مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

دراسة تآكل الخط الحديدي وعجلات الادوات المتحركة عليه على محور اللاذقية – جسر الشغور

احمد يونس*

(تاريخ الإيداع 24 / 7 / 2016. قُبِل للنشر في 23/ 1 / 2017)

□ ملخّص □

تعتبر مشكلة تآكل الخط الحديدي وعجلات الادوات المتحركة عليه إحدى أبرز المشاكل التشغيلية التي تواجهها مؤسسة السكك الحديدية السورية، وتترك آثاراً سلبية فنية واقتصادية واجتماعية تؤثر على مجمل عملية النقل بالسكك الحديدية .

في هذا البحث تمت دراسة الواقع التشغيليلجزء من احد اهم محاور شبكة الخطوط الحديدية السورية لتحديد العوامل والاسباب التي تؤدي الى حصول ظاهرة التآكل ، سواء المتعلقة منها ببنية الخط الحديدي وادواته وظروف تشغيله ،او المتعلقة بأجزاء ومعدات الأدوات المتحركة عليه ودور كل عنصر منها في عملية التآكل ،كما وضعت المعادلات الرياضية التي تربط بين بعض المواصفات الفنية للخط الحديدي بين محطة اللاذقية ومحطة جسر الشغور وعناصر التشغيل الخاصة به من جهة ، وبين معدلات التآكل الناتجة من جهة أخرى ، وقدمت الاقتراحات والحلول التي من شأنها التقليل من قيم هذه المعدلات ورفع كفاءة التشغيل لمنظومة السكك الحديدية .

الكلمات المفتاحية : سكك حديدية– تآكل القضبان– تآكل العجلات – عجلات الالات المتحركة على السكك

*مشرف على الاعمال – قسم القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – سوريا.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

The wear of rails and wheels on Lattakia- Jesr_ ashgure Railway line

Dr. Ahmad Younes*

(Received 24 / 7 / 2016. Accepted 23 / 1 / 2017)

□ ABSTRACT □

In railway applications, the estimation of wear at the wheel-rail interface is an important field of study, mainly correlated to the planning of maintenance interventions, vehicle stability and the possibility of carrying out specific strategies for the wheel profile optimization.

In this research will study the factors causing the intensity of deterioration of rails and wheels of rolling stock in the curves sites of a way , the factors influencing intensity of deterioration are resolved as a result of the analysis.

Keywords: railway transport, railwaytrack, rolling stock, railway wheels, wear of railway equipment.

* **Work Supervisor- Mechanical Power Engineering Department - Faculty of Mech. and Elec. Engineering – Tishreen University – Lattakia- Syria.**

مقدمة :

تعتبر مشكلة تآكل قضبان السكك الحديدية وعجلات الادوات المتحركة عليها ، من أهم وأصعب المشاكل الفنية والمالية التي تواجهها المؤسسات السككية في العالم منذ نشأتها ، فالكثير من هذه المؤسسات تنفق جزءا كبير من عائداتها المادية لإعادة تأهيل وتشغيل هذه المنظومة المتكاملة ، اضافة الى هذه المبالغ الضخمة ، فإنها تتطلب وقتا طويلا من أجل إعادة وضعها بالخدمة ثانية وخاصة عند استبدال قضبان السكة الحديدية وهذا ما يؤثرسلبا على نهج سير القطارات ويؤدي الى تأخيرها ويستدعي احيانا الى إلغاء بعض الرحلات ومايمكن ان ينتج عن ذلك من اثار سلبية اجتماعية واقتصادية للمسافرين وللزبائن وللمؤسسات الخاصة والعامة .ان ضرورة معالجة هذه المسألة تستدعي دائما السرعة في ايجادالحلول المناسبة لها ، لان التأخير فيها يمكن ان يؤثر على آمان سير القطارات وخروجها عن مسارها النظامي وقد سجل تاريخ حوادث السكك الحديدية الع ديد من الحوادث المؤسفة التي كان لتآكل القضبان او العجلات وعدم اصلاحه في الوقت المناسب، سبباً اساسياً في حدوثها.

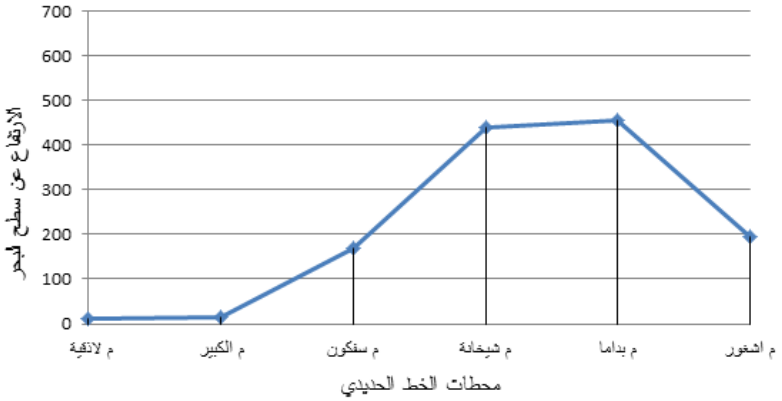
مشكلة اخرى ذات أهمية خاصة في ايامنا هذه ، تسببها عملية تآكل القضبان وعجلات الادوات المتحركة عليها وهي مشكلة الضجيج الذي يقلق راحة المسافرين والقاطنين بجوار الخط الحديدي حيث من المعروف ان قوى الطرق المتولدة نتيجة الاحتكاك بين السطوح المتلامسة للقضبان والعجلات يزداد تاثيرها في مناطق التآكل مؤدية الى اصدار اصوات يمكن سماعها لعدة كيلومترات بجوار الخط الحديدي وخاصة في اوقات الليل .

كل هذه الاسباب المذكورة سابقا تتطلب جهودا كبيرة من اجل التقليل من امكانية حصولها او معالجتها عند الحدوث قبل تفاقمها متجنبين بذلك الاثار السلبية المذكورة التي يمكن ان تتركها.

أهمية البحث وأهدافه:

يعتبر الخط الحديدي الواصل بين مدينتي اللاذقية و جسر الشغورمن الخطوط المعقدة المعايير والمواصفات حسب تصنيف النظام الدولي للسكك الحديدية بسبب الطبيعة الجغرافية لتوضع الخط الذي يمكن توصيفه بمايلي :

– تقع محطة اللاذقية –بضائع (النقطة الكيلومترية206 *)على ارتفاع 10 متر عن سطح البحر والمحطة الوسطية بداما (الكيلومتر 146)على ارتفاع 437m بينما محطة جسر الشغور(الكيلومتر 130) على ارتفاع 263m (الشكل رقم 1)،هذا الهنحى التصاعدي ثم التنازلي استدعى تصميم الخط كاملا بميول قاسية تقع على عتبة الحدود القصوى لشروط بناء الخط الحديدي، وغالبية نسب هذه الميول تتراوح بين 10 و12بالألف اما طول الخطوط المستوية ذات الميل الصفري لايتجاوز 5 كم .

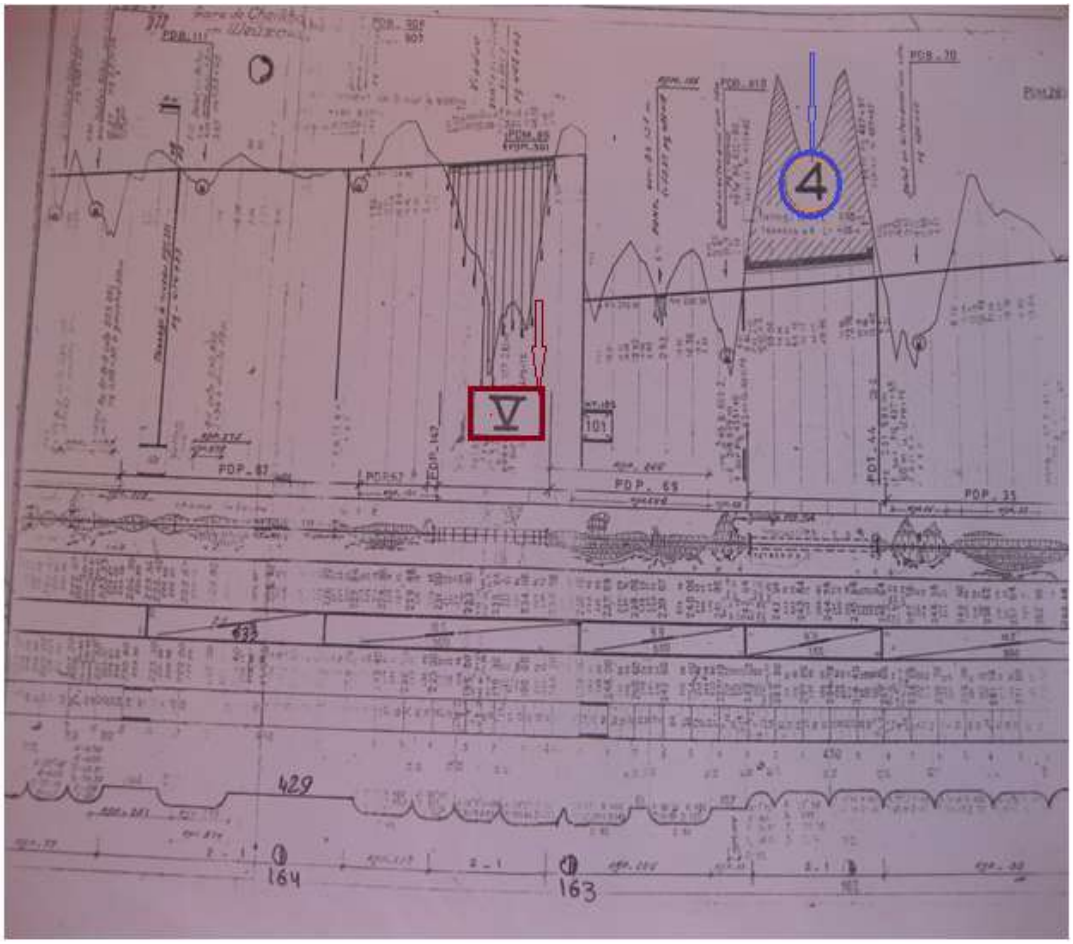


الشكل رقم (1) يبن موقع المحطات على خط اللاذقية –جسر الشغور وارتفاعها عن سطح البحر

– ان المسافة المباشرة بين اللاذقية وجسر الشغور (على المصّور) تبلغ 55km، وطول الخط الحديدي الحقيقي بينهما 76km، وفي الحسابات الاقتصادية والفنية لتصميم الخط الحديدي الاقتصادي يجب ألّا تزيد المسافة التصميمية عن المسافة المباشرة على المصور3%±120، إلّا بشروط خاصة جدا وهي ذات الشروط التي فرضت تصميما خاصا لهذا الخط حيث تبلغ النسبة هنا حوالي 140% وهذا بدوره ادى الى ازياد عدد الخطوط المنحنية بشكل كبير جدا حيث قارب عدد هذه المنعطفاتللمائة منعطف اكثر من 90% منها بانصاف اقطار تبلغ 400 متر ،وهي من القيم المتدنية نسبيا، وخاصة انها تتطلب تقييداً لحدود السرعةالقصوى، التي يمكن ان تسير عليها القطارات.

– ان الجبال العالية والوديان العميقة ، استدعت انشاء مجموعة من الجسور والانفاق بلغ عددها(8) انفاق بطول يزيد قليلا عن5km و13 جسرا معدنيا (Viaduct) من الجسور العالية التي يصل ارتفاع بعضها الى اكثر من 80m وفرضت التضاريس والارتفاعات وجود ميول وانحناءات ضمن هذه المنشآت الهندسية.

يوضح الشكل رقم (2) مقطع من المخطط الطولي للخط الحديدي بالقرب من محطة الشيخانة ، وتظهر فيه الميول والمنعطفات في النفق رقم 4 والجسر رقم 5، بينما يظهر الشكل (3) صورة فوتوغرافية لنفس المكان.



الشكل رقم (2) – مقطع طولي لمخطط سكة اللاذقية – حلب في منطقة الشيخانة (الكيلومتر 163).

الشكل رقم (3) : صورة فوتوغرافية للخط الحديدي (الجسر v) والنفق 4 في نفس المنطقة.

من هنا تأتي اهمية البحث واهدافه التي تتلخص بدراسة وتقييم تأثير هذه الظروف على تشغيل الخط ودورها في احداث التآكل السريع لقضبان السكة الحديدية وعجلات الادوات المتحركة المارة عليها واقتراح الشروط الاضافيةللتشغيل وعلى رأسها الفحص المستمر واجراء الصيانات اللازمة للخط الحديدي والادوات المتحركة عليه بشكل دوري وبجدول زمني اقل من الجداول المتبعة على الخطوط الاخرى ،للتقليل قدر الامكان من عملية التآكل و لزيادة العمر التشغيلي لقضبان الخط الحديدي وعجلات الادوات المتحركة عليه من قاطرات وعربات الركاب والبضائع واليات خدمة الخط الحديدي.

طرائق البحث ومواده :

تضمنت هذه الدراسة عدة اجزاء نظرية وعملية واستغرق تنفيذها حوالي ثمانية اشهر من منتصف شهر ايلول 2009 الى بدايات شهر ايار 2010، تم اغلبها في المركز الرئيسي لاصلاح الادوات المتحركة (قاطرات ديزل – عربات ركاب –عربات بضائع – عربات صهاريج ...)في محطة جبرين للسكك الحديدية بحلب.

تضمن الجزء النظري دراسة تحليلة لاسباب تآكل الخط الحديدي والادوات المتحركة عليه والتي يمكن تلخيصها:

– زيادة القوى العمودية والافقية المؤثرة على الخط الحديدي نتيجة الانتقال من استخدام قضبانمن النوع UIC–50,UIC–43– الى قضبان من النوع UIC–60(حسب مواصفات الاتحاد الدولي للسكك الحديدية– international union of railways – ***Union Internationale des Chemins de fer)***.

–ان الانتقال المذكور في نوعية القضبان ادى الى حدوثتغيير في مساحة سطوح التماس بين الوجه العلوي للخط والسطح الدوراني للعجلات، وبالتالي الى تغيير معامل الاحتكاك بينهما.

– ان استخدام العوارض البيتونية الثقيلة ذات القساوة العالية ادى، معالزمن خلال فترة التشغيل، الى حدوث تغيير في وسعة الخط الحديدياحيانا نحو زيادة الوسعة الى مافوق الحدود الطبيعية واحيانا اخرى نحو التضيّق في الوسعة ، تعود اسباب ذلك الى وضعيات الشد او الارتخاء لبراغي تثبيت الخط الحديدي بالعوارض والى الاهتراء المستمر لوسائد التثبيت (الخشبية أو البلاستيكية)بين الخط الحديدي والعوارض البيتونية، بفعل عوامل التشغيل

والعوامل الجوية، وبالتالي الى زيادة قوى الضغط الجانبية على محاور العجلات،ممايؤدي في النهاية الى حدوث التآكل لحواجب العجلات او السطح الدوراني لها ،اضافة الى تآكل الوجه الداخلي للخط الحديدي.

–التحول من استخدام المحامل الانزلاقية الى المحامل الاسطوانية في علب محاور العجلات ادى الى زيادة قوة مقاومة الوجه الداخلي للخط الحديدي عند المنعطفات، وبالتالي زيادة التآكل للخط والعجلات معا.

– استخدام الفرامل الكهروديناميكية في القاطرة فقط وخاصة في الخطوط المنحدرة ، يؤدي الى اللجم السريع والفجائي للعربات المقطورة، وخاصة عند السرعات العالية (وحتى المتوسطة) ،وبالتالي زيادة قوى الاحتكاك بين عجلات هذه العربات والسكة وما ينجم عن ذلك من زيادة التآكل.

–استخدام الجر المزدوج (قاطرتين بآن واحد) من اجل تشكيل قطارات طويلة وزيادة حجم الحمولات المنقولة ضمن تشكيلة القطار الواحد له فوائده الاقتصادية ولكن له مساوئه الفنية ومنها زيادة قوى الطرق والاحتكاك ضمن تشكيلة القطار الواحد وبالتالي زيادة التآكل.

– عدم تشحيم الخطوط الحديدية في المنعطفات او استخدام شحمة غير مطابقة للمواصفات ادى الى زيادة التآكل الجانبي للخط الحديدي والى زيادة تآكل حواجب الادوات المتحركة عليه.

بينما تضمن الجانب العملي اخذ قياسات معدلات التآكل لعجلات الادوات المتحركة بمختلف أنواعها قبل اجراء عمليات الصيانة لها (اعمال تسوية او خراطة) في المركز الرئيسي للصيانة في محطة جبرين بحلب، باستخدام جهاز "الشابلون" الذي يمكّن من قياس معدلات التآكل العرضانية والطولانية ومعدلات التحفر وتآكل حواجب العجلات (الشكل رقم 4 – أ) .

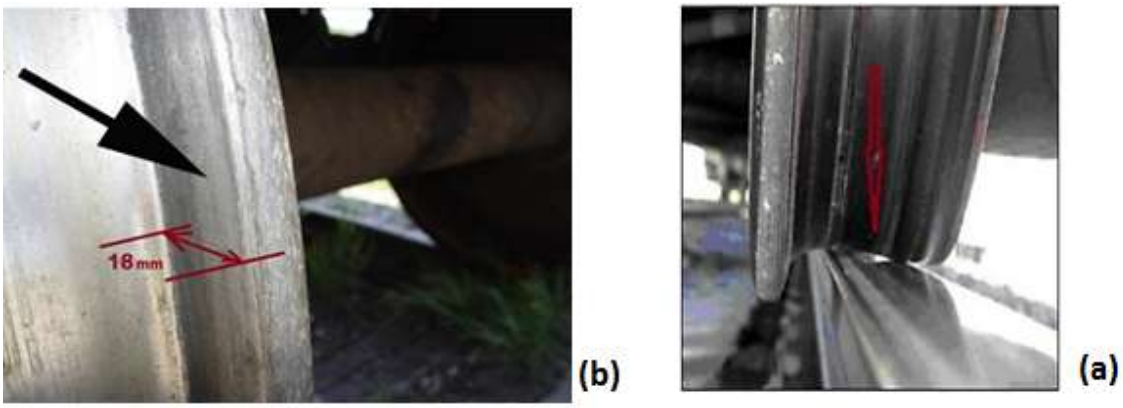
كما تم باستخدام جهاز"السوكبا" (الشكل رقم 4–ب)، قياس معدل التآكل على الخط الحديدي على عدة منعطفات بأنصاف اقطار مختلفة على محور اللاذقية– جسر الشغور.

الشكل (4) : أ–جهاز الشابلون لقياس تآكل العجلات. ب– جهاز السكوبا لقياس تآكل الخط.

من خلال الدراسة التي شملت 100 عينة من الادوات المتحركة رباعية الاقطاب (عربات الركاب والبضائع وصهاريج الوقود)، اضافة الى عدد من قاطرات الديزل من النوع LDE–2800،التي دخلت الى قسم الاسّرة للصيانة والاصلاح وتبيّن من خلال سجل جدول سير هذه الادوات المتحركة ، ان عدد الوحدات التي كانت تسير بشكل منتظم على محور حلب– اللاذقية وبالعكس قد بلغ 57 وحدة أي ما يشكّل حوالي 60 % من العدد الاجمالي كما كان ملفتا ان الفترة الزمنية لآخر إصلاح دوري لها كان ن أقل من مثيلاتها المشغّلة على المحاور الاخرى من شبكة الخطوط الحديدية السورية، وبعد فرز هذه الوحدات المتحركة وتصنيفها حسب نوع الاصلاح الذي خضعت له توزعت نسب الاضرار التي لحقت بهاحسب التسلسل الكمّي للأعطال على النحو التالي :

1- تآكل على الوجه الداخلي لحواجب العجلات (الشكل a-5)،اختلفت قيمه بين القاطرات والعربات بنوعيها ركاب وشحن حيث كان معدل التآكل في عجلات القاطرات وعربات الشحن يتراوح بين 5-8 mmبينما في عجلات عربات الركاب بين 5 – 7 mm (القياسات اخذت وفق الشروط النظامية على ارتفاع 18 مم من حافة الحاجب الخارجية)، كما لوحظ وجود تفاوت في قيم التآكل بين عجلات اقطاب السرير الواحد وكذلك تفاوت بين الجهتين اليمنى واليسرى لنفس القطب ،السبب في هذا الاختلاف بين القاطرات وعربات الشحن من جهة وعربات الركاب من جهة اخرى يعود الى الاختلاف في قوى الضغط القطبي من جهة (للقاطرات 21 طن ولعربات الركاب والفارغة 15 طن) والىالاختلاف في اقطار العجلات من جهة اخرى (للقاطرات 1050 mm وللعربات 920mm).

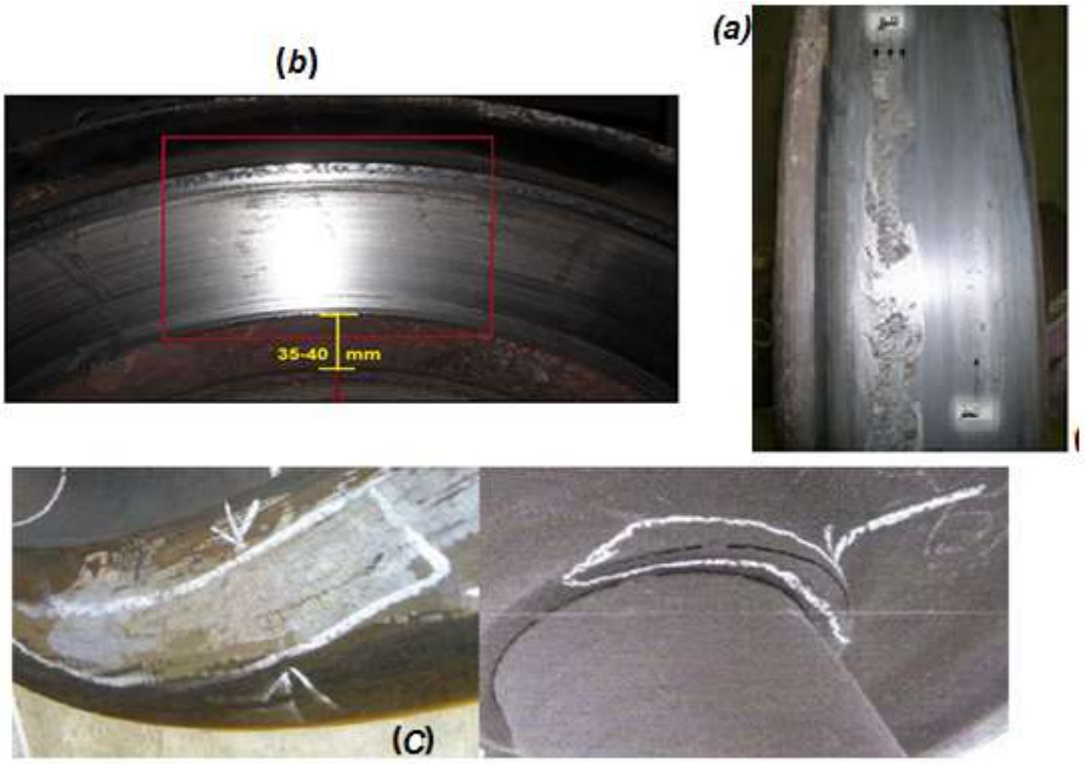
اما السبب في وجود التفاوت في قيم التآكل بين عجلات القطب الواحد ، فيعود الى قوى الضغط الجانبية المؤثرة على حاجب العجلة التي تسير على القضيب الخارجي من السكة الحديدية من جهة والى الاختلاف في قساوة معدن التصنيع بين عجلة واخرى . وقد دلت التجارب التي اجريت في معهد ابحاث السكك الحديدية الروسي [1] على القساوة انه اذا اختلفت قساوة السطح الدوراني لعجلتين بمقدار 10-20 HB فان معدل الاختلاف الوسطي لقساوة حاجبيهما تبلغ.30-50 HB



الشكل 5 (a,b) : الاشكال المختلفة لتآكل عجلات الادوات المتحركة .

2- تآكل غير متجانس لجزء من السطح الدوراني للعجلات (الشكل b-5)توضّع اغلبه في المنطقة الوسطية للسطح وعلى بعد 70-90 mmمن الحافة الخارجية للعجلة تراوح عمقه بين 2-3 mm.

3- تحفّر دائري متقطع على السطح الدوراني للعجلة (الشكل a-6)وصل طوله الى 15mm وعمقه الى 2mm ويعود السبب الاساسي لهذا النوع من التآكل الى وجود اجسام صلبة غريبة في نعلات اللجام ناتجة عن عملية تحضير هذه النعلات تجعل قساوتها اكبر من قساوة المعدن الذي تصنع منه العجلات .



الشكل6 (a,b) :نماذج أخرى لتآكل عجلات الادوات المتحركة .

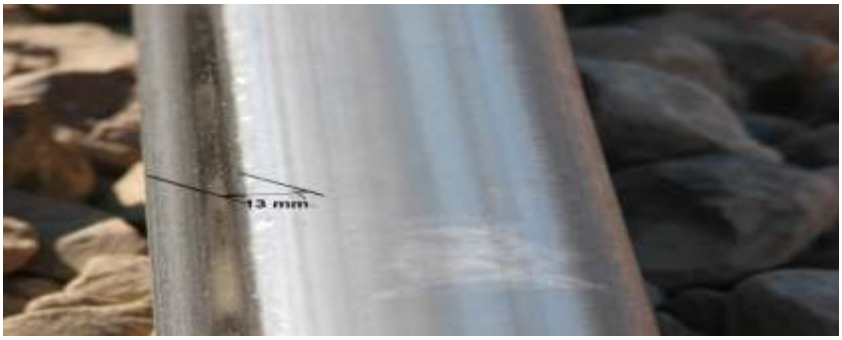
4- وجود طبقة معدنية اضافية بسماكات مختلفة ملتصقة على اماكن من السطح الدوراني للعجلة (الشبق) وقد ترافقت احيانا مع التحفر المذكور في البند السابق(الشكل 6a-) .

5- تآكل كامل للسطح الدوراني للعجلة (الشكل 6-b) اختلفت قيمه من عربة لاخرى وصل الحد في بعض العربات الى تنسيقه واخراجه من الخدمة وفقا للشروط الفنية للتشغيل التي تمنع تشغيله اذا نقصت سماكة الاطار الخارجي للعجل عن 35 mm لعجلات عربات الركاب و40mm لعجلات عربات الشحن .

6- وجود حالتين لانزياح احدى العجلات عن رقبة القطب الاولى بمقدار 3 mm والثانية 5 mm (الشكل 6-c.)

7- وجود حالتين للتشقق العرضاني للعجلة يعود سببه لعوامل حرارية ناتجة عن التماسك بين نعلات اللجام والسطح الدوراني للعجلة لفترة زمنية طويلة .

اما التآكل الحاصل على الخط الحديدي (الشكل 7) بين محطتي اللاذقية وجسر الشغور فقد تبين انه يحصل على كافة المنعطفات وتزيد نسبه مع وجود الميول وخاصة في المنحدرات في الاتجاه من الكيلومتر 146 الى الكيلومتر 130ومن الكيلومتر 164 الى الكيلومتر 196 حيث لوحظ وجود تآكل على الوجه الداخلي للخط الخارجي من السكة وصلت قيمه التراكمية (خلال 3- 4 سنوات)إلى 13 mm مما يدفع بالجهة المسؤولة عن صيانة الخطوط الى استبداله علما ان عمره التشغيلي لم يصل الى حد 60% من العمر الافتراضي للتشغيل كما ان الحمولات المارة عليه سنويا لاتتجاوز 30 %من حجم الحمولات الافتراضية والبالغة حسب المواصفات الفنية للخط الحديدي من النموذج 50 UIC- ، 500 الف طن .



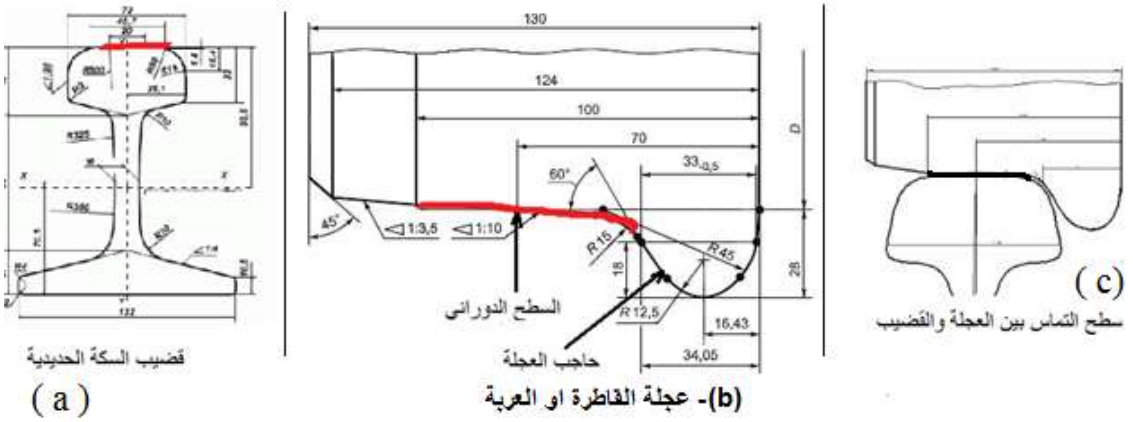
الشكل (7): التآكل الجانبي للخط الحديدي

النتائج والمناقشة:

1- الدراسة التحليلة لظاهرةالتآكل للخط الحديدي والعجلات

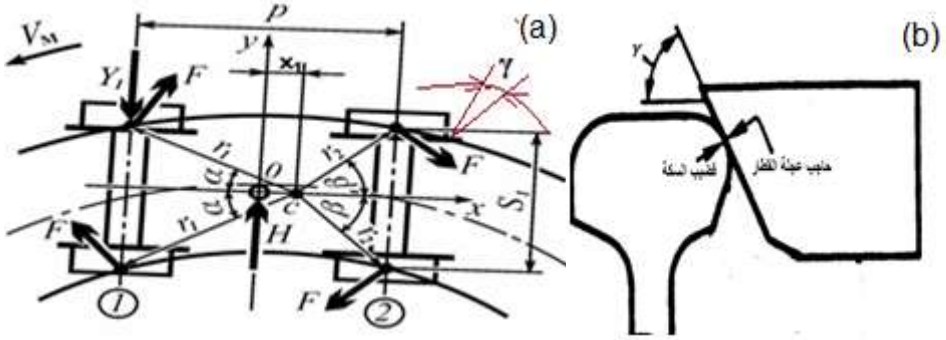
1-1. دراسة القوى المؤثرة على السطوح المتلامسة للخط والعجلات :

في الظروف الطبيعية لحركة القطارات على الخطوط المستقيمة بدون ميول ،فان عرض منطقة التماس بين العجلات والخط الحديدي تأخذ شكل الخط المبين في الرسم التوضيحي في الشكل(8)[2]:



الشكل رقم (8): (a) مقطع عرضي لقضيب السكة. (b)- مقطع طولي للعجلة. (c) – استناد العجلة على الخط.

وعند تغير هذه الشروط ، أوعند الحركة على المنعطفات يحدث الانزياح العرضاني للعجلة على الخط الحديدي نتيجة لتولد قوى ضغط شاقولية وافقية ، تؤثر على سطوح التماس بينهما والى انضغاط حافة حاجب العجلة على الخط الحديدي مؤدية الى نشوء قوة الاحتكاك F، التي تسبب بحدوث التآكل سواءً في الخطأ وفي العجلات المتحركة عليه (الشكل رقم 9).



الشكل (9) : توضع سرير العربة على منعطف الخط الحديدي والقوى المؤثرة عليه .

من اجل تقييم تأثير حركة العجلات على مع امل تآكل القضبان في المنعطفات الممثلة وفق الشكل (9) تستخدم العلاقة الرياضية التالية[3]:

$$\emptyset = \frac{\mu N W}{A} \quad (1)$$

Φ– معدل التآكل

μ– معامل الاحتكاك بين السكة والعجلات

N– قوة رد الفعل المتولدة بين جاجب العجلة والوجه الداخلي للسكة الحديدية ،kN

W– الانزلاق النسبي لحاجب العجلة على الخط الحديدي

A– مساحة سطح التماس بين الحاجب وقضيب السكة، mm^2

تحسب قوة رد الفعل N بالعلاقة التالية[3]:

$$N = y \sin\gamma \quad (2)$$

حيث : y– قوة الضغط الموجهة المؤثرة على عجلات القطب الاول من سرير العربة (قوة رد فعل السكة الحديدية على العجلة)kN .

γ– زاوية ميل سطح حاجب العجلة عن الافق،والمبينة في الشكل (9–b) .

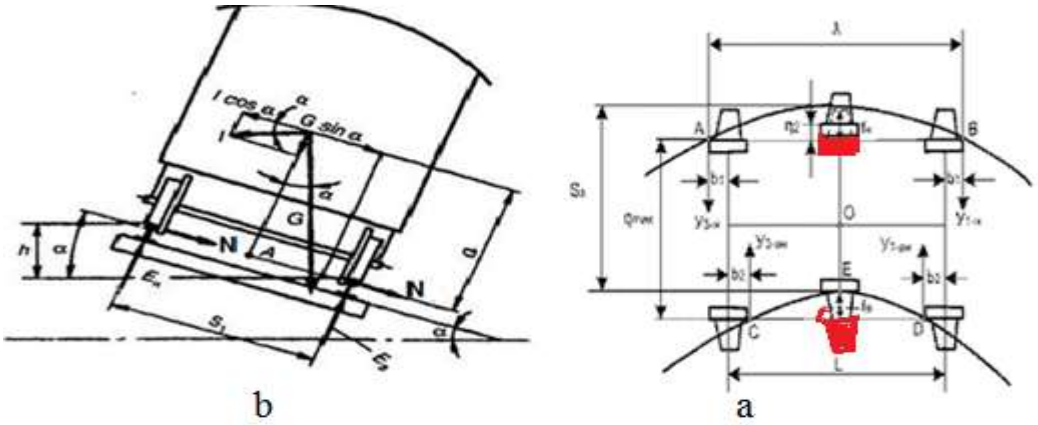
اما مساحة سطح التماس بين حاجب العجلة والوجه الجانبي للخط الحديدي فتتعلق بزاوية توضّع عجلات القطار المتدحرجة على الخط الحديدي في المنعطفات والتي تختلف من قطب لآخر، كما تختلف بين عجلات القطب الواحد كما هو مبين في الشكل (9–a) ويمكن ايجادها بالعلاقة [1]:

$$A = 1 + 30\frac{X1}{R} \quad (3)$$

حيث : X_1–المسافة بين المركز القطبي لدوران العجلات في المنحني والمركز الهندسي للمحاور الاحداثية للسرير الاول للعربة،mm(المبين في الشكل 9)

R– نصف قطر المنعطف الذي يسير عليه القطار، m .

من أجل تحديد قيم الانزلاق النسبي لحاجب العجلة على الخط الحديدي في المعادلة السابقة يجب الأخذ بعين الاعتبار أنه عند مرور القطار على الخط المنحني (المنعطف) تتولد عدة قوى إضافية افقية وشاقولية تقوم بتحريك هيكل (صندوق) العربات في الاتجاه اللازم والمناسب للحركة (الشكل 10, b) ولهذا يبدو ان الهيكل يتحرك حركة مركبة (انتقالية ودورانية)، وبما ان الهيكل يستند على سرير العربة بواسطة نظام التعليق الصلب للقاعدة وأن اقطاب السرير الثنائي او الثلاثي متوازية فيما بينها ولايمكنها الدوران حول المحور الطولي للخط الحديدي ، فإن العجلات تأخذ الوضعية المبينة في الشكل (a، 10) حيث يلاحظ ان القطبين الامامي والخلفي يضغطان على الوجه الداخلي للسكة أما القطب الاوسط فتستند احدى العجلات بمساحة قليلة على الخط الحديدي بينما تضغط الاخرى بقوة على الخط الحديدي ، هذا التوضع يؤدي الى حدوث حالة الانزلاق النسبي للعجلات على الخط اثناء الانعطاف ويلاحظ فيه التباين في مساحة سطوح التلامس بين عجلات السرير الواحد عند المرور على المنعطف وتختلف هذه المساحة باختلاف انصاف اقطار المنعطف .



الشكل (10) : a- وضع اقطاب سرير القاطرة في المنعطف . b-وضع الهيكل

من اجل حساب قيمة الانزلاق النسبي الحاصل لحاجب العجلة تستخدم العلاقة:

$$U_{r=}\frac{a}{r}, \qquad (4)$$

هنا a – عمق مسافة التماس بين حاجب العجلة والوجه الداخلي لقضيب السكة الحديدية .

r – نصف قطر العجلة (للقاطرات الروسية والفرنسية525mm – للعربات بأنواعها 460mm)

ومن اجل حساب الانزلاق الكلي لنقطة ما D من حاجب العجلة تستخدم العلاقة [4]:

$$W_{d=}\sqrt{(\frac{S}{2R}-\frac{a}{r})^2+(\frac{x}{cos\gamma})^2+(\frac{a}{r}\frac{x1}{Rcos\gamma})^2} \qquad (5)$$

S – المسافة بين محاور قضبان السكة الحديدية .

$\left(\frac{S}{2R}-\frac{a}{r}\right)$– يعبر عن الانزلاق الطولي للنقطة المختارةD بالنسبة للمحور X .

$(\frac{x}{cos\gamma})$–يعبرعن الانزلاق العرضي للنقطة المختارةD بالنسبة للمحور Y.

$\left(\frac{a}{r}\frac{x1}{Rcos\gamma}\right)$–يعبر عن الانزلاق في العمق للنقطة Dالمختارة بالنسبة للمحور Z.

بما ان انزلاق عجلات القاطرة يتم بسبب عزم الدوران المتولد عن محركات الجر الستة المعلقة على الاقطاب في القاطرة ، فيجب الأخذ بعين الاعتبار تأثير هذا العزم على معامل الانزلاق الكلي ،ويتم حساب قيمة معامل الانزلاق الناتج عن عزم الدوران من العلاقة [5] :

$$\delta=\frac{F_K}{4{,}1\sqrt{1-F_K}} \qquad (*)$$

هنا : F_K معامل يدرس النسبة بين القوى الضاغطة على طوق العجل والقيم الحدية لقوى التماسك بين العجلة والخط الحديدي ، ويمكن الحصول على قيم δ من العلاقة التجريبية التيتوصّل اليها عالم السكك الحديدية اكورلفسكي (ACORLOVSKY)والتي تم فيها تعديل العلاقة (5)مع الأخذ بعين الاعتبارالمعامل المكافئ للانزلاق الناتج عن عزم دوران المحركاتδمضافا الى معادلة ايجاد معدل الانزلاق الكلي لتصبح كمايلي:

$$W_{d=}\sqrt{\left[\frac{S}{2R}-(1+\delta)\frac{a}{r}\right]^2+\left(\frac{x_1}{cos\gamma}\right)^2+\left[(1+\delta)\frac{a}{r}\frac{x_1}{Rcos\gamma}\right]^2} \qquad (6)$$

تؤخذ قيمة معامل الانزلاق W_d لعجلات القاطرة بالاشارة الموجبة عند العزم المتولد عند الفرملة والاشارة السالبة عند الاقلاع (الجر) .

بتطبيق العلاقات السابقة على االقاطرات الروسية وعربات الشحن رباعية الاقطاب المستخدمة على محور حلب –اللاذقية وبالعكس لمعرفة مدى تأثير مواصفات الخط الحديدي على قيم معامل الانزلاق وعلى عملية التآكل وباعتبار

$R=400\ m$, $S=1,5\ m$, $\gamma=65$, $r_l=0,525\ m$, $r_w=0,460\ m$, $\delta=0,4$

بينما قيم قوة الضغط الموجهة Y_1 من المعادلة **(2)** والمسافة القطبية فتؤخذ من جدول يرشكوفERSHKOV[3]الذي يربط العلاقة بين هذه القيم وقيم التسارع الاضافي لكل من للقاطرات وعربات نقل البضائع والركاب.

بالنسبة لقيم التسارع الخطي الاضافي يمكن ايجادها ايضا (بالاضافة الى الجدول) من العلاقة التالية[5] :

$$a_i = \frac{V_i^2}{13R_i} - \frac{g}{S_1}h \qquad (7)$$

v – السرعة المعتمدة على المنعطف ، km/h

R – نصف قطر المنعطف ، m

h – العلو الاضافي للخط الخارجي، mm

g– تسارع الجاذبية الارضية ، $g=9,81 m/s^2$

S_1– المسافة بين محاور قضبان الخط الحديدي وتؤخذ قيمة تقريبية لها في المنحنيات $S_1 = 1500mm$

بالتعويض بهذه القيم في المعادلة (7) نحصل على المعادلة :

$$a_i = \frac{v_1^2}{13R_1} - 0,0064\ h \qquad (8)$$

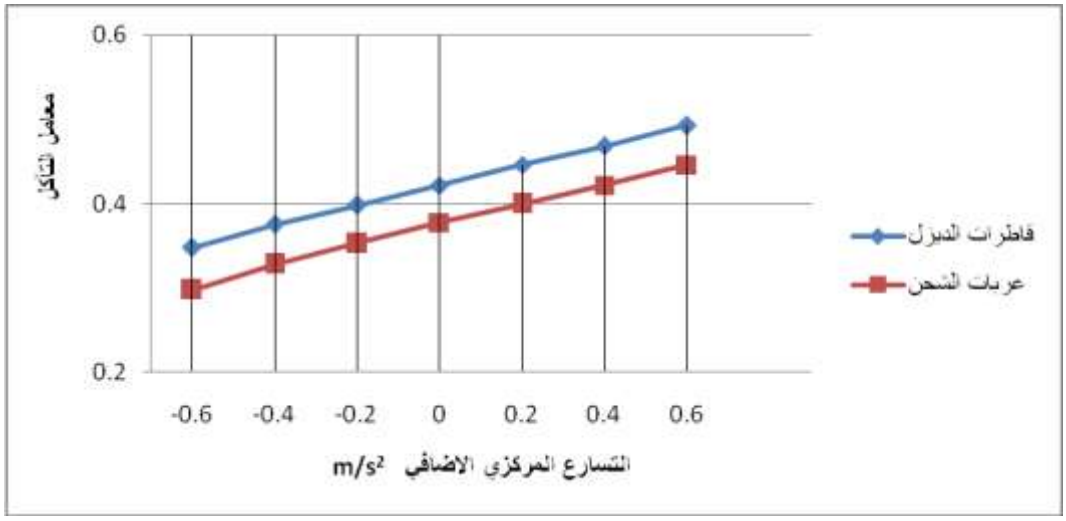
عند حساب قيم التسارع المركزي الاضافي بالمعادلة (8) نحصل على نفس النتائج المحددة في مخطط يرشكوف والتي تتروح بين[0,8+، 0,8 –] لمختلف القاطرات والعربات ، وبما ان السرعات على الخط الحديدي اللاذقية – جسر الشغور مقيّدة بحدودها القصوى 80 km/h على المنعطفات نأخذ القيم الحدية للتسارع المركزي الاضافي 0,6 – الى 0,6 + من المخطط ونستنتج من نفس المخطط قيم قوى الضغط الموجهة Y_1 والمسافة القطبية X_1 الموافقة لقيم التسارع الاضافي ونحسب وفق المعادلات (1) و(6) معدلات الانزلاق W_d ومعامل التآكلØ،توضع نتائج الحسابات في الجدول رقم (1)

الجدول رقم 1 : تغير معامل احتكاك الوجه الجانبي للخط الحديدي بتغير التسارع المركزي الاضافي للقاطرات .

التسارع الاضافي a_i,m/s^2	قوة الضغط الموجهة Y_1 , kN	المسافة القطبية X_1 , m	معدل الانزلاق W_d	معامل التآكل Ø
لقاطرات الديزل الروسية LDE–2800(سداسية الاقطاب)				
−0,6	62,5	3,76	0,0322	0, 348
−0,4	68,8	3,70	0,0319	0,392
−0,2	72,6	3,62	0,0315	0,400
0	78,0	3,52	0,0311	0,422
0,2	84,4	3,42	0,0307	0,446
0,4	88,6	3,34	0,0302	0,457
0,6	92,6	3,22	0,0296	0,491

لعربات نقل البضائع (رباعية الاقطاب)				
0,298	0,0258	2,76	61	0.6 –
0,327	0,0256	2,55	65,5	0,4 –
0,354	0,0252	2,5	72	0,2 –
0,378	0,050	2,48	76,5	0
0,401	0,0248	2,32	82	0,2
0,423	0,0243	2,25	87,5	0,4
0,446	0,0240	2,22	92	0,6

بالتمثيل البياني لعلاقة معامل التآكل بالتسارع المركزي الاضافي نحصل على الشكل (10).



الشكل رقم (10) :العلاقة بين معامل تآكل الخط الحديدي والتسارع المركزي الاضافي

كما هو ملاحظ من النتائج السابقة فان زيادة معدل التآكل لقضبان السكة الحديدية بتأثير الادوات المتحركة عليه سواء كانت قاطرات جر ام عربات شحن يتعلق بزيادة التسارع الاضافي المتولد عند المرور على المنحنيات ويلاحظ ايضا مدى التأثر الواضح لقوة الضغط الموجهة بتغير قيم هذا التسارع مقارنة مع التغير الطفيف لمعدل الانزلاق ، كما يلاحظ أيضا الدور الذي يلعبه عدد الاقطاب في السرير الواحد.

2-1 . دراسة دور الحمولات المنقولة على الخط الحديدي في عملية التآكل:

لاشك ان لحجم الحمولات المنقولة على الخط الحديدي دورا كبيرا في زيادة معدلات التآكل بسبب ازدياد قيم القوى المؤثرة من جهة والاجهاد الاضافي بسبب تواتر عدد القطارات المتحركة على الخط من جهة أخرى وتعد احد مؤشرات العمر التشغيلي للخطوط وللاجزاء المتحركة من القاطرات والعربات ، إذ ان اغلب الصيانات الدورية والاصلاحات تتم وفق برنامج يتضمن نوع الاصلاح والصيانة وفقا للحمولات المنقولة ، وتحدد علاقة تآكل الوجه الجانبي للخط الخارجي للمنحني بالحمولات المنقولة وفقا للمعادلة التالية[3] :

$$n_\delta = 0{,}07 \cdot T \cdot K_R \cdot K_P \cdot K_T \cdot K_i \cdot K_c \qquad (8)$$

0,07 – ثابت يقاس ب (mm) يعبر عن معدل التآكل الوسطي لكل 1 مليون طن حمولات تمر على منعطف خط حديدي غير مشحّم :نصف قطره 400 متر – نسبة ميله 9 بالألف– الحمولة القطبية 170 كيلو نيوتن – قساوة المعدن المصنع منه الخط : 350 HB.

– معامل يلحظ التغير في نصف قطر المنعطف. $K_R=\left(\frac{400}{R}\right)^2$

– معامل يلحظ التغير في الحمولة القطبية . $K_P=\left(\frac{P}{170}\right)^{0,55}$

– معامل يلحظ التغير في قساوة الخط . $K_T=\left(\frac{350}{HB}\right)^{3,5}$

– معامل يلحظ التغير في ميل الخط . $K_i=\left(\frac{i}{9}\right)^{0,3}$

– معامل يلحظ تشحيم الخط قبل المرور على المنعطفات. $K_C=0,5-0,8$

(يلاحظ انه من كافة العوامل السابقة يعتبر عامل التشحيم الوحيد القابل للتغيير او التحكم به) .

بتطبيق المعادلة السابقة ضمن الشروط الموا فقة لمرور واحد مليون طن حمولات(المعدل الوسطي للحمولات المنقولة على محور حلب – اللاذقية لعام 2005)نجد:

$$K_c(1)n_\delta = 0,07 \left(\frac{400}{R}\right)^2 \left(\frac{P}{170}\right)^{0,55} \left(\frac{350}{HB}\right)^{3,5} \left(\frac{i}{9}\right)^{0,3} \quad (9)$$

ان اغلب انصاف اقطار المنعطفاتعلى محور اللاذقية – جسرالشغور هي 400 م كما ذكر سابقا ويوجد عدة منعطفات اخرى تتنوع انصاف اقطارها بين 400 –600 م و وإذا اخذنا بعين الاعتبار المنعطفات بين محطة اللاذقية– بضائع والمرفأ التي تبلغ انصاف اقطارها عند الحدود الدنيا لنظام تشغيل السكك الحديدية (300 م).

K_T= 0.716 –للقضبان القديمة من النوع–50–UICوقساوتها 385HB.

K_T=1.06 – للقضبان التي تم استبدالها بعد عام 2003 وقساوتها 340HB.

بالتعويض في العلاقة السابقة وادراج النتائج في الجداول نجد :

الجدول (2) : تغير المعاملات المكافئة بتغير نصف قطر المنعطف .

نصف قطر المنعطف m,R	300	350	400	450	500	550	600
العامل المكافئ K_R	1,77	1,31	1	0,79	0,64	0,53	0,44

الجدول (3) : : تغير المعاملات المكافئة بتغير الوزن القطبي للادوات المتحركة.

الضغط القطبي kN	قاطرات(197)	عربات شحن محملة(206)	عربات ركاب (90)
العامل المكافئ K_P	1,08	1,11	0,88

الجدول (4) : : تغير المعاملات المكافئة بتغير نسبة ميل الخط الحديدي.

نسبة الميل بالالف ‰	6	9	10	11	12
العامل المكافئ K_i	0,88	1	1,03	1,06	1,09

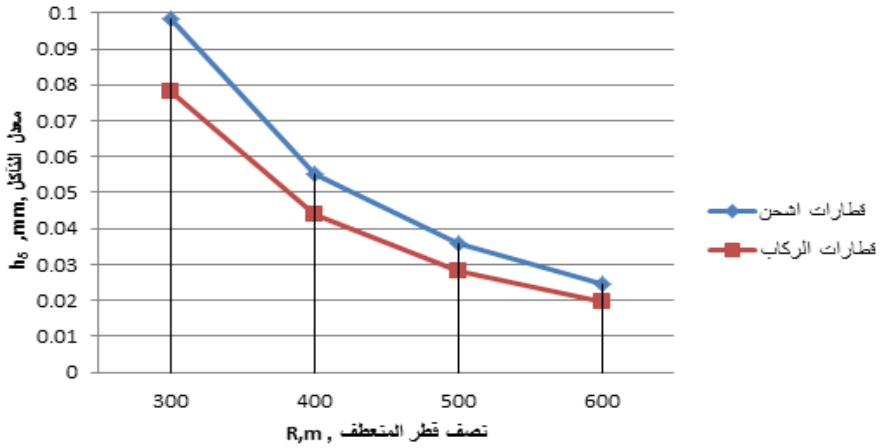
بعد التبديل بالعلاقة (9) مع الاخذ بعين الاعتبار الاحتمالات الممكنة لوجود اكثر من عامل مشترك على وضعية الخط الحديدي مثلا :

وجود خط ميله بنسبة 12‰ يحتوي على منحنيات بانصاف اقطار مختلفة ويسير عليه قطار شحن محمل يكون معدل التآكلكما هو مبين في الجدول (5):

الجدول (5) : : تغير معدل التآكل بتغير نصف قطر المنعطف عند ثبات الميل .

نصف قطر المنحني R ، m		300	400	500	600
معدل التآكل h_δ,mm	– القاطرات والعربات المحملة	0,0984	0,0556	0,0356	0,0244
	– عربات الركاب والفارغة	0,0780	0,0441	0,0283	0,0194

بتمثيل النتائج التي تم الحصول عليها في الجدول بشكل بياني نحصل على الشكل (11)



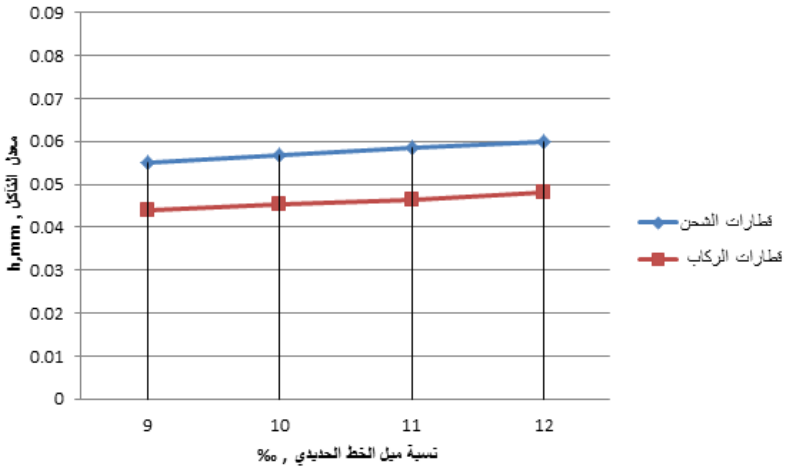
الشكل(11): العلاقة بين معدلات التآكل وانصاف اقطار المنعطفات

– عند وجود خطوط منحنيةنصف قطرها 400m وذات ميول مختلفة تكون النسبة :

الجدول (5): تغير معدل التآكلبتغيرالميل عند ثبات نصف قطر المنعطف :

نسبة ميل الخط ‰		9	10	11	12
معدل التآكل h_δ ,mm	– للقاطراتوالعربات المحملة	0,0551	0,0567	0,0584	0,060
	– لعربات الركاب والفارغة	0,0441	0,0454	0,046	0,0807

بالتمثيل البياني نحصل على الشكل رقم (12) :



الشكل (12): العلاقة بين معدلات التآكل ونسب ميول الخط الحديدي عندما R=400m

وبالمثل يمكن ايجاد معدل التآكل بوجود باقي العوامل المؤثرة وبتلخيصماتم التوصل اليه من نتائج الحسابات نجد ان معدل التآكل :

– ينقص حوالي 4 مرات عند الانتقال من المنعطفات ذوات انصاف الاقطار 300 م الى منعطفات بانصاف اقطار 600 م وبمعدل حوالي المرتين من ذوات 400 م .

– ان التآكل في عجلات عربات الركاب وعربات الشحن الفارغة يقل بـثلاثة اضعاف عن التآكل في عجلات عربات الشحن المحملة او القاطرات بكامل معداتها (المزودة بالوقود في الخزانات الاساسية والاحتياطية والمعبأة بالرمل في خزانات منع التزحلق).

– زيادة التآكل بحوالي 25% عندما تم استبدال القضبان التي تبلغ قساوتها 388HB بأخرى قساوتها 340HB.

– زيادة التآكل بمعدل 20 % عند التحول من خط ميله 9 ‰ الى اخر ميله 12 ‰ وتتضاعف هذه النسبة عند وجود منحنيات مترافقة مع الميول .

ايضامن العلاقة(8) يمكن حساب القيمة النظرية لحجم الحمولات المنقولة على الخط الحديدي عند وصول التآكل الى القيمة الحدية التي يتطلب عندها استبدال القضبان في المنحنيات.

$$T = \frac{h_\delta}{0.07\, K_R \cdot K_T \cdot K_c \cdot K_p \cdot K_1} \quad (10)$$

في هذه المعادلة : تؤخذ قيمة h_δ = 15mm وهي القيمة الحدية لتآكل الخط الحديدي والتي يتوجب استبداله عندها.

بالتعويض في المعادلة السابقة بمعاملات تغير مواصفات الخط المشار اليها سابقا نحصل على المعادلة:

$$T=214.3(R/400)^2\,(HB/350)^{3.5}\,(170/P)^{0.55}\,(9/i_p)^{0.3}\,(K_c) \quad (11)$$

– R/400يؤخذ بتغير نصف قطر المنعطفR من 300 الى 600 متر.

–HB/350تؤخذ قيمة HB=350قساوة الخط الحديدي.

–170/Pتؤخذ قيم الحمولة القطبية لقطارات الشحن المحملة P=200 kN

ولقطارات الركاب وعربات الشحن الفارغة kNP=90.

$9/i_p$– تؤخذ قيمة i_p مساوية للميل الوسطي على الخط9 ‰ .

K_c – معامل تشحيم الخط الحديدي يؤخذ مساويا:0,5 = K_C عند التشحيم و 1 عند عدم وجوده .

بالتعويض في المعادلة (11) نحسب معدل الحمولات المنقولة على الخط والتي يستوجب تبديله عندها ونضع النتائج في الجدول رقم (6).

الجدول رقم 6: حجم الحمولات التي يمكن نقلها على الخط الحديدي قبل انتهاء العمر التشغيلي لهمليون /طن.

الحمولة القطبية kN	نصف قطر المنحني بالمتر R,m						
	300	350	400	450	500	550	600
عند تشحيم الخط K_C=0,5							
200 (قطارات شحن)	220	300	390	492	608	736	876
90 (قطارات ركاب)	340	462	606	766	946	1146	1362
بدون تشحيم للخط K_C =1							
200 (قطارات شحن)	110	150	195	246	304	368	438
90 (قطارات ركاب)	170	232	303	383	473	573	681

بناء على هذه النتائج المتضمنة في الجدول (6) يمكن حساب عدد المرات التي تستوجب تبديل قضبان السكة الحديدية في المنحنيات حسب الحمولات المنقولة وذلك بتطبيق العلاقة :

$$M=\frac{T_H}{T}-1 \qquad (12)$$

هنا : T_H – تساوي 600 مليون طن حمولات : الطاقة التمريرية للخط الحديدي المعتمدة من قبلدائرة آمان سير القطارات في المؤسسة العامة للسكك الحديدية السورية[6] قبل استبداله بناء على مواصفات القضبان المستوردة من النموذج UIC–50.

نتائج الحساب ندرجها في الجدول رقم (7) :

الجدول رقم 7:عدد المرات التي يجب تبديل الخط الحديدي قبل انتهاء العمر التشغيلي وفقا للحمولات القياسية .

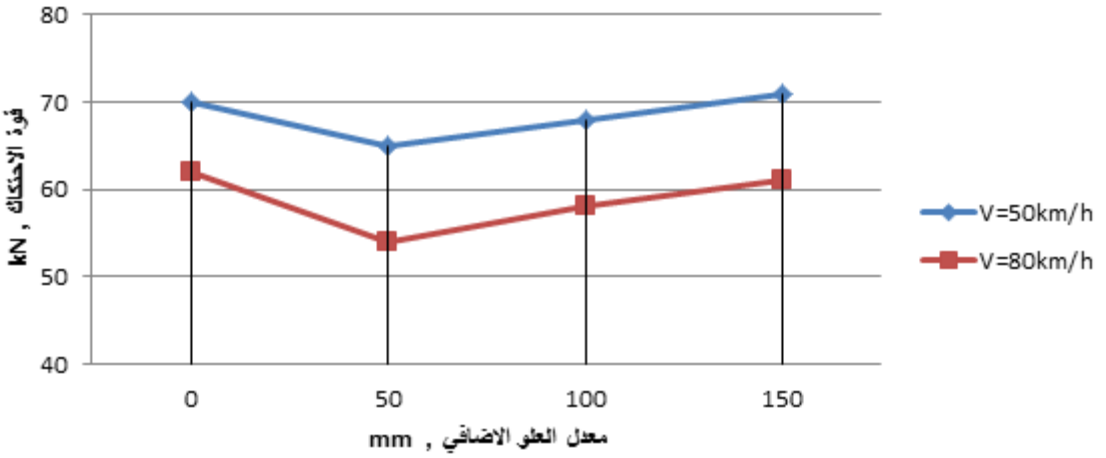
الحمولة القطبية kN	نصف قطر المنحني بالمتر R,m						
	300	350	400	450	500	550	600
عند تشحيم الخط K_C=0,5							
قطارات شحن 200kN:	2	1	1	1	0	0	0
قطارات ركاب:90kN	1	1	0	0	0	0	0
بدون تشحيم للخط K_C =1							
قطارات شحن (200kN)	5	4	3	2	1	1	0
قطارات ركاب (90kN)	4	3	2	1	0	0	0

-(في الجدول تم تقريب الارقام الناتجة الى الرقم الصحيح الأكبر من اجل حساب عدد المرات التي يجب استبدال القضبان فيها)

في الجدول السابق يلاحظ انه في المنعطفات بأنصاف اقطار دون 500 م يستوجب تبديل الخط الحديدي بصورة مضاعفة عند تشحيم الخط وبمعدل حتى اربعة اضعاف عند عدم تشحميه . وهذا ماأكدته احصائيات قسم صيانة الخطوط في المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية[6] التي اظهرت انه وبتواتر دوري كل خمس سنوات تقريبا يتم تبديل القضبان في بعض المنعطفات على خط اللاذقية – جسر الشغورعلما انه وفقا لجدول الصيانة فإن قضبان الخط لم تبلغ نصف عمرها التشغيلي .

1-3- دراسة تأثير العلو الاضافي للخط الخارجي للسكة في عملية التآكل :

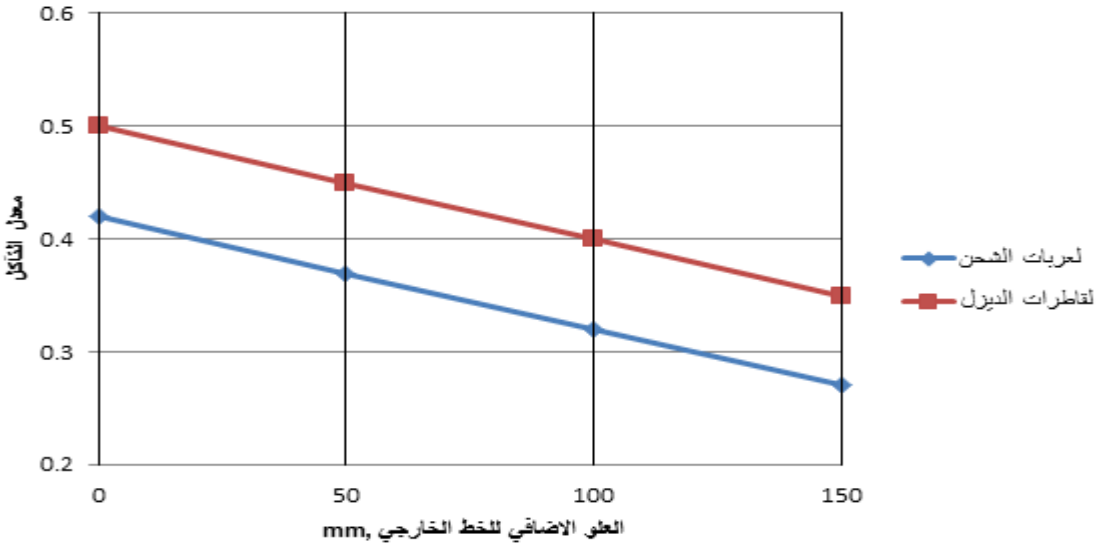
عندما يتحرك القطار على المنعطفات تؤثر على مكوناته قوى الوزن الشاقولية والقوى النابذة الافقية (اتجاهها خارج المنعطف) ، ولكي يتم تفادي ابتعاد العربة عن مسارها وخاصة عند السرعات العالية فأنه من الضروري انشاء قضيبي السكة بمستويين مختلفين يكون فيه القضيب الخارجي أعلى من الداخلي ، وهذا مايسمى بالعلو الاضافي للخط. كما ذكرنا سابقا،فإن القوى الافقية تحاول دفع حاجب العجلة نحو الوجه الداخلي للقضيب الخارجي مؤدية الى حدوث التآكل لكل من القضيب والعجلات وتختلف قيم هذا التآكل بحسب شدة القوى المؤثرة التي تتعلق بالسرعات التي تسير عليها القطارات ، وبما ان السرعات التصميمية للخط الحديدي محور اللاذقية – جسر الشغور محددة في المنعطفات التي يبلغ قطرها 400 متر 80 km/h لقطارات الركاب و 50 km/h لقطارات الشحن ، فقد تم استنتاج العلاقة بين قيم قوى احتكاك حاجب العجلات والوجه الداخلي للخط الحديدي الخارجي وبين العلو الاضافي للخط الخارجي من الجدول القياسي الدولي الذي يُعطىعند السرعات المعتمدة وتم رسم مخطط هذه العلاقة في الشكل(13).



الشكل (13): العلاقة بين قوة الاحتكاك والعلو الاضافي للخط الخارجي .

يلاحظ من المخطط السابق انه عند تقييد حدود السرعة على المنعطفات الى اقل من 50 km/h فان قيم قوى الاحتكاك تأخذ بالتناقص وبالتالي فان معدلاتالتآكل تكون اقل ، ومن اجل الحفاظ على سرعة معتدلة نسبيا (بالحدود المسموح بها لقطارات الركاب والشحن) يجب المراقبة والقياس باستمرار لقيم العلو الاضافي للخط الخارجي بحيث يحافظ على آمان سير القطارات وعلى بنية الخط الحديدي .

أما تأثير العلو الاضافي على معدلات تآكل عجلات القاطرات والعربات في مجال السرعات المنخفضة على منعطف نصف قطره 300m فيمكن تمثيلهابالشكل رقم (14):



الشكل (14) : العلاقة بين معدل التآكل وقيم العلو الاضافي للخط الخارجي عندما R=300m و V=40km/h.

ان السبب في زيادة معامل التآكل للقاطرات عن العربات يعود الى ان القاطرة تستند على سريرين يحتوي كل سرير منهما على ثلاثة اقطاب، بينما تستند العربات على سريرين كل منهما بقطبين فقط. و في الشكل (a, 6)تم ايضاحكيفية توضع اقطاب اسرة القاطرة على الخط الحديدي في المنعطف وصعوبة الحركة الانسيابية والدورانية لها مما يزيد من قيم التآكل على حواجب العجلات والخط الحديدي .

الاستنتاجات والتوصيات:

1- لقد اوضحت الدراسة التي تمت في البحث ان الاسباب الرئيسية لتآكل قضبان السكك الحديدية وعجلات الادوات المتحركة عليها يعود لعملية الفتل القسرية التي تتعرض لها هياكل القاطرات والعربات بالنسبة لاسرّتهاعند مرورها على المنعطفات، ودلت نتائج البحث على ان العوامل الاساسية التي تساعد في زيادة هذا التآكل :

أ- المنعطفات ذات أقطار الانحناءالصغيرة.

ب- قساوة الخط الحديدي واستخدام العوارض البيتونية الثقيلة.

ج- الحمولة المحورية للاقطاب التي لاتتناسب والحالة الفنية للخط الحديدي او بنيته التحتية.

د- ميول الخط الحديدي وخصوصا المتتالية .

هـ- عدم تشحيم الخطوط بشكل دوري في المنعطفات او استخدام شحمة منتهية الصلاحية او غير مطابقة للمواصفات المطلوبة .

2- من اجل التقليل مأأمكن من تأثير العوامل المذكورة في البند الاول يوصى باستخدام المشاحم الالية الثابتة التي يجب ان تتوضع قبل بداية المنعطف وتزود بدارة آلية تعمل عند مرور القطارات عليها ،أو باستخدام مشاحم متنقلة مركبة على سرير القاطرة، يتم التحكم بتشغيلها من حجرة القيادة في القاطرة ، كما ويجب التدقيق في اختيار نوع ومواصفات الشحمة المناسبة وكميتها ، او استخدام المشاحم التي يتم تزويد الخط الحديدي بها (من قبل عمال الخط

المتخصصين) بشكل دوري لايقل عن مرتين في الاسبوع وبكمية كافية لاتقل عن 500 غرام شحمة لكل 1 كم من الخط الحديدي.

3- كما تبين في البحث ان دور قساوة الخط الحديدي هامة في معدلات التآكل ، لذا يوصى عند استبدال بعض الخطوط القديمة في المنعطفات بأخرى جديدة ان تكون مواصفات الخطوط الجديدة مطابقة لمواصفات الخطوط المتبقية ، أو ان تزيد قساوتها عن قساوة عجلات القاطرات والعربات (لاتقل عن HB 385-400).

4- تطبيق حدود السرعة الموصى بها من قبل اللجان الفنية المختصةبصرامة على كافة المنعطفات على محور اللاذقية – جسر الشغور وتدقيقها بشكل دوري من خلال مراقبة شريط السرعة التي تزود به كافة القاطرات العاملة على شبكة الخطوط الحديدية السورية بحيث تتناسب مع الحالة الفنية للخط .

5- عند الحاجة لاستخدام الجر المزدوج من اجل نقل كميات أكبر من الحمولات ، او عند تسيير قطارات الشحن الخاصة التي تحتوي على معدات بأوزان قطبية كبيرة (معدات محطات التحويل الكهربائية – روافع ثقلية) ، يوصى بتخفيض السرعة الى حدودها الدنيا في المنعطفات وخصوصاً تلك التي يقل نصف قطرها عن 300m .

6- عند اجراء اعمال استبدال كامل القضبان على المنحنيات ذات الاقطار الصغيرة ، تخفيفاً للتكلفة الاقتصادية ، يوصى بإنشاء خطوط اكبر قطر إذا كانت الظروف الجغرافية تسمح بذلك .

7- التدقيق المستمر في قيم العلو الإضافي للخط الخارجي من السكة في المنعطفات الصغيرة الاقطار (دون 300m) وزيادة قيم العلو الى 150mm .

8- المراقبة المستمرة والقياسات الدورية لأقطار عجلات القاطرات والعربات من كلا الطرفين اليميني واليساري ، لأنه يمكن ان يحدث التآكل من جهة واحدة بصورة اكبر من الجهة الأخرى، وهذا يتعلق بموضع العربة ضمن تشكيلة القطار ذهابا وايابا .

المراجع:

[1]-PHILIPPOV,M.M; UZDIN.M.N.*" railwaytheory "-Moscow,transport*, 1991, 296p.

[2]- AMELINS.B ;YAKOVLEVT.G ."*fundamentalsdevicesandcalculationsofrailwaytrack- "* Moscow,transport, 1990- 368p.

[3]-KRAGELSKY I.V.*"friction and wear "* - Moscow, Machinostroenye,1968,480.[4]-AMELIN S.B ; ANDREEV.G .E. "*Design and operation of the railway track*-Moscow,transport,1986, 238 p.

[5]-SEVOSTYANOVA L.L.*"device design and calculationsrailway equipment"* - Russia, KHaparovsk:DVGUPS .2007

[6]-P.C.GUPTA.*Carriage & Wagonn – Schedules and Dimemensions,*India,10th.ed,2006.

[7]- احصائيات مديرية الادوات والجر في المؤسسة العامة للسكك الحديدية – حلب – سورية ، 2005.