

## لاستیک‌های مهندسی در تولید محصولات ماسک

# E

## ngineering Elastomers Used in Gas Mask Production

### چکیده:

در تحقیق حاضر و با توجه به اثرات معنادار نوع لاستیک مورد استفاده بر ویژگی‌های کیفی و عملکردی محصولات ماسک محافظ، به‌ویژه طول عمر انبارداری محصول، به ارزیابی مقایسه‌ای لاستیک‌های مهندسی به عنوان 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 لاستیک‌های مورد استفاده در محصولات ماسک دنیا پرداخته شده است. بر پایه دانش و تجربیات تولیدکننده محصولات ماسک، شاخص جذابیت معیارهای فنی، اقتصادی و مشعوف‌ساز به ترتیب برابر با ۶۰٪، ۳۰٪ و ۱۰٪ تعیین گردید. ارزیابی فنی لاستیک‌های موجود، بیانگر پتانسیل یکسان کاربرد کلیه لاستیک‌های مورد بررسی می‌باشد. اگرچه، توجه هم‌زمان به ملاحظات فنی و اقتصادی تولید ماسک در داخل کشور، بیانگر آن است که جذابیت کاربرد لاستیک‌های مورد بررسی، از ترتیب پلی‌ایزوپرن (کائوچویی طبیعی)، کلوپرن، اتیلن‌پروپیلن‌دی‌ان، پلی‌ایزوبوتیلن، پلی‌سیلوکسان و آکریلونیتریل‌بوتادین پیروی می‌نماید.

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

### نوع مقاله: پژوهشی

عباس محمدی<sup>(\*)</sup>، یاسر امانی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس طراحی، تهران، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی پلیمر، تهران، ایران

\* عهده دار مکاتبات:

### مقدمه:

محصولات ماسک محافظ عموماً متشکل

از سه گروه کلی از قطعات شامل قطعات

لاستیکی، پلاستیکی و فلزی است که در این

میان، قطعات لاستیکی نظیر دیافراگم‌های

دم و بازدم<sup>(۱)</sup>، دیافراگم بخارگیر<sup>(۲)</sup>، قطعه

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

mohammady.abbas@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴

1. Inhalation/ Exhalation valves 2. Interior anti-fog valve disk 3. Nosecup 4. Facepiece

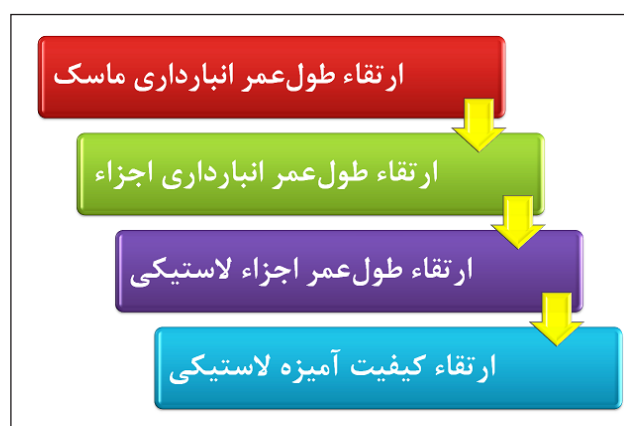
آمده است [۲۰]. از این رو، مهم‌ترین متغیرهای طراحی موجود عبارت است از کائوچویی طبیعی، کلروپرن، هالوبوتیل‌ها (نظیر بروموبوتیل)، لاستیک‌های نیتریلی، سیلیکون، اتیلن پروپیلن‌دی‌ان و فرمول‌بندی‌های ویژه حاصل از ترکیب آن‌ها.

در اینجا، اشاره به پنج نکته زیر ضروری است.

الف- ماسک‌های محافظ مورد بررسی در این تحقیق، به منظور ایجاد حفاظت فردی در برابر گازهای صنعتی نظیر گازهای کلر، آمونیاک، سولفید هیدروژن، بخارات هیدروکربنی نظیر سیکلوگازان، بخار حلال‌های آلی نظیر انواع تینرها و رقیق‌سازها و سایر موارد مشابه، مورد استفاده قرار گرفته می‌شود.

ب- به دلیل تفاوت در ماهیت شیمیایی ساختار مولکولی هر یک از این لاستیک‌ها (نظیر وجود و یا عدم وجود پیوندهای غیراشباع) و همچنین تفاوت در کیفیت فرمول‌بندی آن‌ها، آمیزه‌های مختلف حاصل نیز دارای رفتارهای نسبتاً متفاوتی در برابر پدیده انحلال - نفوذ<sup>(۳)</sup> گازها خواهند بود. در اغلب موارد، به منظور بررسی این پدیده در پلیمرها، به مطالعه میزان تراوایی نفوذپذیری<sup>(۴)</sup> گازهایی با اتم‌های کوچک نظیر گازهای نیتروژن و اکسیژن پرداخته می‌شود. در جدول ۲، به مقایسه میزان تراوایی گاز نیتروژن در هر یک از پایه لاستیک‌های مورد بررسی پرداخته شده است [۳]. نکته قابل توجه در این خصوص آن است که با وجود تفاوت محسوس در میزان تراوایی گاز معیار نیتروژن در لاستیک‌های مختلف، به دلیل ضخامت قابل توجه قطعات لاستیکی محصولات ماسک (معمولاً بیش از ۱/۴ میلی‌متر)، میزان مقاومت آن‌ها در برابر نفوذ گازهای مختلف، در کلیه لاستیک‌های مورد بررسی قابل قبول می‌باشد. ضخامت‌های مورد استفاده تا حدی است که علاوه بر چالش گاز- گاز اعمال فازهای گازی در بالادست و پایین‌دست صفحه لاستیکی در حین تست<sup>(۵)</sup>، قطعات لاستیکی موجود در برابر چالش‌های سخت‌تری چون چالش‌های مایع- گاز اعمال فاز مایع در بالادست و فاز گاز در پایین‌دست صفحه لاستیکی در حین تست<sup>(۶)</sup> و مایع- مایع اعمال فازهای

موارد، قطعه بندسر نگهدارنده<sup>(۱)</sup>، به دلیل حساسیت فرسایشی بالاتر نسبت به شرایط انبارش، قطعات محدودکننده طول عمر انبارداری محصول محسوب می‌گردد. با توجه به اهمیت بالای عملیات انبارش در چرخه تولید و مصرف این دسته از محصولات و همچنین نتیجه‌های حاصل از نمونه‌برداری محصولات دهه‌های اخیر، مشاهده گردید که کیفیت فرمول‌بندی آمیزه لاستیکی مورد استفاده در تولید ماسک (به‌ویژه نوع و گونه<sup>(۲)</sup> لاستیک پایه مورد استفاده در فرمول‌بندی آمیزه)، گلوگاه اصلی در تولید قطعه‌ای لاستیکی با طول عمر انبارداری مطلوب می‌باشد. از این رو، فرآیند دستیابی به محصول ماسکی با طول عمر انبارداری بالا، به صورت شکل ۱ قابل جمع‌بندی است. در این راستا، مقاله حاضر به غربال‌گری شش گروه اصلی از لاستیک‌های قابل استفاده به منظور دستیابی به محصول ماسکی با یک طول عمر انبارداری مطلوب در کشور پرداخته است.



شکل ۱- فرآیند ارتقاء طول عمر انبارداری محصولات ماسک محافظ

### متغیرهای طراحی فرمول‌بندی

در گام نخست، به تعیین رایج‌ترین لاستیک‌های پایه مورد استفاده در محصولات ماسک موجود در دنیا، به عنوان مهم‌ترین متغیرهای موجود در طراحی فرمول‌بندی آمیزه لاستیکی مورد نیاز پرداخته شد. نتیجه‌های حاصل از این بخش، در جدول ۱

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

5. Vapor challenge/vapor permeation (V/V challenge)

مایع در بالادست و پایین دست صفحه لاستیکی در حین تست<sup>(۱)</sup> پایه لاستیک‌های مورد بررسی از این جهت قابل قبول بوده و در نیز به خوبی مقاومت مورد انتظار را از خود به نمایش می‌گذارند. توسعه محصولات ماسک مختلف مورد استفاده قرار گرفته شده در نتیجه، همان‌گونه که در جدول ۱ نیز مشاهده گردید، کلیه است.

جدول ۱ - لاستیک‌های پایه مورد استفاده در تولید محصولات ماسک دنیا (متغیرهای طراحی فرمول‌بندی)

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

\* فرمول‌بندی ویژه از کائوچویی طبیعی و لاستیک‌های مصنوعی به فرم آمیزه فوق‌نرم Hycar\*\*؛ در صورت مناسب بودن شرایط انبارش؛ \*\*\* در بسته‌بندی اصلی محصول

جدول ۲ - میزان تراوایی (نفوذپذیری) گازهای شیمیایی در پایه‌های لاستیکی مورد مطالعه

| معیار ارزیابی                                                              | لاستیک طبیعی <sup>۱</sup> | نئوپرن      | بیوتیل          | نیتریل               | سیلیکون      | اتیلن پروپیلن       |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------|-----------------|----------------------|--------------|---------------------|
|                                                                            | پلی‌ایزوپرن <sup>۲</sup>  | پلی‌کلروپرن | پلی‌ایزوبوتیلین | آکریلونیتریل بوتادین | پلی‌سیلوکسان | اتیلن پروپیلن دی‌ان |
|                                                                            | NR <sup>۲</sup>           | CR          | IIR             | NBR                  | Q            | EPDM                |
| ضریب تراوایی گاز نیتروژن (۱۰ <sup>-۸</sup> )<br>cm <sup>2</sup> /(sec.atm) | ۶/۱۲                      | ۰/۸۹        | ۰/۲۵            | ۰/۳۱                 | ۲۰۰          | ۶/۴۰                |

<sup>۱</sup> نام معمول؛ <sup>۲</sup> نام شیمیایی؛ <sup>۳</sup> علامت اختصاری.

1. Liquid challenge/liquid permeation (L/L challenge)

با سایر اجزاء موجود در آمیزه، دارا می‌باشد [۴].

### معیارهای غربال‌گری

در تعیین مهمترین معیارهای ارزیابی (غربال‌گری) پایه‌های لاستیکی و به منظور حذف احتمال هرگونه قلم‌افتادگی در معیار مورد نیاز ارزیابی، موارد زیر مورد توجه قرار گرفته شد. ۱- شناسایی و انتخاب معیارهای مرتبط با خواص فیزیکی- مکانیکی و ویژگی‌های کیفی و عملکردی ماسک؛ ۲- شناسایی و انتخاب معیارهای مرتبط با میزان سهولت دسترسی و قیمت تمام شده آمیزه لاستیکی در تولید تجاری ماسک؛ ۳- شناسایی و انتخاب معیارهای مرتبط با تغییرات و یا بهبودهای محتمل محصول در آینده و ۴- اهمیت نسبی مجموعه معیارهای مستخرج از بندهای فوق.

در تحقیق حاضر و به منظور دستیابی به محصول ماسکی با طول عمر انبارداری مطلوب، هشت معیار ارزیابی مبتنی بر خواص فیزیکی و مکانیکی آمیزه و ویژگی‌های کیفی و عملکردی محصول نهایی، به صورت ۱- مقاومت ازونی ۲- مقاومت در برابر شرایط جوی ۳- کشامد در نقطه پارگی ۴- جهندگی ۵- مانایی فشاری ۶- استحکام کششی ۷- میزان سختی و ۸- مقاومت پارگی استخراج و انتخاب گردید. همچنین، با توجه به ملاحظات روند تامین مواد اولیه مورد نیاز از بازارهای جهانی، دو معیار ارزیابی ۱- میزان و سهولت دسترسی و ۲- قیمت نسبی لاستیک به عنوان شاخصه‌های اقتصادی فرآیند غربال‌گری انتخاب شد. در نهایت، سه معیار ۱- سبکی ۲- رنگ‌پذیری و ۳- پایداری رنگ نیز به عنوان مهمترین موارد مرتبط با تغییر و بهبود احتمالی محصول در آینده، مد نظر قرار گرفته شد. در این خصوص، اشاره به سه نکته زیر مناسب می‌باشد.

الف- یکی از مهمترین معیارهای غربال‌گری پایه‌های لاستیکی در تولید محصولات ماسک محافظ عبارت است میزان مقاومت هر پایه در برابر نفوذ گازها و بخارات موجود در معرض محصول.

ج- در برخی از موارد، به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی و عملکردی قطعات لاستیکی محصول و یا کاهش هزینه‌های تولید، در مرحله فرمول‌بندی آمیزه لاستیکی به ترکیب پایه‌های لاستیکی مختلف پرداخته می‌شود. برای این منظور می‌توان به ترکیب نمودن کلروپرن با لاستیک طبیعی به منظور افزایش مقاومت ازونی و یا بهبود مقاومت در برابر شرایط جوی آن و یا افزایش سایر پایه‌های لاستیکی به هالوبوتیل‌ها به منظور رفع مشکلات احتمالی ناشی از پخت ضعیف و کند آن‌ها اشاره نمود. لازم به ذکر است که ترکیب پایه‌های لاستیکی مختلف، منجر به بهبود میزان مقاومت آن‌ها در برابر نفوذ گازهای مختلف نیز خواهد شد این امر نیز مجدداً تاییدکننده نتیجه مذکور در پارگراف فوق می‌باشد.

د- با توجه به مطالب مذکور در بندهای ب و ج می‌توان چنین نتیجه گرفت که مهمترین دلیل تنوع در پایه لاستیک‌های مورد استفاده در محصولات ماسک مختلف، عبارت است از ملاحظات اقتصادی حاکم بر تولید محصول؛ به نحوی که تولیدکنندگان مختلف با توجه به قیمت و میزان سهولت دسترسی به پایه لاستیک‌ها و همچنین تجربیات خویش در حوزه فرمول‌بندی آمیزه آن‌ها، به انتخاب لاستیکی با بالاترین پتانسیل اقتصادی پرداخته‌اند. همانگونه که در بخش اول نیز اشاره گردید، این امر یکی از اهداف اصلی مطالعه حاضر به منظور انتخاب بهترین پایه لاستیک در تولید بومی و اقتصادی محصول ماسک محافظ در داخل کشور می‌باشد.

ه- طول عمر انبارداری آمیزه، علاوه بر نوع و گونه لاستیک مورد استفاده، تابعی از دانش فرمول‌بندی، کیفیت اختلاط اجزاء و در نهایت، نوع و گونه سایر افزودنی‌های آمیزه نظیر عوامل پخت، روان‌کننده‌ها، نرم‌کننده‌ها، شتاب‌دهنده‌ها، ضداکسنده‌ها، ضدآزونش‌ها، پایدارکننده‌ها، تقویت‌کننده‌ها و غیره نیز می‌باشد. اگرچه تجربیات موجود بیانگر آن است که در این میان، نوع، گونه و کیفیت پایه لاستیکی مورد استفاده نقش مهم‌تری را در مقایسه

با رنگ روشن (نظیر سبز و کرم) می‌تواند از طریق کاهش جذب تشعشعات حرارتی خورشید و میزان تعرق فرد، منجر به افزایش در قابلیت‌های عملیاتی کاربران و سهولت کاربری محصول گردد. این امر در محیط‌های صنعتی که عموماً شامل تجهیزات حرارت‌زا می‌باشد از اهمیتی دو چندان برخوردار می‌باشد.

در فرآیند غربال‌گری مبتنی بر معیارهای سیزده‌گانه فوق، هشت معیار نخست (معیارهای اکتساب دانش فنی طراحی فرمول‌بندی آمیزه‌ای با طول عمر مطلوب) دارای بالاترین سطح اولویت (یا جذابیت) با وزن نسبی ۶۰٪، معیارهای ۹ و ۱۰ (معیارهای اقتصادی) با اولویت درجه دوم با وزن نسبی ۳۰٪ و معیارهای ۱۱ الی ۱۳ (معیارهای مشعوف‌ساز)، با اولویت درجه سوم و وزن نسبی ۱۰٪ منظور گردید. تخصیص وزن نسبی هر یک از این معیارها، از طریق خبرگی و بر پایه دانش طراحی، تولید و تست محصولات ماسک محافظ در شرکت بعثت صورت پذیرفته است. لازم به ذکر است که شرکت بعثت اولین و تنها تولیدکننده محصولات ماسک محافظ در کشور بوده و تیم طراحی و تحقیقاتی این شرکت، از تجربیات ارزشمندی در توسعه محصولات ماسک تمام صورت<sup>۱</sup> و نیمه‌ماسک‌ها<sup>۲</sup> برخوردار است. وزن‌های تخصیص‌یافته فوق‌الذکر، میانگین مقادیر حاصل از نظرسنجی کمیته ۸ نفر از کارشناسان خبره این حوزه می‌باشد. همچنین، نظرات کاربران نهایی محصول (به ویژه در خصوص معیارهای مشعوف‌ساز)، نیز مد نظر قرار گرفته شده است.

## نتایج و بحث

### توسعه ماتریس ارزیابی

پس از استخراج معیارهای ارزیابی (غربال‌گری) لاستیک‌ها و تعیین وزن (یا جذابیت) نسبی هر یک از آن‌ها در دستیابی به یک فرمول‌بندی با طول عمر انبارداری مطلوب، ماتریس ارزیابی متغیرها مطابق با جدول ۳ تکمیل گردید [۴ تا ۸]. به دلیل پراکندگی‌های موجود میان اطلاعات گزارش‌شده در مراجع مختلف، تلاش گردید

همانگونه که مشاهده می‌گردد، این شاخص در میان معیار ارزیابی مورد بررسی، انتخاب نشده است. مهمترین دلیل این امر آن است که کلیه پایه‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر، از میان پایه‌های لاستیکی متداول در تولید محصولات ماسک دنیا انتخاب شده است. همانگونه که در بخش متغیرهای طراحی فرمول نیز به تفصیل تشریح گردید، کلیه پایه‌های منتخب ارضاء کننده این معیار بوده و اعمال یا حذف آن در ماتریس ارزیابی، بی‌تاثیر خواهد بود.

ب- در میان قطعات لاستیکی ماسک، قطعه صورتی به عنوان بدنه اصلی محصول و با دارا بودن سهم تقریباً ۶۵ درصدی از وزن کل محصول، از بالاترین درجه اهمیت در خصوص وزن محصول برخوردار است. علاوه بر این قطعه، اجزای دیگری چون قطعه دهانی و در اغلب موارد، بندهای نگهدارنده نیز از جنس لاستیک می‌باشند. در نتیجه، دستیابی به فرمول‌بندی آمیزه‌ای با طول عمر مطلوب و وزن کم، تا حد بسیاری می‌تواند به سبک‌سازی محصول ماسک و ارتقاء قابلیت‌های عملیاتی کاربر کمک نماید. ملاحظات ارگونومیکی کاربری این دسته از محصولات (ناشی از وزن وارده بر گردن کاربر) به خوبی نشانگر اهمیت توجه کامل به بهینه‌سازی وزن محصول می‌باشد.

ج- یک لاستیک مناسب در تولید محصولات ماسک، علاوه بر برآورده نمودن الزامات 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، طول عمر 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 محصولات ماسکی با تنوع رنگی مختلف را نیز ایجاد نماید. با توجه به اهداف تحقیق حاضر مبنی بر بومی‌سازی تولید ماسک و همچنین سهم قابل توجه مناطق گرمسیری در گستره ارضی کشور، توجه به تولید محصولاتی

1. Full-Face Masks 2. Half Masks

تا اطلاعات مورد نیاز در مرحله تشکیل ماتریس ارزیابی لاستیک‌ها، از منابع و مراجع مختلف استخراج گردد. برای نمونه، مقادیر مانایی فشاری لاستیک‌های بیوتیلی و سیلیکونی در مرجع [۵] به ترتیب به صورت "ضعیف" و "غیرقابل قبول" گزارش شده است؛ این در حالی است که مرجع [۶] مقدار این پارامتر را برای دو لاستیک به صورت "خوب" گزارش نموده است. به عنوان نمونه‌ای دیگر، مقدار پارامتر مقاومت پارگی لاستیک سیلیکونی در مرجع [۵] به صورت "خوب"

اما در مرجع [۶] به صورت "ضعیف" گزارش است. در ادامه، به نمونه‌هایی از مراجع و اطلاعات مورد استفاده در استخراج ماتریس ارزیابی لاستیک‌های اشاره شده است. در جدول ۴ و به صورت کدبندی شده در شش سطح از "ناکافی" تا "عالی"، به مقایسه نسبی خواص فیزیکی- مکانیکی لاستیک‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر پرداخته است [۸]. شکل ۲ نیز به مقایسه گرافیکی پارامترهای فیزیکی- مکانیکی مقاومت پارگی، مقاومت کششی، مانایی

جدول ۳- ماتریس ارزیابی متغیرهای مختلف طراحی فرمول‌بندی آمیزه لاستیکی محصول ماسک

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

<sup>۱</sup> اطلاعات در مرجع ناموجود (not available)؛ <sup>۲</sup> ترتیب مراجع متناظر با ترتیب اطلاعات در جدول؛ <sup>۳</sup> امتیازدهی بر اساس نحوه دسترسی است. ۲= تولید خارج با دسترسی راحت ۱= تولید خارج با دسترسی محدود؛ <sup>۴</sup> بر پایه قیمت کائوچوی طبیعی؛ <sup>۵</sup> Full Range؛ <sup>۶</sup> Limited Range.

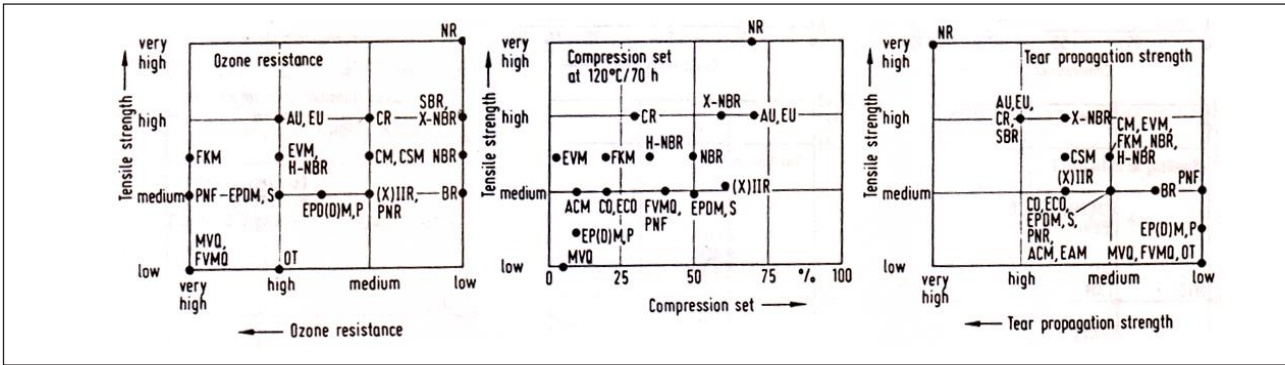
شباهت بیشتر آن ویژگی در لاستیک‌های مختلف است. برای نمونه، تقارن نسبی پارامتر مانایی فشاری در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد به خوبی نشان‌دهنده برابری تقریبی این پارامتر در پایه لاستیک‌های مختلف است؛ اگرچه این امر در خصوص پارامترهایی چون مقاومت ازونی، مقاومت اکسیداسیونی و یا مقاومت در برابر شرایط جوی، به هیچ وجه صادق نیست. جمع‌بندی اطلاعات استخراج شده از این جداول و اشکال در جدول ۳ آمده است. در نهایت، اشاره به این نکته ضروری است که عموماً انتخاب یک پایه لاستیکی به منظور دستیابی به سطح قابل قبول از یک مشخصه، ممکن و آسان می‌باشد. لیکن در مواردی مشابه تحقیق حاضر که هدف، بهینه‌سازی و تجمیع چندین ویژگی مطلوب به صورت هم‌زمان در یک ترکیب لاستیکی است، انتخاب پایه لاستیک مورد نیاز، پیچیده و نیازمند بررسی همه‌جانبه است.

فشاری و مقاومت ازونی چهارده لاستیک مختلف در چهار سطح "خیلی زیاد"، "زیاد"، "متوسط" و "کم" پرداخته است. همچنین در این شکل می‌توان به بررسی رابطه میان پارامترهای مقاومت پارگی، مانایی فشاری و مقاومت ازونی با پارامتر مقاومت کششی در هر لاستیک نیز پرداخت. در شکل ۳ به نمایش ساختار درختی انتخاب لاستیک مورد نیاز بر اساس سطح کیفی مورد انتظار در خصوص هر یک از ویژگی‌های فیزیکی - مکانیکی آن پرداخته شده است [۸]. اگرچه، در این تحقیق و با توجه به مشخص بودن لاستیک‌های مورد بررسی و نیاز به استخراج وضعیت کیفی ویژگی‌های آنها، کاربرد این نمودار به صورت از پایین به بالا بوده است. در نهایت، شکل ۴ نمودارهای رادار ویژگی‌های مختلف لاستی‌های مورد بررسی را نمایش داده است. نکته قابل توجه در این نمودارها، "تقارن" و یا "عدم تقارن" این نمودارها می‌باشد. هرچه تقارن موجودارها بیشتر باشد، بیانگر

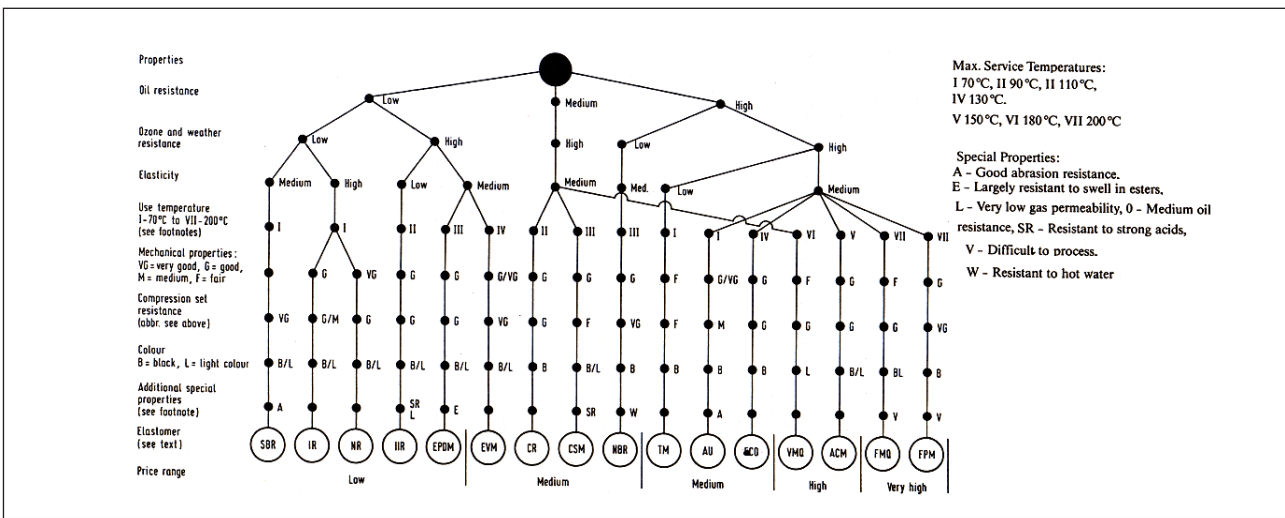
جدول ۴- مقایسه نسبی خواص فیزیکی - مکانیکی پایه‌های لاستیکی

| پایه لاستیکی                                                |   |     |     |    |    | 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                    |
| مانایی فشاری                                                |   |     |     |    |    |                           |
| 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) |   |     |     |    |    |                           |

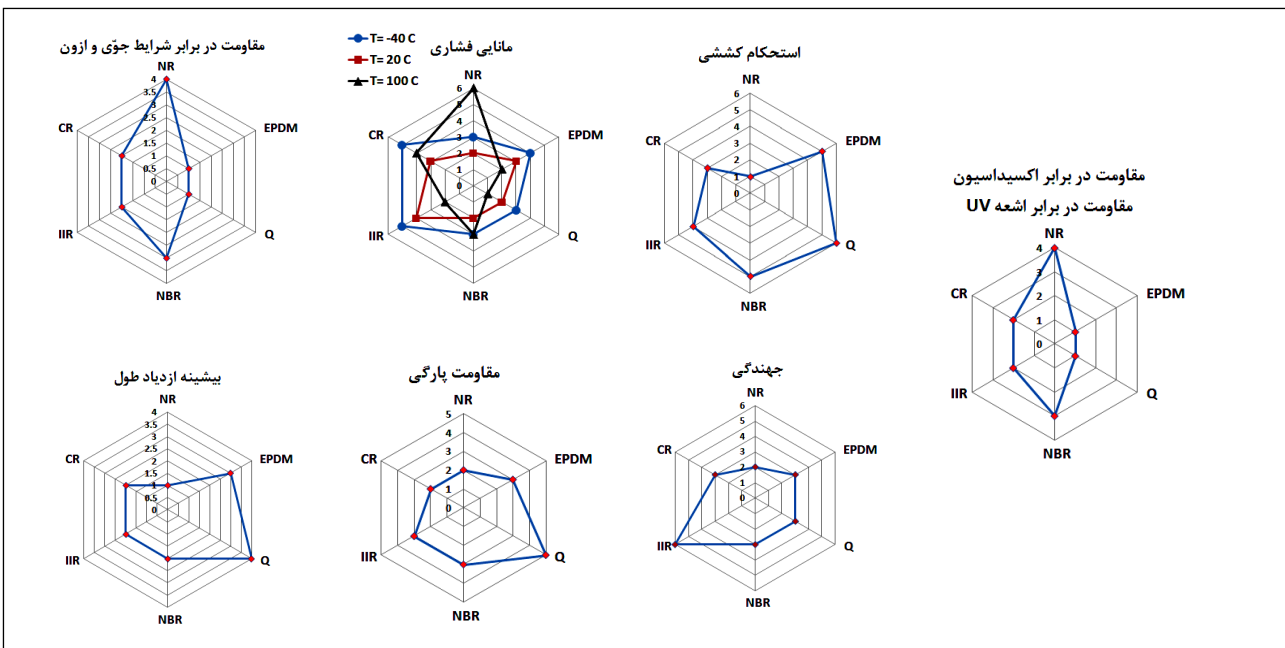




شکل ۲- ارتباط خواص فیزیکی - مکانیکی لاستیکها



شکل ۳- ساختار درختی ارزیابی و انتخاب لاستیکها



شکل ۴ - نمودارهای رادار در ارزیابی خواص فیزیکی - مکانیکی پایه‌های لاستیکی ولکانیزه شده قابل استفاده در محصول ماسک (۱= عالی و ۶= ناکافی)



### تجزیه و تحلیل نتایج

به منظور اصلاح پراکندگی داده‌های مستخرج و همچنین تجزیه و تحلیل اطلاعات مندرج در ماتریس ارزیابی جدول ۳، به کدبندی اطلاعات موجود پرداخته شد. برای این منظور، با تعریف سه سطح از کیفیت، به تعیین میانگین امتیازات هر یک از لاستیک‌های پایه

در هر یک از معیارهای سیزده‌گانه مورد بررسی پرداخته شد. بر این اساس، عدد "۳" نشانگر کیفیت "خوب"، عدد "۲" : نشانگر کیفیت "متوسط" و عدد "۱" : نشانگر کیفیت "ضعیف" می‌باشد. در ادامه، با متوسط‌گیری از این نتایج، امتیاز پایه‌های لاستیکی مورد بررسی در هر یک از معیارهای سیزده‌گانه به صورت جدول ۵ حاصل گردید.

جدول ۵- میانگین امتیاز پایه‌های لاستیکی در معیارهای ارزیابی مختلف

| پایه‌های لاستیکی مورد بررسی |      |      |      |      |      | 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: میزان 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=۰.۶٪، اقتصادی=۰.۴٪ و مشعوف‌ساز=۰.۱٪

لاستیک‌های مورد بررسی در شاخص مورد بررسی آن نمودار می‌باشند. مهمترین دلیل این امر آن است که کلیه لاستیک‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر، از میان لاستیک‌های متداول و مورد استفاده در ساخت محصول‌های ماسک‌های دنیا انتخاب شده است (رجوع شود به جدول ۱). لذا همان‌گونه که انتظار هم می‌رفت کلیه این پایه لاستیک‌ها، تا حد بسیاری برآورده‌کننده ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی و قیود حاکم بر توسعه یک محصول ماسک می‌باشند. از این رو، رفتار آنها تا حد زیادی مشابه بوده و نمودار حاصل از مقایسه "امتیاز معیارهای اکتساب فناوری" و یا "امتیاز کل" آن‌ها از تقارن خوبی برخوردار است.

۲- با وجود موارد مذکور در بند ۱، هدف اصلی از تحقیق حاضر، تعیین میزان جذابیت هر یک از لاستیک‌های مورد بررسی با توجه به قیود و شرایط حاکم بر تولید داخلی محصول ماسک (اعم از قیمت، محدودیت دسترسی ناشی از تحریم‌ها، ویژگی‌های مشعوف‌ساز مورد انتظار مشتریان داخلی محصول و سایر موارد مشابه) می‌باشد. همانگونه که در شکل ۵ نیز مشاهده می‌گردد، برخلاف نمودار "امتیاز معیارهای اکتساب فناوری" و "امتیاز کل"، نمودارهای مرتبط با "امتیاز معیارهای اقتصادی" و "امتیاز معیارهای مشعوف‌ساز" از تقارن کمتری برخوردار است که مهمترین دلیل این امر، اثرگذاری پارامترهای منطقه‌ای و بومی (نظیر میزان و سهولت دسترسی به مواد اولیه، هزینه تامین مواد در ایران، تمایل به توسعه محصولاتی با رنگ روشن در مناطق گرمسیر نظیر کشور ایران) می‌باشد.

شکل (۵)

۳- به عنوان نتیجه نهایی حاصل از این بخش، جذابیت پایه‌های لاستیکی مورد بررسی (با احتساب وزن هر گروه از معیارها) در توسعه بومی محصول ماسکی با طول عمر انبارداری مطلوب، از ترتیب زیر تبعیت می‌نماید. اگرچه، اشاره به این نکته ضروری است که این نتایج به معنای محدود شدن استفاده از هر یک از پایه لاستیک‌ها به صورت مجزا نمی‌باشد. بلکه تولیدکننده

به منظور تعیین امتیاز کل هر یک از این لاستیک‌ها، با مد نظر قرار دادن اهداف اصلی تحقیق و با توجه به تجربیات موجود، میزان اثرگذاری هر یک از معیارهای سه‌گانه اکتساب فناوری، اقتصادی و مشعوف‌ساز، به صورت زیر تعیین شد.

- وزن (جذابیت) معیارهای اکتساب فناوری در فرآیند غربال لاستیک‌ها: ۶۰٪

- وزن (جذابیت) معیارهای اقتصادی در فرآیند غربال لاستیک‌ها: ۳۰٪

- وزن (جذابیت) معیارهای مشعوف‌ساز در فرآیند غربال لاستیک‌ها: ۱۰٪

در نهایت، امتیاز هر پایه لاستیک در هر یک از گروه‌های سه‌گانه اکتساب فناوری، اقتصادی و مشعوف‌ساز (ردیف‌های I و II و III) و همچنین امتیاز کل آن لاستیک با و یا بدون اعمال وزن‌های تخصیص‌یافته (ردیف‌های IV و V)، به صورت نتایج مندرج در جدول ۵ حاصل گردید. اشاره به این نکته ضروری است که امتیاز هر پایه لاستیک در گروه‌های سه‌گانه اکتساب فناوری، اقتصادی و مشعوف‌ساز (ردیف‌های I و II و III) برابر مجموع امتیازات کسب‌شده آن لاستیک در معیارهای مرتبط با آن گروه (به ترتیب مندرج در ردیف‌های ۸-۱، ۱۰-۹ و ۱۳-۱۱ جدول ۵) می‌باشد. امتیاز کل هر لاستیک نیز از طریق جمع نمودن امتیاز آن لاستیک در این گروه‌های سه‌گانه (ردیف‌های I و II و III)، با و یا بدون اعمال وزن‌های تخصیص‌یافته محاسبه گردید.

### تعیین میزان جذابیت

به منظور سهولت در تجزیه و تحلیل نتایج حاصل، در شکل ۵ به نمایش نمودار رادار نتایج حاصل در جدول ۵ پرداخته شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد:

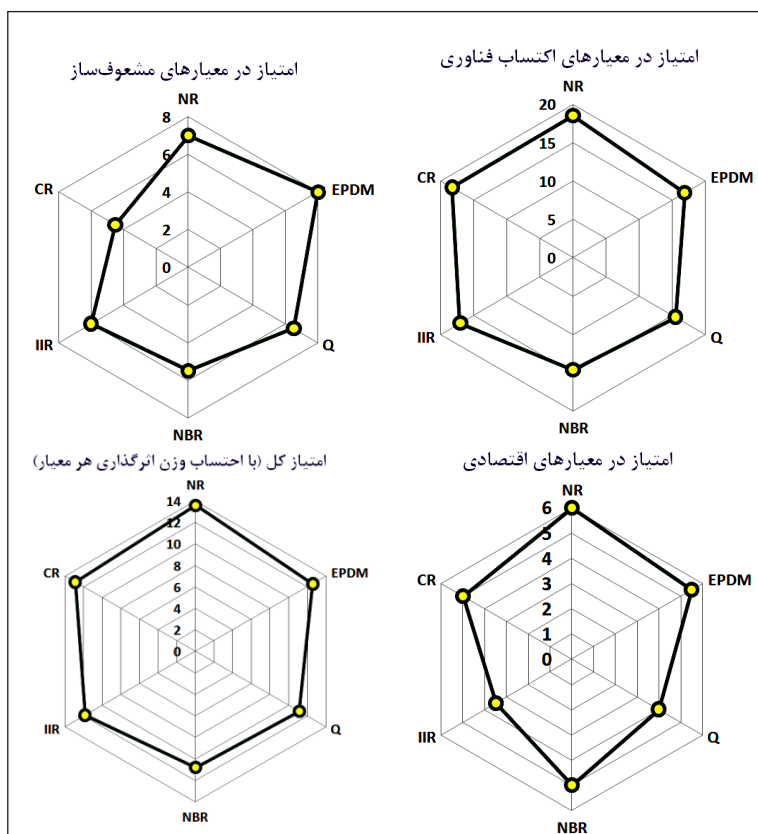
۱- نمودارهای "امتیاز معیارهای اکتساب فناوری" و "امتیاز کل (با احتساب وزن تخصیص‌یافته)" از تقارن به مراتب بهتری در مقایسه با دو نمودار دیگر برخوردار است. همانگونه که در مطالب قبل نیز اشاره شد، این امر به معنای وضعیت تقریباً یکسان

Rubber (Q) > Nitrile-Butadiene Rubber (NBR)

### نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، به ارزیابی لاستیک‌های قابل استفاده به منظور دستیابی به محصول ماسکی با یک طول عمر انبارداری مطلوب در داخل کشور پرداخته شده است. توسعه محصولات ماسک محافظ، نیازمند توجه به دو نکته اساسی است. از سویی، استفاده از سهم قابل توجهی از این محصولات، دوره‌ای (مقطعی) بوده و کاربرد آن‌ها، شامل حداقل یک دوره انبارداری با مدت‌زمانی قابل توجه (در مقایسه با دوره کاربرد محصول) می‌باشد. همچنین بواسطه ماهیت حفاظتی محصول در مقابله با آلاینده‌های شیمیایی مضر و در مواردی کشنده، کسب سطح بالایی از قابلیت اطمینان،

محصول ماسک با توجه به تجارب خویش در حوزه فرمول‌بندی آمیزه لاستیکی، پیچیدگی‌های قالب‌های مورد استفاده، ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی و یا عملکردی مورد انتظار و یا سایر موارد مشابه، می‌تواند به مخلوط نمودن پایه‌های لاستیکی مختلف بپردازد که نمونه‌هایی از این دسته از محصولات در جدول ۱ آمده است. با این وجود، در تولید بومی محصول ماسک در داخل کشور رعایت ترتیب زیر منجر به افزایش پتانسیل اقتصادی محصول خواهد شد. در صورت تمایل به مخلوط نمودن پایه‌های مختلف در محصولات داخلی نیز توصیه می‌گردد تا بخش عمده آمیزه از پایه‌ای انتخاب گردد که با توجه به نتایج حاصل، از امتیاز بالاتری برخوردار است.  
 Polyisoprene (NR) > Polychloroprene (CR) > Ethylene-Propylene-Diene (EPDM) > Butyl Rubbers (IIR) > Silicone



شکل ۵- نمودار رادار ارزیابی لاستیک‌های مختلف در تولید محصول ماسک

پس از این دوره‌های انبارش، در این محصولات الزامی است. هرگونه عیب جزئی در محصولات ماسک، منجر به اختلال در توان آببندی محصول شده و تلفات انسانی را ناشی می‌گردد. با توجه به نقش به‌سزای قطعات لاستیکی در توان آببندی ماسک و طول عمر انبارداری آن، تعیین مناسب‌ترین پایه لاستیکی در طراحی آمیزه لاستیکی از اهمیت شایانی برخوردار است. در این مطالعه، با استخراج مهمترین معیارهای ارزیابی و تشکیل ماتریس

ارزیابی، به مقایسه لاستیک‌های محتمل پرداخته شد. نتیجه‌های نشان‌دهنده آن است که با توجه به ملاحظات فنی و اقتصادی تولید محصول در داخل کشور، لاستیک‌های کائوچوی طبیعی، کلروپرن، اتیلن پروپیلن دی‌ان، پلی‌ایزوبوتیلن، پلی‌سیلوکسان و آکریلونیتریل بوتادین به ترتیب دارای بالاترین پتانسیل در توسعه محصولات ماسک بومی است *IRM*

### 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.
- 5- Anonymous, Rubber Compounds and Elastomers Materials Guide, Industrial Products Division, DYNACAST, available on [www.dynacast-ip.com](http://www.dynacast-ip.com), 2015.
- 6- Anonymous, General Characteristics of Common Polymers, Minor Rubber Company, NJ, 2015.

۷- بی‌نام؛ کائوچوهای مصنوعی، فرمول‌بندی- خواص و کاربردها، تالیف، ترجمه و گردآوری، شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک، تهران، ایران، صفحه‌ی ۳۰-۹، ۱۳۷۵.

۸- آبایی، مریم؛ ابراهیمی، پیمان؛ اسلامی، پروین؛ عابدینی، زهرا؛ تکنولوژی جامع لاستیک (ترجمه)، انتشارت شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک و شرکت ایران تایر و رابر، تهران، ویرایش دوم، صفحه‌ی ۱-۱۳، ۱۳۸۷.

# E

## ngineering Elastomers Used in Gas Mask Production

A. Mohammadi<sup>1,\*</sup>, Y. Amani<sup>2</sup>

1. Design Expert
2. M.Sc. in Polymer Engineering

\*Corresponding author Email: mohammady.abbas@gmail.com

**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