



جامعة الموصل  
كلية الهندسة

# السلوك الميكانيكي للخلطات الإسفلتية الدافئة الحاوية على الزيولايت قبل وبعد التقادم

سالم عبدالله خالد الخفاجي

رسالة ماجستير  
علوم الهندسة المدنية / طرق ومواصلات

بإشراف

الأستاذ الدكتور

عبد الرحيم إبراهيم جاسم

## المستخلص

تتحرى الدراسة الحالية تأثير التقادم قصير الأمد وطويله على المزجات الأسفلتية الدافئة الحاوية على إسفلت الدورة المطور بالزيولايت الطبيعي، الزيولايت الصناعي. أجري التقادم قصير الأمد على المزيج الإسفلتي الدافئ (المفكك) عند درجة حرارة 116 م° لفترة ساعتين بموجب مواصفات الجمعية الأمريكية لأعمال الطرق ( AASHTO R30). في حين أُجري التقادم طويل الأمد على عينات محدولة عند درجة حرارة 85 م° ولمدة 120 ساعة.

أجريت العديد من الاختبارات الهندسية والمتضمنة خصائص المارशल، مقاومة الشد غير المباشر عند درجة حرارة 25 م° و 60 م°، نسبة الفقدان في مقاومة الشد، معامل صلابة الشد، التماسك عند درجة حرارة 60 م°، مقاومة الاحتكاك، ومقاومة الانثناء عند درجة حرارة - 10 م°، والزحف المطاوع لتقييم أداء المزجات غير المعرضة والمعرضة للتقادم. فضلاً عن ذلك أُجريت الاختبارات الفيزيائية والمتضمنة النفاذية، الاستطالة، معامل الرجوعية، لزوجة فورل، التجانس، الفقدان بسبب تأثير الهواء والحرارة (التقادم)، تأثير الحرارة.....الخ على المادة الرابطة (الأسفلت) المطورة بالمضافات الدافئة قبل وبعد التقادم.

أظهرت النتائج أنَّ: (1) مادة الزيولايت الطبيعي أبدى مقاومة لقوى القص والتخدد، وبالوقت نفسه أقل عرضة للتغيرات الناتجة عن تأثر الحرارة مقارنة بمادة الزيولايت الصناعي، (2) مادة الزيولايت الطبيعي أظهرت مرونة عالية من الزيولايت الصناعي عند درجة حرارة 15 م° (مما يدل على إعطاء انفعال مرونة أعلى لطبقات الرصف المرن)، (3) إضافة الزيولايت الطبيعي، الزيولايت الصناعي، إلى أسفلت الدورة أدت إلى خفض درجات حرارة المزج بمقدار 26، 22 م°، على التوالي، في حين لوحظ انخفاض درجات حرارة الحدل للمضافات نفسها بمقدار 22، 20 م°، على التوالي (تقليل التلوث البيئي)، (4) ديمومة ومقاومة التشققات للزيولايت الطبيعي أفضل من الزيولايت الصناعي (أكثر مقاومة للتقادم)، (5) المزجات الأسفلتية الدافئة التي تمتلك أعلى أداء هي الحاوية على الزيولايت الطبيعي، تليها الحاوية على الزيولايت الصناعي، و (6) المزجات الأسفلتية الدافئة تميزت بمعامل احتكاك قليل مقارنة بالمزجات التقليدية مما يؤدي إلى تقليل الضوضاء الناتجة من إطارات المركبات، خصوصاً في المناطق السكنية.

**مفاتيح الكلمات:** المزجات الإسفلتية الدافئة، المضافات الإسفلتية الدافئة، اختبارات الأداء، الزيولايت، التقادم ، مقاومة الشد غير المباشر ، مقاومة الانثناء، مقاومة الاحتكاك، الزحف المطواع.

## **Abstract**

This study investigates the effect of short and long term aging on warm mix asphalt (WMA) containing AL-Dora asphalt cement (D40) modified with natural zeolite (NZ), synthetic zeolite (SZ), as warm-mix asphalt additives (WMAA).

Short term aging (STA) was performed on the loose (uncompacted) WMA according to AASHTO R30 specifications at 116 ° C for a period of 2 hours. Whereas, the long-term aging (LTA) was performed on compacted specimens at 85 ° C for a period of 120 hours.

The engineering tests including: Marshall properties, indirect tensile strength at 25°C and 60°C, tensile strength ratio (moisture susceptibility), tensile stiffness modulus, cohesion at 60°C, skid resistance, flexural strength at -10°C, and creep compliance at 40°C were performed on WMA to evaluate the performance of unaged and aged WMA. Besides, the physicochemical tests such as: penetration, ductility, elastic recovery, furol viscosity, homogeneity, loss of heat and air, temperature susceptibility...etc. were conducted on unaged and aged WMAA.

The results show that: (1) NZ perform well against shear and rutting resistance, as well as, it is less susceptible to temperature changes than SZ. Besides, NZ is less susceptible to temperature changes than SZ (2) NZ give higher elasticity than SZ at 15°C (i.e. NZ give more tensile strain for flexible pavement layers); (3) addition of NZ and SZ to D40 reduced the mixing temperatures by 26, 22 °C, respectively, whereas, the compaction temperatures were minimized to 22, 20 °C, respectively (increased environmental benefit); (4) Durability and cracking resistance of NZ was noticed to be better than SZ (i.e. more resistance to STA effects); (5) WMA ranked in an increased order as follows: NZ> SZ; and (6) WMA have lower friction coefficient which reduces noise from tire movement, especially in residential areas.

**Key words:** Warm mix asphalt; Warm asphalt additives; Performance tests; Zeolite; Aging; Indirect tensile strength; Flexural strength; Skid resistance; Creep compliance.

University of Mosul  
College of Engineering



# **Mechanical Behaviors of Aged and Unaged Warm Mix Asphalt Containing Zeolite**

**Salim Abdullah Khalid**

M. Sc. Thesis

Civil Engineering \ Highway and Transportation

Supervised by  
**Professor**

**Dr. Abdul-Rahim Ibrahim Jasim**

---

1442 A.H.

2020 A.D.