

## تأثير الفراغات الهوائية على خصائص الخلطة الاسفلتية

### (دراسة مقارنة)

عبدالسلام الصادق سليمان كشيش

التقنية المدنية، المعهد العالي للعلوم والتكنولوجيا كلية، إدارة المعاهد التقنية العليا، كلية، ليبيا

[abdalslamkshish@gmail.com](mailto:abdalslamkshish@gmail.com)

Received: 30-09-2025; Revised: 10-10-2025; Accepted: 31-10-2025; Published: 25-11-2025

#### الملخص:

تؤثر الفراغات الهوائية بشكل كبير على سلوك الخلطة الإسفلتية، حيث أن وجودها بكميات مناسبة ضروري لضمان أداء الرصف الأسفلتي. ومع ذلك، فإن الزيادة أو النقصان في نسبة الفراغات الهوائية عن الحدود المثلث يمكن أن يؤدي إلى مشاكل في الأداء.

عند تصميم الخلطات الإسفلتية يؤخذ بالحسبان وجود فراغات هوائية بالخلطة حيث ان الفراغات الهوائية في الخليط الكلي تسمح باستيعاب الإسفلت وإبقاء جزء من الفراغات الهوائية ، حيث انه كلما كانت نسبة الفراغات مناسبة كلما تم تحديد مرور الهواء والماء خلال الطبقة الإسفلتية أي تحديد دور الماء في فصل الركام عن الإسفلت عدم وصوله الى طبقة الأساس الحبيبي وكذلك تحديد دور الهواء في أكسدة الإسفلت وتحويله الى مادة هشه قابله للكسر إما إذا كانت نسبة الفراغات الهوائية قليله سوف يسبب ذلك انضغاط من جراء تسليط أحمال المركبات وحدوث التزف والنضح وحدوث تشغقات في الطريق وإذا كانت الفراغات كثيرة فهذا يسبب ضعف الطبقة وتأكسد الإسفلت وتسرب الماء الى الطبقات السفلية وحدوث تشغقات وهبوطات بالطريق .

**الكلمات المفتاحية:** فراغات هوائية - فراغات المملأة بالأسفلت - فراغات الركام المعدنية- المحتوى الأمثل للبيتومين .

#### 1- مقدمة:

تعتبر الخلطة الاسفلتية من المواد الأساسية المستخدمة في انشاء الطرق والبني التحتية ، وتلعب خصائصها دورا حاسما في تحديد أداء ومتانة الرصف على المدى الطويل ، من بين هذه الخصائص تبرز الفراغات الهوائية كعامل حيوي يؤثر بشكل مباشر على السلوك الميكانيكي والفيزيائي للخلطة ، الفراغات الهوائية هي المساحات الصغيرة المملأة بالهواء داخل الخلطة الاسفلتية المدمومة ، وت تكون نتيجة لعدم الامتناع الكامل للركام بالبيتومين او بسبب عملية الدمك غير الفعالة ، ان فهم تأثير هذه الفراغات سواء من حيث نسبتها او توزيعها يعد امرا بالغ الأهمية لضمان جودة الرصف ومقاومته للعوامل البيئية والاحمال المرورية.

ان الخلطات الإسفلตية عبارة عن مزيج متجانس من مواد الرصف وتشمل الرابط الأسفلتي والركام بدرجاتها المختلفة وبعض المضادات كالبودرة وغيرها وقد يكون الرابط الأسفلتي محسناً أو غير محسناً وهو يعمل على حماية الخلطة الإسفلตية من الماء وكرابط لحبوبات الركام لتكوين كتلة كثيفة متمسكة عندما تلتقط مع بعضها وهذا يؤدي إلى زيادة متنانة ومقاومة الخلطة ويتأثر آدا الخلطة الإسفلتية بكل من خصائص مكوناتها كلاً على حدة وبخصائصها مجتمعة كما ان الخلطات الإسفلتية المطلوبة يجب أن تكون ذات جودة عالية ويتحقق ذلك بتتوفر عدد من الخواص الهندسية و الميكانيكية والتي من أهمها نسبة الفراغات الهوائية والتي تؤثر بشكل كبير على حالة الرصف وفق العمر الافتراضي لتصميم الطريق[1] .

تهدف هذه الورقة الى تقديم تحليل شامل لتأثير الفراغات الهوائية على مختلف خصائص الخلطة الاسفلتية مع التركيز على الجوانب الإيجابية والسلبية لنسب الفراغات المختلفة، سيتم استعراض أهمية التحكم في هذه الفراغات خلال مراحل التصميم والتنفيذ.

## 2. منهجة البحث

تتألخص منهجة البحث في النقاط التالية:

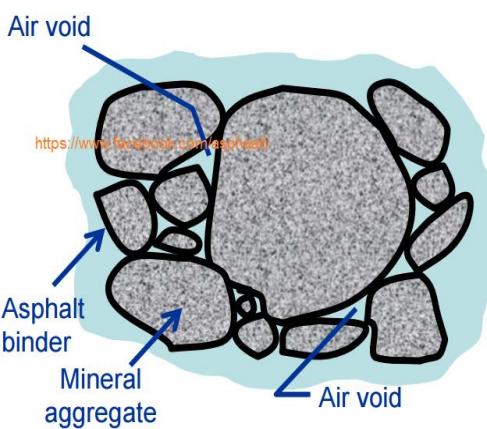
- \*- تحضر عينات اسفلتية ذات نسب فراغات هوائية مختلفة
- \*- مدى تأثير نسب الفراغات الهوائية على الفراغات المملوقة بالأسفلت
- \*- مدى تأثير نسب الفراغات الهوائية على فراغات الركام المعدنية
- \*- مدى تأثير نسب الفراغات الهوائية على المحتوى الأمثل للبيتومين

## 3- تعريف الفراغات الهوائية و أهميتها

الفراغات الهوائية في الخلطة الاسفلتية هي الحجم الكلي للفراغات المتبقية داخل الخلطة المدموعة والتي لا يشغلها الركام او البيتومين، تعتبر هذه الفراغات عادةً كنسبة مئوية من الحجم الكلي للخلطة ووجود نسبة معينة من الفراغات الهوائية ضروري وحيوي لأداء الخلطة الاسفلتية، حيث انها تسمح ببعض المرونة في الخلطة وتتوفر مساحات لاستيعاب التمدد الحراري للبيتومين دون حدوث نزيف او تشوهات.

### 3-1 أهمية الفراغات الهوائية

- استيعاب البيتومين : توفر الفراغات الهوائية مساحة لليتومين الزائد الذي قد يتمدد نتيجة لارتفاع درجات الحرارة مما يمنع ظاهرة التزف التي تؤدي إلى سطح رق و غير آمن.
- المرونة والمتانة: تساهم الفراغات الهوائية في إعطاء الخلطة الاسفلتية قدرًا من المرونة، مما يساعدها على تحمل الاجهادات الناتجة عن الاحمال المرورية دون حدوث تشغقات مبكرة.
- مقاومة التشوه الدائم: تلعب النسبة الصحيحة للفراغات دوراً في مقاومة الخلطة للتشوه الدائم مثل التخدد، حيث أن الفراغات الكافية تسمح للخلطة بإعادة ترتيب نفسها تحت الاحمال، والشكل رقم (1) يوضح الفراغات الهوائية في الخليط الاسفلتي [2].



شكل 1: الفراغات الهوائية

### 4- اعداد العينات

للوقوف على نتائج الاختبارات وتحليلها بشكل دقيق يتطلب الامر اجراء وتحضير العديد من العينات وفق المنهجية المتبعة فقد تم تحضير عدد خمس نسب مقاواة من الفراغات الهوائية ومقارنتها بالخصائص المذكورة أعلاه من خلال الاستعانة بمختبر شركة سما للمقاولات العامة والمنفذة لمشروع طريق العوينية وامس .

### 4-1 تجهيز العينات في المعمل

تم تجهيز العديد من الخلطات الاسفلتية مقاواة النسب للفراغات الهوائية وبوزن 1200 جم للعينة ودكها 75 ضربة للاتجاهين حسب مواصفات مارشال ويدرجة حرارة 140 درجة مئوية لمدة ساعتين.

الشكل رقم (2) يوضح الخلطة الخاصة بالشركة والشكل رقم (3) يوضح العينات المنتجة وفق النسب المتفاوتة للخلط الاسفلتي.



شكل 2: الخلطة الاسفلتية



شكل 3: نسب الخلط المختلفة

والشكل رقم (4) يوضح تحضير عينات مارشال قبل عملية الدmek والشكل رقم (5) يوضح دmk العينات



شكل 4: تجهيز عينات مارشال للدمك



شكل 5: دمك مارشال

تم تترك العينات لتبرد وتخرج من القوالب استعداد لإجراء الاختبارات المعملية وحساب خصائص الخلطة الاسفلتية. كما هو موضح بالشكل رقم (6) والشكل رقم (7) يوضح قياس خصائص مارشال والشكل رقم (8) يوضح تكسير العينات



شكل 6: عينات مارشال جاهزة



شكل 7: قياس خصائص مارشال



شكل 8: تكسير عينات مارشال

#### 5- مناقشة النتائج

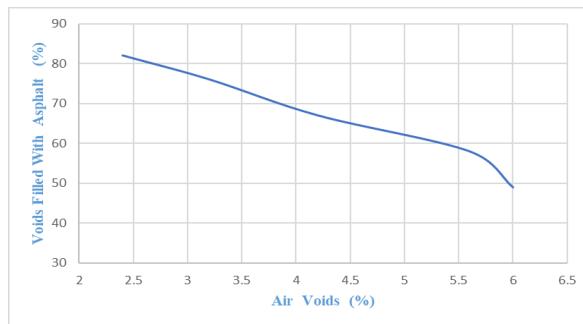
من خلال النتائج المتحصل عليها وفق نسب الفراغات الهوائية فقد تم أخذ متوسط كل عينة وحساب الخصائص الحجمية لها كما بالجدول رقم (1)

جدول رقم(1) يبين متوسطات نتائج الاختبارات

Air Voids (%)	Voids in Mineral Aggregat e (%)	Voids Filled With Asphalt (%)	Asphalt Content by Total mix (%)
6.7	13.2	49	3.4
5.6	13.1	58	3.8
4.2	13	67	4.3
3.2	13	76	4.8
2.4	13.3	82	5.2

### 5-1 تأثير نسب الفراغات الهوائية على الفراغات المملوءة بالأسفلت

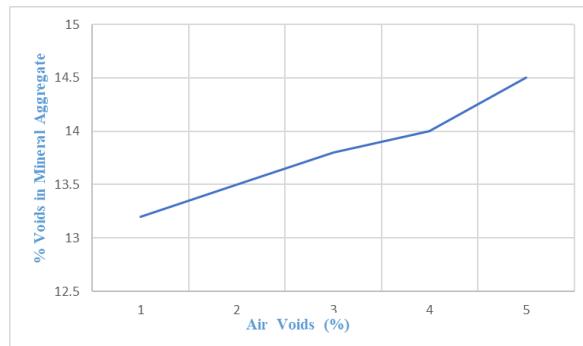
الشكل رقم (8) يبين العلاقة بين نسبة الفراغات الهوائية والفراغات المملوءة بالأسفلت ووضحت النتائج انه كلما زادت نسبة الفراغات في الخلطة الاسفلتية قلت معها الفراغات المملوءة بالأسفلت وبالتالي تؤثر على مقاومة الخلطة



شكل 8: نتائج الفراغات المملوءة بالأسفلت

### 5-2 تأثير نسب الفراغات الهوائية على فراغات الركام المعدنية

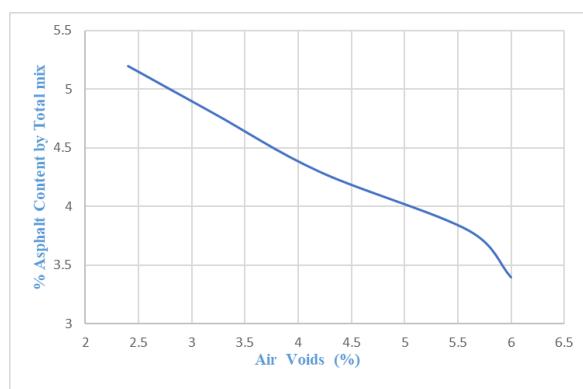
الشكل رقم (9) يوضح العلاقة بين نسبة الفراغات الهوائية على فراغات الركام المعدني ان زيادة نسبة الفراغات يتبعها زيادة في الفراغات المعدنية وبالتالي ينتج خلطة غير مقاومة للأحمال المرورية.



شكل 9: نتائج فراغات الركام المعدني

### 5-3 تأثير نسب الفراغات الهوائية على المحتوى الأمثل للبيتومين

الشكل رقم (10) يبين نتائج الاختبار حيث ان هناك علاقة عكسيّة بين محتوى البيتومين والفراغات الهوائية، فزيادة محتوى البيتومين تؤدي الى تقليل الفراغات الهوائية بينما نقصانه يؤدي الى زيتها.



شكل 10: نتائج الفراغات على محتوى الاسفلت

## 6- الاستنتاجات

### 6-1 النسب الموصي بها للفراغات الهوائية

تختلف النسب الموصي بها للفراغات الهوائية في الخلطات الاسفلتية بناء على نوع الطبقة الاسفلتية ووظيفتها في الرصف، إضافة إلى الموصفات الفنية المعتمدة وبشكل عام يتم تحديد هذه النسب لضمان تحقيق التوازن بين المثانة والمرونة ومقاومة التشوهات.

• الطبقة الرابطة: تتراوح النسب الموصي بها للفراغات الهوائية في الطبقة الرابطة عادة بين 3% و8% وتهدف هذه النسبة إلى توفير خلطة متينة قادرة على تحمل الاجهادات العمودية وتوزيع الاحمال على الطبقات السفلية مع الحفاظ على مرونة كافية لمقاومة التشققات.

• الطبقة السطحية: تعتبر الطبقة السطحية هي الطبقة المعرضة مباشرة للأحمال المرورية والعوامل الجوية وتتراوح النسب الموصي بها للفراغات الهوائية في هذه الطبقة معملياً بين 3% و5%.

ان الالتزام بهذه النسب الموصي بها يعد امرا حيويا لضمان الأداء الأمثل للرصف الاسفلتي على المدى الطويل، حيث ان أي انحراف كبير يؤدي إلى مشاكل هيكلية او وظيفية.

### 6-2 تأثير زيادة الفراغات الهوائية

تؤدي زيادة نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الاسفلتية عن الحدود الموصي بها إلى مجموعة من الآثار السلبية التي تضر بأداء الرصف ومتانته ويمكن تلخيص هذه الآثار فيما يلي:

• التخدد: على الرغم من ان الفراغات الهوائية ضرورية للمرونة الا ان زيتها المفرطة يمكن ان تقلل من استقرار الخلطة وتجعلها أكثر عرضة للتشوه الدائم تحت تأثير الاحمال المرورية المتكررة مما يؤدي الى تكون التخدد على سطح الطريق.

- تأكسد الاسفلت: تسمح الفراغات الهوائية الزائدة بدخول كميات أكبر من الهواء إلى داخل الخلطة مما يزيد من تعرض البيتومين للأكسدة والتي تؤدي إلى تصلب البيتومين وفقدان مرونته، مما يجعله أكثر هشاشة وعرضة للتشققات، خاصة في درجات الحرارة المنخفضة.
- ضعف الخلطة: تؤثر الفراغات الهوائية المرتفعة سلباً على قوة ومتانة الخلطة الاسفلتية، حيث تقلل من التماسك بين حبيبات الركام والبيتومين، هذا الضعف يجعل الرصف أقل قدرة عن تحمل الاجهادات الميكانيكية مما يؤدي إلى تدهور مبكر في الأداء.
- نفاذية المياه: تعتبر زيادة الفراغات الهوائية السبب الرئيسي في زيادة نفاذية الخلطة للمياه، عندما تتسرب المياه إلى داخل الرصف فإنها تضعف الروابط بين البيتومين والركام وتزيد من خطر تجمد المياه وتمددها في الشتاء، مما يسبب تشققات وتدهور سريع للرصف.

### 6-3 تأثير نقصان الفراغات الهوائية

ان نقصان نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الاسفلتية عن الحدود الموصي بها لا يقل خطورة عن زيتها و يؤدي إلى مشاكل أخرى تؤثر على الرصف ومن هذه المشاكل:

- التخدد والزحف: عندما تكون الفراغات الهوائية قليلة جداً لا توجد مساحة كافية لاستيعاب تمدد البيتومين تحت تأثير درجات الحرارة العالية والاحمال المرورية يؤدي ذلك إلى زيادة الضغوط الداخلية في الخلطة مما يجعلها أكثر عرضة للتلوث الدائم مثل التخدد والزحف الجانبي للمادة الاسفلتية.
- نزيف الاسفلت: تحدث عندما يرتفع البيتومين الزائد إلى سطح الرصف بسبب قلة الفراغات الهوائية وعدم وجود مساحة كافية لاستيعابه يؤدي ذلك إلى تكون طبقة سوداء لامعة على السطح مما يقلل من مقاومة الانزلاق و يجعل الطريق خطيراً.

### 7- الخلاصة

- أهمية التوازن: وجود الفراغات الهوائية بنسبة مناسبة يضمن المرونة الكافية للخلطة ويسمح باستيعاب تمدد البيتومين مما يساهم في مقاومة التلوث الدائم.
- مخاطر الزيادة: زيادة الفراغات الهوائية عن الحد المسموح به يؤدي إلى تأكسد البيتومين وضعف الخلطة وزيادة نفاذية المياه مما يسبب التشققات والتدهور المبكر للرصف.
- التأثير على الخصائص الميكانيكية: تؤثر الفراغات الهوائية بشكل مباشر على معامل المرونة. و مقاومة الكلل و مقاومة التلوث الدائم و مقاومة الرطوبة للخلطة الاسفلتية.

### 8- التوصيات

لضمان الأداء الأمثل للخلطات الاسفلتية موصي بما يلي:

- 1- التصميم الدقيق للخلطة: يجب ان يتم تصميم الخلطة الاسفلتية بعناية فائقة لضمان تحقيق نسبة الفراغات الهوائية المستهدفة مع الأخذ في الاعتبار نوع الركام ومحتوى البيتومين والتدرج الحبيبي.
- 2- التحكم الصارم في التنفيذ: يجب مراقبة عملية التنفيذ والدمك بدقة لضمان تحقيق الكثافة المطلوبة ونسبة الفراغات الهوائية في الموقع بما في ذلك التحكم في درجة حرارة الخلطة وجهد الدmak.
- 3- الاختبارات الدورية: اجراء اختبارات دورية للفراغات الهوائية في المختبر وعلى عينات الموقع لضمان مطابقة الخلطة للمواصفات الفنية.
- 4- التوعية والتدريب: توعية المهندسين والفنين بأهمية الفراغات الهوائية وتأثيرها على أداء الرصف وتدريبهم على أفضل الممارسات في تصميم الخلطات وتنفيذها.
- 5- البحث والتطوير المستمر: الاستمرار في البحث والتطوير لتحسين فهمنا لتأثير الفراغات الهوائية وتطوير مواد وتقنيات جديدة تساهم في تحسين أداء الخلطات الاسفلتية وتقليل المشاكل المرتبطة بالفراغات الهوائية.

#### المراجع

1. عبدالسلام الصادق سليمان.؛ 2، عبدالمعطي الطاهر الهمالي. إعادة تأهيل طريق تاجوراء - القريولي. مجلة العلوم التقنية، 2021، المجلد الرابع، 247-260.
2. مصلحة الطرق والجسور (2010 م) المواصفات القياسية الليبية
3. عبدالمعطي الطاهر الهمالي.؛ 2، عبدالسلام الصادق سليمان. تصميم خلطات اسفلتية بطريقة الرصف المتفوق الأداء للمنطقة الممتدة من اجدابيا حتى جالو اوجله. مجلة العلوم التقنية، 2021، المجلد الرابع، 247-260.
4. إيزوبا جون، موجومي رودجرز بانجي، موهويزي لورانس. تأثير محتويات الحشو والمواد الرابطة على الفراغات الهوائية في الأسفلت الساخن المخلوط لبناء رصف الطرق. المجلة المفتوحة للهندسة المدنية .االل 289-255,30، 2021
- 5- دفتر المواصفات القياسية الليبية لسنة 1976 م