مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٤) العدد (٤) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (4) No. (4) 2020

تقييم استخدام البيتون المنفذ بالمداحي في انشاء طبقات الرصف في مرفأ طرطوس

باسم علي *

(تاريخ الإيداع ٨ / ٣ / ٢٠٢٠ . قُبل للنشر ٢٣ / ٦ / ٢٠٢٠)

ملخص

يعاني الرصف المرن مع تطور حمولة الشاحنات الثقيلة و ظروف الاستثمار الشديدة (ارتفاع درجات الحرارة في الصيف مما يؤدي الى انخفاض الثبات) من تشوهات دائمة تؤثر على خدمة الرصف و على الدور الوظيفي له، تستدعي هذه الحالات من التحميل كما هو الحال في المرافئ الى البحث عن اشكال اخرى للرصف ذو قدرة تحمل اكبر من الرصف المرن التقليدي. استخدم الرصف الصلب من اجل تحسين البنى التحتية للمرافئ من ساحات و طرق و يتكون بشكل اساسي من بلاطات بيتونية مسلحة، لكن هذا النوع من الرصف ذو تكلفة اعلى و يحتاج الى صيانات دورية و خصوصاً الفواصل. من طرق التنفيذ التي اعطت فعالية و تأدية جيدة في استيعاب الحمولات الخاصة المطبقة من الشاحنات هو الرصف المنفذ بالمداحي(RCC). يستحدم هذا النوع من الرصف في تنفيذ الطبقات السطحية و الطبقات الحاملة للارصفة و يشكل هذا النوع من الرصف حل ذو ديمومة جيدة. يتم وضع المواد باستحدام المعدات المستخدمة في الرصف الأسفلتي، و يتم تحقيق الاكتناز من خلال الرص باستخدام المداحي. يطبق هذا الرصف بنجاح في حال السرعات المنخفضة و في حالة الحمولات الثقيلة و في انشاء طبقات رصف المطارات و في تنفيذ الساحات المخصصة للتحزين. يوفر RCC حلاً فعالًا من حيث التكلفة للأرصفة و من حيث السرعة في التنفيذ و انخفاض الصيانة. سنقوم خلال هذا البحث بتقييم استخدام الرصف المنفذ بالمداحي RCC في تنفيذ طبقات الرصف في منطقة خروج الشاحنات الثقيلة من مرفأ طرطوس حيث تم دراسة الرصف وفق اسس التصميم العالمية و تم تنفيذ الرصف و تقييم خصائصه و ادائه في الموقع.

كلمات مفتاحية : الرصف المنفذ بالمداحي ، RCC

* مدرس في كلية الهندسة المدنية –الجامعة العربية الدولية– دمشق– سورية. Basemali1972@gmail.com, b-ali@aiu.edu.sy

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٤) العدد (٤) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (4) No. (4) 2020

Evaluation of Roller Compact Concrete in Pavement Construction of Tartous port

Bassem Ali*

(Received 8 / 3 / 2020 . Accepted 23 / 6 / 2020)

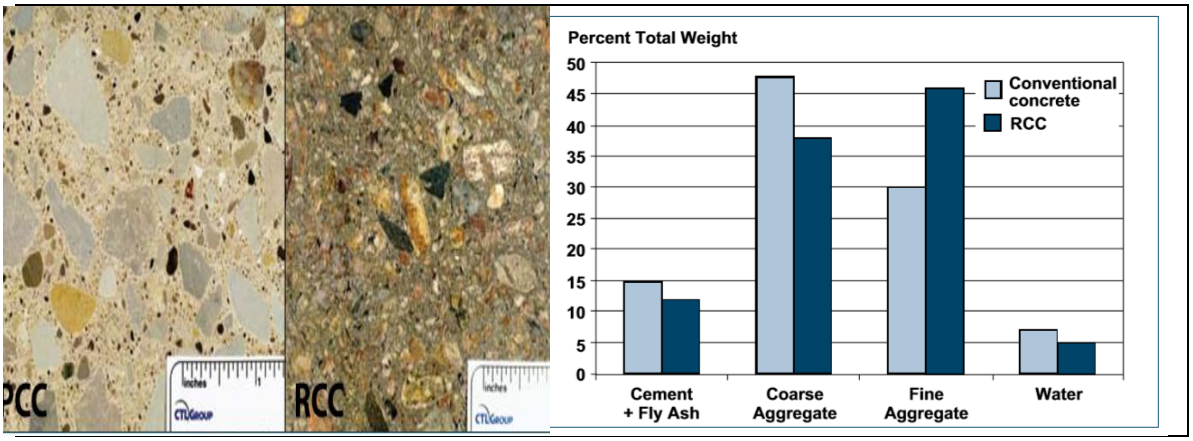
Abstract

With the development of heavy-duty truck and severe investment conditions (high temperatures summer with low stability) flexible pavement suffer from permanent deformations which effect on its service life. These loads condition such as in harbors, require the search for other pavement types with high durability than conventional flexible pavement. Rigid pavement has been used to improve harbors infrastructure and consists mainly of reinforced concrete slabs, as it is known that this type of pavement is more expensive and requires periodic maintenance, especially joints. Roller compact concrete gives good efficiency and performance to support a heavy trucks and special load conditions. RCC with high durability is used in construction of surface and supporting pavement layers. RCC material is applied using asphalt pavement equipment (paver, roller.). This pavement is successfully applied in the case of low speeds, heavy loads, airport pavement layers construction and in construction of storage yards. RCC provides a cost-effective solution for pavement fast construction and low maintenance. This research will evaluate the use of RCC pavement in construction the pavement layers of exit area of Tartous port with heavy trucks, where the pavement was has been studied and analyzed according to the international methods design finely its characteristics and its performance has been evaluated.

*Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Arab International University AIU, Damascus, Syria . Basemali1972@gmail.com

مقدمة :

اخذ البيتون المنفذ بالمداحي Roller–Compacted Concrete (RCC) اسمه من طريقة وضع البيتون. استخدم RCC في العديد من الدول الاروبية و في الولايات المتحدة الامريكية و في استراليا. هنا لابد من عدم الخلط بين الاساس المثبت بالاسمنت cement–treated bases (CTB) و بين RCC فنسبة الاسمنت في الاساس المثبت بين ٣–٥% اما في RCC فهي بين ١٠–١٤ % من الكتلة. ان البيتون المرصوص بالمداحي Roller–Compacted Concrete (RCC) هو بيتون بلا هبوط [1,2] و الذي تتم عملية تنفيذه من خلال المدادات المستخدمة في تنفيذ المجبول الاسفلتي و يتم رصه من خلال الاستخدام المناسب للمداحي الحديدية الملساء الرجاجة بالاضافة الى المداحي المطاطية، يكون الرصف (RCC) مقارباً بخصائصه من ناحية المقاومة و المكونات الى البيتون العادي و لكن ذو طبيعة ناشفة ونسب مختلفة: حصويات بتدرج جيد، مواد اسمنتية، الشكل رقم ١.



الشكل رقم ١ : مقارنة بين البيتون العادي و المنفذ بالمداحي من ناحية المكونات و شكل السطح الخارجي[1]

كما هو ملاحظ من الشكل رقم ١ فان الاختلاف الابرز بين نوعي البيتون هو في في نسبة المواد الناعمة في خليط (RCC) و التي تساعد في عملية الرص، ان نسبة الماء القليلة نسبياً بالاضافة الى تدرج الحصويات المكتنز يجعله يتمتع بخصائص مقاومة عالية وبالتالي يعتبر مادة رصف مثالية لتطبيقات مختلفة حيث يعتبر هذا النوع من االبيتون خياراً فعالاً للاستخدم في:

١– ساحات المرافئ البحرية و الجافة حيث تشير تقارير تقييم اداء الاستخدام عالميا الى فعالية جيدة جدا.

٢–ساحات المعامل و المنشات الصناعية.

٣–ساحات التخزين حيث تتفوق على الرصف المرن من ناحية الاستقرار و الخدمة المديدة (الديمومة).

٤–في تنفيذ رصف المطارات المدنية و العسكرية حيث يمكن استخدامه كطبقة سطحية او طبقة اساس قوية

٥–في تنفيذ بعض مناطق التحميل الكبيرة و الكثيفة من الرصف الطرقي و يمكن استخدامه كطبقة اساس قوية للرصف المرن

ان انخفاض تكاليف انشائه و سهولة وسرعة البناء من الميزات الرئيسية لاستخدام (RCC) فالأرصفة االمنفذة بـ (RCC) بالمقارنة مع الرصف المنفذ بالبيتون لا تحتاج الى فواصل و حديد التسليح و مع صيانة قليلية جداً يبين الجدول رقم (١) [2,1] مقارنة بين النوعين من حيث طبيعة المواد المستخدمة و سرعة و سهولة التنفيذ و من الناحية الاقتصادية. يؤخذ على هذا النوع من الرصف التقيد بسرعة محددة بحيث لا تزيد سرعة الحركة عن ٥٥–٦٥ كم/سا

وذلك نتيجة تسويته فاذا كان المطلوب حركة سريعة للعربات على هذا النوع من البيتون يمكن تنفيذ طبقة من البيتون الرابط او المجبول الاسفلتي بسماكة من ٥٠-٧٥ مم

	الرصف باستخدم البيتون العادي	الرصف باستخدام البيتون المنفذ بالمداحي RCC
طبيعة المواد المستخدمة و نسبة الاستخدام Mix materials proportion	مزيج من الحصويات الخشنة و الناعمة الجيدة التدرج بنسبة ٦٠-٧٠ % حجميا و النسبة النموذجية لنسبة الماء الى الاسمنت (w/cm) تتراوح من ٠,٤٥-٠,٤ و التي تجعل من العجينة الاسمنتية طرية بشكل كاف لتغليف الحصويات و املاء الفراغات بين الحصويات الشكل ١ يوضح الفرق في نسب المكونات الاساسية لنوعي البيتون المنفذ	مزيج من الحصويات الخشنة و الناعمة الجيدة التدرج و الاكتناز بنسبة ٨٥-٧٥ % خليط المواد المكونة لRCC جافة و اقل طراوة مقارنة بالبيتون العادي لكمية المواد الناعمة المرتفعة و كمية الاسمنت المنخفضة
قابلية التشغيل Workability	القوام لزج بما يساعد على المد و عادة ما يكون هبوطه بحدود ٥ سم	قوام البيتون رطب و مكتنز و بهبوط معدوم . يجب ان يكون بقوام يسمح بالرص و المد و بنفس الوقت يسمح بمرور المداحل
المد Paving	يتم مد البيتون الخاص بالرصف من خلال معدات خاصة تقوم بالمد و الرج بنفس الوقت	تستخدم الة الرصف مشابه لتلك المستخدمة في مد المجبول الاسفلتي مع استخدام قضيب او اثنين للرج و تكون قادرة للمد بسماكات مختلفة و عادة ما تتراوح سماكة الرصف من ١٥ – ٢٣ سم و لا تقل طبقة المجبول المنفذة عن ١٠ سم و لا تزيد عن ٢٥ سم
الاكتناز و الرص Consolidation	الاكتناز ياتي من الرج المطبق على سطح الطبقة و من اعادة تموضع مكونات البيتون عند القيام بعملية الفرش حيث يحدث ترسب للمكونات الحصوية و طفو طبقة من الماء (النضح) .(bleeding)	تأتي عملية الاكتناز من الرص المطبق بشكل فعال باستخدام المداحي و الذي يجب ان يتم الانتهاء منه قبل ٦٠ دقيقة من بداية عملية المزج و اعداد البيتون.

عمليات انهاء و تسوية السطح Finishing	تتم عملية التسوية و المد و تحقيق الاكتناز من خلال الرج للتغلب على الاحتكاك لمكونات البيتون الطري	يبدو سطح طبقة RCC مشابه لسطح المجبول الاسفلتي يمكن الحصول على سطح اكثر اغلاقا من خلال تصميم الخلطة المناسبة
عمليات الاماهة و التفاعلات الاسمنت Hydration	تعتبر عملية الاماهة حدية لاكتساب المقاومة المطلوبة و لتحقيق ديمومة جيدة للبيتون لذا يجب العناية الكافية و بالشكل المناسب لتحقيق ذلك.	
العناية بعد التنفيذ Curing	هي ضرورية و يجب ان تتم عند الامكانية بعد الانتهاء من الصب و هي مهمة جدا من اجل ضبط عملية التبخر من سطح البيتون و السماح لعملية الهدرتة بالحدوث بشكل طبيعي مما يساعد في تكون عجينة صلبة تملئ الفراغات و تربط الحصويات	
التشققات و انتقال الحمولة و التسليح Cracking, load transfer, and reinforcement	يتم تنفيذ الفواصل على كامل الرصف لتامين انتقال الحمولة عبر اجزاء الرصف يتم الربط من خلال قضبان بسماكة رصف اكبر من ٢٠ سم بالنسبة للرصف المستمر يتم دراسة الرصف على التشققات و اختيار التسليح المناسب	التشققات تحدث بشكل عشوائي من ٤,٥–٩ م و باتساع صغير لا يؤثر على انتقال الحمولة و عند تنفيذها بابعاد من ٦–١٨ م تبعا لسماكة الطبقة و بسماكة ٢٥% من سماكة البلاطة حيث يتم انتقال الحمولة يتم عبر الحصويات المتراصة

الناحية الاقتصادية	كمية الاسمنت من اجل الحصول على المقاومات المطلوبة بحدود ٤٠٠ كغ للمتر المكعب و جودة المواد المطلوبة لانتاج البيتون يجب ان تكون جيدة و نسبة المواد المواد المارة من المنخل ٢٠٠ (٠-٤%) و بالتالي تكلفة اكبر	كمية الاسمنت من اجل الحصول على المقاومات المطلوبة بحدود ٣٠٠ كغ للمتر المكعب و جودة المواد المطلوبة لانتاج البيتون يجب ان تكون متوسطة الجودة و نسبة المواد المواد المارة من المنخل ٢٠٠ (٢-٨%) و بالتالي تكلفة اقل. لا تقل قيمة التوفير باستخدام البيتون المنفذ باستخدام المداحي عن ٣٥ % مقارنة بالرصف المنفذ بالبيتون العادي مع ملاحظة السرعة في وضع الرصف بالاستثمار حيث يتم الاستثمار غالبا بعد ٧ ايام

الجدول رقم ١: مقارنة بين البيتون العادي و المنفذ بالمداحي

١- خصائص البيتون المنفذ بالمداحي (RCC)

٢-١ الانتاج: تختلف خصائص (RCC) من ناحية الخلط عن البيتون العادي كون الخليط ذو قوام اكثر صلابة و الى استخدام تدرج اكثر اكتنازاً في عملية التنفيذ فالاختلافات الابرز بين نوعي البيتون من ناحية الانتاج هي[2] :

- نسبة الماء و كمية العجينة الاسمنتية في (RCC) اقل.
- لا يحتوي (RCC) في الغالب على الياف.
- لا يكون (RCC) من نوع البيتون مع دخالات هوائية و يمكن استخدام اضافات معينة الى البيتون.
- يحوي (RCC) على نسبة مواد ناعمة اكبر و حجم حصويات اصغر.
- يجب ان يكون (RCC) جافا بشكل كاف لاستيعاب احمال المداحل الثقيلة المستخدمة في عملية الرصف و بنفس الوقت يجب ان تكون رطوبته مناسبة و بشكل يسمح بتوزع عجينة الاسمنت – المواد الناعمة خلال عملية الانتاج و التنفيذ و الوضع بشكل جيد٩.

٢-٢ المواد : ان معرفة خصائص مكونات RCC بالاضافة الى المتطلبات و المواصفات المتعلقة لانشاء المشروع المحدد يمكننا من الحصول على خليط RCC يحقق متطلبات التصميم و الاداء المطلوب و هنا يعتبر الاختيار الصحيح للمواد المكونة لـ RCC مهما جدا في الحصول على الجودة المطلوبة، بالنسبة الى حجم الحصويات المستخدمة في RCC فهو مشابه الى البيتون العادي، لكن الحصويات النظيفة و المغسولة ليست مطلوبة لـ RCC بنفس الجودة كما هو الحال في البيتون العادي مما يعزز من استخدام RCC ، تتالف الحصويات الخشنة من حصويات مكسرة و غير مكسرة و حجارة مكسرة و يمكن ان تستخدم الحصويات المعاد تدويرها، الحصويات الناعمة تتألف من رمل طبيعي و رمل مكسر او من الاثنين. هنا لا بد ومن الاشارة الى ان الحصويات المكسرة مناسبة بشكل جيد لـRCC نتيجة التداخل بينها و تساعد في التخفيف من الفصل و مقاومة اكبر و ترابط اكبر بين الحصويات عند الفواصل لان ٩٠% من حجم خلطات RCC العالية الجودة تتكون من حصويات خشنة و ناعمة، يجب ان تختبر و تقييم من خلال تجارب تحديد

الخواص الفيزيائية تبعا لـ ASTM C33 او A23.1 (CSA) [3] . يجب ان تتوافق خصائص الحصويات مع المتطلبات الفنية تبعا لـ ASTM C33 و ان لا يزيد دليل للدونة عن ٥ كما يجب ان تتطابق الاضافات المعدنية لمتطلبات المواصفة (flyash) ASTM C 618، ASTM C 989 (slag) و ASTM C 1240 (silica fume). و بشكل عام يجب ان لا تزيد نسبة هذه الاضافات في حال الاستخدام بشكل منفصل او ضمن الاسمنت المخلوط عن كمية الاسمنت البورتلندي. يتم اختيار الاضافات الكيميائية تبعا للحاجة و مبررات الاستخدام في البيتون من حيث النوع و الفعالية، تشابه طريقة الاستخدام للاضافات الكيميائية للبيتون RCC البيتون العادي و تستخدم انواع الاضافات المعروفة كتخفيض نسبة الماء و مؤخرات و مسرعات التصلب، و يجب ان تكون المواد مطابقة للمواصفة ASTM C 494 وينبغي أن يتم التحقق من فعاليتها قبل استخدامها، يساعد استخدام الاضافات المناسبة في التوزع الجيد للعجينة الاسمنتية و في زيادة قابلية التشغيل و الانقاص من زمن الخلط و بالتالي في زيادة معدل الانتاج.

٢-٣ التنفيذ تتراوح سماكة RCC من ١٠٠ -٦٠٠ مم و تنفذ على عدة طبقات عندما تكون السماكة اكبر من ٢٠٠ مم و ذلك لضمان الرص الجيد، و عادة ما تنفذ الى طبقات بسماكة ٢٥٠-٣٠٠ مم و بشكل عام يوجد علاقة بين السماكة المرصوصة و الغير مرصوصة و هي بضرب السماكة المرصوصة ب ١,٢٥ و يجب ان لا تقل السماكة عن ١٠٠ مم.

في حال التنفيذ على عدة طبقات يجب المحافظة على ان تكون الطبقة الاولى رطبة و نظيفة لحين وضع الطبقة الثانية و ضمن المدة المحددة و التي تكون غالبا ساعة واحدة و في حال التاخير يمكن وضع روبة من الاسمنت و الرمل و الماء لتعزيز قوى التلاحم بين الطبقات و في هذه الحالة يجب تنفيذ الطبقة الثانية بفاصل زمني يسمح باكتساب المعالجة المقاومة الكافية، في حال عدم تحقيق ذلك سيؤدي وضع الطبقة العلوية الى تشكل تشققات في الطبقة السفلى[3,4].

ان استوائية هذا النوع من البيتون اقل من البيتون العادي و يجب ان لا يزيد الانحراف عن ٦-٩ مم باستخدام قدة بطول ٣ م

من اجل تحسين الاستوائية يجب ان لا يتجاوز القطر الاعظمي عن ١٢,٥ مم و أن لا تزيد سماكة الطبقات عن ٢٠ سم ، استخدام الة الرصف المناسبة مع امكانية التحكم باستوائية حافة الرصف و اختيار تدرج يمكن من خلاله الوصول الى الكثافة المطلوبة بدون دحي اضافي. عادة ما تكون سماكة RCC اكبر من سماكة البيتون العادي نتيجة الانتقال الضعيف عند الفواصل و بشكل جزئي التلاحم بين الطبقات، يتم ترطيب طبقة الاساس مباشرة قبل وضع طبقة البيتون و يجب وضع طبقة فلتر بين طبقة الدريناج و طبقة الاساس الترابية لمنع تغلغل التربة ضمنه.

يجب ان تكون عملية الانشاء منسقة من لحظة الانتاج الى لحظة الانشاء و الدحي و بشكل يؤمن استمرار العمل و عدم التاخير في اي مرحلة من مراحل التنفيذ، يجب ان يتم الخلط و النقل و الوضع و الرص وفق خطة مدروسة مسبقا، و يجب ان يكون معدل الانتاج متوافق مع وتيرة الانشاء بحيث يصل البيتون الطري عند التنفيذ و بحيث لا تتوقف عملية التنفيذ و خلافا لذلك فان جودة التنفيذ تتاثر (في حال رصف بعرض ٦,١ م و بسماكة ٢٠٠ مم ومع كثافة بيتون ٢٤٠٠ كغ/م^{٣} و بسرعة تنفيذ لالية الرصف ب ١,٢ م / د) . يتم وضع البيتون بواسطة الاجهزة المعدة لفرش المجبول الاسفلتي مع المحافظة على استمرارية الحركة المنتظمة، مما يساعد في الحصول على سطح مع مراعاة الامور التالية [5,1]:

- يتم وضع و دحي البيتون في حالة البيتون الرطبة و القابلة للتشغيل و ذالك خلال مدة لا تتجاوز ٩٠ دقيقة من لحظة اضافة الماء الى البيتون. يجب الانتباه الى أن هذه المدة المسموحة هي بين الخلط و نهاية دحي المنطقة المشتركة بين الحارات و هي المنطقة التي يجب ان تدحى اخيرا.

- يتم الدحي بواسطة مداحي هزازة ١٠ طن باسطوانتين بعد وضع البيتون مباشرة، يجب الانتباه ان الفراغات يتم ازالتها بواسطة هذه المداحي و كل ١% من الفراغات يسبب نقصان المقاومة بمقدار ٥ % و ان انخفاض ٥ % من الكثافة يؤدي الى انخفاض المقاومة بمقدار ٤٠ % .

- تعتمد مقاومة الانعطاف على قيمة الارتصاص في اسفل الطبقة و تعتمد الديمومة على الرص بنفس الجودة بالنسبة الى سطح الطبقة. يجب ان يؤمن الرص اكتناز كبير و سطح املس ناعم خالٍ من التجاويف و من العيوب الاخرى خلال التدقيق.

٢-٤ الفواصل الانشائية و التمدد و التحكم بالشقوق تتشكل الفواصل الانشائية الباردة بين الحارات المتجاورة عندما يتم وضع البيتون الجديد بجانب البيتون الذي تم وضعه و رصه سابقا، في هذه الحالة يجب ترك ٣٠ الى ٤٥ سم على طرف الحارة المجاور لحارة سيتم انشاءها بدون رص و يجب ان يتم تراكب بمقدار ٨ سم بين الحارات. من اجل تحقيق مزيد من الالتصاق عند الفواصل الباردة يتم دهن الفواصل بملاط من الاسمنت و الرمل و تبيّن الجذرات التي اخذت في مواقع الفواصل ان الالتحام جيد و من الصعوبة تميز الفواصل، بالنسبة الى الفواصل العرضية عند انتهاء العمل تبقى نقاط ضعف و يجب اتباع الخطوات المناسبة لزيادة متانة هذه المنطقة من خلال تهذيب الاطراف و القيام باستخدام المواد التي تزيد من التحام المواد الجديدة و القديمة.

يجب ان تجرى تجارب الشد المباشر لاختبار الالتصاق بين الطبقات، لوحظ ان قيمة للشد يمكن ان تتحقق بنسبة ٦٠ –٩٠ % اذا كانت الفاصل بين تنفيذ الطبقتين ٣٠ –٦– دقيقة و ان وجود ملاط الرمل و اللاتكس يحسن من جودة التنفيذ.

تحدث الشقوق في البيتون RCC كنتيجة طبيعية لحدوث الانكماش و تحدث بشكل عشوائي من ٩ الى ٢١ م و بشكل عام تكون التشققات الناجمة عن الانكماش في هذا النوع من البيتون اقل من البيتون العادي و صغيرة و لا تتجاوز ٣ مم و لا تؤثر على انتقال الحمولات بين عناصر الرصف في مكان تواجدها ولوحظ من خلال اختيار الرصف المكتنز الذي يتحقق من خلال تدرج كثيف عدم ظهور انتقالات شاقولية في مناطق حدوث التشققات. لتحسين السطح النهائي يفضل ان يتم تنفيذ فواصل التحكم من ٨–١٢ م لمنع حدوث التشققات العشوائية و بالتالي يمكن تنفيذ الشقوق خلال الساعات الاولى من الرص لا تتجاوز ١٢ ساعة [1].

٢- التصميم الانشائي للرصف المنفذ بالمداحي :

- جمعت أرصفة RCC بين السلوك الانشائي للرصف البيتوني التقليدي (الرصف الصلب) مع الاجراءات المتبعة في تنفيذ الرصف المرن من المجبول الاسفلتي و على الرغم من ان RCC يماثل الرصف المرن من حيث الرص و تدرج الحصويات، فإن خصائص المواد والأداء الانشائي لـ RCC متشابهة مع خصائص الرصف البيتوني التقليدي. فكلا النوعين من الأرصفة لهما نفس فلسفة التصميم : مقاومة الاجهادات الناتجة عن التعب من تطبيق الحمولات المتكررة و عدم تجاوز إجهاد انعطاف الرصف(flexural stress) القيم المسموحة

الناتجة في اسفل البلاطة والأهم من ذلك هو أن نسبة هذه الاجهادات إلى قوة الانحناء (والتي تسمى نسبة الإجهاد)، هي المؤشر الأكثر أهمية من حيث التلف الناتج عن التعب. (الحد الأدنى لسماكة الرصيف ١٠سم ، ويبلغ الحد الأقصى لسماكة طبقة واحدة ٢٥,٤ سم). مع التدرج الحبي المناسب والمحتوى المناسب من الأسمنت والماء والرص الجيد، يمكن لأرصفة RCC تحقيق خصائص مقاومة مساوية لخصائص الخرسانة التقليدية ، مع نفاذية منخفضة جداً و تصميم خلطة بيتونية تلبي متطلبات التصميم (تتراوح كمية الماء بين ١٢٠-٩٠ كغ/ م^{٣} و نسبة الماء الى الاسمنت تتراوح بين ٠,٣١ – ٠,٤٥ و المقاومة تصل الى 41MPa ميغا باسكال بعد ٢٨ يوم)

- على الرغم من ان الأساسيات المتبعة في التصميم الهندسي لكلا النوعين متشابهة فان الفرق الابرز هو أن أرصفة RCC هي اقل انكماشاً ، نظرًا لانخفاض محتوى الماء والاسمنت نسبيًا في خلطة RCC. تم تطوير اسس التصميم لتحديد سماكة لأرصفة RCC للتطبيقات الصناعية الثقيلة (مثل الموانئ والمحطات متعددة الوسائط) من قبل جمعية الأسمنت البورتلاندd (PCA) و USACE. ينطوي نهج التصميم على افتراض أن بنية الرصيف يجب ان تكون قادرة على استيعاب الحمولات عند مستوى معين من التكرار. ان الاجهادات الحرجة في RCC هي اجهادات الانعطاف في اسفل الطبقات حيث يتم تحديد سماكة الرصف على اساس تقييم التعب الناتج عن اجهاد الانعطاف حيث تحدد نسبة الاجهاد كما يلي:

$$\boldsymbol{Stress\ Ratio = Cretical\ Applied\ Flexural\ Stree\ /Flexural\ srength}$$

حيث: ان إجهاد الانعطاف الحدي المطبق هو إجهاد الشد الاقصى في أسفل طبقة الرصيف البيتونية، و تحدد مقاومة الانعطاف من خلال اختبار الجائز مع ثلاث نقاط تحميل كما هو محدد في (ASTM C78 ؛ AASHTO T97or CSA A23.2-8C). في تصميم سماكة RCC، يتم زيادة سماكة الرصيف أو زيادة مقاومة البيتون حتى يتم تقليل نسبة الإجهاد بما يكفي لزيادة اداء الرصف للتعب. وقد أظهرت الأبحاث على RCC المتعلقة بالتعب الناتج عن الانعطاف أن سلوك التعب لديه يشبه إلى حد كبير سلوك الخرسانة التقليدية. استناداً الى نتائج اختبارات التعب على الجوائز التي تم الحصول عليها من جسم الرصف لأربعة نماذج مختلفة لـ RCC ، تم تعيين منحنى تصميم RCC لتوفير درجة من الموثوقية و الامان تشبه تلك المستخدمة في الخرسانة التقليدية في إجراءات تصميم PCA للطرق السريعة والمطارات (PCA 1987) مع الاشارة الى ان منحنى التعب المستخدم في تصميم الرصيف RCC هو أكثر تحفظا من منحنى التعب المستخدم في الرصيف البيتوني التقليدي. ان الخصائص الرئيسية التي تؤثر على تصميم سماكة RCC هي قوة الانحناء وسلوك التعب. في عملية التصميم يتم تحديد سماكة الرصيف للحفاظ على اجهادات الانعطاف وآثار التعب الناجم عن تكرار حمولات الدواليب ضمن حدود الامان. تعتبر الضغوطات والإجهادات و التعب الناتجة عن الحمولات اكبر عند تطبيقها على الحواف و الفواصل منها بالاجزاء الداخلية للرصف (PCA 1987). لذلك يلعب أداء الفواصل (كفاءة نقل الحمولة كنسبة مئوية) دوراً مهماً في مدة خدمة الرصف بما يتعلق بتعب الأرصفة الخرسانية. لتقليل الضغوط الناتجة عن تحميل الحافة، يمكن توسيع الرصيف ٣٠ سم أو أكثر، وفي هذه الحالة تعتبر حواف الرصيف مدعومة. في مناطق وقوف السيارات التجارية والصناعية التابعة لـ RCC ، توجد مساحة صغيرة نسبياً بجوار الحواف كما ان تطبيق أحمال السيارات في الغالب يكون على الاجزاء الداخلية، لذلك يمكن تصميم الأرصفة بافتراض الحواف المدعومة (ACI 330R-08) [6]

- ان تصميم طبقة Subgrade و طبقات الاساس و ما تحت الاساس و Subbase و Base تماثل عملية التصميم المتبعة في الرصف الصلب التقليدي و يجب ان ن تؤمن هذه الطبقات قدرة التحمل من اجل الرص المناسب لطبقة RCC. يمكن أن يكون RCC حساساً لمحتوى الرطوبة في طبقة ما تحت الاساس الحصوية خلال عملية الانشاء. نظراً لأن الجزء السفلي من الرصف يتعرض لإجهادات انحناء كبيرة و بالتالي اي زيادة في الماء يمكن أن يزيد نسبة w/cm من RCC وبالتالي يمكن أن يؤدي إلى انخفاض مقاومة البيتون في هذه المنطقة، لذلك يجب أن تعالج هذه المنطقة من خلال ضبط الرطوبة و الاختيار المناسب للمواد كما يجب تنفيذ التصريف المناسب بما يحافظ على اداء طبقات الاساس و ما تحت الاساس [7,1].
- تنقسم أرصفة RCC إلى فئتين رئيسيتين هما الأرصفة الصناعية مع الحمولات الثقيلة مثل الموانئ والمحطات متعددة الوسائط و الأرصفة المخصصة لحركة العربات المتنوعة . بالنسبة للأرصفة الصناعية مع الحمولات الثقيلة مع مرور المركبات الثقيلة مثل اللودرات أو شاحنات النقل، قد يعتمد التصميم على العدد المتوقع لتكرارات الحمل للمركبات ذات الوزن الاكبر، ويمكن تجاهل المركبات الأخرى التي تكون أخف وزناً بشكل ملحوظ (Delatte 2007). هذا هو النهج المستخدم من قبل USACE. بالنسبة للأرصفة التي تحمل حركة مرور مختلطة (مثل السيارات والشاحنات والحافلات) ، قد تصبح إجراءات PCA / RCC–PAVE و USACE مبالغة. بالنسبة إلى هذه الأرصفة، يمكن عموماً اتباع اسس التصميم للأرصفة الخرسانية التقليدية (بدون قضبان اتصال).

القسم التجريبي في البحث

من اجل تقييم هذه النوع من الرصف فقد تم اختيار منطقة الدراسة في مرفأ طرطوس على المدخل الشمالي للمرفأ و هي منطقة خروج الشاحنات الثقيلة و تعاني هذه المنطقة من خراب متكرر لبنية الرصف مما يسبب اعاقة لحركة و سلامة عبور الشاحنات. تم بالبداية تقييم الرصف الحالي حيث تم اجراء سبور في المكان. تتألف طبقات الرصف من طبقة اسفلتية مخلخلة و متموجة و متشققة و من طبقة بقايا مقالع تتوضع فوق طبقة غضارية رطبة ضعيقة جدا (قيمة CBR=2.2) وغير مناسبة لمرور الشاحنات الثقيلة حيث تتوضع المنطقة موضوع الدراسة على المدخل الشرقي للمرفأ ذات الاحمال الكبيرة للشاحنات. هنا كان لا بد من دراسة واقع التحميل على طبقات الرصف و تحديد فيما اذا كانت البنية التحتية للرصف قادرة على تحمل المرور الثقيل للشاحنات. ان الاجهادات المطبقة على اعلى الطبقة الغضارية اكبر من قدرة تحملها كما ان وجود طبقة من المجبول الاسفلتي بسماكة ١٠–١٢ سم مع طبقة بقايا مقالع بدون تدرج و بالتالي فان بنية الرصف لا تؤمن الانتقال الجيد للاحمال. استناداً الى تحليل نتائج تقييم واقع الرصف الحالي نلاحظ انه لا بد من استبدال بنية الرصف من اجل تحمل المرور الثقيل للشاحنات و لكن يمكن الاستفادة من مواد طبقة البقايا، لذلك كان لا بد من تصميم جديد لبنية الرصف.

تصميم طبقات الرصف الجديد:

تبعا للمواصفات العالمية الخاصة و بما يراعي تحقيق الاجهادات الحدية وفقاً لمتطلبات التصميم و الحمولات المطبقة تتألف بنية الرصف الجديدة من :

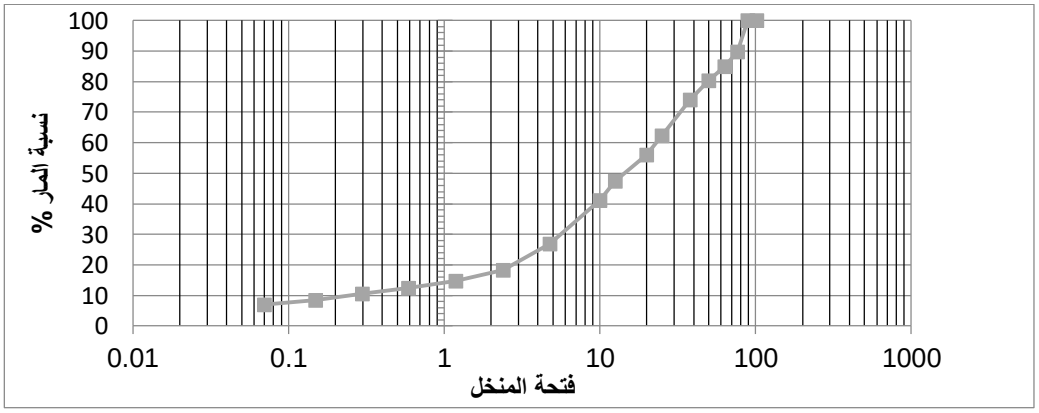
a.طبقة من البيتون المنفذ باستخدام المداحي

b.طبقة بقايا مقالع (بازلتية – كلسية ناتج مقالع يحمور)

c.طبقة مكونة من بقايا المقالع المستخدمة في الرصف السابق و محسنة بمواد مالئة لتحسين تدرجها

تم تصميم طبقات الرصف مع الاخذ بالاعتبارات التصميمة التالية :

- حمولة محور مزدوج ٥٥ طن.
- مقاومة البيتون على الانعطاف في طبقة البيتون المنفذ باستخدام المداحي لا تقل عن ٣٥ كغ/سم^{٢}
- تم الاعتماد على طريقة PCA (Potland Cement Association) في تصميم طبقة البيتون المنفذ بالمداحي.
- بهدف تأمين البنية التحتية المناسبة لطبقة البيتون المنفذ بالمداحي تم نزع طبقات الرصف الموجودة و ازالة ٣٠–٤٥ من الطبقة الغضارية و بالتالي فان منسوب التأسيس – (١٠٠–٩٠ سم)
- تم تحديد درجة الرص المناسبة للطبقة الغضارية وتم تحديد الكثافات الحقلية حيث كانت درجة الرص ٩٨%.(الكثافة الاعظمية ١,٨١ غ/سم^{٣} وفق تجربة بروكتور)
- تم تنفيذ طبقة بلوكاج بسماكة ٢٠ سم كطبقة اولى للرصف بالاستفادة من بقايا المقالع الموجودة في الرصف القديم مع مواد مالئة و دحيها بالشكل المناسب للوصول الى درجة الرص المطلوبة
- بعد دراسة المواد المقترحة لتنفيذ طبقة بقايا مقالع كطبقة ثانية تم اقتراح بقايا بازلتية كانت الكثافة الاعظمية ١,٨٧ غ/سم^{٣} و الرطوبة ١٥% و قيمة المكافئ الرملي ٤٧ يبين الشكل رقم (٢) التدرج الحبي لبقايا المقالع البازلتية و نفذت طبقة بسماكة ٣٠–٣٥ سم للحصول على مستوى – ٣٠ سم و كانت درجة الرص ٩٩%
- تم اجراء تجربة التحميل لطبقة الاساس البازلتية و كانت قيمة K_{plat}=1.51، CBR=14 فيكون k=250psi



الشكل رقم ٢ : تدرج بقايا المقالع البازلتية المستخدم في تنفيذ الرصف

يتضمن تصميم الطبقة السطحية المكونة من البيتون المنفذ باستخدام المداحي و ذلك بتحديد تصميم سماكة الطبقة بالاستناد على الاحمال المتوقعة و طبيعة التاسيس المنفذمن ثم نلجأ الى تصميم الخلطة البيتونية التي تحقق متطلبات التنفيذ

تحديد سماكة طبقة المجبول البيتوني المنفذ باستخدام المداحي :

تبعا لـ PCA تم تحديد سماكة الطبقة اللازمة لتحقيق المتطلبات التصميمية في حالة المحور المفرد مع دولاب مفرد و في حالة المحور المفرد مع دولاب مزدوج. تحدد سماكة الرصيف RCC بما يلبي الأحمال المتوقعة، مقاومة البيتون وخصائص التربة من خلال استيعاب حمولة الدواليب و الاحمال الحدية المطبقة من خلال مختلف الاشكال لتراتبية الدوليب و المحاور[8,1]. في حال كانت الساحات منفصلة في وظائف الاستخدام يتم التصميم بشكل منفصل تبعا للاحمال المطبقة، اما في حال كانت متعددة الاستخدامات فعندئذ يتم التصميم بتحديد قيمة الجهد المطبق من قبل كل حمولة و تحديد قيمة التعب لكل منها و تحديد التعب الكلي نتيجة تراكمها و التحقق بنسبة ١٠٠% ، ان هذه القيمة لا تتجاوز قيمة التعب بعد انتهاء مدة الخدمة المفترضة، كما هو معروف ان غاية الاستعمال لساحات المرفئ تختلف من سنة الى سنة و بالتالي فان استخدام هذا النوع من الرصف و بمجال الاستخدام الواسع يعزز من وجوده في هذه الحالات

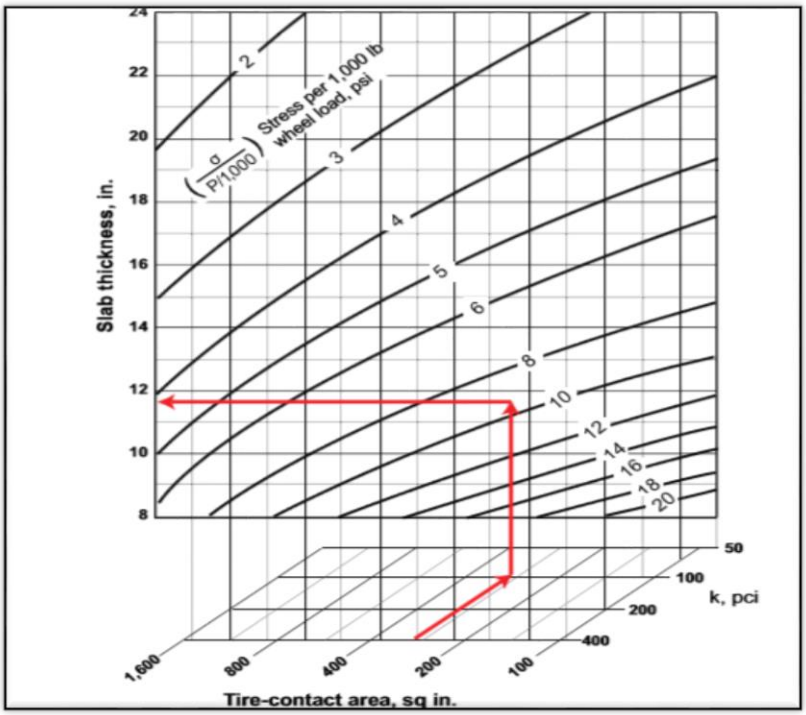
الجدول رقم ٢ يبين الاعتبارات التصميمية التي استخدمت في عملية تحديد سماكة الطبقة السطحية بالاستناد الى المخططات و الجداول المعتمدة من قبل PCA (الشكل رقم ٤،٣) و الجدول رقم ٣ و من خلال اتباع طريقة التصميم وفق PCA فان السماكة التي تلبي متطلبات التصميم و خصائص التربة هي ١١,٨ انش تؤخذ ٣٠ سم تنفذ على طبقتين وهي تلبي متطلبات American Concrete Pavement Association (ACPA)

طبيعة التحميل	محور مفرد مع دولاب مفرد	محور مفرد مع دولاب مزدوج
حمولة الدولاب	٥٤ طن	٥٤ طن
ضغط النفخ في الدولاب	690 Kpa	690 Kpa
مدة الخدمة	١٥-٢٠ (سنة)	١٥-٢٠ (سنة)
نسبة الاجهاد التصميمي	Sr=0.42	Sr=0.42
القيم الممكن الحصول عليها تبعا لتصميم الخلطة لمقاومة الانعطاف	٣٥ كغ/سم^2	٣٥ كغ/سم^2
الاجهاد المسموح	١٤,٧ كغ/سم^2	١٤,٧ كغ/سم^2
الاجهاد المسموح لكل 1000 lb	١٤) 7.06 psi/kip كغ/سم^2)	١٤) 7.06 psi/kip كغ/سم^2)
K لطبقة الاساس البازلتية مع معامل الامان المناسب	250 psi	250 psi
سطح تحميل الدولاب	٠,١٩ m^2	٠,١٦١ m^2
المسافة بين الدولالبين المزدوجين		51 cm
السماكة المحققة للشروط التصميمية	30	25

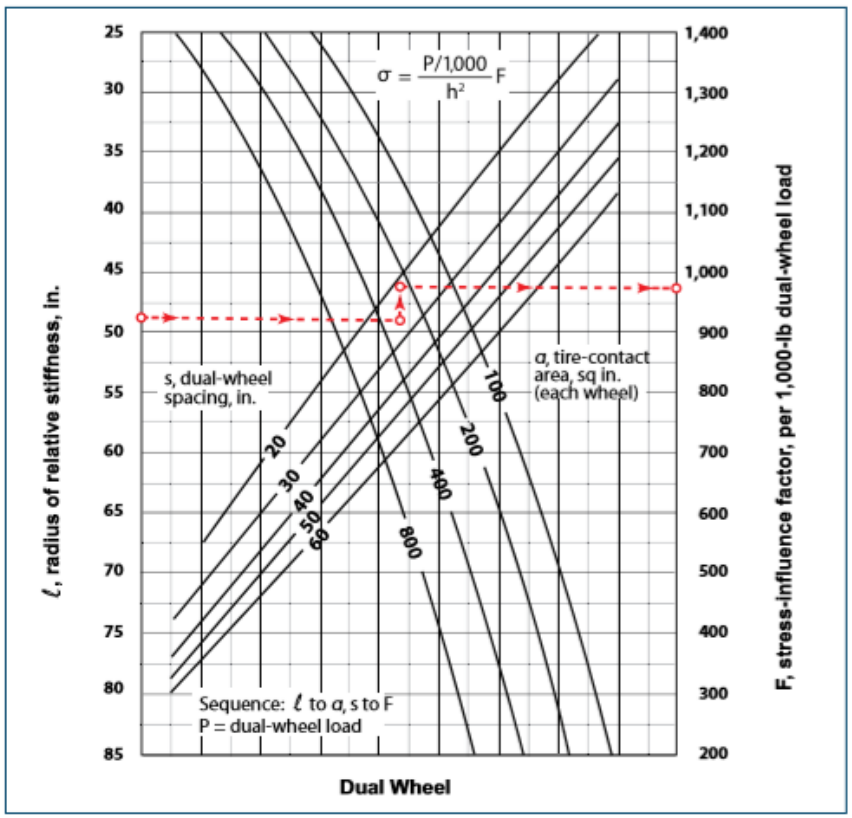
الجدول رقم ٢: الاعتبارات التصميمية في حال المحور المفرد بدولاب مفرد و دولاب مزدوج

stress ratio	allowable repetitions	stress ratio	allowable repetitions
0.41	465000	0.56	9700
0.42	360000	0.57	7500
0.43	280000	0.58	5800
0.44	210000	0.59	4500
0.45	165000	0.6	3500
0.46	130000	0.61	2700
0.47	100000	0.62	2100
0.48	76000	0.63	1600
0.49	59000	0.64	1200
0.5	46000	0.65	950
0.51	35000	0.66	740
0.52	27000	0.67	570
0.53	21000	0.68	440
0.54	16000	0.69	340
0.55	12000	0.7	260

الجدول رقم ٣ : نسبة الاجهاد المسموح



الشكل رقم ٣ : تحديد سماكة الطبقة بالاستناد الى الاجهاد المسموح لكل 1000 lb و قيمة معامل الطبقة



الشكل رقم ٤ : معامل الاجهاد الفعال تبعا لحمولة دولاب مزدوج [1]

تصميم الخلطة البيتونية:

تم تصميم الخلطة البيتونية التي تؤمن الاجهادات المطلوبة وفق التصميم الخاص بسماكة الطبقة، الجداول 4 يبين خصائص المواد المستخدمة في تصميم الخلطة و بين الشكل رقم ٥ منحني الخلطة وفق متطلبات ACI-330 [6]، حيث تم اقتراح التدرج الحبي الذي يؤمن اكتناز كبير، و تمت دراسة الاضافة التي استخدمت في تنفيذ البيتون الذي استخدم في هذه التجربة بشكل يتلائم و شروط التوريد جيث استخدمت اضافة من اجل التقليل من نسبة الماء و تأخير التصلب و هيDarcem 110 Type G و استخدمت بنسبة ١% تبعا لدراسة تصميم الخلطة[9] .

اولاً : في لبداية تم تحديد نسبة الماء المثالية وفق بروكتور و التي تحقق الكثافة الاعظمية، حيث تشير ان الرطوبة المثالية 5.75 و التي توافق كثافة اعظمية 2.32 كغ/سم^3 مع نسبة اسمنت ١٢% (الجدول رقم 5 يبين تغير قيمة المقاومات بعد ٧ ايام و الكثافات تبعاً للرطوبة) الشكل رقم ٦ يبين مراحل تحضير العينات.

ثانياً: تحديد قيمة مقاومة البيتون مع نسبة الماء المثالية و الكثافة الاعمية و بنسب اسمنت مختلفة ١٠-١٤ % يبين الجدول رقم 6 تغير المقاومة لسبعة ايام تبعا لنسبة الاسمنت .

المناخل	رمل ناعم	رمل خشن	عدسي	فولي
2"(50mm)				100
1 1/2"(38.1mm)				99
1"(25mm)				91
3/4"(20mm)				59
1/2"(12.5mm)			100	2.03
3/8"(10mm)	100	100	65	0
NO.4	100	73	4	0
NO.8	99.70	42.53	0.90	0
NO.16	99.59	30	0	0
NO.30	97.4	20	0	0
NO.50	52	13	0	0
NO.100	19	10	0	0
NO.200	5.20	7.53		
مكافئ رملي	٥٢	٧٠	----	----
لوس انجلوس			**20.2**	**20.2**
وزن نزعي	**2.72**	**2.80**	**2.78**	**2.79**
وزن حجمي	**1.52**	**1.64**	**1.39**	**1.37**
تشرب	**3.66**	**4.21**	**1.70**	**1.29**

الجدول رقم ٤ : تدرج الحصويات متوسطة الخشونة (البحص الفولي)

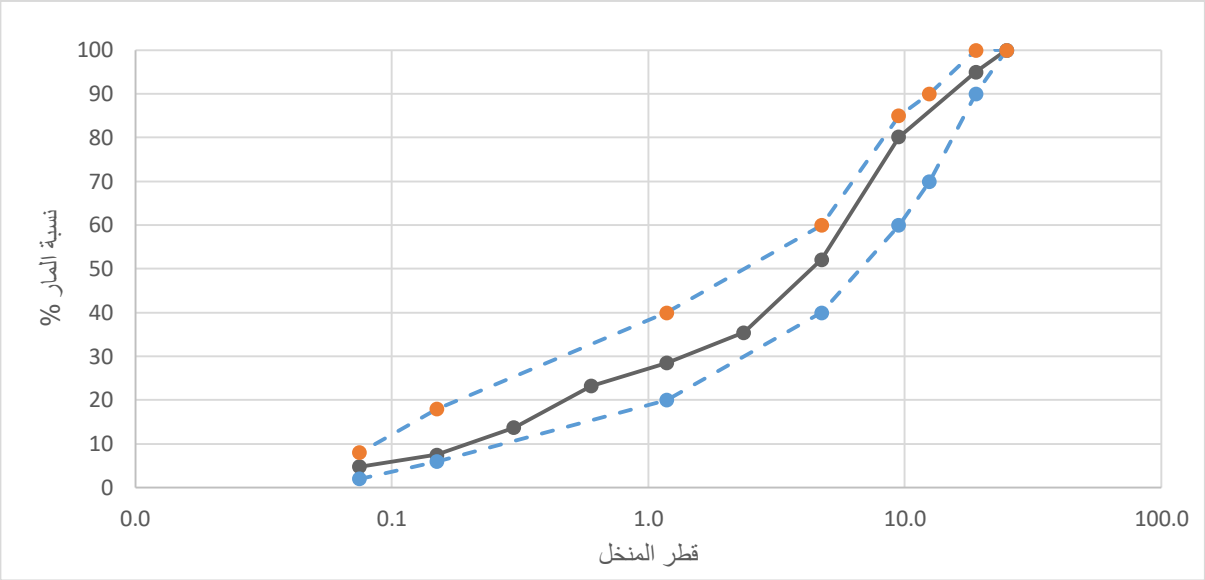
الرطوبة	4.6	5.1	5.7	6.8	7.4
الكثافة (Kg/cm^3)	2.249	2.308	2.321	2.296	2.273
المقاومة ٧ ايام (كغ/سم٢)	168.7	205.٣	293.6	194.٣	183.7

الجدول رقم ٥ : تغير قيمة المقاومات بعد ٧ ايام و الكثافات تبعاً للرطوبة من اجل نسبة اسمنت ١٢%

الشكل رقم ٦: تصميم الخلطة الخاصة بالبيتون المنفذ باستخدام المداحي

نسبة الاسمنت %	١٠	١٢	١٤
المقاومة ٧ ايام (كغ/سم٢)	٢٦٥	293.٦	٣١6

الجدول رقم ٦ : تغير قيمة المقاومات بعد ٧ ايام تبعا لنسبة الاسمنت مع الكثافة الاعظمية.

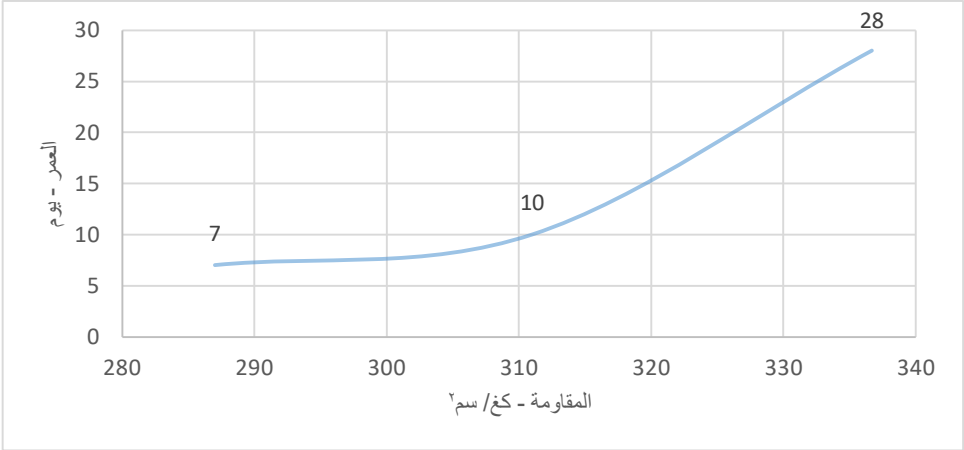


الشكل رقم ٥ : تدرج الخلطة البيتونية المستخدم في الدراسة مع حدود المواصفة

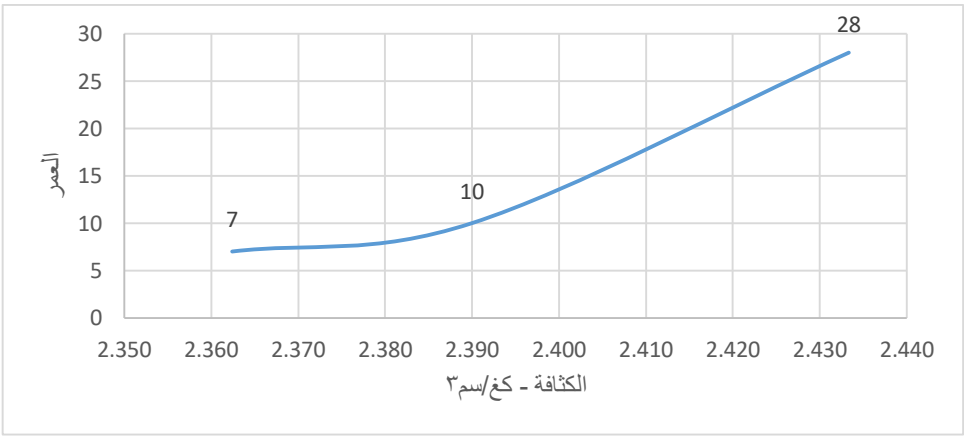
رابعاً تنفيذ الساحة (مدخل المرفأ الشرقي)

بهدف الوقوف على الخصائص بشكل اوسع للبيتون المنفذ بالمداحي تم الاعداد لتنفيذ منطقة على المدخل الشرقي بمساحة ٥٠٠ م^{٢}

- تم اعداد الخلطة في مجبل فرع الانشاءات العسكرية.
- الاعداد مع ادارة الانشاءات لتأمين متطلبات تنفيذ ساحة في المرفأ.
- خطة الانتاج لتأمين استمرارية العمل خلال تنفيذ طبقة البيتون المنفذ بالمداحي RCC حيث تم دراسة التوريد مع قسم الانتاج وتبعا للدراسة تم تحديد ٤ ساعات لتنفيذ الساحة بما يراعي الشروط التصميمية و التنفيذية.
- اعداد موقع العمل و ترطيب طبقة الاساس قبل تنفيذ طبقة RCC.
- فرش طبقة RCC ورص البيتون باستخدام المداحي المناسبة للحصول على درجة الرص المطلوبة حيث تم تنفيذ البيتون على ثلاث طبقات لعدم تحقيق ذلك بطبقتين تبعا للتصميم بسبب عدم تلبية ذلك باستخدام الة الرصف المتوفرة وتمت العناية بشكل مباشر بعد الانتهاء من تنفيذ الخلطات و تنفيذ فواصل عرضية تبعا للمتطلبات الفنية كل ٦ م لاستيعاب التقلصات الناتجة عن الانكماش بسماكة ٢٥% من سماكة الطبقة.
- تم اخذ جزرات على عمر ٥ ايام لتحديد الكثافة للتأكد من درجة الرص (جزرات قطر ٤,٧) كما تم اخذ جزرات على عمر ٧ ايام بغية تحديد خواص البيتون المنفذ (المقاومة و الكثافة، السماكة ....) حيث تم اخذ ١٠ جزرات، حددت السماكة الوسطية لها وهي ٢٩,٥ ومن ثم تم تحديد مقاومة الانضغاط و كثافة البيتون على عمر ٧ و ١٠، ٢٨ يوم كما هو موضح بالشكل رقم ٩،٨ كما هو واضح بان قيم المقاومة اعلى من المقاومة التصميمية و ان الكثافة ازدادت مع العمر و خصوصا بعد ٢٨ يوم نتيجة استمرار عملية الهدرتة للبيتون تم تحديد مقاومة الانعطاف و تشير التجربة الى ان المقاومة للانعطاف على عمر ٧ هي 3.8 MPa و 5.2 MPa على عمر ٢٨ يوم و هي اعلى من القيمة التصميمية.



الشكل رقم ٨ : تطور مقاومة الانضغاط للبيتون المنفذ بالمداحي تبعا لعمر الرصف



الشكل رقم ٩ : كثافة البيتون المنفذ بالمداحي تبعا لعمر الرصف

اعداد طبقة الاساس (ترطيب) قبل تنفيذ طبقة البيتون المنفذ بالمداحي

تنفيذ الخلطات البيتونية في مجابل الانشاءات العسكرية – طرطوس

بعض المعدات المعدات المستخدمة في التنفيذ

استخدام الشاخنات في نقل البيتون من المجابل

دحي البيتون بشكل مباشر بعد فرشه باستخدام المدحلة الملساء وزن ١٤ طن و رج الطبقة

مد البيتون بالمدادة المستخدمة لفرش الاسفلت

استخدام الخيش للعناية بالبيتون بعد الانتهاء مباشرة

دحي البيتون بالمدحلة المطاطية للحصول على اكتناز اكبر و سطح اكثر استوائية

تنفيذ فواصل عرضية للبيتون بعمر ١٢ ساعة (يظهر المقطع الصلب للبيتون المنشور و سطح البيتون المكتنز)

المحافظة غلى الترطيب المستمر (عمر البيتون لا يتجاوز العشر ساعات)

اعداد الجزرات البيتونية من طبقة البيتون المنفذ للقيام بالتجارب اللازمة لتحديد خصائص البيتون

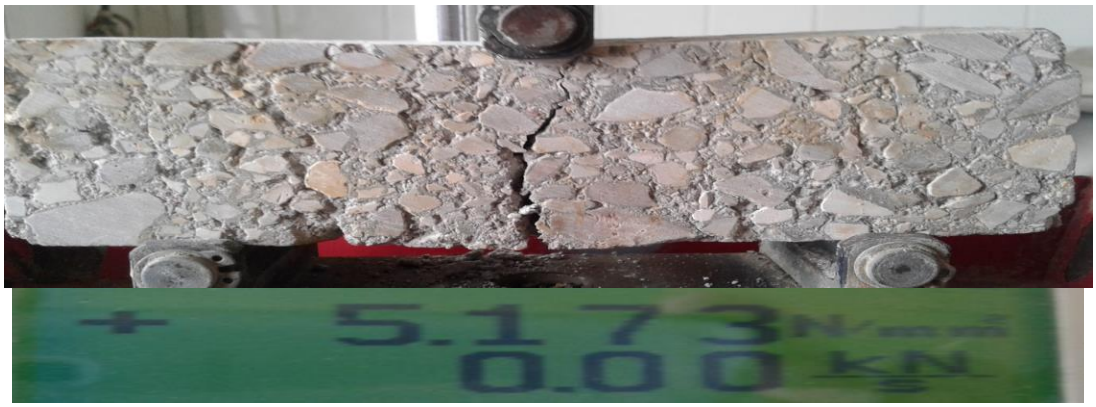
اخذ الجزرات البيتونية من طبقة البيتون المنفذ

الشكل رقم ٧ : مراحل تنفيذ الرصف المنفذ بالمداحي

تجربة الضغط لعينة البيتون

سطح الانهيار لتجربة ضغط عينة البيتون

الشكل رقم ٨: تحديد مقاومة البيتون المنفذ بالمداحي



الشكل رقم ٩ : تجربة الانعطاف للعينة الماخوذة من البيتون المنفذ

تقييم اداء الرصف المنفذ

بهدف الاستفادة القصوى من تجربة البيتون المنفذ بالمداحل على المدخل االشرقي لمرفأ طرطوس تم تقييم الرصف بعد مرور ١٨ يوم من التنفيذ و على عمر ٦٠ يوم. يشمل التقييم مراقبة ظهور التشوهات و تطورها و دراسة و تحليل النتائج بهدف الوصول الى اسس التنفيذ السليمة. يبين الشكل ١٠صور الرصف بعد السماح بمرور الشاحنات الثقيلة بعد ١٨ يوم من التنفيذ، و من مشاهدة و مراقبة سطح الرصف تبين مقاومة جيدة جدا للاحمال المطبقة من الشاحنات بدون ظهور اي تشوهات للرصف (حمولة الشاحنة تجاوزت ٨٠ طن) و لم يتم لحظ اي تشققات سطحية، تم حقن الفواصل بمعجونة اسفلتية لمنع توسعها و تخريب حوافها (الشكل رقم 11)

الشكل رقم 10: حالة الرصف على عمر ١٨ يوم و حمولة الشاحنات بحمولات ٨٠ طن

حالة الفواصل بعد حقنها بمعجونة اسفلتية حالة الفواصل قبل حقنها بمعجونة اسفلتية

الشكل رقم 11: تنفيذ الفواصل في الرصف RCC

بعد تقييم حالة الرصف بعمر ٦٠ يوم، فان الرصف اظهر مقاومة جيدة جدا للاحمال المطبقة من الشاحنات بدون ظهور اي تشوهات على بنية الرصف (هبوطات) (الشكل رقم ١٢) و قد تم ملاحظة ظهور شقوق سطحية صغيرة الاتساع في بعض الاماكن المحصورة من الرصف خاصةً في الحد الفاصل بين حارتي المرور (الشكل رقم ١٣) وهي ناتجة عن ضعف الالتصاق بين الطبقات في بعض المناطق على هذا الحد كنتيجة للتأخير في توريد البيتون و تجاوز المدة المسموحة تبعا لخطة العمل وهي ان لا تتجاوز المدة الزمنية بين البيتون القديم الجديد و المنفذ ساعة منعا لحدوث فاصل بارد وهذا ما يجب تجنب حدوثه في تنفيذ الرصف مستقبلاً. ان ظهور حالة بداية تفكك جزئية في اماكن لا تتجاوز ١م^2 على الطبقة السطحية تعزى الى ان البيتون المستخدم في هذه المنطقة تحديداً قد نفذ بشروط غير طبيعية (مرور ثلاث ساعات على تنفيذه من بداية الخلط) مما اضعف تماسكه و لم تلاحظ هذه المشكلة على بقية الرصف مما يدل على الاداء الجيد للبيتون و هذا الاستنتاج تدعمه نتائج الاختبارات.

الشكل رقم ١٢: حالة السطح في اغلب مناطق الرصف (٦٠ يوم)

الشكل رقم ١٣ : ظهور شقوق سطحية شعرية في اماكن محدودة

و للملاحظة فان تنفيذ الرصف قد استمر ١٢ ساعة نتيجة صعوبات ناتجة عن التنفيذ لاول مرة و صعوبة ايصال البيتون الى موقع العمل بدلاً من ٤ ساعات تبعا لخطة العمل). بالمقارنة مع بلاطات البيتون العادي فان التشققات الصغيرة تبقى اقل في هذا النوع من الرصف، و يجب مراقبة التشوهات الموضعية الحاصلة و اتخاذ طريقة الصيانة المناسبة كما يجب تنفيذ المراقبة الدورية للرصف من اجل تحديد حالة الرصف و تحليل المشاكل الحاصلة لتحديد الاسباب، تمت عملية الصيانة بالطريقة المناسبة باستخدام مواد RCC و الاضافات المناسبة ضمن مدة زمنية قصيرة (٧ ايام تنفيذ و عناية للبيتون) لم تؤثر على حركة الشاحنات.

الاستنتاجات و التوصيات :

١–تم تقييم استخدام الرصف المنفذ بالمداحي RCC في انشاء طبقات الرصف في منطقة خروج الشاحنات الثقيلة من مرفأ طرطوس، حيث تم دراسة الرصف وفق اسس التصميم العالمية، و تم تنفيذ الرصف و تقييم خصائصه و تأديته. تشير النتائج للجزرات التي اخذت من جسم الرصف بان مقاومة الضغط و الانعطاف جيدة و تلبي متطلبات التصميم، مع ملاحظة ازدياد قيمة الكثافة مع العمر بعد ٢٨ يوم نتيجة استمرار عملية الهدرتة و تطور بنية البيتون .

٢–ان عملية المراقبة لاداء الرصف اظهرت مقاومة جيدة جداً للاحمال المطبقة من الشاحنات الثقيلة حيث تم السماح بمرور بعد ١٨ يوم و الى عدم ظهور اي تشوهات على بنية الرصف مع ملاحظة ظهور شقوق سطحية صغيرة ناتجة عن خلل في عملية توريد البيتون لا تؤثر على متانة الرصف المنفذ.

٣– يتمتع الرصف RCC بخصائص مقاومة عالية مما يجعله مادة انشاء مثالية لتنفيذ الرصف في المرافئ مع مرور الشاحنات الثقيلة كما انه يعتبر خياراً فعالاً من ناحية التكلفة – التأدية.

٤–يوصى بالمراقبة المستمرة و الدورية لاجراء الصيانة المناسبة و تحديد سلوك الرصف و تحليل تأديته بهدف وضع قواعد التنفيذ المناسبة لاحقا التي يتم اعدادها من قبل نقابة المهندسين.

المراجع

[١] Dale Harrington, *Guide For Roller-Compacted Concrete Pavements* SN298, National Concrete Pavement Technology Center, Ames, IA, August 2010.

[2] *Roller-Compacted Concrete Pavements as Exposed Wearing Surface* Version 1.2 – September 4, 2014

[3] American Concrete Institute, "*State-of-the-Art Report on Roller-Compacted Concrete Pavements*", ACI 325.10R-95, 1995Subgrades and Subbases for Concrete Pavements" EB204P, American Concrete Pavement Association, Rosemont, IL, 2007.

[4] European ready mix concrete organisation ERMCO *Guide to roller compacted concrete for pavements* April 2013

[5] Gregory E. Halsted, P.E. Roller Roller-Compacted Concrete Pavement: Compacted Concrete Pavement: Design and Construction November 3, 2005 Atlanta, Georgia

[٦] American Concrete Institute, "*Design_Guide_for_Concrete_Parking_Lots*", ACI ٣٣٠.10R-95,

[7] Yoon-moon Chun, Tarun R. Naik, and Rudolph N. Kraus *Roller-Compacted Concrete Pavements* Report No. CBU-2008-03, Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science The University Of Wisconsin

[8] Portland Cement Association, Structural Design of Roller-Compacted Concrete for Industrial Pavements, IS 233, Skokie, Il. 1987.

[9] Marchand, J., Gagne, R., Ouellet, E., and Lapage, S., "Mixture Proportioning of Roller Compacted Concrete – A Review, Advance in Concrete Technology, Proceedings of the Third CANMET/ACI International Conference, SP 171, Auckland, New Zealand, pp 457-485, 1997.