



بسم الله الرحمن الرحيم



تأهيل و صيانه خطوط سكك حديد السودان

( قطاع عطبرة - بربر )

بحث تكميلي لنيل درجة بكالوريوس الشرف في الهندسه المدنية

إعداد الطلاب :

آمنه محمد البدوي عبدالماجد

كوثر عمر محمد احمد علي المهدي

مجتبى محمد عبد الحفيظ شيخ محمد

هشام محمد نور محمد عطرون

إشراف :

أ. هبة سيف الدين جبارة عبدالله

جامعة الشيخ عبد الله البدرى

كلية الهندسة

أبريل - 2026م

## الآية

قال تعالى :

﴿الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي هَدَانَا لِهَذَا وَمَا كُنَّا لِنَهْتَدِيَ لَوْلَا أَنْ هَدَانَا اللَّهُ﴾

(سورة الأعراف: 43).

## الأهداء

نهدي هذا الجهد والعمل إلى من أمرنا الله ببرهما, إلى من بذلا الكثير, وقدموا ما لا يمكن أن يرد ( أولياء أمورنا ...برا وإحسانا)

كذلك نهدي هذا البحث الي ( امهاتنا الابرار ) تعبيرا وحب واحترام اليكن لجهودك ودعمك اللامحدود والدعوات الصادقة من القلب

(أخواننا وأخوانتا)...أشقاء وأصدقاء إلى عنوان للاخلاص والوفاء

إلى كل من كان له الفضل بمساعدتي في إتمام هذا العمل

جزاه الله خير الجزاء

## شكر و التقدير

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله اكتمل هذا الجهد المتواضع لنيل درجة البكالوريوس في الهندسة المدنية.

نتقدم بأسمى آيات الشكر والامتنان إلى جامعة الشيخ عبد الله البدري، وكلية الهندسة، وقسم الهندسة المدنية. ونخص بفيض من التقدير مشرفتنا القديرة الأستاذة/ هبة سيف الدين جبارة عبد الله، التي كانت لنا منارةً للعلم ومثالاً للعطاء، فجزاها الله عنا خير الجزاء. كم نتقدم بالشكر الي هيئة السكة حديد علي الامداد بالمعلومات التي مكنتنا من اتمام هذا العمل بصورة مشرفة . والي شركة زادنا للطرق والجسور للتعاون معنا بكامل وجه

والشكر موصول الي د/ الصاوي نافع البدري

كما نتقدم بالشكر الجزيل لأساتذتنا الكرام الذين غرسوا فينا حب المعرفة، وخصيصاً

الأستاذ/ عبد الرحمن محمد عباس، والأستاذة/ زينب مصطفى، والى مشرف الطلاب الأستاذ/ عبد الرحمن الخرساني (ود الكرم) الذي كان نعم المعين والسند ، والي الزميل و الاخ : احمد عبد المنعم الطاهر .

والى الاخ صداح احمد خلف الله والاخوان الكرام

نسأل الله العلي القدير أن يبارك في هذا العمل وينفع به.

## فهرس الموضوعات

| الصفحة                                       | الموضوع                                |
|----------------------------------------------|----------------------------------------|
| I                                            | الآية                                  |
| II                                           | الأهداء                                |
| III                                          | الشكر و العرفان                        |
| IV                                           | فهرس الموضوعات                         |
| X                                            | فهرس الجداول                           |
| XI                                           | المستخلص                               |
| XII                                          | Abstract                               |
| الفصل الأول : الأطار النظري                  |                                        |
| 2                                            | 1-1 المقدمة                            |
| 2                                            | 2-1 مشكلة البحث                        |
| 3                                            | 3-1 أهداف البحث                        |
| 3                                            | 4-1 أهمية البحث                        |
| 3                                            | 5-1 منهجية البحث                       |
| 4                                            | 6-1 هيكل المشروع                       |
| الفصل الثاني : الأطار العام                  |                                        |
| 6                                            | 1-2 مقدمة                              |
| 9                                            | الفنكات و الكراسي و البنجات و المفاتيح |
| 21                                           | 2-2 قطاع الدراسة                       |
| 21                                           | محطات القطاع                           |
| 25                                           | الكباري و المواسير                     |
| الفصل الثالث : دراسة حالة القطاع (عطرة بربر) |                                        |

|                                            |                                        |         |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|---------|
| 30                                         | المقدمة                                | 1-3     |
| 31                                         | المشاكل في سكك حديد السودان بصورة عامة | 2-3     |
| 33                                         | المشاكل في خط عطبرة – بربر             | 3-3     |
| الفصل الرابع : الدراسات و النتائج و الحلول |                                        |         |
| 44                                         | مقدمة                                  | 1-4     |
| 44                                         | نتائج الدراسة                          | 2-4     |
| 44                                         | البنية الفوقية (Superstructure)        | 1-2-4   |
| 45                                         | دراسة القضبان و الفلنكات               | 1-1-2-4 |
| 48                                         | دراسة التحويلات و المفاتيح و الأشارات  | 2-1-2-4 |
| 50                                         | دراسة مشاكل التعديات على حرم السكة     | 3-1-2-4 |
| 52                                         | الدراسات البيئية                       | 4-1-2-4 |
| 56                                         | . البنية التحتية (Substructure)        | 2-2-4   |
| 58                                         | دراسة طبقة البالاست ( طبقة التزليط )   | 1-2-2-4 |

## فهرس الصور

| رقم الصفحة | اسم الصورة                                |                     |
|------------|-------------------------------------------|---------------------|
| 6          | جوية للقطاع                               | صورة رقم 1-2        |
| 6          | قضيب وزن 50 رطل في اليارة                 | صورة رقم 2-2        |
| 7          | صورة مقطع عرضي قضيب وزن 50 رطل في اليارة  | صورة رقم 3-2        |
| 7          | قضيب وزن 75 رطل ف اليارة                  | صورة رقم 4-2        |
| 8          | مقطع عرضي قضيب وزن 75 رطل في اليارة       | صورة رقم 5-2        |
| 9          | قضيب 90 رطل في اليارة                     | صورة رقم 6-2        |
| 9          | مقطع عرضي لقضيب 90 رطل في اليارة          | صورة رقم 7-2        |
| 11         | فلنكات خشبية معالجة                       | صورة رقم 8-2        |
| 11         | مقاطع الفلنكات الخشبية                    | صورة رقم 9-2        |
| 12         | فلنكة حديدية                              | صورة رقم 10-2       |
| 12         | مقطع الفلنكة الحديدية                     | صورة رقم 11-2       |
| 14         | الفلنكة الخرسانية                         | صورة رقم 12-2       |
| 14         | مقطع الفلنكة الخرسانية                    | صورة رقم 13-2       |
| 15         | كراسي حديدية                              | صورة رقم 14_15_16_2 |
| 15         | كراسي مشتركة تستخدم في المحطات والتحويلات | صورة 17-2           |
| 16         | طريقة ربط القضيب بالكرسي                  | صورة 18-2           |
| 16         | بلنجة حديدية 6 مسمار                      | صورة 19-2           |
| 16         | بلنجة حديدية 4 مسمار                      | صورة رقم 20-2       |
| 17         | طريقة ربط البلنجة بالقضيب                 | صورة رقم 21-2       |



|    |                                                          |                 |
|----|----------------------------------------------------------|-----------------|
| 34 | تخلخل في ربط القضيبين - عدم استقامة حافتا القضيبين       | صورة رقم 3-3-5  |
| 34 | اتساع في السكة                                           | صورة رقم 3-3-6  |
| 35 | اتساع وتحريك القضيب حركة أفقية                           | صورة رقم 3-3-7  |
| 36 | فلنكات متهاكة                                            | صورة رقم 3-3-8  |
| 36 | كرسي غير مربوط والفلكة مهترية                            | صورة رقم 3-3-9  |
| 36 | الفلنكات مكسرة وكراسي مفككة                              | صورة رقم 3-3-10 |
| 36 | مسامير مفككة                                             | صورة رقم 3-3-22 |
| 36 | بلنجة مكسرة                                              | صورة رقم 3-3-12 |
| 37 | أجزاء مفتاح التحويلة                                     | صورة رقم 3-3-13 |
| 37 | مفتاح تحويلية محطة بربر                                  | صورة رقم 3-3-14 |
| 38 | مفتاح تحويلية محطة بربر                                  | صورة رقم 3-3-15 |
| 38 | أجزاء تشغيل الإشارات والتحويلة                           | صورة رقم 3-3-16 |
| 39 | قضيب مغطى بالتراب وحدوث جرف للردميات بواسطة مياه الامطار | صورة رقم 3-3-17 |
| 40 | قضبان مغطاة بالتراب محطة بربر                            | صورة رقم 3-3-18 |
| 40 | نحر في ردميات السكة بسبب مياه الامطار                    | صورة رقم 3-3-19 |
| 41 | نحر بالقرب من مصرف الامطار                               | صورة رقم 3-3-20 |
| 41 | مصارف امطار مغلقة بالرمال                                | صورة رقم 3-3-21 |
| 42 | اثار سلبية لرمي النفايات في مصارف المياه                 | صورة رقم 3-3-22 |
| 42 | نمو شجيرات في مصارف المياه                               | صورة رقم 3-3-23 |
| 43 | حدوث تشقق في الكباري وتأثيرها على السكة                  | صورة رقم 3-3-24 |
| 43 | أجزاء إشارات مكسرة ومفقودة                               | صورة رقم 3-3-25 |

|       |                                  |                |
|-------|----------------------------------|----------------|
| 46    | لحم القضبان                      | صورة رقم 4-1   |
| 47    | فلنكات خرسانية                   | صورة رقم 4-2   |
| 48    | مشابك زمبركية                    | صورة رقم 4-3   |
| 46    | وسائد مطاطية                     | صورة رقم 4-4   |
| 50-49 | مشغلات ميكانيكية ذاتية التشحيم   | صورة رقم 4-5   |
| 50    | أنظمة النقل الكهربائي المستقل    | صورة رقم 4-6   |
| 51    | وحدات الصيانة المتنقلة           | صورة رقم 4-7   |
| 52    | اسوار خرسانية                    | صورة رقم 4-8   |
| 53    | ممرات للمشاة والسيارات           | صورة رقم 4-9   |
| 54    | مصدات نباتية                     | صورة 4 رقم 10- |
| 54    | كاسحات رمال                      | صورة رقم 4-11  |
| 55    | عملية رش البلاست بالمواد المثبتة | صورة رقم 4-12  |
| 55    | طبقة الجيوتيكستيل                | صورة رقم 4-13  |
| 56    | مثال لكبري                       | صورة رقم 4-14  |
| 57    | عبارة و مصارف مياه               | صورة رقم 4-15  |
| 57    | عبارات مواسير                    | صورة رقم 4-16  |

## فهرس الجداول

| اسم الجدول | رقم الصفحة                                                   |
|------------|--------------------------------------------------------------|
| جدول 1-2   | مواقع المحطات و مناسيبها 26                                  |
| جدول 2-2   | مولقع المواسير و العبارات 27                                 |
| جدول 3-2   | مواقع المواسير والعبارات 28                                  |
| جدول 4-2   | موقع المواسير والعبارات 28                                   |
| جدول 5-2   | المنحنيات بالقطاع 29                                         |
| جدول 1-4   | مقارنة بين القضبان القديمة و الحديثة 47                      |
| جدول 2-4   | مقارنة بين الحلول التقليدية و المقترحة للقطاع 51             |
| جدول 3-4   | الحلول المقترحة حسب المنطقة في السودان 56                    |
| جدول 4-4   | التحليل المنخلي لطبقة البلاست 58                             |
| جدول 5-4   | التحليل المنخلي للعينه A 62                                  |
| جدول 6-4   | التحليل المنخلي للعينه B 64                                  |
| جدول 7-4   | التحليل المنخلي للعينه C 66                                  |
| جدول 8-4   | بيانات الدمك و المحتوى المائي في تحمل كاليفورنيا للعينه A 68 |
| جدول 9-4   | بيانات الأختراق في تحمل كاليفورنيا للعينه A 68               |
| جدول 10-4  | بيانات قيمة CBR للعينه A 69                                  |
| جدول 11-4  | بيانات الدمك في تحميل كاليفورنيا للعينه B 71                 |
| جدول 12-4  | بيانات المحتوى المائي في تحميل كاليفورنيا للعينه B 71        |
| جدول 13-4  | بيانات الأختراق في تحميل كاليفورنيا للعينه B 71              |
| جدول 14-4  | بيانات قيمة CBR للعينه B 73                                  |
| جدول 15-4  | يوضح أوجه المقارنة بين العينات 74                            |

## فهرس المخططات

|    |                               |          |
|----|-------------------------------|----------|
| 69 | قوة الأختراق للعينه A         | مخطط 1-4 |
| 70 | الكثافة الجافة و CBR للعينه A | مخطط 2-4 |
| 72 | قوة الأختراق للعينه B         | مخطط 3-4 |
| 73 | الكثافة الجافة و CBR لعينه B  | مخطط 4-4 |

## المستخلص

يستهدف هذا المشروع وضع استراتيجية هندسية متكاملة لتأهيل وصيانة خط السكة الحديد في قطاع (عطبرة – بربر) بدولة السودان، وذلك بغرض رفع كفاءته التشغيلية وضمان أعلى معايير سلامة النقل السككي. اعتمد البحث في مساره البحثي على تكامل أربعة مناهج أساسية؛ بدأت بالمنهج المكتبي لاستقراء الدراسات النظرية والتاريخ الإنشائي للمرفق، و تم الحصول على بيانات وصفية للقطاع و المكونات من هيئة سكك حديد السودان في عطبرة ، و تعريف شامل للمكونات و كيفية التصنيع من معمل البلاط و ذلك تحت اشراف المدراء و المشرفين ، ثم المنهج الميداني لتشخيص التحديات الراهنة المتمثلة في تهالك القضبان والفنكات القديمة وانخفاض السرعة التصميمية لـ 60 كم/ساعة من نظار المحطات و العاملين ، مروراً بالمنهج التحليلي الذي استند إلى نتائج الفحوصات المختبرية لترتبة المسار) كقوة تحمل كاليفورنيا CBR والكثافة الجافة (لضمان استقرار الردميات ومقاومة الآثار البيئية كزحف الرمال والسيول، وصولاً إلى منهج الحلول التطبيقي الذي قدم المعالجات الهندسية اللازمة. وخلص المشروع إلى حزمة من التوصيات الجوهرية، أبرزها ضرورة الإحلال الشامل للقضبان الخفيفة (50 و 75 رطل) بأخرى ثقيلة من طراز (UIC 60) ، وتبني تقنية اللحام المستمر (CWR) لتقليل الاهتزازات، واستبدال العوارض الخشبية بأخرى خرسانية سابقة الإجهاد، مع التأكيد على تحديث التحويلات بأنظمة مرنة وترسيم حرم السكة مادياً لردع التعديات وتأمين المسار مستقبلاً.

## **Abstract**

This project aims to develop an integrated engineering strategy for the rehabilitation and maintenance of the railway line in the (Atbara – Barbar) sector in the Republic of Sudan, with the purpose of enhancing its operational efficiency and ensuring the highest standards of railway transport safety. The research adopted an approach based on the integration of four fundamental methods; it began with the desk method to review theoretical studies and the construction history of the facility. Descriptive data about the sector and its components were obtained from the Sudan Railways Corporation in Atbara, along with a comprehensive understanding of the mechanisms and manufacturing processes from the tile factory, all under the supervision of managers and supervisors. Then, the field method was used to diagnose current challenges represented by the deterioration of rails and old fishplates, and the reduction of the design speed to 60 km/h, as observed by station inspectors and workers. Starting with the analytical approach based on the results of laboratory tests on the track soil (such as California Bearing Ratio CBR and dry density) to ensure the stability of the embankments and resistance to environmental effects like sand encroachment and floods, leading to the applied solutions approach that provided the necessary engineering treatments. The project concluded with a set of essential recommendations, most notably the need for the full replacement of light rails (50 and 75 pounds) with heavier ones of the (UIC 60) type, adopting the continuous welding (CWR) technology to reduce vibrations, replacing wooden sleepers with prestressed concrete ones, while emphasizing the updating of turnouts with flexible systems and physically marking the railway corridor to deter encroachments and secure the track in the future.

## الفصل الأول

### مقدمة عامة

## 1-1. المقدمة :

تعد السكك الحديدية من أبرز ركائز البنية التحتية لأي دولة ، حيث تسهم بشكل كبير في تسهيل حركة الأفراد و البضائع وتقليل الكلفة و الازدحام المرتبط بالنقل البري .

واجهت السكك الحديدية صعوبات متعددة مثل الأهمال وقلة التمويل مما أدى الى ضعف جودة المنتج النهائي لها و أيضاً ضعف معايير السلامة و الأمان . تم تسيير أول عربة على قضيبين في المملكة المتحدة في القرن السادس عشر ، ولم يكن الغرض منها تسييرها للمسافرين ولكن تم استخدامها داخل المناجم ، وكانت العربة تسيير على قضيبين من الخشب ، و في عام 1760م و كنتيجة لزيادة التقدم في صناعة الحديد فقد تم تغطية حافة القضبان الخشبية بألواح من الحديد الزهر لزيادة عمر القضبان و تقليل الاحتكاك .

تطورت الإكتشافات الى قوى الجر بالبخار و التقدم المُترد في صناعة الحديد ، و تطورت صناعة محركات الديزل مما زادت من سرعة القطارات .

و مع مرور الزمن تتعرض سكك الحديد الى تدهور نتيجة الاستخدام المستمر ، نقص الصيانة والعوامل البيئية المختلفة يؤدي ذلك الى انخفاض كفاءة التشغيل وارتفاع معدلات الأعطال و الحوادث ، مما يستدعي تدخلاً فنياً و هندسياً لإعادة تأهيل هذه الشبكات الحيوية .

و في هذا المشروع سيتم إجراء دراسة تحليلية شاملة لشبكة من شبكات خطوط السكك الحديدية بهدف تقييم حالتها الفنية ، تحديد العيوب والمشاكل الإنشائية و التشغيلية ، اقتراح الحلول المناسبة لإعادة تأهيلها و تطويرها مما يتوافق مع المعايير الحديثة و السلامة و الكفاءة .

## 2-1. مشكلة البحث :

تأهيل وصيانة خطوط سكك حديد السودان (دراسة قطاع عطبرة – بربر ) .

## 3-1. أهداف البحث :

### • الهدف الرئيسي :

1. تأهيل وصيانة خطوط سكك حديد السودان ( دراسة قطاع عطبرة – بربر ) .

### • الأهداف الفرعية :

1. تقييم الحالة الإنشائية و الفنية للسكك الحديدية المختارة .
2. تحليل أسباب التدهور في البنية التحتية و خطوط المسار .
3. إقتراح حلول فنية و هندسية لإعادة التأهيل و التحديث .
4. تحسين كفاءة التشغيل وتقليل نسبة الأعطال .
5. تعزيز مستويات السلامة على إمتداد شبكة السكة .
6. المقارنة بين الأساليب التقليدية و الحديثة في صيانة و تأهيل السكك الحديدية .

## 4-1. أهمية البحث :

1. دعم تطوير قطاع النقل الحديدي كجزء من خطط التنمية .
2. المساهمة في تقليل الحوادث وتحسين عوامل السلامة .
3. خفض تكاليف الصيانة طويلة الأمد عبر تطبيق حلول فعالة .
4. تعزيز الاعتماد على وسائل نقل مستدامة وصديقة للبيئة .
5. توفير أساس علمي يمكن الاستفادة منه في مشاريع مشابهة مستقبلاً .

## 5-1. منهجية البحث :

1. المنهج المكتبي ( الدراسات النظرية ) :  
جمع المعلومات النظرية حول تقنيات تأهيل السكك الحديدية و مراجعة الأدبيات و الدراسات السابقة .
2. المنهج الميداني :  
إجراء زيارات ميدانية للمواقع المختارة لتقييم الوضع الحالي للبنية التحتية .
3. المنهج التحليلي :  
تحليل بيانات و فحوصات ، و الأختبارات الخاصة بالمسارات ، و القضبان و العوارض ، المحطات و غيرها .
4. منهج الحلول ( التطبيقي ) :  
تصميم خطة لإعادة التأهيل و تشمل الجوانب الإنشائية و التشغيلية .
5. منهج التوصيات ( التجريبية / التطبيقية ) :  
تقديم مقترحات عملية مدروسة قابلة للتطبيق .

## **1-6. هيكل المشروع :**

### **الفصل الأول: مقدمة عامة**

يتناول هذا الفصل المدخل الأساسي للمشروع ويشمل العناوين التالية:

المقدمة

خطة البحث

### **الفصل الثاني: الإطار النظري**

يركز هذا الفصل على الجانب المعرفي والوصفي للسكك الحديدية في السودان والقطاع المدروس:

### **الفصل الثالث: دراسة حالة القطاع (عطبرة – بربر)**

يستعرض هذا الفصل المشاكل الواقعية التي تم رصدها ميدانياً:

المشاكل العامة

المشاكل الفنية في القطاع .

المشاكل التشغيلية والبيئية

### **الفصل الرابع: الدراسات والنتائج والحلول**

يمثل الجانب التطبيقي والتحليلي للمشروع، ويقوم على ثلاث ركائز:

دراسة القطاعات

دراسة التربة:

النتائج والحلول

## الفصل الثاني

### الأطار النظري

## 1-2 المقدمة :

بدأت السكك الحديدية في السودان مع دخول المستعمر البريطاني منذ سنة 1897م من حلفا شمالاً و وصلت الى أبو حمد في سنة 1898م و الى عطبرة في سنة 1899م .

سكك حديد السودان تنقسم الى خمسة أقاليم (الأقليم الشمالي – الأقليم الشرقي – الإقليم الأوسط – الأقليم الجنوبي و الأقليم الغربي ) .

تمت عملية التركيب و الإنشاء بالأيدي العاملة المحلية و الأجنبية صاحبة الخبرة ، لذلك تأخذ عملية الأنشاء فترة زمنية طويلة حيث تم إستخدام قطبان من الحديد الزهر في خطوط المسار حيث يوجد العديد من القضبان المستخدمة :

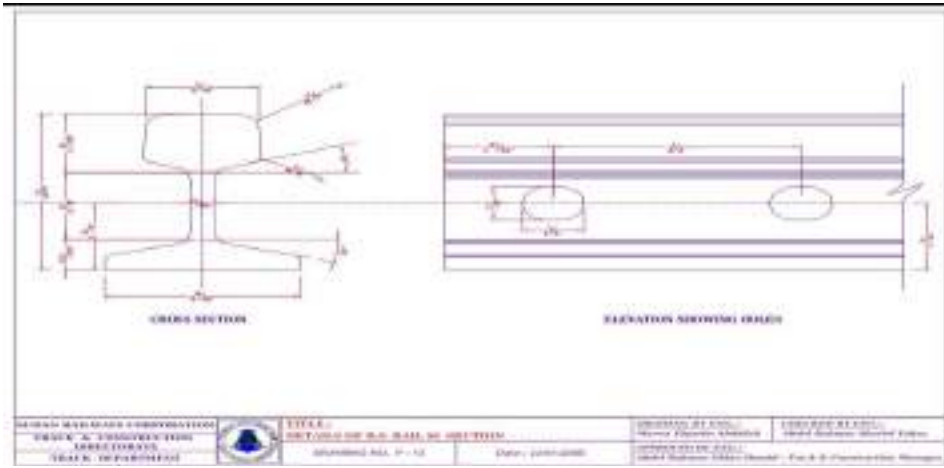


( صورة 1-2 جوية للقطاع )

- قضيب يبلغ وزنه ( 50 رطل في الياردة ) :



( صورة 2-2 قضيب وزن 50 رطل في الياردة )

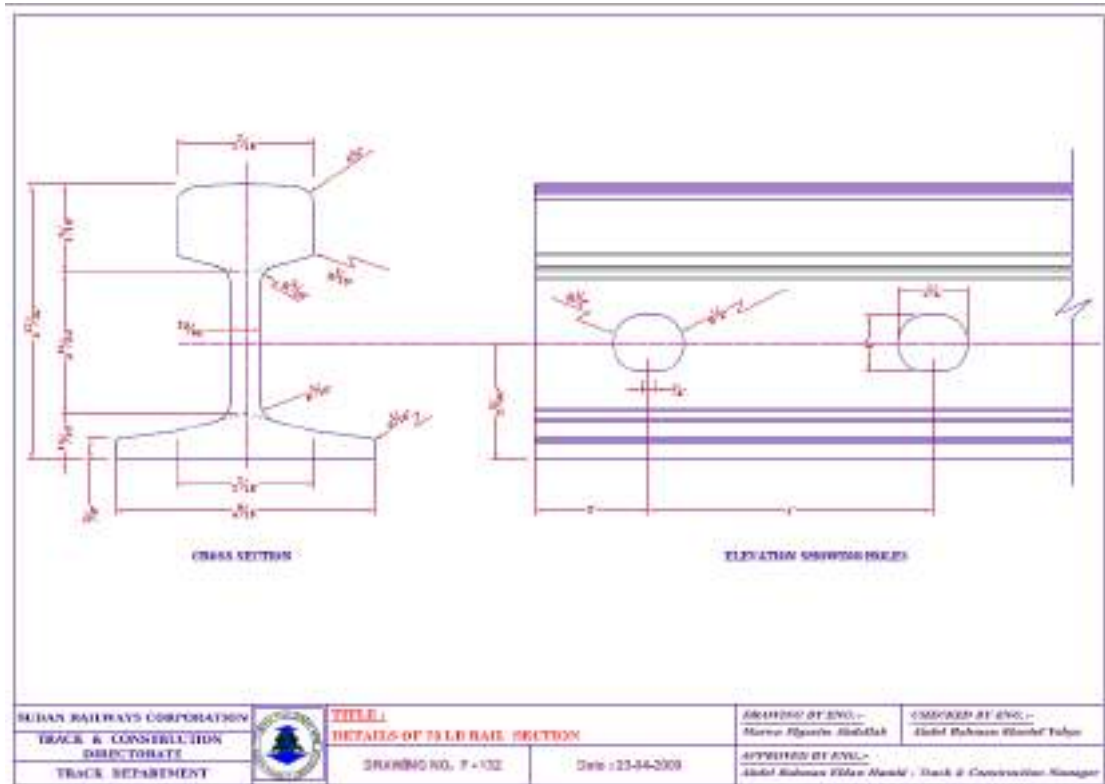


( صورة 2-3 مقطع عرضي قضيب وزن 50 رطل في الياردة )

- جاءة في فترة الثلاثينيات من القرن العشرين كنوع من الأستحداث تم تغير بعض من
- القطاعات من قضيب وزن 50 رطل في الياردة الى قضيب وزن (75 رطل في الياردة) :



( صورة 2-4 قضيب وزن 75 رطل في الياردة )

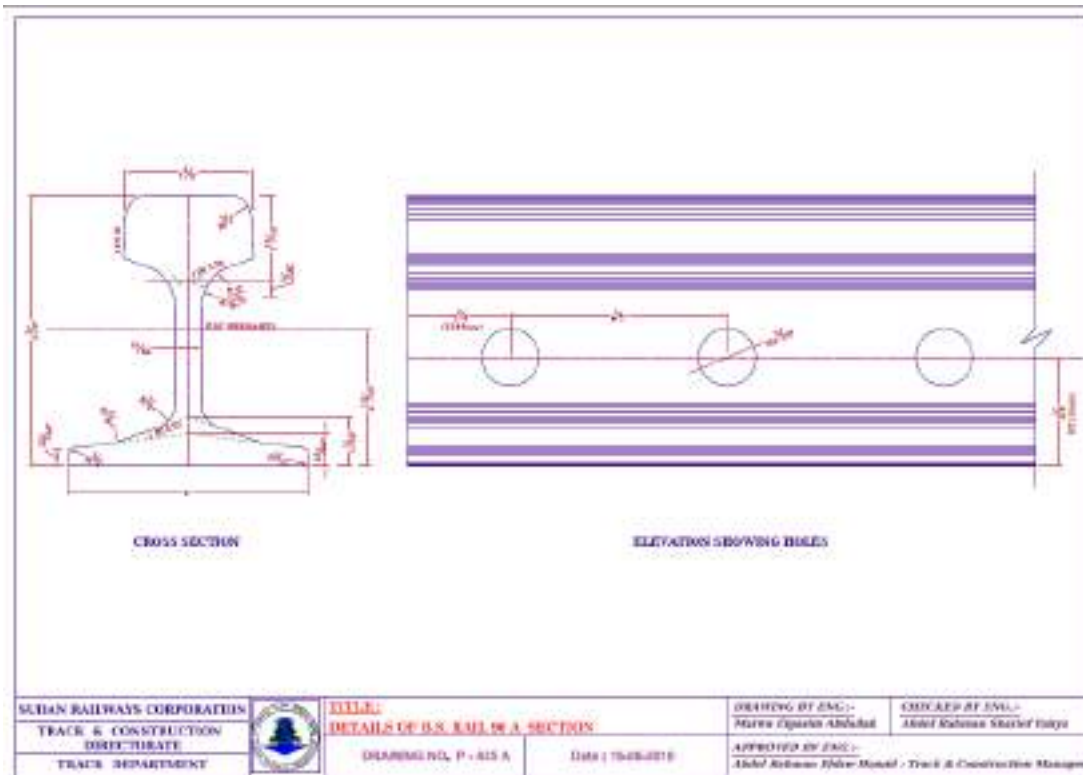


( صورة مقطع عرضي 5-2 قضيب وزن 75 رطل في الياردة )

- حديثاً تم استخدام قضبان بمواصفات عالية بوزن ( 90 رطل في الياردة ) :



( صورة 6-2 قضيب وزن 90 رطل في الياردة )



( صورة مقطع عرضي 7-2 قضيب وزن 90 رطل في الياردة )

قديمًا تم استخدام قضبان وزن 50 رطل بطول 30 قدم ( 9 متر ) كطول قياسي ، وتم إستبدالها بقضيب وزن 75 رطل بطول 36 قدم ( 11 متر تقريباً ) و لكن تكثر فيها نقاط الربط بين القضبان ويكون الربط بين القطبين بالمسامير او باللحام ، و قد تم استبدال القضبان بقضيب وزن 90 رطل في الiardة بطول 36 قدم وبعد إستيراد القضبان من المصانع أصبح طول القضيب 90 رطل بطول 72 قدم ( 22 متر تقريباً ) لتقليل نقاط الربط و الاهتزاز و الضوضاء وانخفاض العمر الأقتصادي للسكة وأيضاً معالجة الصيانة المتكررة ، وفي الإستحداث الأخير يتم ربط كل ثلاث قطبان طويلة باللحام يعني ان كل نقطة ربط تبعد 66 متر ، وهذه التقنية مستخدمة في قطاع عطرة -بوتسودان و عطرة - الخرطوم ، يتم ربط السكة الحديدية من عدة عناصر القضبان الحديدية والكراسي و البلنجات الحديدية بواسطة مسامير مع الفلنكات و المفاتيح .

## 2-1-1. الفلنكات و الكراسي و البلنجات و المفاتيح :

تعمل الفلنكات او ما يعرف بالعوارض في بعض السياقات كقطع أساسية على تثبيت القضبان وتوفير مسافة ثابتة بينهما ، مما يضمن إستقرار محاذة خط السكك الحديدية وتثبيت الفلنكات على الأرض أو طبقة أساسية ( ردميات ) مما يساعد على نقل أحمال القطارات إلى الأرض بكفاءة و توفر القاعدة التي تستقر عليها القضبان مما يمنعها من الانحراف أو الالتواء تحت ضغط القطارات .

تصنع الفلنكات من مواد مختلفة مثل الخشب ، الخرسانة أو مواد المعدنية ، ولكل منها مزايا و عيوب تؤثر على عمرها و قوتها و متطلبات الصيانة ، ويتم اختيار نوع الفلنكة المناسبة بعمل دراسات لطبيعة المنطقة و تكاليف الشراء و عمر الفلنكة ، و تعتمد كفاءتها على وزن الفلنكة .

### 1- الفلنكات الخشبية وهي الأكثر إستخداماً :

تصنع الفلنكات الخشبية من خشب الزان او الأورك الذي يقطع من الغابات الأوروبية او من خشب الأزوب من الغابات الأستوائية او من خشب السنط و أغلبها يتم إستيراده من دول مثل ماليزيا و الهند او بعض الدول الأوروبية ، ويتم معالجة الفلنكات الخشبية معالجة كيميائية بإستخدام قطران الفحم لزيادة عمرها ، ومن مميزاتها :

- مرنة بدرجة كبيرة .
- وتوزع الأحمال بطريقة جيدة .
- تناسب التربة الضعيفة بدرجة كبيرة .

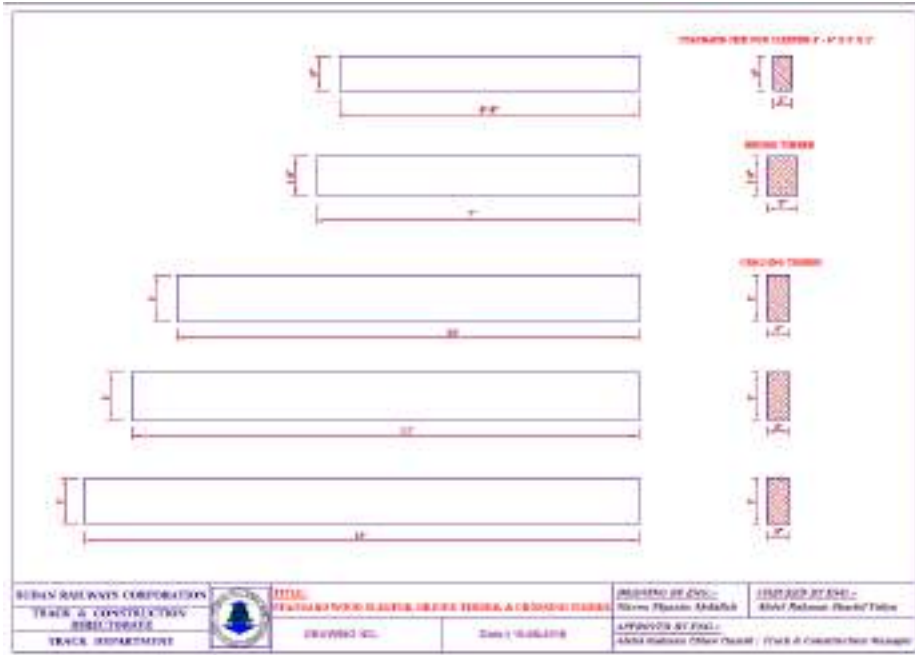
عيوبها :

- تكلفتها الأقتصادية عالية .

- مقاومتها للجاذبية قليلة بسبب خفة وزنها .
- عمرها قصير بالنسبة للأنواع الأخرى .



( صورة 2-8 فلتكات خشبية معالجة )



( صورة 2-9 مقاطع الفلتكات الخشبية )

## 2- الفلنكات الحديدية :

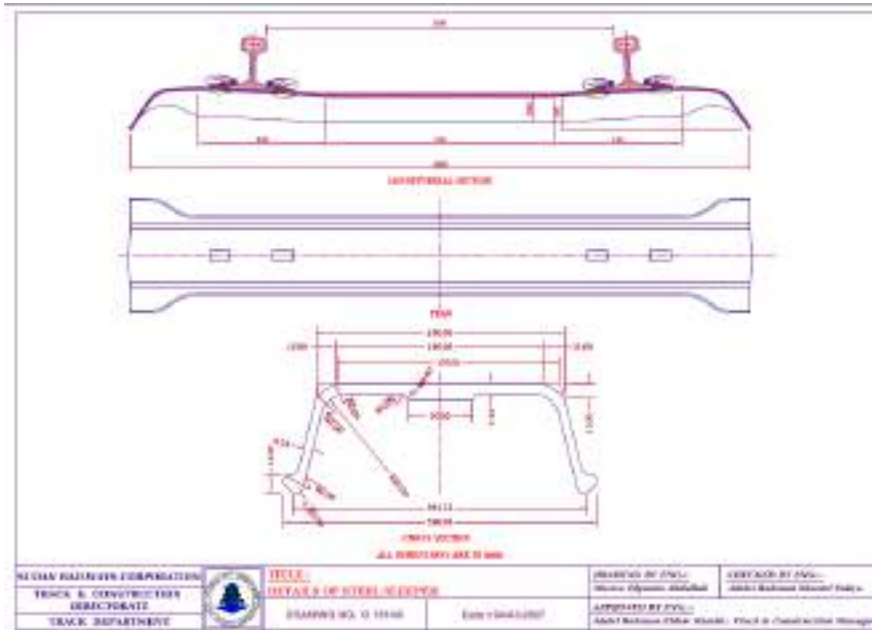
تصنع من الحديد الصلب على شكل الحرف U و من مميزاتها :

- سهولة التصنيع .
- سهولة التركيب و الصيانة .

- تساعد على ثبات السكة لفترة طويلة .
- تعطي مقاومة جاذبية عالية .
- عمرها طويل ويبلغ متوسط عمرها 50 سنة .
- عيوبها :
- تعطي ضوضاء عالية .
- تتعرض للصدأ و التآكل بفعل العوامل الجوية .



( صورة 10-2 الفلنكة الحديدية )



( صورة 11-2 مقطع الفلنكة الحديدية )

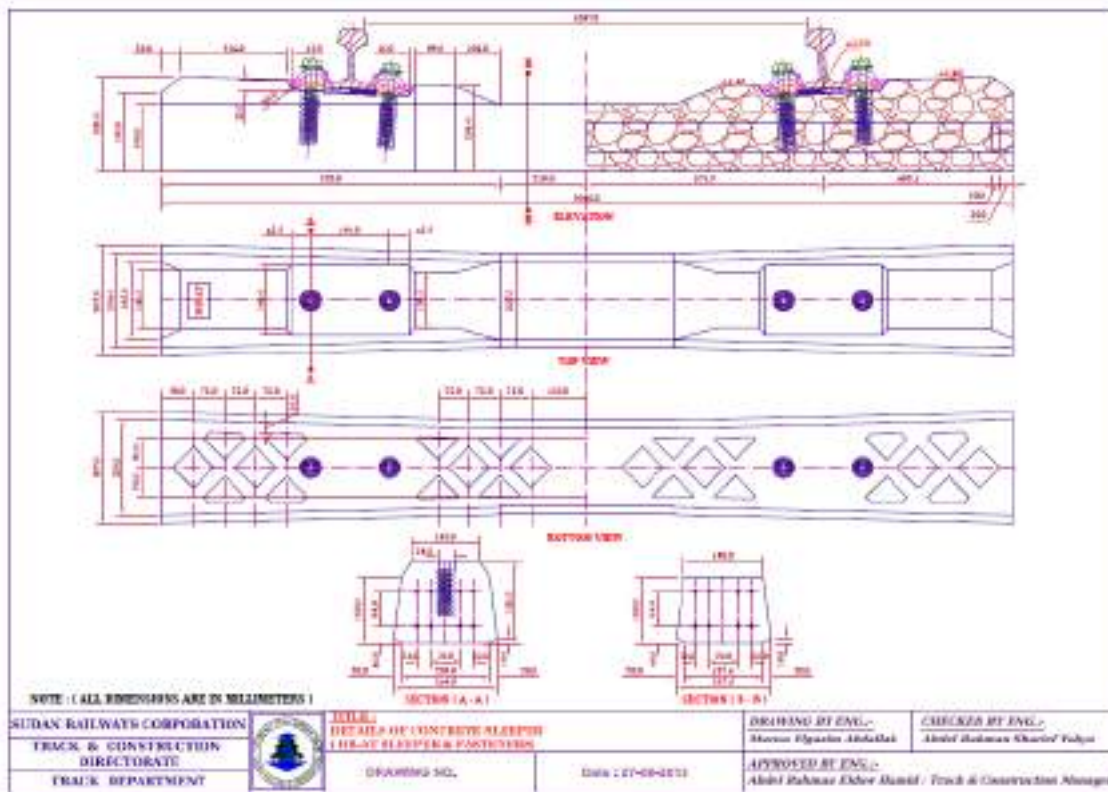
### 3- الفلنكة الخرسانية :

تصنع من الخرسانة مسبقة الأجهاد و بعد التقدم و التطور الحديث أصبحت أكثر شيوعاً ، و بعد الاختبارات التي أجريت أعطت قوة تحمل محورية عالية و تحمل الأجهادات المتغيرة ، و من مميزاتنا :

- تقاوم حركة الجاذبية بدرجة عالية كنتيجة لثقل وزنها و تسمح بسرعات عالية .
  - سهولة التصنيع .
  - تعطي قوة تحمل محورية عالية .
  - تتحمل الأجهادات المتغيرة .
- عيوبها :
- في حالة نقص السمك أو قلت البازلت لا تعطي مقاومة جاذبية عالية .
  - صعوبة النقل بسبب وزنها .
  - أقل مرونة من الفلنكة الخشبية .



( صورة 12-2 الفلنكة الخرسانية )



( صورة 13-2 مقطع الفلنكة الخرسانية )

#### 4- الكراسي :

الكراسي من القطع الأساسية التي تربط القضيب وهي عبارة عن مشابك معدنية أو كتل تثبت القضيب الفولاذي على الفلنكة ، حيث تقوم الكراسي بتركيز الضغط من السكة إلى الفلنكة بشكل موحد مما يمنع تلف أو تشوه الفلنكة ، وتوفر الكراسي المرونة في النظام مما يساعد على تحمل حركة القضبان الناتجة عن تغير درجات الحرارة أو ضغط القطار ، وتضمن الكراسي بقاء القضبان في مكانها الصحيح مما يقلل من خطر خروج القطارات عن مسارها .

هنالك أنواع متعددة من الكراسي :



(صورة 2-14 ، 2-15 ، 2-16 كراسي حديدية )



( صورة 2-17 كراسي مشتركة . تستخدم في المحطات و التحويلات )



(صورة 2-18 طريقة ربط القضيب بالكروسي )

#### 5- البلنجات :

البلنجة تعتبر من القطع المهمة في ربط القضبان ببعضها و عند إلتقاء قضيبين ، منها التي تربط بين قضيبين من نفس النوع او يمكن ان تكون رابطة بين قضيبين من نوعين مختلفين ( من 50 الى 75 او من 75 الى 90 ) حيث تجهز بثقوب لربطها مع القضيب بالمسامير .



( صورة 2-20 يلنجة حديدية 4 مسمار )



(صورة 2-19 بلنجة حديدية 6مسمار )



(صورة 21-2 طريقة ربط البلنجة في القضيب )



( صورة 22-2 البلنجة المشتركة )



(صورة 24-2 صواميل الربط )

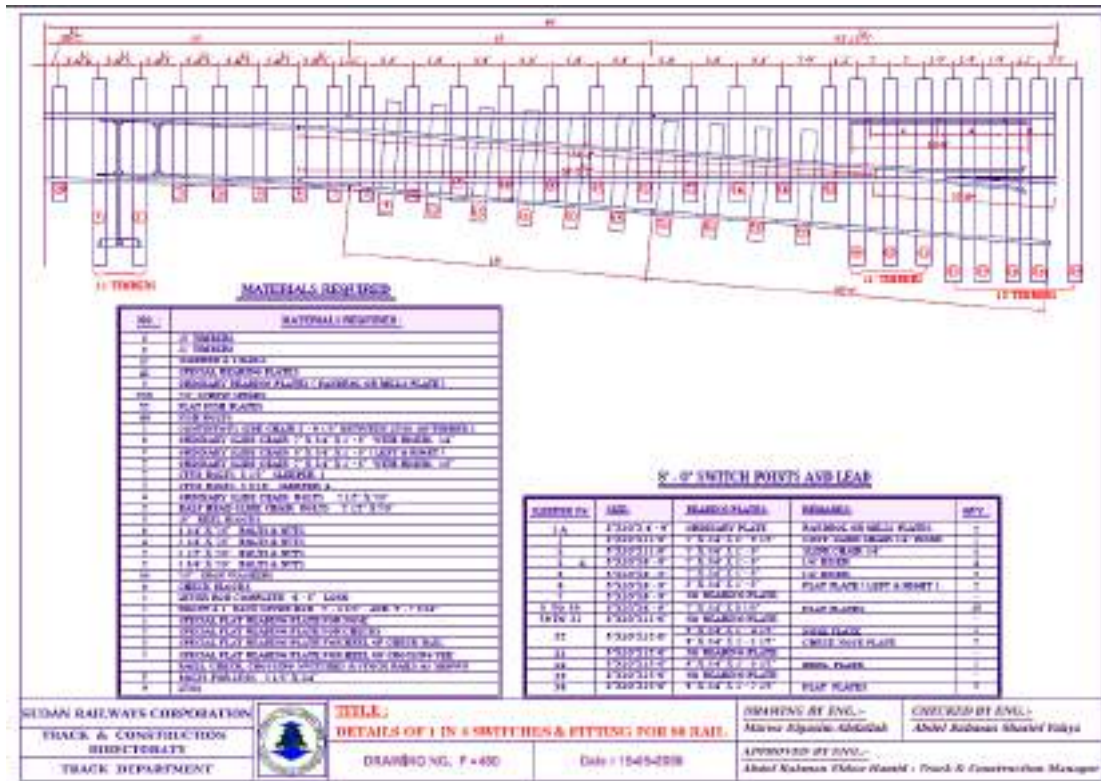


(صورة 23-2 مسامير الربط)

تعتبر المفاتيح من اهم العناصر التي تتواجد داخل المحطات و المصانع و مداخل المدن و مخارجها ، و هو آلية تسمح بتوجيه القطارات من مسار إلى آخر بسرعات تصميمية مناسبة للمنطقة المتحرك بها القطار سواء كان ذلك عند تقاطعات السكك أو تفرعات المسارات او دخول إلى خطوط جانبية .

يتضمن ثلاثة أنواع من المفاتيح المستخدمة في المحطات و هي :

**مفتاح 8 :** يستخدم في داخل المحطات في تحويلات من مسار إلى آخر في مساحات ضيقة بمسافة تبلغ 60 قدم ( 18 متر ) .



( صورة 2-25 تحويلة مفتاح 8 )

- **مفتاح 10 :** يستخدم لتحويل القطارات من المسار الحالي إلى المسارات الخارجة من المحطة او الداخلة بمسافة تبلغ 72 قدم ( 22 متر تقريباً ) .





( صورة 2-28 متاح التحويل )



( صورة 2-29 شكل التحويل )



( صورة 2-30 شكل قضبان التحويلة )

مع الأخذ في الاعتبار انه تستخدم قضبان وزن 25 رطل في الiardة اصغر حجماً داخل المصانع و المستودعات تتحرك عليها عربات صغيرة لنقل البضائع و في مصانع الفلنكات مثال على ذلك مصنع البلاط عطبرة .



( صورة 2-31 قضبان وزن 25 مستخدمة داخل مصنع البلاط )

## 2-2. قطاع الدراسة :

قطاع عطبرة – بربر بطول 36 كيلو متر من ( عطبرة الكيلو 313 – بربر كيلو 349 ) يعتبر من ضمن الأقليم الشمالي حيث يمتد الأقليم الشمالي من حلفا شمالاً و الى محطة شندي جنوباً و شرقاً محطة مسمار و غرباً الى محطة كريمة يوجد نوعين من القضبان المستخدمة في القطاع قضيب وزن 50 رطل في الياردة و 75 رطل في الياردة .

### 1-2-2. محطات القطاع :

يشمل قطاع عطبرة بربر ثلاثة محطات رئيسية :

#### 1/ محطة عطبرة :

تقع المحطة في وسط المدينة تقريباً ، و تمثل نقطة إلتقاء رئيسية لخطوط حديدية : خط الخرطوم – وادي حلفا (شمالاً) و خط بورتسودان (شرقاً) ، وتقع الجزء الجنوبي الشرقي قريبة من إلتقاء نهر عطبرة بالنيل الرئيسي .

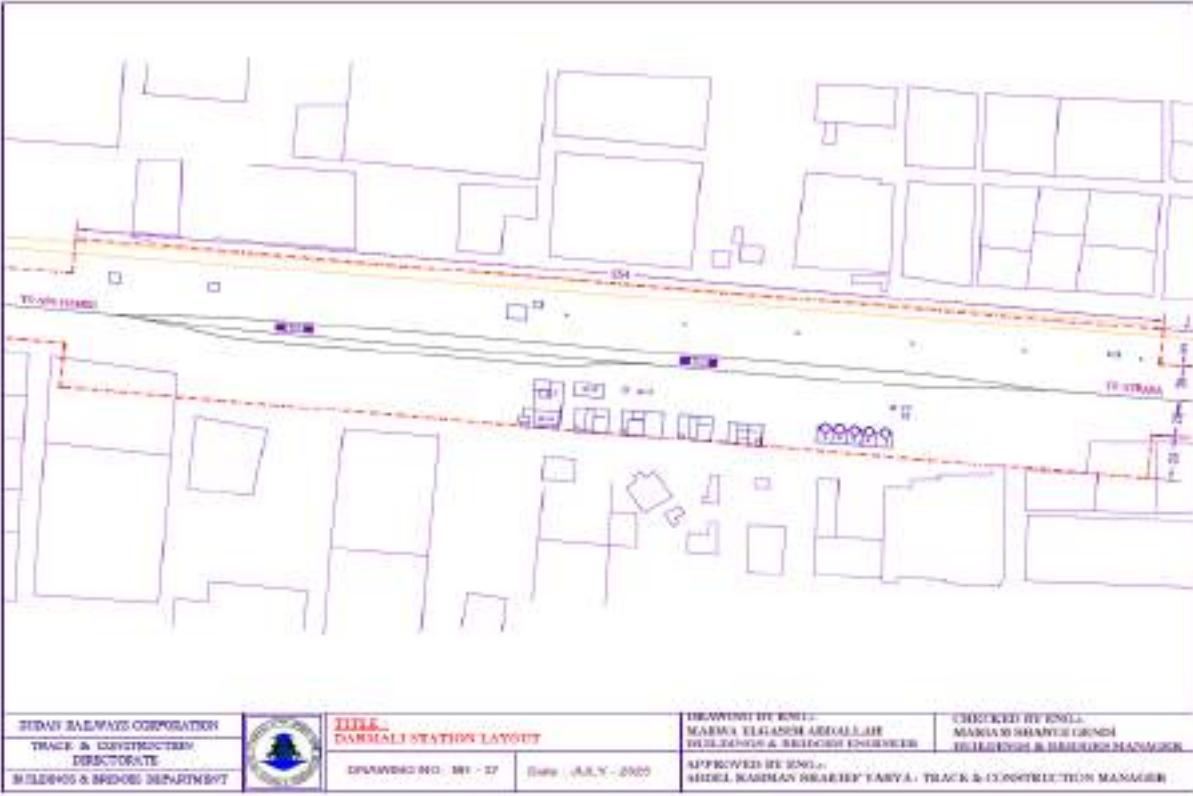


( صورة 2-32 محطة عطبرة )



## 2- محطة دار مالي :

تقع محطة دارمالي بولاية نهر النيل بين مدينتي عطبرة و بربر ( حوالي 18.8 كم شمال عطبرة و 21 كم جنوب بربر ).



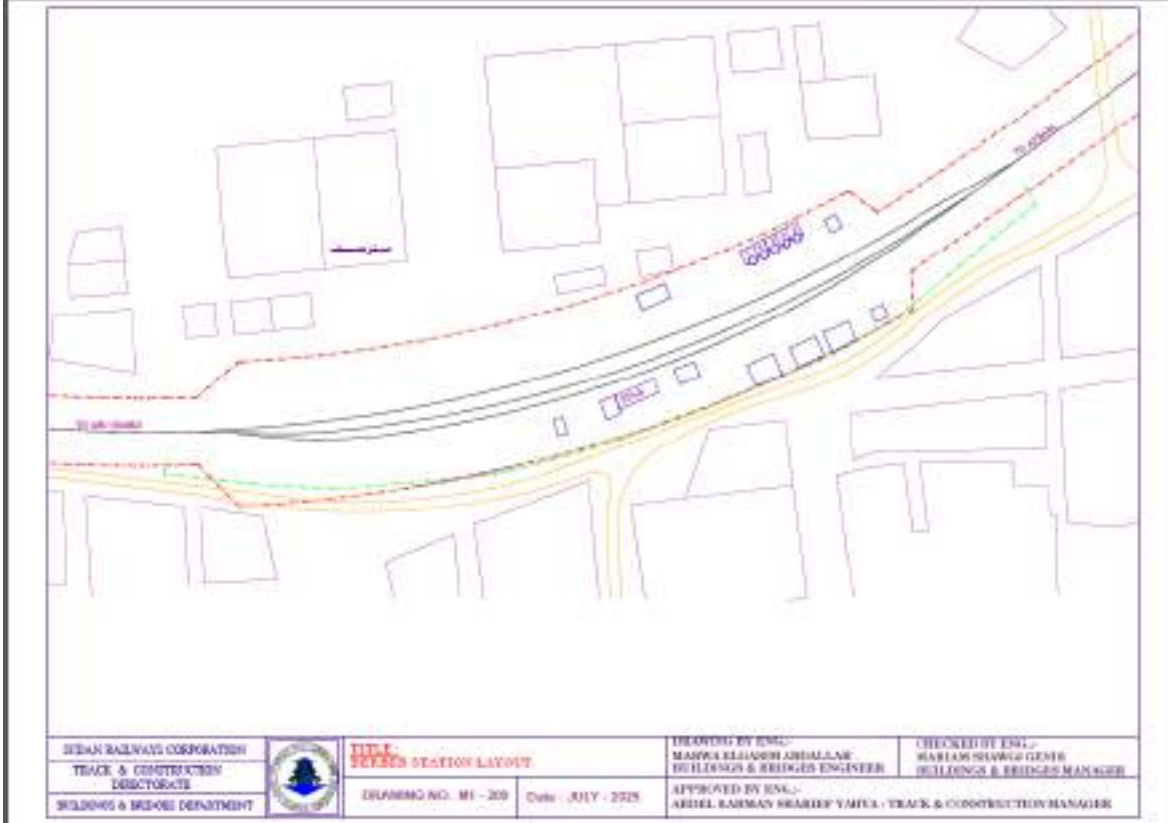
(صورة 2-34 محطة دار مالي)



(صورة 2-35 جوية محطة دار مالي)

### 3- محطة بربر:

تقع محطه بربرفي ولايه نهر النيل وتبعد المدينه حوالي (50كم شمال عطبرة , وقرب إلتقاء نهر عطبرة مع النيل .



( صورة 2-36 محطة بربر )



( صورة 2-37 جوية محطة بربر )

**Sudan Railways Corporation**  
**Track & Construction Directorate**  
**Stations Coordinates: ATBARA – BERBER**

| Ser. | Station | Kilo | Elevation<br>above Red<br>Sea Level<br>in (ft) | Decimal Degrees |             | UTM      |           | Zone | Band |
|------|---------|------|------------------------------------------------|-----------------|-------------|----------|-----------|------|------|
|      |         |      |                                                | Latitude        | Longitude   | East (X) | North (Y) |      |      |
| 1    | Atbara  | 313  | 1161                                           | 17.69994801     | 33.97874996 | 603791   | 1957259   | 36   | Q    |
| 2    | Darmali | 326  | 1129                                           | 17.81967300     | 33.99811193 | 605774   | 1970517   | 36   | Q    |
| 3    | Berber  | 349  | 1129                                           | 18.02405226     | 33.99925719 | 605774   | 1993132   | 36   | Q    |

جدول رقم ( 1-2 ) مواقع المحطات و مناسيبها

## 2-2-2. الكباري و المواسير بالقطاع :

تبنى الكباري للسماح للقطارات بالعبور فوق المسطحات المائية ، الوديان ، المجاري المائية أو أي عائق اخر يتطلب تجاوزاً علوياً ، غالباً تصمم الكباري إما خرسانية أو معدنية ، الخرسانية منذ عهد الأنجليز تم بناء الكباري بإستخدام الحجر ولا زالت حتى وقتنا الحالي و أجريت صيانات ة تعديلات عليها لتحقيق الكفاءة المطلوبة ، حديثاً تم استخدام الخرسانة المسلحة لتعطي جودة أفضل .

و تستخدم المواسير لتصريف مياه الأمطار في المناطق المنخفضة و المجاري المائية ، يتم تصنيعها من الحديد او الخرسانة و يعتمد تصميمها و عددها على مكان الأستخدام و كمية المياه المقدرة .

و في هذا القطاع تم إستخدام عدد 16 ماسورة و 34 كبري .

**SUDAN RAILWAYS CORPORATION**  
**TRACK & CONSTRUCTION DIRECTORATE**  
**BUILDINGS & BRIDGES DEPARTMENT**  
**BRIDGES AND PIPES CULVERTS FROM ATBRAR TO BERBER**

| <i>Ser.</i> | <i>Bridge or Culvert No.</i> | <i>Kilo.</i> | <i>Easting</i> | <i>Northing</i> | <i>Type &amp; Pipe</i> | <i>No. of Spans or Pipes</i> | <i>Dia. of Pipe</i> | <i>Head Room</i> | <i>Date Const.</i> | <i>Piers or Abutment</i> | <i>Remarks</i> |
|-------------|------------------------------|--------------|----------------|-----------------|------------------------|------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|--------------------------|----------------|
| 1           | 728                          | 313.927      |                |                 | Pipe                   | 2                            | 2'-0"               |                  | 1936               | Rubble Stone             |                |
| 2           | 729                          | 315.174      |                |                 | 15ft                   | 2                            |                     | 4'-4"            |                    | Masonry                  |                |
| 3           | 730                          | 315.936      |                |                 | 15ft                   | 2                            |                     | 2'-9"            |                    | Masonry                  |                |
| 4           | 731                          | 316.128      |                |                 | 15ft                   | 2                            |                     | 2'-9"            |                    | Masonry                  |                |
| 5           | 732                          | 316.367      |                |                 | Pipe                   | 2                            | 2'-0"               |                  |                    | Masonry                  |                |
| 6           | 733                          | 316.580      |                |                 | 15ft                   | 1                            |                     | 4'-2"            |                    | Masonry                  |                |
| 7           | 734                          | 316.781      |                |                 | 15ft                   | 1                            |                     | 4'-0"            |                    | Masonry                  |                |
| 8           | 735                          | 317.151      |                |                 | 15ft                   | 1                            |                     | 4'-4"            |                    | Masonry                  |                |
| 9           | 736                          | 317.407      |                |                 | 15ft                   | 1                            |                     | 4'-4"            |                    | Masonry                  |                |
| 10          | 737                          | 317.642      |                |                 | Pipe                   | 1                            | 2'-0"               |                  |                    | Masonry                  |                |
| 11          | 738                          | 317.899      |                |                 | 15ft                   | 2                            |                     | 4'-3"            |                    | Masonry                  |                |
| 12          | 739                          | 318.182      |                |                 | 15ft                   | 2                            |                     | 2'-10"           |                    | Masonry                  |                |
| 13          | 740                          | 318.822      |                |                 | 15ft                   | 2                            |                     | 4'-2"            |                    | Masonry                  |                |
| 14          | 741                          | 319.206      |                |                 | 15ft                   | 3                            |                     | 4'-3"            |                    | Masonry                  |                |
| 15          | 742                          | 319.690      |                |                 | Pipe                   | 1                            | 2'-0"               |                  |                    | Masonry                  |                |
| 16          | 743                          | 319.901      |                |                 | Pipe                   | 1                            | 2'-0"               |                  |                    | Masonry                  |                |
| 17          | 744                          | 320.093      |                |                 | Pipe                   | 1                            | 2'-0"               |                  |                    | Masonry                  |                |
| 18          | 745                          | 321.969      |                |                 | Pipe                   | 1                            | 2'-0"               |                  |                    | Masonry                  |                |

جدول رقم ( 2-2 ) مواقع المواسير والعبارات

| Ser. | Bridge or Culvert No. | Kilo.   | Easting | Northing | Type & Pipe | No. of Spans or Pipes | Dia. of Pipe | Head Room | Date Const. | Piers or Abutment | Remarks |
|------|-----------------------|---------|---------|----------|-------------|-----------------------|--------------|-----------|-------------|-------------------|---------|
| 19   | 746                   | 322.275 |         |          | 15ft        | 4                     |              | 4'-4"     |             | Masonry           |         |
| 20   | 747                   | 323.990 |         |          | 15ft        | 2                     |              | 4'-3"     |             | Masonry           |         |
| 21   | 748                   | 324.363 |         |          | 15ft        | 2                     |              | 4'-3"     |             | Masonry           |         |
| 22   | 749                   | 325.780 |         |          | 15ft        | 3                     |              | 4'-2"     |             | Masonry           |         |
| 23   | 750                   | 327.905 |         |          | 15ft & 10ft | 4&2                   |              | 5'-10"    |             | Masonry           |         |
| 24   | 751                   | 328.488 |         |          | 15ft        | 1                     |              | 4'-3"     |             | Masonry           |         |
| 25   | 752                   | 330.144 |         |          | 15ft        | 8                     |              | 4'-3"     |             | Masonry           |         |
| 26   | 753                   | 330.514 |         |          | Pipe        | 2                     | 2'-0"        |           |             | Masonry           |         |
| 27   | 754                   | 330.834 |         |          | 15ft        | 2                     |              | 4'-2"     |             |                   |         |
| 28   | 755                   | 331.233 |         |          | 15ft        | 2                     |              | 4'-1"     |             | Masonry           |         |
| 29   | 756                   | 332.277 |         |          | 15ft        | 1                     |              | 4'-0"     |             | Masonry           |         |
| 30   | 756A                  | 332.302 |         |          | Pipe        | 2                     | 2'-0"        |           |             | Masonry Cement B. |         |
| 31   | 757                   | 332.912 |         |          | 15ft        | 6                     |              | 7'-2"     |             | Masonry           |         |
| 32   | 758                   | 333.142 |         |          | 15ft        | 3                     |              | 7'-0"     |             | Masonry           |         |
| 33   | 759                   | 333.755 |         |          | 15ft        | 3                     |              | 6'-1"     |             | Masonry           |         |
| 34   | 760                   | 331.778 |         |          | 10ft        | 1                     |              | 7'-6"     |             | Masonry           |         |
| 35   | 761                   | 334.177 |         |          | Pipe        | 2                     | 2'-0"        |           |             | Masonry           |         |
| 36   | 762                   | 334.540 |         |          | 15ft        | 2                     |              | 4'-2"     |             | Masonry           |         |
| 37   | 763                   | 334.813 |         |          | 15ft        | 1                     |              | 4'-2"     |             | Masonry           |         |
| 38   | 764                   | 335.432 |         |          | 15ft        | 8                     |              | 4'-3"     |             | Masonry           |         |
| 39   | 765                   | 335.713 |         |          | 15ft        | 4                     |              | 5'-2"     |             | Masonry           |         |

جدول رقم ( 3-2 )

| Ser. | Bridge or Culvert No. | Kilo.   | Easting | Northing | Type & Pipe | No. of Spans or Pipes | Dia. of Pipe | Head Room | Date Const. | Piers or Abutment | Remarks |
|------|-----------------------|---------|---------|----------|-------------|-----------------------|--------------|-----------|-------------|-------------------|---------|
| 40   | 766                   | 338.697 |         |          | 15ft        | 3                     |              | 4'-0"     |             | Masonry           |         |
| 41   | 767                   | 340.291 |         |          | 10ft        | 1                     |              | "11'-2"   |             | Masonry           |         |
| 42   | 768                   | 340.799 |         |          | Pipe        | 1                     | 2'-0"        |           |             | Masonry           |         |
| 43   | 769                   | 341.576 |         |          | Pipe        | 1                     | 1'-0"        |           |             | Masonry           |         |
| 44   | 770                   | 341.341 |         |          | Pipe        | 1                     | 1'-0"        |           |             | Masonry           |         |
| 45   | 771                   | 341.804 |         |          | Pipe        | 1                     | 1'-0"        |           |             | Masonry           |         |
| 46   | 772                   | 342.108 |         |          | Pipe        | 1                     | 1'-0"        |           |             | Masonry           |         |
| 47   | 773                   | 342.378 |         |          | 10ft        | 1                     |              | "0'-3"    |             | Masonry           |         |
| 48   | 774                   | 342.880 |         |          | 10ft        | 1                     |              | "0'-3"    |             | Masonry           |         |
| 49   | 775                   | 343.028 |         |          | Pipe        | 1                     | 2'-0"        |           |             | Masonry           |         |
| 50   | 776                   | 346.617 |         |          | 30ft        | 1                     |              | "7'-8"    |             | Masonry           |         |

جدول رقم ( 4-2 )

### 3-2-2. المنحنيات بالقطاع :

#### THE CURVES BETWEEN Atbara – Berber

| NO | KILO | D<br>(degree) | B.C<br>(beginning<br>of curve) | E.C<br>(end of<br>curve) | R(ft)<br>Radius | I°<br>Angle | L.C(ft)<br>length | Direction |
|----|------|---------------|--------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|-------------------|-----------|
| 1  | 315  | 1             | 315.616                        | 315.860                  | 5730            | 8.006       | 800.592           | L         |
| 2  | 319  | 1             | 319.838                        | 320.195                  | 5730            | 11.720      | 1171.956          | L         |
| 3  | 322  | 1             | 322.723                        | 322.796                  | 5730            | 2.400       | 240.000           | R         |
| 4  | 329  | 1             | 329.104                        | 329.204                  | 5730            | 3.300       | 330.021           | L         |
| 5  | 336  | 1             | 336.159                        | 336.375                  | 5730            | 7.104       | 710.403           | R         |
| 6  | 339  | 1             | 339.034                        | 339.256                  | 5730            | 7.304       | 730.441           | L         |
| 7  | 340  | 1             | 340.540                        | 340.662                  | 5730            | 4.001       | 400.052           | L         |
| 8  | 341  | 1             | 341.811                        | 342.174                  | 5730            | 11.921      | 1192.061          | R         |
| 9  | 343  | 0.5           | 343.976                        | 344.052                  | 11460           | 1.250       | 249.987           | L         |
| 10 | 344  | 1             | 344.494                        | 344.668                  | 5730            | 5.702       | 570.193           | L         |
| 11 | 347  | 2             | 347.524                        | 348.082                  | 2865            | 37.250      | 1862.493          | L         |
| 12 | 348  | 2             | 348.887                        | 349.692                  | 2865            | 54.869      | 2743.442          | R         |

جدول رقم ( 5-2 )

الفصل الثالث  
دراسة حالة القطاع (عطبرة - بربر)

### 3-1. المقدمة :

تُعد السكك الحديدية من أهم وسائل النقل لما تتميز به من القدرة على نقل كميات كبيرة من البضائع والركاب بتكلفة منخفضة . إلا أن شبكة السكة حديد في السودان خاصة خط (عطبرة – بربر) ، تواجه عدداً من التحديات التقنية والإدارية التي تؤثر على الأداء والكفاءة .



صورة 3-1-1 محطة بربر

### 3-2. المشاكل في سكك حديد السودان بصورة عامة :

- 1- قدم الشبكة :  
معظم الخطوط أنشئت في الفترة 1900-1960 بدون تجديد شامل .
- 2- ضعف التمويل :  
عدم توفر ميزانيات لشراء معدات حديثة أو صيانة منتظمة .
- 3- أعطال القاطرات :  
القاطرات قديمة (بعضها عمره أكثر من 40 سنة) ، نقص قطع الغيار .
- 4- ضعف الإشارات والاتصالات :  
استخدام نظام الإشارات اليدوية ( Manual Signaling ) في كثير من المناطق .
- 5- مشكلات إدارية :  
ضعف التخطيط ، الروتين ، نقص التدريب .
- 6- تأثير المناخ :  
السيول تقطع الخطوط ، خاصة في الشرق والوسط ، والرمال تغطي أجزاء من السكة.
- 7- التعديات على حرمة الخط :

الأسواق والمساكن القريبة من المسار و المزارع .

### 3-3. المشاكل في خط عطبرة - بربر :

يُعتبر هذا الخط من أقدم خطوط السكة الحديد في السودان ، لذلك يعاني من مشاكل فنية متعددة:

#### 1- تهالك القضبان والفلنكات :

استعمال قضبان قديمة من قضبان 50 رطل و 75 رطل تعرضت لتآكل بسبب الصدأ ومعها فلنكات خشبية ضعيفة . يؤدي ذلك لاهتزاز القطار وانخفاض السرعة و خروجه عن مساره وحتى عندما تكون غير ملحوظة قد تسبب الاهتزازات في تآكل المعدات سواء كانت للقطار او المكونات الرابطة للسكة و توجد في بعض المناطق المكشوفة و المحطات .



صورة 1-3-3 ( قضيب يظهر جزء من الأضرار )

#### 2- ضعف الصيانة الدورية للخط :

نقص العمالة والآليات . تأخير في عمليات الدك (Tamping)، ضبط الاستقامة، وإعادة التسوية.

ونجدها :

اولاً : في صورة ارتفاع أو انخفاض في مستوى القضيب عن مكانه أو توسع في اتساع السكة .

كما تم إيجاده في الكيلو 343 منطقة مشروع زادي مكان مرور المواسير ، منطقة السلمة في الكبرى رقم (25) من الجهة الشمالية للكبرى ، الكيلو 316.7 جنوب الكبرى رقم (7)



صورة 3-3-3/2-3-3 ( انخفاض و ارتفاع في السكة ، مشروع زادنا الكيلو 343 )



صورة 4-3-3 ( ارتفاع في مستوى السكة كبرى رقم 7 ، كيلو 316.7 )

**ثانياً :** الأتساعات و التداخلات في السكة يمكن ان تكون غير ملحوظة ولكن يمكن الأحساس بها عند سير القطار و تكون اما من تداخل في الكراسي يتسبب في تحرك القضيب عن مكانه او مناطق الربط في البلنجات و تفكك المسامير من مكانها كما هو موجود في الكيلو (332.2) جنوب الكبرى رقم (31) ، الكيلو (328) ، و داخل محطة دار مالي في الكيلو (326) ، الكيلو (318.8) شمال الكبرى رقم (13) ، الكيلو (316.5) شمال و جنوب منطقة الكبرى رقم (7) .



صورة 5-3-3 (تخلل في ربط القضيبين-عدم استقامة حافتا القضيبين)



صورة 6-3-3 ( اتساع في السكة )



صورة 7-3-3 ( اتساع و تحرك القضيب حركة افقية )

**ثالثاً :** تهالك الفلنكات نسبة لقدم عمرها و تكسر و تفكك البلنجات و الكراسي ، و تعتبر هذه اكثر المشاكل المتواجدة في اغلب القطاع و نجدها كثيرة في منطقة الكباري .



صورة 8-3-3 (فلنكات متهاكة )



صورة 10-3-3 ( فلنكات متكسرة و كراسي مفكوكة )



صورة 9-3-3 ( كرسي غير مربوط و فلنكة مهترنة )



صورة 12-3-3 ( بلنجة مكسورة )



صورة 11-3-3 (مسامير مفكوكة )

عدم وجود المسامير قد يؤدي إلى التواء البلنجة او كسرها مما يسبب تزعزح القضيب عن مكانه او ظهور التواءات في إستقامة القضبان .

### 3- مشاكل التحويلات (Switches) :

التحويلات قديمة تتعرض للاعطال مما يسبب خروج العربات من الخط و السرقة و تعطل الأجزاء الميكانيكية الصغيرة من المفاتيح و الأجزاء المسؤولة من تشغيل الأشارات ، و نجدها في محطتي بربر و دار مالي .



صورة 3-3-13 ( أجزاء مفتاح التحويلة )



صورة 3-3-14 ( مفتاح تحويلة محطة بربر )



صورة 3-3-15 ( مفتاح تحويل محطة بربر )



صورة 3-3-16 ( أجزاء تشغيل الإشارات و التحويلة )

#### 4- بطء حركة القطارات :

نتيجة ضعف البنية التحتية يصبح متوسط سرعة القطار منخفض جداً ، حالياً لا تتعدى سرعة القطارات 60 كلم في الساعة .

#### 5- التعديلات على مسار السكة حديد :

مباني – أكشاك – رعي الحيوانات بالقرب من السكة و الزراعة ، حيث يعتبر حرم السكة هو المسافة الأمانة لكل ما يحيط مسار السكة ، في منطقة الشقلة تعدت المنازل السكنية حرم السكة في الكيلو 338 و

في الكيلو 332.9 و 322.2 المسافة بين السكة و منطقة زراعية (مزرعة ) 2 متر فقط ويعتبر هذا خطراً على الممتلكات و الحيوانات .

#### 6- مشكلات البيئة :

الرمال الزاحفة ، الأمطار، الفيضان ، تغير التربة و النفايات .

تعتبر اكثر الأسباب المؤثرة على السكك الحديدية و لذلك يجب ان تكون البنية التحتية مناسبة للتعامل مع هذه الظواهر .

حيث تؤدي الرمال الزاحفة الى تغطية الفلنكات و القضيب مما تسبب خطراً على سير القطار و امكانية خروج العجلات عن مسارها مثلاً في جزء من محطة بربر ودار مالي و مناطق عبور السيارات في الشوارع الداخلة للمربعات السكنه او في منطقة التقاء السكة مع شارع الزلط مثل منطقة عنييس و مصنع بربر والكيلو 315.1 و مدخل الطريق إلى عطبرة .

كما أن رمي النفايات في السكة يظهر ضعف الوعي للمجتمع المحيط بالسكة .



صورة 3-3-17 ( قضيب مغطى بالتراب و حدوث جرف للردميات بواسطة مياه الأمطار )



**صورة 18-3-3 ( قضبان مغطاة بالتراب ، محطة بربر )**

و من اخطر المشكلات البيئية و اكثرها شيوعاً هي حدوث نحر في طبقات ردميات السكة و انكشاف الفلنكان و انجرافها او حتى تفكك القطبان ، و في هذه الحالة يتم تصميم مجاري و مصارف لمياه الأمطار و السيول و لكن قد يحدث نحر في مناطق تنحبس فيها المياه او بالقرب من المصرف ، كما هو موجود في الكيلو 342.1 و منطقة المكايلاب التي حدث فيها السيل .



**صورة 19-3-3 (نحر في ردميات السكة بسبب مياه الأمطار )**



صورة 20-3-3 ( نحر بالقرب من مصرف امطار )

و من الأسباب التي تؤدي إلى النحر في الردميات انسداد المصارف بعوائق مثل الرمال و النفايات مما يضعف تحمل طبقات الردميات للمياه .



صورة 21-3-3 ( مصارف امطار مغلقة بالرمل )



صورة 22-3-3 ( أثار سالبة لرمي النفايات في مصارف المياه )

نتيجة لعدم قدرة المصارف على تصريف المياه تنمو النباتات داخل المصارف و بالقرب منها و تزيد من مشاكل تصريف المياه و لها تأثير اكبر على قطاع السكة ، حيث تسبب الشجيرات تغيير في التربة و تؤثر على استقامة القضبان و يمكن ان تغطي مسار القضيب و تحدث تشققات و تكسرات في الكباري مما يؤدي الى تداخل أجزاء السكة .



صورة 23-3-3 ( نمو الشجيرات في مصارف المياه )



صورة 3-3-24 ( حدوث شقوق في الكباري و تأثيرها على السكة )

#### 7- السرقة :

سرقة الفلنكات و المسامير و القطع الصغيرة و حتى القضبان و أجزاء الإشارات و لافتات الخطر و الارشاد و خاصة في المحطات .



صورة 3-3-25 ( أجزاء إشارات مكسرة و مفقودة )

## الفصل الرابع

### 4- الدراسات و النتائج و الحلول

#### 4-1. مقدمة :

- يُمثل هذا الفصل الثمرة التطبيقية لهذه الدراسة، حيث يتم فيه الانتقال من الإطار النظري والمنهجي إلى مرحلة التحليل الميداني والمخبري الدقيق. تهدف هذه المرحلة إلى استنتاج البيانات والمعطيات التي تم جمعها للوصول إلى فهم شمولي لواقع منطقة الدراسة ومشكلاتها التقنية والهيكلية.
- تم تجميع الدراسات لكل السكه المعنية بالباب الثالث .
- تتمحور هيكلية هذا الفصل حول ثلاثة ركائز أساسية :
  - أولاً: دراسة القطاعات: ونستعرض فيها التقسيمات الوظيفية والمكانية لمنطقة البحث، مع تحليل الخصائص العمرانية والخدمية لكل قطاع على حدة، لتحديد نقاط القوة والفجوات القائمة.
  - ثانياً: دراسة التربة: نظراً للأهمية الجوهرية للأسس الإنشائية، يتناول هذا القسم نتائج الاختبارات الجيوتقنية وتحليل خواص التربة الفيزيائية والكيميائية، ومدى ملائمتها للمشروع .
  - ثالثاً: النتائج والحلول: وبناءً على ما تقدم من بيانات، نخلص إلى استنتاجات علمية رصينة، تليها حزمة من الحلول والمقترحات الهندسية والتخطيطية التي تهدف إلى معالجة المشكلات المرصودة وتقديم بدائل مستدامة وقابلة للتنفيذ.
- إن التكامل بين دراسة القطاعات ببعدها التخطيطي ودراسة التربة ببعدها الإنشائي هو ما سيسمح بصياغة حلول تتسم بالدقة العلمية والجدوى الاقتصادية، محققةً بذلك أهداف الدراسة الرئيسية .

#### 4-2. نتائج الدراسة :

يستعرض هذا القسم المحصلة النهائية لعمليات الرصد والتحليل الجيوتقني والهندسي لشبكة السكك الحديدية محل الدراسة. تهدف هذه النتائج إلى تقديم صورة دقيقة للوضع الراهن للمسار، مع التركيز على تحديد "النقاط الحرجة" التي تؤثر على سلامة وكفاءة النقل السككي.

لقد شملت عملية الرصد تقييماً شاملاً للمكونات التالية :

#### 4-2-1. البنية الفوقية (Superstructure) :

تتضمن حالة الخطوط (القضبان) ومدى استقامتها، وكفاءة المفاتيح (Switches) والتحويلات، بالإضافة إلى هندسة المنحنيات ونسب الانحراف فيها.

#### 4-2-1-1. دراسة القطبان و الفلنكات :

التعامل مع القضبان الخفيفة والقديمة مثل (50 رطل/ياردة) و (75 رطل/ياردة) يمثل تحدياً هندسياً كبيراً، خاصة وأن هذه الأوزان صُممت لعصر مضى وأحمال محورية (Axial Loads) محدودة جداً مقارنة بالمتطلبات الحديثة.

#### الحلول المقترحة :

##### 1- الإحلال التدريجي والترقية (Upgrading & Replacement) :

الاستبدال بقضبان أثقل المقترح الأمثل هو الاستبدال التدريجي بقضبان (UIC 54) أو (UIC 60) ، والتي تزن حوالي 110-120 رطل/ياردة. هذا يسمح بزيادة سرعة القطارات وتحمل أحمال أكبر دون خطر الكسر.

2- استخدام القضبان الملحومة (CWR) : بدلاً من القضبان الموصلة بـ "البلاطات (Fishplates)" أو "البلنجات" التي تسبب صدمات عند المفاصل، يُقترح استخدام اللحام المستمر (Continuous Welded Rail) لتقليل الاهتزازات وتآكل القضبان القديمة.



صورة رقم ( 1-4 ) ( لحم القضبان )

إن الانتقال من قضبان 50 و 75 رطل/ياردة إلى المعايير الدولية الحديثة ليس مجرد تحسين، بل هو ضرورة أمنية واقتصادية.

بما أن السودان يستخدم غالباً "السكة الضيقة (1067mm - Cape Gauge)" ، فإن تركيب قضبان ثقيلة مثل (UIC 60) يتطلب دقة عالية في ضبط المنحنيات، لأن صلابة القضيب الثقيل تجعل من الصعب تشكيله في المنحنيات الضيقة مقارنة بالقضبان الخفيفة .

- مقارنة فنية بين القضبان القديمة والمقترحة :

يوضح الجدول التالي الفوارق الجوهرية التي تؤثر على قدرة التحمل والأداء التشغيلي :

| وجه المقارنة         | قضبان 75،50 رطل/الياردة  | قضبان 60،54 UIC              | الأثر الهندسي                            |
|----------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------------------|
| الوزن التقريبي       | 25-37 كجم/متر            | 54-60 كجم/متر                | زيادة الثبات و مقاومة الأزاحة            |
| الحمل المحوري الأقصى | 10-15 طن/محور            | 22.5-25 طن/محور              | مضاعفة سعة الشحن للقطار الواحد           |
| السرعة التصميمية     | غالباً أقل من 60 كم/ساعة | تصل إلى 160 كم/ساعة و أكثر   | تقليل زمن الرحلة و زيادة الكفاءة         |
| عمر الأجهاد Fatigue  | منخفض مقارنة بالحديثة    | مرتفع مصمم للأجهادات الحديثة | تقليل حوادث الانحراف الناتج عن كسر السكة |
| نوع الربط            | مسامير عادية             | مشابك مرنة Pandrol/Vossloh   | حماية اتساع السكة Gauge Widening         |

جدول رقم (4-1)

عند استخدام قضبان خفيفة (50 رطل) مع أحمال حديثة، يتجاوز عزم الانحناء (Bending

Moment) قدرة تحمل مقطع القضيب، مما يؤدي إلى حدوث تشوهات دائمة.

3- تطوير الفلنكات (Sleepers): هو العمود الفقري لاستقرار السكة الحديدية، خاصة عند الانتقال من



صورة رقم (4-2) (فلنكات خرسانية)

أحمال قديمة إلى أحمال حديثة الحل الأمثل الفلنكات الخرسانية سابقة الإجهاد (Pre-stressed Concrete) تعتبر المعيار العالمي الحديث، وهي البديل الأقوى للخشب والحديد المتهالك.

#### • المميزات :

- الثبات الكتلي: وزنها الثقيل يمنع إزاحة السكة (Buckling) ويقاوم قوى الطرد المركزي في المنحنيات.

- العمر الافتراضي: يصل إلى 50 عاماً مع حد أدنى من الصيانة.

- توزيع الأحمال: مثالية للأحمال المحورية العالية 22.5 طن فأكثر .

4. الحل البديل: الفلنكات المركبة (Composite Sleepers) : مصنوعة من مواد بلاستيكية معاد تدويرها وألياف زجاجية.

• المميزات :

- مقاومة البيئة: لا تتعفن (مثل الخشب) ولا تصدأ (مثل الحديد)، وممتازة للمناطق الرطبة أو الملحية.

- سهولة التركيب: يمكن ثقبها واستخدام نفس أدوات تركيب الخشب، مما يسهل عملية الإحلال الجزئي دون تغيير المعدات.

5. الحل المطور للفلنكات الحديدية (Steel Sleepers) : تطوير العوارض الحديدية القديمة بنماذج حديثة ذات تصميم "وعائي" (Trough shape)

- المميزات:

- خفة الوزن: أسهل في النقل للمناطق النائية مقارنة بالخرسانة.

- إعادة التدوير: لها قيمة كمواد خام بعد انتهاء عمرها الافتراضي

6- تقنيات التثبيت الحديثة (Fastening Systems) : تغيير العارضة وحده لا يكفي؛ يجب تحديث وسيلة ربط القضيب بالفلنكات مثل :



صورة رقم (3-4) (مشابك زمبركية)

- نظام الربط المرن (Elastic Clips) استبدال المسامير (Spikes) بمشابك زمبركية تمنع "اتساع السكة" وتوزع الإجهاد بشكل متساوٍ.

- الوسادات المطاطية: (Rail Pads) وضع قطعة مطاطية بين القضيب والعارضة لتقليل الضوضاء ومنع تآكل سطح العارضة الخرسانية.



صورة رقم ( 4-4 ) ( وسائد مطاطية )

7. التوافق مع الفلنكات (Sleeper Compatibility)

يفضل الحفاظ على مسافة تقارب 60 سم لضمان توزيع ضغط

#### 2-1-2-4. دراسة التحويلات و المفاتيح و الإشارات (Switches, Keys and Signals) :

1. الحلول الهندسية والميكانيكية (البناء الفوقي) :

- التحول إلى العوارض الخرسانية للتحويلات: (Concrete Turnout Sleepers) استخدام العوارض الخرسانية المصممة خصيصاً للتحويلات يمنح ثباتاً أفقياً ورأسياً يمنع "اتساع السكة" عند منطقة الإبرة.

- استخدام تقنية "المنغنيز الصلب" للمقاصات: (Manganese Steel Frogs) تتعرض منطقة "المقص" لتآكل شديد نتيجة اصطدام شفة العجلة. استخدام سبائك المنغنيز التي تزداد صلابة مع الاستخدام (Work Hardening) يطيل عمر التحويلة ويقلل من الحاجة للاستبدال المتكرر

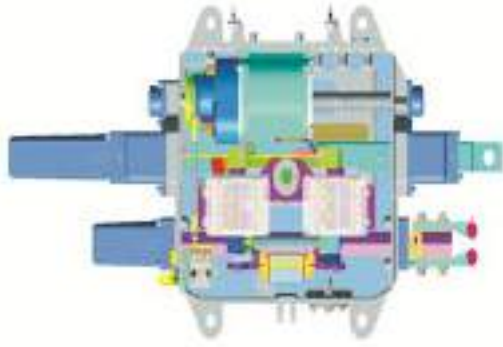
2. التحدي البيئي الأكبر (الرمال والأتربة) :

تتسبب الأتربة والرمال في "تحجيم" حركة الإبرة ومنع انغلاقها التام، مما يؤدي لخروج القطارات عن المسار.

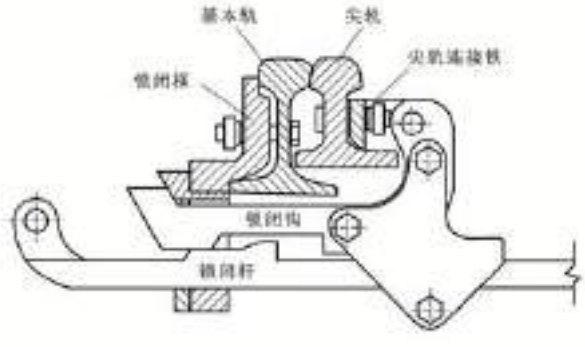
- أغطية الحماية المرنة: (Switch Covers) تركيب أغطية واقية فوق الأجزاء المتحركة لمنع تراكم الرمل داخل ميكانيكية التحويلة.



- المشغلات الميكانيكية ذاتية التشحيم (Self-Lubricating Slide Chairs) : استبدال كراسي الإزاحة التقليدية بأخرى مطلية بمواد (مثل النايلون الصناعي أو الموليبيدينوم) التي لا تحتاج لزيوت أو شحوم تجذب الرمال وتتحول إلى "عجينة" تعيق الحركة



(a) ZD(J)9型交流电动机



(b) 分动钩式横轴装置

صورة رقم ( 5-4 ) ( مشغلات ميكانيكية ذاتية التشحيم )

3. تحديث أنظمة التشغيل (الإشارات والتحكم) :

- التحكم اللاسلكي عن بُعد (Radio Control Switches) : بدلاً من الأنظمة السلكية المعقدة التي تتعرض للتخريب أو التآكل، يمكن استخدام أنظمة تحكم لاسلكية تعمل بالطاقة الشمسية لتحريك التحويلات في المحطات البعيدة، مما يقلل من العنصر البشري والمخاطر.

- أنظمة القفل الكهربائي المستقل (Electric Point Machines with Solar Backup) : نظراً لمشاكل استقرار التيار الكهربائي، يجب تزويد كل تحويلة بنظام طاقة شمسية مستقل مع بطاريات ليثيوم لضمان عمل التحويلة وإحكام قفلها حتى عند انقطاع الشبكة العامة.



صورة رقم (4-6) ( أنظمة القفل الكهربائي المستقل )

#### 4. الصيانة الوقائية والمراقبة الذكية :

- استشعار "خلوص الإبرة: (Point Gap Sensors) "تركيب حساسات بسيطة تعطي إنذاراً فورياً للمراقب إذا لم تنغلق الإبرة تماماً (أقل من 3 مم). هذا يمنع وقوع الحوادث قبل وصول القطار للتحويلة.
- وحدات الصيانة المتنقلة : تخصيص فرق مجهزة بآلات جليخ صغيرة (Portable Grinding) لتسوية رؤوس الإبر بشكل دوري، مما يمنع ظاهرة "تسليق العجلة.(Wheel Climbing) "



صورة رقم ( 4-7 ) (وحدات الصيانة المتنقلة )

جدول: مقارنة بين الحلول التقليدية والمقترحة للقطاع خاصة و للسودان عامة :

| التحدي          | الحل التقليدي         | الحل المقترح           | الميزة                |
|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| تراكم الرمال    | الازالة اليدوية       | كراسي إزاحة جافة       | منع التصاق الرمال     |
| انقطاع الكهرباء | التشغيل اليدوي المتعب | طاقة شمسية + بطاريات   | سرعة التشغيل و الأمان |
| تآكل المقصات    | اللحام المتكرر        | مقصات المنغنيز المصبوب | عمر افتراضي طويل جداً |
| دقة المسار      | عوارض خشبية           | عوارض خرسانية ثقيلة    | ثبات هندسي عالي       |

جدول رقم (4-2 )

#### 3-1-2-4. دراسة مشاكل التعديات على حرم السكة :

1- الحلول الهندسية والتقنية (تحديد الحرم) : بدلاً من ترك الحرم مفتوحاً للإغراء بالبناء، يجب "ترسيمه" مادياً:

- التسوير الفيزيائي (Physical Fencing) في المناطق الحضرية والأسواق، يجب إنشاء أسوار خرسانية أو حديدية متينة تفصل السكة تماماً عن المحيط السكني.



صورة رقم ( 8-4 ) ( اسوار خرسانية )

- خنادق الحماية (Safety Ditches) في المناطق الزراعية، يمكن حفر خنادق طولية على حدود الحرم. تعمل هذه الخنادق كعائق طبيعي يمنع تمدد الزراعة أو مرور الماشية والآليات الزراعية فوق القضبان.

- المراقبة بالأقمار الصناعية والدرون (GIS & Drones) استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لرسم خرائط رقمية دقيقة لحرم السكة، واستخدام طائرات "الدرون" دورياً لرصد أي أساسات بناء جديدة قبل اكتمالها، مما يسهل إزالتها قانونياً.

2- المعالجة الاقتصادية والاجتماعية (مناطق الأسواق) : الأسواق العشوائية (مثل سوق مدخل عطبرة أو الأسواق القريبة من المحطات) تنشأ للحاجة الاقتصادية، لذا الحل القمعي وحده لا يكفي:

- الأسواق البديلة المنظمة: إنشاء مساحات تجارية منظمة (بوثات أو أكشاك) بعيدة عن القضبان بمسافة آمنة، وتأجيرها للباعة المتجولين بأسعار رمزية مقابل إخلاء الحرم.

- الممرات الآمنة للمشاة و السيارات : إنشاء كباري مشاة أو أنفاق بسيطة في مناطق الاكتظاظ السكاني، لمنع الناس من عبور السكة بشكل عشوائي، وهو ما يشجع عادة على نشوء نشاط تجاري حولها و تخطيط ممرات محددة لسيارات في المناطق السكنية تسمح بالدخول و الخروج المنظم من القرى و المجمعات السكنية .



صورة رقم ( 4-9 ) (ممرات للمشاة و السيارات )

## 2- الإجراءات القانونية والإدارية :

- تفعيل "قانون حماية السكك الحديدية" : تغليظ العقوبات على التعدي، مع منح "شرطة السكة حديد" صلاحيات أوسع للإزالة الفورية لأي منشأة مؤقتة داخل الحرم (مثل الرواكيب والمظلات).

- شهادات البحث العقاري: التنسيق مع سلطات الأراضي لضمان عدم استخراج أي شهادة بحث أو تصريح بناء للمباني التي تقع ضمن حرم السكة (غالباً ما يكون 15-30 متراً من مركز الخط).

## 4- الحلول التوعوية (الاستثمار في المجتمع) :

- تحديد العلامات الكيلومترية: وضع أعمدة خرسانية واضحة ملونة (مثلاً باللون الفسفوري) كل 100 متر توضح حدود الحرم، لكي لا يتذرع المواطن بجهله بحدود السكة.

- حملات "السكة حديد ملك للجميع": إشراك لجان الأحياء والقيادات المحلية في توعية المواطنين بمخاطر السكن قرب القضبان (الضوضاء، الاهتزازات التي تدمر الأساسات، وخطر الحوادث).

## 4-1-2-4. الدراسات البيئية :

1- زحف الرمال (Sand Drifting) : الرمال هي "العدو الصامت" الذي يسبب تآكل القضبان واختلال الموازين. (Ballast).

- المصدات النباتية: (Green Belts) زراعة أحزمة شجرية من أنواع مقاومة للجفاف (مثل السيل أو الطلح) على مسافات مدروسة من الخط لتقليل سرعة الرياح وترسيب الرمال قبل وصولها للسكة.



صورة رقم (10-4) (مصدات نباتية)

- تغيير "بروفيل" جسر السكة: (Embankment Aerodynamics) تصميم جسر السكة بشكل انسيابي أو بارتفاع معين يسمح للرياح المحملة بالرمال بالمرور "عبر" أو "فوق" السكة دون ترسيب الرمال عليها.

- كاسحات الرمال الأمامية : تركيب كاسحات رمال متطورة على مقدمة القاطرات (Pilot Plows) لإزاحة التراكمت البسيطة أولاً بأول أثناء الرحلة.



صورة رقم (11-4) (كاسحات رمال)

- استخدام "البلاست" المغطى (Ballast Sealing) في المناطق شديدة الزحف، يمكن رش طبقة رقيقة من مواد تثبيت التربة غير الضارة بالبيئة لمنع تغلغل الرمال بين حبيبات الزلط.



صورة رقم (4-12) (عملية رش البلاست بالمواد المثبتة)

- 2- الأمطار والسيول (Floods & Heavy Rain): تتسبب السيول في "جرف" جسر السكة (Washouts)، مما يؤدي لتوقف الخطوط تماماً.
- زيادة سعة التصريف (Culverts & Bridges): إعادة دراسة "المجري المائية" وتوسيع العبارات (Culverts) لتستوعب كميات مياه أكبر من المعدلات التاريخية، مع تبطين مداخلها بالخرسانة لمنع النحر.

- استخدام "الجيو-تيكستيل" (Geotextiles): وضع طبقات من نسيج الجيو-تيكستيل تحت "البلاست" لتقوية التربة ومنع اختلاط الطين بالزلط أثناء الأمطار، مما يحافظ على ثبات السكة.



صورة رقم (4-13) (طبقة الجيو-تيكستيل)

- أنظمة الإنذار المبكر (Flood Warning Systems): وضع حساسات لمستوى المياه في الوديان والخيران القريبة من السكة، ترسل إشارات فورية لغرفة التحكم عند وصول المياه لمستويات خطيرة.
- 4- النفائات والمخلفات الصلبة:

في المدن (مثل الخرطوم، عطبرة، كوستي) حيث تتحول السكة لمكبات نفايات تعيق الرؤية وتسبب الحرائق . يمكن علاجها بالآتي :

- حاويات الجمع الطرفية : وضع حاويات نفايات كبيرة عند تقاطعات السكة مع الأحياء، وتنسيق نقلها مع البلديات لمنع المواطنين من الرمي العشوائي على الخط.

- قطار النظافة الدوري: تخصيص "مقطورة" مزودة بمكنسة ميكانيكية قوية تمر دورياً (مرة أسبوعياً) لتنظيف المسار داخل المدن من الأكياس والمخلفات.

- التشجير والمساحات الخضراء: تحويل حرم السكة إلى "مشى" أو مساحات خضراء مسورة (Landscaping) في المناطق المأهولة، لأن الناس عادة لا يرمون النفايات في الأماكن الجميلة والمنظمة.

- جدول الحلول المقترحة حسب المنطقة في السودان :

| المنطقة                                | المشكلة البيئية الأبرز    | الحل الأنسب                                       |
|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|
| شمال السودان                           | زحف الرمال                | المصدات الشجرية<br>+كاسحات القطارات               |
| شرق السودان (جبال البحر الأحمر)        | السيول الجارفة            | جسور خرسانية واسعة<br>+تبطين الميول               |
| وسط السودان و المدن                    | النفايات و الزحف العمراني | الأسوار+قطارات<br>النظافة+التوعية                 |
| المناطق الطينية (الجزيرة/النيل الأبيض) | انغراس السكة              | طبقات من المواد صديقة<br>للبيئة +تصريف مياه متطور |

جدول رقم (4-3)

- دراسة الكباري و العبارات :



صورة رقم ( 4-14 ) ( مثال لكباري )

ارتفاع الكباري تتراوح ما بين 1.5 متر الى 8 امتار و توجد كباري بها عدة ممرات مبطنه تصل الى 7 ممرات طول الممرات 4.5 متر منها ممرات تحتوي على فرشاة خرسانية في الأسفل بعرض يتراوح ما بين 6 – 7.2 متر و تعتبر هي الأفضل لتصريف المياه .



صورة رقم ( 4-15 )



صورة رقم ( 4-16 ) (لعبارات)

#### 2-2-4. البنية التحتية (Substructure) :

وتركز على الحالة الإنشائية للمحطات، وتقييم استقرار الردميات (Embankments) ، مع تحليل نتائج فحص التربة وقدرتها التحميلية تحت ضغوط الأحمال الديناميكية للقطارات. تُعد هذه النتائج حجر الزاوية الذي سيتم بناءً عليه تشخيص المشكلات الهيكلية، وتحديد مسببات التآكل أو الهبوط، وصولاً إلى وضع الحلول الهندسية الكفيلة برفع كفاءة المنظومة وضمان استدامتها.

#### 1.2-2-4. طبقة البالاست (Ballast) او طبقة التزليط :

تُعد طبقة البالاست (Ballast) الركيزة الأساسية في بنية السكك الحديدية، وهي طبقة من الركام الخشن ذو الزوايا الحادة الذي يوضع أسفل وحول "الفلنكات". تكمن وظيفتها الجوهرية في توزيع الأحمال الديناميكية الهائلة الناتجة عن حركة القطارات إلى التربة تحتها، بالإضافة إلى تأمين الصرف السريع لمياه الأمطار ومنع نمو الأعشاب التي قد تخل بثبات السكة. ولضمان كفاءة هذه الطبقة، يتم إخضاع الركام لسلسلة من الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية الدقيقة، ومن أهمها:

1. تجربة التحليل المنخلي (Sieve Analysis) : تُجرى وفقاً للمواصفة [ASTM C136](#) ، وتكمن أهميتها في تحديد التوزيع الحبيبي (Gradation) للركام. فالتردد الصحيح يضمن وجود (Interlocking) ترابط قوي بين الحبيبات لمنع حركة السكة، مع الحفاظ على فراغات كافية لتصريف المياه ومنع انسداد الطبقة بالمواد الناعمة.

| فتحة المنخل (مم) | الوزن المحجوز (جرام) | المحجوز المتراكم (%) | المار المتراكم (%) |
|------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| 50               | 0                    | 0                    | 100                |
| 37.5             | 206                  | 8.58                 | 91.42              |
| 25               | 1109                 | 54.79                | 45.21              |
| 19               | 869                  | 91                   | 9                  |
| 16               | 75                   | 94.13                | 5.87               |
| 12.5             | 77                   | 97.33                | 2.67               |
| 9.5              | 48                   | 99.33                | 0.67               |
| 4.75             | 14                   | 99.92                | 0.08               |
| Pan              | 2                    | 100                  | 0                  |

جدول رقم (4-4)

- بناءً على النتائج، يظهر أن الركام ذو خشونة عالية جداً. خلاصة فحص الركام:
- أظهرت نتائج التحليل المنخلي لعينة الركام (وزن [2400](#) جم) أن المادة تصنف كـ ركام خشن (Coarse Aggregate) ذو تدرج محصور غالبية بين مقاسي [37.5](#) مم و 19 مم.
- التوزيع الحبيبي: تتركز الكتلة الأساسية للركام (حوالي 82%) بين المنخلين [37.5](#) مم و 19 مم، مما يشير إلى ركام ذو مقاسات كبيرة.
  - ملاحظة فنية: العينة تفتقر إلى التدرج الشامل (Well-graded) حيث أن نسبة المار من منخل [4.75](#) مم (الفصل بين الركام الخشن والناعم) تكاد تكون معدومة ([0.08](#)% ) ، مما يعني أن الركام

"خشن نقي" وخالي من الرمل.

## 2- اختبار الامتصاص (Water Absorption) :

يُستخدم لتقييم مدى مسامية الركام وقوة بنيته الداخلية. فكلما انخفضت نسبة الامتصاص، زادت مقاومة الركام لعوامل الجوية ودورات التجمد والذوبان، مما يمنع تفتت الحبيبات بمرور الزمن ويحافظ على العمر الافتراضي لطبقة البالاست تحت ظروف التشغيل القاسية.

• الوزن مشبع وجاف السطح  $W_{ssd} = 1375$  جرام

• الوزن جاف تماماً  $W_{dry} = 1370$  جرام

$$Absorption\% = \frac{W_{ssd} - W_{dry}}{W_{dry}} \times 100$$

= 0.365 %

- النتائج :

التحقق والتصنيف بحسب المراجع الدولية :

- الجودة: الحجر يعتبر ممتازاً جداً من حيث المسامية. نسبة الامتصاص منخفضة جداً (أقل بكثير من 1%)، وهذا مؤشر على أن الحجر صلد وذو بنية داخلية متماسكة.
- المقاومة الجوية: هذه النسبة المنخفضة تعني أن الحجر لن يتأثر كثيراً بدورات التجمد والذوبان (Freeze-Thaw) ولن يمتص الرطوبة التي تؤدي إلى تفتته كيميائياً أو ميكانيكياً بمرور الوقت.
- الاستخدام : الحجر مناسب تماماً للاستخدام في الخطوط الرئيسية (Main Lines) ذات السرعات العالية والأحمال المحورية الثقيلة.

المرجع المعتمد للمقارنة :

اعتمدت في هذا التقييم على 1, (AREMA Manual for Railway Engineering - Chapter 1)

Part 2) والذي يشترط صراحةً ألا تتجاوز نسبة امتصاص الماء للركام المستخدم كبالاست

عن 1.0% لضمان استقرار السكة وتصريف المياه بشكل فعال.

## 2-2-2-4. دراسات ردميات السكة ( Report Subgrade Testing ) :

تُصنف التربة المستخدمة في الردميات بناءً على قدرتها على تحمل الأحمال وتصريف المياه وعدم التغير الحجمي الكبير.

### 1. التحليل المنخلي (Sieve Analysis) :

- الغرض: تحديد توزيع الحبيبات (حصى، رمل، طمي، طين).
- الأهمية: في السكك الحديدية، يفضل استخدام تربة ذات تدرج حبيبي جيد (Well-graded) لضمان التداخل بين الحبيبات وتقليل الفراغات.

• المعيار: يجب ألا تزيد نسبة المواد الناعمة (المارة من منخل رقم 200 عن حد معين (غالباً 15-25% حسب المواصفة) لضمان عدم تأثر السكة بالوحد عند المطر.

2. حدود أتربرج (Atterberg Limits) حد السيولة (LL) وحد اللدونة (PL) :

• العملية: يتم حساب معامل اللدونة.  $(PI = LL - PL)$

• الهدف: معرفة مدى حساسية التربة للماء وقابليتها للانتفاخ أو الانكماش.

• التقييم: إذا كان PI عالياً (أكثر من 15-20%)، تعتبر التربة طينية نشطة وقد تسبب مشاكل "تموج" في القضبان.

المرجع: مواصفات AREMA تفضل استخدام تربة غير لدنة أو ذات لدونة منخفضة جداً في الطبقات القريبة من السطح.

3. المحتوى الرطوبي (Moisture Content) :

• الغرض: تحديد كمية الماء الموجودة فعلياً في العينات المأخوذة من الموقع.

• الربط الفني: يتم مقارنة الرطوبة الطبيعية بالرطوبة المثلى (Optimum Moisture Content)

الناتجة من اختبار "بروكتور" للتأكد من أن التربة في الموقع مدموكة بشكل صحيح. (Compaction)

4. اختبار نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR - California Bearing Ratio) :

هذا هو الاختبار الأهم لتصميم سماكة طبقات السكة. يقيس قوة قص التربة وقدرتها على التحمل مقارنة بحجر قياسي.

• المعايير القياسية حسب (AREMA) و (UIC) :

- ممتاز :  $CBR > 20\%$  مناسب جداً للطبقات العليا للردم.

- جيد :  $10\% < CBR < 20\%$

- ضعيف :  $CBR < 5\%$  يتطلب استبدال التربة أو معالجتها كيميائياً بالأسمنت أو الجير.

تم اجراء الاختبارات لثلاثة عينات مختلفة اخذت من القطاع :

اولاً : العينة A :

النتائج :

- حساب المحتوى الرطوبي (Moisture Content) :

• العينة A : 1.12%

• العينة B : 1.09%

• العينة C : 0.82%

• المتوسط العام للمحتوى الرطوبي (w) : 1.01%

- التصنيف العالمي حسب نظام USCS أو AASHTO :

وبما أن المحتوى الرطوبي الطبيعي منخفض جداً (1.01%) ، فهذا يعني:

• الحالة الفيزيائية: التربة في حالتها الحالية "صلبة" أو "شبه صلبة" لأن الرطوبة أقل بكثير من حدود اللدونة المتوقعة للطين.

• التصنيف المبدئي: تُصنف كتربة ناعمة (Fine-grained soil) إذا كان حد السيولة (LL) أقل من

50% ، تُصنف كطين قليل اللدونة (CL) ، وإذا كان أعلى تُصنف كطين عالي اللدونة (CH).

بالنظر إلى المعايير AREMA و UIC ومقارنتها بهذه النتيجة:

• من حيث المحتوى الرطوبي: النسبة (1.62%) تعتبر جافة جداً مقارنة بالرطوبة المثلى (OMC) التي

تتراوح عادة في التربة الطينية بين 12% إلى 20%.

• من حيث نوع التربة (طينية) :

- القرار: ليست الخيار الأفضل. مواصفات السكك الحديدية تفضل التربة الحصوية أو الرملية-Well (Well-

graded) لضمان تصريف المياه.

• المخاطر: التربة الطينية، حتى لو كانت جافة الآن، بمجرد وصول مياه الأمطار إليها ستفقد قوتها

(تنخفض قيمة الـ CBR وقد يحدث لها انتفاخ (Swelling) ، مما يؤدي إلى عدم استقرار القضبان.

- التحليل المنخلي (Sieve Analysis) :

الوزن الكلي للعينة : 1500 جم

- المحجوز التراكمي = مجموع كل منخل مع الذي يليه .

- نسبة المحجوز التراكمي = ( المحجوز التراكمي / الوزن الكلي ) \* 100

- نسبة المار = 100 - نسبة المحجوز التراكمي .

| رقم المنخل ملم | الوزن المحتجز جم | المحتجز التراكمي جم | نسبة المحتجز التراكمي % | نسبة المار % |
|----------------|------------------|---------------------|-------------------------|--------------|
| 4.75           | 128              | 128                 | 8.53                    | 91.47        |
| 2.36           | 110              | 238                 | 15.86                   | 84.14        |
| 1.18           | 163              | 401                 | 26.73                   | 73.27        |
| 0.600          | 214              | 615                 | 41                      | 59           |
| 0.425          | 184              | 799                 | 53.27                   | 46.73        |
| 0.300          | 385              | 1184                | 78.94                   | 21.06        |
| 0.150          | 46               | 1230                | 82.01                   | 17.99        |
| 0.075          | 136              | 1366                | 91.08                   | 8.92         |
| PAN            | 134              | 1500                | 100                     | 0.00         |

جدول رقم ( 4-5 )

### الخلاصة النهائية لتصنيف التربة (Soil Classification Report) :

- معطيات التحليل المنخلي (Sieve Analysis) :

النوع الرئيسي تربة خشنة الحبيبات (بما أن المار من منخل 200 هو 8.92%، أي أقل من 50 % )  
الصف الرئيسي رمل (S - Sand) ، لأن أكثر من 50% من الجزء الخشن مار من منخل رقم 4  
(4.75 ملم ) نسبة المواد الناعمة 8.92% وهي تقع في المنطقة الحرجة بين 5% و 12%، مما يتطلب  
تصنيفاً مزدوجاً بناءً على تدرج الحبيبات ولدونة المواد الناعمة .

- معطيات حدود أتربرج (Atterberg Limits) :

حد السيولة 24.33% (LL)

حد اللدونة 13.79% (PL)

معامل اللدونة 10.54% (PI)

عند إسقاط القيم (LL=24.33, PI=10.54) نجد أن المادة الناعمة تقع فوق "خط" A ، مما يعني أنها

طين (CL)

- التصنيف العالمي الموحد (USCS) :

بناءً على وجود مواد ناعمة (طينية) بنسبة تقارب 9%، ومع افتراض أن الرمل جيد التدرج (بناءً

على المؤشرات العامة)، يكون التصنيف هو:

رمل جيد التدرج مع طين (SW-SC) .

- الخصائص الهندسية والتقييم لردميات السكك الحديدية :

1. طبيعة التربة :هي تربة رملية تحتوي على نسبة من الطين . الرمل يوفر الاحتكاك والثبات، بينما يعمل الطين كمادة رابطة، لكنه يقلل من نفاذية الماء.
2. التصريف (Drainage) وجود 9% من المواد الطينية (CL) يجعل التصريف "متوسطاً إلى ضعيفاً". في السكك الحديدية، يُشترط تصريف عالٍ جداً لمنع تراكم المياه تحت "البلاست (Ballast)".
3. الاستخدام في السكك الحديدية :  
- كطبقة أساس (Ballast/Sub-ballast) غير صالحة مواصفات السكك الحديدية مثل مواصفات AREMA تتطلب مواد حصوية نظيفة جداً بنسبة ناعم أقل من 5% وقيمة PI لا تتعدى 6.  
- كطبقة ردم إنشائي (Embankment/Subgrade) صالحة بشرط انه يمكن استخدامها كطبقة ردم تحت السكة (Subgrade) لأن الرمل يمنحها ثباتاً جيداً، وقيمة اللدونة (10.5) ليست مرتفعة جداً لدرجة تسبب انتفاخاً كارثياً، لكنها تتطلب دكاً (Compaction) دقيقاً عند محتوى مائي مثالي (OMC).

#### - الحل :

التربة رملية طينية. هي مادة جيدة للردم العام والطرق، ولكن بالنسبة للسكك الحديدية، يجب حصر استخدامها في طبقات الردم السفلى فقط، مع ضرورة وضع طبقة من الحجر المكسر أو الرمل النظيف فوقها لضمان عدم وصول الرطوبة إليها ومنع ظاهرة "ضخ المواد الناعمة (Pumping)" التي قد تحدث بسبب الأحمال الديناميكية للقطارات.

#### ثانياً العينة B :

النتائج :

- حساب المحتوى الرطوبي (Moisture Content) :

العينة D : 0.238 %

العينة E : 0.408 %

العينة F : 0.239 %

متوسط المحتوى الرطوبي = 0.295 %

#### التحليل والتصنيف المبدئي :

- المحتوى المائي: النسبة ضئيلة جداً (أقل من 1%)، وهذا يشير إلى أن العينة كانت شبه جافة تماماً وقت الاختبار، أو أن الحصى فيها لا يحتفظ بالماء نهائياً.

• نوع التربة: (Gravelly Red Soil) ، فهي تندرج عادةً تحت تصنيف A-1-a أو A-2-4 حسب تصنيف (AASHTO) ، وهو ما يعني أنها تربة خشنة الحبيبات.

النسبة منخفضة جداً، مما يعني أنك ستحتاج لإضافة كميات كبيرة من الماء أثناء التنفيذ للوصول إلى الرطوبة المثلى (OMC) لتحقيق أقصى كثافة جافة.

- التحليل المنخلي (Sieve Analysis) :

الوزن الكلي للعينة = 2000 جم .

- المحجوز التراكمي = مجموع كل منخل مع الذي يليه .

- نسبة المحجوز التراكمي = ( المحجوز التراكمي / الوزن الكلي ) \* 100

- نسبة المار = 100 - نسبة المحجوز التراكمي .

| فتحة المنخل مم | الوزن المحتجز جم | المحجوز التراكمي جم | النسبة المئوية التراكمية للمحتجز % | النسبة المئوية للمار % |
|----------------|------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------|
| 50             | 0.022            | 0.022               | 0.001                              | 99.99                  |
| 37.5           | 0.3              | 0.322               | 0.016                              | 99.98                  |
| 25             | 252              | 252.322             | 12.62                              | 87.38                  |
| 19             | 488              | 740.322             | 37.03                              | 62.97                  |
| 16             | 184              | 924.322             | 46.23                              | 53.77                  |
| 12.5           | 110              | 1034.322            | 51.73                              | 48.27                  |
| 9.5            | 178              | 1212.322            | 60.63                              | 39.37                  |
| 4.75           | 231              | 1443.322            | 72.18                              | 27.82                  |
| PAN            | 556.6            | 2000                | 100                                | 0                      |

جدول رقم (4-6)

- تصنيف التربة حسب نظام : USCS

- معطيات التحليل المنخلي (Sieve Analysis) :

المار من منخل رقم 200 (المواد الناعمة) أقل من 50% لأن الحصى 72.18% بما أن الحصى < (72.18%) الرمل (27.82%) ، فالتربة حصوية (Gravel)

معطيات حدود أتربرج (Atterberg Limits) :

بما أن  $LL = 20.3$  و  $PI = 4.7$  ، فإن هذه القيم تقع في منطقة المواد "الغرينية" أو قريبة جداً من خط ال-A-line في النطاقات المنخفضة.

غالباً وجود اللدونة بنسبة [4.7](#) يشير إلى وجود شوائب ناعمة غير لينة (Silty)

التصنيف المبدئي المرجح GM: (حصى غريني) أو GW-GM.

- **الصلاحية لردميات السكك الحديدية والخصائص :**

1- تعتبر التربة ممتازة كطبقة تحت الأساس (Sub-ballast) أو ردميات إنشائية (Embankmen) ، ولكن بشرط رصها بشكل جيد .

2- الثبات الإنشائي: التربة تمتلك ثباتاً عالياً بسبب نسبة الحصى العالية (72.18 % ) ، مما يوفر احتكاكاً داخلياً قوياً وقدرة تحمل عالية.

3- النفاذية: المحتوى الرطوبي المنخفض جداً (0.295%) يدل على كثافة المادة وصلابتها، وهي مادة لا تحتفظ بالماء مما يقلل من خطر "الانتفاخ" أو "الهبوط" الناتج عن الرطوبة.

4- اللدونة: قيمة [4.7](#)  $PI =$  منخفضة جداً، وهذا مؤشر إيجابي جداً لردميات السكك الحديدية، لأنها تعني أن المواد الناعمة فيها غير طينية ولا تسبب انزلاقات أو تغيرات حجمية كبيرة.  
**الخصائص العامة لهذه التربة :**

مقاومة عالية للقص: بسبب تداخل حبيبات الحصى.

تصريف جيد للماء: بفضل طبيعتها الحصى، مما يحمي جسم السكة من التميع.

تأثر طفيف بالرطوبة: اللدونة المنخفضة تجعلها مستقرة كيميائياً وفيزيائياً عند تغير الفصول.

**ثالثاً العينة C :**

النتائج :

- حساب المحتوى الرطوبي (Moisture Content) :

العينة G : 0.46 %

العينة H : 0.48 %

العينة I : 0.53 %

المتوسط العام للمحتوى الرطوبي = 0.49 ( تربة جافة جداً ) .

- التحليل المنخلي (Sieve Analysis) :

الوزن الكلي للعينة 1100 جرام .

- المحجوز التراكمي = مجموع كل منخل مع اللذي يليه .

- نسبة المحجوز التراكمي = ( المحجوز التراكمي / الوزن الكلي ) \* 100
- نسبة المار = 100 - نسبة المحجوز التراكمي .

| رقم المنخل ملم | المحجوز جم | المحجوز التراكمي جم | نسبة المحجوز التراكمي % | النسبة المئوية للمار % |
|----------------|------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| 4.75           | 323        | 323                 | 29.36                   | 70.64                  |
| 2.36           | 88         | 411                 | 37.36                   | 62.64                  |
| 1.18           | 105        | 516                 | 46.91                   | 53.09                  |
| 0.600          | 104        | 620                 | 56.36                   | 43.64                  |
| 0.425          | 88         | 708                 | 64.36                   | 35.64                  |
| 0.300          | 192        | 900                 | 81.82                   | 18.18                  |
| 0.150          | 65         | 965                 | 87.73                   | 12.27                  |
| 0.075          | 81         | 1046                | 95.09                   | 4.91                   |
| PAN            | 54         | 1100                | 100                     | 0                      |

جدول رقم ( 4-7 )

- معطيات حدود أتربرج (Atterberg Limits) :

حد السيولة (LL) = 15.5 %

حد اللدونة (PL) = 0 فهذا يعني ان التربة غير لدنة ( Non-Plastic – NP ) .

تصنيف التربة العالمي (USCS)

- المواد الخشنة: تشكل 95.09% من العينة (أكبر من 50%)، إذن هي تربة خشنة.
- النوع السائد: نسبة الرمل (64.36%) أكبر من نسبة الحصى (29.4%) إذن التربة هي رمل (Sand).
- نسبة النواعم % 4.91 : (أقل من 5%). هذا يعني أنها تربة نظيفة تعتمد في تسميتها على التدرج.
- التصنيف: بما أن التدرج يحتوي على حصى ورمل بمقاسات متنوعة، تصنف كـ رمل متدرج جيداً مع حصى (Well-Graded Sand with Gravel) الرمز المختصر SW .

- الصلاحية لردميات السكك الحديدية والخصائص :

تعتبر التربة جيدة جداً لردميات السكك الحديدية كطبقة (Subgrade) أو (Sub-ballast) ، وذلك للأسباب الآتية:

- الاستقرار الميكانيكي: تصنيف SW يعني أن الفراغات بين الحبيبات الكبيرة مملوءة بحبيبات أصغر، مما يعطي كثافة جافة عالية عند الدمك.
- عدم وجود لدونة: كونها NP (غير لدنة) يجعلها مثالية؛ فهي لا تتأثر بالماء، ولا تنقلص أو تنتفخ، مما

يحافظ على استواء قضبان السكة الحديد .

• النفاذية: تسمح بمرور المياه ولا تحتفظ بها، مما يمنع حدوث ضغط ماء مسامي تحت الأحمال الديناميكية للقطارات.

- الخصائص:

• سهولة الدمك: تستجيب بشكل ممتاز للهراسات الاهتزازية.

• مقاومة الصقيع: لا تسبب مشاكل في المناطق الباردة لعدم احتفاظها بالرطوبة.

بشكل عام، التربة الرملية والحصوية التي تفتقر للمواد الرابطة (الطين) تكون أكثر عرضة للانجراف السطحي إذا تعرضت لتيارات مائية قوية ومباشرة.

التصريف العالي: هذه التربة ممتازة بنفاذية ممتازة. عند حدوث سيول، يمر الماء من خلال الفراغات بسرعة ولا يتراكم داخل جسم الطريق، مما يمنع حدوث "ضغط الماء المسامي" الذي يؤدي عادةً لانقيار التربة الطينية.

• الثبات الحجمي: لن تنتفخ التربة أو تنهار بمجرد وصول الماء إليها لأنها غير لدنة. (NP)

- حبيبات الرمل والحصى في هذه الحالة التربة "نظيفة" وغير متماسكة بـ "غراء" طيني، مما يسهل على جزيئات الماء دفعها وتحريكها إذا لم تكن محمية.

- الحل :

• في السكك الحديدية: إذا حدث سيل ولم تكن هناك حماية للجوانب (Embankment slopes) ،

فقد تتجرف التربة من تحت القضبان مما يسبب كارثة إزاحة المسار.

• تغليف الميول: (Slope Protection) تغطية جوانب الردمية بطبقة من الحجر (Rip-rap) أو

زراعتها بالأعشاب، أو استخدام "الجيو-تيكستايل" لمنع جرف الحبيبات الرملية.

• أنظمة التصريف: إنشاء قنوات تصريف جانبية (Side Ditches) وعبارات (Culverts) لتوجيه مياه السيول بعيداً عن جسم الردمية.

• الدمك الجيد: الوصول إلى كثافة جافة قصوى (MDD) يقلل من سهولة تحريك الحبيبات عند

ملامسة الماء.

- اختبار نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR - California Bearing Ratio) :

تم إجراء الاختبار على العينتين A و B في مختبر شركة زادنا للطرق و الجسور .

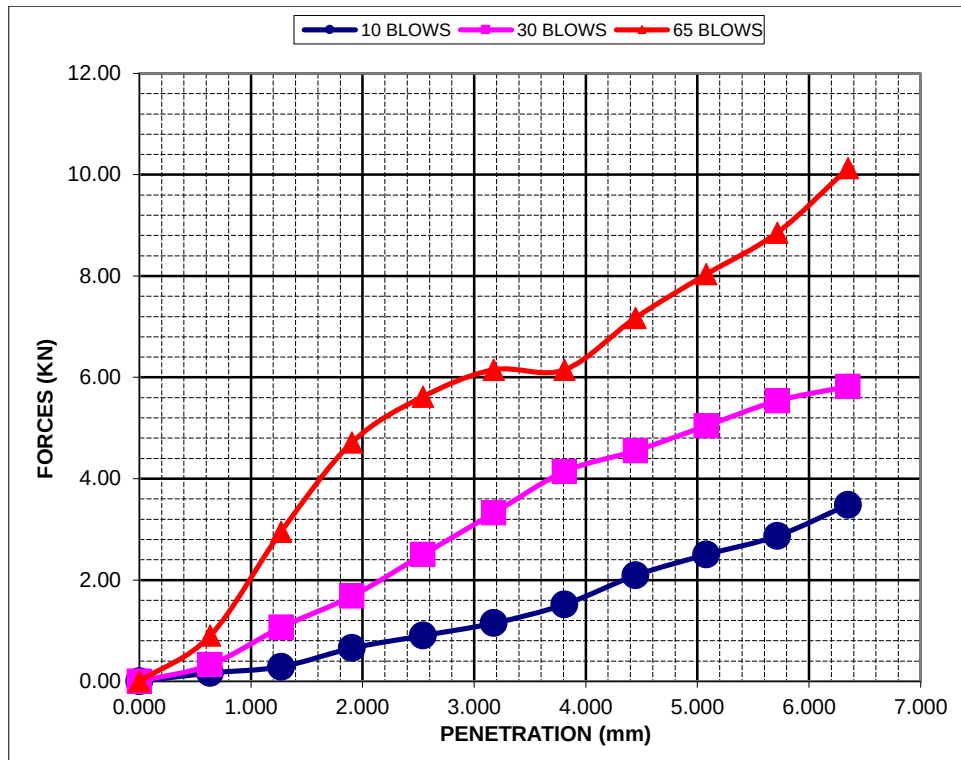
العينه A :

| COMPACTION DATA:(BEFORE SOAKING)                      |  |  |  |  | TEST (1)           | TEST (2) | TEST (3) |
|-------------------------------------------------------|--|--|--|--|--------------------|----------|----------|
| Compaction Type (Modified or Standard)                |  |  |  |  | M                  | M        | M        |
| Diameter of Mold D                                    |  |  |  |  | cm                 | 15.30    | 15.30    |
| Height of Sample H                                    |  |  |  |  | cm                 | 11.70    | 11.80    |
| Wt.of Mold + Wet Soil (W1)                            |  |  |  |  | gm                 | 12812.0  | 12080.0  |
| Wt.of Mold                                            |  |  |  |  | gm                 | 8156.0   | 7464.0   |
| Wt.of Wet Soil (W)                                    |  |  |  |  | gm                 | 4656.00  | 4616.00  |
| Volume of Sample (V)                                  |  |  |  |  | cm <sup>3</sup>    | 2049.00  | 2049.00  |
| Wet Density ( $\gamma_{wet}$ ) (W/V)                  |  |  |  |  | gm/cm <sup>3</sup> | 2.272    | 2.253    |
| Optimum water content (W.C) (from compaction test)    |  |  |  |  | %                  | 7.71     | 7.71     |
| Dry Density $\gamma_{dry} = (\gamma_{wet}/1+W.C/100)$ |  |  |  |  | gm/cm <sup>3</sup> | 2.110    | 2.092    |
| WATER CONTENT                                         |  |  |  |  |                    |          |          |
| Container no.                                         |  |  |  |  |                    | C3       | C1       |
| Wt. of Container + Wet Soil                           |  |  |  |  | gm                 | 254.20   | 297.40   |
| Wt. of Container + Dry Soil                           |  |  |  |  | gm                 | 244.20   | 284.20   |
| Wt. of Container                                      |  |  |  |  | gm                 | 47.80    | 48.60    |
| Wt. of Water WW                                       |  |  |  |  | gm                 | 10.00    | 13.20    |
| Wt. of Solid WS                                       |  |  |  |  | gm                 | 196.40   | 235.60   |
| Water Content W.C                                     |  |  |  |  | %                  | 5.09     | 5.60     |
| SWELLING MEASUREMENT                                  |  |  |  |  |                    |          |          |

جدول رقم ( 8-4 )

| PENETRATION TEST    |                               |          |          |                |      |       |
|---------------------|-------------------------------|----------|----------|----------------|------|-------|
| Penetration<br>(mm) | Proving Ring Reading<br>(div) |          |          | Forces<br>(Kn) |      |       |
|                     | 10<br>blows                   | 30 blows | 65 blows | F10            | F30  | F65   |
| 0.000               | 0.0                           | 0        | 0.0      | 0.00           | 0.00 | 0.00  |
| 0.635               | 4.0                           | 8        | 22.0     | 0.16           | 0.33 | 0.90  |
| 1.270               | 7.0                           | 26       | 72.0     | 0.29           | 1.07 | 2.95  |
| 1.905               | 16.0                          | 41       | 115.0    | 0.66           | 1.68 | 4.72  |
| 2.540               | 22.0                          | 61       | 137.0    | 0.90           | 2.50 | 5.62  |
| 3.175               | 28.0                          | 81       | 150.0    | 1.15           | 3.32 | 6.15  |
| 3.810               | 37.0                          | 101      | 150.0    | 1.52           | 4.14 | 6.15  |
| 4.445               | 51.0                          | 111      | 175.0    | 2.09           | 4.55 | 7.18  |
| 5.080               | 61.0                          | 123      | 196.0    | 2.50           | 5.04 | 8.04  |
| 5.715               | 70.0                          | 135      | 216.0    | 2.87           | 5.54 | 8.86  |
| 6.350               | 85.0                          | 142      | 247.0    | 3.49           | 5.82 | 10.13 |

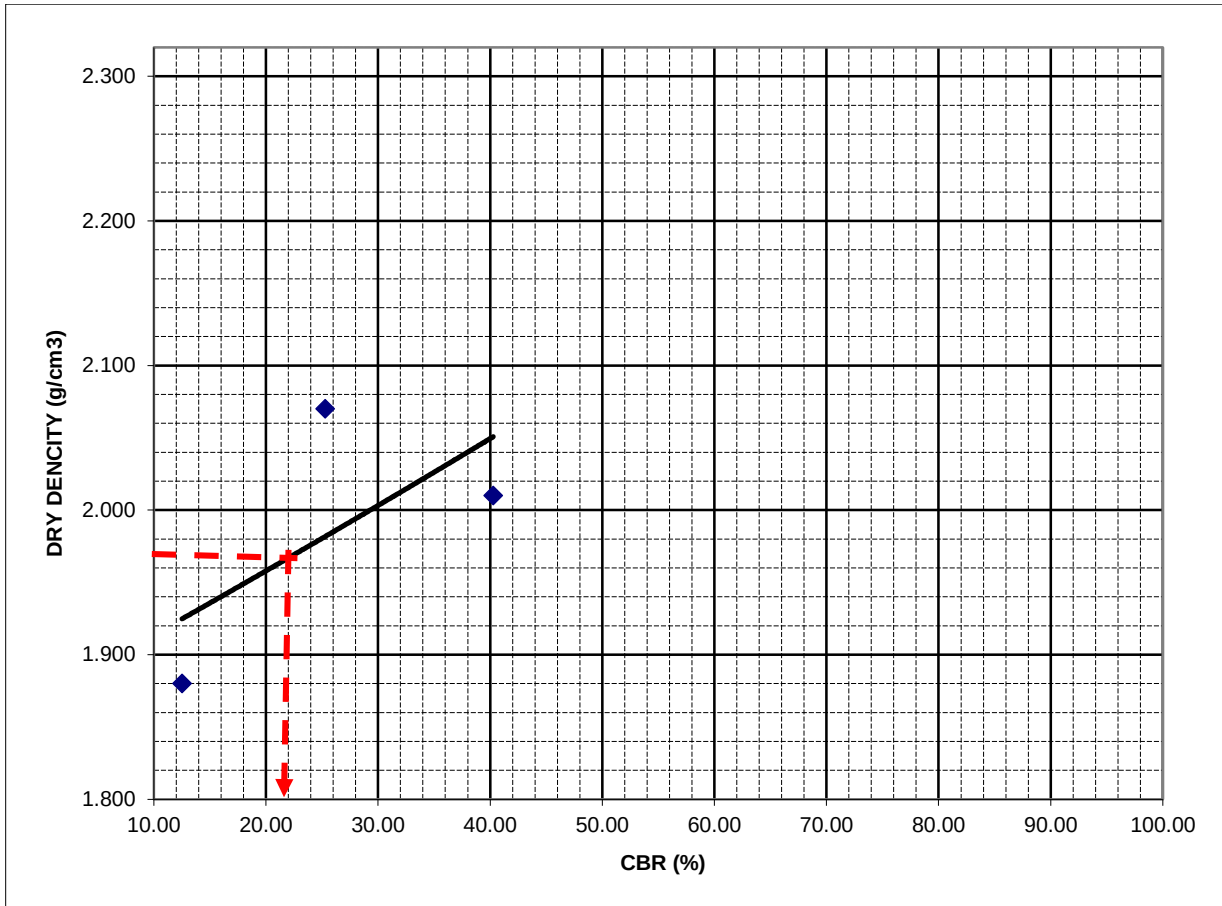
جدول رقم ( 9-4 )



مخطط رقم (1-4) مخطط قوة الاختراق للعينة A

| %<br>CBR                                         |        |       |        |       |        |       |
|--------------------------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| TEST NO.                                         | 1      |       | 2      |       | 3      |       |
| TEST CONDITION                                   | SOAKED |       | SOAKED |       | SOAKED |       |
| PENETRATION(mm)                                  | 2.5    | 5.0   | 2.5    | 5.0   | 2.5    | 5.0   |
| LOAD (KN)<br>A                                   | 0.90   | 2.50  | 2.50   | 5.04  | 5.62   | 8.04  |
| STANDARD LOAD (KN)      B                        | 13.34  | 19.96 | 13.34  | 19.96 | 13.44  | 19.96 |
| % CBR = (A/B)*100                                | 6.76   | 12.53 | 18.75  | 25.27 | 41.79  | 40.26 |
|                                                  |        |       |        |       |        |       |
| RESULT                                           |        |       |        |       |        |       |
| TEST NO.                                         | 1      |       | 2      |       | 3      |       |
| DRY DENSITY<br>(gm/cm³)                          | 1.880  |       | 2.070  |       | 2.010  |       |
| % CBR (SOAKED)                                   | 12.53  |       | 25.3   |       | 40.3   |       |
| MAX. DRY DENCITY (MDD)    (from compaction test) |        |       | 2.070  |       |        |       |
| AT 98% MDD,DRY DENCITY                           |        |       | 1.88   |       |        |       |
| CBR % =                                          |        |       | 20.2   |       |        |       |

جدول رقم ( 10-4 )



مخطط رقم (2-4) الكثافة الجافة و CBR

- نتائج الاختبار للعينة A :

وجد أن أعلى كثافة جافة للعينة (M DD) =  $2.210 \text{ g/cm}^3$

الكثافة الجافة عند  $98\% = 2.07 \text{ g/cm}^3$  وهي أقل كثافة جافة يمكن أن تصل إليها التربة .

وهذا يدل على أنها إحتاجة إلى قوة أو جهد عالي حتى تصل إلى هذه الكثافة .

و أعلى قيمة لتحميل كاليفورنيا ( CBR % ) =  $20.2\%$

العينه B :

| COMPACTION DATA:(BEFORE SOAKING)                             |                    | TEST (1) | TEST (2) | TEST (3) |
|--------------------------------------------------------------|--------------------|----------|----------|----------|
| Compaction Type (Modified or Standard)                       |                    | M        | M        | M        |
| Diameter of Mold                                             | D cm               | 15.30    | 15.30    | 15.30    |
| Height of Sample H                                           | cm                 | 11.70    | 11.80    | 11.30    |
| Wt.of Mold + Wet Soil                                        | (W1) gm            | 9596.0   | 10410.0  | 11930.0  |
| Wt.of Mold                                                   | gm                 | 5428.0   | 5890.0   | 7146.0   |
| Wt.of Wet Soil                                               | (W) gm             | 4168.00  | 4520.00  | 4784.00  |
| Volume of Sample (V)                                         | cm <sup>3</sup>    | 2049.00  | 2049.00  | 2049.00  |
| Wet Density (γ <sub>wet</sub> ) (W/V)                        | gm/cm <sup>3</sup> | 2.034    | 2.206    | 2.335    |
| Optimum water content (W.C) (from compaction test)           | %                  | 7.71     | 7.71     | 6.27     |
| Dry Density γ <sub>dry</sub> = (γ <sub>wet</sub> /1+W.C/100) | gm/cm <sup>3</sup> | 1.889    | 2.048    | 2.197    |

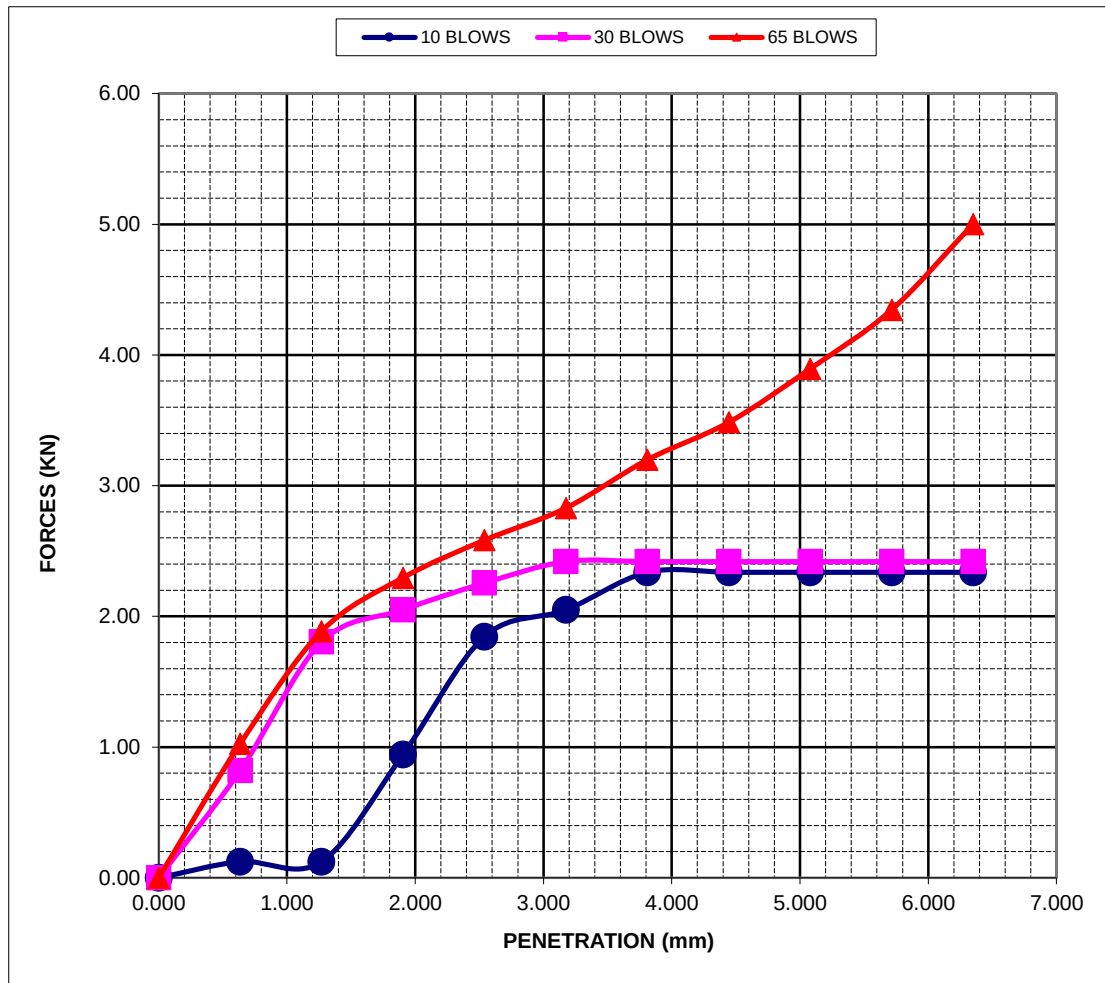
جدول رقم ( 11-4 )

| WATER CONTENT               |       |        |        |        |
|-----------------------------|-------|--------|--------|--------|
| Container no.               |       | C3     | C1     | 14     |
| Wt. of Container + Wet Soil | gm    | 273.80 | 258.80 | 336.60 |
| Wt. of Container + Dry Soil | gm    | 255.40 | 240.80 | 312.20 |
| Wt. of Container            | gm    | 48.90  | 42.00  | 43.50  |
| Wt. of Water                | WW gm | 18.40  | 18.00  | 24.40  |
| Wt. of Solid                | WS gm | 206.50 | 198.80 | 268.70 |
| Water Content               | W.C % | 8.91   | 9.05   | 9.08   |
| SWELLING MEASUREMENT        |       |        |        |        |

جدول ( 12-4 )

| PENETRATION TEST |  |                            |          |          |      |             |      |
|------------------|--|----------------------------|----------|----------|------|-------------|------|
| Penetration      |  | Proving Ring Reading (div) |          |          |      | Forces (Kn) |      |
| (mm)             |  | 10 blows                   | 30 blows | 65 blows | F10  | F30         | F65  |
| 0.000            |  | 0.0                        | 0        | 0.0      | 0.00 | 0.00        | 0.00 |
| 0.635            |  | 3.0                        | 20       | 25.0     | 0.12 | 0.82        | 1.03 |
| 1.270            |  | 3.0                        | 44       | 46.0     | 0.12 | 1.80        | 1.89 |
| 1.905            |  | 23.0                       | 50       | 56.0     | 0.94 | 2.05        | 2.30 |
| 2.540            |  | 45.0                       | 55       | 63.0     | 1.85 | 2.26        | 2.58 |
| 3.175            |  | 50.0                       | 59       | 69.0     | 2.05 | 2.42        | 2.83 |
| 3.810            |  | 57.0                       | 59       | 78.0     | 2.34 | 2.42        | 3.20 |
| 4.445            |  | 57.0                       | 59       | 85.0     | 2.34 | 2.42        | 3.49 |
| 5.080            |  | 57.0                       | 59       | 95.0     | 2.34 | 2.42        | 3.90 |
| 5.715            |  | 57.0                       | 59       | 106.0    | 2.34 | 2.42        | 4.35 |
| 6.350            |  | 57.0                       | 59       | 122.0    | 2.34 | 2.42        | 5.00 |

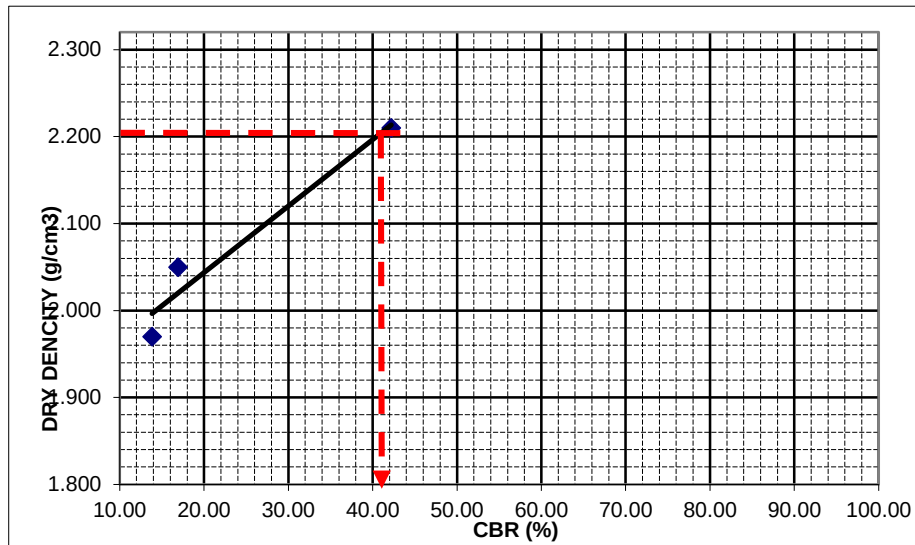
جدول رقم ( 13-4 )



مخطط رقم ( 3-4 ) قوة الأختراق للعينة B

|                                               |        |       |        |       |        |       |
|-----------------------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| <b>% CBR</b>                                  |        |       |        |       |        |       |
| TEST NO.                                      | 1      |       | 2      |       | 3      |       |
| TEST CONDITION                                | SOAKED |       | SOAKED |       | SOAKED |       |
| PENETRATION(mm)                               | 2.5    | 5.0   | 2.5    | 5.0   | 2.5    | 5.0   |
| LOAD (KN)<br>A                                | 1.85   | 2.34  | 2.26   | 2.42  | 2.58   | 3.90  |
| STANDARD LOAD (KN) B                          | 13.34  | 19.96 | 13.34  | 19.96 | 13.44  | 19.96 |
| % CBR = (A/B)*100                             | 13.83  | 11.71 | 16.90  | 12.12 | 19.22  | 42.20 |
| <b>RESULT</b>                                 |        |       |        |       |        |       |
| TEST NO.                                      | 1      |       | 2      |       | 3      |       |
| DRY DENSITY (gm/cm <sup>3</sup> )             | 1.970  |       | 2.050  |       | 2.210  |       |
| % CBR (SOAKED)                                | 13.83  |       | 16.9   |       | 42.2   |       |
| MAX. DRY DENSITY (MDD) (from compaction test) |        |       |        |       | 2.210  |       |
| AT 98% MDD, DRY DENSITY                       |        |       |        |       | 2.21   |       |
| CBR % =                                       |        |       |        |       | 42     |       |

جدول رقم ( 4-4 )



مخطط رقم ( 4-4 ) الكثافة الجافة و CBR للعينة B

نتائج الاختبار للعينة B :

وجد ان اعلى كثافة جافة للعينة ( M DD ) =  $2.07 \text{ g/cm}^3$

الكثافة الجافة عند 98 % =  $2.21 \text{ g/cm}^3$

وهذا يدل على ان التربة B احتاجة لجهد اقل من التربة السابقة A لتصل لأعلى كثافة جافة

مما يعني ان التربة B اعطت قوة تحمل اكبر من التربة A .

قيمة قوة تحميل كاليفورنيا ( CBR % ) = 42 %

- جدول يوضح اوجه المقارنة بين العينات :

| وجه المقارنه                  | العينه A | العينه B | العينه C | الميزه الهندسيه<br>( الخيار الأفضل )                                                                                    |
|-------------------------------|----------|----------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| المار من منخل<br>200          | %8.92    | %27.82   | %4.91    | الأقل هو الأفضل لتقليل<br>الحساسيه للمياه<br>و ضمان تصريف عالي<br>ومنع حدوث الهبوط<br>مستقبلا                           |
| معامل اللدونه<br>(PI)         | %10.54   | %15.6    | (NP) 0   | هو (Non-<br>Plastic)الأفضل:التربة<br>غير اللدنه لا تتمدد ولا<br>تتكمش مما يوفر ثباتا<br>ممتازا للاساسات                 |
| اقصى كثافه<br>جافه<br>(M DD ) | 2.210    | 2.07     | -        | الأعلى هو الأفضل:<br>الكثافه العاليه تعني<br>فراغات اقل وقوة قص<br>(Shear<br>Strength)اعلى<br>لتحمل الاحمال             |
| الرطوبه المثلى<br>(OMC)       | %5.1     | %9.0     | -        | الأقل هو الأفضل<br>عمليا: المحتوى<br>الرطوبي المنخفض<br>يسهل عمليه الدك في<br>الموقع ويقلل من<br>كميات المياه المطلوبه  |
| قوة التحمل )<br>(CBR          | %20.97   | %41.97   | -        | الأعلى هو الأفضل:<br>هو المقياس المباشر لقوة<br>طبقة التأسيس كلما زاد<br>قل سمك الطبقات<br>المطلوبه فوقه                |
| تصنيف<br>( AASHTO)            | A-2-4    | A-2-6    | A-1-a    | مجموعه A-1 هي<br>النخبه : تعتبر ممتازة<br>(Excellent)كثريه<br>أساس للطرق والسكك<br>الحديدية مقارنة<br>بالمجموعات الاخرى |

جدول رقم ( 4-15 )

هذه المقارنه اظهره العينه A نتائج افضل لذلك تم اعتباره التربة الأمثل من بين العينات للأستخدام في  
ردميات السكك الحديدية .

## الفصل الخامس

### 5- الخلاصة و التوصيات

## 5-1. الخلاصة :

تناول هذا المشروع تأهيل وصيانة خط السكة الحديد في قطاع (عطبرة – بربر) بالسودان، بهدف رفع كفاءته التشغيلية وضمان سلامة النقل. يستعرض البحث تاريخ السكك الحديدية السودانية ومكوناتها الإنشائية، مشخصاً المشكلات الراهنة المتمثلة في تهالك القضبان والفلنكات القديمة، وضعف الصيانة الدورية، وانخفاض السرعة لـ 60 كم/ساعة، بالإضافة لآثار البيئة كزحف الرمال والسيول والتحديات البشرية. تضمنت الدراسة فحصاً ميدانياً واختبارات معملية لتربة المسار (CBR) والكثافة الجافة (الضمان استقرار الردميات). وخلص المشروع إلى توصيات هندسية جوهرية تشمل إحلال القضبان الخفيفة (50 و75 رطل) بأخرى ثقيلة حديثة (UIC 60) ، واستخدام اللحام المستمر (CWR) لتقليل الاهتزازات، واستبدال العوارض الخشبية بالخرسانية سابقة الإجهاد. كما أكدت الحلول على ضرورة تحديث التحويلات بأنظمة مرنة وترسيم حرم السكة مادياً لمنع التجاوزات وتأمين المسار مستقبلاً.

## 2-5. التوصيات :

- ملاحظة فنية: استخدام اللحام المستمر (CWR) في درجات حرارة السودان العالية يتطلب حساب "درجة حرارة التعادل (Neutral Temperature) "بدقة فائقة لتجنب ظاهرة انبعاج السكة (Buckling) صيفاً.
- عمل بحث لحساب التكلفة الكلية لتأهيل و صيانه خط سكة حديد عطبرة – بربر .
- دراسة بحثية لإنشاء و تصميم خط مكافئ للخط الحالي
- دراسة صيانه المحطات فقط .
- دراسة التصريف قطاع عطبرة – بربر .
- تطوير مواد محلية لتثبيت الرمال .

### 3-5. المراجع :

- هندسة النقل والمرور (د.محمد توفيق سالم) .
- هندسة السكك الحديدية وخطوط المترو (د.احمد عبد المؤمن) .
- الدليل العملي لهندسة الطرق والمواصلات (د.محمد عبد القادر) .
- التصميم الهندسي للطرق (داخل وخارج الممرات) (م.شريف فتحي الشافعي) .
- هندسة التآكل والطرق الفنية للتصدي له (د.ابراهيم سالم منصور) .

### 3-5. الملاحق :

طبيقة



Zakna For Roads & Bridges  
زكنا للطرق والجسور  
**Contractor**

شركة زكنا للطرق والجسور  
**ZAKNA FOR ROADS & BRIDGES**

881 104 86  
Moisture Density Relative Compaction

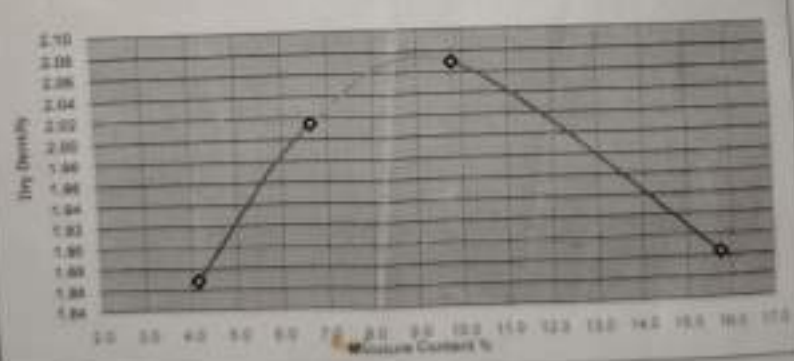


Zakna For Roads & Bridges  
زكنا للطرق والجسور  
**Contractor**

|          |  |  |  |  |        |           |
|----------|--|--|--|--|--------|-----------|
| Items    |  |  |  |  | Date   |           |
| Location |  |  |  |  | Source | 13/5/2017 |

|                        |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Mould No               | 1     | 2     | 3     | 4     |
| Wt of Wet Soil + Mould | 10195 | 10566 | 10854 | 10606 |
| Wt of Mould            | 5992  | 5992  | 5992  | 5992  |
| Wt of Wet Soil         | 4164  | 4566  | 4852  | 4666  |
| Volume of Mould        | 2140  | 2140  | 2140  | 2140  |
| Wet Density            | 1.946 | 2.148 | 2.272 | 2.180 |

|                      |       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Can No               | 10    | 13    | 2     | 8     |
| Wt of Wet Soil + Can | 262.9 | 205.3 | 254   | 288.8 |
| Wt of Dry Soil + Can | 273.4 | 196.5 | 235.3 | 255.3 |
| Wt of Water          | 9.5   | 8.8   | 18.7  | 33.5  |
| Wt of Can            | 43.8  | 45.9  | 44    | 42    |
| Wt of Dry Soil       | 229.5 | 147.6 | 191.3 | 213.3 |
| Moisture Content %   | 4.1   | 6.0   | 9.8   | 15.8  |
| Dry Density          | 1.87  | 2.01  | 2.07  | 1.88  |



The graph plots Dry Density (g/cm³) on the y-axis (ranging from 1.84 to 2.10) against Moisture Content (%) on the x-axis (ranging from 2.0 to 17.0). Four data points are plotted and connected by a line, showing a peak in dry density at a moisture content of about 10%.

MDD = 2.07

For Contractor:

Name \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

Sig. \_\_\_\_\_

O.M.C = 9.8

For Consultant:

Name \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

Sig. \_\_\_\_\_

1/2/2026  
5/2/2026

### CBR Test

Changing \_\_\_\_\_ Date 1/2/2026  
Type of Course \_\_\_\_\_

| No of Mould          | 1     | 2     | 3     |
|----------------------|-------|-------|-------|
|                      | 10    | 30    | 65    |
| Mould + Soil         | 12912 | 12080 | 10556 |
| Con No               | 8     | 9     | 11    |
| Wt of Mould          | 8156  | 7464  | 5612  |
| Volume of Mould      | 2049  | 2049  | 2049  |
| Wt of con            | 47.8  | 48.6  | 19.6  |
| Wt of soil + con     | 254.2 | 297.4 | 160.2 |
| Wt of dry soil + con | 244.2 | 284.2 | 153.3 |

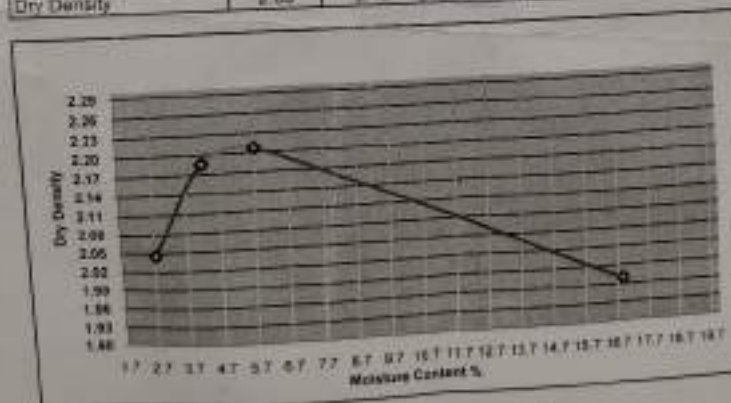
| Time  | 10               | 30           | 65            |
|-------|------------------|--------------|---------------|
| 0.635 | <del>2</del>     | <del>8</del> | <del>22</del> |
| 1.27  | 7                | 26           | 72            |
| 1.902 | 16               | 41           | 115           |
| 2.54  | 22               | 61           | 137           |
| 3.175 | <del>20</del> 28 | 81           | 150           |
| 3.81  | 37               | 101          | 150           |
| 4.445 | 51               | 108 111      | 175           |
| 5.08  | 61               | 123          | 196           |
| 5.715 | 70               | 136          | 216           |
| 6.350 | 85               | 142          | 247           |

Moisture-Density Relations (Compaction)

|          |       |        |            |
|----------|-------|--------|------------|
| Items    | (C-L) | Date   | 29/10/2018 |
| Location |       | Source |            |

|                        |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Mould No               | 1     | 2     | 3     | 4     |
| Wt of Wet Soil + Mould | 10484 | 10858 | 10078 | 10912 |
| Wt of Mould            | 5986  | 5986  | 5986  | 5986  |
| Wt of Wet Soil         | 4498  | 4872  | 4092  | 4926  |
| Volume of Mould        | 2140  | 2140  | 2140  | 2140  |
| Wet Density            | 2.102 | 2.277 | 2.333 | 2.302 |

|                       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Con No                | 2     | 13    | 8     | 5     |
| Wet of Wet Soil + Con | 359.4 | 422.9 | 483.5 | 448.5 |
| Wet of Dry Soil + Con | 351.1 | 407.9 | 460   | 390.8 |
| Wt of Water           | 8.3   | 15    | 23.5  | 57.7  |
| Wt of Con             | 49.0  | 46.0  | 47.0  | 49.1  |
| Wt of Dry Soil        | 302.1 | 355.9 | 412.4 | 341.7 |
| Moisture Content %    | 2.7   | 4.2   | 5.7   | 15.9  |
| Dry Density           | 2.05  | 2.19  | 2.21  | 1.97  |



MDD = 2.21

For Contractor

Name: \_\_\_\_\_  
 Date: 25/11  
 Sig: \_\_\_\_\_

5.1

For Consultant

Name: \_\_\_\_\_  
 Date: 1/12  
 Sig: \_\_\_\_\_

(٩)

بسم الله الرحمن الرحيم

Zadna For Roads and Bridges

|          |     |        |          |
|----------|-----|--------|----------|
| Item     | 5-3 | Date   | 2/3/2026 |
| Total wt |     | Dry Wt | 713/2026 |
| Location |     |        |          |

| No. of blows           | 10                    | 30    | 60    |
|------------------------|-----------------------|-------|-------|
| Mould No               | 4                     | 5     | 6     |
| Wt of Mould + soil     | 5428                  | 5890  | 7146  |
| Cont. No               | <del>53212</del> 9596 | 10410 | 11930 |
| Wt of cont.            | 13                    | 4     | 10    |
| Wt of wet soil + cont. | 489                   | 42    | 42.5  |
| Wt of dry soil + cont. | 273.8                 | 258.8 | 326.6 |
|                        | 255.4                 | 240.8 | 312.2 |

| No. of blows | 10 | 30 | 60  |
|--------------|----|----|-----|
| 0.64         | 3  | 20 | 25  |
| 1.27         | 3  | 44 | 46  |
| 1.91         | 23 | 50 | 56  |
| 2.54         | 45 | 55 | 63  |
| 3.18         | 50 | 59 | 69  |
| 3.81         | 57 | 59 | 78  |
| 4.45         | 57 | 59 | 85  |
| 5.08         | 57 | 59 | 95  |
| 5.72         | 57 | 59 | 106 |
| 6.35         | 57 | 59 | 122 |