Modification of The Rheological Properties of Asphalt Using Spent Lubricating Oils and Air Oxidation

Alaa A. Hussein

Department of Environmental Sciences
College of Environmental Sciences and Technology

Ammar A. Hamdoon

Department of Chemistry
College of Education for Pure Science
ammarhamdoon@uomosul.edu.iq

Received **Accepted**
03/05/2018 **07/06/2018**

Abstract

There is a growing need for the production of certain types of asphaltic materials having good rheological properties compared with the unmodified asphaltic materials, thus many experiments were performed to prepare a modified asphalt that can be used in different fields. This study aims to modify asphalt with the addition of (spent lubricating oils) with different percentages and with air blowing oxidation.

From this work we obtained the asphaltic materials which can be used in paving and mastic production according to the measuring of the (ductility, penetration, asphaltene and softening point)

keywords: Asphalt, Rheological Properties, Polymeric Additives, Asphalt Oxidation

تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت باستعمال الزيوت المستهلكة والأكسدة الهوائية

آلاء علي حسين
قسم علوم البيئة
كلية علوم البيئة وتقاناتها
جامعة الموصل

عمار احمد حمدون
قسم الكيمياء
كلية التربية للعلوم الصرفة
جامعة الموصل
ammarhamdoon@uomosul.edu.iq

تاريخ الاستلام **2018/05/03**
تاريخ القبول **2018/06/07**

الخلاصة

نظراً للحاجة الماسة لإنتاج مواد ذات جدوى اقتصادية كبيرة تتمثل في إنتاج مواد إسفلتية ذات مواصفات ريولوجية تختلف عن مواصفات استعمال الإسفلت الاعتيادي اشتملت هذه الدراسة على معاملة الإسفلت مع الزيوت بنسب مختلفة وبوجود عملية أكسدة هوائية .

تم الحصول من خلال هذه الدراسة على نماذج إسفلتية ذات مواصفات ريولوجية بالإمكان استعمالها في مجال التبليط وأخرى يمكن استعمالها كمواد مانعة للرطوبة اعتماداً على القياسات التي تم إجراؤها(الاستطالة ، النفاذية ، درجة الليونة ، نسبة الاسفلتين ، حساب دليل الاختراق).

الكلمات المفتاحية: الإسفلت ، الخواص الريولوجية ، المضافات البوليمرية ، أكسدة الإسفلت

المقدمة

الإسفلت عبارة عن مادة ذات لون اسود أو بني غامق غروية شبه صلبة وتكون ذات لزوجة عالية في درجة حرارة الغرفة ويتم الحصول عليه بوساطة عمليات التقطير المختلفة للنفط الخام [2,1].

والقير عموماً هي المادة الأكثر استعمالاً في التبليط بسبب أداء خدمته المتميزة من حيث الثبات والتحمل ومقاومته للماء [3] . وان الخمول الكيميائي الذي يمتاز به الإسفلت والمتوافق مع خواصه الفيزيائية هو الأمر الذي يجعله مؤهلاً لاستعمالات واسعة في الصناعة والبناء منذ الازل وان طبيعة الصفات الفيزيائية له هي التي تحدد طبيعة الاستعمال [5,4] ، ان عملية تحسين أداء الخلطات الإسفلتية يتم بطرائق مختلفة باستعمال المضافات ، وبالرجوع إلى الأدبيات نجد العديد من الدراسات التي تناولت عملية تحوير مواصفات الإسفلت بطرائق مختلفة ومنها ما قام به Thakre [6] حيث حور الصفات الريولوجية للاسفلت باضافة البوليمرات اثيلين فينايل اسيتايت(EVA) وفتات المطاط ، واعطت الدراسة نماذج اسفلتية اكثر مقاومة للإعياء ، التشقق الحراري ، التعفن Rutting ، والحساسية لدرجة الحرارة، بالامكان استعمالها في مجال التبليط.

ودرس Maharaj &Maharaj [7] الخواص الفيزيائية للإسفلت بإضافة البولي اثيلين واطئ الكثافة والبولي كلوريد الفاينيل وزيت المحركات المستهلك إذ بينت النتائج انه بازدياد تركيز زيت المحركات المستعمل بنسب (0–30) حصلت زيادة في صفة مقاومة تشققات الإجهاد ورافقه انخفاض في مقاومة تشكيل الأخاديد في الشارع.

وقام Dekhli وآخرون [8] بدراسة السلوك الريولوجي للاسفلت المحور بإضافة اثيلين فاينيل اسيتايت (EVA) ، اعطت الدراسة نماذج اسفلتية ذات موصفات ريولوجية بالامكان استعمالها في مجال التبليط ، اذ كان هناك تغير ايجابي واضح في القياسات (درجة الليونة ، النفاذية ، الحساسية لدرجة الحرارة).

وتمكن Djaffar وآخرون [9] بدراسة الخواص الريولوجية والثباتيةعند الخزن للاسفلت المحور بإضافة بوليمر ستايرين– اثلين – بيوتلين – ستايرين (SEBS) ، اذ اكدت الدراسة على ثبات استقرارية الخواص الريولوجية (النفاذية ، درجة الليونة ، دليل الاختراق ، الحساسية لدرجة الحرارة) للإسفلت المحور من خلال قياسها بعد الخزن لفترة زمنية.

ودرس Al–Zubaidi [10] تحوير الخواص الريولوجية للإسفلت بإضافة الزيت المستهلك بإسلوبين الأول عند درجة حرارة (180)°م وبوجود 1% وزناً من الكبريت والثاني عند درجة حرارة (180)°م وبوجود 1%وزناً من كلوريد الألمنيوم اللامائي و1% وزناً من الكبريت وفي كلا المسارين تم الحصول على نماذج معظمها ذات مواصفات ريولوجية جيدة.

واستعمل Can [11] الزيت المستهلك بنسب مختلفة تراوحت بين (1– 12)% اضيف الى الاسفلت بدرجات حرارة منخفضة واعطت دراسته نتائج جيدة في تقليل انتزاع او قشط الاسفلت.

وقام Arslan & Taque [12] بدراسة الخواص الريولوجية للاسفلت بمعاملته مع نسب مختلفة من زيت التزييت بالتسخين وكان هناك تغير ايجابي واضح في القياسات من (درجة الليونة ، والنفاذية ، وقابلية المط والفقدان بالوزن).

اما الباحثان Huff & Vallerga [13] فقد استعملا زيوت المطاط العالي الاروماتية والمطاط المستعاد من اطار السيارات كمادة مضافة الى الاسفلت واستغلت النماذج المطورة في تبليط الطرق والسطوح المقاومة للماء.

وتمكن Al–Sayd Toohi [14] من دراسة تأثير نظام (مطاط _ كبريت) على الخواص الريولوجية للإسفلت بإسلوبين،الأول يعتمد على تحوير الإسفلت مع المطاط المعاد باستعمال نسب مختلفة من حفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي عند طاقات مختلفة من اشعة المايكرويف وبأزمان مختلفة والأسلوب الثاني يعتمد على المبدأ نفسه مع إدخال الكبريت كمادة إضافية وبنسب مختلفة وتم الحصول من المسارين على نماذج إسفلتية ذات مواصفات ريولوجية بالإمكان استعمالها في مجال التبليط وأخرى يمكن استعمالها كمواد مانعة للرطوبة.

اما الباحثان Sadeque & Patil [15] استخدما البولي اثيلين واطئ الكثافة (LDPE) والبولي بروبلين(PP) كمادة مضافة للإسفلت عند (200)°م اذ لاحظوا تحسن واضح للخواص الريولوجية للإسفلت (النفاذية ، درجة الليونة ، الاستطالة).

وقام Bulatovic وآخرون [16] بدراسة الصفات الريولوجية لإسفلت الطرق بإضافة (ستايرين–بيوتادايين – ستايرين) اذ حسنت الدراسة بصورة ملحوظة الخواص لإسفلت الطرق (النفاذية ، درجة الليونة ، دليل الاختراق).

واستعملت Al–Liheby [17] نوع من اللواصق والكبريت كمضافات للإسفلت إذ تمكنت من إنتاج أنظمة إسفلتية جديدة ملائمة للاستعمال في مجال التبليط.

كما تمكن الباحثان Anjan & Veeragavan [18] من مقارنة الاسفلت الاصلي والاسفلت المحسن من خلال خلط الاسفلت بالمضافات لتحسين الخواص الميكانيكية للاسفلت واشارت النتائج الى اختلاف كبير بين الاسفلت الاصلي والمحور.

ودرست Salih [19] تأثير النفخ بالهواء على استقرارية مزائج (اسفلت قيارة – كبريت) بإسلوبين الاول مزج اسفلت مؤكسد مع نسب مختلفة من الكبريت اما الاسلوب الثاني اجراء تفاعل كيميائي مابين الاسفلت المؤكسد والكبريت قبل إضافة النسب المحددة من الكبريت حيث اظهرت نتائج القياسات والفحص المايكروسكوبي تحسن في تجانس النظام الاسفلتي مقارنة بالمزائج المحضرة من الاسفلت غير المحور.

الجزء العملي

1- الأكسدة الهوائية للمادة الإسفلتية

اخذ وزن معين من الإسفلت والذي تم الحصول عليه من شركة نفط الشمال والذي يمتاز بالمواصفات الموضحة في الجدول (1) ووضع في دورق ثلاثي العنق ومرر عليه الهواء من جهاز ضخ الهواء وبمعدل سرعة ثابت (120 سم^{3}ادقيقة) وبأزمان تراوحت بين (30– 120) دقيقة وبزيادة (30) دقيقة لكل قراءة وعند درجة حرارة (100 ، 150 ، 200)°م وباستعمال حفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي بنسبة (0.5)% وزناً .

الجدول (1): الخواص الريولوجية للمادة الإسفلتية

المواصفات	القيمة المختبرية
درجة الليونة (°م)	48
النفاذية ، ملم (100 غم ، 5ثا ، 25°م)	59
الاستطالة (سم ، 25°م)	+100

2- تحديد النسبة المثلى لحفاز كلوريد الألمنيوم اللامائي

بعد تحديد درجة الحرارة المثلى لعملية الأكسدة تم تغير نسبة الحفاز المستعملة ، اذ استعملت النسب (0.25 ، 0.5 ، 1 ، 2، 3)% وزناً .

3- معاملة الإسفلت مع الزيت المستهلك

عومل الإسفلت مع نسب مختلفة من الزيت المستهلك بنسب تراوحت بين (1-4)% وزناً وبزيادة 1% لكل قراءة عند الظروف المثلى لعملية الأكسدة والحفاز المستعمل .

4- فصل الاسفلتين

جميع النماذج المحضرة اجريت عليها عملية فصل للاسفلتين بالاعتماد على الطرائق القياسية [20].

5- تحديد مواصفات المواد الإسفلتية الأصل والمعاملة

تم تحديد المواصفات للمواد الإسفلتية الأصل والمعاملة وشمل ذلك قياس كل من النفاذية [21] والاستطالة [22] ودرجة الليونة [23] وحساب دليل الاختراق (PI) [24] لجميع النماذج .

النتائج والمناقشة

ان تفاعلات الأكسدة مهمة جداً في مجال الكيمياء الصناعية وقد استعملت ابتداءً من بضع كيلو غرامات إلى ألاف الأطنان سنوياً . وفي عمليات الأكسدة الصناعية التي تجري على نطاق ضخم يُتَجَنب فيها استعمال العوامل المؤكسدة القوية مثل البرمنكنات والكرومات والبيروكسيدات وغيرها لارتفاع أسعارها نسبياً فضلاً عن خطورتها بسبب صعوبة السيطرة على تفاعلات الأكسدة الباعثة للحرارة لذلك فان هناك حاجة ملحة لاستعمال عوامل مؤكسدة ارخص من العوامل المذكورة سابقاً ويعد الهواء من ارخص هذه العوامل إذ انه لايحتاج إلا إلى تكاليف قليلة تتضمن كيفية التعامل معه في العديد من المشروعات الكبيرة .

اجريت عملية الأكسدة وكما هو موضح في الجزء العملي والجدول (2) يوضح النتائج التي تم الحصول عليها .

الجدول (2): الخواص الريولوجية للإسفلت المؤكسد هوائياً عند درجات حرارية وأزمان مختلفة وبوجود 0.5% وزناً من كلوريد الألمنيوم اللامائي

النموذج	الزمن (دقيقة)	درجة الحرارة(°م)	نسبة الاسفلتين(%)	الاستطالة	النفاذية	درجة الليونة	دليل الاختراق
AS_0	----	-------	23	100+	59	48	-1.332
AS_1	30	100	30	67	38.5	53	-1.052
AS_2	60	100	31	70	41	54	-0.696
AS_3	90	100	32	76	42	55	-0.424
AS_4	120	100	31	43	36.6	56	-0.508
AS_5	30	150	25	94	39.3	54	-0.787
AS_6	60	150	27	100+	41	55	-0.477
AS_7	90	150	37	100+	37	56	-0.484
AS_8	120	150	39	88	35	57	-0.395
AS_9	30	200	34	77	35	56	-0.601
AS_{10}	60	200	35	85	37	54	-0.912
AS_{11}	90	200	36	62	40	58	0.096
AS_{12}	120	200	30	100+	35	55	-0.811

يتضح من الجدول أعلاه إن أفضل النماذج تم الحصول عليها باستعمال ظروف أكسدة هوائية محفزة ب(0.5)%وزناً من كلوريد الالمنيوم اللامائي عند (150°م ، 60 دقيقة ، 120سم3/دقيقة) (درجة حرارة ، زمن ، معدل ضخ هواء) نموذج AS_6 .

ان سير التفاعلات أثناء عملية الأكسدة بالاتجاه

زيوت ⟵ راتنجات ⟵ اسفلتين [25]

إذ يمكن القول ان الراتنجات تمثل حلقة وصل بين الاسفلتينات ذات الأوزان الجزيئية الأعلى والزيوت ذات الأوزان الجزيئية الأقل من الراتنجات إذ يمكن أكسدة الراتنجات بسهولة بوساطة الهواء الجوي في درجات الحرارة الاعتيادية حيث تتحول إلى اسفلتينات .والنتائج توضح سير هذه العملية من خلال متابعة نسبة الاسفلتين التي تم الحصول عليها من خلال عملية الأكسدة . ان الزيادة والنقصان في قيمة الاسفلتين المفصولة تعتمد بدرجة كبيرة على سرعة تفاعلات التكاثف التي تؤدي الى زيادة نسبة الاسفلتين او تفاعلات الانحلال التي تؤدي الى انخفاض نسبة الاسفلتين.

بعد تثبيت درجة الحرارة وزمن الأكسدة قمنا بتحديد أفضل نسبة مستعملة من الحفاز والجدول (3) يوضح النتائج التي تم الحصول عليها .

الجدول (3): الخواص الريولوجية للإسفلت المعامل مع نسب مختلفة من كلوريد الألمنيوم اللامائي عند (150)°م وزمن ساعة وبعملية أكسدة هوائية

النموذج	نسبة الحفاز(%)	نسبة الاسفلتين(%)	الاستطالة	النفاذية	الليونة	دليل الاختراق
AS_0	--------	23	100+	59	48	-1.332
AS_{13}	0.25	28.8	95	37	57	-0.277
AS_{14}	**0.5**	**27**	**100+**	**41**	**55**	**-0.477**
AS_{15}	1	33.5	76	32	58	-0.378
AS_{16}	2	36.8	28	28.5	59	-0.414
AS_{17}	3	42	16	25	62	-0.111

يتضح من الجدول أعلاه ان النسبة التي تم استعمالها من بدء الدراسة وبصورة افتراضية تمثل أفضل نسبة مستعملة من الحفاز والتي تعطي إسفلتاً ذا مواصفات ريولوجية جيدة .

بعد تثبيت جميع الظروف أعلاه تم إضافة الزيت المستهلك كمادة مضافة إلى الإسفلت لمعرفة تأثيرها على الخواص الريولوجية للمادة الإسفلتية والجدول (4) يوضح النتائج التي تم الحصول عليها .

الجدول (4): الخواص الريولوجية للإسفلت المعامل مع نسب مختلفة من الزيت المستهلك عند(150)°م وزمن ساعة بوجود (0.5)% وزناً من كلوريد الألمنيوم اللامائي بعملية أكسدة هوائية

النموذج	نسبة الزيت(%)	نسبة الاسفلتين(%)	الاستطالة	النفاذية	درجة الليونة	دليل الاختراق
AS_0	-----	23	100+	59	48	−1.332
AS_{18}	1	32	65	40	54	−0.749
AS_{19}	2	33	83	46	53	−0.668
AS_{20}	3	34	100+	50	51	−0.951
AS_{21}	4	35	67	63	49	−0.907

يتضح من الجدول أعلاه ان النموذج (AS_{20}) كان أفضل نموذج من حيث مواصفاته المقاربة لمواصفات اسفلت التبليط .

ان استعمال الزيت المستهلك كمادة مضافة يعدُ اختياراً جيداً إذ ان كل النماذج التي تم الحصول عليها كانت تتصف بالتجانس لكون كل من المادة الأولية والمادة المضافة تنبع من أصل واحد أي (بترولية المنشأ) لذلك كان تأثيرها واضحاً في الحصول على نماذج جيدة .

ويعتقد الباحثون ان عملية الأكسدة شملت عملية تهشيم بهيئة جذور حرة فعالة يليها عملية تكاثف من خلال المجموعات أو الذرات الهجينة ويؤدي في النهاية إلى زيادة الوزن الجزيئي وزيادة نسبة الاسفلتين [26,1]

ان التغير في الخواص الريولوجية للمادة الإسفلتية ناجم عن زيادة الوزن الجزيئي للإسفلت بسبب ارتباط المضافات ذات الأوزان الجزيئية العالية بالتراكيب الإسفلتية عن طريق حدوث تفاعلات كيميائية .

ان جميع النماذج المعاملة يمكن الاستفادة منها في مجالات عدة فهناك نماذج يمكن ان تستعمل في مجال التبليط وأخرى في مجال التسطيح وأخرى كمواد ماستك أما النماذج الرديئة وذات نسب الاسفلتين العالية جداً ممكن استعمالها في تحضير مادة ذات جدوى اقتصادية كبيرة ألا وهي الكاربون المنشط .

اما (Penetration Index-PI) فهو عبارة عن علاقة متطورة تربط بين درجة ليونة النموذج وبين درجة نفاذيته في (25)°م ويتم التعرف من خلال هذه الدالة على مدى حساسية المادة الاسفلتية وتاثرها بدرجات الحرارة ، ويمكن حساب تلك الدالة عن طريق تعويض قيم درجات الليونة والنفاذية للنموذج الاسفلتي من العلاقة الرياضية [27].

$$= 50 \left(\frac{\log 800 - \log Pent}{T_{R.B} - T} \right) \frac{20 - PI}{10 + PI}$$

اذ ان :

Pent = درجة نفاذية نموذج الاسفلتين .

PI = دليل الاختراق .

$T_{R.B}$ = درجة ليونة النموذج المقاسة بطريقة الكرة والحلقة.

T = درجة الحرارة التي تم عندها قياس درجة النفاذية = (25)°م.

يمكن القول عموماً بان الانواع الاسفلتية الجيدة ذات المواصفات الملائمة للاستعمال في مجال التبليط يجب ان تمتلك دليل اختراق ذا قيمة تقع بين (− 2 الى +2) [28] .

بعد ملاحظة النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة ومن خلال اجراء قياسات المواصفات الريولوجية للنماذج المحضرة نجد ان بعض تلك النماذج تميزت بمواصفات تؤهلها للاستعمال كاسفلت تبليط في حين امتلكت بعض النماذج مواصفات تؤهلها للاستعمال كماستك (Mastic) وهي مادة عازلة للرطوبة ويدخل في العديد من الاستعمالات ومنها مايستعمل لاغراض التسقيف والتسطيح وغيرها من الاستعمالات والجدول (7،6،5) توضح مواصفات الاسفلت المستعمل كماستك والاسفلت المستعمل في مجال التبليط والتسطيح .

الجدول (5): المواصفات القياسية الامريكية (D491− 41) للاسفلت المستعمل لانتاج الماستك [29].

القياسات الريولوجية	الحد الادنى	الحد الاعلى
درجة الليونة (°م)	54	65
النفاذية ، ملم (100غم ، 5ثا ،25°م)	20	40
الاستطالة (سم ، 25°م)	15	---

الجدول (6): المواصفات القياسية العراقية للاسفلت المستعمل في التسطيح [30] .

القياسات الريولوجية	الحد الادنى	الحد الاعلى
درجة الليونة (°م)	57	66
النفاذية ، ملم (100غم ، 5ثا ،25°م)	18	40
الاستطالة (سم ، 25°م)	10	---

الجدول (7): يبين الخواص الريولوجية للاسفلت المستعمل في التبليط حسب مواصفات هيئة الطرق والجسور العراقية (S.O.B.R) لعام (2001) [31]

القياسات الريولوجية	الحد الادنى	الحد الاعلى
درجة الليونة (°م)	54	60
النفاذية ، ملم (100غم ، 5ثا ،25°م)	40	50
الاستطالة (سم ، 25°م)	100	---

المصادر

1- Parkash, S., "Petroleum Fuels Manufacturing Hand Book", Mc Graw-Hill Companies, Inc. 102-131, (2010).
2- Zhang, L. and Green field M.L, "Effects of Polymer Modification on Properties and Microstructure of Model asphalt Systems", Energy & Fuels, Vol. 22, pp. 3363-3375,(2008).
3- Polacco, G. Stastna, J., Biondi, D. Antonelli, F., Vlachovicova, Z. and Zanzotto, L., "Rheology of asphalts modified with glycidylmethacrylate functionalized polymers". J. of colloid and interface science, Vol. 280, pp. 336-373, (2004).
4- Lesueur D., " The Colloidal Structure of Bitumen: Consequences on the Rheology and on the Mechanisms Modification", Advances in colloid and Interface, p.145,28-42, (2009).
5- Introduction To Asphalt", Asphalt institute manual series No. 5(MS-5)P. 2,9-11, 14,61, (2001)
6- Thakre,N., Mangrulkar,D., Janbandhu,M. and Saxena,J., "Polymer Modified Bitumen", IOSR Journal of Mechaical and Civil Enginering Vol.13, Issue 6Ver, (2016).
7- Maharaj, Rean and Maharaj, Chris, "Physical Properties of Low Density Polyethylene, Polyvinyl chloride and used Engine oil Modified Asphalt", Progress in Rubber and Recycling Technology, Vol. 31. 3, (2015).
8- Dekhli, S., Mokhtar, K..A., Hammoum, F.and Bachir, D.S., "Rheological Behaviour of Ethylene-Vinyl-Acetate(EVA) Modified Road Bitumen", Journal of Applied Sciences Vol. 15, No.(3), pp 444-455, (2015).
9- Djaffar, S., Samy, D. and Khadidja, A.M., " Rheological Propertes and Storage Stabilty of SEBS Polymer Modified Btumen", International Journal of Engineering Science and Technology, Vol.5,No.05, (2013).
10- Al-Zubaidi, M. A., "Modification of the Rheological Properties of Beeje Asphalt Using Different Additives and the Field of Their Uses", M.SC. Thesis, University of Mosul, (2013).
11- Can, J., "Asphalt Modification with Used Lubricating Oil", Canadian Journal of Civil Engineering, 35(2): 148-157, (2008).
12- Arslan, L., K. and Taque, E., " Treatment of Asphalt from Heet Area Using the Residues of Basic Oils" , Diala, Jour., Vol. 39, (2008).
13- Huff, B. J. and Vallerga, B. A., " Characteristic and Performance of Asphalt-Rubber of Materials Containing a blend of Reclaimed and Crumb Rubber", Transp. Res. Rec.; Chem. Abs., (1982), 96, 22300u, (1981).
14- Al-Sayd Toohi, H. T. S., "Study of Rheological Properties of Modified Qiayarah Asphalt by Reclaim Tires Rubber Using Microwave Technique", M.Sc. Thesis, University of Mosul, (2013).
15- Sadeque, M., Patil, D.K.A., " Rheological Properties of Recycled Low Density Polyethlene and Polypropylene Modified Btumen", Internationol Journal of Advanced Technology in Civil Engineering, Vol.-2, Issue-2, (2013).

16- Bulato, V., O., Rek,V. and Markovic, K.J., "Polymer Modified Bitumen", Materials Research Innovation Vol.16,No.1(2012).
17- Al-Liheby, S. A. S., "Effect of Some Polymeric Additives to the Asphalt Materials and the Field of Their Uses", M.Sc. Thesis, University of Mosul, (2012).
18- Anjan, S., Veeraragavan, A., "Construction and Building Materials", Vol. 24, Issue 11, pp: 2041-2100, (2010).
19- Salih, L. A., "Effect of Air Blowing on the Stability of Mixtures (Qayarah Asphalt-Sulpher), Al-Rafidden Science Journal, Vol. 29, No. 2, pp 174-190, (2008).
20- Ali, L. H., Al-Ghannam, K. A., "Investigation into Asphaltenes in Heavy Crude Oils", J. Fuel, Vol. 60, pp: 1043-1046, (1981)
21- ASTM, Part II, (D_{36-70}), P. 27, (1972).
22- ASTM, Section 4, (D_{5-83}), P. 97, (1986).
23- ASTM, Section 4, (D_{5-85}), P. 127, (1986).
24- Traxler, R. N., " Asphalt: Its Composition, Properties in Uses", Haff, Ltd., London, p. 3. 72-72, (1961).
25- Adam, Georgius A., "Industrial Chemistry", Dar Al-Kutub for Printing and Publishing, University of Mosul, pp. 168, 171, 440-443, (1986).
26- Ali, L. H. and Al-Dobouni, I. A. "Petroleum: Origin, Composition, and Structure", Mosul University, pp. 236, 237, 271, 272, 274, (1986).
27- Al-Frakh, Y. and Abu Shihada, A., "Production of Bitumen Grades", Brit., UK Pat. Appl., GB2, 028,406; Chem. Abs., (1982), 96, 126085g, (1981).
28- Holbsen, G. D., " Modern Petroleum Technology", 4th ed., Ltd. Britain, pp: 804-806, 810-811, (1975).
29- ASTM (1969), Part 11, (D_{491-41}), p. 250-251, (1969).
30- Central Organization for Standardization and Quality Control (COSQC), Standard Specification No. 1196 about the Asphalt used in Roofing Operations, Ministry of Construction and Housing and Municipalities and Public Works, Iraq, (1988).
31- State Commission for Roads and Bridges (SCRB), Department of Design and Study, Ministry of Construction and Housing and Municipalities and Public Works, Baghdad, (2001).