

## تحضير وتوصيف مطاط ستايرن - بوتاديين SBR وتوصيفه

رفيع جبره<sup>(1)</sup>

محمد أيمن نجار<sup>(1)</sup>

### الملخص

هَدَفَ العمل إلى تحضير مزائج مختلفة من مطاط ستايرين بوتاديين SBR 1712 وتوصيفها مع نسب مختلفة من مادتين مالنتين لعضويتين: تقليدية، وهباب الفحم N330، وجديدة نانومترية، وهباب السيليكا aerosil 200. في صياغة هذه المزائج، تُبَتَّت الإضافات جميعها فيها (منشطات التفاعل، والمسرعات، وعوامل الفلكنة، ومضاد الأكسدة) وفق النسب المثلى المعمول بها وُعَيِّرَت نسبة المواد المألثة بين 10 و 50 جزءاً في المئة. تناولت الدراسة أولاً تحديد الشروط العملية المناسبة لتحضير الخلطات المطاطية وتشكيل عينات الاختبارات الميكانيكية، كما تناولت، ثانياً، دراسة تأثير طبيعة المواد المألثة ونسبتها في الخواص الميكانيكية للمطاط المفلكن (مقاومة الشد، والتشوه النسبي، ومعامل يونغ عند نسبة تشوه %300، والقساوة Shore A) وفق المواصفة ASTM D412 و DIN 53505. خلصت الدراسة إلى إمكانية تغيير نسبة المادتين المألثتين في مطاط SBR 1712 ضمن مجال واسع؛ مما يسمح بتغيير الخواص الميكانيكية وتحسينها وفق متطلبات التطبيقات المختلفة. وسمحت الدراسة أيضاً بمقارنة تأثير المادتين المألثتين في شروط تحضير مزائج مطاط SBR 1712 وعملياتها وفي الخواص الميكانيكية للمواد المطاطية الناتجة.

الكلمات المفتاحية: مطاط SBR1712، مواد مألثة، فلكنة، مقاومة الشد، التشوه النسبي عند الكسر، معامل يونغ.

(1) المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا - دمشق - سورية.

## Preparation and characterization of Styrene – Butadiene (SBR) rubber

Mohammad Ayman Najjar<sup>(1)</sup>

Jabra Rafia<sup>(1)</sup>

### ABSTRACT

The present research aims at preparing and characterizing different formulations of SBR1712 rubber with different loading amounts of two inorganic fillers: conventional N330 carbon black and new nanometric aerosil 200 fumed silica. In compounding rubber batches, the content of various additives (reaction activator; accelerator; anti-oxidant & vulcanizing agents) were fixed at the optimum known contents and the filler content has been varied between 10 and 50 phr. The study addressed, firstly, the determination of appropriate processing conditions for batches and testing samples preparation, and secondly the investigation of filler nature and content effect on the vulcanized rubber mechanical properties, namely, tensile strength, tensile elongation at break, Young modulus and Shore A hardness based on ASTM D412 and DIN 53505. The present work showed the feasibility of changing fillers content of SBR 1712 rubber within large interval enabling varying and improving mechanical properties according to the requirement of various applications. The present work allowed also the comparison of carbon black and fumed Silica effect on SBR 1712 rubber processing conditions and mechanical properties of produced rubber materials.

**Keywords:** SBR-1712 rubber, fillers, vulcanization, tensile strength, Young's modulus, elongation at break

---

(1) Higher Institute for Applied Sciences and Technology (HIAST),Damascus, Syria.

## 1- مقدمة:

المطاط الذي نعرفه هذه الأيام تعبير مفرد يفيد الجمع يشتمل على نحو عشرين نوعاً تختلف في الصيغة البوليميرية، وتشارك في السلوك الميكانيكي المعروف بالسلوك المطاطي. والمطاط في أشكاله ومنتجاته المتنوعة، مثل معظم البوليميرات، ليس مادة نقية وإنما مزيج من المكونات العضوية واللاعضوية التي تتضافر جميعها في تحديد خواص المنتج المطاطي وأدائه ومجالات تطبيقاته. يرجع تاريخ تصيغ الخلطة المطاطية إلى شارلز غوديير (Charles Goodyear) الذي عرض عام 1838 خليطة مطاطية مع الكبريت وأبيض الرصاص إلى حرارة موقد، فوجد أن خواص هذه الخلطة تتحسن بشكل ملحوظ. وضعت هذه التجربة عبر مزج المطاط والكبريت وفعل الحرارة أسس عملية فلكنة (vulcanization) المطاط وتصيغ الخلطة المطاطية. من جهة أخرى، دفعت زيادة الطلب ونقص موارد المطاط الطبيعي وتطور كيمياء البوليميرات منذ العقد الثالث من القرن العشرين إلى اصطناع طيف واسع من المواد المطاطية وتطويره يمتد من المطاط الطبيعي إلى أنواع المطاط الصناعي المتعددة التي تستجيب لمتطلبات تقانية وشروط استعمال مختلفة ومتعددة. وتدخل هذه المواد في مجالات متنوعة من التقانات الحديثة، وخير مثال على ذلك، استعمال المطاط في وسائل النقل والإطارات وتصنيع الفواصل لأغراض الكتامة، وتكنولوجيا الخلاء والعزل والاستعمالات الطبية المتعددة. تعتمد قابلية المطاط للاستجابة لمتطلبات تطبيق معين على اختيار نوع المطاط، وعلى اختيار طبيعة مكونات الخلطة المطاطية ونسبتها التي تشتمل على مسحوق لا عضوي يؤدي دور مادة تقوية ميكانيكية وملدنات ومضاد أكسدة ومزلاقات ومسرعات وعامل تصالب (فلكنة). أدى هباب الفحم خلال القرن العشرين، وما يزال، دوراً مهماً في تقوية مطاط الإطارات ومعظم المنتجات المطاطية واسعة الانتشار، ويعود ذلك إلى بنية هباب الفحم النانومترية، المعروفة قبل تطور التقانة النانومترية الحديثة تطبيقاتها، وإلى تحسن المقاومة الميكانيكية ومقاومة الاهتراء والتقادم التي يمنحها للمطاط وإلى كلفته المنافسة. ومع أواخر القرن العشرين ومطلع الألفية الثالثة، ومع تطوير مساحيق متعددة نانومترية وتنوعها، بدأ الاهتمام في دراسة استبدال هباب الفحم جزئياً أو كلياً بمساحيق لاعضوية معروفة أو جديدة. ومن بين هذه المساحيق، تركز الاهتمام على أشكال مختلفة من الكربون، مثل الغرافيت، وأنايب الكربون النانومترية، وعلى بعض أشكال السيليكات الطبيعية، أو الصناعية، مثل هباب السيليكا.

تناولت Liliane Bokbza عام 2017 دراسة أنابيب الكربون متعددة الجدار في تحسين الخواص الميكانيكية لمطاط SBR وفي تحسين ناقلية الكهربية [1]. كما تناول S.K. peddini وزملائه

مورفولوجيا وريولوجيا (سلوك الانسياب واللزوجة) مواد مركبة نانومترية من مطاط SBR، وأنابيب الكربون متعددة الجدار [2]، وعملوا على معالجة مسألة تبعثر هذه الأنابيب في المطاط من خلال أكسدتها سطحياً، وعلى دراسة الخواص الميكانيكية الديناميكية والمقاومة النوعية التي لها علاقة مع توزع أنابيب الكربون في المطاط وبنيتها المجهرية. وفي عام 2012، درس Hassan H. H. وزملاؤه تأثير تركيب المادة المائنة في الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمطاط SBR1502 المَحْمَلْ بهباب الفحم وهباب السيليكا وتوصلوا إلى تحسن الخواص الميكانيكية والقساوة مع تزايد محتوى المادتين المائنتين، ونتيجة تحسن الارتباط عند السطح البيني مطاط - مادة مائنة [3].

تتأثر هذا العمل مطاط الستايرين - بوتاديين SBR1712 وتصنيع مجموعتين من خلطات هذا المطاط تختلفان عن بعضهما فقط في مسحوق التقوية: هباب الفحم في المجموعة الأولى وهباب السيليكا في الثانية مع مكونات أساسية معروفة ومعيارية ودراسة شروط تحضير هذه الخلطات وتوصيفها وخواصها الميكانيكية.

يندرج مطاط SBR1712 تحت طائفة البوليميرات المشتركة الستايرين - البوتاديين، ويحضر وفق آلية البلمرة الاستحلابية عند الدرجة 7 °C ومحتوى الزيت % 27 [1]. يتمتع هذا المطاط بوزن جزيئي مرتفع ولزوجة منخفضة مقارنة بالأنواع الأخرى من مطاط SBR التي لا تحتوي زيتاً في تركيبها.

يبين الجدول رقم (1) تصنيف مطاط SBR وفق طريقة البلمرة [2].

الجدول (1): تصنيف مطاط SBR وفق طريقة البلمرة.

التصنيف	توصيف المنتج
سلسلة SBR1000	التحضير: البلمرة الاستحلابية على الساخن (أعلى من 38 °C) من دون إضافة ملونات
سلسلة SBR 1500	التحضير: البلمرة الاستحلابية على البارد (أقل من 10 °C) من دون إضافة ملونات
سلسلة SBR 1600	التحضير: البلمرة الاستحلابية على البارد، مع إضافة هباب الفحم وزيت بنسبة 14 phr < .
سلسلة SBR 1700	التحضير: البلمرة الاستحلابية على البارد مع نسب مختلفة من الزيت العطري أو البارافيني .
سلسلة SBR 1800	التحضير: البلمرة الاستحلابية على البارد، مع إضافة هباب الفحم وزيت بنسبة 14 phr > .
سلسلة SBR 1900	التحضير: البلمرة الاستحلابية مع إضافة راتنج .

## 2- المواد والطرائق:

## 2-1- المواد الأولية.

يبيّن الجدول (2) خواص هباب الفحم N330 [6]، وهباب السيليكا aerosil 200 [7].

الجدول (2): خواص هباب الكربون N330 وهباب السيليكا aerosil 200 .

المادة	مساحة سطح الامصاص وفق BET ( $m^2/g$ )	امتصاص دي بوتيل فتالات (ml/100 g)	الحجم الحبيبي (nm)
الكربون N330	82±5	99.0	26-30
هباب السيليكا	200±25		7-19

يعبّر سطح الامصاص وفق طريقة (BET) Brunauer Emmett Teller عن مساحة السطح هباب الفحم والسيليكا، أمّا امتصاص ثنائي بوتيل فتالات، فيرتبط بالبنية الدقيقة لتجمعات دقائق هباب الفحم.

يعطي الجدول (3) خواص مطاط SBR1712 من شركة Kumho الكورية [1].

الجدول (3): خواص مطاط SBR1712.

لزوجة المطاط الخام عند الدرجة 100 °C وفق مقياس Mooney (ML 1+4)	51
المواد المتطايرة (wt)	0.27
الرماد (wt)	0.13
الستايرين (wt)	23.66
حمض عضوي (wt)	5.27
الصابون الحر (wt)	0.21
مضاد أكسدة (wt)	0.55
زيت عطري (wt)	27.1

## 2-2- صياغة الخلطات المطاطية.

تناول هذا العمل دراسة مجموعتين من المطاط: - المجموعة الأولى: تتضمن 5 تراكيب من مطاط SBR، ونسباً متزايدةً من الكربون N330 (10,20,30,40,50 phr)؛ - المجموعة الثانية: تتضمن 4 تراكيب مطاط SBR ونسباً متزايدةً من هباب السيليكا aerosil 200 (10,20,30,40 phr). يرمز للمجموعة الأولى SBRx وللثانية SBRxS إذ يشير x إلى نسبة هباب الفحم أو هباب السيليكا (phr). في كلتا الحالتين، قُورنتِ الخواص الميكانيكية بين المجموعتين. يبيّن الجدول (4) نسب المواد الأولية الداخلة في صياغة الخلطات المطاطية في المجموعتين.

الجدول (4): نسب المواد الأولية الداخلة في تركيبة المطاط مع هباب الفحم.

المكونات	(phr)
مطاط خام SBR1712 (شركة Kumho)	100
أكسيد الزنك فعال (Richon)	3
مضاد أكسدة IPPD (Richon)	1
مسرّع DPG (Richon)	1
الكربون N330 (Richon)	0,10,20,30,40,50
حمض الشمع	2
الكبريت نقاوة (98%)	1.5

DPG: IPPD: N-isopropyl- N<sup>2</sup>-phenyl-p phenylene; Phr: Parts per hundred rubber by weigh Diphenyl guanidine;

الجدول (5): نسب المواد الأولية الداخلة في تركيبة المطاط مع هباب السيليكا.

المكونات	(phr)
مطاط خام SBR1712 (شركة Kumho)	100
أكسيد الزنك فعال (Richon)	3
مضاد أكسدة IPPD (Richon)	1
مسرّع DPG (Richon)	1
سيليكا مدخنة (Digussa)	0,10,20,30,40
حمض الشمع	2
الكبريت نقاوة (98%)	1.5

2-3- الطرائق.

2-3-1- مرحلة عجن خلطات المطاط وتجانسها:

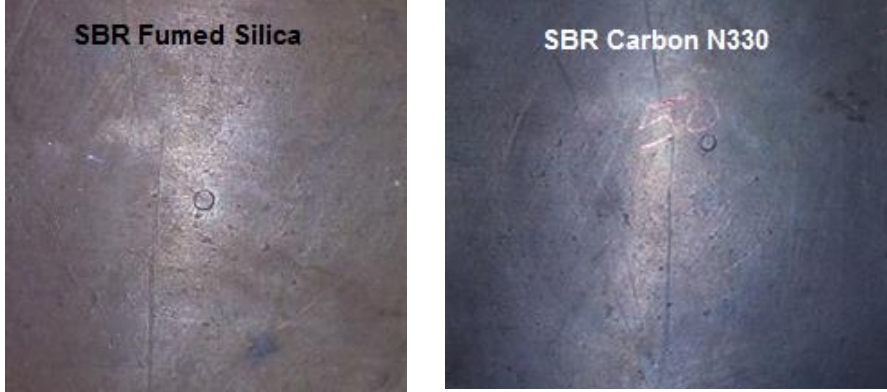
تُعجَنُ خلطة المطاط SBR وتُجانَسُ بواسطة عجانة داخلية (Brabender mixer)؛ وذلك عند درجة حرارة °C 120 [5] لتخفيض لزوجة المطاط، وتحقيق توزيع متجانس للإضافات؛ مع الحرص على عدم تجاوز درجة الحرارة °C 125 في نهاية عملية العجن. ويكون التحكم بالعجانة بواسطة الحاسب لإدخال المعاملات الضرورية، مثل درجة الحرارة، ومجال العزم، وسرعة الدوران عند 30 دورة / دقيقة. خلال مرحلة العجن، يصار إلى تسجيل درجة الحرارة ومنحنى العزم ومراقبتهما بدلالة الزمن عند درجة الحرارة المطبقة وإضافة المواد كل مادة على حدة، أي بطريقة الخلطة النظامية (master batch) [5].

2-3-2- مرحلة تشكيل الخلطات المطاطية.

تشكيل صفائح المطاط:

توضع كتلة خلطة المطاط داخل قالب معدني طلي مسبقاً بغشاء رقيق من مانع التصاق، ويسخن القالب والخلطة من دون تطبيق ضغط مدة من دقيقة إلى دقيقتين للتأكد

من انسياب المطاط داخل قالب، مع الحرص على فتح مجموعة القالب والغطاء جزئياً من 2-3 مرات للتخلص من الجيوب الهوائية. يُطبق الضغط ويُثبت مدة 50 دقيقة عند درجة الحرارة  $155^{\circ}\text{C}$ ، ثم يُبرد القالب حتى الدرجة  $50^{\circ}\text{C}$  مع إبقاء الضغط للحفاظ على أبعاد المنتج. يبين الشكل (1) عينتين من خلطتين ممثلتين، واحدة مع هباب الفحم، والثانية مع هباب السيليكا أبعادهما  $15.5*15.5*0.25\text{ cm}$ .

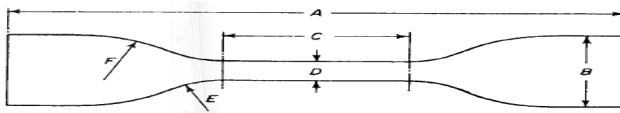


الشكل (1): عينتان من خلطتين ممثلتين، واحدة مع هباب الفحم؛ والثانية مع هباب السيليكا.

بهذه الطريقة، تُشكّل عينات مطاطية مماثلة من أجل نسب هباب فحم قدرها 10,20,30,40,50 phr، ونسب هباب سيليكا قدرها 10,20,30,40 phr. ولم تسمح هذه الطريقة والمواد الأولية المتوافرة بزيادة نسبة هباب السيليكا بشكل أكبر نظراً إلى صغر أبعاده دقائقه النانومترية، وإلى سطحه النوعي الكبير، والتأثيرات الفيزيائية المتبادلة بينه وبين سلاسل المطاط؛ الأمر الذي يعيق عملية المزج.

#### تشكيل عينات الشد:

من أجل اختبار الشد، تُقصّ العينات وفق الأبعاد المبينة في الشكل (2)، والجدول (7) باستخدام آلة قص من طراز (Ceast) بتطبيق ضغط 4 bar، وبشروط واحد للعمل على خلوة العينة من العيوب.



الشكل (2): عينة اختبار الشد.

الجدول (6): أبعاد عينة اختبار الشد.

الأبعاد (mm)	
طول العينة A	75
عرض النهايات B	12.5 ±1
طول الجزء الفعال C	25 ±1
عرض الجزء الفعال D	4±0.1
نصف القطر الخارجي E	8 ±0.5
نصف القطر الداخلي F	12.5 ±1

تشكيل عينات القساوة:

يتطلب اختبار القساوة وفق نظام Shore A والمواصفة DIN 53505 [6] سماكة عينات بحدود 3-6 mm. ولهذا الغرض، صُمِّمَ وصُنِّعَ قالب نحاسي دائري مع أسنان منتظمة على جداره الداخلي - الشكل (3). يبلغ قطر القالب وارتفاعه الداخليان 55 mm و 7 mm على الترتيب.



الشكل (3): قالب تشكيل عينات اختبار قساوة المطاط و3 عينات.

2-3-3- الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية.

• الوزن النوعي:

يُحَسَّبُ الوزن النوعي لعينات الخلطات المطاطية من خلال نسبة الوزن (g) على حجم العينة المطاطية (  $15.5 \times 15.5 \times 0.2 \text{ cm}^3$  ).



• اختبار الشد.

جرى اختبار الشد وفق المواصفة ASTM D412 [7] إذ يُصار إلى إدخال المعاملات الآتية إلى الحاسب الذي يتحكم بآلة الاختبارات الميكانيكية العامة (Adamel Lhomargy): طول الجزء الفعال (طول العينة الأولي) 25mm، وعرض الجزء الفعال 4mm، السماكة 2mm، ومساحة السطح الفعال (مقطع العينة الأولي)، وسرعة الاختبار 300mm/min. يعطي منحنى اختبار الشد، الإجهاد  $\sigma$  بدلالة التشوه النسبي  $\varepsilon$  أي  $\sigma = f(\varepsilon)$ ، المواصفات الميكانيكية الآتية:

✓ مقاومة الشد عند الكسر:

$$\sigma = F/S$$

إذ  $\sigma$ : مقاومة الشد عند الكسر (MPa)،  $F$ : قوة الشد عند الكسر (N)،  $S$ : مساحة مقطع العينة الأولي (m<sup>2</sup>).  
✓ معامل المرونة (بونغ):

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

إذ  $E$ : معامل بونغ (MPa)،  $\Delta\sigma$ : فرق إجهاد الشد (MPa) بين نقطتي التشوه النسبي 0 % و 300 %،  
 $\Delta\varepsilon$ : فرق التشوه النسبي بين نقطتي التشوه النسبي 0 % و 300 % أي 300 %.  
✓ التشوه النسبي عند الكسر:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

إذ  $\varepsilon$ : التشوه النسبي عند الكسر،  $\Delta L$ : الاستطالة (mm) عند الكسر،  $L_0$ : طول العينة الأولي (mm).  
✓ طاقة الكسر (J): الطاقة المستهلكة لكسر العينة، وتساوي المساحة تحت منحنى اختبار الشد،  $\sigma = f(\varepsilon)$ .  
• اختبار القساوة.

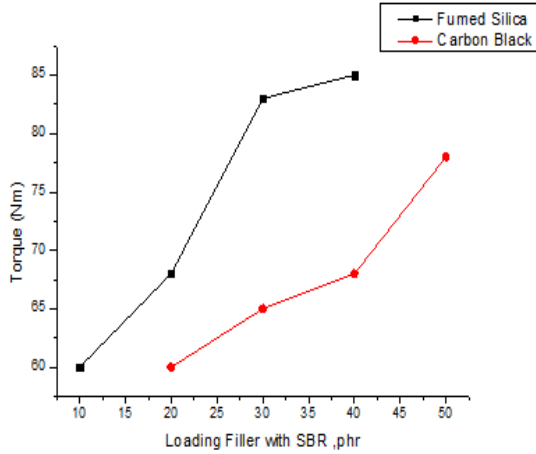
من أجل كل خلطة مطاط، تُخَبَّرُ القساوة وفق نظام Shore A والمواصفة DIN 53505 على عينات اسطوانية قطرها 55 mm وسماكتها 7 mm. يسجل جهاز الاختبار قيمة القساوة الناتجة عن غرز إبرة معيارية في عينة اختبار القساوة، وتُكْرَّرُ العملية 5 مرات على كل عينة، وتعتمد القيمة الوسطية للقراءات الخمس.

### 3. النتائج والمناقشة:

#### 3-1- توصيف عملية مزج المطاط.

##### 3-1-1- المطاط غير المفلكن.

تسمح مراقبة عزم الفتل خلال عجن الخلطات المطاطية وتجانسها بدلالة نسبة هباب الفحم وهباب السيليكا عند درجة حرارة ثابتة وسرعة دوران 30 دورة / دقيقة بمتابعة آنية ومستمرة لتغير عزم الفتل في نظام المزج. يبين الشكل (4) ازدياد قيم عزم الفتل مع ازدياد نسبة المادة المألثة في الخلطة المطاطية، ويلاحظ أن هباب السيليكا يسبب عزمًا أكبر منه مع الكربون. ويرتبط ذلك بصغر أبعاده دقائقه النانومترية، وسطحه النوعي الكبير، وكبر مجموع حجم دقائقه نسبياً، والتأثيرات الفيزيائية المتبادلة بين سطح دقائقه وسلاسل المطاط. يؤدي ذلك إلى ازدياد لزوجة الخلطة المطاطية بشكل واضح مع هباب السيليكا، وإلى صعوبة عملية العجن، وتفتت العجينة المطاطية والحاجة إلى عزم أكبر لإتمام العملية. سبب ذلك كله التوقف عند نسبة 40 phr، وضرورة إضافة مادة ملدنة بنسبة 1% لتخفيض لزوجة هذه الخلطة مع رفع درجة الحرارة لتصل إلى الدرجة 125 °C.



الشكل (4): تأثير نسبة المادة المألثة ونوعها في عزم دوران العجن.

#### 3-2- توصيف الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمطاط المفلكن.

يبين الجدول (7) الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمطاط SBR1712 المفلكن عند إضافة نسب مختلفة من هباب الفحم N330 وهباب السيليكا.

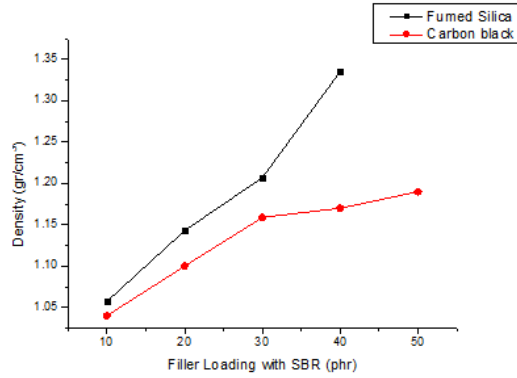
الجدول (7): الخواص الفيزيائية والميكانيكية لخلطات مطاط SBR1712.

العينة	مقاومة الشد MPa	التشوه النسبي %	معامل يونغ عند نسبة تشوه (300%) MPa	طاقة الكسر J	القساوة Shore(A)	الوزن النوعي g/cm <sup>3</sup>
SBR0	1.745	321	5.36	0.538	34	1.015
SBR10	4.64	1065	2.96	2.35	40	1.04
SBR20	7.68	1295	4.23	8.47	53	1.1
SBR30	11.41	1249.2	6.27	11.41	59	1.159
SBR40	11.77	992	10.11	10.65	63	1.18
SBR50	14.7	976	10.78	8.17	72	1.19
SBR10S	5.57	1686	2.71	7.9	44	1.057
SBR20S	5.61	1468.2	3.66	8.17	48	1.143
SBR30S	5.0157	1183.3	4.14	7.19	64	1.207
SBR40S	14.842	851	15.33	16.06	74	1.335

SBR S: SBR Silica

## 3-2-1- الوزن النوعي للمطاط المفلكن:

يُحَسَبُ الوزن النوعي من خلال نسبة الوزن (g) على حجم العينة المطاطية (15.5\*15.5\*0.2 cm<sup>3</sup>). يبين الشكل (5) تغير الوزن النوعي مع اختلاف نوع المادة المألثة عند النسب (10,20,30,40,50 phr).



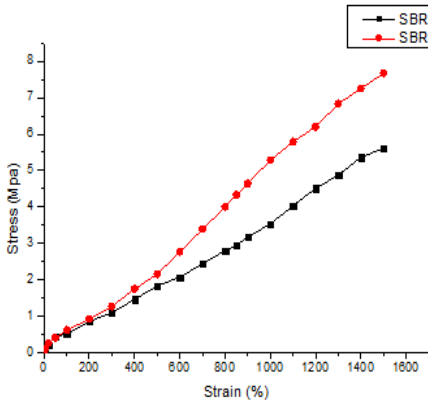
الشكل (5): تأثير نسبة المواد المألثة ونوعها في الوزن النوعي للمطاط.

يزداد الوزن النوعي عموماً مع زيادة نسبة المادة المألثة في حالي هباب الفحم وهباب السيليكا، ويكون الوزن النوعي للمطاط أعلى مع هباب السيليكا. وتُعزى زيادة الوزن النوعي مع نسبة المادة المألثة إلى كون كثافة كلٍ من دقائق هباب الفحم وهباب السيليكا أعلى من كثافة مطاط SBR1712. فيما يتعلق بزيادة قيم الوزن النوعي للمطاط مع هباب السيليكا مقارنة بمثيلاتها مع هباب الفحم، فإن ذلك يرتبط بخواص كلٍ من هاتين المادتين وسلوكهما. أولاً، إن كثافة دقائق هباب السيليكا أكبر منها في هباب الفحم. ثانياً، تميل دقائق هباب الفحم إلى التجمع والتكتل على شكل عناقيد ذات بنية مجهرية مسامية (microstructure) [8,9]، ومن الأرجح أن هذا الميل نحو التكتل يقل في دقائق هباب السيليكا عنه في هباب الفحم. وفي هذه الحالة، ومن أجل نسبة أقل من 40 phr يكون توزيع دقائق هباب السيليكا في المطاط أفضل منه في حالة دقائق هباب الفحم. وبعد هذه النسبة، وباستعمال طريقة المزج والعجن والمواد المتوافرة في هذا العمل، يصبح من الصعب العمل مع هباب السيليكا نظراً إلى صغر أبعاده النانومترية، وإلى سطحه النوعي الكبير، والتأثيرات الفيزيائية المتبادلة بينه وبين سلاسل المطاط.

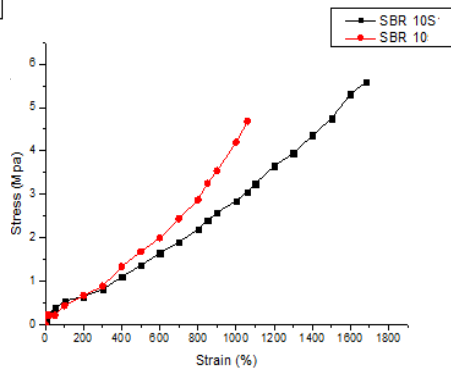
### 3-2-2-3- الخواص الميكانيكية للمطاط بدلالة نسبة المواد المألثة ونوعها:

#### 3-2-2-1- خواص الشد.

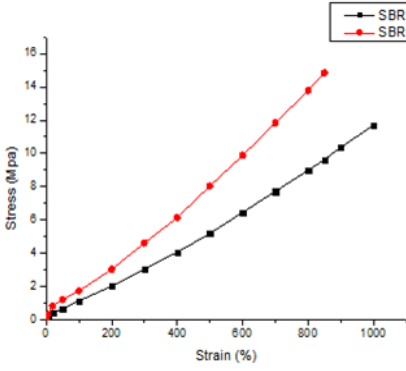
تعطي الأشكال (6,7,8,9,10) منحنيات الإجهاد- تشوه لخلطات المطاط بدلالة نسبة المادة المألثة ونوعها.



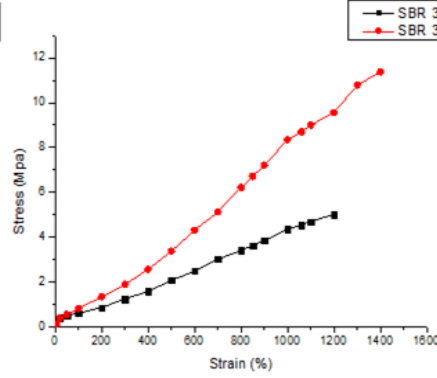
الشكل (7): منحنى الإجهاد- تشوه نسبي عند نسبة 20 phr مادة مألثة



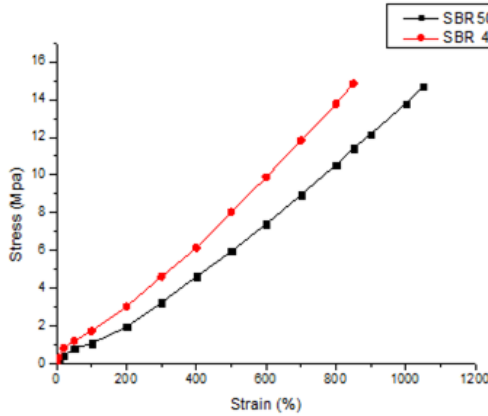
الشكل (6): منحنى الإجهاد- تشوه نسبي عند نسبة 10 phr مادة مألثة



الشكل (9): منحنى الإجهاد- تشوه نسبي عند نسبة 40 phr مادة مالئة



الشكل (8): منحنى الإجهاد- تشوه نسبي عند نسبة 30 phr مادة مالئة



الشكل (10): منحنى الإجهاد- تشوه نسبي عند نسبة 40 phr هباب سيليكيا و 50 phr كربون N330. تُرِسِبَت الخواص الميكانيكية وفُورِئَتْ لمجموعتي المطاط المفلكن (مقاومة الشد، والتشوه النسبي، ومعامل يونغ عند نسبة تشوه 300% وفق المواصفة ASTM D412. تأثير طبيعة المادة المألئة ونسبته في مقاومة الشد:

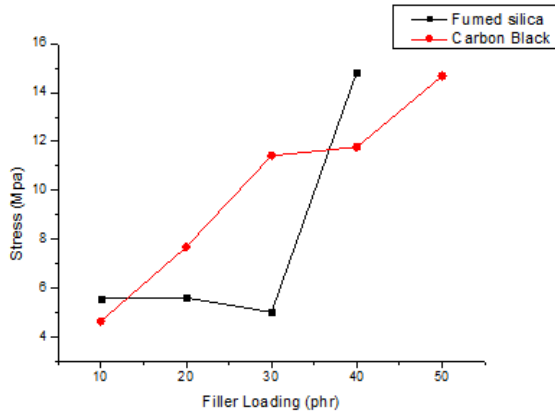
هباب الفحم: عند زيادة نسبة المادة المألئة في المجموعة الأولى (هباب الفحم) تزداد مقاومة المطاط بشكل واضح لتصل إلى القيمة 14.7 MPa عند النسبة 50 phr، ويترافق ذلك مع ازدياد في قيمة معامل يونغ عند تشوه نسبي قدره 300% إلى 10.78 MPa وتتناقص قيمة

التشوه النسبي لتصل إلى % 976 نتيجة ازدياد نسبة المادة المألثة. يعود ذلك إلى توزع هباب الفحم (المادة المألثة) بشكل جيد داخل بنية المطاط، وإلى التفاعل المتبادل بين الزمر الوظيفية الفعالة الموجودة على سطحه والمطاط. ومع ازدياد نسبة هباب الفحم، يزداد تبعثره داخل البنية وتزداد نسبة التفاعلات المتبادلة بين الزمر الوظيفية المودودة على سطحه والمطاط. تتوافق هذه النتائج مع أعمال Demirhan E. وزملائه (2007) [1].

**هباب السيليكا:** تبقى تقوية المطاط بواسطة هباب السيليكا أقل من مثيلتها في هباب الفحم عند النسب ( 10,20,30 phr ). ويعود ذلك إلى عدم استخدام مادة رابطة سيلانية سيليكا- مطاط تعمل على تحسين الترابط بين دقائق السيليكا والمطاط ومن ثمَّ تحسين الخواص الميكانيكية للمنتج. أمَّا عند إضافة نسبة 40 phr هباب السيليكا إلى التركيبة المطاطية، فيتفوق هباب السيليكا على هباب الفحم، إذ يبيِّن الشكلان (9,10) أن النسبة 40 phr للسيليكا تعطي خواصَّ ميكانيكية (مقاومة الشد 14.8 MPa، معامل يونغ 15.3 MPa) أفضل منها مع هباب الفحم عند النسبة (40,50) phr. ويعود ذلك إلى أن حجم حبيبات السيليكا أصغر من حجم حبيبات هباب الفحم؛ ممَّا يحقق نسبة تبعثر أكبر في المطاط.

يبيِّن الشكل (11) ازدياد مقاومة الشد مع ازدياد نسبة المادة المألثة (هباب الفحم والسيليكا)، ويعزى ذلك إلى ثلاثة أسباب:

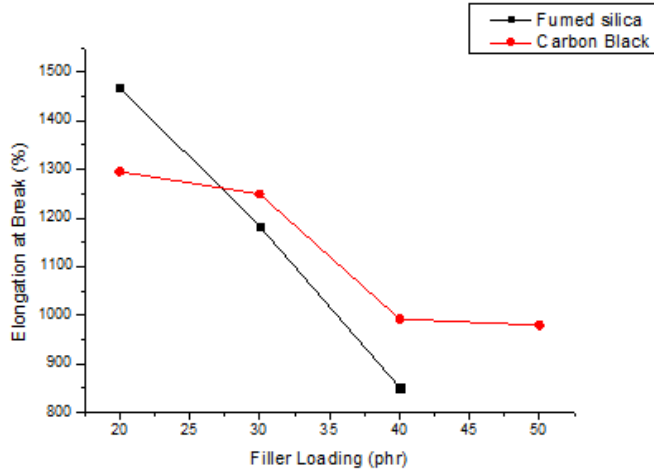
- 1- تفاعل الزمر الفعالة الموجودة على سطح المادة المألثة مع المطاط 2- ازدياد نسبة المادة المألثة وتبعثرها بشكل متزايد داخل بنية المطاط نظراً إلى أبعادها النانومترية 3- زيادة نسبة المطاط المرتبط مع دقائق المادة المألثة وبين دقائق تجمعاتها.



الشكل (11): مقارنة تغير مقاومة الشد مع نسبة المواد المألثة من هباب الفحم وهباب السيليكا.

## تأثير طبيعة المادة المألنة ونسبتها في التشوه النسبي للمطاط:

تبين الدراسات أن ازدياد نسبة المواد المألنة يؤدي إلى تناقص في قيمة التشوه النسبي [1]، ويعود ذلك إلى زيادة النسبة الحجمية للمواد المألنة القصفة الأقل مطاوعة داخل البنية البوليميرية للمطاط. يبين الشكل (12) تأثير نسبة هباب الفحم والسيليكا على الاستطالة عند الكسر للمطاط والمقارنة بينهما، إذ يتبين أن هباب الفحم عند النسب 30,40 phr يكسب المطاط استطالة عند الكسر أعلى منها مع السيليكا؛ ويعود ذلك إلى اختلاف طبيعة دقائق المادتين حجماً وسطحياً، وإلى حاجة دقائق السيليكا إلى معالجة سطحية، وإلى طبيعتها القصفة. ومع ذلك، تبقى الاستطالة عند الكسر عالية وتفوق % 800، أي قابلية تشوه كبيرة ورجوعية كاملة عند إزالة الإجهاد، وهذا ما ينسجم مع بعض تطبيقات المطاط.

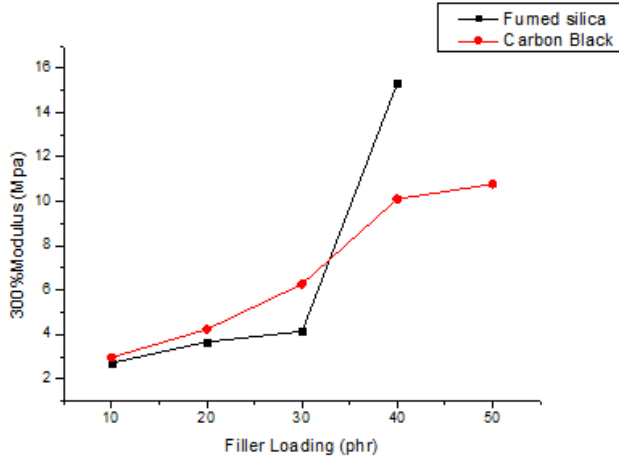


الشكل (12): التشوه النسبي عند الكسر بدلالة نسبة المواد المألنة.

## تأثير طبيعة المادة المألنة ونسبتها في معامل يونغ عند تشوهه نسبي %300:

بيّنت الدراسات السابقة [1] أن ازدياد نسبة المادة المألنة يؤدي إلى ازدياد معامل يونغ. يبين الشكل (13) تأثير نسب المواد المألنة (هباب الفحم، وهباب السيليكا) في معامل يونغ في المطاط SBR1712، إذ يتزايد معامل يونغ في الحالتين بشكل شبه متكافئ حتى نسبة 30 phr، وبعد هذه النسبة، يتفوق تأثير هباب السيليكا. بناءً على ما سبق، يتعلق تأثير المادة المألنة بعاملين أساسيين: نسبتها في الخلطة المطاطية، والتأثيرات المتبادلة بين دقائقها

والسلاسل المطاطية، فعند النسب المنخفضة، يبدو أن التأثير الثاني يهيمن مع هباب الفحم، أما عند النسب المرتفعة، فيبدو أن التأثير الأول يهيمن مع هباب السيليكا.

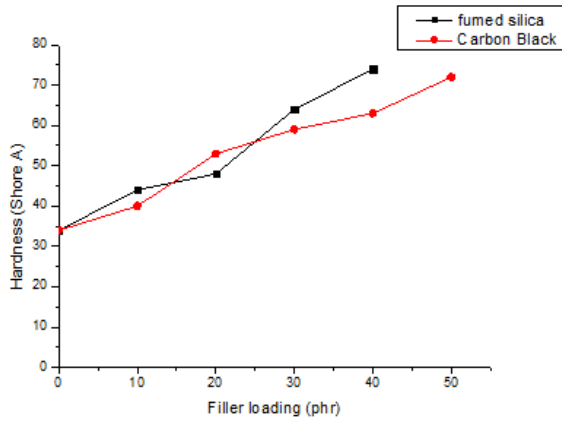


الشكل (13): معامل يونغ عند نسبة تشوه 300% بدلالة تغير نسبة المادة المألثة.

### 3-2-2-2- القساوة.

تأثير نسبة المادة المألثة في القساوة.

يبين الشكل (14) تأثير نسبة هباب الفحم وهباب السيليكا في قساوة المطاط.



الشكل (14): تغير القساوة مع ازدياد نسبة المادة المألثة.



يتبين أنه عند زيادة نسبة المادة المألثة في المجموعتين الأولى والثانية (هاب الفحم، وهباب السيليكا) تزداد قساوة المطاط بشكل واضح لتصل في المجموعة الأولى إلى القيمة 72 Shore A عند النسبة 50 phr، وإلى القيمة 74 Shore A عند النسبة 40 phr في المجموعة الثانية، ويتفق ذلك مع [3،4]، ويعود إلى توزع المادة المألثة بشكل جيد داخل بنية المطاط مع ازدياد نسبة المادة المألثة، وإلى التفاعل بين الزمر الوظيفية الفعالة الموجودة على سطح المادة المألثة والمطاط.

ويتبين أيضاً أن هباب السيليكا يُكسب المطاط قساوة أكبر نسبياً مقارنة بمثلتها مع هباب الفحم، ويعود السبب إلى عاملين رئيسيين. أولاً، إن قساوة دقائق هباب السيليكا أكبر منها في هباب الفحم. ثانياً، إن ميل دقائق هباب الفحم إلى التجمع والتكتل على شكل عناقيد ذات بنية مجهرية مسامية (microstructure) أكبر منه في دقائق هباب السيليكا.

#### 4. الخلاصة والاستنتاجات:

من خلال النتائج التجريبية السابقة، يمكن صياغة الاستنتاجات الآتية:

- توصلت الدراسة إلى تحديد الشروط العملية المناسبة لتحضير الخلطات المطاطية، وتشكيل عينات الاختبارات الميكانيكية،
- كما تناولت دراسة تأثير طبيعة المواد المألثة ونسبتها في الخواص الميكانيكية للمطاط المفلن (مقاومة الشد، والتشوه النسبي، ومعامل يونغ عند نسبة تشوه 300%)، والقساوة Shore A).
- خلصت الدراسة إلى إمكانية تغيير نسبة المادتين المألثتين في مطاط SBR 1712 ضمن مجال واسع؛ ممّا يسمح بتغيير الخواص الميكانيكية، وتحسينها وفق متطلبات التطبيقات المختلفة.
- سمحت هذه الدراسة بتحقيق خلطات مطاطية متجانسة وملائمة من مطاط SBR1712 مع نسب من هباب السيليكا كمادة تقوية مألثة حتى نسبة 40phr، ودون استعمال مادة رابطة سيلانية.
- تتوافق نتائج هذه الدراسة فيما يتعلق بتحضير الخلطات المطاطية وبخواصها الميكانيكية مع حالة التقانة الحديثة في تكنولوجيا المطاط، ومع نتائج الأعمال العلمية المشابهة في هذا المجال.
- بيّنت النتائج التجريبية في هذه الدراسة تكافؤ الخواص الميكانيكية لخلطات مطاط SBR1712 مع هباب الفحم ومع هباب السيليكا مع تفوق نسبي للثاني عند نسب مرتفعة. ومن المعروف أن هباب السيليكا يتفوق على هباب الفحم من أجل النسب المنخفضة عند استعمال المواد الرابطة السيلانية لتحسين الارتباط بين دقائق السيليكا والمطاط. وسيشكل ذلك محور عملٍ مستقبلياً في هذا الإطار.
- هناك بالتأكيد خواص ميكانيكية أخرى لم يتسنّ تناولها في إطار هذا العمل، ولاسيّما مقاومة الاحتكاك والاهتراء، ومن المعروف تفوق هباب السيليكا على هباب الفحم في هذا المجال، الأمر الذي مهد السبيل أمام الإطارات الخضراء المتقدمة حديثة التطوير لدى عدد من الشركات الكبرى العالمية.

## References

- 1- Demirhan E. , Kandemirli F., Kandemirli M., Kovalishyn V., (2007), *Investigation of the physical and rheological properties of SBR-1712 rubber compounds by neural network approaches*. Materials & Design, 28, p.1737-1741.
- 2- Mark J. E. , Erman B., Eirich F. R., 2005.Science and Technology of rubber, Elsevier,. Third Edition: p.752.
- 3- N330 Carbon Black Application Data Sheet, N3CB-06-301 (2006).
- 4- AEROSIL® 200 Degussa, Product Information/ July 04/www.aerosil.com.
- 5- Bhowmick, A.K. and Stephens H. 2001, *HAND BOOK OF ELASTOMER.*: CRC Press. p.973.
- 6- DIN 53505.
- 7- ASTM D412.
- 8- Carbon black: why quality matters, ww. rubbernews.com.
- 9- AEROSIL® 200 Fumed Oxides for Silica Glass, Degussa TIN 1271-1/ June05.