دراسة في تثبيت تربة المطارات ذات الرصف المرن: تحليل حالة مطار القامشلي

إشراف: د.داليا اولاد إعداد الطالب: حسن إبراهيم قيروط

الملخص:

تُعد تربة التأسيس أحد العناصر الأكثر حسماً في تصميم وإنشاء مدارج المطارات، إذ تؤثر خواصها الميكانيكية والفيزيائية تأثيراً مباشراً في أداء الرصف وعمره التشغيلي وسلامة الحركة الجوية. يهدف هذا البحث إلى استعراض شامل لطرق تثبيت تربة المطارات ذات الرصف المرن، مع تحليل مقارن للتقنيات المستخدمة عالمياً والمطبقة في الجمهورية العربية السورية، ودراسة حالة مطار القامشلي كنموذج تطبيقي وفق المنهجية الروسية في تصميم الرصف. اعتمد البحث على المراجع العالمية المعتمدة في تصميم الرصف في المطارات، بما في ذلك مراجعICAO ، FAA، AASHTO، بالإضافة إلى المراجع الكلاسيكية في هندسة التربة والرصف. بينت النتائج أن التثبيت الكيميائي بالجير والبوزولانا يمثل حلاً اقتصادياً وفعالاً للترب الطينية المنتشرة في سوريا، وذلك لتوافر مادتي الجير والبوزولانا طبيعياً، وقدرتهما على تكوين مركبات إسمنتية تزيد التماسك وتحسن البنية المجهرية للتربة. كما أظهرت الدراسة أن استخدام الإسفلت المعدل بـ SBS يحسن الأداء الإنشائي بشكل ملحوظ، إذ حقق سمكاً أقل وسهماً نسبياً مقبولاً مقارنة بالإسفلت التقليدي، مع نسبة اقتصادية أفضل. أوصى البحث بضرورة إجراء دراسات جيوتكنيكة شاملة، والالتزام بالمعايير الدولية، وتحسين أنظمة الصرف، ودعم الأبحاث المحلية في هذا المجال.

الكلمات المفتاحية :تثبيت التربة، الرصف المرن، مطار القامشلي، الطريقة الروسية، الجير، البوزولانا، CBR، الإسفلت المعدل، ICAO.

Study on Soil Stabilization of Flexible Airport Pavements: A Case Analysis of Qamishli Airport

Abstract

Subgrade soil is one of the most critical elements in the design and construction of airport runways, as its mechanical and physical properties directly affect pavement performance, service life, and air traffic safety. This research aims to provide a comprehensive review of soil stabilization methods for flexible airport pavements, with a comparative analysis of techniques used globally and applied in the Syrian Arab Republic, and a case study of Qamishli Airport following the Russian methodology for pavement design. The research relied on internationally recognized references for airport pavement design, including ICAO, FAA, and AASHTO references, as well as classical references in geotechnical and pavement engineering. The results showed that chemical stabilization with lime and pozzolana represents an economical and effective solution for the clayey soils prevalent in Syria, due to the natural availability of lime and pozzolana and their ability to form cementitious compounds that increase cohesion and improve the soil's microscopic structure. The study also demonstrated that the use of SBS-modified asphalt significantly improves structural performance, achieving lower thickness and acceptable relative deflection compared to conventional asphalt, with a better economic ratio. The research recommended conducting comprehensive geotechnical studies, adhering to

international standards, improving drainage systems, and supporting local research in this field.

Keywords: Soil Stabilization, Flexible Pavement, Qamishli Airport, Russian Method, Lime, Pozzolana, CBR, Modified Asphalt, ICAO.

1.مقدمة:

شهد قطاع الطيران المدني منذ بداياته الأولى وحتى يومنا هذا تطوراً هائلاً غير مسبوق، إذ تحول من مجرد محاولات فردية للتحليق في السماء إلى صناعة عالمية عملاقة تربط بين القارات وتنقل الملايين من الركاب والأطنان من البضائع يومياً. يعود تاريخ الطيران إلى محاولات الإنسان القديم محاكاة الطيور، مروراً بمحاولة عباس بن فرناس في القرن التاسع الميلادي، واختراع المنطاد على يد الأخوين مونغوليه عام ١٧٨٣كما في الشكل (1)، ثم تطورت الطائرات الشراعية في مطلع القرن التاسع عشر، وانتهت بصناعة طائرات نفاثة عملاقة قادرة على قطع المسافات الشاسعة بسرعة وأمان فائقين كما في الشكل (2) . ومع هذا التطور المتسارع، أصبحت المطارات عنصراً حيوياً في البنية التحتية للنقل العالمي[1].

النقوش والرسومات الفرنسية القديمة (1)

الموقع الرسمي لشركة أيرباص(2)

لعبت منظمة الطيران المدني الدولي (ICAO) دوراً محورياً في تنظيم هذا القطاع، إذ وضعت المعايير والقوانين التي تضمن سلامة الطائرات والرحلات الجوية، وسهلت حركة النقل الجوي بين الدول. تأسست المنظمة عام ١٩٩٤ في شيكاغو ضمن ٥٢ دولة، ووقعت عليها سوريا كما تساهم المنظمة في وضع معايير موحدة لتشغيل المطارات ومراقبة الحركة الجوية وتدريب الطيارين والفنيين، وتلعب دوراً مهماً في تعزيز التعاون الدولي لضمان تدفق الركاب والبضائع بكفاءة وتقليل الحوادث الجوية[2].

- تعد تربة التأسيس من أكثر العناصر حسماً في تصميم وإنشاء مدارج المطارات، إذ أن ضعفها أو عدم استقرارها قد يؤدي إلى هبوط غير منتظم، وتشققات، وفشل هيكلي مبكر مع الأحمال المتكررة للطائرات. وقد بينت الدراسات أن الرصف المرن للمطارات يتعرض لأحمال ديناميكية عالية ومتنوعة أثناء هبوط وإقلاع الطائرات، تختلف عن الأحمال على الطرق التقليدية من حيث حجمها، وتكرارها، وموقعها على المقطع

العرضي للرصف[3]. ولذلك، يعد تثبيت التربة خطوة أساسية لزيادة قدرة التحمل، وتقليل الهبوط، وتحسين الاستقرار العام، وتقليل تأثير المياه والرطوبة، وإطالة عمر المدرج [4].

يهدف هذا البحث إلى استعراض شامل لطرق تثبيت تربة المطارات ذات الرصف المرن، مع تحليل مقارن للتقنيات المستخدمة عالمياً والمطبقة في الجمهورية العربية السورية، ودراسة حالة مطار القامشلي كنموذج تطبيقي وفق المنهجية الروسية في تصميم الرصف، والخروج بتوصيات عملية تساهم في تحسين أداء مدارج المطارات السورية وإطالة عمرها التشغيلي.

2.خلفية نظرية وتصنيفات أساسية:

1.2.تصنيف المطارات ومعايير التصميم:

صنفت منظمة الطيران المدني الدولي (ICAO) المطارات وفق أكواد تعبر عن طول المدرج وقوة تحمل الرصف، حيث تستخدم رموزاً حرفية (A-G) للإشارة إلى طول المدرج، ورموزاً رقمية (١-٧) للإشارة إلى قوة تحمل الرصف[2]. وقد وضعت المنظمة الأسس المختلفة لكل نوع من هذه المطارات، حيث يتم تقسيم المطارات إلى أنواع مختلفة حسب عدد الطائرات وحجم المطار والخدمات التي يؤديها للطيران الدولي والمحلي تعرف المنظمة المطار بأنه "سطح محدد على الأرض أو الماء بما في ذلك أي مبان أو منشآت أو تجهيزات مخصصة كلياً أو جزئياً لوصول الطائرات ومغادرتها وتحركها على السطح. وتشمل أنواع المطارات: المطارات الخاصة بمصانع الطائرات، والمطارات المائية، ومطارات الطائرات العمودية (الهليكوبتر) التي تشمل المهابط الأرضية، وفوق المباني، والعائمة [3].

2.2.اختيار موقع المطار:

يعد اختيار موقع المطار من أهم المراحل في تخطيط مشاريع الطيران، إذ يتطلب إجراء مجموعة من الدراسات والأبحاث الدقيقة لضمان تحقيق السلامة والكفاءة التشغيلية وتقليل التأثيرات البيئية والاقتصادية[4]. تشمل هذه الدراسات: التعرف على نوع وطبيعة التربة، ودراسة المياه الجوفية، ودراسة الأحوال الجوية، وشدة الرياح، ودراسة مصادر المياه والكهرباء، ودراسة المناطق المحيطة خارج المطار، ودراسة المحاجر القريبة، ودراسة طرق المواصلات وقد وجدت الدراسات أنه إذا زاد مستوى ضغط الضوضاء عن ١٠٠ ديسبل، تعتبر المنطقة غير صالحة للسكن، وذلك للتأثير على القدرة السمعية والعصبية للسكان. وقد اقترحت إدارة الطيران الفيدرالية (FAA)حدوداً معينة حول ممر الهبوط والإقلاع لتجنب إقامة أي تجمعات سكنية داخلها. ويجب اختيار الموقع بعيداً عن المناطق السكنية، مع مراعاة تقليل وقت الوصول للمطار المدني[3].

3.2.وردة الرياح واختيار اتجاه الممر:

تعد وردة الرياح أداة أساسية في مجال الطيران، حيث تستخدم لتمثيل اتجاهات الرياح وتوزيعها في موقع معين مثل المطارات تساعد هذه الأداة الطيارين ومراقبي الحركة الجوية على فهم سلوك الرياح واتجاهها مما يساهم في اتخاذ قرارات آمنة أثناء الإقلاع والهبوط. في الطيران، يفضل الإقلاع والهبوط عكس اتجاه الرياح (مواجهة الرياح) لأن ذلك يمنح الطائرة قوة رفع أفضل ويقلل من سرعة الإقلاع والهبوط[2]. وبعد رسم وردة الرياح، يتم تحديد الاتجاه الذي يحقق تغطية ٩٥٪ أو أكثر من نسب هبوب الرياح، وإذا لم يتحقق ذلك يتم اختيار اتجاهين متعامدين أو متقاطعين لتأمين هذه النسبة ولكل طائرة قوة احتمال معينة لمركبة الهواء العمودية، وتختلف باختلاف حجم الطائرة (صغيرة ١١ ميل/ساعة، متوسطة ٢٤ ميل/ساعة، كبيرة ٣٥ ميل/ساعة) [3].

4.2. مناطق الأمان للطائرات:هي مساحات هندسية تصمم حول المدرج وممرات الطيران بهدف حماية الطائرات والركاب والمعدات في حالات الخروج عن المسار أو الطوارئ أثناء الإقلاع والهبوط، وتعتبر جزءاً أساسياً من تصميم أي مطار وفق معايير السلامة الدولية من هذه المناطق: منطقة الاقتراب (Approach Area)التي تمتد أمام المدرج في اتجاه الهبوط، وسطح الانتقال (Transitional Surface) المائل الذي يمتد جانباً من حواف المدرج، والسطح الأفقي (Horizontal Surface) التخيلي على ارتفاع ثابت فوق المطار (نصف قطره ٤ كم)، والسطح المخروطي (Conical Surface) المائل الذي يحيط بالمطار من الخارج بميل ١:٢٠ وارتفاع ١٠٠ متر للمطارات A,Bو ٥٠ متر للمطارات[3] C,D,E

5.2. خصائص الطائرة وتأثيرها على تصميم الرصف:

تؤثر أبعاد الطائرة، ووزنها، وتوزيع أحمالها، وسرعتها، وقوة دفعها بشكل مباشر في تصميم الرصف يجب على المهندس المدني معرفة الخصائص الرئيسية التالية: وزن الطائرة (الوزن الفارغ، الوزن التشغيلي، الحمولة، وزن الوقود، الوزن الكلي عند الإقلاع)، وتوزيع الأحمال، وطول الإقلاع والهبوط، وسرعة الطائرة، وقوة الدفع والعادم، وأبعاد الطائرة، ومتطلبات السلامة [3] كما أن نظام انتظار الطائرات على الساحة (Apron) يحدد المسافات بين المواقف وفق نصف قطر الدوران، ويعتمد عدد المواقف على سعة المطار وزمن بقاء الطائرة وتستخدم إدارة الطيران الفيدرالية (FAA) جداول لتحديد السعة العملية للممرات في التصميم للمدى البعيد، وتصنف الطائرات إلى صغيرة ومتوسطة وكبيرة وفق نسب تنوعها في الحركة الجوية [4].

3. طرق تثبيت تربة المسار عالميا والأكثر استخداما :

تعد تقوية تربة المسار خطوة أساسية في تصميم وإنشاء مدارج المطارات، لأن التربة الضعيفة قد تؤدي إلى هبوط غير منتظم أو تشققات أو فشل هيكلي مع الأحمال المتكررة للطائرات يهدف تثبيت التربة إلى زيادة قدرة التحمل، وتقليل الهبوط، وتحسين الاستقرار العام، وتقليل تأثير المياه والرطوبة، وإطالة عمر المدرج[5].

1.3.التثبيت الفيزيائي:

هو تحسين خواص التربة دون إضافة مواد كيميائية رئيسية، وذلك عبر تغيير حالتها الفيزيائية مثل الكثافة أو الرطوبة أو الحرارة يشمل التثبيت الفيزيائي: الدمك (الأكثر شيوعاً لزيادة الكثافة وتقليل الفراغات) والتجفيف أو التحكم بالرطوبة، والتثبيت الحراري، والتجميد المؤقت للتربة [6].

2.3.التثبيت الكيميائي:

هو تحسين خواص التربة بإضافة مواد كيميائية تساعد على زيادة القوة وتقليل الانتفاخ والرطوبة و قدرة التحمل[5]

1.2.3.التثبيت بالأسمنت:

يعد من أهم التقنيات المستخدمة في إنشاء وتطوير مدارج الطيران والطرق الحديثة، حيث يتم إضافة نسبة محددة من الأسمنت والماء إلى التربة أو الركام، ثم خلطها وضغطها جيداً لتكوين طبقة صلبة ذات مقاومة عالية. تكمن أهميته في تحسين السلامة ومقاومة العوامل البيئية وتحمل الأحمال الثقيلة تتراوح نسب الأسمنت المضافة للتربة عادة بين ٥-١٤٪ حسب نوع التربة [6].

2.2.3.التثبيت بالجير:

يعد الجير الحل الأساسي والأكثر شيوعاً في سوريا، وذلك بسبب وفرة الجير، ويستخدم خصوصاً مع الترب الطينية. يستعمل الجير للتقليل من اللدونة والانتفاخ، وكذلك يحسن مقاومة القص والضغط ويحسن قيمة CBR (قدرة التحمل) تتراوح كمية الجير اللازمة لتعديل التربة الطينية بين ١-٣٪، بينما النسبة المطلوبة للتماسك بين ٢-٨٪ تعالج التربة الطينية بالجير من خلال تفاعلات البوزولانا، حيث يتفاعل الجير مع معادن الطين لتكوين مركبات أسمنتية قوية (سيليكات وكربونات الكالسيوم) تزيد من قوة التربة وتماسكها مع الحد من الانتفاخ والانكماش [5].

3.2.3.التثبيت بالإسفلت:يستخدم الإسفلت لتحسين التماسك والمقاومة للماء، ويمكن إضافته للتربة على شكل مستحلب أو إسفلت مخفف. يجب أن يقتصر التثبيت بالإسفلت في المطارات على التربة ذات الطبيعة الحبيبية، حيث يعمل كعامل ربط يزيد من مقاومة القص ويقلل من نفاذية الماء [6].

4.2.3.التثبيت بالمواد البوليمرية والأملاح:

تمثل البوليمرات تقنية حديثة في تثبيت التربة، حيث تعمل على تحسين خواص التربة الميكانيكية من خلال تكوين أغشية رقيقة حول الحبيبات تزيد من تماسكها ومقاومتها للماء كما تستخدم بعض الأملاح والمواد الكيميائية الخاصة في الترب المنتفخة لتقليل ميلها للانتفاخ[7] .

3.3التثبيت بالألياف:

يعد التثبيت بالألياف طريقة لتحسين خواص التربة عن طريق خلطها بألياف صناعية أو طبيعية تعمل على زيادة التماسك ومقاومة التشقق، حيث تعمل الألياف كشبكة تسليح تربط الحبيبات وتوزع الإجهادات تشمل أنواع الألياف: الصناعية (بولي بروبيلين، بولي إيثيلين)، والطبيعية (جوز الهند، السيزال)، والمختلطة [8].

4.3.التثبيت البيولوجي للتربة:

هو تحسين خواص التربة باستخدام كائنات حية أو مواد طبيعية حيوية لزيادة التماسك وتقليل الانجراف والتعرية وتحسين الاستقرار يشمل التثبيت بالنباتات (الجذور)، والتثبيت البكتيري (إنتاج الكالسيت)، والمواد العضوية[7].

5.3.من أهم الطرق التثبيت المستخدمة في سوريا:

- **التثبيت بالجير**: الحل الأساسي والأكثر شيوعاً بسبب وفرة الجير، يستخدم مع الترب الطينية لتقليل اللدونة والانتفاخ وتحسين[5] CBR .
- **التثبيت بالأسمنت:** يستخدم في المشاريع الكبيرة لتحقيق مقاومة عالية للأحمال الثقيلة[6] .
- **التثبيت بالألياف**: يستخدم لتدعيم التربة أو الخلطات الإسفلتية والخرسانية لزيادة مقاومة الشد والتشقق [8].
- **تثبيت الجير مع البوزولانا:** طريقة مميزة في سوريا بسبب توافر البوزولانا الطبيعية (رماد البركان)، حيث يؤدي خلط الجير مع البوزولانا إلى تكوين مواد أسمنتية داخل التربة تحسن البنية المجهرية بشكل كبير [5].
- **الأعمدة الحجرية والإحلال الجزئي**: تستخدم في المشاريع الكبيرة أو التربة الضعيفة جداً لتحسين قدرة التحمل وتقليل الهبوط [9] .
- **الحلول المركبة:** غالباً ما يتم الدمج بين الدمك، الجير، البوزولانا، وتحسين الصرف، خاصة في التربة المنتفخة [7].
- **التحكم بالمياه والصرف:** تشمل تخفيض منسوب المياه الجوفية، وإنشاء طبقات تصريف، ومنع تسرب المياه، وهو أمر بالغ الأهمية بسبب حساسية التربة الطينية للماء[4].
- -تعد طريقة التثبيت بالجير والبوزولانا الحل الأفضل والأكثر اقتصادية في سوريا لأنها تعطي قوة عالية، وتقلل مشاكل التربة، ومناسبة للأحمال الكبيرة في مدارج المطارات، وموادها متوافرة محلياً، وتقلل سماكات الطبقات العليا، ولها عمر طويل[5].

المعيار	التثبيت بالجير	الجير + البوزولانا	التثبيت بالإسمنت	الأعمدة الحجرية	الإحلال الجزئي	الصرف (تحسين المياه)
التشغيلية (سهولة التنفيذ)	متوسطة (تحتاج خلط وضبط رطوبة)	متوسطة إلى معقدة (خلط مزدوج + زمن معالجة)	سهلة نسبياً لكن تحتاج ضبط دقيق	معقدة (معدات خاصة)	سهلة (حفر واستبدال)	سهلة إلى متوسطة
اليد العاملة	متوسطة	متوسطة	قليلة إلى متوسطة	قليلة (آلية)	عالية	قليلة
قيمة CBR التقريبية	20% – 80%	قد تصل لزيادة كبيرة جداً (حتى 5 – 10 أضعاف التربة الأصلية)	50% – 150%+	30% – 100% (تحسين غير مباشر)	80% – 200%	تحسين غير مباشر (CBR يزداد بسبب جفاف التربة)
درجة الرص الحقلية (نسبة من بروكتور المعدل)	95% – 98%	95% – 100%	98% – 100%	لا تعتمد على الرص فقط	95% – 100%	يحافظ على درجة الرص
الاقتصادية (التكلفة)	جيدة (مواد متوفرة محلياً)	ممتازة (مواد محلية ورخيصة)	ضعيفة (تكلفة عالية)	متوسطة	ضعيفة إلى متوسطة	ممتازة (تكلفة منخفضة)

- **4.طرق تصميم الرصف المرن**

1.4.الأكواد والمراجع العالمية

تعتمد طرق تصميم الرصف المرن على مجموعة من الأكواد والمراجع العالمية، من أشهرها:

- **AASHTO**: دليل تصميم الرصف وإصدار ١٩٩٣ [10].
- **FAA**: إصدار AC 150/5320-6G لإرشادات تصميم وتقييم الرصف المطاري[4].
- **Asphalt Institute**: دليل MS-1 و MS-17 لتصميم الرصفات الإسفلتية[10].
- **المواصفات البريطانية** DMRB [9] :
- **TRB**: منهجيةMEPDG

في سوريا، غالباً ما يُرجع إلى المواصفات القياسية السورية للطرق والجسور، ومتطلبات وزارة الأعمار، ومواصفات المشروع الخاصة [3].

2.4.طريقة معامل المجموعة(Group Index Method)

تتراوح قيم معامل المجموعة بين ٠ و ٢٠، وتعتمد على نسبة المواد الناعمة، وحد السيولة، ومعامل مرونة التربة. كلما زاد المعامل، كانت التربة أضعف، وتطلب سمك رصف أكبر يقسم المرور إلى ثلاثة أقسام: خفيف (أقل من ٥٠ مركبة تجارية/يوم)، متوسط (٥٠-٣٠٠)، وشديد (أكثر من ٣٠٠). يحسب معامل المجموعة من العلاقة: $GI = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$، ثم يختار المنحنى الملائم لتحديد السمك الكلي. تعتمد الطريقة على التربة الأصلية ولا تأخذ في الاعتبار نوع مواد الطبقات العليا [10].

3.4.طريقة التحميل النسبي لكاليفورنيا(CBR Method)

تمتاز هذه الطريقة بالبساطة، وتستخدم قيم CBR للتربة وطبقات الرصف، مع منحنيات تربط CBR بسمك الرصف لأنواع مختلفة من حركة المرور طورت إدارة الطرق في كاليفورنيا هذه الطريقة في الأربعينيات لتصميم الرصفات لدعم القاذفات الثقيلة أساس التصميم أن كل طبقة رصف تحتاج إلى طبقة تعلوها سمكها يتوقف على قيمة CBR للطبقة السفلية وقد وجد سلاح المهندسين الأمريكي علاقة بين سمك الرصف والحمل على العجلة وضغط العجلة وقيمCBR ، [4] واقترح المعادلة .

$$T=P(1.75CBR-1\pi p) \quad T=P(CBR1.75-\pi p1)$$

حيث = T سمك الرصف (سم)، = Pالحمل على العجلة (كجم)، = pضغط العجلة (كجم/سم²). وتستخدم هذه المنحنيات في إنجلترا والهند

4.4الطريقة الروسية:

تعد الطريقة الروسية من الطرق الهندسية المتقدمة، حيث تعتمد على دراسة تأثير الأحمال والظروف المناخية وخصائص التربة على أداء طبقات الرصف خلال فترة الخدمة التصميمية يرتكز التصميم على اعتبار الرصف نظاماً متعدد الطبقات، ويهدف إلى توزيع الأحمال بحيث لا تتجاوز الإجهادات والانفعالات الحدود المسموحة [11]

خطوات التصميم وفق الطريقة الروسية:

الخطوة الأولى :حساب معامل المرونة الوسطي للطبقات:(Ec)

$$Ec=E1h1+E2h2+\cdots+EnhnHtot \quad Ec=HtotE1h1+E2h2+\cdots+Enhn$$

الخطوة الثانية :تحديد الحمولة المكافئة (Pe) بناءً على العلاقة بين السمك الكلي (Htot) والمسافة بين أقرب دولابين:(a)

- إذا كان $Htot \leq a/2 \rightarrow Pe = Pk$
- إذا كان $Htot \geq 2a \rightarrow Pe = Pn$
- إذا كان $a/2 < Htot < 2a \rightarrow$ يتم تحديدPeمن المخططات

الخطوة الثالثة :حساب نصف قطر سطح تطبيق الحمولة: De=2PeπqDe=2πqPe

الخطوة الرابعة :حساب معامل المرونة المكافئ (Eed) من المخططات بدلالة H/D و Eo/Ec.

الخطوة الخامسة :حساب سهم الانعطاف النسبي: λd=0.9×qEedλd=Eed0.9×q ويجب أن يكون λd< 0.0055.

الخطوة السادسة :التحقق من إجهاد الشد في طبقة الإسفلت:

σ=0.95×K×q×σ¯σ=0.95×K×q×σ¯ حيث K = 1.15 ثابت الصرف:

وتفرض الطريقة شروطاً على نسب معاملات المرونة بين الطبقات المتجاورة (أقل من ٣,٥-٥ مرات)، وسماكة الإسفلت (٩-١٤ سم) .

.5دراسة حالة: مطار القامشلي

.وصف المطار والوضع القائم

يعتبر مطار القامشلي في شمال شرق سوريا مطاراً محلياً للطائرات الخفيفة والمتوسطة، لكن مع استخدام طائرات B747 في نقل الحجاج، أصبح من الضروري تحديثه ليحقق PCN لا يقل عن ٧٠ [3]. تم الكشف على المهبط القديم وتبينت مواصفات طبقاته:[3] .

طبقة الرصف	معامل المرونة (كجم/سم²)	معامل بواشون	السماكة (سم)
سطح إسفلتي	14061	0.35	3
سطح إسفلتي	14061	0.35	4
حجر مكسر	4218	0.45	15
حجر مكسر	4218	0.45	15
حجر مكسر	4218	0.45	15
رمل	2812	0.45	10
تربة مدكوكة	2109	0.45	24.5
تربة التأسيس	436	0.49	شبه لانهائي

.مواصفات الطائرة التصميمية

استخدمت طائرة B747 كطائرة تصميمية بالخصائص:

	P	PK	PO	النموذج	الحمولات (كجم)	عدد الدواليب	الأبعاد (سم)	الضغط (كجم/سم²)
	P	**PK**	**PO**		**At**	**Ad**	**Ax**	
B747 100	**323410**	**18919.5**	**75678**	**4**	**112**	**147**	**184.8**	**15.3**

.التحليل وفق الطريقة الروسية للتصميم الحالي:

-حساب معامل المرونة الوسطي من القانون السابق : E_c =4381.3 kg/cm^2-

نسبة.$E_o/Ec = 436/4381.3 = 0.099$ و نحسب المسافة بين الدولابين a=78.46cm

بما أن$a/2 = 39.46$ ، و $Htot = 86.5$سم، فإن$a/2 < Htot < 2a$ ، لذا $Pe = 44000$كجم من المخططات.

نصف قطر الحمولة الكافئ $De=2\pi\times15.344000=60.5$ cm اذا نسبة.$Htot/De = 86.5/60.5 = 1.38$

من المخططات$Ee = 1664.89$ kg/cm^2 $\rightarrow Ee/Ec = 0.38$ و سهم الانعطاف النسبي:
$\lambda b=0.9\times15.31664.89=0.0082>0.0055\lambda b=1664.890.9\times15.3=0.0082>0.0055$
(غير محققة، مما يؤكد عدم كفاية التصميم).

التصميم الأول: إسفلت عادي

طبقة الرصف	معامل المرونة (كجم/سم²)	السماكة (سم)
بيتون إسفلتي	10580	12
بيتون إسفلتي	10580	13
بحص مثبت	7000	20
حجر مكسر	4218	15
حجر مكسر	4218	15
رمل	2812	10
بقايا مقالع	2109	24.5
الأرض الطبيعية	436	شبه لانهائي

التحقق [10]

- $Htot = 109.5$سم، $a = 78.46$سم $\rightarrow Pe = 46000$ كجم، $De = 61.87$سم
- $Ec = 5578.4$كجم/سم²، $E_o/Ec = 0.078$، $Htot/De = 1.77$
- من المخططات $Ee = 3179.7$kg/cm^2 $\rightarrow Ee/Ec = 0.57$:
- $\lambda b = (0.9 \times 15.3)/3179.7 = 0.0043 < 0.0055$ **(محققة)**

إجهاد الشد:

- $Eco = 4098.58$, $E_o/Eco = 0.1$kg/cm^2، $H_o/De = 1.77$
- من المخططات $Eeo = 2008.3$ $\rightarrow Eeo/Eco = 0.49$kg/cm^2 :
- $Ha = 25$cm، $Da = 38.5$cm .$Ea/Eeo = 5.27$، $Ha/Da = 0.65$
- $\sigma = 0.95 \times 1.15 \times 15.3 \times 0.95 = 15.88$ kg/cm^2 $< \sigma u = 17$kg/cm^2 **محقق**
- الاقتصادية: (١٧-١٥,٨٨)/١٧ = ٦,٦ % < 5% (مقبول لقرب الحدين) .

.التصميم الثاني: إسفلت معدلSBS

طبقة الرصف	معامل المرونة (كجم/سم²)	السماكة (سم)
بيتون إسفلتي	14940	9
بيتون إسفلتي	14940	10
بحص مثبت	7000	20
حجر مكسر	4218	15
حجر مكسر	4218	15
رمل	2812	10
بقايا مقالع	2109	24.5
الأرض الطبيعية	436	شبه لانهائي

التحقق [10]

- $E_o/Ec = 0.0716$ ،$Ec = 6088.8kg/cm^2$، $Htot/De = 1.676$ ،سمHtot = 103.5
- من المخططات $\lambda b = 0.0053 < 0.0055$ $Ee/Ec = 0.42 \rightarrow Ee = 2557.3kg/cm^2$:**محققة**
- **إجهاد الشد**:
- $H_o/De = 1.67$ ،$Eco = 4098.58$ $E_o/Eco = 0.1kg/cm^2$
- من المخططات $Eeo/Eco = 0.45 \rightarrow Eeo = 1844.3kg/cm^2$:
- $Ha/Da = 0.49$ ،$Ea/Eeo = 8.1$ ،$Da = 38.5cm$ ،$Ha = 19cm$
- $\sigma = 0.95 \times 1.15 \times 15.3 \times 1.3 = 21.7kg/cm^2 < \sigma u = 22kg/cm^2$ **محقق**
- الاقتصادية: (٢٢-٢١,٧)/٢٢ = ١,٣٦ **)** 5% > %**مقبول**

١. الاستنتاجات

١. تؤثر خواص تربة التأسيس تأثيراً مباشراً في أداء الرصف المرن وعمره، لذا يجب تحسينها قبل التنفيذ.

٢. تختلف طرق التثبيت باختلاف نوع التربة والظروف المناخية والأحمال، ولا توجد طريقة واحدة تناسب جميع الحالات.

٣. التثبيت الكيميائي بالجير أو الإسمنت هو الأكثر نجاحاً في زيادة قدرة التحمل وتقليل اللدونة والانتفاخ وتحسين.CBR ونظام الصرف وخفض تأثير المياه الجوفية يسهم في الحفاظ على كفاءة الرصف ومنع الهبوط.

٤. استخدام البوزولانا مع الجير يمثل حلاً اقتصادياً وفعالاً للترب الطينية السورية، حيث يزيد المقاومة ويقلل التشققات ويحسن الاستقرار طويل الأمد.

٥. يعتمد نجاح التصميم على دراسة دقيقة للأحمال الجوية ونوع الطائرات وعدد مرات الهبوط والإقلاع والظروف البيئية.

٦. الدمج بين أكثر من تقنية تثبيت يعطي نتائج أفضل من التقنيات المنفردة، خاصة في الترب الضعيفة أو الانتفاخية.

٧. أثبتت دراسة مطار القامشلي أن الطريقة الروسية توفر تقييماً دقيقاً للأداء الإنشائي، وأن الإسفلت المعدل بـ SBS يحسن الأداء مع تقليل السماكة.

.7التوصيات

١. إجراء دراسات جيولوجية وجيوتقنية شاملة لموقع المطار قبل التصميم، وفق معايير ICAO و.FAA

٢. الاعتماد على الاختبارات الحقلية والمخبرية مثلCBR ، UCS، واختبارات الانتفاخ والانكماش قبل وبعد التثبيت للتحقق من الكفاءة.

٣. التوسع في استخدام خليط الجير والبوزولانا المحلية في مشاريع المطارات السورية لكفاءتها العالية وتكلفتها المنخفضة.

٤. تحسين أنظمة الصرف السطحي والجوفي حول المدارج لمنع تشبع التربة والحفاظ على استقرار الطبقات.

٥. تشجيع استخدام التقنيات الحديثة مثل الألياف الصناعية والبوليمرات والمواد الحيوية الصديقة للبيئة.

٦. الالتزام بالمعايير الدوليةICAO) ، FAA، (AASHTOفي تصميم المطارات ورصف المدارج لضمان السلامة وإطالة العمر التصميمي و دعم الأبحاث المحلية لدراسة استخادم المواد المتوفرة.

٧. إجراء برنامج مراقبة وصيانة دورية للمدارج للكشف المبكر عن الهبوط أو التشققات ومعالجتها.

.8المراجع

[1] Grant, R. G. (2002). *Flight: 100 Years of Aviation*. London: Dorling Kindersley.

[2] ICAO (International Civil Aviation Organization). (2006). *Aerodrome Design Manual*. Montreal, Canada: ICAO Publications.

[3] بيانات مهبط مطار القامشلي - مديرية الطيران المدني السورية (تم الحصول عليها من الدرسات الهندسية للمطار, غير منشورة)

[4] FAA (Federal Aviation Administration). (2016). *Advisory Circular AC 150/5320-6G: Airport Pavement Design and Evaluation*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation.

[5] Little, D. N. (1995). *Handbook for Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime*. Arlington, VA: National Lime Association.

[6] Ingles, O. G., & Metcalf, J. B. (1972). *Soil Stabilization: Principles and Practice*. Sydney: Butterworths.

[7] Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior* (3rd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

[8] Hejazi, S. M., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S. M., &Zadhoush, A. (2012). "A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers." *Construction and Building Materials*, 30, 100-116.

[9] Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering* (7th ed.). Stamford, CT: Cengage Learning.

[10] AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.: AASHTO.

[11] Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.