

## تأثير الفراغات الهوائية على خصائص الخلطة الاسفلتية

(دراسة مقارنة)

عبد السلام الصادق سليمان كشيش

التقنية المدنية، المعهد العالي للعلوم والتقنية ككلة، إدارة المعاهد التقنية العليا، ككلة، ليبيا

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

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

### المخلص:

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 المثلى 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 قليلة سوف يسبب ذلك انضغاط من جراء تسليط أحمال المركبات وحدوث النزف والنضح وحدوث تشققات في الطريق وإذا كانت الفراغات كثيرة فهذا يسبب ضعف الطبقة وتأكد الاسفلت وتسرب الماء الى الطبقات السفلية وحدوث تشققات وهبوطات بالطريق .

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

### 1- مقدمة:

تعتبر الخلطة الاسفلتية من المواد الأساسية المستخدمة في انشاء الطرق والبنى 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 المملوءة بالهواء داخل الخلطة الاسفلتية المدموكة، وتتكون نتيجة لعدم الامتلاء 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 الإسفلتية عبارة عن مزيج متجانس من مواد الرصف وتشمل الرابط الأسفلتي والركام بدرجاتها المختلفة وبعض المضافات كالبودرة وغيرها وقد يكون الرابط الأسفلتي محسناً أو غير محسناً وهو يعمل على حماية الخلطة الإسفلتية من الماء وكرابط لحبيبات الركام لتكوين كتلة كثيفة متماسكة عندما تلتصق مع بعضها وهذا يؤدي إلى زيادة متانة ومقاومة الخلطة ويتأثر أداء الخلطة الإسفلتية بكل من خصائص مكوناتها كلاً على حدة وبخصائصها مجتمعة كما ان الخلطات الإسفلتية المطلوبة يجب أن تكون ذات جودة عالية ويتحقق ذلك بتوفر 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. منهجية البحث

تتلخص منهجية البحث في النقاط التالية:

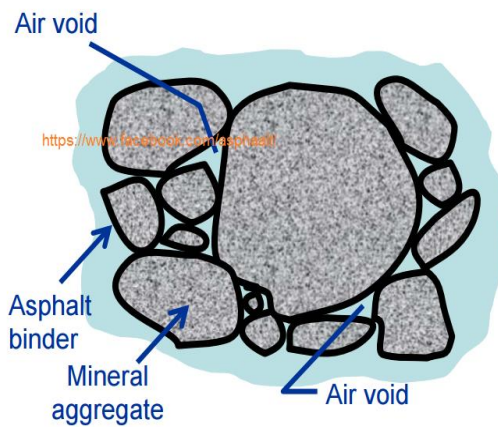
- \*- تحضر عينات اسفلتية ذات نسب فراغات هوائية مختلفة
- \*- مدى تأثير نسب الفراغات الهوائية على الفراغات المملوءة بالأسفلت
- \*- مدى تأثير نسب الفراغات الهوائية على فراغات الركام المعدنية
- \*- مدى تأثير نسب الفراغات الهوائية على المحتوى الأمثل للبيتومين

## 3- تعريف الفراغات الهوائية وأهميتها

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

### 3-1 أهمية الفراغات الهوائية

- استيعاب البيتومين : توفر الفراغات الهوائية مساحة للبيتومين الزائد الذي قد يتمدد نتيجة لارتفاع درجات الحرارة مما يمنع ظاهرة النزف التي تؤدي الى سطح زلق وغير آمن.
- المرونة والمتانة: تساهم الفراغات الهوائية في إعطاء الخلطة الاسفلتية قدرا من المرونة، مما يساعدها على تحمل الاجهادات الناتجة عن الاحمال المرورية دون حدوث تشققات مبكرة.
- مقاومة التشوه الدائم: تلعب النسبة الصحيحة للفراغات دورا في مقاومة الخلطة للتشوه الدائم مثل التحدد، حيث ان 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

للقوف على نتائج الاختبارات وتحليلها بشكل دقيق يتطلب الامر اجراء وتحضير العديد من العينات وفق المنهجية المتبعة فقد تم تحضير عدد خمس نسب متفاوتة 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 متفاوتة النسب للفراغات الهوائية وبوزن 1200 جم للعينة ودكها 75 ضربة للاتجاهين حسب مواصفات مارشال وبدرجة حرارة 140 درجة مئوية لمدة ساعتين.

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



شكل 2: الخلاطة الاسفلتية



شكل 3: نسب الخلط المختلفة

والشكل رقم (4) يوضح تحضير عينات مارشال قبل عملية الدمك والشكل رقم (5) يوضح دمك 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

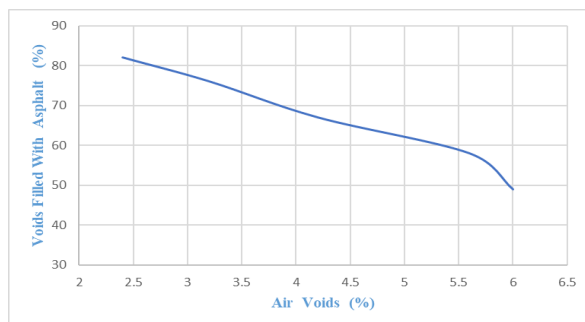
من خلال النتائج المتحصل عليها وفق نسب الفراغات الهوائية فقد تم أخذ متوسط كل عينة وحساب الخصائص الحجمية لها كما بالجدول رقم (1)

جدول رقم (1) يبين متوسطات نتائج الاختبارات

Air Voids (%)	Voids in Mineral Aggregate (%)	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

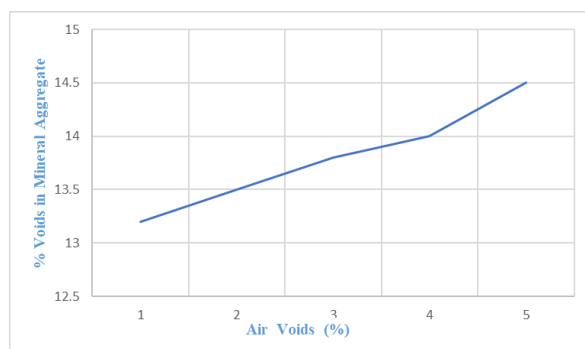
الشكل رقم (8) يبين العلاقة بين نسبة الفراغات الهوائية والفراغات المملوءة بالأسفلت وضحت النتائج انه كلما زادت نسبة الفراغات في الخلطة الاسفلتية قلت معها الفراغات المملوءة بالأسفلت وبالتالي تؤثر على مقاومة الخلطة



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.

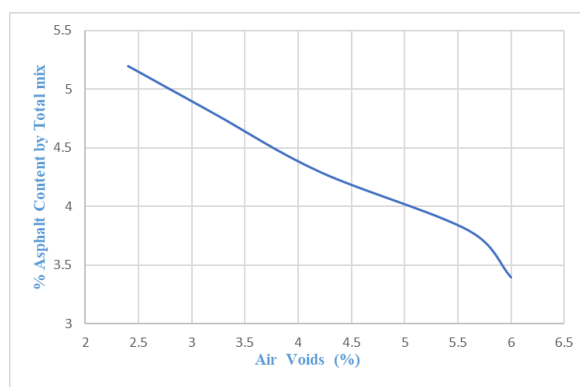


شكل 9: نتائج فراغات الركام المعدني

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

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





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 الى الموصفات الفنية المعتمدة وبشكل عام يتم تحديد هذه النسب لضمان تحقيق التوازن بين المتانة والمرونة ومقاومة التشوهات.

- الطبقة الرابطة: تتراوح النسب الموصي بها للفراغات الهوائية في الطبقة الرابطة عادة بين 3% و 8% وتهدف هذه النسبة الى 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 معمليا بين 3% و 5%.
- ان الالتزام بهذه النسب الموصي بها يعد امرا حيويا لضمان الأداء الأمثل للرصف الاسفلتي على المدى الطويل، حيث ان أي انحراف كبير يؤدي الى مشاكل هيكلية او وظيفية.

### 6-2 تأثير زيادة الفراغات الهوائية

تؤدي زيادة نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الاسفلتية عن الحدود الموصي بها الى 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 زيادتها المفرطة يمكن ان تقلل من استقرار الخلطة وتجعلها أكثر عرضة للتشوه الدائم تحت تأثير الاحمال المرورية المتكررة مما يؤدي الي تكون التخدد على سطح الطريق.

- تأكسد الاسفلت: تسمح الفراغات الهوائية الزائدة بدخول كميات أكبر من الهواء الى داخل الخلطة مما يزيد من تعرض البيتومين للأكسدة والتي تؤدي الى تصلب البيتومين وفقدان مرونته، مما يجعله أكثر هشاشة وعرضة للتشققات، خاصة في درجات الحرارة المنخفضة.
- ضعف الخلطة: تؤثر الفراغات الهوائية المرتفعة سلبيًا 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 الى تدهور مبكر في الأداء.
- نفاذية المياه: تعتبر زيادة الفراغات الهوائية السبب الرئيسي في زيادة نفاذية الخلطة للمياه، عندما تتسرب المياه الى داخل الرصف فإنها تضعف الروابط بين البيتومين والركام وتزيد من خطر تجمد المياه وتمددتها 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 زيادتها ويؤدي الي مشاكل أخرى تؤثر على الرصف ومن هذه المشاكل:
- التخذد والزحف: عندما تكون الفراغات الهوائية قليلة جدا لا توجد مساحة كافية لاستيعاب تمدد البيتومين تحت تأثير درجات الحرارة العالية والاحمال المرورية يؤدي ذلك الى زيادة الضغوط الداخلية في الخلطة مما يجعلها أكثر عرضة للتشوه الدائم مثل التخذد والزحف الجانبي للمادة الاسفلتية.
  - نزيف الاسفلت: تحدث عندما يرتفع البيتومين الزائد الى سطح الرصف بسبب قلة الفراغات الهوائية وعدم وجود مساحة كافية لاستيعابه يؤدي ذلك الى تكون طبقة سوداء لامعة على السطح مما يقلل من مقاومة الانزلاق ويجعل الطريق خطيرا.

### 7- الخلاصة

- أهمية التوازن: وجود الفراغات الهوائية بنسبة مناسبة يضمن المرونة الكافية للخلطة ويسمح باستيعاب تمدد البيتومين مما يساهم في مقاومة التشوه الدائم.
- مخاطر الزيادة: زيادة الفراغات الهوائية عن الحد المسموح به يؤدي الى 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. ومقاومة الكلال ومقاومة التشوه الدائم ومقاومة الرطوبة للخلطة الاسفلتية.

### 8- التوصيات

## لضمان الأداء الأمثل للخلطات الاسفلتية موصي بمايلي:

- 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 الدمك.
- 3- الاختبارات الدورية: اجراء اختبارات دورية للفراغات الهوائية في المختبر وعلى عينات الموقع لضمان مطابقة الخلطة للمواصفات الفنية.
- 4- التوعية والتدريب: توعية المهندسين والفنيين 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 الهماي. إعادة تأهيل طريق تاجوراء - القربولي. مجلة العلوم التقنية، 2021، المجلد الرابع، 247-260.
2. مصلحة الطرق والجسور (2010 م) المواصفات القياسية الليبية
3. عبدالمعطي الطاهر الهماي.؛ 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. Jul. 289-255,30, 2021
- 5- دفتر المواصفات القياسية الليبية لسنة 1976 م