-۱)
۵٫۵	۴٫۰	۵٫۰	۳٫۵	۵٫۰	۶٫۰	II- امتیاز در معیارهای اقتصادی (۱۰-۹)
۸٫۰	۶٫۵	۵٫۵	۶٫۰	۴٫۵	۷٫۰	III- امتیاز در معیارهای مشعوف‌ساز (۱۳-۱۱)
۳۰٫۴	۲۶٫۰	۲۵٫۱	۲۶٫۶	۲۷٫۸	۳۱٫۵	IV- امتیاز کل (بدون احتساب وزن هر معیار)- غیرقابل قبول
۱۲٫۶	۱۱٫۲	۱۰٫۸	۱۱٫۹	۱۲٫۹	۱۳٫۶	V- امتیاز کل (با احتساب وزن هر معیار**)- قابل قبول

\* سطح کیفیت: ۳= خوب، ۲= متوسط و ۱= ضعیف؛ \*\* وزن اکتساب فناوری=۶۰٪، اقتصادی=۳۰٪ و مشعوف‌ساز=۱۰٪

۱- نمودارهای "امتیاز معیارهای اکتساب فناوری" و "امتیاز کل (با احتساب وزن اختصاص یافته)" از تقارن به مراتب بهتری در مقایسه با دو نمودار دیگر برخوردارست. همان‌گونه که در مطلب‌های پیشین نیز اشاره شد، این امر به معنای وضعیت تقریباً یکسان کائوچوهای موردبررسی در شاخص موردبررسی آن نمودار هستند. مهم‌ترین دلیل این امر آن است که تمامی کائوچوهای موردبررسی در پژوهش حاضر، از میان کائوچوهای متداول و مورداستفاده در ساخت فراورده‌های ماسک‌های دنیا انتخاب شده است (رجوع شود به جدول ۱). از این‌رو، همان‌گونه که انتظار هم می‌رفت تمام این پایه‌ی کائوچوها، تا حد بسیاری برآورده‌کننده‌ی ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی و قیود حاکم بر توسعه‌ی یک فراورده‌ی ماسک هستند. از این‌رو، رفتار آن‌ها تا حد زیادی مشابه بوده و نمودار به‌دست آمده از مقایسه‌ی "امتیاز معیارهای اکتساب فناوری" و یا "امتیاز کل" آن‌ها از تقارن خوبی برخوردارست.

۲- باوجود موردهای نامبرده شده در بند ۱، هدف اصلی از پژوهش حاضر، تعیین مقدار جذابیت هر یک از کائوچوهای موردبررسی با توجه به قیود و شرایط حاکم بر تولید داخلی فراورده‌ی ماسک (اعم از قیمت، محدودیت دسترسی ناشی از تحریم‌ها، ویژگی‌های مشعوف‌ساز مورد انتظار مشتریان داخلی فراورده و سایر موردهای مشابه) است. همان‌گونه که در شکل (۵) نیز مشاهده می‌شود، برخلاف نمودار "امتیاز معیارهای اکتساب فناوری" و "امتیاز کل"، نمودارهای مرتبط با "امتیاز معیارهای اقتصادی" و "امتیاز معیارهای مشعوف‌ساز" از تقارن کمتری برخوردارست که مهم‌ترین دلیل این امر، اثرگذاری عامل‌های منطقه‌ای و بومی (مانند مقدار و سهولت دسترسی به مواد اولیه، هزینه‌ی تأمین مواد در ایران، تمایل به توسعه‌ی فراورده‌هایی با رنگ روشن در مناطق گرمسیر، مانند کشور ایران) است.

به‌منظور تعیین امتیاز کل هر یک از این کائوچوها، با مدنظر قرار دادن هدف‌های اصلی پژوهش و با توجه به تجربه‌های موجود، مقدار اثرگذاری هر یک از معیارهای سه‌گانه‌ی اکتساب فناوری، اقتصادی و مشعوف‌ساز، به‌صورت زیر تعیین شد (رجوع شود به بخش پیشین).

■ وزن (جذابیت) معیارهای اکتساب فناوری در فرایند غربال کائوچوها: ۶۰٪

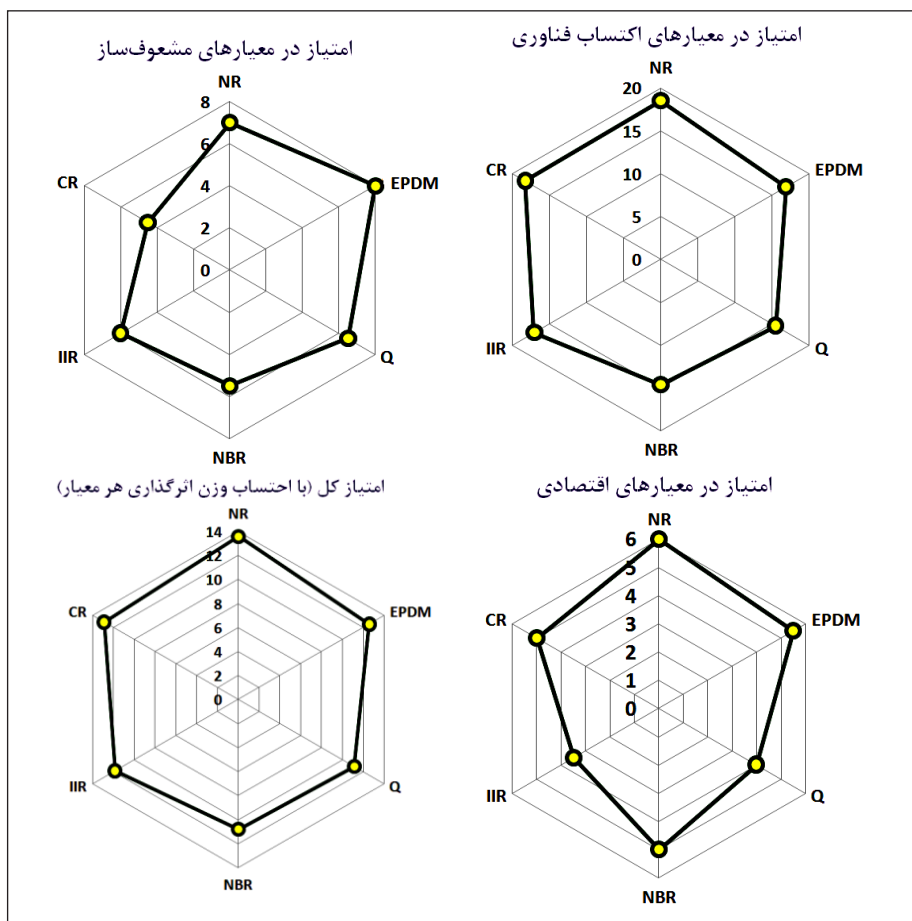
■ وزن (جذابیت) معیارهای اقتصادی در فرایند غربال کائوچوها: ۳۰٪

■ وزن (جذابیت) معیارهای مشعوف‌ساز در فرایند غربال کائوچوها: ۱۰٪

درنهایت، امتیاز هر پایه‌ی کائوچو در هر یک از گروه‌های سه‌گانه‌ی اکتساب فناوری، اقتصادی و مشعوف‌ساز (ردیف‌های I و II و III) و همچنین امتیاز کل آن کائوچو با و یا بدون اعمال وزن‌های اختصاص یافته (ردیف‌های IV و V)، به‌صورت نتیجه‌های درج شده در جدول (۵) به‌دست آمد. اشاره به این نکته ضروری‌ست که امتیاز هر پایه‌ی کائوچو در گروه‌های سه‌گانه‌ی اکتساب فناوری، اقتصادی و مشعوف‌ساز (ردیف‌های I و II و III) برابر مجموع امتیازهای کسب‌شده‌ی آن کائوچو در معیارهای مرتبط با آن گروه (به ترتیب درج شده در ردیف‌های ۸-۱، ۱۰-۹ و ۱۳-۱۱ جدول ۵) است. امتیاز کل هر کائوچو نیز از راه جمع کردن امتیاز آن کائوچو در این گروه‌های سه‌گانه (ردیف‌های I و II و III)، با و یا بدون اعمال وزن‌های اختصاص یافته محاسبه شد.

#### تعیین مقدار جذابیت

به‌منظور سهولت در تجزیه و تحلیل نتیجه‌های به‌دست آمده، در شکل (۵) به نمایش نمودار رادار نتیجه‌های به‌دست آمده در جدول (۵) پرداخته شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود:



شکل ۵- نمودار رادار ارزیابی کائوچوهای گوناگون در تولید فراورده‌ی ماسک

گوناگون بپردازد که نمونه‌هایی از این دسته از فراورده‌ها در جدول (۱) آمده است. با این وجود، در تولید بومی فراورده‌ی ماسک در داخل کشور رعایت ترتیب زیر منجر به افزایش پتانسیل اقتصادی فراورده خواهد شد. در صورت تمایل به مخلوط کردن پایه‌های گوناگون در فراورده‌های داخلی نیز توصیه می‌شود تا بخش عمده‌ی آمیزه از پایه‌ای انتخاب شود که با توجه به نتیجه‌های به دست آمده، از امتیاز بالاتری برخوردار است.

Polyisoprene (NR) > Polychloroprene (CR) > Ethylene-Propylene-Diene (EPDM) > Butyl Rubbers (IIR) > Silicone Rubber (Q) > Nitrile-Butadiene Rubber (NBR)

۳- به‌عنوان نتیجه‌ی نهایی به دست آمده از این بخش، جذابیت پایه‌های کائوچویی مورد بررسی (با احتساب وزن هر گروه از معیارها) در توسعه‌ی بومی فراورده‌ی ماسکی با طول عمر انبارداری مطلوب، از ترتیب زیر تبعیت می‌کند. اگرچه، اشاره به این نکته ضروری است که این نتیجه به معنای محدود شدن استفاده از هر یک از پایه‌ی کائوچوها به صورت مجزا نیست. بلکه تولیدکننده‌ی فراورده‌ی ماسک با توجه به تجربه‌های خویش در حوزه‌ی فرمول‌بندی آمیزه‌ی لاستیکی، پیچیدگی‌های قالب‌های مورد استفاده، ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی و یا عملکردی مورد انتظار و یا سایر موردهای مشابه، می‌تواند به مخلوط کردن پایه‌های کائوچویی

## نتیجه‌گیری

هرگونه عیب جزئی در فراورده‌های ماسک، منجر به اختلال در توان آببندی فرآورده شده و تلفات انسانی را ناشی می‌شود. با توجه به نقش به‌سزای قطعات لاستیکی در توان آببندی ماسک و طول عمر انبارداری آن، تعیین مناسب‌ترین پایه‌ی کائوچویی در طراحی آمیزه‌ی لاستیکی از اهمیت شایانی برخوردار است. در این مطالعه، با استخراج مهم‌ترین معیارهای ارزیابی و تشکیل ماتریس ارزیابی، به مقایسه کائوچوهای محتمل پرداخته شد. نتیجه‌ها نشان‌دهنده‌ی آن است که با توجه به ملاحظه‌های فنی و اقتصادی تولید فرآورده در داخل کشور، لاستیک‌های کائوچوی طبیعی، کلروپرن، اتیلن‌پروپیلن‌دی‌ان، پلی‌ایزوبوتیلن، پلی‌سیلوکسان و آکریلونیتریل‌بوتادین به‌ترتیب دارای بالاترین پتانسیل در توسعه‌ی فراورده‌های ماسک بومی‌ست.

در پژوهش حاضر، به ارزیابی کائوچوهای قابل‌استفاده به‌منظور دستیابی به فراورده‌ی ماسکی با یک طول عمر انبارداری مطلوب در داخل کشور پرداخته شده است. توسعه‌ی فراورده‌های ماسک محافظ، نیازمند توجه به دو نکته‌ی اساسی‌ست. از سویی، استفاده از سهم قابل‌توجهی از این فراورده‌ها، دوره‌ای (مقطعی) بوده و کاربرد آن‌ها، شامل حداقل یک دوره انبارداری با مدت‌زمانی قابل‌توجه (در مقایسه با دوره‌ی کاربرد فرآورده) است. همچنین به‌واسطه‌ی ماهیت حفاظتی فرآورده در مقابله با آلاینده‌های شیمیایی مضر و در موردهایی کشنده، کسب سطح بالایی از قابلیت اطمینان، پس‌ازاین دوره‌های انبارش، در این فرآورده‌ها الزامی‌ست.

## مراجع

1. Fatah, A.; Guide for the Selection of Personal Protective Equipment for Emergency First Responders: Respiratory Protection Part, National Institute of Standards & Technology, Washington, USA, 2002.
  2. Ashcroft, J.; Guide for the Selection of Personal Protective Equipment for Emergency First Responders, National Institute of Standards and Technology, Washington, USA, 2007.
  3. Anonymous, Polymer Selection Guide Chart, Industrial Moulded Rubber Products, available on [www.imr-inc.com](http://www.imr-inc.com), 2018.
  4. Kannan, G.K.; Elastomer Engineering Guide, James Walker Sealing Products Ltd., England, 2012.
- ۵- آبابی، مریم؛ ابراهیمی، پیمان؛ اسلامی، پروین؛ عابدینی، زهرا؛ تکنولوژی جامع لاستیک (ترجمه)، انتشارات شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک و شرکت ایران تایر و رابر، تهران، ویرایش دوم، صفحه‌ی ۱۳-۱، ۱۳۸۷.

# E

## ngineering Elastomers Used in Gas Mask Production

A. Mohammadi\* and Y. Amani

Be'sat Company

\*Corresponding author Email: Mohammadi.abs@gmail.com

Received: February 2018, Revised: June 2019, Accepted: July 2019

**Abstract:** In the present research work, a detailed comparative study was accomplished on more recently developed gas mask products to evaluate several different types of elastomers, as major design variants in required rubber compounding. Through a systematic definition of evaluation criteria (including eight technical criteria, two economical and three satisfactory criteria), radar diagrams and evaluation matrix were formed. Meanwhile, based on the manufacturer's knowledge and experience, the importance of the technical, economical and satisfactory criteria were found as 60, 30 and 10%, respectively. It was found that all of the investigated elastomers have the same technical potential for gas mask production. However, taking into account the techno-economical considerations simultaneously for gas mask production in Iran, results revealed that the desirability of these elastomers follows the trend of polyisoprene (NR)> polychloroprene (CR)> ethylene-propylene-diene (EPDM)> butyl rubbers (IIR)> silicone rubber (Q)> nitrile-butadiene rubber (NBR).

**Keywords:** Engineering Elastomers, Screening, Protective Gas Mask, Evaluation Criteria, Radar Diagram.