تحسين الخصائص الهندسيّة للخلطات الإسفلتيّة بإضافة الألياف النباتيّة

طالب دراسات عليا: م. علي فايز عواد*

قسم هندسة المواصلات والنقل – كليّة الهندسة المدنيّة – جامعة البعث

اشراف الدكتور: الياس دبانة + د. غازي خلف

الملخّص:

يهدف هذا البحث الى دراسة تأثير إضافة ألياف نباتيّة على الخصائص الهندسيّة للخلطات الأسفلتية، وهو يرتكز على دراسة مرجعيّة وتجارب مخبريّة.

تمّ في هذا البحث تصميم خلطة اهتراء أسفلتية مرجعيّة، تحقق شروط وزارة المواصلات السورية، بنسب وزنيّة محدّدة من إحضارات حصويّة، وتحديد نسبة الرابط الأسفلتي المثالية.

تمّ تشكيل عينّات الاختبار وفق طريقة مارشال من دون ألياف، وعيّنات بإضافة أليافاً نباتيّة من القنّب بأطوال (1,2,3,4) سم وبنسب (1,2,3,5,7,10) % من وزن الرابط، كمتغيّرات بحثيّة.

أُجريت على العيّنات تجربة كسْر مارشال وتجربة الشدّ غير المباشر (البرازيليّة). وقد أظهرت جميعها تحسّناً واضحاً في النتائج، وأنّه يمكن تحسين خواص الخلطات الأسفلتية بإضافة ألياف القنب إليها بنسب وأطوال محدّدة.

كلمات مفتاحيّة: خلطة أسفلتية، ألياف نباتيّة، ألياف القنّب، مارشال، الشد غير المباشر.

Improvement in the physical characteristics of the asphalt mixtures by adding natural fibers

Abstract:

This research aims to study the effect of adding plant fibers on the engineering properties of asphalt mixtures.

This research includes a reference study and laboratory experiments.

A reference asphalt mixture was designed in order to fulfill the requirements of the Syrian Ministry of Communications with the specific weight ratios of aggregate materials and an ideal bituminous binder ratio.

Test samples were formed according to Marshall's method without fibers, and samples containing plant fibers from hemp in lengths (1,2,3,4cm) and in proportions (1,2,3,5,7,10)% of the link weight as research variables.

The Marshall fracture experiment and the indirect tension (Brazilian) experiment were performed on these samples, all of them showed a clear improvement in the results. And it is possible to improve the quality of bituminous mixtures by adding these fibers to them in specific proportions and lengths.

Key Words: Bituminous Mixture, Hemp Fiber, Marshall Hemp, Indirect Tension

1- مقدّمة:

تتولّد في أغطية الطرق، نتيجة تكرار الحمولات المروريّة والعوامل المناخيّة، إجهادات داخليّة تؤدّي الى ظهور عيوب، أهمّها التخدّد وتشقّقات التعب.

- تؤثر إجهادات الشدّ على الأغطية الإسفلتيّة، ما يؤدّي الى تشقّقها وتخريبها. تنتشر هذه الشقوق وتتداخل بتأثير عوامل عدّة، لذا لا بدّ من رفع مقاومتها للإجهادات الشادّة.
- تمّ إدخال ألياف (معدنيّة، زجاجيّة،..) في الخلطات الأسفلتية كعناصر تقوية (reinforced element) لتكون الخلطات الأسفلتية المعدلة المحسنة ذات مقاومة أعلى للشدّ. فتحسنت، بذلك، الخواص الميكانيكيّة للخلطات الأسفلتية، التي هي مرتفعة الثمن، وضارّة بالبيئة، إذْ لا تُدوّر و هي محدودة الاستخدام.
- بعد انتشار استخدام الألياف النباتيّة في صناعات عدّة، ولكونها متجدّدة وصديقة للبيئة ومنخفضة التكلفة، فإنّها طُرِحت كبديل للألياف الصناعيّة.
- إنّ بحثنا يدخل في إطار الأبحاث الهادفة إلى رفع خصائص الأغطية الطرقيّة المرنة، والإجابة عن سؤال: "**هل تؤدّي إضافة ألياف نباتيّة إلى الخلطات الإسفلتيّة، بمتغيّرات تجريبيّة (الطول، نِسَب الإضافة)، إلى تحسين خصائصها الهندسيّة؟**"

2- هدف البحث:

إن هدف البحث هو دراسة تأثير إضافة ألياف القنّب للمجبول الأسفلتي، لتحسين خصائصه الميكانيكيّة، لاسيّما منها الثبات والديمومة ومقاومة إجهادات الشدّ، بحيث تلعب الألياف دور عناصر التقوية والممانعة والحد من انتشار الشقوق، وتكمن أهميّة البحث في كوْن الألياف النباتيّة منخفضة التكلفة، ومتجدّدة ، ومتوفرة بشكل طبيعي، ويشكّل استخدامها في صناعة الأغطية الطرقيّة حلاً إنشائيّاً وإستجابةً للمتطلّبات العالميّة في الحفاظ على البيئة وفي استثمار الموارد المتجدّدة.

3- الدراسة المرجعية

3-1 العوامل الأساسيّة المؤثرة على الأغطية الطرقيّة:

تتأثر الأغطية الطرقيّة بشكل أساسي، بالإجهادات الناجمة عن مرور العربات، وبالإجهادات الناجمة عن التغيّرات المناخيّة.

3-1-1- تأثير حركة المرور:

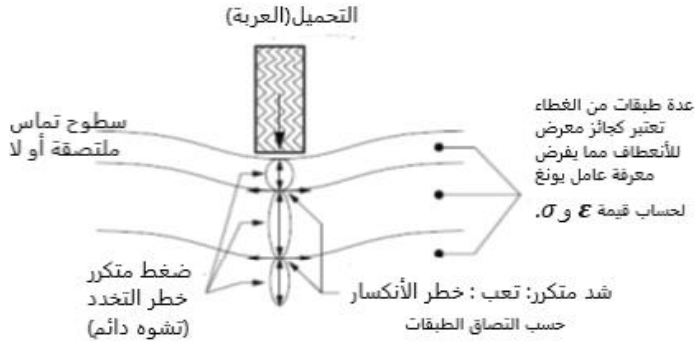
تتعرّض كلّ طبقة من الغطاء الطرقي إلى إجهادات ضغط وشد تحت تأثير حركة المرور، كما هو مبين في الشكل رقم (1). إنّ حساب الإجهادات والتشوّهات يتمّ عادةً باعتبار نموذج متعدّد الطبقات مرِن خطّي ومتماثل، وهذا يفرض تحديد قيم عامل يونغ وعامل بواسون.

بسبب خصائص الرابط الأسفلتي، فإنّ للمجبول سلوكاً يتعلّق بسرعة التحميل والحرارة.

إنّ قوى الشدّ بالإنعطاف المتكرّرة المتولّدة عند أسفل الطبقات، تحت تأثير مرور العربات، تولّد تشوّهات متناهية في الصغر، تتجمّع وتكبر مسبّبةً التعب، فتنتشر الشقوق نحو الأعلى.

الضغوط المتكرّرة عند مرور العربات تؤدّي إلى تشوّهات دائمة تسبّب تخدّد سطح الغطاء. [4]

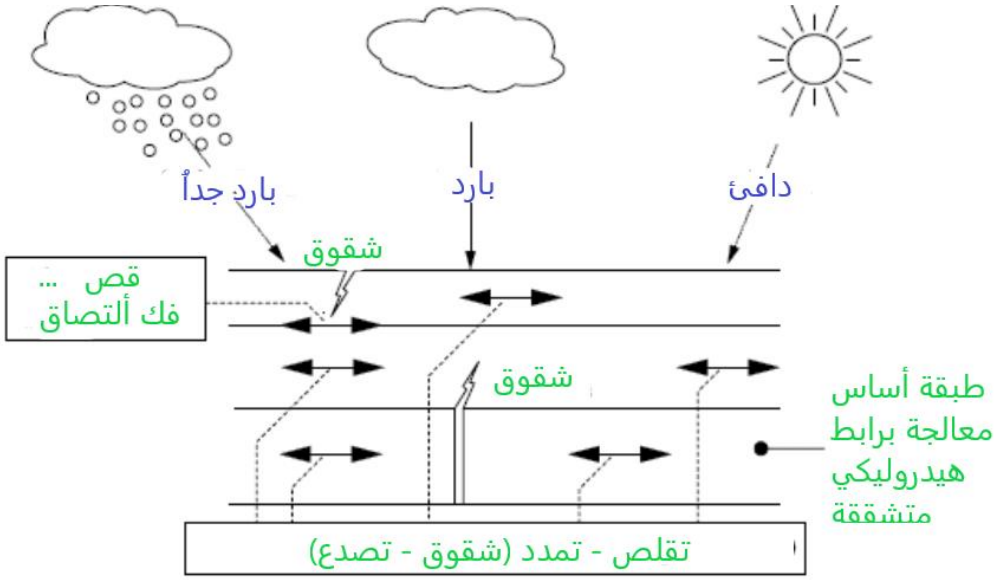
إن تحليل القوى الناتجة عن حركة المرور موضحة بالشكل رقم (1)



الشكل رقم (1): تحليل القوى والإجهادات الناجمة عن المرور [5]

2-1-3 – تأثير التغيّرات الحراريّة:

- تُغيّر درجات الحرارة عامل المرونة للطبقة.
- التغيّرات الحراريّة تسبّب تمدّد وتقلّص الرصْف الأسفلتي، مما يولّد إجهادات داخلية، تُنتج تشوّهات وتشقّقات حراريّة. كما في الشكل(2).



الشكل رقم (2): تحليل سلوك الغطاء الناجمة عن تأثير الحرارة [5]

التأثير الأول، ارتباط عامل المرونة بالحرارة أو الحساسية الحراريّة.

التأثير الثاني، التسبّب بظهور الشقوق:

- عند الحرارة المنخفضة جداً، قد تظهر شقوق وتنتشر مع دورات التناوب الحراري.
- عند وجود طبقة أساس معالجة بروابط هيدروليكيّة (بنية نصف صلبة)، وهي عرضة لإنكماش حراري بسبب الرطوبة والتجفيف، تنتقل تشقّقاتها عبر منطقة التماس مع الغطاء الأسفلتي وتسبب تشقّقه، وتنتشر مع دورات التناوب الحراري ويمكن أن تعبره. تُسمّى هذه الظاهرة الشقوق الانعكاسيّة (Reflective Cracking) [3].

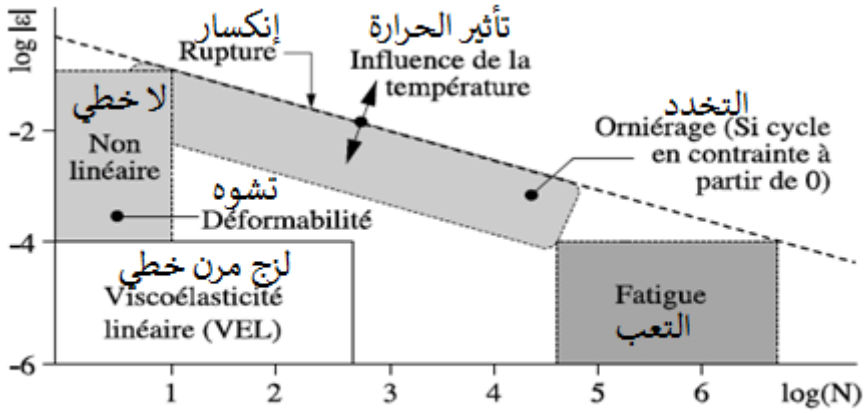
2-3- سلوك المجبول الأسفلتي:

إنّه سلوك معقّد، يُحدّد وفق سِعة التشوّهات|ε| وعدد مرات التحميل N بين المجالات التالية:

1- سلوك لزِج مرِن خطّي 2-سلوك غير خطّي

3- مجال التشوّهات الدائمة 4 – تعب وتشقّق

الشكل رقم (3) يوضح سلوك المجبول الأسفلتي



الشكل رقم (3): سلوك المجبول الإسفلتي، [5]

3-3- المجبول الأسفلتي مع ألياف:

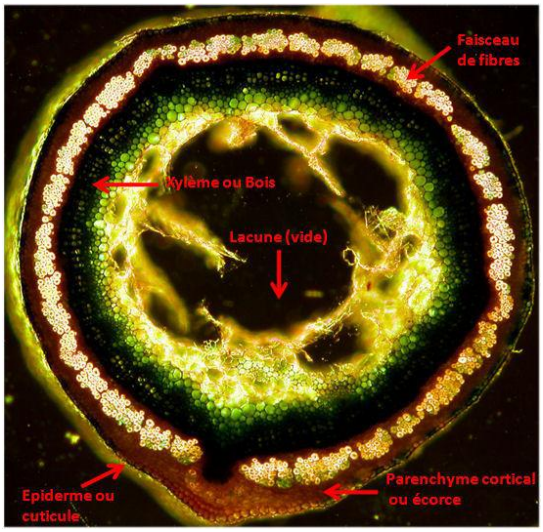
تُعرف المادة المركّبة بأنّها خليط من مادتين أو أكثر، لها مواصفات لا تمتلكها مكوّناتها منفردةً. وهي: 1- غير متجانسة وغير متماثلة 2- مكوّناتها لا تتفاعل ولا تمتزج 3- تتكوّن من مادة حاضنة (matrix) + عنصر تقوية (reinforced) 4- مكوّناتها تحتفظ بخواصها الأساسيّة. لذا، ووفق هذا التعريف، فإنّ المجبول الأسفلتي مادة مركّبة، الحاضنة فيه هي البيتومين، تؤمّن تلاصق وتثبيت الحصويّات التي تقاوم إجهادات الضغط والهدف من إضافة ألياف القنّب إضافة عنصر تقوية لتكوين مادة مركّبة جديدة، ذات مقاومة أعلى لإجهادات الشدّ.

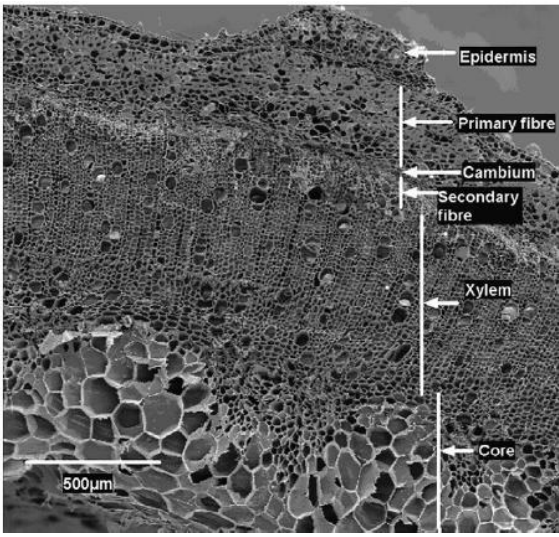
ويوضح الجدول رقم (1) مواصفات ألياف القنب والشكل رقم (4) عبارة عن صورة مقطع في تاج ليف القنب

الجدول رقم (1): مواصفات ألياف القنب

Fibres	E (GPa)	ε_r (%)	σ_r (MPa)	Densité
Chanvre القنب	35	1.6	389	1.07

الشكل رقم (4) تصوير ميكروغرافي في مقطع تاج ليف القنّب [6]





4- ملخّص الأعمال المخبريّة:

يهدف العمل المخبري إلى تقييم التغيّر في بعض الخصائص الهندسيّة للمجبول بتأثير إضافة ألياف القنّب، إذْ تمّ تصميم خلطة اهتراء مرجعية وفق شروط وزارة المواصلات السورية وفق الجدول رقم (2) بعد إجراء التجارب على الحصويّات والرابط الأسفلتي 60/70، وتمّ استخدام قوالب مارشال لتشكيل عيّنات مرجعيّة وعيّنات تحوي أليافاً بنسب (1-2-3-5-7-10)% من وزن الرابط وبأطوال (1-2-3-4) سم.

ويوضح الجدول رقم (2) طريقة حساب التدرج التصميمي للخلطة الأسفلتية وهي:

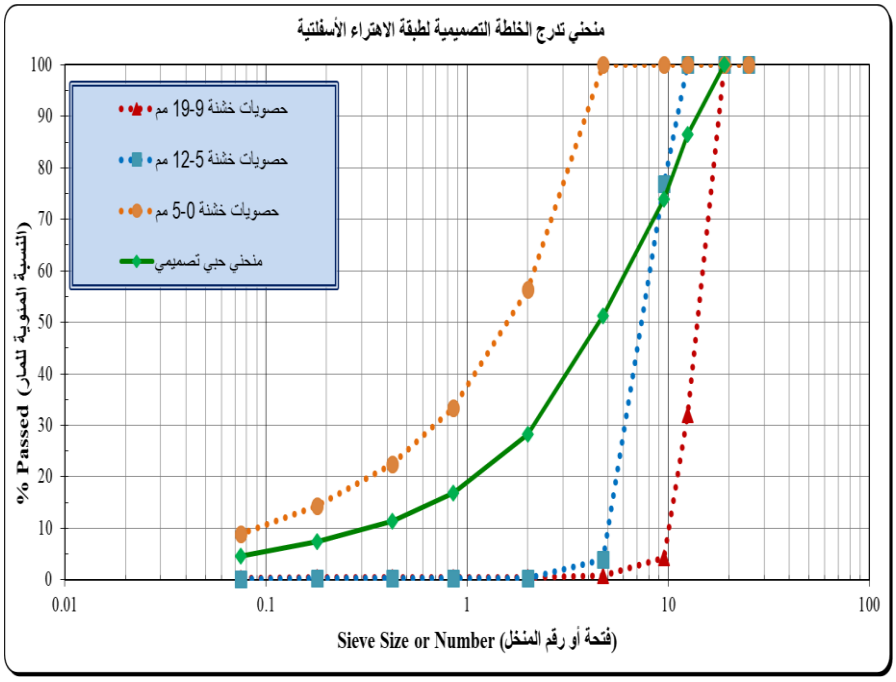
الجدول رقم (2): جدول حساب التدرج التصميمي للخلطة الإسفلتيّة

فتحة المنخل	% 20 مادة رقم 1 (9-19 مم)	% 30 مادة رقم 2 (5-12 مم)	% 50 مادة رقم 3 (0-5 مم)	التدرّج التصميمي	مواصفات وزارة المواصلات لعام 2002
19 مم	20	30	50	100	100
12.5 مم	6.4	30	50	86.4	90-75
9.5 مم	0.8	23.1	50	73.9	79-64
4.75 (رقم 4)	0.2	1.2	50	51.4	56-41
2.0 (رقم10)	0.1	0.1	28.1	28.3	37-23
0.850 (رقم20)	0.1	0.1	16.6	16.8	---
0.425 (رقم 40)	0.1	0.1	11.2	11.4	20-7
0.180 (رقم 80)	0.1	0.1	7.1	7.3	13-5
0.075 (رقم 200)	0.1	0.1	4.4	4.6	8-3

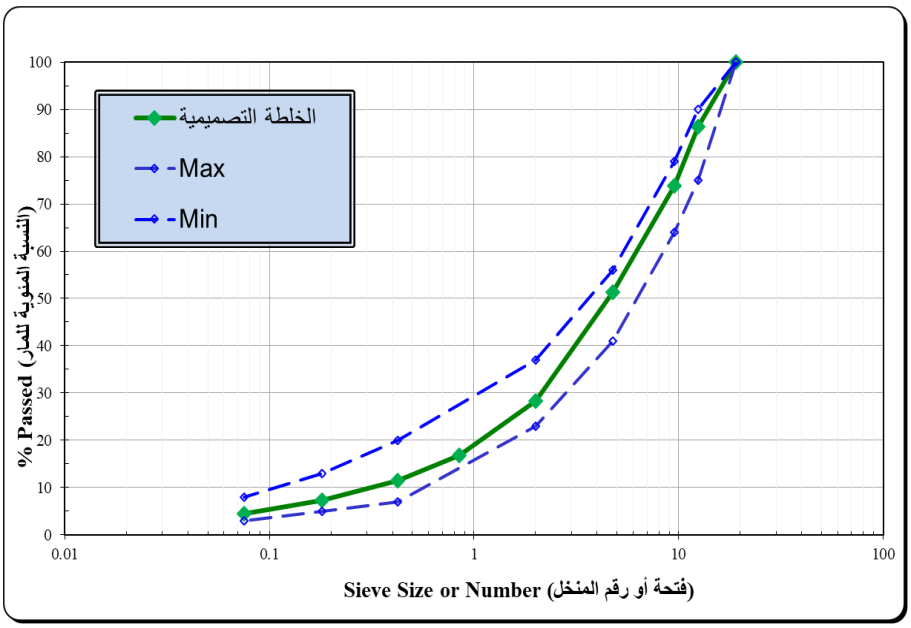
ويوضح الشكل رقم (5) منحنيات التركيب الحبي لكل نوع من الحصويات الثلاثة المستخدمة وكذلك منحني التدرج التصميمي.

أما الشكل رقم (6) فيوضح منحني التدرج التصميمي ومدى تحقيقه لحزمة التدرج وفق مواصفات وزارة المواصلات السورية لعام 2002.

الشكل رقم (5): التدرّج الحبّي لثلاثة أنواع من الحصويّات والتدرّج التصميمي



الشكل رقم (6): تحقيق التدرّج الحبّي التصميمي وفق المواصفات السوريّة



أ- **تجربة مارشال (ASTM D1559) , (AASHTO T245):**

تمّت التجربة لتعيين نسبة الرابط المثالية المتوجّب إضافتها إلى خليط المواد الحصويّة لزوم طبقة الإهتراء، وأُضيف البيتومين بنسب (4- 4.5- 5- 5.5- 6- 6.5)% من وزن الحصويّات، وتمّ تشكيل ثلاث عيّنات في قوالب مارشال لكلّ نسبة. ومن ثم، تمّ كسْر العيّنات بجهاز مارشال، وتسجيل قيم الإنسياب والثبات، فكانت النسبة المثاليّة التصميميّة 5% وزناً من المواد الحصوية.

ويوضح الجدول رقم (3) خصائص الخلطة الأسفلتية عند نسبة الأسفلت التصميمية.

الجدول رقم (3): خصائص الخلطة عند نسبة الإسفلت التصميميّة (5.0 %)

نسبة الإسفلت (من جملة المواد الصلبة) (%)	5.0
الثبات (كغ)	1255
الإنسياب (مم)	3.29
نسبة الفراغات الهوائية (%)	4.0
الفراغات الهوائية في المواد الصلبة (%)	15.1
وزن وحدة الأحجام (طن/م^3)	2.402

- **تحضير عيّنات مارشال مع ألياف:**

تمّ تحضير العيّنات مع ألياف بطريقة مارشال، باعتماد الخلطة التصميميّة وإضافة ألياف إليها، بعد تجفيفها لساعتين بحرارة 60 c^o، بأطوال (1-2-3-4) سم وبنسب (1- 2- 3- 5- 7- 10)% من وزن الرابط، وذلك بمعدل 3 قوالب لكلّ نسبة وطول، كُسِرت بجهاز مارشال وسجّلت قيم الثبات والانسياب. والشكل رقم (7) يوضح عيّنات مشكلة لإختبارها على جهاز كسر عينات مارشال.

شكل رقم (7): عيّنات مشكلة لإختبارها على جهاز كسر عينات مارشال

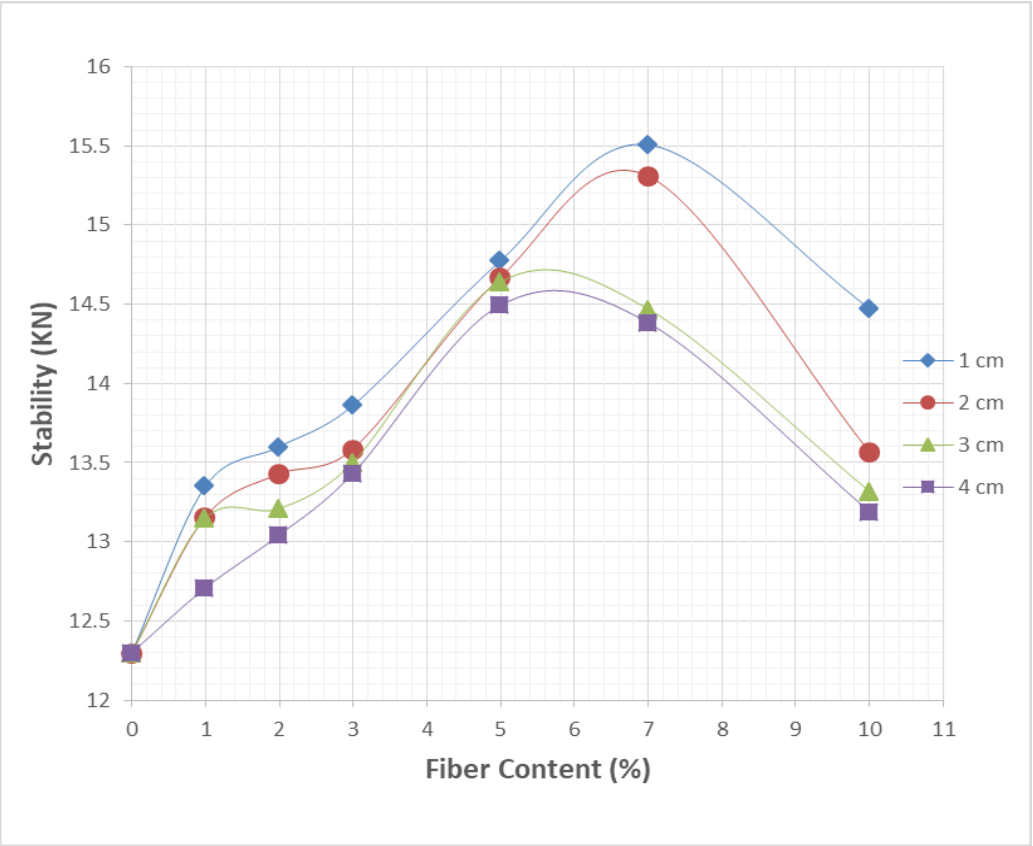
ويوضح الجدول رقم (4) وسطي قيم ثبات مارشال بالكيلونيوتن للعينات السابقة وهو وسطي قيم 3 عينات عند كل نسبة وطول وأطوال ألياف القنب المستخدم.

أما الشكل رقم (8) فهو يوضح تغير ثبات مارشال مع تغير نسب الألياف وأطوالها.

جدول رقم (4): وسطي قيم الثبات لعينات مارشال مع ألياف(KN)

نسبة الليف / طول الليف	0	%1	%2	%3	%5	%7	%10
1 cm	12.3	13.35	13.60	13.86	14.78	15.51	14.47
2 cm	12.3	13.16	13.43	13.59	14.67	15.31	13.57
3 cm	12.3	13.15	13.21	13.50	14.64	14.47	13.32
4 cm	12.3	12.71	13.04	13.43	14.50	14.38	13.19

الشكل رقم (8): يوضح تغيرات ثبات مارشال مع تغير نسبة الألياف وطولها



ويوضح الجدول رقم (5): وسطي قيم الانسياب بالميليمتر للعينات السابقة الموضحة بالشكل (7).

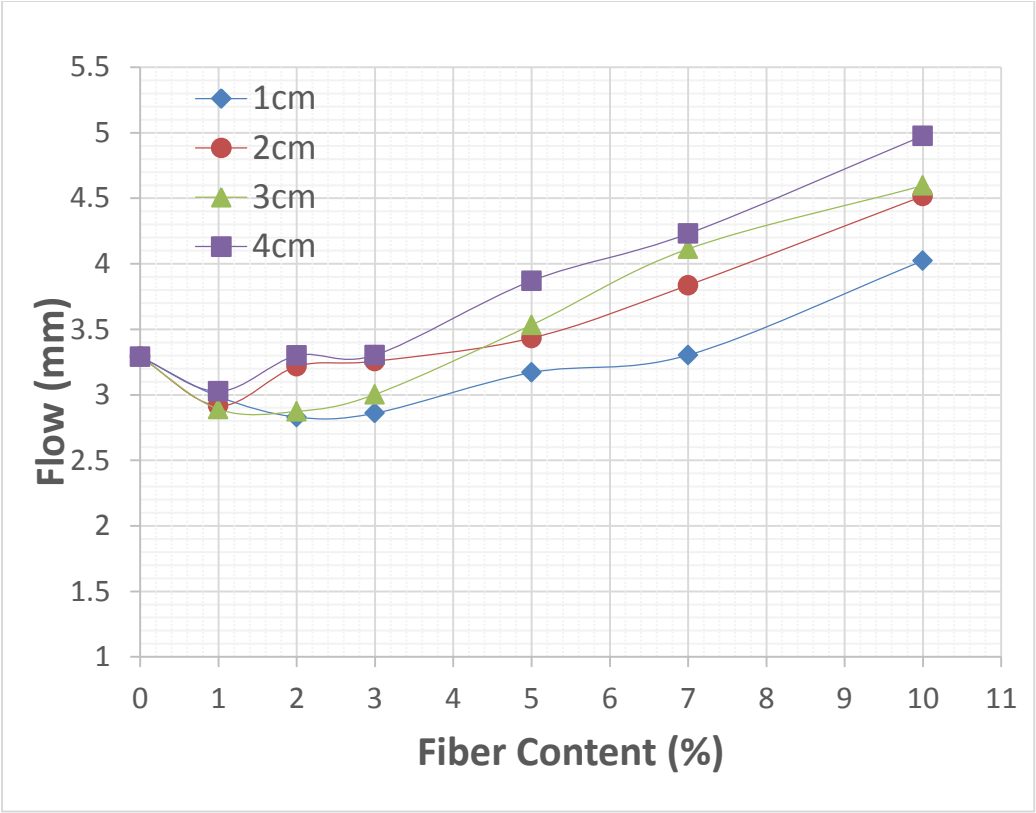
أما الشكل رقم (9) فهو يوضح التغير في قيم الانسياب مع تغيرات نسب الألياف النباتية وأطوالها.

جدول رقم (5): قيم الإنسياب لعيّنات مارشال مُضاف عليها ألياف(mm).

نسبة الليف / طول الليف	%0	%1	%2	%3	%5	%7	%10
1cm	3.29	2.99	2.83	2.86	3.17	3.30	4.02
2cm	3.29	2.92	3.22	3.26	3.43	3.84	4.52

4.60	4.11	3.53	3.00	2.87	2.89	3.29	3cm
4.98	4.23	3.87	3.30	3.30	3.03	3.29	4cm

الشكل رقم (9): يوضح تغيّرات الإنسياب مع تغيّر نسبة الألياف وطولها.



ويوضح الجدول رقم (6) وسطي قيم الفراغات الهوائية كنسبة مئوية لعينات مارشال السابقة، أما الجدول رقم (7) فهو يوضح الزيادة النسبية المئوية بقيم ثبات مارشال باستخدام الألياف مقارنة بقيم ثبات مارشال للعينات المرجعية بدون ألياف.

جدول رقم (6): قيم الفراغات الهوائية لعينات مارشال مع ألياف القنب (%).

%10	%7	%5	%3	%2	%1	%0	نسبة الليف / طول الليف
5.36	4.58	4.38	4.34	4.41	4.26	4	1 cm
5.21	4.61	4.44	4.42	4.28	4.17	4	2 cm

5.68	5.13	4.35	4.39	4.49	4.18	4	3 cm
6.05	5.26	5.13	4.50	4.53	4.18	4	4 cm

جدول رقم (7): الزيادة النسبية في قيم الثبات لعيّنات مارشال مع ألياف القنّب (%).

%10	%7	%5	%3	%2	%1	نسبة الليف / طول الليف
18	26	20	13	11	9	1 cm
10	24	19	10	9	7	2 cm
8	18	19	10	7	7	3 cm
7	17	18	9	6	3	4 cm

نتائج واستنتاجات تجربة كسْر مارشال:

- يزداد ثبات مارشال مع تناقص أطوال الألياف.
- يزداد ثبات مارشال مع زيادة نسبة الألياف حتى نسبة (7)% عند استخدام الألياف بأطوال cm(1,2)، ثم يتناقص.
- يزداد ثبات مارشال مع زيادة نسبة الألياف حتى نسبة (5)% عند استخدام الألياف بأطوال cm(3,4)، ثم يتناقص.
- عند استخدام الألياف النباتية بأطوال cm(1,2,3) ونسب مئوية (1-2-3)% كان الإنسياب أقلّ من الإنسياب في العينات المرجعيّة بدون ألياف.
- إبتداءً من نسبة 3% يبدأ الإنسياب بالإزدياد مع زيادة نسبة الألياف.
- تكون قيمة الإنسياب والفراغات الهوائيّة أعلى من الحدّ الأعلى المسموح عند نسبة: (10)% لجميع الأطوال و(7)% لطول (3,4) cm و(5)% لطول (4) cm.

نستنتج من القيم المُقاسة والمنحنيات، وضمن الحدود المسموحة لقيم الإنسياب والفراغات الهوائيّة:

- الألياف بطول (1)cm ونسبة (7)% أعطت زيادة في الثبات بقيمة (27)%.
- الألياف بطول (2)cm ونسبة (6.5)% أعطت زيادة في الثبات بقيمة (25)%.
- الألياف بطول (3)cm ونسبة (5)% أعطت زيادة في الثبات بقيمة (19)%.
- الألياف بطول (4)cm ونسبة (5)% أعطت زيادة في الثبات بقيمة (18)%.

2-4- إختبارات الشدّ غير المباشر (التجربة البرازيليّة):

تمّ تحضير عيّنات تجربة الشدّ المباشر باستخدام قوالب مارشال بنفس ظروف العيّنات المرجعيّة، مع إدخال ألياف بأطوال (1-2-3-4) سم ونسب مئوية (1- 2- 3- 5- 7)% من وزن الرابط. وقد تمّ تشكيل 3 عيّنات لكلّ نسبة وطول، فيما استبعِدت نسبة (10)% بسبب فراغاتها الهوائيّة العالية.

جرى الاختبار على جهاز الشد غير المباشر، وتطبيق أحمال ضاغطة متزايدة من خلال شريطَي تحميل معدنيّين متقابليْن وبسرعة (50.8mm/min) حتى الإنهيار. ويعطى إجهاد الشدّ غير المباشر بالعلاقة:

$$ITS = \frac{2P}{\pi * H * D} \quad (N/mm2)$$

P(N): قوّة الانهيار H(mm): إرتفاع العيّنة D(mm): قطر العيّنة

ويوضح الجدول رقم (8) قيم إجهادات الشد غير المباشر ب (N/mm2) لعينات تجربة الشد غير المباشر والمبينة في الشكل رقم (10).

جدول رقم (8): نتائج الشدّ غير المباشر (البرازيليّة) (N/mm2).

نسبة الليف / طول الليف	%0	%1	%2	%3	%5	%7
1 cm	0.94	0.98	1.05	1.08	1.09	1.23
2 cm	0.94	1.02	1.04	1.10	1.19	1.31
3 cm	0.94	1.03	1.05	1.09	1.29	1.39
4 cm	0.94	0.97	0.99	0.99	1.05	1.07

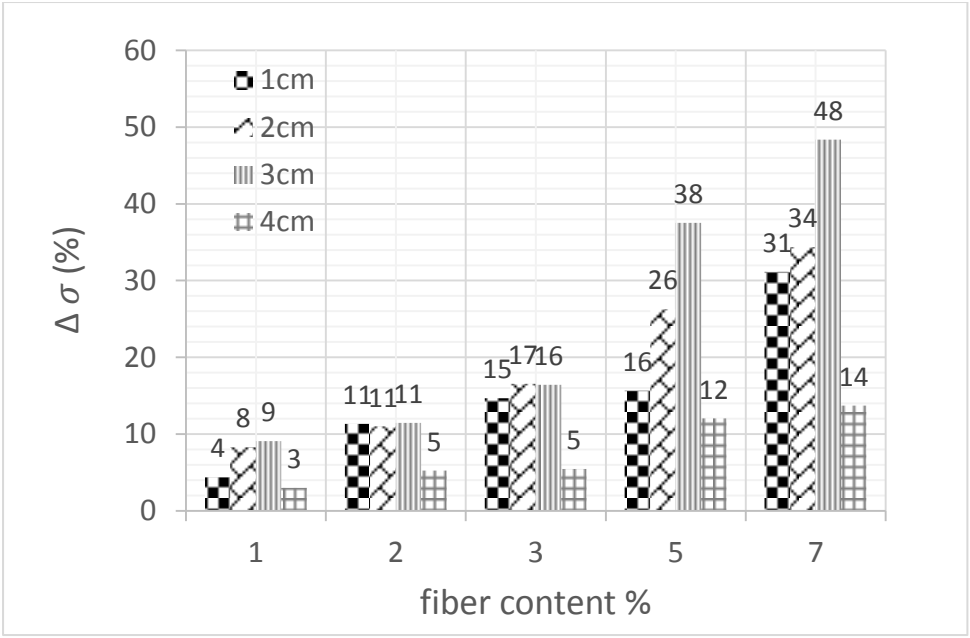
الشكل رقم (10): أعمال تجربة الشدّ غير المباشر (البرازيليّة).

ويوضح الجدول رقم (9) الزيادة النسبية المئوية في قيم إجهادات الشد غير المباشر باستخدام الألياف النباتية مقارنة مع قيم إجهادات الشد غير المباشر للعينات المرجعية بدون ألياف ويوضح الشكل رقم (11) الزيادة المئوية في إجهادات الشد غير المباشر هذه.

جدول رقم (9): الزيادة النسبية في قيم اجهادات الشد (%).

نسبة الليف / طول الليف	%1	%2	%3	%5	%7
1 cm	4	11	15	16	31
2 cm	8	11	17	26	40
3 cm	9	11	16	38	48
4 cm	3	5	5	12	14

الشكل رقم (11): يوضح تغيّرات إجهادات الشدّ غير المباشر مع تغيّر نسبة الألياف وطولها.



جدول رقم (10): القيم الأعظميّة لإجهادات الشدّ غير المباشر.

ملاحظات	VA (%)	ΔITS (%)	ITS (N/mm^2)	F.C (%)	L.F (cm)
أفضل قيمة لطول 1cm	4.71	31	1.23	7%	1
أفضل قيمة لطول 2cm	4.66	34	1.26	7%	2
تجاوزت الفراغات 5%	5.09	48	1.39	7%	3
أفضل قيمة لطول 3cm	4.23	38	1.29	5%	3
أفضل قيمة لطول 4cm	4.90	12	1.05	5%	4

نستنتج من خلال إجهاد الشدّ غير المباشر مع ألياف:

- تزداد قيمة إجهاد الشدّ مع ازدياد نسبة الألياف.
- إدخال الألياف أعطى زيادة في إجهاد الشدّ لجميع النسب والأطوال.
- بطول 3cm ونسبة 5% بإجهاد شدّ 1.29 N/mm^2 بزيادة 38% عن ITS0 وهي أفضل قيمة.

نتائج نهائيّة:

أظهر البحث أنّ إدخال الألياف النباتيّة من مادة القنّب على المجبول الإسفلتي أعطى تحسّناً في المواصفات الهندسيّة التي تمّت دراستها، وهي الثبات والإجهادات الشادّة.

1- نلاحظ أن استخدام الألياف النباتية من مادة القنب في الخلطات الأسفلتية أعطى تحسناً واضحاً في قيم ثبات مارشال وقيم اجهادات الشد غير المباشر.
2- استخدام ألياف القنّب بطول (1 و 2) cm ونسبة (6.5)% أعطت أعلى قيم لثبات مارشال وبالتالي يمكن استخدام هذه النسبة والأطوال في الطرق التي تتعرض للحمولات المرورية الثقيلة.
3- استخدام ألياف القنب بطول (3) cm ونسبة (5)% من وزن الرابط الأسفلتي أعطت أعلى قيم لإجهاد الشد غير المباشر وبالتالي يمكن استخدام هذه النسبة والطول في الطرق التي تتعرض لفروقات حرارية عالية لمقاومة اجهادات الشد.

توصيات:

1- القيام بأبحاث إضافيّة عن تأثير إدخال ألياف نباتيّة في صناعة الأغطية الطرقيّة.
2- إجراء تجارب على أنواع أخرى من الألياف النباتيّة غير ألياف القنب.
3- التوصية للجهات العامة المتخصصة بإنشاء الطرق بإنشاء قطاع من طريق باستخدام ألياف القنب ووضعه تحت الإختبارات لعدة سنوات متتالية لمعرفة سلوك ألياف القنب مع الزمن.

المراجع:

المراجع بالعربيّة

1- الشروط والمواصفات الفنيّة العامّة لأعمال الطرق والجسور- وزارة المواصلات السوريّة لعام 2002.

2- عاصي د. مروان، هندسة طبقات الرصْف، منشورات جامعة حلب- كلية الهندسة المدنيّة، مديريّة الكتب والمطبوعات الجامعيّة 2003.

المراجع الأجنبيّة:

3- NGUYEN Mai Lan, 2009- Etude de la fissuration et de la fatigue des enrobés bitumineux- l'Université de Lyon, France, 276p.

4- OLARDFrançois,2003-COMPORTEMENT THERMOMÉCANIQUE DES ENROBÉS BITUMINEUX À BASSES TEMPÉRATURES. l'Université de Lyon, France, 226p.

5- Di Benedetto et Corté, 2005- Di Benedetto, H. et J. F. Corté, Matériaux routiers bitumineux. Vol. 2. Hermès. 283p.

6- ELOUAER A,2011- Contribution à la compréhension et à la modélisation du comportement mécanique de matériaux composites à renfort en fibres végétales. l'Université de Reims, 213p.