

بررسی رفتار سه بعدی ترک سطحی تاج ریل ناشی از تماس غلتشی

مجید شهری، استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
فاطمه پورحقوقی*، کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
هژبر مظفری، کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: F_p_haghgouy@Rail.iust.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۰۶ - پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۵

چکیده

بررسی خطرات احتمالی به منظور کاهش خسارات وارد بر سیستم حمل و نقل ریلی با توجه به هزینه‌های گزاف تعمیر و نگهداری بسیار با اهمیت می‌باشد. چرخ و ریل از جمله مهم‌ترین عناصر سیستم راه آهن می‌باشد که بخش قابل توجهی از هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. اندرکنش چرخ و ریل سبب سایش و هم‌چنین ایجاد پدیده خستگی لغزشی می‌شود. امروزه با توجه به نیاز روزافزون به افزایش سرعت، بار محوری و بهره‌برداری بیشتر، چرخ و ریل بیش از پیش در معرض عیوب ناشی از تماس غلتشی می‌باشند. بدین منظور محققان با ارایه روش‌های مختلف پدیده شکست چرخ و ریل را مورد بررسی قرار داده‌اند. یکی از رایج‌ترین روش‌ها، روش اجزاء محدود می‌باشد. در پژوهش‌های گذشته مدل‌سازی‌ها عمدتاً به صورت دوبعدی و با استفاده از خواص تقارن صفحه‌ای انجام شده است. هدف اصلی این پژوهش، مدل‌سازی دقیق و نزدیک به واقعیت شرایط تماسی چرخ و ریل و بررسی رفتار ترک سطحی تاج ریل می‌باشد. بدین منظور ضرایب شدت تنش برای ترک‌هایی با عمق مختلف مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج به دست آمده علاوه بر تطبیق با واقعیت موجود، نشان داد که با افزایش عمق ترک اولیه و دور شدن محل نوک ترک از سطح تماس میزان تنش‌ها و ضرایب شدت تنش کاهش پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ضریب شدت تنش، تماس هرترز، ترک سطحی تاج ریل، تماس غلتشی

۱- مقدمه

ترک‌ها و برآمدگی‌های سطح ریل و آسیب‌های سطحی از مشکلات خستگی تماس غلتشی هستند (فیش UIC، ۲۰۰۲) که توجه صنعت‌گران و مهندسان را به خود معطوف نموده است. بررسی تئوری و عددی و تجربی جوانه زنی و نرخ رشد انواع ترک‌های چرخ و ریل و عوامل موثر بر آن‌ها تحت بارهای تکرار شونده غلتشی از حدود ۳۰ سال پیش حجم وسیعی از مقالات را به خود اختصاص داده است.

۲- پیشینه تحقیق

نخستین مقالات به بررسی و ارایه تئوری‌هایی جهت تخمین نرخ رشد و عمر خستگی چرخ و ریل پرداخته‌اند. (میر و گرین‌هات، ۱۹۸۰، سیه و یوتزو، ۱۹۸۴). تخمین عمر ترک خستگی تحت اثر مود ترکیبی و سایر عوامل موضوع بسیار

با توجه به دشواری و هزینه‌های گزاف تعمیر و نگهداری در این صنعت، بررسی خطرهای احتمالی به منظور پیشگیری از آسیب به سیستم و عناصر مربوطه و در نتیجه حفظ ایمنی سیر حمل و نقل سبز دارای اهمیتی خاص می‌باشد. چرخ و ریل به عنوان یکی از مهم‌ترین و از لحاظ ایمنی بحرانی‌ترین اجزاء وسایل نقلیه ریلی در طول عمر کاری خود علاوه بر بارهای استاتیکی و دینامیکی در معرض تماس شدید با یکدیگر می‌باشند. اندرکنش بین سایش چرخ و ریل و خستگی سبب ایجاد عیوبی تحت عنوان خستگی تماس غلتشی می‌گردد. امروزه نیاز روزافزون به سرعت زیاد، بار محوری بالا، دانسیته ترافیک و نیروی کشش بیشتر در حمل و نقل ریلی سبب شده است که ارزیابی و کنترل این عیوب به عنوان مهم‌ترین محدودکننده این تقاضاها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.

بزرگتر از طول جوانه ترک است، نیاز به استفاده از شرایط $EPFM$ می‌باشد.

سنو و همکارانش در سال ۲۰۱۲ با تست نمونه دیسک‌های استیل در گردش و شبیه‌سازی المان محدود به بررسی اثر بارگذاری و روغن‌کاری در ایجاد و رشد ترک خستگی پرداخت. وی مشاهده کرد افزایش طول ترک سطحی و فشار هیدرواستاتیکی در نرخ رشد ترک و پوسته پوسته شدن سطح ریل موثر است. افزایش نرخ رشد بعد از رسیدن به طول خاصی از ترک، کاهش می‌یابد. (سنو و همکارانش، ۲۰۱۲)

اما در این مدل‌های سه بعدی سطح تماس چرخ و ریل به صورت مستطیل در نظر گرفته شد که با تئوری هرتز مغایرت دارد. علاوه بر آن هندسه ریل نیز به صورت دقیق مدل نشده است. اعمال بارگذاری معادل به منظور ساده‌سازی حل و پرهیز از حل مساله تماس همزمان با ترک که بسیار زمان‌بر می‌باشد یکی از راه‌کارهای نادرستی است که در پژوهش‌های پیشین مورد استفاده قرار گرفته است. در شرایط واقعی، ریل‌ها با شیب عرضی کمی نصب می‌شوند که منجر به عدم توازن فشار اعمالی در محورهای عمودی و محور گذرنده از مرکز جرم ریل می‌باشد.

در این تحلیل بررسی شرایط مرزی یک خط راه‌آهن بسیار با اهمیت می‌باشد که در پژوهش‌های انجام گرفته تا به حال با استفاده از شرایط مرزی ثابت در نواحی اطراف مدل اجزا محدود، تحلیل‌ها انجام گرفته است. زیرسازی الاستیک خط راه‌آهن باعث به وجود آمدن تغییر شکل‌هایی در ریل می‌شوند که برای شبیه‌سازی دقیق‌تر باید در نظر گرفته شوند. بنابر این در این پژوهش با توجه به نکات ذکر شده یک مدل سه بعدی اجزا محدود ارائه شده است و رفتار ترک سطحی روی تاج ریل مورد بررسی قرار گرفته است.

۳- مدل سازی و مراحل

۳-۱- تماس چرخ و ریل مطابق تئوری هرتز

از آنجا که قطار سیستم فرمان ندارد و محورهای بوژی صلب هستند جهت هدایت و تسهیل حرکت واگن بر روی قوس‌ها پروفیل چرخ به صورت مخروطی می‌باشد. طراحی فلنج نیز از نقاط حساس و مهم چرخ می‌باشد.

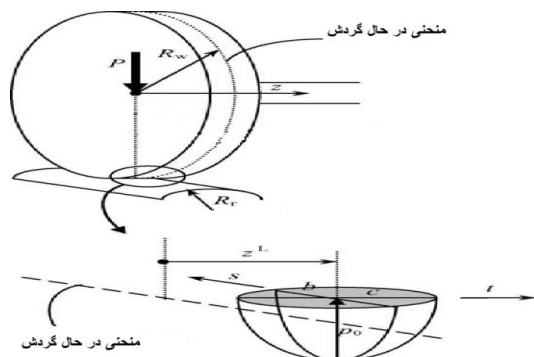
پیچیده‌ای است. لذا نخستین مقالات با ساده‌سازی‌هایی هر کدام به بررسی جوانه‌زنی ترک و برخی از عوامل موثر تحت تماس الاستیک پرداختند (جیانگ و شیتوگلو، ۱۹۹۱). بررسی ترک در حالت پلاستیک بر حسب تئوری‌های $LEFM$ صورت می‌گرفت (بولد و همکارانش، ۱۹۹۲) (آلاگوک و همکارانش، ۱۹۸۵) شدت تنش نوک ترک توسط الزاک و همکارانش به دست آمد (الزاک و همکارانش، ۱۹۹۱) (الزاک و همکارانش، ۱۹۹۲).

بوگدانسکی با استفاده از ماتریس انعطاف‌پذیری به تحلیل توزیع ضریب شدت تنش (SIF) در برآمدگی سطح ریل بر حسب محل قرارگیری چرخ در مود ۱ و ۲ پرداخته است (بوگدانسکی و همکارانش، ۱۹۹۶)، سپس با استفاده از مدل المان محدود دوبعدی کرنش صفحه‌ای و فشار تماسی هرتز رشد ترک را بررسی نموده است (۱۲). در ادامه با تست اثر روغن‌کاری بر ترک مایل و پروفیل فشار تماسی الاستوهیدرودینامیک رفتار ضریب شدت تنش را در عبور ریل بررسی نموده است. بررسی‌های او نشان‌گر افزایش ۲۵۰ درصدی kI و kII نسبت به حالت تماس خشک می‌باشد. (بوگدانسکی و همکارانش، ۱۹۹۶) (بوگدانسکی و همکارانش، ۲۰۰۲).

در پژوهش‌های گذشته مسائل اغلب به صورت دوبعدی انجام گرفته بود و به منظور ساده‌سازی در حل مساله از تقارن صفحه‌ای استفاده شده است. به همین دلیل در بررسی‌های بعدی مساله به صورت سه بعدی مورد تحلیل قرار گرفت. مدل سه بعدی المان محدود با نرم‌افزار انسیس با تایید نتایج بوگدانسکی (بوگدانسکی و همکارانش، ۲۰۰۵) نشان‌دهنده اثر قابل ملاحظه پایه الاستیک بر مقدار ضریب شدت تنش می‌باشد. این مقاله تاکید می‌کند که اثر تنش‌های خمشی به اندازه بارهای تماسی در نتایج تغییرات k و در نهایت افزایش نرخ رشد ترک حائز اهمیت است (بوگدانسکی و لویکی، ۲۰۰۸).

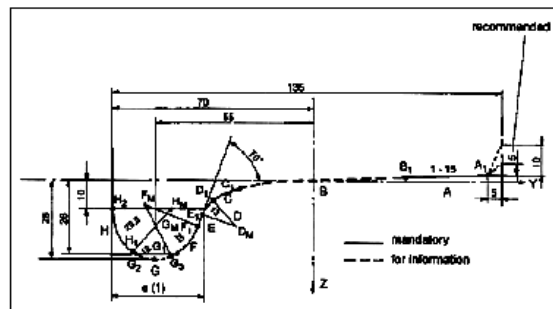
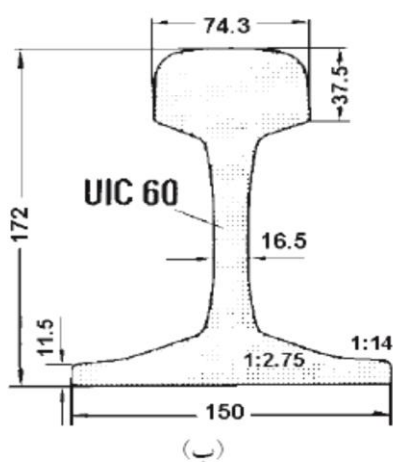
کانادینک و همکارانش با استفاده از شبیه‌سازی سه بعدی المان محدود، بار فشاری هرتز و شرایط مود ترکیبی بازشوندگی و لغزشی رشد ترک، ترک سطحی مایل RCF را در محیط الاستیک - پلاستیک با نرم‌افزار آباکوس مدل کردند و نتایج نرخ سایش را با آزمایش دانشگاه شفلد را مقایسه کردند. (فرجو و همکارانش، ۲۰۱۲) با در نظر گرفتن کوچک بودن سطح تماس، از شرایط کرنش صفحه‌ای استفاده کردند. آنها مدعی شدند در بررسی ترک‌هایی با طول ۲-۵ میلی‌متر که پلاستیسیته نوک ترک

وابسته به نیروی عمود بر سطح و هندسه چرخ و ریل در نقطه تماس می‌باشد. بنا به تئوری هرتز، به دلیل تغییر شکل الاستیک پروفیل‌های دو جسم، سطح تماس به صورت بیضوی می‌باشد.



شکل ۲. سطح تماس چرخ و ریل (اکبرگ، ۲۰۰۶)

این تئوری برپایه‌ی فرضیاتی می‌باشد. به‌عنوان مثال هیچ تغییر شکل پلاستیکی در سطح تماس اتفاق نمی‌افتد و شعاع‌های انحناي چرخ و ریل در ناحیه تماس ثابت می‌باشند. مطابق با روش (لاندربرگ و اسجوال، ۱۹۵۸)، هندسه تماس با استفاده از پارامتر θ محاسبه می‌شود (ویست و همکارانش، ۲۰۰۸).

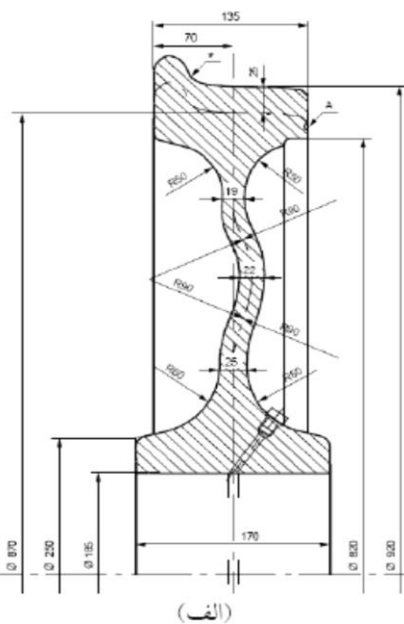


شکل ۱. نقشه پروفیل چرخ UIC1002 (فیش UIC 510-2، ۲۰۰۴)

پروفیل چرخ در ایران طبق مقررات UIC، SI1002 می‌باشد. با توجه به تنوع ظرفیت حمل مسافر و بار در واگن‌های مختلف (تعداد کوپه و چیدمان واگن) قطر چرخ‌ها بین ۸۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر متفاوت است. چرخ‌های ناوگان مسافری ایران از نوع R7T می‌باشد، پروفیل ریل بیشتر خطوط ایران نیز UIC60 است. (شکل ۲)

۳-۲- تئوری تماسی هرتز

نیروی تماسی، اندازه سطح تماس، مکان بیشترین فشار تماسی وابسته به پارامترهایی همچون طراحی بوژی، نوع وسیله نقلیه، بار محوری، سرعت قطار و پروفیل چرخ می‌باشد (اسلاوسکی و سینتاز، ۲۰۰۵). اندازه سطح تماس چرخ و ریل



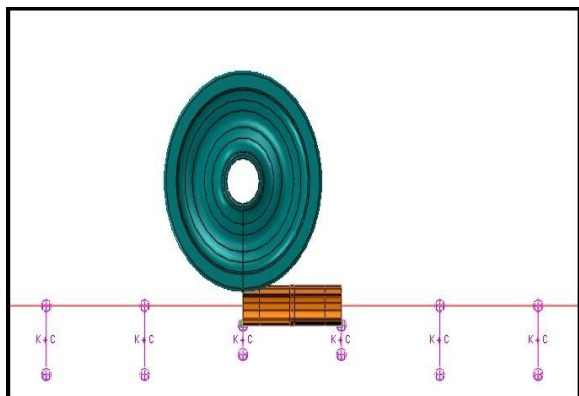
شکل ۳. الف) نقشه سطح مقطع چرخ منوبلوک با قطر ۹۲۰ میلی‌متر (فیش UIC 515-1، ۲۰۰۳) ب) نقشه سطح مقطع ریل UIC60 (فیش UIC 861-3، ۱۹۹۱)

$$\theta \times \sum \frac{1}{r} = \sqrt{\left(\frac{1}{r_{x1}} - \frac{1}{r_{y1}}\right)^2 + \left(\frac{1}{r_{x2}} - \frac{1}{r_{y2}}\right)^2 + 2\left(\frac{1}{r_{x1}} - \frac{1}{r_{y1}}\right)\left(\frac{1}{r_{x2}} - \frac{1}{r_{y2}}\right) \cos 2\varphi}$$

$$\sum \frac{1}{r} = \frac{1}{r_{x1}} + \frac{1}{r_{x2}} + \frac{1}{r_{y1}} + \frac{1}{r_{y2}} \quad (1)$$

شده باید به نحوی باشد که تغییر شکل‌های محلی ناشی از اعمال بار در مرزهای انتهایی ناچیز باشد. مطابق با مدل *Sun* در سال ۲۰۰۳، وابستگی طولی ریل *AS60* در هنگام اعمال بار ۱۰۰ کیلو نیوتن، ۱۰ متر می‌باشد و در فواصل بیشتر تغییر شکل‌های ناشی از بارگذاری ناچیز می‌باشند و می‌توان ادعا کرد که مدل ساخته شده می‌تواند رفتار ریل به هم پیوسته را شبیه‌سازی کند. در این بررسی به منظور اطمینان بیشتر طول ریل برابر با ۱۲ متر در نظر گرفته شد. از طرفی، مدل‌سازی ریل طولی با استفاده از المان‌های جامد سه بعدی مقرون به صرفه نبوده و حجم محاسبات را تا حد قابل توجهی افزایش می‌دهد. از این رو مدل‌سازی با ترکیب المان‌های جامد و المان‌های تیر به انجام رسید به نحوی که ۱۱.۴ متر ریل از المان‌های تیر و ۰.۶ متر باقی‌مانده از المان‌های جامد استفاده شد. محل اتصال المان‌های جامد و تیر نیز به یک‌دیگر کوپل شدند.

همان‌گونه که گفته شد، شبیه‌سازی شرایط مرزی به صورت کاملاً مقید با شرایط واقعی خط متفاوت می‌باشد. زیرا در خطوط راه‌آهن وجود پدهای ریل، بالاست و زیرسازی خط منجر به وجود آمدن سختی و میرایی در نواحی زیرین ریل می‌شود که باید در تحلیل نرم‌افزاری در نظر گرفته شود. یکی از راهکارهای اعمال این شرایط مرزی بهره‌گیری از المان‌های فنر و میراگر می‌باشد.



شکل ۴. مدل ریل ساخته شده با استفاده از المان‌های تیر و جامد، اعمال المان‌های فنر و میراگر به‌عنوان بستر خط

که r_{x1} و r_{y1} و r_{x2} و r_{y2} شعاع‌های انحنای چرخ و ریل در راستاهای x و y باشند. φ زاویه میان صفحات اصلی می‌باشد. $A=a/b$ نسبت نیم محورها و متناسب با انحنای چرخ و ریل در تماس و زاویه میان محوره‌های اصلی می‌باشد. A از رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$\theta = \frac{(A^2 + 1)E - 2K}{(A^2 - 1)E} \quad (2)$$

که در آن K و E انتگرال‌های کامل بیضوی گون می‌باشند. پارامترهای a و b که نیم محوره‌های ناحیه تماس می‌باشند از روابط (۳ و ۴) محاسبه می‌گردند.

$$a = \left(\frac{3A^2 E (1 - \nu)}{\pi G \sum \frac{1}{r}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot F_n^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

$$b = \left(\frac{3E (1 - \nu)}{\pi G \sum \frac{1}{r}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot F_n^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

که پارامترهای ν ، E و G به ترتیب ضریب پواسون و مدول الاستیسیته و مدول برشی می‌باشند. مطابق با تئوری هرتز توزیع فشار در ناحیه تماس $p(x, y)$ از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$p(x, y) = \frac{3F_n}{2\pi ab} \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2 - \left(\frac{y}{b}\right)^2} \quad (5)$$

جدول ۱. شعاع‌های انحنای چرخ و ریل

$(mm) r_{x1}$	$(mm) r_{x2}$	$(mm) r_{y1}$	$(mm) r_{y2}$
300	460	∞	-320

۳-۳- شبیه‌سازی تماس غلشی چرخ و ریل

ریل با پروفیل *UIC60* و چرخ با پروفیل *1002* به منظور شبیه‌سازی نرم‌افزاری انتخاب شد و مدل اجزاء محدود با استفاده از نرم‌افزار آباکوس ایجاد گردید. طول ریل مدل‌سازی

لحظه و متناسب با حرکت چرخ محاسبه شد. پارامترهای مورد استفاده در جدول (۲) نشان داده شده است.

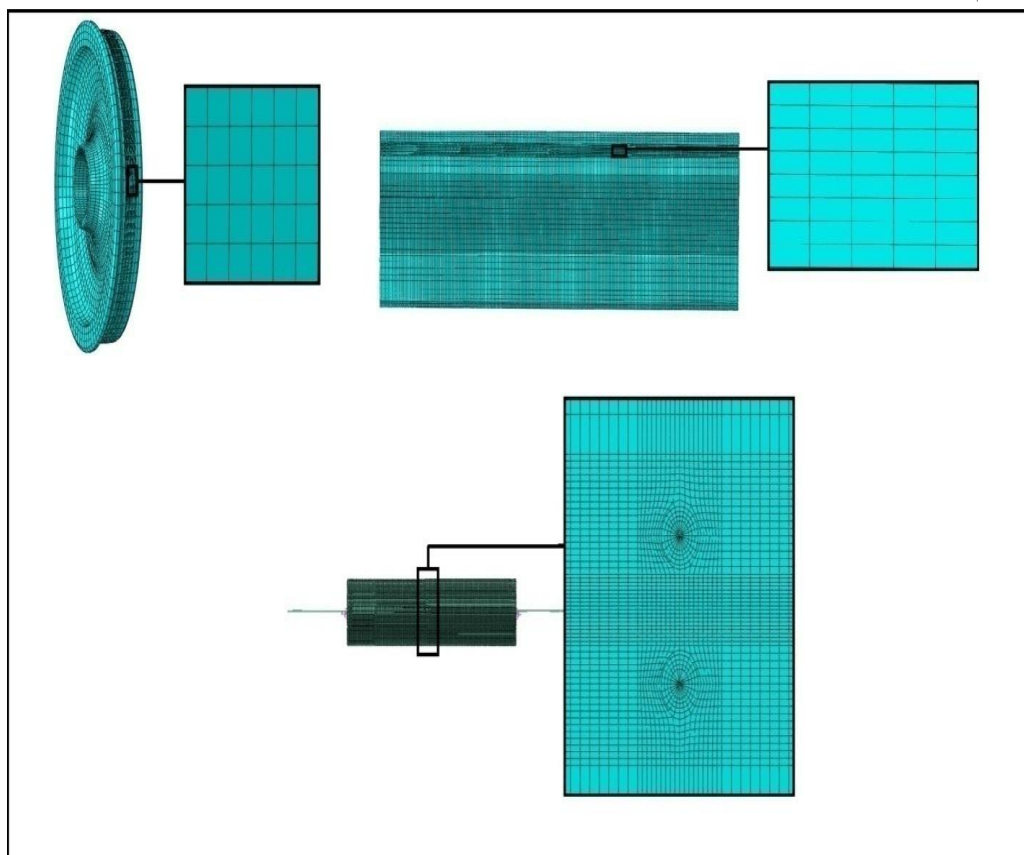
جدول ۱. پارامترهای مکانیکی مدل اجزا، محدود

مشخصه مکانیکی	سیستم زیرسازی
سختی (MN/m)	۳۰
میرایی (KNs/m)	۱۴.۴
خواص الاستیک	چرخ و ریل
مدول الاستیسیته (Gpa)	۲۰۷
ضریب پواسون	۰.۲۹

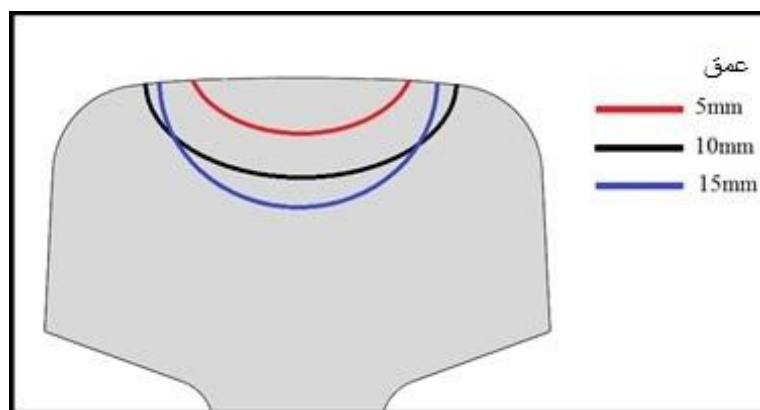
در بررسی‌های پیشین پیرامون رفتار ترک سطحی ریل پارامترهای گوناگونی از جمله تاثیر زاویه ترک، طول ترک، ضریب اصطکاک مورد بررسی قرار گرفته‌اند و از آنجایی که هدف این پژوهش ارزیابی یک مدل سه بعدی می‌باشد تنها سه نمونه ترک سطحی با عمق‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در شکل نشان داده شده است.

(کای، ۱۹۹۲) (گراسه و همکارانش، ۱۹۸۴) (نوت و گراسیه، ۱۹۹۳) (اکارسون، ۲۰۰۲) (سئوسوک، ۲۰۱۲) در این پژوهش نیز از المان‌های فنر و میراگر و در فواصل ۰.۶ متر که محل قرارگیری ادوات اتصال می‌باشد، استفاده شده است. مش‌بندی به نحوی انجام شد که در نواحی تماس و محل ترک المان‌ها ریزتر و در سایر نقاط دور تر از محل تماس المان‌های درشت‌تری اعمال شوند. پس از بررسی‌های اولیه و حساسیت‌زدایی به ابعاد المان‌ها، مش‌بندی بهینه حاصل شد. در مجموع ۹۹۸۱۹ المان و ۱۵۲۷۱۰ گره که ۴۳۱۱۹ المان مربوط به چرخ و ۵۶۷۰۰ المان برای ریل ایجاد شد. نحوه قرارگیری المان‌ها پیرامون محل ترک بسیار حائز اهمیت می‌باشد به گونه‌ای که مقادیر کانتور انتگرال به دست آمده باید مستقل از مسیر باشند. بدین منظور المان‌ها به صورت حلقه‌هایی حول نوک ترک در نظر گرفته شدند، شکل (۵).

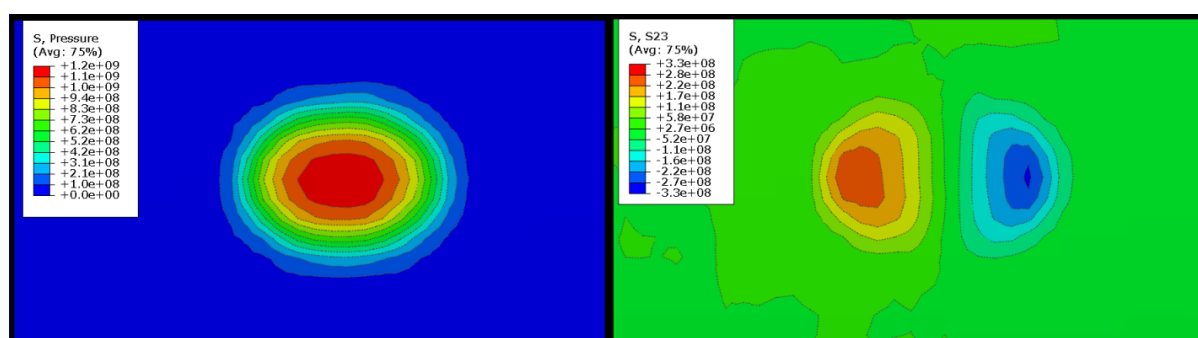
در تحلیل دینامیکی انجام شده، ضریب اصطکاک در تماس چرخ و ریل ۰.۲ و در تماس صفحات ترک ۰.۴ در نظر گرفته شد. بار محوری به صورت نیروی متمرکز به مرکز چرخ اعمال شد و با در نظر گرفتن سرعت انتقالی و دورانی تحلیل تماسی دینامیکی به انجام رسید و مقادیر ضرایب شدت تنش در هر



شکل ۵. نحوه المان بندی چرخ و ریل و ناحیه ترک



شکل ۶. ترک‌های ایجاد شده در تاج ریل

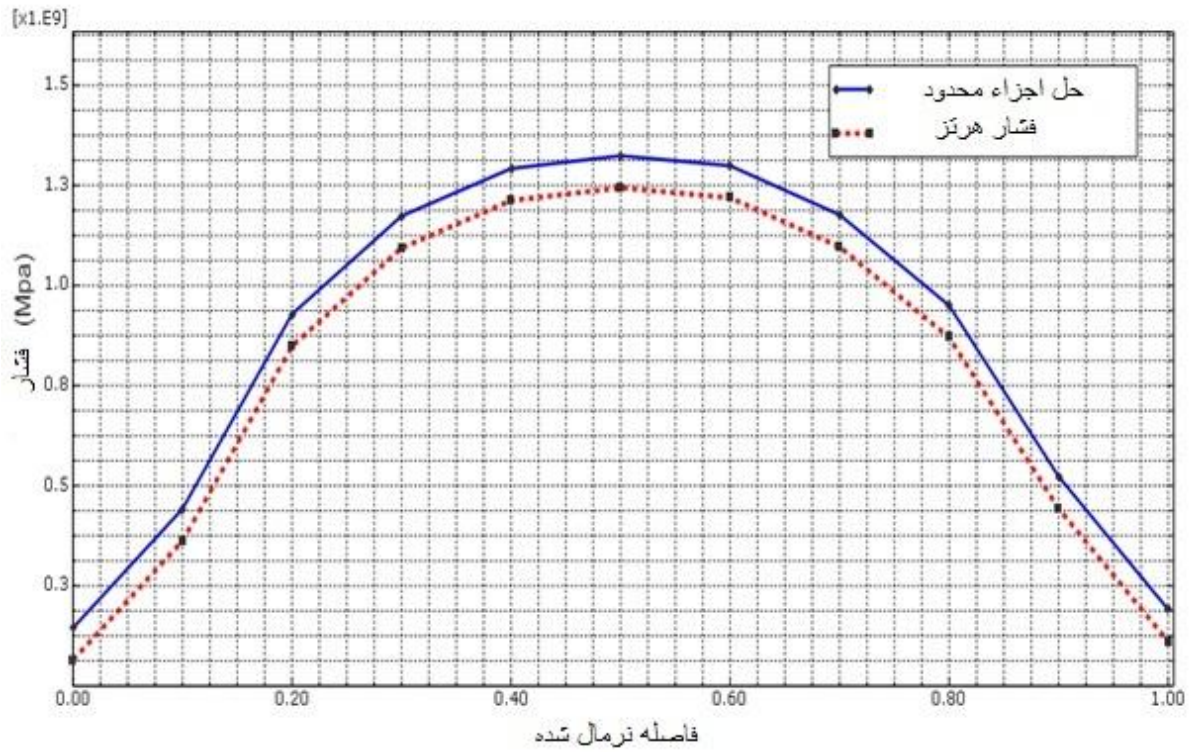


شکل ۷. توزیع فشار نرمال تماسی (چپ)، توزیع تنش برشی (راست)

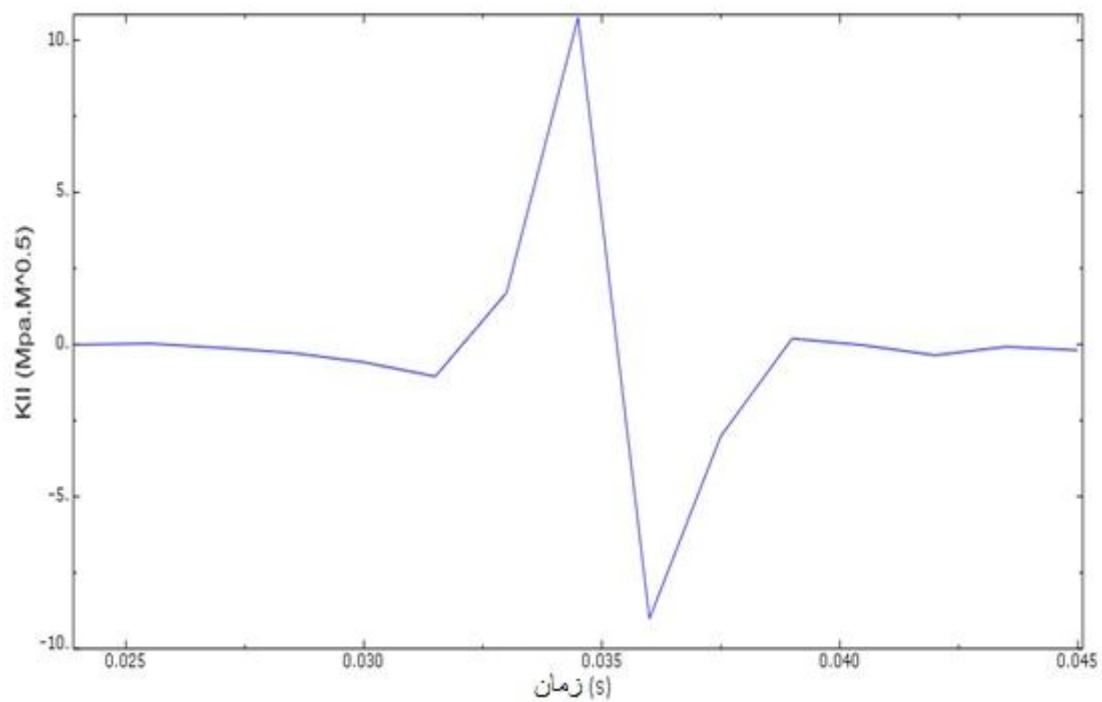
۴- نتایج

تغییرات ضریب شدت تنش برای مود دوم ترک نیز در شکل (۹) نشان داده شده است. همان گونه که مشخص است، پیش از عبور چرخ از محل ترک میزان تغییرات اندک بوده و هنگامی که چرخ به محل ترک نزدیک می‌شود، مقدار ضریب شدت تنش به شدت افزایش پیدا می‌کند تا به مقدار بیشینه می‌رسد. پس از عبور چرخ از محل ترک مقدار ضریب شدت تنش به شدت کاهش پیدا کرده و مود ترک در جهت عکس عمل می‌نماید و منجر به بسته شدن ترک می‌شود.

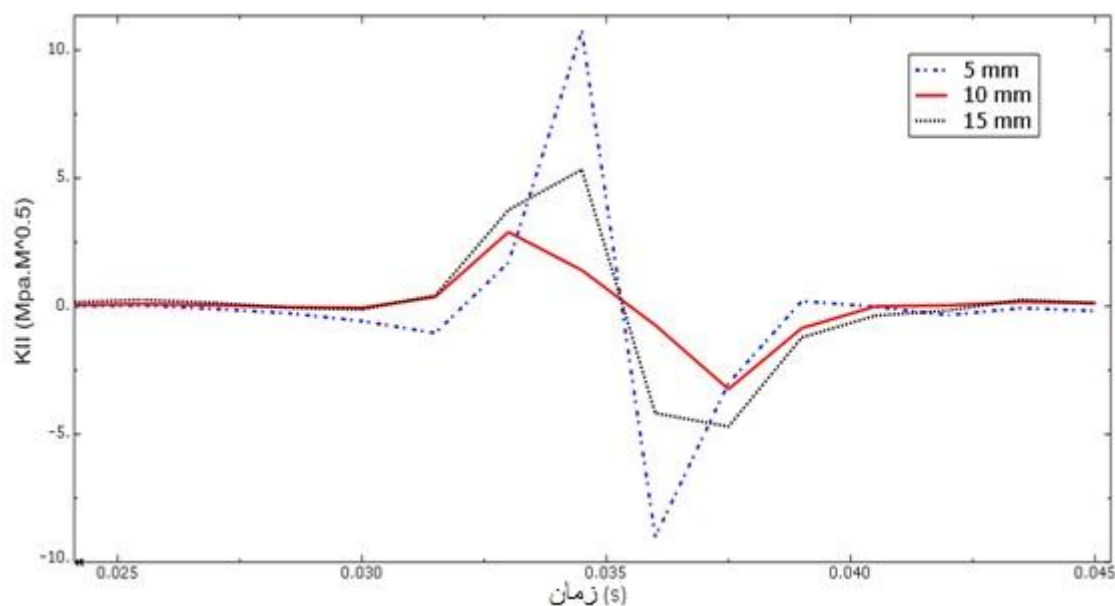
مقادیر مربوط به توزیع تنش‌های عمودی و برشی در شکل (۷) نشان داده شده است. همان گونه که مشخص می‌باشد میزان این تنش‌ها در جهت نرمال سطح بسیار بیشتر بوده و در نتیجه مود دوم ترک، عامل اصلی خرابی ریل می‌باشد. در شکل (۸) توزیع تنش‌های فشاری مدل اجزاء محدود و حل تحلیلی یکدیگر مقایسه شده که نشان می‌دهد مدل اجزاء محدود قابل اطمینان می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رود تفاوت‌های جزئی میان مدل تحلیلی و اجزاء محدود وجود دارد. دلیل این تفاوت‌ها محدودیت‌های روش اجزاء محدود از جمله المان‌بندی سطح ریل می‌باشد.



شکل ۸. مقایسه مقادیر تنش تماسی مدل اجزاء محدود و حل تحلیلی



شکل ۹. تغییرات مود دوم در ترک با عمق ۵ میلی‌متر



شکل ۱۰. مقایسه تغییرات مود دوم ترک در نمونه‌های مختلف

ترک سه بعدی به صورت نیمه بیضوی مشابه ترک واقعی مدل شد. به منظور لحاظ نمودن مدل دینامیکی ۱۲ متر از ریل مدل شده است. بررسی رفتار رشد ترک خستگی که با بررسی ضریب شدت تنش در مود دوم انجام می‌گیرد، در ماکزیمم مقدار خود (در لحظه عبور چرخ از روی ترک) برای ترک‌هایی با عمق مختلف ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر به ترتیب در حدود ۵.۲، ۲.۷ و $(Mpa.m^{0.5})$ در کمترین حالت (بسته شدن ترک بعد از عبور چرخ) به ترتیب در حدود -۹.۵، -۵.۲، -۲.۷ $(Mpa.m^{0.5})$ می‌باشد. این مطلب بیان‌گر نسبت معکوس عمق ترک و ضریب شدت تنش است، بدین منظور که هر چه ترک از سطح ریل که مرکز تماس است، دور باشد نرخ رشد پایین‌تر است.

۶- منابع

- Bogdanski, S., Olzak, M. and Stupnicki, J. (1996) "Numerical stress analysis of rail rolling contact fatigue cracks". *Wear* 191 (1996) pp.14-24.
- Bogdanski S. (2002) "A rolling contact fatigue crack driven by Squeeze fluid film". *Fatigue & Fracture Engineering Materials & Structure*, 21:pp.1061-71.
- Bogdanski, S., Lewicki, P. and Szymaniak, M. (2005) "Experimental and theoretical investigation of the phenomenon of filling the RCF crack with liquid", *Wear*.2005; 258:pp.1280-7.

این رفتار کلی در سایر ترک‌ها نیز قابل مشاهده می‌باشد. مقادیر شدت تنش مود دوم برای ترک‌ها با عمق مختلف در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است، علی‌رغم افزایش عمق ترک اولیه مقدار شدت تنش بیشینه کاهش پیدا کرده است که عامل اصلی آن دور شدن نوک ترک از محل تماس و کاهش تنش در محل نوک ترک می‌باشد. بررسی‌های پیشین نیز به نتایج مشابهی دست یافتند که حاکی از رابطه مستقیم میزان رشد ترک سطح تاج ریل و تنش سطحی ناشی از حرکت غلتشی چرخ می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

تحلیل اجزا محدود سه‌بعدی برای بررسی رفتار ترک سطحی تاج ریل *UIC60* در تماس غلتشی با چرخ *S1002* انجام گرفت. بررسی تجربی انجام شده توسط سئو و همکارانش در سال ۲۰۱۲ (۲۹) نشان دهنده اثر بیضی سطح تماس بر ضریب شدت تنش بود، لذا جهت تقریب به واقعیت و دوری از خطا، سطح تماس چرخ و ریل مطابق با تئوری هرتز به صورت بیضی در نظر گرفته شد. تفاوت ۲.۰۹ درصدی فشار تماسی اجزا محدود با حل تحلیلی تایید کننده شرایط واقعی تماسی می‌باشد. در مدل‌سازی دوبعدی از شکل ترک صرف‌نظر می‌شود و تنها زاویه ترک از نمای جانبی مورد تحلیل قرار می‌گیرد و شکل رشد ترک به صورت مستطیلی فرض می‌شود، در این پژوهش

- Mair, R.I. and Groenhout, R. (1980) "The growth of transverse fatigue defects in the head of railway rails", Rail 1980., I 675.
- Olzak, M., Stupnicki, J. and Wojcik, R. (1991) "Investigation of crack propagation during contact by a finite element method", Wear, 146 (1991) pp.229-240.
- Olzak, M., Stupnicki, J. and Wojcik, R. (1992) "Analysis of crack front propagation in contact", Proc. Conj: on Residual Stress in Rails, Cracow, Poland, Vol. II, Kluwer, Dordrecht, pp. 45-62.
- Oscarsson, J. (2002) "Dynamic train-track interaction: Variability attributable to scatter in the track properties", Vehicle System Dynamic, 37(1): pp.59-79.
- Seo, J.W., Kwon, S. J., Lee, D. H., Kwon S.T. and Choi, H. Y. (2012) "Fatigue Crack Growth and Fracture behavior of Rail Steels", International Journal of Railway. Vol. 5, No. 3 / September, pp. 129-134.
- Sih, G.C. and Tzou, Da-Yu. (1984) "Three-dimensional transverse fatigue crack growth in rail head, Theor.Appl". Fracture Mech., IO3 (1984) pp.103- 115.
- Sladowski, A., Sitarz, Marek., (2005) "Analysis of wheel-rail interaction using FE software", Wear 258 (2005) pp.1217-1223.
- UIC 861-3 Leaflet, (1991) International Union of Railways, 3rd edition.
- UIC Leaflet 712 (2002) "Rail defects". International Union of Railways.
- UIC 510-2 Leaflet, (2004) International Union of Railways, 3rd edition.
- UIC 515-1 Leaflet, (2003) International Union of Railways, 2nd edition.
- Wiest, M., Kassa, E., Daves, W., Nielsen, J. C. O. and Ossberger, H. (2008) "Assessment of methods for calculating contact pressure in wheel-rail/swith contact", Wear.265 (2008) pp.1439-1445.
- Bogdanski, S., Lewicki, P. (2008) "3D model of liquid entrapment mechanism for rolling contact fatigue cracks in rails", Wear, 265: pp.1356-62.
- Bold, PE. Brown, MW. and Allen, RJ. (1992) "A review of fatigue crack growth in steels under mixed mode I and II loading", Fatigue FractEng Mater Struct, 15(10): pp.965-77.
- Cai, Z. (1992) "Modeling of rail track dynamics and wheel/rail interaction". Ph. D. Thesis, Department of Civil Engineering, Queen's University, Ontario, Canada.
- Ekberg, A. (2006) "Rolling contact fatigue of railway wheels- computer modeling and infield data", Division of solid mechanics and CHARMECH.
- Farjoo, M. A., Daniel, W. and Paul A. Meehan. (2012) "Modelling a squat form crack on a rail laid on an elastic foundation", Engineering Fracture Mechanics 85(2012) pp. 47-58.
- Gao Hua, Alagok, N., Brown, M.W. and Miller, K.J. (1985) "Growth of fatigue cracks under combined mode I and II loads. Multiracial fatigue", ASTM STP 853. Philadelphia, Pa.: American Society for Testing and Materials; 1985. pp. 184-202.
- Grassie, SL. and Cox, SJ. (1984) "The dynamic response of railway track with flexible sleepers to high frequency vertical excitation". Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers Part D, 24: pp.77-90.
- Jiang, Y. and Sehitoglu, H. (1991) "Cyclic stresses for contact with different tangential load distributions", Technical Report submitted to American Association of Railroads. Report No. 2, March 1991.
- Knothe, K. and Grassie, SL. (1993) "Modeling of railway track and vehicle/track interaction at high frequencies". Vehicle System Dynamic 22 (3-4): pp.209-262.
- Lundberg, G., sjovall, H. and Gothenburg, (1958) "Stress and Deformation in Elastic Contacts", Sweden : Chalmers University of Technology.

Investigation on Behavior of 3D Surface Crack in Rail under Rolling Contact

M. Shahravi, Assistant professor, Railway Engineering Department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

F. Pourhaghgouy, M.Sc. Grad., Railway Engineering Department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

H. Mozaffari, M.Sc. Grad., Railway engineering Department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

E-mail: F_p_haghgouy@Rail.iust.ac.ir

ABSTRACT

Assessment of probability of risk occurrence to the railway system is so important because of severe cost which could be imposed to both railway administration and passengers. Wheel movement on rail is one of the factors which has significant role in overall damage of railway infrastructure. These interaction-based defects are divided into several categories such as wheel flat and RCF faults. Nowadays, railway administrations are interested in increasing speed and axle load of rail vehicles due to its economical advantages. Therefore, studies on wheel-rail interaction defect-base become a concern for researchers. Implementing finite element method is a major approach in determining fracture behavior of both wheel and rail. In previous studies, simulations were mainly carried out in 2D domain by considering symmetrical assumptions. The main aim of this paper is to implement FE method based on three dimensional situations with more realistic conditions to assess rail surface crack behavior which is exposed to dynamic moving load. For this purpose, stress intensity factors for different depth of crack was obtained and compared also. The results showed that by increasing crack depth and crack tip position from rail surface, the crack tip stresses and consequently stress intensity factors were decreased.

Keyword: Stress Intensity Factor, Hertz Contact, Surface Rail Crack, Rolling Contact