



دراسة تأثير الزيوليت الطبيعي السوري في خواص الرابط الإسفلتي

محمود علي عبد الله^{1*}، فايز سليمان²، باسم علي³، عادل ديب⁴

¹ قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، حمص، سوريا، mahmoudabdullh@yahoo.com

² قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، حمص، سوريا.

³ كلية الهندسة المدنية، الجامعة العربية الدولية، سوريا.

⁴ قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

* الباحث الممثل: محمود علي عبد الله، mahmoudabdullh@yahoo.com

نشر في: 31 آذار 2021

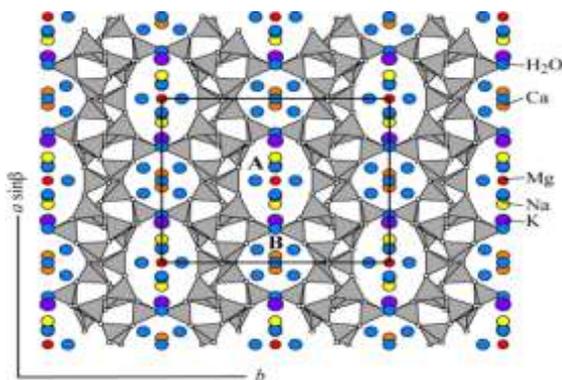
الخلاصة – اتجهت الأبحاث الحديثة خلال السنوات القليلة الماضية نحو إنتاج المجلول الإسفلتي الدافئ بالاعتماد على استخدام الإضافات العضوية والكيميائية، بالإضافة إلى استخدام الإضافات الحاملة للماء (الزيوليت الصناعي). يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير الزيوليت الطبيعي السوري في الخواص الفيزيائية والريولوجية للرابط الإسفلتي والتحقق من إمكانية استخدامه لإنتاج المجلول الإسفلتي الدافئ (كمعدل للرابط أو كإضافة مباشرة للمجلول)، بالإضافة إلى تحقيق أهداف اقتصادية عن طريق الوفر الحاصل في تكلفة إضافات الزيوليت الصناعي. تم في هذه الدراسة توصيف الزيوليت الطبيعي باستخدام طريقة الأشعة السينية المفلورة (XRF) وقياسات حيود الأشعة السينية (XRD) وإجراء التحليل الوزني الحراري (TGA)، وإضافته للرابط الإسفلتي وفق أربعة نسب وزنية % (3, 4, 5, 6)، ومن ثم دراسة التغيرات الحاصلة في خواص الرابط الإسفلتي المعدل وغير المعدل بالزيوليت الطبيعي عن طريق إجراء اختبارات (الغرز عند درجة حرارة 25°C)، الاستطالة، درجة حرارة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة، اللزوجة عند درجات حرارة 110, 120, 135°C)، فرن الطبقة الرقيقة الدوار (RTOFT). تشير نتائج هذه الدراسة إلى تحسن خواص الرابط الإسفلتي المعدل بالزيوليت الطبيعي وزيادة مقاومته للتعب، وإلى عدم حدوث تغيرات هامة في قيم لزوجة الرابط الإسفلتي، وبناءً على ذلك تبين عدم إمكانية التنبؤ بقابلية تشغيل المجلول الإسفلتي المعدل بإضافات الزيوليت الطبيعي وفقاً لاختبارات الرابط الإسفلتي، وبالتالي لا بد من دراسة تأثير الإضافة المباشرة للزيوليت الطبيعي في خواص المجلول الإسفلتي.

الكلمات الرئيسية – الزيوليت الطبيعي، الزيوليت الصناعي، الرابط الإسفلتي، التعب قصير الأمد.

1. المقدمة:

يعود مصطلح الزيوليت Zeolite في الأصل إلى اللغة اليونانية، وهو مشتق من الكلمة Zeo التي تعني الغليان والكلمة lithos التي تعني الحجر، ويعود سبب هذه التسمية إلى إطلاق الزيوليت للماء بشكل بخار عند تسخينه بسرعة [14,18]، وقد تم اكتشافه عام 1756م من قبل العالم السويدي بارون أكسل فريدريخ كرونستيدت Baron Axel Fredrick Cronstedt [15].

يُعرف الزيوليت على أنه معدن سيليكات الألمنيوم المائية المحتوية على العناصر القلوية أو القلوية الترابية، وهو مادة بلورية ثلاثية الأبعاد مفتوحة البنية، تتكون من ارتباط رباعي الوجوه لكل من الألمنيوم $[AlO_4]^{5-}$ والسيليكا $[SiO_4]^{4-}$ [22]. ويمتلك الزيوليت بنية على شكل قرص العسل **الشكل 1** مع تجاويف مفتوحة توفر مساحات داخلية وخارجية كبيرة والتي تمثل أساس تفاعله البوزولاني العالي وحالته شبه المستقرة metastability بسبب الشحنة السالبة التي تظهر على بنية الزيوليت، وهذه الشحنة يمكن أن تعوض بواسطة كاتيونات العناصر القلوية أو القلوية الترابية، والتي بدورها يمكن أن تستبدل مع أيونات أخرى مما يكسب الزيوليت خاصية التبادل الأيوني [1,26,29].



الشكل 1: بنية زيوليت الكليوبتلايت على شكل قرص العسل [25]

تتشكل الزيوليتات في الطبيعة نتيجة تفاعل كيميائي بين الرماد البركاني والمياه المالحة عند درجات حرارة مناسبة للتفاعلات الطبيعية تتراوح بين 27-55°C ودرجة حموضة (9-10)، حيث تحتاج الطبيعة من 50000-50 سنة حتى يكتمل التفاعل المنتج لتلك الزيوليتات [11].

SBS، وتوصل إلى تناقص قيم الغرز والاستطالة وازدياد درجة حرارة التميع بعد التعديل بالزبوليت الصناعي. وفيما يتعلق بلزوجة الرابط الإسفلتي المعدل بالزبوليت الصناعي فقد أشارت دراسات عديدة إلى دور الزبوليت الصناعي في تخفيض لزوجة الرابط الإسفلتي (بشكل بسيط) وإمكانية استخدامه كمعدل للرابط لتحسين قابلية التشغيل [19,20,40]، في حين أشارت دراسات أخرى إلى ارتفاع طفيف في قيم اللزوجة بعد التعديل بالزبوليت وإلى ضرورة استخدامه كإضافة مباشرة للمجبول خلال مرحلة الإنتاج للاستفادة من الرغوة الحاصلة بشكل أفضل وإظهار تحسن قابلية التشغيل [21,30].

لا يوجد حتى اليوم أية دراسة على مستوى الوطن العربي حول إمكانية الاستفادة من الزبوليت الطبيعي في إنتاج المجبول الإسفلتي منخفض درجات الحرارة. ويناقش هذا البحث إمكانية استخدام الزبوليت الطبيعي السوري كبديل عن الزبوليت الصناعي لإنتاج المجبول الإسفلتي الدافئ، ودراسة التغيرات الحاصلة في خواص الرابط الإسفلتي كجزء من مشروع ضخم للاستفادة من هذه الثروة الوطنية في مجال هندسة المواصلات والنقل.

2. أهمية البحث وأهدافه:

استخدم الزبوليت الصناعي كإضافة لتصنيع المجبول الإسفلتي الدافئ، وركزت معظم الدراسات على تأثير هذه الإضافة في خواص المجبول الكلي، وخلصت بعض الدراسات إلى تعديل الرابط الإسفلتي بالزبوليت قبل إضافته للمجبول، في حين أوصت دراسات أخرى بإضافته مباشرة للمجبول الإسفلتي خلال مرحلة الإنتاج.

العائق الرئيسي لاستخدام الزبوليت الصناعي في تصنيع المجبول الإسفلتي في سوريا هو سعره المرتفع وصعوبة استيراده من الخارج، ومن هنا تأتي أهمية هذا البحث في استخدام الزبوليت الطبيعي السوري كمادة رخيصة ومتوفرة وكبديل عن الزبوليت الصناعي في إنتاج المجبول الإسفلتي الدافئ.

يهدف هذا البحث إلى:

1. تحديد خواص الزبوليت الطبيعي السوري ودراسة إطلاقه للماء بالعلاقة مع الزمن ودرجة الحرارة.
2. دراسة تأثير الزبوليت الطبيعي السوري في خواص الرابط الإسفلتي.
3. تحديد طريقة التعديل المثلى بالزبوليت والتي تُظهر تحسن قابلية التشغيل، سواءً أكانت كمعدل للرابط الإسفلتي قبل مرحلة الإنتاج أم إضافته مباشرة كجزء من الحصى الناعمة المألثة للفراغات خلال مرحلة الإنتاج.

3. منهجية البحث:

تم إجراء الاختبارات اللازمة لهذا البحث في مخابر (كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين- كلية العلوم بجامعة تشرين- الهيئة العامة للطاقة الذرية بدمشق).

3.1 مواد البحث:

- 1- إسفلت 50-70 إنتاج مصفاة بانياس مطابق للمواصفات ASTM.D-140.
- 2- زيوليت طبيعي مصدره منطقة اللجاة بالقرب من الحدود السورية الأردنية.

يوجد الكثير من معادن الزيوليت في الطبيعة ومعظمها من سيلكات الألمنيوم، وتم حتى الآن التعرف على (50) نوع من الزيوليت الطبيعي، وأكثرها شهرة هي: الكلنوبتلايت، الشابازيت، الموردينايت، الإيرونايت، الفيررايت، والغلبسايت، وهي ذات كمية ونقاوة عالية [41]. وغالباً ما تُستخدم في الصناعة بسبب بُنيته المسامية الصغيرة، حيث يمكن استخدامها في المجالات الصناعية والزراعية والطبية والذرية والكيميائية وفقاً لحجم المسامات، وتشتهر الزيوليتات الطبيعية بكونها مرشحات طبيعية Filter تستطيع امتصاص الملوثات من الماء والهواء [28].

تتميز الجمهورية العربية السورية بغناها بالثروات الطبيعية والمعادن الباطنية وتعتبر إحدى ثلاث دول عربية رئيسية تمتلك كنز الزيوليت بالتشارك مع المملكة الأردنية الهاشمية والجمهورية العربية اليمنية [3]. وقد دلت الاستكشافات الجيولوجية الهندسية التي أجرتها المؤسسة العامة للجيولوجيا على تواجد الطبقات الصخرية الحاملة للزيوليت في المناطق الجنوبية الشرقية من البلاد، وأظهرت نتائج التحاليل بأن المواد الخام تتكون من الفليبيسايت والشابازيت والأنالسيم والهيروشيلايت والخامات البركانية الأخرى كالأوليفين والإنستاتيت واللوسيت والأوروثيت والبيروكسين، بالإضافة إلى الخامات الرسوبية كالمتورمبوليت والكالسيت والكوارتز، ويعود عمرها إلى العصر البليوسيني (منذ ثلاث إلى خمس ملايين عاماً مضى) ومعظمها تتكشف على السطح أو بالقرب منه مما يجعل عمليات استثماره المنجمية بسيطة وذات تكاليف مادية قليلة ويقدر إجمالي الاحتياط الكلي للزيوليت بنحو 655 مليون طن [17,32].

يتم في عصرنا الراهن انتاج الزيوليت الصناعي نظراً لندرة الزيوليت في الطبيعة، ويعتمد الزيوليت الصناعي على استخدام المعادن الهيدروحرارية hydro-thermally، ويتكون من سيليكات الألمنيوم المطحونة الرطبة التي تحتوي على نسبة ماء (18-22%) من وزنها، ويحترق هذا الماء عند خلط الزيوليت مع الرابط الإسفلتي الساخن أو مع المجبول الساخن، مسبباً حدوث الرغوة في المزيج وتغطية أفضل للحصويات مع زيادة قابلية التشغيل لفترة 6-7 h [16]، وتسمح هذه التكنولوجيا بتخفيض درجة حرارة انتاج المجبول الإسفلتي بمقدار 30°C وهذا ما يوفر استهلاك الطاقة، وتخفيض انبعاث الدخان، بالإضافة لتأمين راحة العاملين في هذا المجال [10,24].

يعود أصل المجبول الإسفلتي الدافئ إلى استخدام الإسفلت الرغوي، وأول محاولة في هذا المجال كانت في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1956م، وتعتمد فكرة الإسفلت الرغوي على ادخال الماء إلى بنية الرابط ميكانيكياً أو تحت الضغط أو بإضافة معادن الزيوليت، ومن ثم يتحول الماء إلى بخار ويزداد حجم الرابط مؤقتاً وهذا ما يسمح بتغليف أفضل للحصويات بالرابط وتحسن قابلية التشغيل خلال مرحلة الإنتاج والنقل والفرش [13]، وقد كان العام 2006 هو بداية انتاج المجبول الإسفلتي منخفض درجات الحرارة (الدافئ) واستخدامه في رصف الطرق في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث بلغت كمية انتاجه 5% من إجمالي المجبول الإسفلتي المنتج في العام 2009، ثم شهد نمواً متسارعاً لتبلغ كمية الانتاج 30% في العام 2013 و39% في العام 2017 [12,38].

تتراوح درجة حرارة انتاج المجبول الإسفلتي الدافئ بين (100-140)°C بالمقارنة مع حرارة انتاج المجبول الإسفلتي الساخن (150-180)°C [27]، ويمكن تصنيف الخلطات الإسفلتية الدافئة بالاعتماد على استخدام الإضافات العضوية والكيميائية، بالإضافة إلى استخدام الإضافات الحاملة للماء أو إضافة الماء بشكل مباشر باستخدام معدات وتجهيزات خاصة [37].

تركز الدراسات السابقة المتعلقة باستخدام الزيوليت الصناعي لإنتاج المجبول الإسفلتي الدافئ على نوعين من الإضافات: Aspha-Min & Advera، حيث تحتوي هذه الإضافات على حوالي 21% من الماء البلوري، والذي يتحرر عند درجات حرارة 85-182°C، وخلصت العديد من الدراسات إلى إضافة الزيوليت الصناعي للمجبول الإسفلتي بنسبة 0.3% من الوزن الكلي للمجبول [2,21,43].

درس [42] تأثير أنواع مختلفة من الزيوليت الصناعي (Advera®, LTA, 13X) في خواص الرابط الإسفلتي المعدل بيوليمير

3.2 العمل المخبري:

تم اجراء هذا البحث بالاعتماد على سلسلة الاختبارات المحددة بالموصفات التالية:

- 1- تجربة التحليل الوزني الحراري TGA وفق المواصفة ASTM E.1131.
- 2- تجربة الغرز Penetration وفق المواصفة ASTM D.5 عند درجة حرارة 25°C .
- 3- تجربة تحديد درجة حرارة التميع Softening Point (Ring & Bale) وفق المواصفة ASTM D.36.
- 4- تجربة قابلية السحب (المطاوعة) Ductility وفق المواصفة ASTM D.445.
- 5- تجربة اللزوجة الحركية Kinematic Viscosity وفق المواصفة ASTM D.88.
- 6- تجربة فرن الطبقة الرقيقة الدوار RTOFT وفق المواصفة ASTM D2872.
- 7- تجربة تحديد الوزن النوعي للإسفلت Specific Gravity وفق المواصفة ASTM D.70.

وقد أعطيت أنواع الإسفلت المستخدمة في هذا البحث الرموز التالية:

AB: يشير إلى الإسفلت 50-70 إنتاج مصفاة بانياس.

AZ3: يشير إلى الإسفلت 50-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة الزيوليت الطبيعي بنسبة 3% وزناً.

AZ4: يشير إلى الإسفلت 50-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة الزيوليت الطبيعي بنسبة 4% وزناً.

AZ5: يشير إلى الإسفلت 50-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة الزيوليت الطبيعي بنسبة 5% وزناً.

AZ6: يشير إلى الإسفلت 50-70 إنتاج مصفاة بانياس بعد إضافة الزيوليت الطبيعي بنسبة 6% وزناً.

3.3 طريقة المعالجة والتعديل:

في البداية تم تحديد مواصفات الزيوليت الطبيعي المستخدم وذلك بإجراء التحليل الوزني الحراري (TGA) والتحليل الكيميائي باستخدام طريقة الأشعة السينية المفلورة (XRF) وقياسات حيود الأشعة السينية (XRD)، ثم تحديد الخواص الأولية لعينات الإسفلت المختبرة وهو إسفلت 50-70 إنتاج مصفاة بانياس، وذلك بإجراء تجارب الغرز عند درجة حرارة 25°C ، الاستطالة، درجة حرارة التميع، اللزوجة عند درجات حرارة $110, 120, 135^{\circ}\text{C}$. ثم أعيدت الاختبارات السابقة على الإسفلت بعد اختبار الفاقد بالحرارة، وذلك لإظهار سلوك الإسفلت بعد التعرض للتعيب قصير الأمد وفق اختبار فرن الطبقة الرقيقة الدوار RTOFT.

تم إضافة الزيوليت الطبيعي إلى الرابط الإسفلتي المسخن لدرجة حرارة 130°C وفق نسب وزنية % (3-6) مع التحريك المستمر حتى الحصول على مزيج متجانس، وقد تم تسخين الرابط الإسفلتي لدرجة الحرارة السابقة لتحويله إلى الحالة السائلة التي تسمح بإنتاج الإسفلت الرغوي اعتماداً على المواصفات القياسية السورية القاضية بتسخين الرابط لدرجات حرارة أعلى من درجة حرارة تبعيه وفق اختبار الكرة والحلقة بمقدار 80°C وحتى 110°C على الأكثر، وعليه تكون درجة الحرارة المعتمدة $130^{\circ}\text{C} \approx 130.2 + 80 = 210.2^{\circ}\text{C}$ [36]. بعد ذلك تم اجراء اختبارات الإسفلت السابقة على الرابط الإسفلتي المعدل بالزيوليت ودراسة التغيرات الحاصلة في خواص الرابط الإسفلتي.

4. النتائج والمناقشة:

4.1 تحديد مواصفات الزيوليت الطبيعي المستخدم:

4.1.1 التحليل الكيميائي:

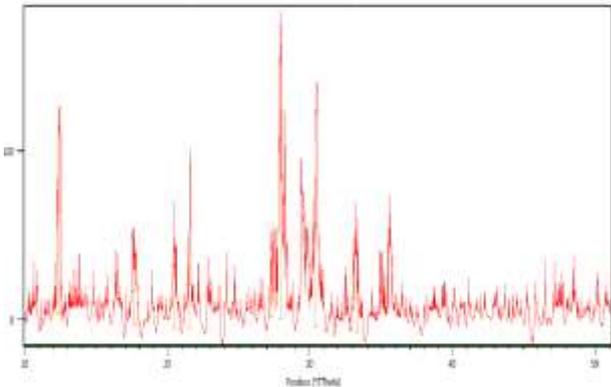
تم تحديد التركيب الكيميائي للزيوليت الطبيعي باستخدام طريقة الأشعة السينية المفلورة (XRF) ويوضح الجدول 1 نتائج التحليل الكيميائي للعينات المدروسة، والتي أشارت إلى أن الزيوليت السوري الخام يتكون بشكل أساسي من أكاسيد SiO_2 ، Al_2O_3 التي تشكل البنية الزيوليتية والأكاسيد المرافقة MgO ، CaO ، Fe_2O_3 .

الجدول 1: نتائج التحليل الكيميائي للزيوليت الطبيعي السوري

نوع الأوكسيد	النسبة المئوية %
SiO_2	42.18
Al_2O_3	12.36
Fe_2O_3	15.42
CaO	7.8
MgO	6.6
TiO_2	2.62
K_2O	1.47
Na_2O	2
P_2O_5	0.33
H_2O	7.84

4.1.2 قياسات حيود الأشعة السينية (XRD):

أجريت قياسات حيود الأشعة السينية (XRD) في مخابر هيئة الطاقة الذرية بدمشق، ويشير الشكل 2 إلى مخطط طيف الأشعة السينية للخام الزيوليتي، والذي تمت معالجته وتكبيره باستخدام برنامج PANalytical X'Pert HighScore plus، وتشير النتائج الموضحة في الشكل 2 والجدول 2 إلى أن العينات المختبرة تحتوي على أطوار بلورية من البنى الزيوليتية وهي خليط من الفلبسايت والشابازايت بشكل أساسي، بالإضافة إلى فلزات أخرى كالهيماتيت والبيروكسين.



الشكل 2: مخطط طيف الأشعة السينية للخام الزيوليتي بعد المعالجة ببرنامج HighScore Plus



الشكل 4: الزيوليت الطبيعي المطحون



الشكل 5: وحدة الخلط المستخدمة لإنتاج الإسفلت الرغوي

لوحظ خلال عملية خلط الزيوليت مع الإسفلت ازدياد حجم الرابط الإسفلتي كما هو موضح في الشكل 6، واختلاف معدل الرغوة الحاصلة مع اختلاف درجة حرارة الإسفلت وهذا ما يوضحه الشكل 7، حيث لوحظ ظهور المزيد من الفقاعات على سطح الإسفلت عند انخفاض درجات الحرارة ويمكن أن يعزى ذلك إلى لزوجة الرابط الإسفلتي، حيث أنه عند درجة الحرارة 150°C تكون اللزوجة منخفضة وبالتالي يتصرف الإسفلت بشكل يشبه السائل فيتحرر الهواء من الفقاعات بسهولة، وكذلك الأمر عند درجات الحرارة 130°C ، 140°C ، وعند درجات الحرارة الأقل من 120°C يصبح تحرر الهواء من الفقاعات صعباً، أما عند الدرجة 90°C يكون الإسفلت عالي اللزوجة ويتصرف بشكل صلب أكثر مما يجعل انطلاق الهواء من الفقاعات أكثر صعوبة.



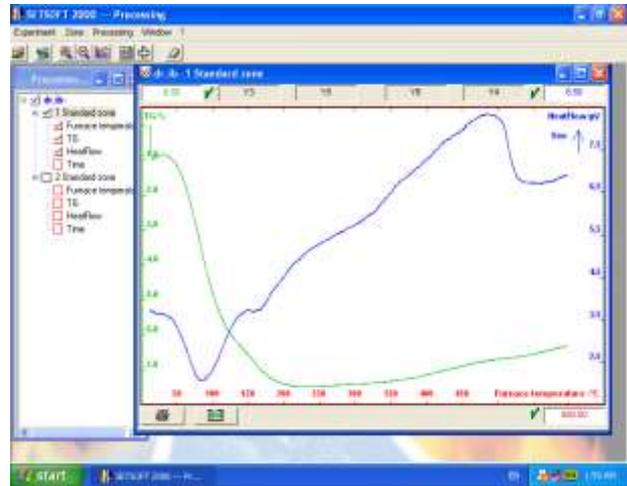
الشكل 6: الرغوة الحاصلة بعد إضافة الزيوليت الطبيعي

الجدول 2: الأطوار البلورية لعينات الزيوليت المدروسة

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	Phase name
12.43	123.42	Phillipsite
20.52	38.68	Chabazite
27.33	31.56	Phillipsite
27.94	170.41	Phillipsite
30.43	112.26	Chabazite
33.25	39.79	hematite
35.73	34.75	hematite

4.1.3 التحليل الوزني الحراري (TGA):

يسمح التحليل الوزني الحراري وفقاً للمواصفة EN ISO11358 بدراسة الثباتية الحرارية للمادة، حيث يتم تحديد الخسارة في الكتلة بدلالة الزمن ودرجة الحرارة، وقد تم التحقق من السلوك الحراري للزيوليت الطبيعي باستخدام جهاز التحليل الوزني الحراري TGA وفق سرعة تسخين $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ كما هو موضح في الشكل 3، حيث يشير مجال الحرارة بين $50-110^{\circ}\text{C}$ إلى فقدان الماء الخارجي، ومجال الحرارة بين $110-350^{\circ}\text{C}$ على فقدان الماء المرتبط بشكل ضعيف، ومجال الحرارة بين $350-500^{\circ}\text{C}$ إلى فقدان الماء المرتبط بشكل قوي في الزيوليت الطبيعي المختبر، وهذا يشير إلى أن تجفيف الزيوليت عملية بطيئة وتحدث بشكل ثلاث مراحل متدرجة بسبب طاقات الارتباط الثلاثة المختلفة بين جزيئات الماء وشوارد الزيوليت الطبيعي.



الشكل 3: مخطط TGA للزيوليت الطبيعي السوري

4.2 إنتاج الرابط الإسفلتي الرغوي:

تم طحن عينات الزيوليت الخام ونخلها على المنخل N.200 (0.075mm) كما هو موضح في الشكل 4 وإضافتها للرابط الإسفلتي وفق أربعة نسب وزنية % (3، 4، 5، 6)، باستخدام خلط صناعي بسرعة 1000 دورة في الدقيقة لضمان الحصول على عينات معدلة متجانسة نظراً لأن الزيوليت جسم صلب لا ينحل بالإسفلت [14,39,40]، وبهدف التحكم بدرجات حرارة خلط الرابط الإسفلتي مع الزيوليت تم تصنيع وحدة خلط موضحة في الشكل 5 على شكل دائرة كهربائية تتكون من: (سخان كهربائي- متحكم بدرجات الحرارة ديجيتال- حساس حراري- ريلي 30-Relay أمبير).

4.3 تحديد خواص الإسفلت:

يظهر الجدول 3 خصائص الإسفلت المستخدم قبل وبعد التعرض للتعيب قصير الأمد، حيث أظهرت نتائج الاختبارات تطابقه مع القيم المسموحة المحددة بالمواصفات العالمية ASTM.

الجدول 3: خصائص الرابطة الإسفلتي قبل وبعد اختبار الفاقد بالحرارة

المواصفات	النتائج	الخاصية
50/70	57.3	الغرز، 25°C
>100	160	الاستطالة (cm)
46-54	50.2	حرارة التميع °C
[-1.5, +0.7]	0.83-	دليل الغرز
-	1771	110 °C
-	715	120 °C
Min 295	402	135 °C
1.035		الوزن النوعي (g/cm ³)
التغيرات بعد التعيب قصير الأمد وفق RTOFT		
-0.5+0.5	-0.1	التغير في الكتلة
Min 50%	70.7	الغرز المتبقي %
-	119	الاستطالة المتبقية cm
Max 9°C	3.9+	التغير في درجة حرارة التميع °C

4.4 دراسة تأثير الزيوليت الطبيعي في خواص الرابطة الإسفلتي:

تمت إضافة الزيوليت الطبيعي وفق درجة حرارة المخبر (25°C) مباشرة للرابطة الإسفلتي المسخن عند أربعة نسب وزنية (% 3, 4, 5, 6) مع التحريك المستمر لمدة 20 دقيقة بحيث تم الحصول على عينات معدلة متجانسة، والهدف من ذلك هو إحداث الرغوة في المزيج وإنتاج الإسفلت الرغوي، حيث يتحرر الماء الموجود بالزيوليت الطبيعي عند خلطه مع الإسفلت الساخن أو مع المجلول الإسفلتي الساخن مع مرور الوقت وتتشكل الرغوة في المزيج، فتتحسن قابلية التشغيل والمقاومة والديمومة [14,23].

ومن ثم تمت إجراء اختبارات (الغرز عند درجة حرارة 25°C)، درجة حرارة التميع، قابلية السحب، اللزوجة عند درجات حرارة (110, 120, 135)°C على الرابطة الإسفلتي المعدل بالزيوليت الطبيعي وحساب قيم دليل الغرز، ثم تمت دراسة التغيرات الحاصلة في خواص الرابطة الإسفلتي المعدل وغير المعدل بالزيوليت الطبيعي بعد إجراء اختبار فرن الطبقة الرقيقة الدوار RTOFT، وذلك لإظهار سلوك الرابطة الإسفلتي بعد التعرض للتعيب قصير الأمد.

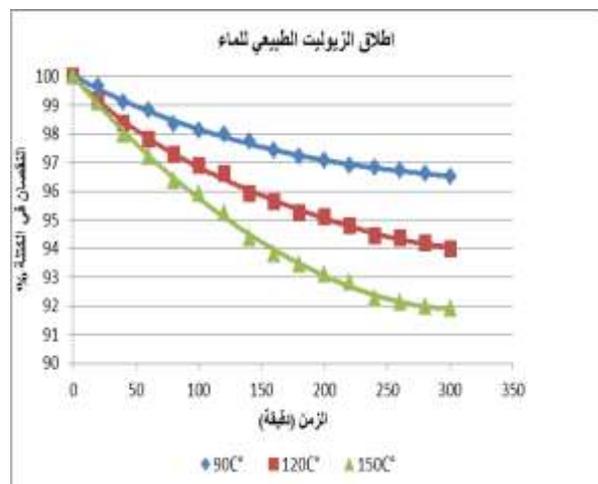
4.4.1 تأثير الزيوليت الطبيعي في درجة غرز الرابطة الإسفلتي:

أجريت تجارب الغرز عند درجة الحرارة 25°C لأنواع الإسفلت المستخدمة في هذه الدراسة (الإسفلت 50/70، الإسفلت المعدل بالزيوليت الطبيعي) قبل وبعد إجراء اختبار فرن الطبقة الرقيقة الدوار RTOFT وتم تحديد قيمة الغرز المتبقي ومعدل الغرز Penetration Ratio، والذي يعبر عن النسبة بين قيمة الغرز عند درجة حرارة 25°C بعد التعرض لاختبار RTOFT



الشكل 7: (مزيج الإسفلت- الزيوليت الطبيعي) عند درجات حرارة مختلفة

وبهدف الحصول على معلومات أكثر حول معدل إطلاق الزيوليت الطبيعي للماء بالعلاقة مع درجة الحرارة، تم دراسة إطلاق الزيوليت الطبيعي للماء بالعلاقة مع الزمن ودرجة الحرارة، حيث تم وضع 100gr من الزيوليت الطبيعي في الفرن عند درجات الحرارة (90, 120, 150)°C ووزنها كل 20 دقيقة، ويشير الشكل 8 إلى تناقص بطيء في الكتلة المتبقية واستمرار هذا التناقص بعد مرور 5 ساعات، حيث بلغ النقصان في الكتلة بعد مرور 5 ساعات 3.5% عند درجة الحرارة 90°C، و6% عند درجة الحرارة 120°C، و8.1% عند درجة الحرارة 150°C. وهذا يشير إلى أن إطلاق الماء في الزيوليت الطبيعي هو عملية بطيئة تمتد لعدة ساعات وهذا ما يسمح بتحسين قابلية تشغيل المجلول الإسفلتي عند الرصف بدرجات حرارة منخفضة.



الشكل 8: إطلاق الزيوليت الطبيعي للماء بالعلاقة مع الزمن ودرجة الحرارة

لوحظ من نتائج تجارب درجة حرارة التميع للرابط الإسفلتي ازدياد قيم درجة حرارة التميع مع زيادة نسبة الزيوليت الطبيعي، كما لوحظ بأن التغير في درجة حرارة التميع بعد التعرض للتعب قصير الأمد كان ضمن حدود المواصفات (9°C) ويتناقص مع زيادة نسبة الزيوليت الطبيعي.

تتفق نتائج اختبارات الغرز ودرجة حرارة التميع التي تم الحصول عليها مع نتائج الدراسات السابقة المتعلقة بتعديل الرابط الإسفلتي بإضافات الزيوليت [19,25,31,40].

4.4.3 تأثير الزيوليت الطبيعي في قيم دليل الغرز:

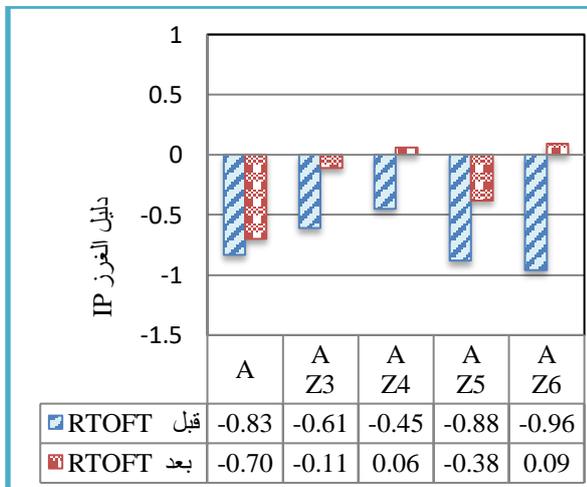
يحسب دليل الغرز Penetration Index على أساس نتائج درجة الغرز في الدرجة 25°C وذلك وفق العلاقة (1) [8]:

$$IP = \frac{20-500A}{1+50A} \quad (1)$$

حيث يتم حساب A من العلاقة:

$$A = \frac{\text{Log}(\text{pen}(25^{\circ}\text{C})) - \text{Log}(800)}{25 - \text{ASTM softening point}} \quad (2)$$

يظهر الشكل 11 بأن قيم دليل الغرز لجميع أنواع الإسفلت ضمن حدود المجال المسموح $[-1.5, +0.7]$ ، كما يتضح ازدياد الحساسية الحرارية للإسفلت المدروس بعد التعرض للتعب قصير الأمد عند جميع النسب المدروسة.

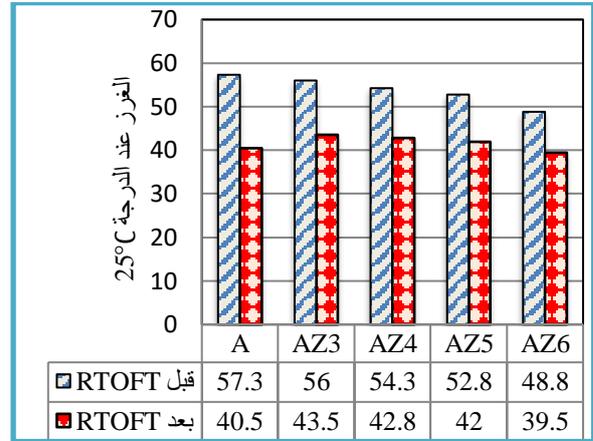


الشكل 11: تغيرات قيم دليل الغرز لأنواع الإسفلت المدروسة

4.4.4 تأثير الزيوليت الطبيعي في قيم قابلية السحب (الاستطالة):

يظهر الشكل 12 نتائج تجارب الاستطالة للرابط الإسفلتي المعدل وغير المعدل بالزيوليت الطبيعي قبل وبعد التعرض للتعب قصير الأمد.

إلى قيمة الغرز عند درجة حرارة 25°C قبل التعرض لاختبار RTOFT، ويظهر الشكل 9 نتائج تجارب الغرز عند درجة حرارة 25°C للرابط الإسفلتي المعدل بالزيوليت الطبيعي قبل وبعد التعرض لاختبار RTOFT.



الشكل 9: تغيرات الغرز للإسفلت المعدل وغير المعدل بالزيوليت الطبيعي قبل وبعد اختبار RTOFT

أشارت نتائج تجارب الغرز عند درجة حرارة 25°C إلى انخفاض قيم الغرز مع ازدياد نسبة الزيوليت الطبيعي المضاف، وهذا يشير إلى ازدياد قساوة الرابط الإسفلتي، ويُعزى سبب هذا التغير إلى أن الزيوليت جسم صلب لا ينحل في الإسفلت، وبعد أن يقوم بدوره في إحداث الرغوة عند درجات الحرارة المرتفعة سوف يعود ليعمل عمل الفيلر عند درجات الحرارة العادية.

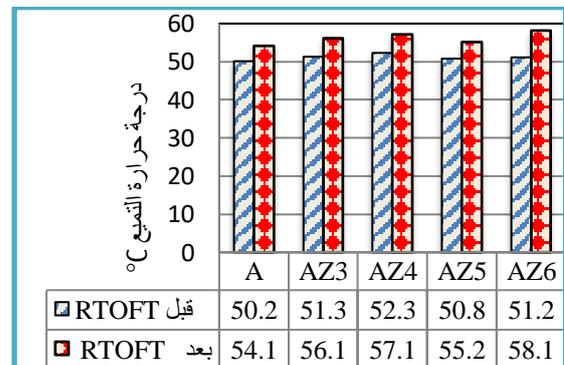
تشير نتائج معدل الغرز وفق اختبار RTOFT والموضحة في الجدول 4 إلى أنها ضمن حدود المواصفات المسموحة لجميع أنواع الإسفلت المدروسة ($>50\%$)، وإلى ازدياد قيم معدل الغرز (الغرز المتبقي) مع زيادة نسبة الزيوليت، وهذا يُشير إلى زيادة مقاومة الإسفلت للتعب.

الجدول 4: قيم معدل الغرز لأنواع الإسفلت المستخدمة قبل وبعد RTOFT

نوع الإسفلت	AZ6	AZ5	AZ4	AZ3	A
معدل الغرز %	81	79.6	78.8	77.7	70.7

4.4.2 تأثير الزيوليت الطبيعي في درجة حرارة التميع للرابط الإسفلتي:

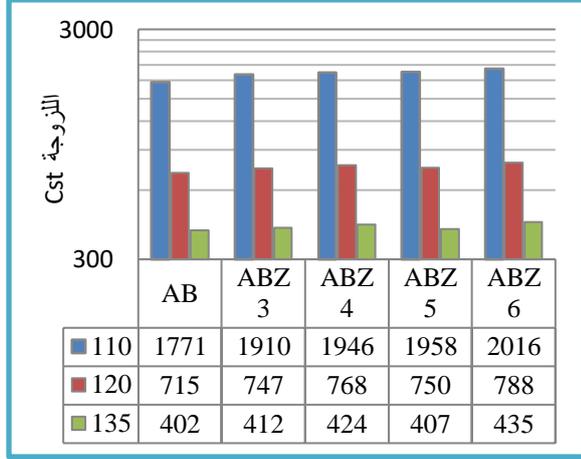
يظهر الشكل 10 نتائج تجارب درجة حرارة التميع وفق اختبار الكرة والحلقة للرابط الإسفلتي المعدل وغير المعدل بالزيوليت الطبيعي قبل وبعد التعرض للتعب قصير الأمد.



الشكل 10: تغيرات درجة حرارة التميع للإسفلت المعدل وغير المعدل بالزيوليت الطبيعي قبل وبعد اختبار RTOFT

الصناعي توصي بإضافته مباشرةً للمجبول الإسفلتي بهدف زيادة قابلية التشغيل. [21,33]

أُجريت اختبارات اللزوجة في هذه الدراسة بهدف تحديد طريقة الإضافة المثلى للزبوليت الطبيعي، ويظهر الشكل 14 نتائج تجارب لزوجة الرابط الإسفلتي المعدل وغير المعدل بالزبوليت الطبيعي.



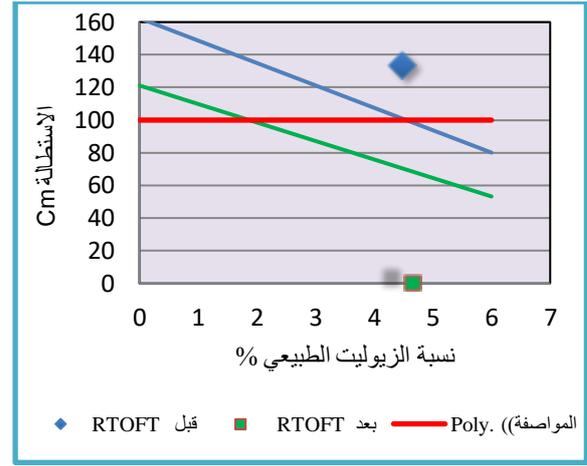
الشكل 14: تغيرات لزوجة الرابط الإسفلتي المعدل وغير المعدل بالزبوليت الطبيعي وفق درجة الحرارة

تُشير نتائج هذه الدراسة إلى عدم حدوث تغيرات هامة في قيم لزوجة الرابط الإسفلتي، ويعزى ذلك إلى أن الزبوليت جسم صلب لا ينحل بالإسفلت، وبناءً على ذلك نبين عدم إمكانية التنبؤ بقابلية تشغيل المجبول الإسفلتي المعدل بإضافات الزبوليت وفقاً لاختبارات الرابط الإسفلتي، وبالتالي لا بد من دراسة تأثير الإضافة المباشرة للزبوليت الطبيعي في خواص المجبول الإسفلتي، وهذه النتيجة تتفق مع نتائج العديد من الدراسات السابقة المتعلقة بهذا الموضوع [21,33].

5. الاستنتاجات والتوصيات:

5.1 الاستنتاجات:

1. أشارت نتائج التحليل الوزني الحراري إلى أن خسارة الماء في الزبوليت الطبيعي هي عملية بطيئة وتحدث بشكل ثلاث مراحل متدرجة بسبب طاقات الارتباط الثلاثة المختلفة بين جزيئات الماء وشوارد الزبوليت الطبيعي.
2. بقاء قيم غرز الإسفلت ضمن المجال 50/70 عند النسب % (3, 4, 5) من الزبوليت الطبيعي، وارتفاع درجة حرارة التميع بمقدار 4.4°C ، 4.9°C ، 4.7°C مع بقائها ضمن حدود المواصفات المسموحة، بينما انخفضت قيم الاستطالة بمقدار % (24, 29, 41) عند نسب الإضافة نفسها على التوالي.
3. انخفاض مجال غرز الإسفلت المعدل بالزبوليت عند النسبة 6% إلى المجال 40/50، وترافق ذلك مع ارتفاع درجة حرارة التميع بمقدار 6.8°C ، وانخفاض قيم الاستطالة بمقدار 53%.
4. زيادة مقاومة الرابط الإسفلتي للتعب مع زيادة نسبة الإضافة والتي يعبر عنها بارتفاع قيم معدل الغرز بعد التعرض للتعب قصير الأمد.
5. عدم إمكانية التنبؤ بقابلية تشغيل المجبول الإسفلتي المعدل بإضافات الزبوليت وفقاً لاختبارات الرابط الإسفلتي، وبالتالي لا بد من دراسة تأثير الإضافة المباشرة للزبوليت الطبيعي كمواد مالئة (filler) في خواص المجبول الإسفلتي.

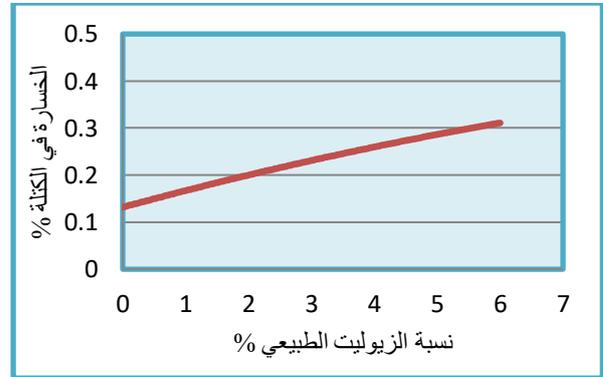


الشكل 12: تغيرات الاستطالة للإسفلت المعدل وغير المعدل بالزبوليت الطبيعي قبل وبعد اختبار RTOFT

تشير نتائج تجارب الاستطالة إلى تناقص قيم الاستطالة مع زيادة نسبة الزبوليت الطبيعي بمقدار % (24, 29, 41, 53) عند نسب الإضافة % (3, 4, 5, 6) على التوالي، وإلى تناقصها بمقدار % (24, 34, 45, 58) بعد التعرض للتعب قصير الأمد.

4.4.5 تأثير الزبوليت الطبيعي في قيم الخسارة في الكتلة:

أشارت نتائج اختبارات الخسارة في الكتلة بعد اختبار RTOFT إلى ازدياد قيم الخسارة في الكتلة مع زيادة نسبة الزبوليت الطبيعي كما هو موضح في الشكل 13، ويعزى ذلك إلى فقدان الماء الموجود ضمن بنية الزبوليت، مع بقاء قيم الخسارة في الكتلة ضمن حدود المواصفات المسموحة [-0.5, +0.5].



الشكل 13: الخسارة في الكتلة لأنواع الإسفلت المدروسة

4.4.6 تأثير الزبوليت الطبيعي في قيم لزوجة الرابط الإسفلتي (قابلية التشغيل):

يعتبر تخفيض لزوجة الرابط الإسفلتي الهدف الأساسي لإضافات المجبول الإسفلتي الدافئ، وأشارت بعض الدراسات إلى دور إضافات الزبوليت في تخفيض لزوجة الرابط الإسفلتي بشكل بسيط وبالتالي اعتمادها معياراً لإظهار تحسن قابلية تشغيل المجبول الكلي [19,40]، في حين أشارت نتائج المؤتمر الأوروبي السادس لمواد الإسفلت عام 2016، ودراسات أخرى أُجريت في الولايات المتحدة الأمريكية إلى فشل اختبارات اللزوجة في إظهار تحسن قابلية تشغيل المجبول الإسفلتي المعدل بإضافات الزبوليت تحديداً نظراً لأنها تعتبر من الإضافات الحاملة للماء، وإلى ضرورة دراسة التأثير المباشر لهذه الإضافات في خواص المجبول الكلي، علماً بأن الشركات المصنعة للزبوليت

- 5.2 التوصيات :
1. إضافة الزيوليت الطبيعي مباشرة للمجبول الإسفلتي خلال مرحلة الإنتاج ودراسة التأثير المباشر لهذه الإضافة على قابلية التشغيل.
 2. تصميم الخلطات الإسفلتية عند درجات حرارة مختلفة بحيث يتم المحافظة على حرارة الرابطة الإسفلتي مع تخفيض درجات حرارة الحصويات.
 3. بعد التحقق من الجدوى الفنية لاستخدام الزيوليت الطبيعي إنتاج المجبول الإسفلتي عند درجات حرارة منخفضة، يجب دراسة خواص الخلطات الإسفلتية المعدلة بعد التعرض للتعب قصير الأمد والتعب طويل الأمد.
- المصادر :
- [1] AHMADI, B; SHEKARCHI, M. Use of natural zeolite as supplementary cementitious material. *Cement & Concrete Composites*, vol. 32, 2010, 134-141.
 - [2] AKISETTY, C; AMIRKHANIAN, S; LEE, S. J. High temperature properties of rubberized binders containing warm asphalt additives. *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd., No. 23, 2007, 565–573.
 - [3] Al-Sabri, Amer Mohsen; Al-Jund, Ismail Nasser; Al-Qudsi, Mohammed Abdul Bari. *Natural Zeolite Minerals in Yemen*. Geological Survey and Mineral Resources Authority, Sana'a, 2001.
 - [4] ASTM D 445-06, Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 2009.
 - [5] ASTM D113 – 07. Standard Test method for ductility of bituminous materials. West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials, 2008.
 - [6] ASTM D36-95, Test method for softening point of bitumen (ring-and-ball apparatus), American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.
 - [7] ASTM D5-06, Standard test method for penetration of bituminous materials, American Society for Testing and Materials; West Conshohocken, PA, 2006.
 - [8] ASTM D70 – 97. Standard Test Method for Specific Gravity and Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method): American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1997.
 - [9] ASTM E.1131, ISO 11358. Thermogravimetry thermal analysis (TGA) testing. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2014.
 - [10] BARTHEL, W; MARCHAND, J-P; Von Devivere, M. Warm Mix Asphalt by Adding a Synthetic Zeolite. *Proceedings of the Third Eurasphalt and Eurobitume Conference*, Book 1, Foundation Eurasphalt, Breukelen, The Netherlands, 2004, 1241–1249.
- [11] BINTIBRAHIM, S. Synthesis and Characterisation of Zeolites from Sodium Aluminosilicates Solutions. USM University, Malaysia, 2007.
 - [12] CORRIGAN, M. Warm Mix Asphalt in the United States: From Evolution to Revolution. U.S. DOT – Federal Highway Administration, 2014, 32P.
 - [13] D'ANGELO, G; CORRIGAN, H; HARMAN, T; GONES, W; NEWCOMB, D; PROWELL, B. Warm-Mix Asphalt: European Practice, Federal Highway Administration, Office of Policy, Office of International Programs, Report No. FHWA-PL-08-007, 2008.
 - [14] Dokandari, P. Effects OF Warm Mix Asphalt Additives On Aging Characteristics of Bituminous Mixtures. dokuz eylül University, Turkey, 2012, 84.
 - [15] FAISAL, A. Zeolite Adsorbents and Catalysts for the Recovery and Production of Biochemicals. PHD thesis, Chemical Technology, Lulea University OF Technology, 2013, 88.
 - [16] Franus, W; Wdowin, M; Franus, M. Synthesis and characterization of zeolites prepared from industrial fly ash. *Environmental Monitoring and Assessment*, VOL. 186, N°9, 2014, 5721–5729.
 - [17] General Establishment of Geology and Mineral Resources in Syrian Arab Republic (GEGMRS). Guide of metallic and non-metallic ores in Syrian Arab Republic. Ministry of petroleum and Mineral resources, Syria. Internal Report, 2011, 93.
 - [18] GHOBARKAR, H; SCHÄF, O; MASSIANI, Y; KNAUTH, P. The Reconstruction of Natural Zeolites. Springer Science +Business Media Dordrecht, 2003, 146.
 - [19] GORKEM, C; SENGOZ, B; Topal, A. Evaluation of natural zeolite as warm mix asphalt additive and its comparison with other warm mix additives. *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd., No. 43, Turkey 2013, pp. 242–252.
 - [20] GUEGAN, M; SELVAMOHAN, S; WASIUDDIN, N; ZAMAN, M. Comparative Laboratory Study of Sasobit and Aspha- Min Additives in Warm-Mix Asphalt. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2007, pp. 82–88.
 - [21] Hurlley G. C; Prowell, B. D. Evaluation of Aspha-Min zeolite for use in arm mix asphalt, National Center for Asphalt Technology, NCAT Auburn University 2005.
 - [22] JANA, D. A new look to an old pozzolan: Clinoptilolite – A promising pozzolan in concrete. *Proceedings of the Twenty-ninth Conference on Cement Mycroscopy* Quebec City, PQ, Canada, 2007, 168-179.
 - [23] LAI, B; BARROS, C; YIN, H. Investigation of rheological behaviour of asphalt binder modified by the Advera® additive. Poro-Mechanics IV. In *Proceedings of the Fourth biot conference on poromechanics*, Columbia University, New York, NY, USA, 8–10 June 2009; DEStech Publications©: Lancaster, PA, USA, 2009.

- [36] Transportation Ministry. Standard Specifications for Roads and Bridges, Damascus, Syria, 2002.
- [37] VAIANA, M; IUELE, T; GALLELLI, V. warm mix asphalt with synthetic zeolite: a laboratory study on mixes workability. *International Journal of Pavement Research and Technology*, Vol.6 No.5 Sep. 2013, 562-569.
- [38] Williams, A; Copeland, B; Ross, T. Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage: 2017, Federal Highway Administration, 2018, 46P.
- [39] WOSZUK, A; FRANUS, W. A Review of the Application of Zeolite Materials in Warm Mix Asphalt Technologies. *Applied Sciences* (2076-3417), VOL. 7, Issue 3, 2017, 1-15.
- [40] WOSZUK, A; ZOFKA, A; BANDURA, L. FRANUS, W. Effect of zeolite properties on asphalt foaming. *Construction and Building Materials*, VOL. 139, 2017, 247-255.
- [41] ZAMAOW, G; MURPHY, E. Removal of Metal Cations from Water Using Zeolites. *Separation Science and Tech*, VOL. 27, N^o14, 1992, 1969–1984.
- [42] ZHANG, G; LI, K. Characterization of Warm Mix Agent and Its Influence on Properties of SBS-Modified Asphalt. *Advances in Materials Science and Engineering*, Hindawi, 2019, 7P.
- [43] ZHANG, Y; LENG, Z; ZOU, F; WANG, L; CHEN, S; TSANG, D. C. W. Synthesis of zeolite A using sewage sludge ash for application in warm mix asphalt, *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, 2018, 686–695.
- [24] MANSFELD, R; BARTH, R; BEER, F; BREITBACH, P; GOGOLIN, D; PASS, F; RADENBERG, M; RIEBESEHL, G; SADZULEWSKY, S; WÖLFLE, H. *Leitfaden Temperatur abgesenkte Asphalte*, Deutscher Asphaltverband e.V, Bonn, Germany, 2009, 52.
- [25] MARINKOVIĆ, M; MILOVIĆ, T; MATIĆ, B. ZEOLITE AS ADDITIVE IN WARM MIX ASPHALT. 5th International Conference, Subotica, SERBIA, 2017, 483-490.
- [26] MILOVIĆ, T; ŠEŠLIJA, M; ŠUPIĆ, S; VUKOSLAVČEVIĆ, S. Influence of natural zeolite on some properties of mortar/ concrete. International Conference Contemporary Achievements in Civil Engineering 2015, Subotica, Serbia, 2015, 61-66.
- [27] MO, L; LI, X; FANG, X; HUURMAN, M.; WU, S. Laboratory investigation of compaction characteristics and performance of warm mix asphalt containing chemical additives. *Construction and Building Materials*, VOL. 37, 2012, 239–247.
- [28] MOSHOESHOE, M; TABBIRUKA, M; OBUSENG, V. A Review of the Chemistry, Structure, Properties and Applications of Zeolites. *American Journal of Materials Science* 7(5), 2017, 196-221.
- [29] PERRAKI, TH; KAKALI, G; KONTOLEON, F. The effect of natural zeolites on the early hydration of Portland cement. *Microporous and Mesoporous Materials*, vol.61, 2003, 205-212.
- [30] READ, J; WHITEOAK, D. The shell bitumen handbook, Fifth Edition. In: s.u.o. Products, editor. Heron Quay. London: Thomas Telford Publishing, 2003.
- [31] RÓG, A. The Influence of the Synthetic Zeolite On the Properties of Asphalt Binder 35/50. *Kielce University of Technology*, 5-11, 2016.
- [32] SAFARJALANI, A; MASSONNE, H; Theye, SC. Chemical composition of zeolite ore in the Al-Sis Formation Outcropping in the Syrian Hamad Area. *Alexandria Science Exchange Journal*, VOL.31, N^o3, 2010, 19.
- [33] SAĞLIK, M; DEMIR, B; ORAL, H; OZTURK, T; GÜNGÖR, A. Development and performance of new additives for warm mix asphalt technologies. 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Prague, Czech Republic, 1-3 June, 2016.
- [34] Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test), in ASTM D2872 - 12e1. American Society for Testing and Material: Philadelphia, USA, 2012.
- [35] TAFTI, M; KHABIRI, M; SANIJ, H. Experimental investigation of the effect of using different aggregatetypes on WMA mixtures. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9, 2016, 376–386.

Studying the Effect of Syrian Natural Zeolite On Properties of Asphalt Binder

Mahmoud Ali Abdullh^{1*}, Fayez Suleiman², Bassem Ali³, and Adel Dib⁴

¹Department of Transportation, Albaath University, Homs, Syria, mahmoudabdullh@yahoo.com

²Department of Transportation, Albaath University, Homs, Syria.

³Faculty of Civil Engineering, Arab International University (AIU), Syria.

⁴Department of Transportation, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*Corresponding author: Mahmoud Ali Abdullh, mahmoudabdullh@yahoo.com

Published online: 31 March 2021

Abstract—In the last years, many researchers studied production of warm asphalt concrete by using organic, chemical and water-bearing additive (synthetic zeolite). The purpose of this research is to study the effect of Syrian natural zeolite on the physical and rheological properties of asphalt binder and verify of using it to produce warm asphalt concrete (as a binder modifier or as additive to asphalt concrete), in addition to economic benefits by saving on the cost of synthetic zeolite. In this study, natural zeolite characterization has been investigated via X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD) and Thermal Gravimetric analysis (TGA). Natural zeolite was added to asphalt binder with different percentages (3, 4, 5 and 6%) by weight and to determine the effect of natural zeolite on properties of asphalt binder, penetration at (25)°C, softening point, ductility, viscosity at (110, 120, 135)°C and RTOFT tests were carried out on both modified and unmodified aged asphalt binder with natural zeolite. According to the test results, it has been seen that the addition of natural zeolite improves properties of the asphalt binder and an increase in its resistance to fatigue, and do not make a substantial difference on the workability of the asphalt binder. So the effect of the mixture of natural zeolite additives on the workability could not be predicted on asphalt binder, therefore the direct effect of additives should be studied on the asphalt mixtures.

Keywords— Natural Zeolite, Synthetic Zeolite, Asphalt binder, Short term aging.