مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (2) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (2) 2016

دراسة الخواص الفيزوميكانيكية والكيميائية لخلائط المطّاط الطبيعي والأسمنت الحراري

الدكتور علي علي *
الدكتورة ميساء شاش **
احمد مخلوف ***

(تاريخ الإيداع 17 / 11 / 2015. قُبِل للنشر في 16/ 3 / 2016)

□ ملخّص □

تم في هذا البحث دراسة تأثير إضافة الأسمنت الحراري كمادة مالئة على خواص المطّاط الطبيعي STR20، عن طريق تحضير خلائط من المطّاط الطبيعي تحتوي نسب مختلفة من الأسمنت الحراري (20,15,10,5,0 pphr) على جهاز درفلة المطّاط ثم توصيف الخواص الفيزوميكانيكية والكيميائية للخلائط المحضرة، وذلك باختبارها لقياس مقاومة الشد، ومقاومة الاحتكاك وتحديد كل من قيم القساوة والإنتباجية في مذيبات مختلفة.

أظهرت النتائج ازدياد مقاومة الشد مع زيادة نسبة الأسمنت الحراري حتى (15 pphr) لكن بعد هذه النسبة تأخذ مقاومة الشد بالانخفاض التدريجي، حيث تصبح العلاقة عكسية بين نسبة الإضافة والمقاومة، كما لوحظ انخفاض نسبة الاستطالة عند القطع تدريجيا مع زيادة نسبة إضافة الأسمنت الحراري، أما بالنسبة لقيم القساوة فقد ازدادت بشكل طردي مع زيادة نسبة الأسمنت الحراري في الخلائط، أيضا لوحظ انخفاض في مقاومة الاحتكاك مع زيادة نسبة الإضافة حتى (15 pphr) لترتفع بعد ذلك.

كما أظهرت نتائج الدراسة بأن إنتباجية العينات في الزيت المعدني كانت اخفض مقارنة بكل من البنزين والمازوت، ففي الزيت المعدني كانت الإنتباجية بنسبة 1.29%، أما في البنزين كانت بنسبة 14.15% وفي المازوت بنسبة 12.43%.

الكلمات المفتاحية : المطّاط – الفلكنة– خلائط – الأسمنت الحراري– الدرفلة.

* أستاذ– قسم تقانة الأغذية . كلية الهندسة التقنية . جامعة طرطوس . سورية
** مدرسة – قسم المعدات والآليات . كلية الهندسة التقنية . جامعة طرطوس . سورية
*** طالب دراسات عليا . قسم هندسة المواد التطبيقية . كلية الهندسة التقنية . جامعة طرطوس . سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (2) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (2) 2016

Study physico-mechanical and chemical properties of mixtures of natural rubber & thermal cement

Dr. Ali Ali [*]
Dr. Maysa Chcahe [**]
Ahmad Makhlouf [***]

(Received 17 / 11 / 2015. Accepted 16 / 3 / 2016)

□ ABSTRACT □

In this research study the effect of adding thermal cement as a filler on the properties of natural rubber STR20, through the preparation of natural rubber mixtures containing different ratios of thermal cement (0,5,10,15,20 pphr) on the rolling rubber machine, then characterization physico-mechanical properties and chemical of mixtures that prepared and then tested to measure the tensile strength, resistance friction and determine the hardness and swelling values in different solvents.

The results showed increased tensile strength with increased thermal cement ratio until

15) pphr) but after this percentage take tensile strength to decline gradually, where the relationship becomes counterproductive between the additives and the resistance ratio, as noted the low percentage of elongation at break gradually with increasing the proportion of thermal cement, as for the hardness values it has increased in extrusive with increase the proportion of thermal cement in mixtures, also **observed a decrease** in friction resistance with increase the additives proportion even (15 pphr) to rise after that**.**

Results of the study also showed that the samples swelling in mineral oil was lower compared to all of the gasoline and diesel, the swelling was in the mineral oil 1.29%, while in gasoline was 14.15% and in diesel was 12.43%.

Keywords: Rubber – vulcanization - mixture - thermal cement- rolling

[*]**Professor, Department of Food Technology, Faculty of Engineering Technology, Tartrous University, Syria.**
[**]**Professor, Department of Equipment's and Machines, Faculty of Technician Engineering, Tartrous University, Syria.**
[***] **Postgraduate student, Department of Equipment's and Machines, Faculty of Technician Engineering, Tartrous University, Syria.**

مقدمة:

أصبحت صناعة اللدائن من أهم الصناعات إلى حد يمكن تسمية العصر الحاضر بعصر اللدائن، بحيث أمكن إنتاجها بالمواصفات التي تناسب الغاية المطلوبة منها وأصبحت بديلا مناسبا لعدد كبير من المعادن والخشب والزجاج، حيث دخلت في صناعة الآلات والسيارات والطائرات والسفن.

ويعتبر المطّاط من أكثر المواد الأولية نفعاً وأكثرها أهمية وللمطاط فوائد خاصة لأسباب عديدة فهو يحبس الهواء ولا يمتص الرطوبة، ولا يوصل الكهرباء بسهولة، ولكن أهميته الخاصة تكمن في مرونته و قابلية العودة إلى الشكل الأصلي.

ويستخدم المطاط في كثير من المجالات التي تتطلب بالإضافة إلى مرونة المطاط خواص ميكانيكية جيدة ومقاومة حرارية ومقاومة اهتراء، لذا أجريت العديد من البحوث في هذا المجال من خلال إضافة مواد مالئة (Filler) أو إضافة مواد بوليميرية لتحسين خواص المطاط.

وهناك عدد من الباحثين اهتموا بذلك منهم الباحث Jizsef [1] إذ قام بدراسة تأثير إضافة السيلكا الطبقي Layered Silicates بسمك طبقي (1nm) في المطاط، بذلك استطاع أن يقلل من درجة حرارة الفلكنة (Vulcanization) ويزيد من الترابط الكيميائي بين مكونات العجنة. ودرس الباحث (Sinha) [2] تأثير إضافة نسب مختلفة من الكاؤولين على خواص البوليمر، فحضر مادة مركبة دقيقة (nanocomposites) من البوليمر والكاؤولين، ودرس تأثير إضافة نسب مختلفة من الكاؤولين على خواص البوليمر.

وفي عام (2009) م قام باحثون [3] بدراسة تأثير إضافة الأسمنت في خواص مطّاط النتريل (NBR)، فقام الباحثون بتحضير خلطات مطّاطيّة لها قابلية على مقاومة الظروف الجويّة واستخدامها كمخمِّدات، وقد أظهرت النتائج عند نسبة (50%) أسمنت، أن الصلادة واللزوجة ازدادت بمقدار (64%) و (155%) على التوالي. كما ازدادت مقاومة الشدّ بنسبة (218%) ومعامل المرونة (235%)، وانخفاض الاستطالة بمقدار (90%). أما الكثافة النوعية فانخفضت بمقدار (42%). وبالتالي فأنّ إضافة (% 50) من الأسمنت إلى مطّاط النتريل أثّر إيجابياً في الخواصّ العامّة للمطّاط.

أيضا في عام (2010) م درس باحثون [4] تأثير إضافة البوراكس في خواصّ فلكنة المطّاط والمتمثلة بخاصية اللزوجة والمرونة واللدونة، عن طريق إضافة كميات مناسبة من مسحوق البوراكس بمقادير (5,10,15,20 pphr) إلى أنواع مختلفة من المطّاط (مطّاط الستارين بوتاديين SBR، ومطاط النتريل NBR، ومطاط البولي كلوروبرين نوع WRT) ودراسة التغير في وقت التثبيط (Scorch time)، و وقت الإنضاج (Curing time)، و بينت النتائج التي تم التوصل إليها إن إضافة البوراكس إلى (SBR) يعمل على خفض لزوجة المنتوجات المطّاطيّة ويؤثّر في مواصفاتها الميكانيكيّة ويجعلها أكثر لدونة. وبشكل مخالف فأن إضافة البوراكس إلى (NBR) يعمل على زيادة اللزوجة بانتظام، ولكن على نطاق ضيق. أما إضافة البوراكس إلى (WRT) يعمل على زيادة اللزوجة زيادةً ملحوظة لغاية (10 pphr) وهذا بدورة يعمل على زيادة الخواص الميكانيكيّة.

وفي عام (2013) م قام باحثون [5] بدراسة تأثير إضافة مسحوق الأصداف البحرية المكون من (82.4%) كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) في الخواصّ الميكانيكيّة للمطاط الطبيعي، وبنسب مختلفة (150,120,100,50,30,20 pphr)، وملاحظة مدى تأثير ذلك في الخواصّ الميكانيكيّة للمطّاط والتي شملت كلاً من الصلادة ومقاومة الشدّ، وقد أوضحت النتائج التي تم الحصول عليها من الفحوصات الميكانيكيّة، ارتفاع قيمة

صلادة المطّاط مع زيادة مسحوق الأصداف البحرية. كما لوحظ أيضا ارتفاع قيمة مقاومة الشدّ عند إضافة (20pphr) من مسحوق الأصداف البحرية، ولكنّها تنخفض انخفاضاً كبيراً بعد هذه النسبة نتيجة لارتفاع صلادة المطّاط.

أنواع المطّاط:

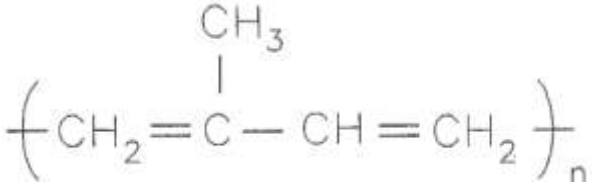
يتم الحصول على المطّاط الطبيعي من عصارة شجرة، بينما ينتج المطّاط الاصطناعي من المواد الكيميائية وقبل الحرب العالمية الثانية كان المطّاط الطبيعي يشكل (100%) من صناعة المطّاط بعد ذلك لم يستطع إنتاج المطّاط الطبيعي أن يغطى احتياجات دول العالم ومن ثم ظهرت وتطورت صناعة المطّاط الصناعي.

1- المطّاط الطبيعي:

يعدّ المطّاط الطبيعي من أهم أنواع المطّاط المستخدمة في الصناعة بسبب امتلاكه لصفات تتفوق على المطّاط الصناعي حيث يمتلك قوة شد عالية، رجوعية عالية، مقاومة الانثناء في درجات الحرارة المنخفضة، مقاومة التمزق والقطع [6].

ويتميز المطّاط الطبيعي بمقاومة منخفضة للتأكسد بالأوكسجين والأوزون نظرا لاحتوائه على روابط مزدوجة سهلة التفاعل مع هذه الغازات، ولهذا السبب يتم إضافة مضادات أكسدة تتفاعل مع النهايات الحرة مقللة من عمليات الأكسدة.

تتراوح درجة حرارة التشغيل للمطاط الطبيعي من (- $60c^{o}$ إلى $80c^{o}$)، ويستخدم المطّاط الطبيعي في العديد من التطبيقات الصناعية، مثل صناعة الأدوات الميكانيكية، الأحذية، السيور، مانعات التسرب، اللواصق والإطارات ويمثل الشكل (1) التركيب الكيميائي للمطاط الطبيعي (البولي- ايزوبرين).



الشكل (1) التركيب الكيميائي للمطاط الطبيعي

2- المطّاط الصناعي:

تصنع المواد المشابهة للمطاط من المواد الكيميائية، ويسمَّى ذلك باسم المطّاط الصناعي نظرا لأنه يُسْتخدم بديلاً للمطاط الطبيعي. ويصنف المصنعون المطّاط الصناعي إلى نوعين مطاط للأغراض العامة ومطاط للأغراض الخاصة.

المطّاط الصناعي للأغراض العامة :

اكثر هذه الأنواع شهرة واستخداما في العالم هو مطاط الستارين- بوتاديين (Styrene-butadiene rubber) وهو عبارة عن بوليمر مشترك من مادة الستارين و البوتاديين [7]، وهو مطاط ضعيف وغير قابل للاستخدام بدون تدعيم من الكربون الأسود، لكنه في وجود الكربون الأسود يكون أقوى ومقاوماً للتآكل، وتتمثل عيوبه في أنه مقاوم رديء للزيت وغير مناسب في وجود أثر للعوامل الجوية، الأشعة فوق البنفسجية أو الأكسجين أو الأوزون لوجود الرابطة الثنائية في الجزء الأساسي للبوليمر. وتتراوح درجة الحرارة العمل من [$55c^{o}$ إلى 100].

المطّاط الصناعي للأغراض الخاصة :

مطاط الأغراض الخاصة ذو استخدامات محدودة نظراً لما يتطلب من مواصفات محدّدة، مثل المقاومة للوقود والزيوت والشحوم ودرجات الحرارة المرتفعة وله أنواع كثيرة منها على سبيل المثال لا الحصر :

- مطاط اكريليك (Polyacrylic Rubber) ويرمز له ACM.
- مطاط السليكون (Silicone Rubber) ويرمز له SI.
- مطاط البوتاديئين (Polybutadiene rubber) ويرمز له BR.
- مطاط كلوروبرين (Chloroprene Rubber) ويرمز له CR.
- مطاط البوتيل (Isobutylene–isoprene rubber) ويرمز له IIR.
- مطاط الإيثلين البروبيلين (Ethlylene Propylene Diene Monomer) ويرمز له EPDM.
- مطاط اكريل نتريل بوتاديئين (Acrylonitrile butadiene rubber) ويرمز له NBR.

أهم مواد الإضافة الداخلة في تركيب المنتجات المطّاطية :

من أهم المواد التي تضاف لتشكيل الخلطة المطّاطية [8] هي:

1 - المواد المفلكنة:

بعد أن أوجدت الصناعة أنواعاً عديدة من المطّاط، لذا لم يعد الكبريت العنصر الوحيد القادر على فلكنة كل أنواع المطّاط، بل وجدت مواد كثيرة تقوم بهذه العملية وذلك بحسب نوع المطّاط، من أهم هذه المواد:

الكبريت (بشكل حر أو مركبات كبريتية)، السلينيوم والتيلوريوم، الأكاسيد المعدنية. لكن يبقى الكبريت هو المادة المفضلة صناعيا لفلكنة المطّاط [10].

2- المواد المسرّعة للفلكنة:

إن فلكنة المطّاط بالكبريت تستغرق زمنا طويلاً قد يصل إلى عدة أيام، لذا يضاف عادة إلى الخلطة المطّاطية مواد مسرعة للتفاعل من شأنها خفض الزمن اللازم لفلكنة المطّاط، كما أنها تحسن أيضاً مواصفات المنتج النهائي، وتساعد على جعله متماثلاً كلياً [9] وتقسم هذه المواد إلى ثلاث فئات:

مسرّعات سريعة ومتوسطة وبطيئة، ويختلف استعمالها باختلاف نوع ومواصفات المنتج المطّاطي.

3- المواد المنشطة للمسرّعات:

تتباطأ فعّالية المواد المسرّعة للتفاعل بعد مرور زمن قصير من الفلكنة، لذا ينبغي إضافة مواد منشِّطة لها. وتقسم هذه المواد إلى نوعين: منشّطات عضوية ومنشّطات معدنية.

4- المواد المضادة للأكسدة Antioxidants والعوامل الجوية والضوء:

للمطاط أنواعاً عديدة تختلف عن بعضها بمرور الزمن من خلال مقاومتها لفعل العوامل والتقلبات الجوية، لذا كان لابد من إضافة مواد إلى الخلطة المطّاطية لإكساب المنتج المطّاطي خاصية قوة تحمل ضد هذه العوامل والتقلبات الجوية لذلك فأن مضادات الأكسدة تحمي المطّاط من التغيرات الكيميائية ومن التأثيرات الضارة للحرارة وضوء الشمس والهواء، كما أن بعض المواد الكيميائية تمنع الشروخ الناتجة من تأثير الأوزون والأكسدة [10].

5- المواد المالئة:

تعدّ هذه المواد من أهم المواد التي تضاف للمطاط لتحسين خواصه الميكانيكية. تضاف المالئات التي هي مواد خاملة نسبياً إلى البوليمرات لتحسين الصلادة، مقاومة الصدمة، الجساءة، المتانة، مقاومة الشد والانحناء، مقاومة المذيبات ولتغير الخواصّ الكهربائية للبوليمرات [11]. تساعد المالئات على استخدام درجات حرارية عالية للتقسية، كذلك تعمل على تقليل ميل البوليمر للتشقق خلال التقسية بالإضافة إلى عملها في خفض نسبة الانكماش ومساعدتها على إنتاج

سطوح مقولبة ناعمة. ومن أهم أنواع المالئات هي أوكسيد الكالسيوم، اسود الكربون، الحبيبات الناعمة المترسبة من السيلكا، سليكات الألمنيوم، كربونات الكالسيوم المنشّطة وغيرها من المالئات[12].

6- المواد الملدنة:

تضاف إلى المطّاط في أثناء تحطيم السلاسل الكربونية، أي أثناء المراحل الأولى لعجن المطّاط الخام. وهي تكسب المطّاط سهولة في أثناء التشغيل ونعومة في المنتج النهائي ومن أهمّها:

زيوت معدنية –اتيرات كبريتية – استيرات كبريتية.

إنّ إضافة الزيوت المعدنية إلى الخلطة المطّاط يكسبه طراوة ولوناً وعطراً مع الإبقاء على درجة حرارة الدرافيل منخفضة، كما تساعد على توزيع وتشتيت المواد المالئة وخفض مدة العجن وتوفير الطاقة [13].

أهمية البحث وأهدافه:

تعدّ المنتجات المصنعة من المطّاط من السلع الواسعة الانتشار لما لها من تطبيقات في كل الصناعات، حيث يستخدم المطّاط في كثير من المجالات الصناعية المختلفة مثل المخمدات وموانع التسرب وغيرها، لذلك كان هدف البحث الوصول إلى منتج مطاطي محلي ذو خواصّ جيدة لاستخدامه بتطبيقات مختلفة، وذلك باستخدام آلة الدرفلة لمزج المطّاط وخلائطه تم تصنيعها محليا، فالظروف الراهنة التي تمر بها سوريا تحتم إيجاد البدائل لكثير من المواد المستوردة وتصنيعها بأقل كلفة ممكنة.

طرائق البحث ومواده:

القسم العملي:

تم في هذا البحث تحضير عينات من المطّاط الطبيعي STR20 إيراني المنشأ. ويبين الجدول (1) مواصفات مواد الإضافة والشركة الصانعة :

جدول (1) المواد الداخلة في الخلطة المطّاطية

N	Material	Properties	Value	Company
1	Carbon Black	1-SP.gravity (typical)	1.8	Aditya Birla Group. India
		2-iodine adsorption	36±5 mg/g	
		3-Ash content	0.75%	
2	Zinc oxide	1-SP.gravity (typical)	5.5	Arabian zinc oxide factory. kSA
		2-zinc oxide content	99 min	
3	Stearic acid	1-SP.gravity	0.85	Zhengzhou Sino Chemical Co. Chine
		2-iodine value	8gI2/100g	
		3-acid value	195-213	
		4-Ash at 550˚c	0.1%	
4	sulfur	1-SP.gravity	1.57	Universal Chemicals. co-India
		2-sulfure content	80±2%	
		3-Ash at 550˚c	0.2% max	
5	TMQ	1-SP.gravity	1.08	Sunchemy

		2- Heating loss,≤	0.3%	International .Co .Ltd-China
		3- Ash at 550˚c	0.3%	
6	Process oil	1-sp.gravity 2-Viscosity at 0ºc 3- Ash at 55ºc ≤	0.89 480 secs 0.01 %	Grandocean Enterprise Group Co.,Ltd- China
7	Thiuram	1-Thiuram content **2-**Ash content% ≤	98 min 0.3	Rongcheng Chemical General Factory Co. Ltd-China

تم إضافة الأسمنت الحراري بنسب مختلفة والمكون من (40 %) أوكسيد الألمنيوم Al_2O_3 و(40 %) أوكسيد السليكا SiO_2 و (20%) كربونات الكالسيوم $CaCo_3$، وذلك من أجل تحديد تأثير الأسمنت الحراري في الخواص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية للمطاط، وقد استخدمنا من أجل ذلك:

1 -آلة درفلة لمزج المطّاط وخلائطة سعة (1kg) كما في الشكل (2). والمتكونة من درفيلين مصنوعين من الفولاذ، بطول (340 mm) وقطر (180 mm) ومطلية بطبقة من الكروم عالي القساوة، ويوجد بينهما مسافة يمكن التحكم بها، ويدوران عكس بعضهما إلى الداخل بسرعتين مختلفتين، الأمامي سرعته (27.5 r.p.m) والدرفيل الخلفي سرعته (22 r.p.m) [7]. وتقاد الدرافيل عن طريق مسننات موصولة بمحرّك كهربائي استطاعته (5.5Kw)، مزوّد بعلبة سرعة مدخلها (1440 rpm) و مخرجها (77 r.p.m)، و تُبَرّد و تسخن الدرافيل بوساطة صبّابات دوارة ترشّ الماء على السطح الداخلي للدرافيل حيث يقوم محرّك الماء بسحب الماء (البارد، أو الساخن) من الخزان وضخّه عبر شبكة الأنابيب إلى داخل الدرافيل، ليعود الماء مرة ثانية إلى الخزان ضمن دارة مغلقة، وتستمر العملية إلى أن تصل الدرافيل إلى درجة الحرارة المطلوبة وفقا للعملية الإنتاجية.

2 -قالب تشكيل ألواح المطّاط.

3 -جهاز اختبار الشد.

4 -جهاز قياس مقاومة الاحتكاك.

5 -جهاز قياس القساوة Shore A.

6 -ميزان كهربائي دقيق كما في الشكل (11) نوع (Kern) حساس لغاية (0.0001 g).

7 -أنبوب زجاجي سعة (25 ml) لقياس كثافة المطّاط وذلك بتعين الكتلة لحجم 25 ml في الميزان الحساس.

8 -مكبس هيدروليكي يحوي على مسخن كهربائي حيث يمكن رفع درجة الحرارة إلى $250\ C^o$ و مزود بنظام تبريد.

أجراء التجارب والاختبارات:

تم تحضير الخلائط المطّاطية باستخدام آلة درفلة لمزج المطّاط، وعمليات العجن والمزج تمت حسب المواصفة القياسية ASTM D15 [14] والتي تتضمن درجة حرارة العمل وتسلسل إضافة المواد إلى الآلة، والفترة الزمنية اللازمة للتجانس وبشكل جيد لجميع الخلائط، وبعد الحصول على خلائط متجانسة السماكة والتي تحوي على نسب مختلفة من الأسمنت الحراري pphr (0،5،10،15،20)، يتم انضاج النماذج المخبرية بتطبيقها بواسطة مكبس مخبري يعمل بالضغط الهيدروليكي بأبعاد (16×20 cm) حيث يتم تسخينها حتى الدرجة ($90C^o$) تحت ضغط قدره (30 bar)

و لمدة (10min). بعدها تبرد العينة بالماء تحت ضغط ثابت حتى تصل إلى الدرجة ($40C^o$) [10]، و تترك الخلائط مدة 24 ساعة قبل اختبارها.

الشكل (2) ألة درفلة مزج المطّاط وخلائطه

1 - تشكيل عينات المطّاط:

1 - يبيّن الجدول (2) نسب المواد الداخلة في الخلائط المطّاطية المحضرة، في كل الخلائط المحضرة تتم عملية العجن لعينة المطّاط الطبيعي قبل إضافة المواد إليها بواسطة الدرافيل وتسمى العجينة المحضرة بالعجينة الرئيسية حيث يمرر المطّاط بينهما لعدة مرات مدة (3- 4) دقائق حتى التجانس ضمن درجة حرارة العمل مع تقريب المسافة بينهما تدريجيا، عملية العجن وتسلسل إضافة المواد ومدة العجن تتم وفق المواصفة القياسية ASTM D15 [14].

جدول (2) النسب المواد الداخلة في الخلطة المطّاطية

المكونات	pphr
Rubber STR 20	100
Stearic acid	2
Zinc oxide	5
Process oil	2
Carbon Black	10
Cement	20/15/10/5/0
Antioxidant (TMQ)	1
Thiuram	1
Sulfur	5

2 -إضافة حمض الستاريك إلى العجينة والعجن مدة دقيقة حتى التجانس.

3 -إضافة أوكسيد الزنك والعجن جيدا حتى التجانس.

4 -إضافة الزيت المعدني والعجن حتى التجانس.

5 -إضافة نصف الكربون والأسمنت والعجن حتى التجانس.

6 -إضافة المواد ضد الأكسدة (TMQ) والمسرعات والعجن حتى التجانس.

7 -إضافة النصف الأخر من الكربون والأسمنت والعجن حتى التجانس.

8 -إضافة الكبريت إلى العجينة حيث أن إضافة الكبريت كمادة مفلكنة إلى المطّاط يؤدي إلى خلق تراكيب شبكية تزيد من صلابته وثباته. وتقلب العجينة بعد ذلك على الدرافيل مدة من الزمن حتى يتم انتشار الكبريت في كل أجزاء الخلطة المطّاطية بشكل متساوٍ ومتجانس وثم تسحب الخلطة المطّاطية بحسب السماكة.

9 -يتم تبريد العجينة كما في الشكل(3) إلى درجة حرارة الغرفة ويستغرق وقت العمل على آلة الدرفلة مدة تتراوح بين (20– 25) دقيقيه.

10 – بعد انتهاء عملية العجن تتم عملية الفلكنة للخلطة الناتجة بوضعها في قالب مستطيل الشكل (20*16 cm) ثم يتم وضع القالب في مكبس هيدروليكي، وتتم العملية عند ضغط (30 bar) و درجة حرارة (90˚C)، وتستغرق هذه العملية 10 دقائق.

الشكل (3) الواح المطّاط المشكلة

11 –تبرد العينة عن طريق دارة تبريد موجودة ضمن المكبس تحتوي على مدخل ومخرج للمياه، ويتم مراقبة الضغط والتأكد من الاحتفاظ بالضغط ثابتا في أثناء التبريد، ويستمر التبريد إلى أن تصل درجة الحرارة لـ (40 C˚) حيث عند هذه الدرجة تأخذ العينة شكلها الثابت [14].

12 -توقف عملية التبريد و يزول الضغط، ثم تسحب العينات من القالب كما في الشكل (4)، وتترك لمدة 24 ساعة قبل الاختبار.

الشكل (4) الواح المطّاط بعد عملية الفلكنة

2- اختبار الشدّ (Tensile Test):

تم هذا الاختبار باستخدام جهاز الشد نوع (Testometric M350-10CT) الموضح بالشكل (5) حسب المواصفة العالمية ASTM D-412.

الشكل (5) جهاز اختبار الشد

الشكل (6) نموذج اختبار قوة الشد

3- اختبار القساوة (Hardness):

أجري هذا الاختبار حسب المواصفة العالمية DIN-53505 باستعمال جهاز (Digital Shore Hardness Tester) والموضح بالشكل (7) ونموذج الاختبار عبارة عن مربع (40×40 mm) وسماكة 6 mm كما في الشكل(8).

الشكل (7) جهاز اختبار القساوة

الشكل (8) نماذج اختبار القساوة

4- اختبار الإنتباجية (Swelling test) :

تم هذا الاختبار وفق المواصفة القياسية (ASTM-D471)، وذلك بغمر عدد من العينات المحضرة بأبعاد mm (6×30×30) في مذيبات مختلفة (المازوت و البنزين والزيت) كما في الشكل (9) حيث تم وزن العينات كل ثلاث ساعات لمدة 24 ساعة، وتم حساب الإنتباجية وفق العلاقة التالية:

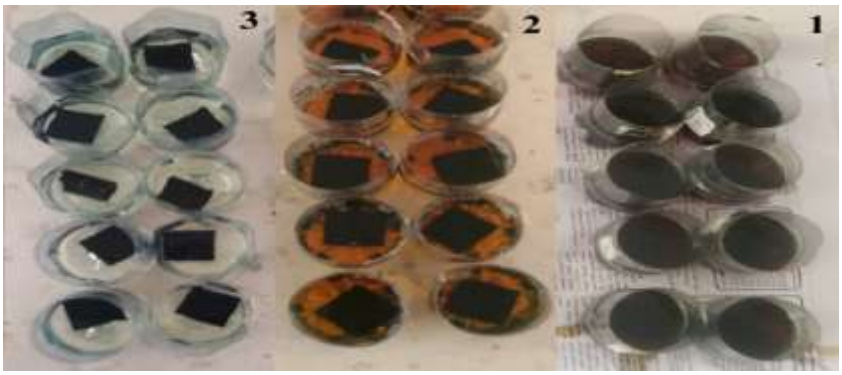
$$SR = \frac{W2-W1}{W1} * 100 \quad \%$$

حيث:

SR : الإنتباجية %.

$W1$: وزن العينة قبل الغمر (g).

$W2$: وزن العينة بعد الغمر (g).



الشكل (9) اختبار العينات بالمذيبات (1-زيت معدني، 2-مازوت، 3-بنزين)

5- اختبار مقاومة الاحتكاك (Friction Resistance):

تم اختبار مقاومة الاحتكاك حسب المواصفة العالمية DIN-53516 وذلك بحساب الوزن المفقود باستخدام جهاز (Abrasion Resistant Rubber Testing Machine) كما في الشكل (10) حيث تم حساب حجم الاهتراء كتابع لدرجة كشط ورق الصنفرة والتي تؤخذ قيمتها وفق المواصفة القياسية ISO1891 part1 ثم نقوم بحساب الحجم المفقود V وفق العلاقة:

$$V = \frac{\Delta m * S}{\alpha * \rho}$$

حيث:

v : الحجم المفقود mm^3.

$\Delta m = m_1 - m_2$: وزن المادة المزالة (مقدرة بـ mg)

m_1: وزن العينة قبل التجربة (مقدرة بـ mg)

m_2: وزن العينة بعد التجربة (مقدرة بـ mg)

S= 200 mg ثابت درجة التآكل المحسوبة وفق مسافة احتكاك معيارية.

الشكل (10) جهاز قياس مقاومة الاحتكاك

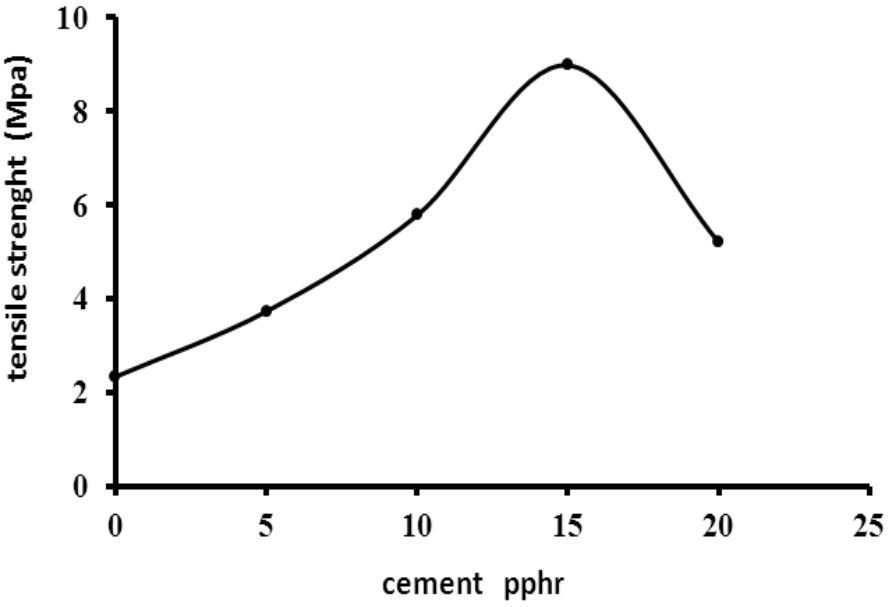
ا لشكل (11) ميزان كهربائي حساس

النتائج والمناقشة

1- دراسة الخواصّ الميكانيكية والفيزيائية:

1-1 خواصّ الشدّ:

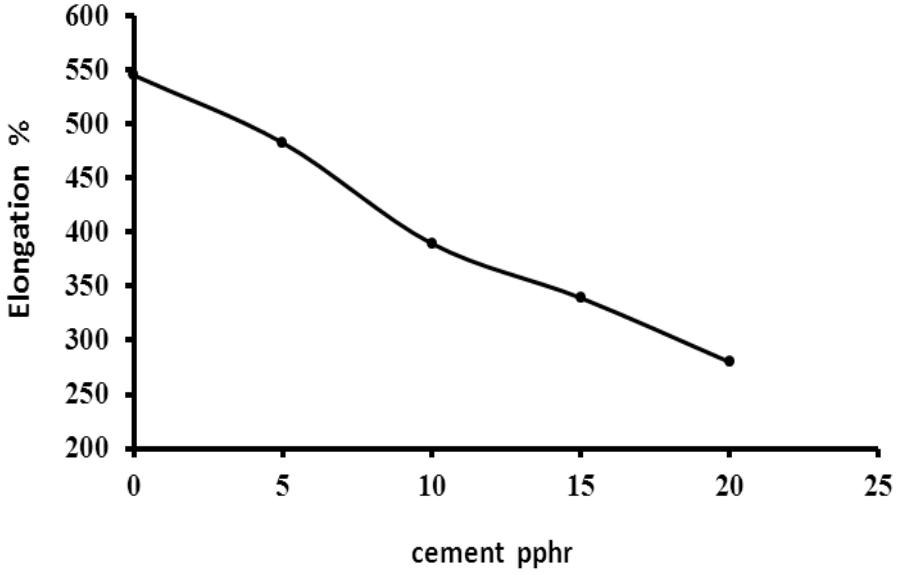
يظهر الشكل (12) نتائج اختبار الشد الذي يبيّن تأثير إضافة الأسمنت الحراري إلى العينات المدروسة بنسب مختلفة مسجلة على المحور الأفقي على قيم مقاومة الشد المسجلة على المحور الرأسي. بدراسة الشكل نلاحظ تغير إجهاد الشدّ كتابع لنسبة إضافة الأسمنت ، حيث تزداد قيم إجهاد الشدّ لنوع المطّاط (STR20) مع زيادة نسبة إضافة الأسمنت لتصل إلى أعلى قيمة له [MPa] 8.9 عند نسبة إضافة قدرها (15 pphr) ، ومن ثم تأخذ قيمة إجهاد الشد بالانخفاض مع زيادة نسبة إضافة الأسمنت الحراري فوق هذه النسبة، وتعزى الزيادة حتى نسبة (15pphr) إلى زيادة الترابط الفيزيائي والكيميائي، وزيادة قوى التماسك بين مكونات مادة الأسمنت مع سلاسل المطاط، ويمكن تفسير ذلك إلى تشكيل روابط بين الجذور الحرة المتشكلة على سلاسل المطاط وبين المدارات الفارغة الموجودة في أكاسيد الأسمنت، مما يؤدي إلى زيادة قوة الشد، وهذا منسجم مع نتائج الدراسات [15-16]، غير أن الزيادة المستمرة في نسبة الإضافة فوق (15pphr) فأن هذه الأكاسيد الموجودة في مادة الأسمنت تلعب دور المادة المالئة حيث تملئ الفراغات بين السلاسل دون الربط فيما بينها مما يخفض من قوة الشد .



الشكل (12) تأثر نسبة الأسمنت على مقاومة الشد

2-1 خواص الاستطالة عند الانقطاع:

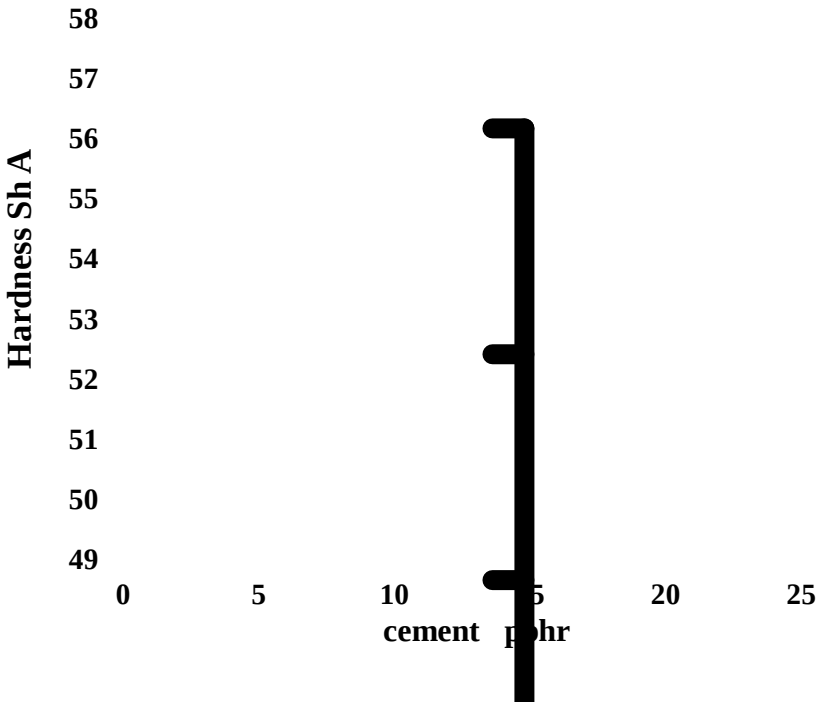
تم دراسة تأثير إضافة الأسمنت الحراري على العينات المطّاطية المحضرة على قيم الاستطالة، حيث يظهر الشكل (13) الانخفاض التدريجي والمستمر لقيمة الاستطالة مع زيادة نسبة إضافة الأسمنت حيث تعمل دقائق الأسمنت كمسامير تثبيت للبنية [16]، مما يعيق حرية حركة السلاسل العملاقة كما تعمل هذه الدقائق على زيادة الروابط المتبادلة مع سلاسل الجزيئات العملاقة المتجاورة، مما يقيد حرية حركة هذه السلاسل ويمنع عملية إعادة توجيه السلاسل المسببة للاستطالة.



الشكل (13) تأثر نسبة الأسمنت على الاستطالة

3-1 خواص القساوة:

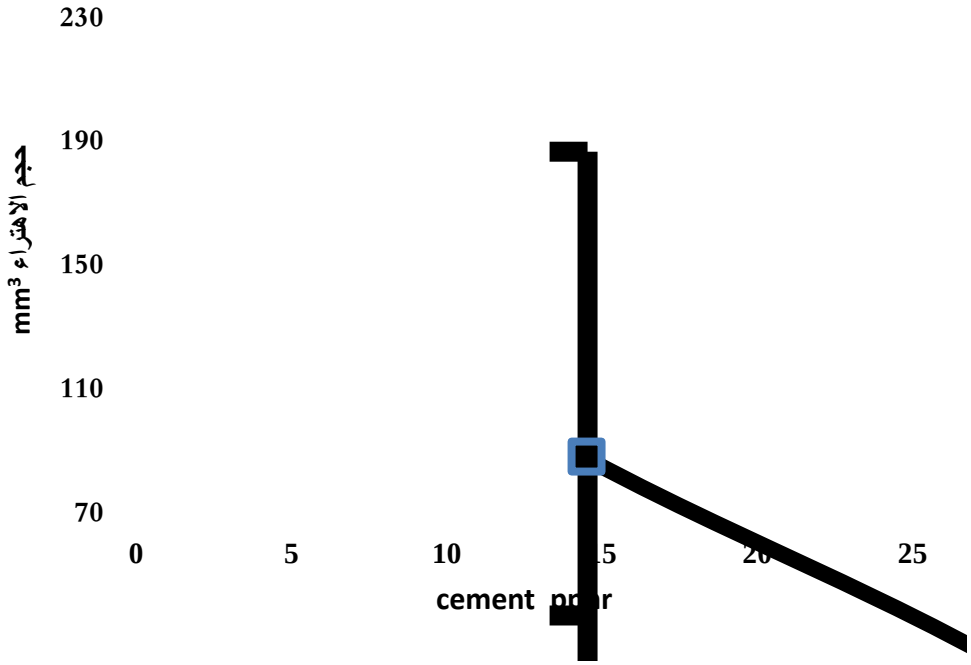
يوضح الشكل (14) العلاقة بين نسبة إضافة الأسمنت الحراري و قساوة العينات المطّاطية، فيتبيّن من الشكل ازدياد قيم القساوة مع زيادة نسبة الأسمنت المضاف وذلك بسبب زيادة الترابط الفيزيائي وقوة التماسك للمادة المالئة مع المطّاط [15]. فالعلاقة طرديّة بين القساوة ونسب الإضافة والتي تزداد بزيادة هذه النسب لأن التقوية تعمل على زيادة الارتباطات الفيزيائية.



الشكل (14) تأثر نسبة الأسمنت على القساوة

4-1 مقاومة الاحتكاك:

يبيّن الشكل (15) نتائج اختبار مقاومة الاحتكاك للعينات المحضرة حيث يمثل المحور الأفقي نسب الأسمنت الحراري المضافة، بينما المحور الرأسي يمثل حجم الاهتراء mm^3 ، من الشكل نلاحظ تناقص حجم الاهتراء حتى نسبة الإضافة (15 pphr)، و يعود ذلك إلى تجانس الحجم الحبيبي للإسمنت وعدم وجود جزيئات كبيرة لأن فقدان مثل هذه الجزيئات أثناء تعرض المطّاط للاحتكاك يسبب زيادة فقدان الوزن [17]، بالإضافة لذلك زيادة تشابك جزيئات المادة المالئة مع المطّاط. كما نلاحظ تزايد قيم حجم الاهتراء بعد هذه النسبة نتيجة لزياد صلادة المطّاط ووجود عيوب بنائية ناتجة عن تجمعات الأسمنت غير المتفاعل مع المطّاط الطبيعي.



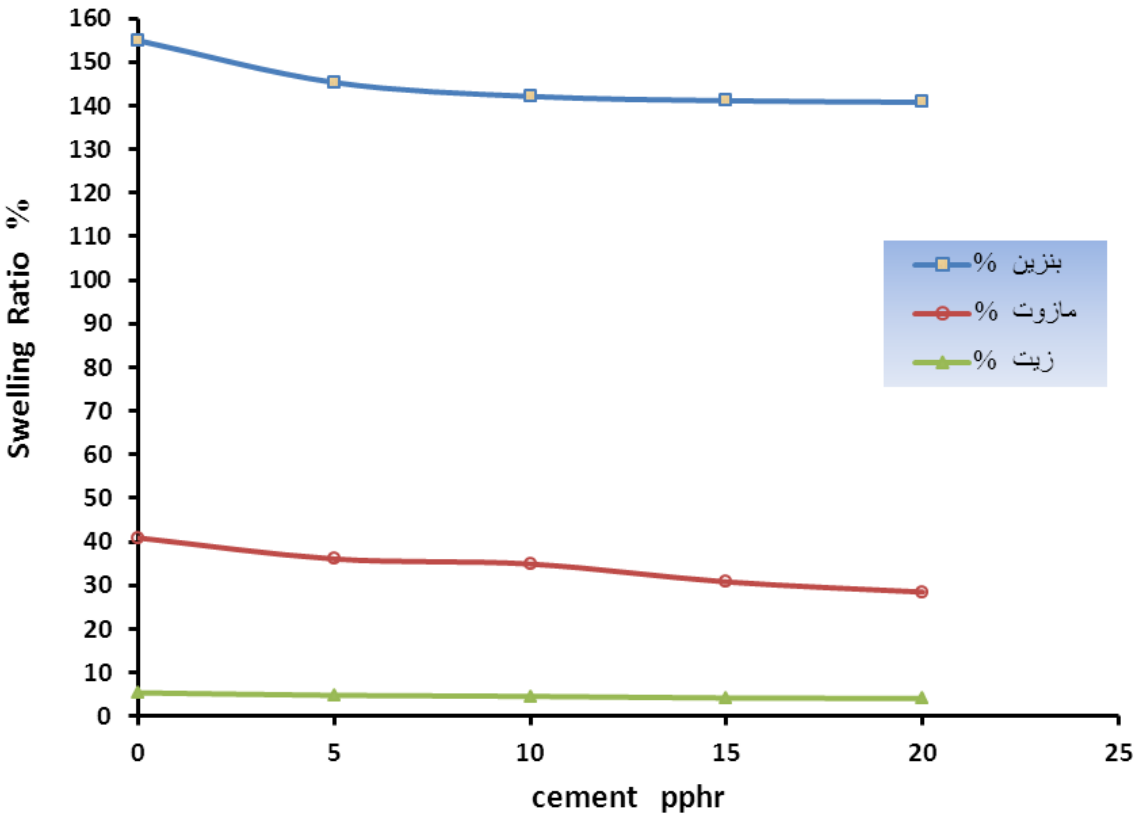
الشكل (15) تأثر نسبة الأسمنت على مقاومة الاحتكاك

2 – الخواصّ الكيميائية:

نسبة الانتباج (%):

تم قياس مقدار الإنتباجية للعينات المحضرة في ثلاث أوساط مختلفة (الزيت المعدني ومازوت والبنزين) وسجلت النتائج في الشكل (16) ، بدراسة الشكل نلاحظ تناقص قيم الإنتباجية مع زيادة نسبة الأسمنت حيث يسبب دخول جزيئات الأسمنت في الفراغات الموجودة بين السلاسل المطّاطية من تقليل الحجم الحر مما يحد من إمكانية تغلغل جزيئات المذيب رغم صغر حجمها في هذه الفراغات [17].

فالمادة المالئة هي عبارة عن مواد صادة للمذيبات العضوية اللاقطبية أي لا تتشرب وبالتالي وجودها ضمن بنية المطّاط سيعمل على خفض امتصاص المذيب من قبل المطّاط، إضافة إلى ذلك فأن هذه الأكاسيد تساهم في عملية تشبيك بنية المطّاط وتساهم من نسبة الروابط المشكلة وبالتالي تكون البنية اكثر تماسكيه وتكون النتيجة النهائية منع جزيئات المذيب العضوي من الدخول وتكون النتيجة خفض نسبة الانتباج.



الشكل (16) تأثير إضافة الأسمنت الحراري على نسبة انتباج العينات في المذيبات المختلفة

الاستنتاجات والتوصيات:

- **الاستنتاجات (Conclusions) :**

1- إن إضافة نسبة (15 pphr) من الأسمنت الحراري إلى المطّاط الطبيعي أثر إيجابياً في الخواصّ الفيزيائية والميكانيكية للمطاط حيث:

a) تزداد قيم إجهاد الشد لتصل إلى أعلى قيمة له [8.98 [MPa عند نسبة إضافة قدرها (15 pphr).

b) الانخفاض التدريجي والمستمر لقيمة الاستطالة.

c) ترتفع قيمة صلادة المطّاط الطبيعي.

d) ينخفض حجم الاهتراء بزيادة مستويات التحميل من الأسمنت حتى (15 pphr).

2- انخفاض انتباجيه المطّاط الطبيعي بمقدار (14.15%) للبنزين و (12.43%) للمازوت واقل زيادة كانت للزيت بنسبة 1.29 % .

- **التوصيات (Recommendations) :**

1 - دراسة خلطات أخرى ومقارنتها مع هذه النتائج.

2 -استخدام الأسمنت الحراري كمادة مالئة مع المطّاط الطبيعي STR20 في التطبيقات الصناعية التي على تماسّ مباشر مع الزيوت.

3 -دراسة تأثير الضغط ودرجة الحرارة و الزمن في أثناء عملية الفلكنة في العجنات المطّاطية من حيث تجانسها.

4 -دراسة تأثير سرعة الخلط و الزمن و درجة الحرارة على تجانس العجنات.

5 -دراسة حرارة التشغيل في درجات حرارة مرتفعة بين ($100c^o$ إلى $250c^o$).

المراجع:

1- JIZSEF KARGER -KOCSIS,"*Rubber/ Organophilic Layered Silicates*", kaiserslautern Univ, (2005). P197-208.

2- SINHA RAY S., OKAMOTO M., "*Progr.Polym. Sci*", 28, p1539, (2003).

3- MAMOURI, MUHAMMAD. ZUHAIR, ASADI. "*Study The Effect of cement on the properties of nitrile rubber* " Journal of Babylon University, Engineering Sciences. Vol.(7), No.(4),pp340-349, 2009.

4- MAMOURI, MUHAMMAD. ALJOZARI, SALEH. "*Study the Effect Addition of Borax on Vulcanization Properties of Rubber* ". Qadisiya Journal of Science and Engineering, Vol.3, No.2,pp165-178 ,2010.

5-MAMOURI, MUHAMMAD. SAID ,NAJEM. *"EFFECT OF SHELLS POWDER ON PHYSICAL PROPERTIES OF NATURAL RUBBER"* **.**The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, Vol.13, No.2,pp384-388 ,2013

6- JOSEPH THOMAS SOUTH "*Mechanical properties and durability of natural rubber compounds and composites*" , degree of Doctor , Virginia Polytechnic Institute and State University ,2001,P190 .

7- CLESIEISKT, A. "*Introduction to Rubber Technology*" Glasgow, (2000),p189.

8 – كيخيا، طارق. الكيمياء الصناعية ، *تكنولوجيا الصناعات الكيميائية العضوية* ، الجزء الثاني. سوريا،360صفحة.

9- HERMANN,F., MARKJOHN,J.M. and DONALD,F.O, 1969 *"Rubber compounding*" Vol .17 p.587.Ed. Norbert M. Bikales, Executive Editor Consultant.

10 – آنا أ. باكر ترجمة د. اكرم عزيز محمد (*الكيمياء الفيزيائية للبوليمرات*) 1984م، جامعة الموصل، العراق.

11- OSABOHIEN, E; Egboh, S h o "*Cure characteristics and physico-mechanical properties of natural rubber filled with the seed shells of cherry (chrysophyllum albidum)*", J. Appl. Sci. Environ. Manage. Vol. 11 (2) , pp.43 – 48 , 2007 .

12- SAOWAROJ CHUAYJULJIT, AOPEAU IMVITTAYA, NUCHANAT NA-RANONG ,and PRANUT POTIYARAJ "*Effects of particle size and amount of carbon black and calcium carbonateon curing characteristics and dynamic mechanical properties of natural rubber*" , Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.12, No .1 ,pp. 51-57, 2002 .

13 – حسن، رائد، (*دراسة بعض الخواص الفيزيائية للمطاط المفلكن*) رسالة ماجستير ،سنة 1986م– الجامعة التكنولوجية) العراق. 143صفحة.

14- Annual Book of ASTM standard, part28, (1971).

15 - Al – MAAMORY,"*Mechanical Properties of Polymeric Composite Materials*", Ph. D thesis, Applies science, University of Technology, (2006),P150.

16 - AZIZAN AHMAD, DAHLAN HJ. MOHD, and IBRAHIM ABDULLAH "*Mechanical properties of filled nr/lldpe blends*", Iranian Polymer Journal, 13 (3), pp.173-178, 2004.

17- HAYDN H. M. " *Industrial Applications of Kaolin* " *Georgia Kaolin Company, Elizabeth, Newjersay* , (2008).p185.