مدلسازی و تحلیل هزینه نگهداری خط آهن

زهره حجازی آزاد - زهرا عباس زاده فرد

چکیده

روغنکاری لبه چرخها و خطوط آهن در پیچهای تیز، راه حل بسیار موثری در کاهش فرسودگی مواد ، بدلیل سطوح متقاطع چرخها و خط آهن محسوب می شود. شرکتهای راه آهن دنیا ، بار زیاد و تراکم ترافیکی زیادی در شبکه های خط آهن ایجاد کرده اند. این امر باعث فرسودگی ناشی از ترافیک، ترکهای سطحی بدلیل خستگی و شکستن خطوط آهن شده است. تحقیقات زیادی در مورد تاثیر کلی بکارگیری استراتژیهای روغنکاری و فرسودگی خطوط آهن انجام نشده است. این مقاله مدلی برای روغنکاری و فاصله زمانی خراب شدن خط آهن ارائه می کند که برای کاهش فرسودگی و خستگی ناشی از حرکت چرخها می باشد. اطلاعات از صنعت راه آهن تدوین شده و در نمونه های بسیار زیادی بکار گرفته شده است.

۱. مقدمه

صاحبان خط آهن در دنیا برای کاهش فرسودگی خط آهن در زاویه گژ خطوط آهن، از روغنکاری استفاده کرده اند. زمینه و محتوای بیشتری برای حفاظت و کنترل فرسودگی وجود خواهد داشت. بار محور در بسیاری از شبکه های خط آهن از ۲۵ به ۳۲/۵ تن افزایش یافته است. یک تست جهت آزمایش میزان سایش چرخ با ریل و فرسودگی بویسله کومر انجام شده است. پارامترهای موثر، اینگونه مشخص می شوند:

- انحنا دهنده ریل یا زاویه حمله
- ضریب اصطکاک
- بارهای محوری

تیلن و لابیت مکانیزم حمل و نقل همراه با روغنکاری در بخشهای بین ریل و چرخ را مورد بررسی قرار داده اند. سیمس، ضریب اصطکاک را اندازه گیری کرد. نیلسون عوامل مهم مدلسازی فرسودگی خط آهن را مورد بحث قرار می دهد. اینها عبارتند از : ضریب اصطکاک(رطوبت، دما، بافت سطح)، نوع تجهیزات روغنکاری(بصورت آنبورد یا در امتداد خط آهن)، آلوده شدن گریس بدلیل گرد و غبار، ذرات فلزی فرسوده شده، شکافها، آب، نگهداری درست ریل و چرخ، عدم انضباط در خطوط آهن(عمودی، جانبی، اریب، گژ)، شعاع انحنا، میزان آسیب دیدگی سطح تماس چرخ و ریل علاوه بر شتاب گرفتن و ترمز گرفتن.

مصرف سالانه گریس برای روغنکاری ریل در کشورهای مختلف بین ۰/۷ و ۲/۵ کیلوگرم بر کیلومتر می باشد. این تنوع به تعداد قطارها، انحنادهنده خط آهن، نوع تجهیزات اعم از ثابت یا آنبورد بستگی دارد. مصرف سالانه مواد روغنکاری در روسیه (دومین دارنده بزرگ خط آهن دنیا به میزان ۸۷ هزار کیلومتر خط آهن اصلی و ۷۷/۷٪ خط آهن باری) ، ۳۰٪ در هر MGT در مقایسه با دیگر سیستمهای خط آهن غرب، بیشتر است. گانگلوف اعلام کرده است که مواد روغنکاری استفاده شده در خطوط آهن عمدتا از گریس بدست آمده از نفت و گرافیت های مخصوص می باشد. آزمایشهای کشور آمریکا نشان داده است که بخش عمده ای از گریس استفاده شده، در نوع روغنکاری در امتداد خط آهن، از بین می رود. همچنین قابلیت آلوده شدن بوسیله رطوبت زمین را دارد. لازم است که مقدار بهینه ای گریس براساس شرایط محیطی و

ترافیک تعیین شود. گویان نظمهای محیطی لازم برای روغنکاری مناسب خطوط آهن را مورد بررسی قرار داده است. گریسی که با محیط زیست وفق پیدا می کند دارای ترکیبات سازگار با محیط مانند مواد سمی پایین و قابلیت فشرده شدن عالی، سرعت فرسودگی پایین (ضریب اصطکاک برای سطح روغنکاری شده برابرست با ۰/۰۲۵ الی ۰/۰۳۸ – ده برابر کمتر از سطح تماس روغنکاری نشده)، جذب بسیار پایین رطوبت، نقطه ذوب مناسب و قابلیت حمل شدن (۱/۵ کیلومتر) در امتداد خط آهن باید داشته باشد. کارمر دریافته است که مواد روغنکاری گریسی – که بیشتر در خطوط آهن اصلی استفاده می شود – سریعا از بین رفته و شرکتهای بسیار زیادی شروع به تولید انواع روغنهای جامد کرده اند (یعنی نوع جامد مواد روغنکاری قدیمی یا یک تکنولوژی متفاوت مانند خود-روغنکاری و پلیمرهای چرب). این مواد جدید روغنکاری می بایست مشکلات هدر رفتن و ناکارآمدی را حذف کنند که باعث موثرتر شدن آنها مانند مواد روغنکاری موجود خواهد شد. در پروژه تحقیقات خطوط آهن اروپا: ICON(مطالعه منسجم خستگی سطوح چرخان) نیلسون نشان داد که میزان فرسودگی ریل در فصول مرطوب سال بسیار پایین و در دوره های دیگر بیشتر است.
این مقاله در مورد توسعه مدلهای تحلیل هزینه نگهداری خطوط آهن در رابطه با RCF(خستگی سطح تماس چرخ)، فرسودگی ترافیکی و روغنکاری می باشد.

a هزینه های موردانتظار برای خارج شدن از ریل

c_{tot_j} کل هزینه(دلار استرالیا در سال)

c_{d_j} هزینه دوران رکود(دلار استرالیا در سال)

c_{g_j} هزینه های فرسودگی (دلار استرالیا در سال)

c_{i} هزینه بازرسی (دلار استرالیا در سال)

c_{l_j} هزینه روغنکاری(دلار استرالیا در سال)

c_{r_j} هزینه خطر (دلار استرالیا)

c_{re_j} هزینه تعویض(دلار استرالیا در سال)

c_{s} هزینه های شروع/توقف روغنکاری (دلار استرالیا بر تغییر کلی)

$E_j[M_{i+1}, M_i]$ تعداد مورد انتظار خرابیها در M_i و M_{i+1} برای j امین استراتژی (بدون بعد)

$F_j(m)$ $[f_j(m)]$ تابع توزیع خرابی ریل [تراکم] برای j امین استراتژی (بدون بعد)

j استراتژی روغنکاری (بدون بعد)

L طول بخش ریل آهن موردنظر(m)

MGT میلیونها تن وزن ناخالص (تن)

M_j مجموع MGT انباشته شده برای بخشی که تا تصمیم j ،مورد مطالعه قرار گرفته است(تن)

m میلیونها تن ناخالص (تن)

m_q MGT در دوره q (تن)

N_j کل تعداد دوره ها تا حد ایمنی برای نوسازی استراتژی j (بدون بعد)

$N_j(M_{i+1}, M_i)$ تعداد مورد انتظار خرابیها در M_i و M_{i+1} طبق استراتژی j

n تعداد خرابی ها (بدون بعد)

q شاخص (بدون بعد)

R شعاع های منحنی

β_j, λ_j پارامترها ی Weibull برای خرابیها در استراتژی jام (بدون بعد)

$\Lambda_j(m)$ تابع شدت خرابی مربوط به m در استراتژی jام (بدون بعد)

Y_j متغیر تصمیم گیری برای استراتژی روغنکاری (بدون بعد)

۰ : بدون روغنکاری یا با روغنکاری مداوم (بدون بعد)

۱ : روغنکاری بصورت شروع/توقف (بدون بعد)

نمای کلی این مقاله به شرح ذیل است:

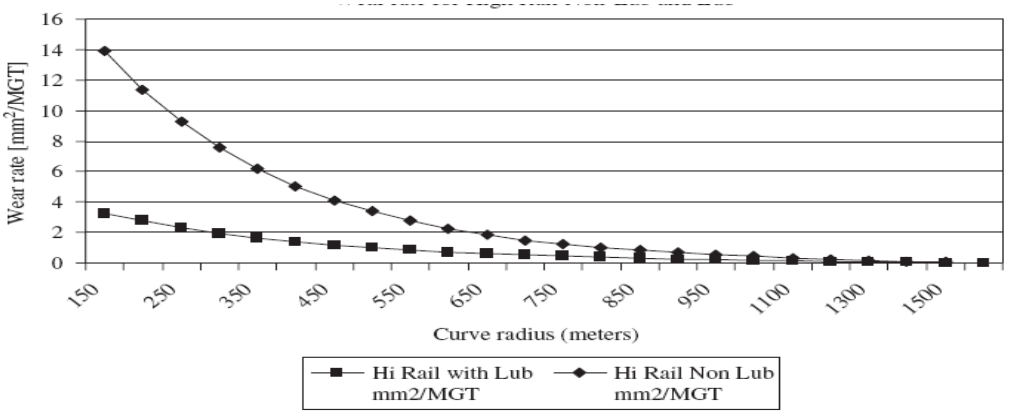
بخش ۱، مقدمه و زمینه ای از مشکل ارائه میکند. بخش ۲، مرور اجمالی روغنکاری خط آهن را ارائه می کند. در بخش سوم، مدلسازی و تحلیل هزینه نگهداری خط آهن پوشش داده می شود. نمونه های بسیار زیادی برای نشان دادن و به تصویر کشیدن در بخش ۴ آورده شده است. در بخش پایانی، نقش این مقاله همراه با محتوای کارهای آینده بطور خلاصه بیان می شود.

۲. مرور اجمالی روغنکاری خط آهن

سرعت فرسودگی خط آهن با بیشتر شدن شعاع انحنای خطوط آهن بزرگ و کوچک کاهش می یابد که در شل ۱ نشان داده شده است. نسبت میزان فرسودگی بین قسمتهای روغنکاری شده و نشده برای انحناهایی که شعاع بیشتر دارند کمتر می شود.

کالوسک و ماگل، نگهداری پیشگیرانه خط آهن برای برطرف کردن لایه نازک مواد از سطح ریل آهن را قبل از ترک خوردن سطح بیان کرده اند. عمق برش بوسیله عمقی که ترک سطح، ظاهر می شود تعیین خواهد شد. بطور میانگین حدود ۰/۰۰۸-۰/۰۰۴ اینچ از زاویه گژ و حدود ۰/۰۰۶-۰/۰۰۲ اینچ از تاج خط آهن قبل از بیشتر شدن ترکهای سطح برداشته می شود. مشخص شده است که هزینه های برنامه های تسطیح سازی، بسیار زیاد بوده و باید ترکهای سطح ریل آهن، بهتر و بیشترتشخیص داده شود و تسطیح سازی مقرون به صرفه برای به حداقل رسانی هزینه ها و ارتقا کارایی تسطیح سازی فراهم شود. در پروژه ICON، نیلسون سرعت فرسودگی را مقایسه کرد و مشاهده نمود که تاثیر روغنکاری در انحناها بسیار زیاد است. مثلا سرعت فرسودگی برای انحنای روغنکاری شده در فاصله ۲۰۰ متری روغن رسان ، تقریبا دو برابر در مقایسه با سرعت فرسودگی در فاصله ۵۰ متری دستگاه روغن رسان است. لازم است درک بیشتری از تاثیر روغنکاری در کل انحناهای ریل، حاصل شده و عملکرد روغنکاری ارزیابی گردد.

شکل۱. سرعت فرسودگی ترافیکی در ریلهای بزرگ روغنکاری شده و نشده



۳. مدلسازی و تحلیل هزینه نگهداری

این بخش به خستگی سطح تماس چرخان، استراتژیهای روغنکاری برای کاهش فرسودگی ترافیکی و تاثیر تسطیح سازی ریل در پیشگیری بیشتر شدن ترکها نگاهی دارد که بمنظور تهیه یک مدل کلی هزینه جهت نگهداری ریل می باشد.

۳.۱ مدلسازی هزینه روغنکاری

این مقوله بر استراتژیهای ذیل استوار است:

- عدم روغنکاری: فرسودگی در انحناهای تیز، بیشتر است و تعویض ریل، خیلی زیاد رخ می دهد.
- روغنکاری در طول سال: هزینه هر MGT روغنکاری در انحناها بیشتر خواهد بود اما هزینه دیگری برای شروع و توقف روغنکاری در سرتاسر سال وجود نخواهد داشت.
- روغنکاری بصورت شروع/توقف: هزینه هر MGT در روغنکاری، کمتر خواهد بود اما هزینه مضاعفی برای شروع کردن و متوقف کردن روغنکاری وجود خواهد داشت.

هزینه روغنکاری بدون در نظر گرفتن خطر اینگونه بدست می آید:

$$c_{l_j} = \left\{ \sum_{i=1}^{N_j} (c_j M_j + c_s Y_j)/(1+r)^i \right\} *(1-(1/(1+r)))*(1+r)/\left(1-\left(1/(1+r)^{N_j}\right)\right), \quad (1)$$

که در آن r نرخ کاهش، c_j هزینه روغنکاری در هر GMT برای استراتژی j، j=1 به معنای روغنکاری شده ، j=s به معنای روغنکاری بصورت شروع و توقف و j=nl به معنای عدم روغنکاری می باشد.

۳.۲ مدلسازی هزینه کلی نگهداری ریل آهن

بدست آوردن استراتژیهای اثربخش نگهداری، که روشهای تکنولوژی و ایمنی را برای تسطیح سازی بهینه خطوط آهن بمنظور کنترل RCF و فرسودگی ترکیب کند بسیار مهم است. برخی از هزینه های مربوطه عبارتند از:

- دسترسی محدود به خط آهن در حین تسطیح سازی
- هزینه تسطیح ریل آهن در هر متر یا در هر متر از خط آهن تسطیح شده
- هزینه تعویض ریلهای فرسوده
- خرابی ریل و آسیب دیدگی ریلها، قطار، اموال، جان و رکود
- هزینه تعمیر شکستگی های ریل برحسب مواد، نیروی کار، تجهیزات و رکود
- هزینه بازرسی ریلها برحسب مواد، نیروی کار، تجهیزات و رکود
- هزینه روغنکاری
- هزینه شروع کردن/متوقف ساختن

هزینه کلی نگهداری بخشی از خط آهن برابرست با مجموع هزینه های : پیشگیری از خوردگی ریل، خسارت ترافیک بدلیل تسطیح سازی ریل، اصلاحات بر اساس آزمایشات غیرمخرب (NDT) با جستجوهای مافوق صوت، شکستگی های ریل و تخریب ریل، روغنکاری و تعویض ریلهای بسیار فرسوده و غیرمطمئن. این مقدار با فرمول ذیل بدست می آید:

$$C_{\mathrm{tot}_j} = c_{\mathrm{g}_j} + c_{\mathrm{d}_j} + c_i + c_{\mathrm{l}_j} + c_{\mathrm{r}_j} + c_{\mathrm{re}_j}. \qquad (2)$$

۴. مثال عددی

اطلاعات مربوط به هزینه و خطر زندگی، از خط آهن کوئینزلند و سوئد تدوین می شود. مدل شبیه سازی شده بوسیله چاتوپادیای، توسعه داده شد و هزینه روغنکاری را نیز شامل گردید. نتایج تحقیقات راه آهن دولتی سوئد نشان داد که فرسودگی ریل در انحناها تا حد ۹۸٪ با مقدار بسیار اندکی گریس کاهش می یابد یعنی فقط ۱۷ گرم/۱۰۰۰چرخ. این نتیجه نشان داد که فرسودگی لبه های چرخ تا ۵۰٪ بعد از نصب گسترده SRS CLICOMATIC کاهش یافته است. دستگاههای روغنکاری برقی SRS CLICOMATIC ، مصرف گریس را در مقایسه با دستگاههای روغنکاری مکانیکی CLICOMATIC کاهش داده است.

نیلسون شاخص مزیت روغنکاری ۹ بر ۳۰۰ متر انحنا و شاخص ۴ بر ۶۰۰ الی ۸۰۰ متر انحنا را مشاهده کرده است. این میزان در طول سال بدلیل تاثیر تغییرات طبیعی روغنکاری، متغیر است که ناشی از تغییرات آب و هوا می باشد. وارا فرسودگی سطح گژ را در خطوط آهن حمل و نقل سنگین شمال سوئد اینگونه می داند که با روغنکاری مناسب در طول سال می تواند ۳ تا ۶ برابر کمتر شود. روغنکاریهای آنبورد که بوسیله کانتارا در اسپانیا ارزشیابی شده است اثبات می کند که فرسودگی لبه های چرخ بوسیله روغنکاری آنبورد با شاخص ۴/۵ کاهش خواهد یافت. جدول ۱، سناریوی کاری قطارهای سنگین را نشان می دهد.

جدول ۲، ویژگیهای واگنهای باری را نشان می دهد. اطلاعات بمنظور تخمین میانگین تعداد واگنهای هر قطار برای، میانگین وزن قطار حمل بار، مقدار روغنکاری لازم برای هر قطار و تعداد قطارهای هر تن بار، بکار رفته است. از اطلاعات فوق خواهیم داشت:

- مقدار روغنکاری/قطار = 9.248 g =(17*68*8)/1000
- تعداد قطارها/تن = (68*100)/1000000*1= 147 ترن
- مقدار روغنکاری/تن = 147*9.248 = 1360g

هزینه روغنکاری که از ساپلایر (استرالیایی)، روغنها بدست آمده است بطور میانگین۴/۵ دلار استرالیا برای هر کیلو گریس می باشد.

۴.۱ روغنکاری کننده ها

تعداد روغنکاری کننده های استفاده شده را می توان با طول ریل برای هر شعاع انحنا تخمین زد:

تعداد روغنکاری کننده ها برای:

- ۰-۳۰۰ متر انحنا = ۷
- ۳۰۰-۴۵۰ متر انحنا = ۵
- ۴۵۰-۶۰۰ متر انحنا = ۹۶

۴.۲ مجموع هزینه سالانه هر نگهداری هر متر ریل آهن

این میزان با استفاده از روش شبیه سازی تخمین زده می شود. این فرآیند در شکل ۲ تشریح شده است. هزینه های مختلف، اطلاعات خستگی و فرسودگی صنعت خط آهن برای تحلیل استراتژیهای مختلف بکار گرفته می شود.

جدول۱. سناریوهای کاری در قطارهای سنگین

قطارهای طویل تر	واگن با محور بار سنگین	بدنه اصلی	
۸۵	۶۸	۵۲	واگنهای هر قطار
۶۸۰۰	۶۸۰۰	۴۱۶۰	وزن خالص(بار)
۲۵	۳۰	۲۵	بار محور
۲۲۹۰۰۰۰۰	۲۲۹۰۰۰۰۰	۲۲۹۰۰۰۰۰	تن سنگ معدن در سال

جدول۲. ویژگیهای واگنهای باری

واگن با ظرفیت بالا	واگن اصلی	
۱۰۳۰۰	۸۴۰۰	طول(میلیمتر)
۲۰	۲۰	وزن خالص(وزن واگن) (تن)
۱۰۰	۸۰	ظرفیت خالص(بار) (تن)
۱۲۰	۱۰۰	وزن ناخالص (تن)

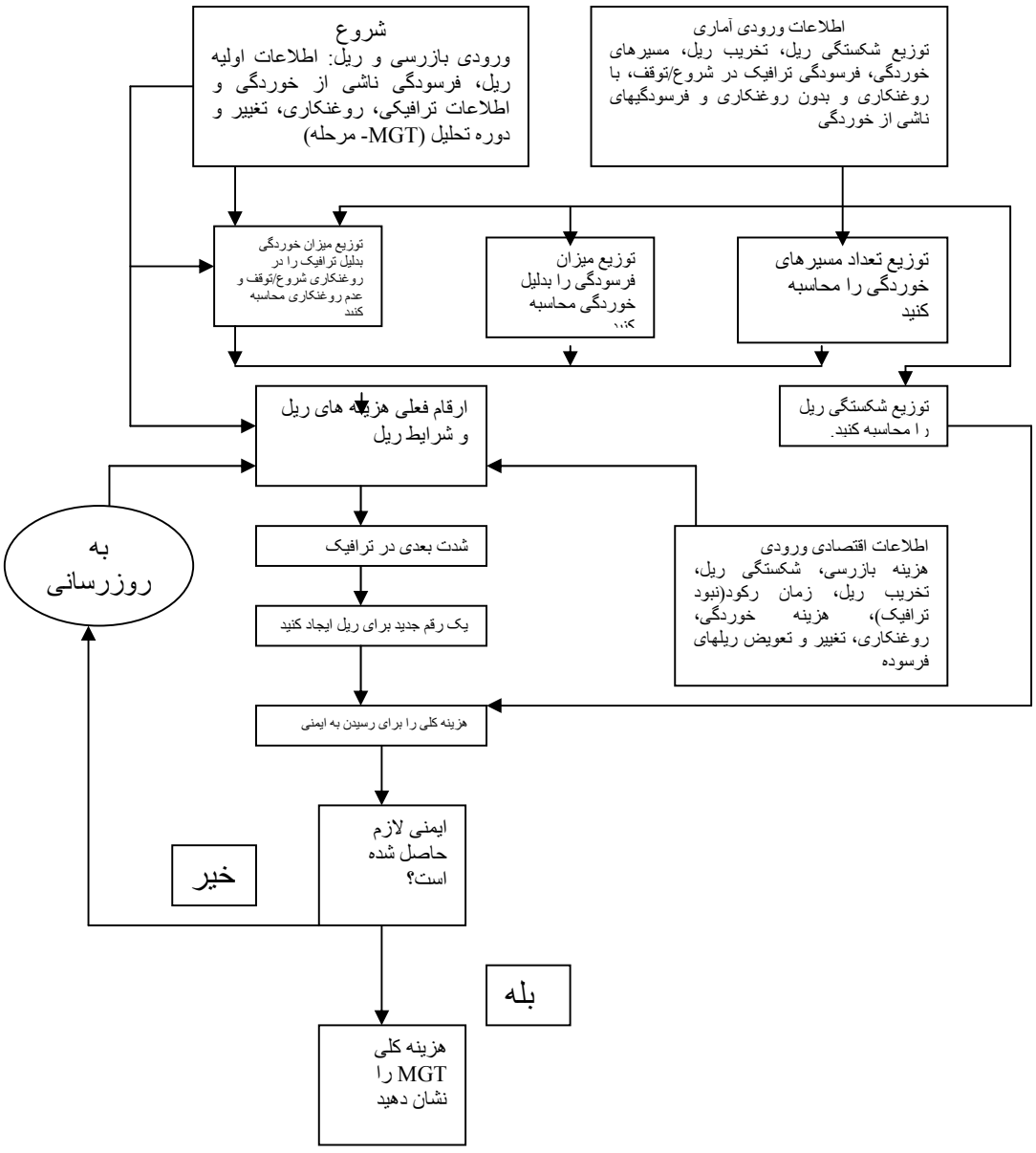
هزینه سالانه هر متر روغنکاری برای ۲۳ و ۱۲ MGT تخمین زده شده است. نتایج هزینه های روغنکاری برای انحناهای مختلف مقایسه شده اند. نتایج تحلیل هزینه سالانه هر متر روغنکاری در جدول ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳ تحلیل هزینه های سالانه هر متر را برای شعاع انحنای ۲۳ و ۱۲ MGT از ۰ تا ۶۰۰ متر نشان می دهد. مشخص شده است که هزینه سالانه هر متر برای انحناهای با شعاع ۳۰۰-۰ متر در مقایسه با شعاعهای بیشتر؛ بالاتر خواهد بود. این بدلیل استفاده بیش از حد روغنکاری برای کنترل فرسودگی ترافیکی و سر و صدا در انحناهای تیز و همچنین بدلیل تعویض سریعتر انحناهای تیز می باشد.

۴.۳ روغنکاری بصورت شروع/توقف

مجموع هزینه سالانه هر متر برای انحناهای روغنکاری نشده و یا روغنکاری بصورت شروع/توقف بر اساس افزایش فرسودگی ترافیکی انحنا ۳۰۰-۰ متر تا ۱۰ برابر ، ۴۵۰-۳۰۰ متر تا ۵ برابر و ۶۰۰-۴۵۰ متر تا ۲ برابر تخمین زده می شود.

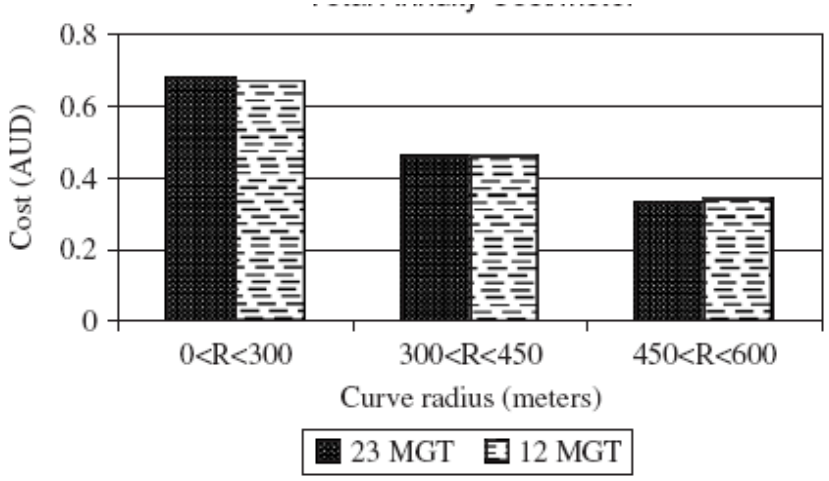
فرض می کنیم α کاهش هزینه خوردگی ریل برای کنترل RCF باشد. برای مدلسازی روغنکاری بصورت شروع/توقف، Y_j را متغیر تصمیم گیری برای استراتژی روغنکاری فرض می کنیم. درحالیکه Y_j =۱ است، j=S بوده و تصمیم عبارت است از روشن و خاموش کردن دستگاههای روغنکاری. اگر Y_j =۰ باشد، تصمیم بر عدم استفاده از نوع روغنکاری شروع/توقف خواهد بود. هزینه این شروع و توقف برابر با ۲۵۰ دلار استرالیا می باشد.



مجموع هزینه سالانه هر متر روغنکاری بصورت شروع/توقف با فرض اینکه خطر برابرست با کل هزینه سالانه در هر متر و روغنکاری+تعداد دفعات شروع و توقف در هر متر منهای هزینه روغنکاری ضربدر $\sum_{N=1}^{n_s} \mathrm{Lub}_i - \alpha$ ضربدر کاهش هزینه سالانه خوردگی ریل در هر متر بعلاوه احتمال خرد شدن ضربدر هزینه سالانه هر متر برای خطر، بعلاوه درصد افزایش فرسودگی در طول دوره توقف(افزایش هزینه تعویض) درحالیکه i= شاخص می باشد.

جدول۳. هزینه سالانه هر متر برای روغنکاری ۲۳ و ۱۲ MGT

MGT		۲۳	۱۲
طول تراکمی(متر)	شعاع(متر)	مجموع هزینه سالانه در هر متر(دلار استرالیا)	
۱۳۱۸	۰<R<۳۰۰	۰/۶۸	۰/۶۷
۱۳۸۴	۳۰۰<R<۴۵۰	۰/۴۶	۰/۴۶
۳۶۵۲۴	۴۵۰<R<۶۰۰	۰/۳۳	۰/۳۴



شکل ۳. هزینه سالانه هر متر در روغنکاری شعاع انحنای ۶۰۰-۰ متر

فرض می کنیم α= ۰/۰۵ که در آن ، α درصد کاهش هزینه سالانه هر متر از خوردگی می باشد.
هزینه سالانه هرمتر با روغنکاری برابرست با هزینه خوردگی+ هزینه بازرسی+ هزینه دوران رکود+ هزینه خطر+ هزینه تعویض+ هزینه روغنکاری
تعداد دفعات شروع و توقف، دو می باشد و n_s برابرست با تعداد دوره های توقف.
فرض بر این است که تعداد دوره های توقف در هر سال، برابر با ۱ می باشد.
دوره توقف هر سال به درصد برابرست با ۱۶٪.
کاهش هزینه روغنکاری برابرست با ۱۶٪.

Lub_i برابرست با مقدار روغنکاری در طول دوره های توقف i.

فرض می کنیم احتمال خرد شدن بدلیل استراتژی روغنکاری شروع/توقف برابرست با ۰/۰۲.

افزایش فرسودگی در طول دوره توقف برابرست با ۱۳۰٪=۱/۳

در این تحلیل فرض بر آن است که ممکن است ۵٪ کاهش هزینه در هزینه های خوردگی در هر متر و ۱۶٪ کاهش در هزینه روغنکاری هر متر برای دوره های توقف وجود دارد. اما ممکن است خطر زیادی در مورد شکستن ریل و خرابیهای ریل وجود داشته باشد.

۴.۴ هزینه سالانه هر متر برای 23 MGT در نگهداری ریل

تحلیل مجموع هزینه سالانه هر متر برای نگهداری ریل در 23 MGT برای روغنکاری، عدم روغنکاری و روغنکاری بصورت شروع/توقف در جدول ۴ نشان داده شده است.

شکل ۴ تحلیل مجموع هزینه سالانه هر متر نگهداری ریل را برای 23 MGT برای روغنکاری، بدون روغنکاری و روغنکاری بصورت شروع/توقف در شعاع انحنای ۶۰۰-۰ متر نشان می دهد. از این تحلیل مشخص است که هزینه هر متر برای انحناهای بدون روغنکاری ، خیلی بیشتر است. دلیل آن، تعویض زودهنگام ریل در انحناهای تیز بدلیل افزایش RCF و فرسودگی ترافیک است.

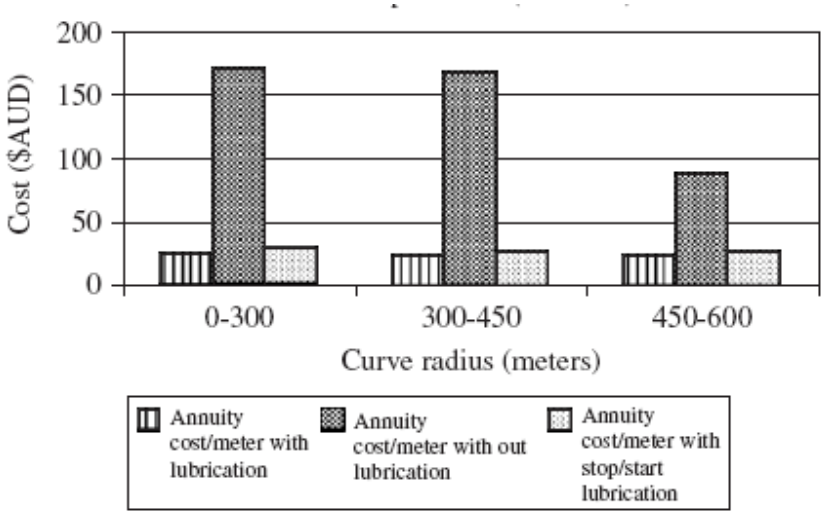
۴.۵ مجموع هزینه سالانه هر متر نگهداری ریل برای 12 MGT

تحلیل کل هزینه سالانه هر متر برای 12 MGT با روغنکاری، بدون روغنکاری و روغنکاری بصورت شروع/توقف در جدول ۵ آورده شده است.

تحلیل مجموع هزینه سالانه هر متر برای نگهداری ریل در 12 MGT برای روغنکاری، عدم روغنکاری و روغنکاری بصورت شروع/توقف از شعاع انحنای ۶۰۰-۰ متر نشان می دهد. مشخص شده است که هزینه هر متر برای انحناهای بدون روغنکاری بیشتر خواهد بود. از این تحلیل می توان فهمید که هزینه ها در انحناهای بدون روغنکاری، بیشتر است زیرا با سرعت بیشتری فرسوده می شوند و سریعا باید تعویض شوند.

جدول۴. مجموع هزینه سالانه هر متر نگهداری ریل برای 23 MGT

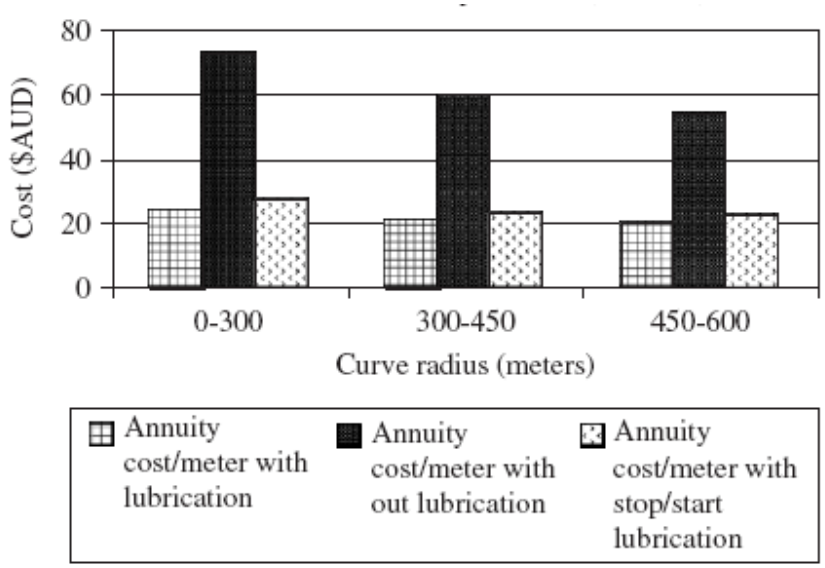
مجموع هزینه سالانه هر متر برای 23 MGT (دلار استرالیا)				
روغنکاری شروع/توقف	بدون روغنکاری	با روغنکاری	شعاع(متر)	طول(متر)
۲۸/۳۲	۱۷۱	۲۴/۶۵	۰-۳۰۰	۱۳۱۸
۲۵/۶۶	۱۶۸	۲۲/۵۱	۳۰۰-۴۵۰	۱۳۸۴
۲۶/۳۸	۸۷	۲۳/۳۸	۴۵۰-۶۰۰	۳۶۵۲۴



شکل۴. مجموع هزینه سالانه هر متر نگهداری ریل برای 23 MGT

جدول۵. مجموع هزینه سالانه هر متر نگهداری ریل برای 12 MGT

مجموع هزینه سالانه هر متر برای 12 MGT				
روغنکاری شروع/توقف	بدون روغنکاری	با روغنکاری	شعاع(متر)	طول(متر)
۲۷/۱۱	۷۳	۲۴/۰۶	۰-۳۰۰	۱۳۱۸
۲۳/۳۳	۶۰	۲۰/۶۲	۳۰۰-۴۵۰	۱۳۸۴
۲۲/۲۵	۵۴	۲۰/۲۳	۴۵۰-۶۰۰	۳۶۵۲۴



شکل۵. مجموع هزینه سالانه هر متر نگهداری ریل برای 12 MGT

انحناهایی که روغنکاری و روغنکاری شروع/توقف دارند تاثیر زیادی در کاهش افت کیفیت ریل و سر و صدای آن نشان می دهند. هزینه ها ممکن است با تغییر هزینه های خوردگی و افزایش خطر بدلیل شکستگی در روغنکاری شروع/توقف؛ تغییر کنند. مشخص شده است که هزینه سالانه هر متر در روغنکاری برای 12 MGT قرون به صرفه است. همچنین مشخص شده است که روغنکاری بصورت شروع/توقف ، یک استراتژی کاهش دهنده هزینه نیست اما محتوای کافی برای اجرای تحقیقات جامع در این حوزه وجود دارد. محتوای بررسی هزینه آلودگی محیط بدلیل آلوده شدن آبهای زیرزمینی بدلیل روغنکاری بیش از حد بمنظور ساخت مدلهای واقع گرایانه تر وجود دارد که به کارهای آینده موکول می شود.

۵. خلاصه

مدل هزینه این مقاله، روش یکپارچه ای برای نگهداری ریل بر اساس خستگی ناشی از تماس چرخش (RCF)، فرسودگی ترافیکی، فاصله زمانی خوردگی ریل و روغنکاری را ارائه می کند. این روش منسجم در تحلیل و حل مشکلات پیچیده دنیای حقیقی؛ نقش اصلی در این مقوله است. این تحقیق نشان می دهد که :

- برای ۱۲ و ۲۳ MGT؛ هزینه های خوردگی در عدم روغنکاری در مقایسه با انحنای ریل که روغنکاری شده باشد و در انحناهای ۶۰۰-۰ متر، خیلی بیشتر خواهد بود.
- برای خوردگی 23 MGT، هزینه های روغنکاری شروع/توقف، ۱۴/۹٪ در مقایسه با انحنای ریل دارای روغنکاری برای ۳۰۰-۰ متر، بیشتر خواهد بود. بعلاوه برای انحناهای ۴۵۰-۳۰۰ متر به میزان ۱۴٪ و برای ۶۰۰-۴۵۰ متر به میزان ۱۲/۸٪ بیشتر خواهد شد.
- برای خوردگی 12 MGT، هزینه های روغنکاری شروع/توقف، به میزان ۱۲/۷٪ در مقایسه با انحنای ریل دارای روغنکاری برای ۳۰۰-۰ متر، بیشتر خواهد بود. بعلاوه برای انحناهای ۴۵۰-۳۰۰ متر به میزان ۱۳/۱٪ و برای ۶۰۰-۴۵۰ متر به میزان ۱۰٪ بالاتر خواهد بود.

از این تحلیل معلوم شد که مسئولین ریل می توانند حدود ۲/۴۵٪ در انحنای ۳۰۰-۰ ، معادل ۹/۱٪ برای ۴۵۰-۳۰۰ و به میزان ۱۵/۵٪ برای انحنای ۶۰۰-۴۵۰ متر هزینه را کاهش دهند که با برنامه ریزی فاصله زمانی 12 MGT برای خوردگی ریل در مقایسه با 23 MGT می باشد. هزینه سالانه MGT در متر می تواند بسیله مسئولین ، برای سنجش بکارگیری سرمایه ها بکار گرفته شود. کل هزینه سالانه هر متر با روغنکاری را می توان برحسب مسیر، روشهای روغنکاری آنبورد برای محک زدن روغنکاریها و غیره تحلیل کرد. نویسندگان در حال حاضر بر این حوزه فعالیت می کنند و نتایج در آینده منتشر خواهد شد.

منابع:

1. Allen, R., 1999. Finding best practice at the wheel/rail interface. International Railway Journal 6, 48–50.
2. Cantara, F., 1993. Investigation of wheel flange wear on the Stander FEVE rail—a case study. Wear 162.
3. Chattopadhyay, G., Reddy, V., Larsson, P.O., Hargreaves, D., 2003. Development of optimal rail track maintenance strategies

based on rolling contact fatigue (RCF), traffic wear, lubrication and weather condition. In: Proceedings of the 5th Operations Research Conference on Operation Research in the 21st Century, Australian Society of Operations Research, Sunshine Coast, Australia, 9–10 May, pp. 54–66.
4. CLICOMATIC EC–model CL020/022 (CL024/026), The new way of rail lubrication 1/4 SRS. (http://www.milrail.ca/srs/lubricator.html)
5. Gangloff, C., 1999. A look down the tracks at US railroad lubricants. Lubricants World 9, 37–47.
6. Goyan, R.L., Melly, R.E., Wisser, P.A., Ong, W.C., 1997. Biodegradable Lubricants, Pre-print STLE No. 97-WTC-20.
7. Habali, R., 1999. Distant rails. Lubricants World 9, 30–36.
8. Kalousek, J., Magel, M., 1997. Achieving a balance: The ‘‘magic’’ wear rate’’. Railway Track and Structures, 50–52.
9. Kramer, J., 1994. Rail lubrication: a solid future? Railway Track and Structures, ISSN:0033-8915, pp. 31–33.
10. Kumar, S., Alzoubi, M.F., Allsayyed, N.A., 1996. Wheel/rail adhesion wear investigation using a quarter scale laboratory testing facility. In: Proceedings of the 1996 ASME/IEEE Joint Railroad Conference, Oakbrook, IL, USA, 19960430-19960502.
11. Larsson, P.-O., 2000. Lubricating parameters for wheel–rail interface. ELGI AGM Proceedings, European Lubricating
12. Grease Institute Annual General Meeting, Published in ELGI Spokesman, Athens.
13. Nilsson, R., 2002. Rail wear development–measurements and evaluation, TRITA–FKT Report 2002:22, ISSN:1103-470X, ISRN KTH/FKT/FR–02/22–SE, Royal Institute of Technology, Railway Technology, Sweden.
14. Nilsson, R., 2003. Wheel/rail wear and surface cracks. Licentiate Thesis, KTH, Stockholm.
15. Sims, R.D., Miller, K.A., Schepmann Jr., G.F., 1996. Rail lubrication measurement. Wear 191 (1), 261–264.
16. Thelen, G., Lovette, M., 1996. A parametric study of the lubrication transport mechanism at the rail–wheel interface. Wear 191, 113–120.
17. Waara, P., 2000. Wear reduction performance of rail flange lubrication, Licentiate thesis LTU, Mechanical Engineering.
18. Welty, G., 1988. Rail lubrication: the search for solutions. Rail Age 189 (5), 32–33, ISSN:0033-8826.
19. Zarembski, A.M., Paulsson, B., 1998. Introduction of heavy axle loads in Europe: economics of 30 tonne axle load operations on the Malmbanan. European Railway Review.