# استنتاج علاقة رياضية لتحديد نسبة الأسفلت المثلى في الخلطات الأسفلتية باستخدام خواص الركام

**عمر القذافي المنصوري**
كلية الهندسة ، قسم الهندسة المدنية ، مصراته ، ليبيا
**Elmansouri@eng.misuratau.edu.**ly

**عبدالعزيز عبدالله الأسطى**
كلية الهندسة ، قسم الهندسة المدنية ، مصراته ، ليبيا
**aalossta@**eng.misuratau.edu.ly

**حسام الدين نورالدين الشريف**
كلية الهندسة ، قسم الهندسة المدنية، مصراته ، ليبيا

**محمد أحمدالكميتي**
كلية الهندسة ، قسم الهندسة المدنية، مصراته ، ليبيا

**مصطفى عبدالحكيم السويح**
كلية الهندسة ، قسم الهندسة المدنية، مصراته ، ليبيا

*الملخص*—**تم في هذا البحث العمل على إمكانية الحصول على علاقة بسيطة يمكن من خلالها تحديد نسبة الأسفلت المثلى تقريبياً وذلك لاستخدامها في رصف بعض الطرق والساحات والممرات الغير رئيسية والتي لا تتطلب جودة أو دقة كبيرة في التصميم. المادة الرابطة الأسفلتية المستخدمة في هذه الدراسة هي من النوع المتوفر في السوق المحلي ومصنف من المصدر على أنه 60-70 كتصنيف اختراق، أما الركام فكان من مصادر متعددة ومن مناطق جغرافية مختلفة هي مصراته وزليتن والخمس والسدادة. عدد عينات الركام المستهدفة في البداية عشر عينات تم استبعاد بعضها والاكتفاء بخمس عينات تتوفر فيها المواصفات المطلوبة. طريقة التصميم المستخدمة في هذا البحث هي طريقة مارشال. تم تحديد الخواص التي لها علاقة بنسبة الأسفلت المثلى والتي من أهمها المساحة السطحية ونسبة الامتصاص. تم استعمال تدرج واحد لجميع العينات للحصول على مساحة سطحية متقاربة وبالتالي فإن العلاقة المستنتجة تربط نسبة الأسفلت المثلى بنسبة امتصاص الركام للأسفلت. النتائج المتحصل عليها كانت مقبولة والعلاقة النهائية كانت بسيطة و سهلة الاستخدام يمكن من خلالها تحديد نسبة الأسفلت المثلى عن طريق تحديد نسبة امتصاص الركام للأسفلت. من أهم ما تشير إليه الدراسة هو أن الركام ذو الامتصاص الكبير لا يفضل استخدامه نظراً للمشاكل التي من المتوقع أن يتسبب فيها للرصف.**

*الكلمات المفتاحية:* **أسفلت، ركام، نسبة الامتصاص، خلطة أسفلتية، مارشال**

## 1. المقدمة

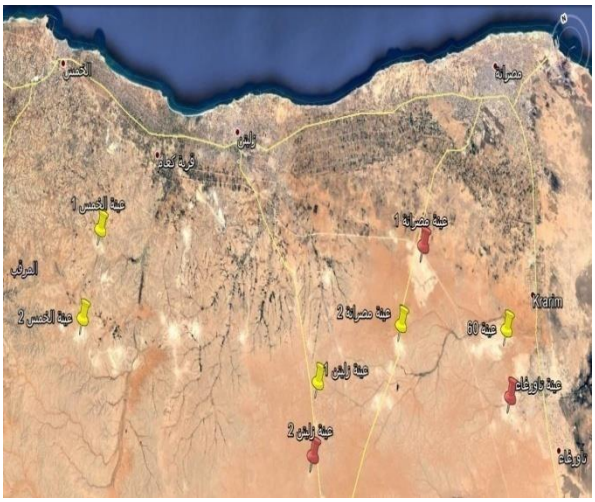
يعتبر قطاع النقل من أهم القطاعات التي تدعم العملية الاقتصادية ويعتبر الركيزة الأساسية للاقتصاد القومي، فتحقيق النمو في قطاعات الاقتصاد الوطني لا يمكن أن يتم دون مواكبة قطاع النقل لهذا النمو المنشود، وذلك من خلال التخطيط الجيد وتنفيذ طرق ذات مواصفات فنية ممتازة تكون فيها الحركة المرورية مريحة وآمنة. ولذلك فإنه يجب أن تتوفر في الطرق أسطح ناعمة ومقاومة للانزلاق وأن تكون قوية بما يكفي لتحمل الأوزان العالية دون ظهور عيوب ومشاكل في طبقات الرصف مع محافظتها على هذه الخواص طوال العمر التصميمي. للحصول على طرق بالمواصفات المذكورة لا بد من اتباع الأساليب العلمية السليمة للتصميم، والتي تبدأ باختيار مواد الرصف وإجراء الاختبارات عليها للتحقق من جودتها ومطابقتها للمعايير المختلفة. ومن هنا كان اختيار الركام ودراسة خواصه ومعرفة مدى تأثيرها على خواص الخرسانة الأسفلتية من أهم الأولويات التي تساعد في تطوير الطرق وتحسين جودة الرصف فيها.

استلمت الورقة بالكامل في 27 سبتمبر 2017 وروجعت في 19 سبتمبر 2017 وقبلت للنشر في 12 نوفمبر 2017

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 12 نوفمبر 2017

## 2. اختيار العينات

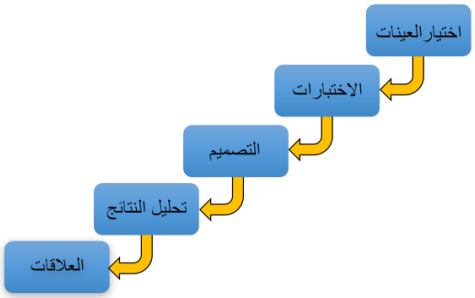
عينات الركام المستخدمة في هذا البحث تم الحصول عليها من أربع مناطق جغرافية مختلفة هي مصراتة، وزليتن، والخمس، وتاورغاء بواقع عينتين من كل منطقة. حيث كانت المسافة بين العينتين في المنطقة الواحدة لا تقل عن 5 كيلومتر لتفادي الحصول على خواص متشابهة للركام. توزيع العينات مبين بالشكل (1). تم استبعاد ثلاث عينات موضحة باللون الأحمر نتيجة لضعف وزنها النوعي وامتصاصها العالي مع وجود نسبة عالية من المواد الناعمة فيها. تم إجراء الاختبارات لبقية العينات واستخدامها في تصميم الخلطات الأسفلتية في هذا البحث.




شكل 1. مواقع العينات

## 3. منهجية العمل

الغرض من هذه الدراسة هو تقييم خواص الخلطة الأسفلتية وإيجاد العلاقة بين نسبة الأسفلت المثلى وخواص الركام المكون الرئيس للخلطات حسب الخطوات المبينة بالشكل (2). تم في البداية تحديد الأوزان النوعية لجميع العينات التي تم الحصول عليها من المواقع المختلفة مع تحديد نسب الخلط عن طريق تحديد التدرج المستخدم في الخلطة. تضمنت المرحلة الثانية عملية الخلط والتصميم الذي عادة ما يتم بعدة طرق. تم في هذا البحث اختيار طريقة مارشال لتصميم الخلطات الأسفلتية. حيث تم تحضير عينات قياسية لجميع عينات الركام المختارة وإجراء الاختبارات اللازمة على العينات المدموكة كالوزن النوعي وكذلك اختبار الثبات والانسياب. يلي ذلك تحديد نسبة الأسفلت المثلى لكل عينة ركام مع تحديد نتائج بعض القيم التصميمة للفراغات الهوائية وغيرها. تم في المرحلة الأخيرة من هذا البحث دراسة خواص الركام وإيجاد العلاقة بينها وبين نسبة الأسفلت المثلى. حيث تعتبر المساحة السطحية ونسبة الامتصاص من أهم خواص الركام التي لها تأثير بالغ في نسبة الأسفلت المثلى. تم دراسة تأثير نسبة الامتصاص على نسبة الأسفلت المثلى باختيار عينات من الركام مختلفة المصدر ولها نفس التدرج، مما يعني ان لها مساحة سطحية متقاربة.




شكل 2. منهجية البحث

## 4. النتائج

تم الحصول على نتائج تصميم الخلطات الأسفلتية باستخدام طريقة مارشال حسب الخطوات التي تم الإشارة إليها سابقاً. فيما يلي ملخص لأهم النتائج المتحصل عليها.

### *أ. اختبارات الركام*

في هذه المرحلة تم تحديد الوزن النوعي للركام الخشن[1]والناعم[2]وكذلك للمادة المالئة. تم تحديد نسب الامتصاص لخليط الركام بناءً على قيم الأوزان النوعية المبينة بالجدول (1).

جدول 1 الوزن النوعي للركام والمادة المالئة

| العينة | الوزن النوعي للركام الخشن | | الوزن النوعي للركام الناعم | | الوزن النوعي للمادة المالئة |
|---|---|---|---|---|---|
| | جاف | مشبع | جاف | مشبع | |
| مصراتة | 2.46 | 2.53 | 2.41 | 2.50 | 2.65 |
| الخمس 1 | 2.62 | 2.67 | 2.57 | 2.62 | 2.66 |
| الخمس 2 | 2.62 | 2.67 | 2.59 | 2.64 | 2.72 |
| زليتن | 2.51 | 2.57 | 2.41 | 2.50 | 2.69 |
| السدادة | 2.45 | 2.53 | 2.46 | 2.54 | 2.61 |

### *ب. تحديد نسب الخلط:*

لا بد أولاً من تعيين نسب الركام الداخل في تركيب الخلطة. فالمواد المستخدمة يجب أن تكون جافه وذات تدرج حبيبي مناسب ومطابق للمواصفات. يتم تحديد تدرجات الركام المستخدم حسب المواصفات الأمريكية كما هو موضح بالجدول(2). التدرج المستخدم يمثل الوسط في المواصفات الخاصة بتصميم طبقة سطحية بمقاس اعتباري أكبر 19 مم.Aggregate Nominal Maximum size 19 mm

جدول 2تدرج الركام المستخدم في الخلط[ 3]

| رقم المنخل | المقاس الأكبر 19 مم | |
|---|---|---|
| | حدود المواصفات | التدرج المستخدم |
| " 1 | - | - |
| " ¾ | 100 | 100 |
| " ½ | 100 – 80 | 90 |
| " 3/8 | 90 – 70 | 80 |
| رقم 4 | 70 – 50 | 60 |
| رقم 8 | 50 – 35 | 42.5 |
| رقم 30 | 29 – 18 | 23.5 |
| رقم 50 | 23 – 13 | 18 |
| رقم 100 | 16 –8 | 12 |
| رقم 200 | 10 – 4 | 7 |

### *جـ. الخلط والتصميم:*

تم في المرحلة الثانية خلط العينات واختبارها كما بالشكل (3) حسب طريقة مارشال [4]. تم في البداية تحضير العينات وخلطها مع الأسفلت بنسب تتراوح من 4.5 إلى 7% باختيار خمس نسب مختلفة وبواقع ثلاث عينات لكل نسبة ليصبح المجموع الكلي خمس عشرة عينة لكل مصدر للركام. ثم توضع العينة في القالب المخصص وتدمك بالجهاز المبين بعدد 75 ضربة لكل وجه. تترك العينات حتى تبرد وتستخرج ليتم إجراء اختبارالوزن النوعي عليها[5].تترك العينات المدموكة لمدة 24 ساعة، ثم يتم حساب الوزن النوعي لها. بعد ذلك يتم وضعها في الحمام المائي بدرجة حرارة 60 درجة مئوية لمدة من 30 إلى 40 دقيقة.يتم تحديد قيم الثبات والانسياب لكل عينةوتستبعد العينات التي تعطي قيماً مختلفة عن المتوسط.

شكل 3. عملية الخلط والاختبار

يتم إجراء الحسابات لتحديد نسبة الفراغات الهوائية والفراغات في الركام المعدني والفراغات المملوءة بالأسفلت لكل عينة، ثم ترسم العلاقات البيانية لنسبة الأسفلت مع الآتي:

- الوزن النوعيللعينات المدموكة$G_{mb}$
- الثبات **Stability**
- الانسياب **Flow**
- نسبة الفراغات الهوائية**$V_a$ %**
- نسبة الفراغات المملوءة بالأسفلت **V.F.A %**
- نسبة الفراغات في الركام المعدني **V.M.A %**.

يتم تعيين نسبة الأسفلت المثلى من العلاقات البيانيةوالتي تكون عندها الفراغات الهوائية مساوية لـ 4%. ثم يحدد قيم كل من الوزن النوعي والثبات والانسياب ونسبة الفراغات الهوائية والفراغات المملوءة بالأسفلت والفراغات في الركام المعدني المقابلة للنسبة المثلى من الرسومات.

مقارنة القيم المستخلصة من الرسومات في الخطوة السابقة بالمواصفات. ويتم تعديل نسبة الأسفلت المثلى في حالة عدم مطابقة أي من القيم للمواصفات المتبعة.

بعد الانتهاء من تحديد نسبة الأسفلت المثلى لكل عينة تم تلخيص النتائج لجميع عينات الركام الخمس كما بالجدول (3) وذلك لاستخدامها لاحقاً في تحليل النتائج.

جدول 3 النتائج المستخلصة لجميع العينات

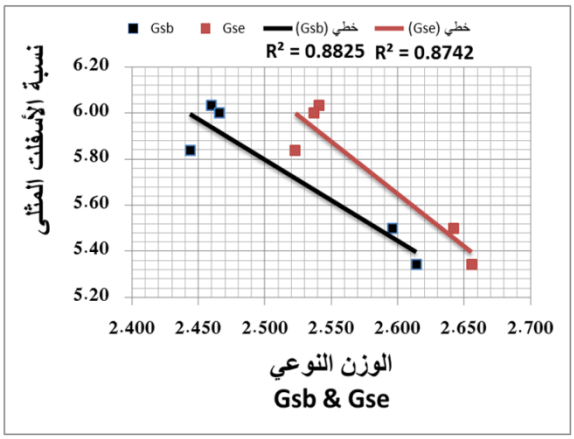
| | مصراتة | الخمس 1 | الخمس 2 | زليتن | السدادة |
|---|---|---|---|---|---|
| %نسبة الاسفلت المثلى | 5.84 | 5.50 | 5.34 | 6.04 | 6 |
| الوزن النوعي | 2.23 | 2.34 | 2.35 | 2.42 | 2.22 |
| الثبات(kN) | 14.13 | 14.82 | 13.50 | 12.00 | 12.48 |
| الانسياب(mm) | 3.10 | 2.87 | 2.94 | 3.05 | 3.94 |
| % $V_a$ | 4 | 4 | 4 | 4 | 4.80 |
| V.M.A | 13.92 | 14.77 | 14.49 | 14.5 | 15.44 |
| V.F.A | 72.61 | 74.23 | 73.67 | 72.84 | 69.48 |

## 5. تحليل النتائج

الهدف الرئيس من هذه المرحلة هو وصف وتلخيص النتائج المتحصل عليها في الجانب العملي بحيث تتكون فكرة عن العلاقة بين خواص الركام ونسبة الأسفلت المثلى. يتم بعدها إيجاد علاقات بين هذه المتغيرات مع محاولة إيجاد نموذج رياضي يربط هذه المتغيرات في حالة وجود علاقة بينها.سبقت الإشارة إلى أن نسبة الامتصاص والوزن النوعي للركام من العوامل المهمة التي تؤثر في تحديد نسبة الأسفلت المثلى؛ هذا بالإضافة إلى التأثير المهم للمساحة السطحية للركام.

### *أ. دراسة تأثير الوزن النوعي*

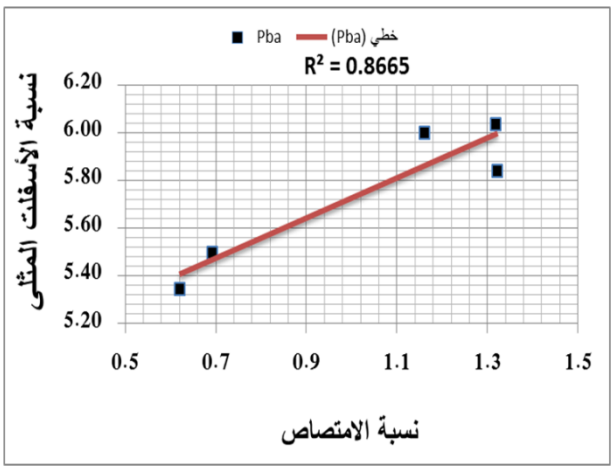
يعتبر الوزن النوعي مؤشراً على قوة ومتانة الركام الذي بدوره يؤثر في ثبات وتماسك الخلطة الأسفلتية. فالخلطة الأسفلتية ذات الوزن النوعي المنخفض تدل على أن الركام مسامي به فراغات داخلية تؤدي إلى زيادة قابليته للامتصاص. وبالتالي فإن لهذه الزيادة تأثيراً سلبياً على خواص الخلطة الأسفلتية حيث تسبب في ظهور بعض المشاكل في جسم الرصف. تم في هذا البحث دراسة تأثير الوزن النوعي لخليط الركام بنوعيه الجاف $G_{sb}$ والمشبع $G_{se}$على نسبة الأسفلت المثلى. كما هو موضح بالشكل (4) فإن للوزن النوعي لخليط الركام تأثير كبير عند تحديد نسبة الأسفلت المثلى. فكلما زاد الوزن النوعي للركام قلت نسبة الأسفلت المستخدمة في الخلطة. يرجع السبب إلى أن الركام ذو الوزن النوعي المنخفض عادة ما يكون مسامياً وبالتالي فإنه يحتاج إلى زيادة في نسبة الأسفلت التي يتم امتصاصها من الركام بالإضافة إلى الأسفلت اللازم لتحقيق الترابط في الخلطة. الارتباط بين كل من الوزن النوعي المشبع والجاف ونسبة الأسفلت المستخدمة قوي جداً ومعامل الارتباط يقترب من الواحد مما يدل على وجود علاقة مباشرة بينها.




شكل 4. علاقة الوزن النوعي بنسبة الأسفلت المثلى

### *ب. دراسة تأثير نسبة امتصاص الركام للأسفلت*

تعتبر نسبة الامتصاص من أهم خصائص الركام وهي دالة في الوزن النوعي، حيث أن الوزن النوعي غالباً ما يقل بزيادة نسبة الامتصاص للركام، كذلك فإن الركام ذو المسامية العالية لا يصلح في رصف الطرق لأن هذا النوع من الركام يكون ضعيفاً وذو امتصاص عالي للأسفلت مما يؤدي إلى التقليل من عمر الرصف. كذلك فإنه يعتبر غير مجدٍ من الناحية الاقتصادية نتيجة للزيادة في كمية الأسفلت الممتص الغير مستفاد منه.من النتائج المتحصل عليها يتبين أن هناك علاقة قوية ومباشرة بين نسبة امتصاص الركام للأسفلت ونسبة الأسفلت المثلىكما هو مبين في الشكل (5). فكلما زادت نسبة الامتصاص زادت نسبة الأسفلت في الخلطة. زيادة نسبة الامتصاص تتطلب إضافة نسبة أكبر من الأسفلت لتملأ المسامات الموجودة في حبيبات الركام بالإضافة إلى النسبة اللازمة لربط حبيبات الركام ببعضها.




شكل 5. علاقة نسبة امتصاص الركام للأسفلت بنسبة الأسفلت المثلى

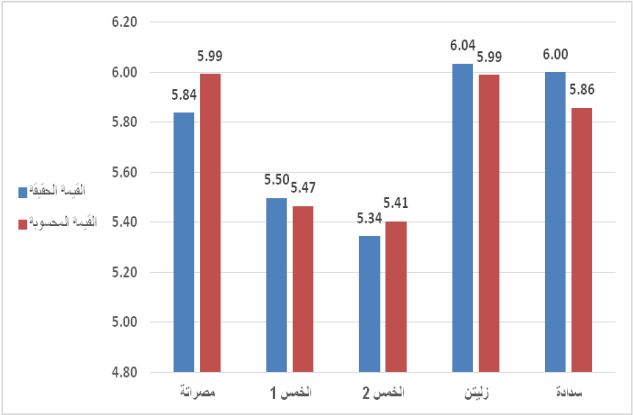
## 6. استنتاج العلاقة الرياضية

بعد تحليل النتائج ودراسة العوامل المهمة والمؤثرة عند تحديد نسبة الأسفلت المثلى تم التركيز على علاقة نسبة امتصاص الركام للأسفلت بنسبة الأسفلت المثلى. تم استنتاج نموذج رياضي أساسه علاقات الانحدار الخطي البسيط باستخدام البرنامج الإحصائي SPSSالخاص بتحليل البيانات (Statistical Package For The Social Sciences) الصيغة العامة لهذا النموذج مبينة كما يلي:

$$Y = 4.8852 + 0.839X$$

حيث:
Y: نسبة الأسفلت المثلى
X: نسبةامتصاص الركام للأسفلت

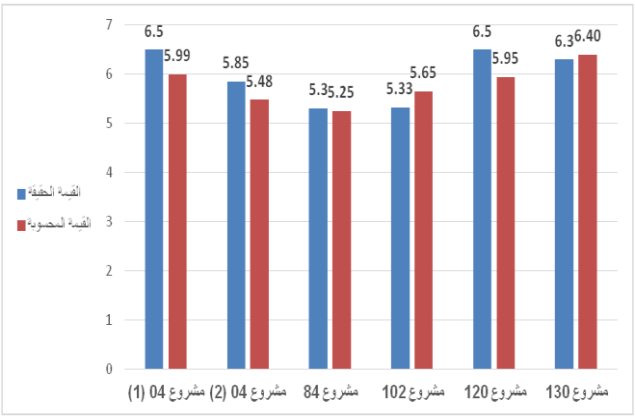
يمكن من خلال العلاقة السابقة تحديد القيمة المتوقعة لنسبة الأسفلت في الخلطة بعد تحديد نسبة امتصاص خليط الركام للأسفلت وهي الخطوة التي تلي تحديد الأوزان النوعية الجافة والمشبعة. الشكل (6) يوضح مقارنة بين النتائج المتحصل عليها باستخدام العلاقة السابقة مع القيم الحقيقية المتحصل عليها من الحسابات العملية.متوسط نسبة الخطأ صغير جداً ولا يزيد عن 3% وأن أغلب القيم تكاد تكون متطابقة والفرق بين القيم الحقيقية والمحسوبة يكاد ينعدم. أعلى قيمة للاختلاف بين القيم الحقيقية والمحسوبة تصل إلى حدود 0.15%بالنسبة لركام مصراتة. بصورة عامة يمكن القول أن النتائج المتحصل عليها باستخدام العلاقة السابقة تعتبر مقبولة وجيدة إلى حد كبير.




شكل 6. مقارنة القيم الحقيقية بالمحسوبة

## 7. التحقق من دقة العلاقة

للتحقق من دقة النموذج وإمكانية الاعتماد عليه تم التعويض بنسب الامتصاص لعينات من مشاريع سابقة ومقارنتها بالقيم المتحصل عليها من العلاقة السابقة. نسبة الخطأ بين القيم وصلت إلى حدود 8% وأعلى قيمة للاختلاف تصل إلى 0.5% كما هو مبين بالشكل (7).




شكل 6. مقارنة القيم الحقيقية بالمحسوبة

لتحديد إمكانية الاعتماد على العلاقة من عدمها تم تحديد خواص الخلطة الأسفلتية كالثبات والانسياب وغيرها من الخواص لكل نسبة أسفلت محسوبة باستخدام العلاقة السابقة. تم الحساب باستخدام نفس المنحنيات التي تم رسمها وتحديد النسبة الحقيقية من خلالها. ثم مقارنة القيم المتحصل عليها لخواص الخلطة ومعرفة مدى مطابقتها للمواصفات فكانت النتائج كما هي مبينة بالجدول (4). من الملاحظ أن بعض القيم تقع خارج حدود المواصفات، وهي القيم المظللة في الجدول.

## 8. تعديل (معايرة) العلاقة

للحصول على نسبة خطأ مقبولة تم إعادة حساب النموذج بزيادة عدد العينات لتشمل ستة مشاريع سابقة ليصبح المجموع الكلي للعينات إحدى عشرة. العلاقة الرياضية في صورتها النهائية بعد التصحيح كانت كالتالي:

$$Y = 4.941 + 0.878X$$

عند مقارنة القيم الحقيقية بالقيم المحسوبة كان متوسط الخطأ لجميع العينات الإحدى عشرة أقل من 4%. تم تحديد خواص الخلطة الأسفلتية كما تم سابقاً ولكل نسبة أسفلت محسوبة باستخدام العلاقة السابقة. تم مقارنة القيم المتحصل بالمواصفات فكانت النتائج كما هي مبينة بالجدول (5). كانت هناك قيمة واحدة فقط خارج حدود المواصفات، وهي المظللة في الجدول. وبصورة عامة فإنه يمكن اعتبار العلاقة جيدة وأن النتائج مقبولة وبالتالي فإن العلاقة يمكن الاعتماد عليها في الحسابات.

جدول 4 خصائص الخلطة الاسفلتية المقابلة لقيمة نسبة الاسفلت المحسوبة

| الخصائص / العينة | نسبة الأسفلت % | الثبات(kN) | الانسياب(mm) | الوزن النوعي% | Va % | V.M.A % | V.F.A % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مشروع 04 (1) | 5.99 | 17.5 | 3.4 | 2.195 | 4.9 | 14.5 | 68 |
| مشروع 04 (2) | 5.48 | 19.4 | 3 | 2.372 | 3.2 | 14.53 | 76 |
| مشروع 84 | 5.25 | 19.5 | 2.4 | 2.376 | 4.2 | 14.75 | 74 |
| مشروع 102 | 5.65 | 13.5 | 3.8 | 2.385 | 3.2 | 14.8 | 76 |
| مشروع 120 | 5.95 | 17.7 | 2.4 | 2.195 | 5.1 | 15.15 | 67 |
| مشروع 130 | 6.40 | 10.25 | 3.6 | 2.148 | 3.5 | 13.55 | 75 |
| المواصفات | 7 – 4 | 8 < | 3.5 - 2 | – | 5 - 3 | 13 < | 75 - 65 |

## 9. التحقق من إمكانية استخدام العلاقة الرياضية

لغرض التأكد من إمكانية استخدام العلاقة الرياضية المستنبطة تم إجراء تحليل إحصائي باستخدام اختبار (t-Test: Paired Two Sample for Means) و ذلك بافتراض أن متوسط الفروق بين العينات=صفر كما مبين بالجدول (5).

تم اختبار ثلاثة مجموعات من البيانات حيث ضمت الأولى مقارنة نسبة الأسفلت المثلى الحقيقية مع تلك المحسوبة من النموذج قبل التعديل بينما ضمت المجموعة الثانية مقارنة نسبة الأسفلت المثلى الحقيقية مع تلك المحسوبة من النموذج قبل التعديل لعينات المشاريع السابقة. المجموعة الثالثة تضمنت مقارنة نسبة الأسفلت المثلى الحقيقية مع تلك المحسوبة من النموذج المعدل لعينات البحث قيد الدراسة و عينات المشاريع السابقة.

أشارت نتائج الاختبار الإحصائي للمجموعات الثلاثة إلى صحة الفرضية و عدم وجود فرق معنوي بين المتوسطات مما يدل على إمكانية استخدام النموذج الرياضي في تقدير قيم الأسفلت المثلى.

جدول **5** نتائج اختبار **T-TEST** لبيانات حساب نسبة الأسفلت المثلى

| إسم المشروع | نسبة الأسفلت المثلى (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | الحقيقية | المحسوبة من النموذج | الحقيقية | المحسوبة من النموذج | الحقيقية | المحسوبة من النموذج المعدل |
| مصراته | 5.84 | 5.99 | | | 5.84 | 6.10 |
| الخمس1 | 5.50 | 5.47 | | | 5.50 | 5.55 |
| الخمس2 | 5.34 | 5.41 | | | 5.34 | 5.49 |
| زليتن | 6.04 | 5.99 | | | 6.04 | 6.10 |
| السداده | 6.00 | 5.86 | | | 6.00 | 5.96 |
| مشروع 04(1) | | | 6.50 | 5.99 | 6.50 | 6.10 |
| مشروع 04(2) | | | 5.85 | 5.48 | 5.85 | 5.56 |
| مشروع 84 | | | 5.30 | 5.25 | 5.30 | 5.74 |
| مشروع 102 | | | 5.33 | 5.65 | 5.33 | 5.32 |
| مشروع 120 | | | 6.50 | 5.95 | 6.50 | 6.53 |
| مشروع 130 | | | 6.30 | 6.40 | 6.30 | 6.06 |
| عدد المشاهدات | 5 | | 6 | | 11 | |
| معامل ارتباط بيرسون | 0.93 | | 0.77 | | 0.85 | |
| متوسط الفروق المفترض | 0 | | 0 | | 0 | |
| درجة الحرية | 4 | | 5 | | 10 | |
| t Stat | -3.54E-15 | | 1.22 | | -0.01 | |
| t Critical one-tail | 2.13 | | 2.02 | | 1.81 | |
| t Critical two-tail | 2.78 | | 2.57 | | 2.23 | |
| الفرق بين متوسط العينات | غير معنوي Insignificant | | غير معنوي Insignificant | | غير معنوي Insignificant | |

## 10.الخلاصة

مما سبق يتبين أن الفرق بين القيم المحسوبة والمتوقعة يزداد بزيادة نسبة الامتصاص وبالتالي فإنه كلما اقتربت أو زادت نسبة الامتصاص عن الواحد فإن قيمة الخطأ تزداد. وعليه فإنه يفضل عدم استخدام الركام المسامي ذو الامتصاص الكبير لأنه يتسبب في ضعف الرصف وظهور مشاكل كثيرة تؤدي إلى انخفاض في جودة الخرسانة الأسفلتية وبالتالي عمر افتراضي أقل. من ناحية أخرى فإن القيمة المتوقعة لنسبة الأسفلت تتأثر كذلك بالمساحة السطحية. فالمساحة السطحية لجميع العينات لا تعتبر متساوية تماماً بالرغم من أن لها نفس التدرج. فالمساحة السطحية تتغير حسب قيمة الوزن النوعي والملمس السطحي للركام. وهذا سبب رئيس لزيادة نسبة الخطأ لبعض العينات وظهور بعض الفروقات بين القيم الحقيقية والمتوقعة باستخدام النموذج. وعليه فإن من المهم أن يتم دراسة تأثير بعض الخواص الأخرى وخاصة المساحة السطحية للحصول على علاقة رياضية دقيقة قدر الإمكان. كذلك زيادة عدد العينات وأخذ عينات من مناطق جغرافية أبعد للحصول على تمثيل أفضل للنموذج الرياضي.

## المراجع


1. AASHTO T 85*Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate*, Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing, part II—tests, 20th edition, Washington, DC, USA.
2. AASHTO T 84*Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate*, Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing, part II—tests, 20th edition, Washington, DC, USA.
3. Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y., and Kennedy, T.W. (1996). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction*. National Asphalt Paving Association Education Foundation. Lanham, MD. USA.
4. National Asphalt Pavement Association. (1982). *Development of Marshall Procedures for Designing Asphalt Paving Mixtures*, Information Series 84. National Asphalt Pavement Association. Lanham, MD, USA.
5. AASHTO T166-00 (2000) *Bulk specific gravity of bituminous mixtures using saturated surface dry specimens*, Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing, part II—tests, 18th edition, Washington, DC, USA.