

بررسی عددی رشد ترک بر پایه ضرایب شدت تنش در اثر بارگذاری چرخ

هوایما در روسازی آسفالتی فرودگاه

محمدجواد اخوان بهابادی¹، محمدمهدی خیبری^{2*}، علیرضا فتوحی فیروزآبادی³

¹کارشناس ارشدراه و ترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

²استادیار مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

³استادیار، مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

*نویسنده مسئول: mkhabiri@yazd.ac.ir

چکیده

تسهیلات زمینی بخش جدا ناپذیر فرودگاهها بوده که از جمله مهمترین آنها روسازی باند فرودگاه می باشند. یکی از مشکلات و خرابی های اجتناب ناپذیر روسازی ترک خوردگی است. ترک خوردگی در روسازی ها انعطاف پذیر از جمله عوارضی است که در اکثر محوطه های پروازی دیده می شود. بنابر این، این مسئله اهمیت دارد که با اتخاذ تدابیری سرعت گسترش آن را کاهش داد. در این پژوهش برای دستیابی به این هدف و جهت انطباق نتایج با واقعیت، از اطلاعات میدانی فرودگاه کرمان استفاده گردید و از مقادیر واقعی ضخامت لایه ها و چگالی آنها و سایر مشخصات لایه ها که با استفاده از نتایج آزمایشهای بدست آمده استفاده شد. با استفاده نرم افزار المان محدود روسازی باند فرودگاه و یک شکل ترک مدلسازی شد و از خروجی آن جهت تحلیل روسازی در حالت های مختلف استفاده گردید. ابتدا با جابجایی بار هوایمای طرح نسبت به موقعیت ترک محدوده محلی که بارگذاری بیشترین تنش را به ترک وارد می کند بدست آورده و سپس تحلیل های مختلف در این فاصله انجام گرفت و تأثیر تغییر ضخامت آسفالت، تغییر طول ترک و همچنین تغییرات دما بر رفتار ترک بررسی شد. نتایج تغییر طول ترک نشان داد با 2 برابر شدن طول ترک، میزان ضریب شدت تنش K_I حدود 17 درصد افزایش پیدا می کند و با افزایش ضخامت آسفالت مقدار ضریب شدت تنش کاهش پیدا می کند. به عبارت دیگر با افزایش ضخامت لایه آسفالتی سرعت رشد ترک کاهش پیدا می کند. نتایج نشان می دهند که به ازای هر درجه افزایش دما، میزان تنش متمرکز 3 درصد کاهش می یابد که نشان دهنده اهمیت پارامتر دما می باشد. بنابراین می توان ساعات پروازی هوایما را به نحوی تنظیم نمود که در دماهای نزدیک به صفر درجه و کمتر از آن، تعداد پروازها محدود گردند.

کلمات کلیدی: بررسی عددی، ترک خوردگی، روسازی آسفالتی فرودگاه، ضریب شدت تنش، گسترش ترک.

1- مقدمه

روسازی باند فرودگاه از جمله مهمترین تسهیلات زمینی فرودگاهها می باشد. رفتار و وضعیت سیستم روسازی به علت تأثیر مستقیم چرخهای هوایما بر آن، بر عملکرد ترافیک روسازی اثر بسزایی دارد. بنابراین ضروری است تا با در نظر گرفتن کلیه شرایط طراحی یک سیستم روسازی مناسب را انتخاب کرد. از جمله عوارض و مشکلات شایع در روسازی های انعطاف پذیر، ترک خوردگی است که یکی از مشکلات عمده در عملکرد طولانی مدت از آسفالت است. مهمترین عامل تأثیر گذار بر این خرابی، بارهای ترافیکی وارد بر روسازی می باشد. عامل خستگی نیز که در اثر تناوب بارگذاری بوجود می آید، دیگر عامل ترک خوردگی می باشد که حتی با وجود تعداد تکرار کم بارگذاری ولی به دلیل زیاد بودن شدت تنش ها در طراحی روسازی فرودگاه که تحت بارگذاری تناوبی قرار دارد است. یکی از مهمترین مسائل مطرح می باشد. تغییرات دما در تشدید پدیده ی خستگی و حتی در نقش عامل اصلی این پدیده موثر است. ترک خوردگی در اثر این پدیده از جمله ی اصلی ترین عوارض روسازی در ایران و جهان خصوصاً در نواحی معتدل و سردسیر است.

رشد ترک می تواند تا جایی ادامه داشته باشد که به گسیختگی بیانجامد که وقوع این شکست ناشی از خستگی می تواند از یک ترک کوچک آغاز شده باشد. پروسه رشد ترک از طول اولیه تا طول نهایی تحت عنوان رشد ترک خستگی¹ (FCP) مطرح می شود. در این مقاله به بررسی عددی این موضوع پرداخته خواهد شد. تحقیقات انجام گرفته پیرامون بررسی رفتار خستگی روسازی آسفالت زیاد و متنوع است. روش های مختلفی برای تجزیه و تحلیل خستگی ها وجود دارد که در حال حاضر برخی از آنها در حال استفاده و برخی نیز نتایج دقیقی را در پیش بینی عملکرد خستگی روسازی ارائه نمی دهند که نتیجه ی آن پا برجا بودن نگرانی عمده ی مهندسين در پیش بینی ترک خوردگی خستگی است. تعدادی از پارامترهای موثر در این پروسه از مکانیک شکست بدست می آیند و تعداد دیگر که توسط روش های آزمایشگاهی بدست می آیند مربوط به جنس ماده می باشند (Tutumluer and kim,2004, Chai and Wang,2005)

در این مقاله به بررسی عددی رشد ترک خستگی در باند فرودگاه در اثر بارگذاری چرخ هواپیما، به کمک نرم افزار المان محدود پرداخته می شود. روش اجزای محدود یکی از روش های حل عددی برای مسایل مختلف خطی و غیرخطی می باشد. این روش نسبت به سایر روش های حل عددی مزیت های زیادی دارد.

2- سابقه تحقیق

تا کنون مطالعات زیادی به منظور بررسی صدمات وارد بر روسازی فرودگاهها و تأثیر انواع مختلف هواپیماها بر آن صورت گرفته است. در سال 1999 میلادی سازمان هوانوردی آمریکا با استفاده از آزمایشهای میدانی با مقیاس واقعی و از طریق تسهیلات مربوط به شبیه سازی واقعی حرکت هواپیما انواع مختلف هواپیماها را از لحاظ نحوه آرایش چرخ ها و وزن آنها و اثرات هر یک بر روسازی شبیه سازی نموده است (perlango and Bosurgi,2005). همچنین در سال 2004 میلادی، کیم² و تاتملر³ در مطالعات بررسی تغییر شکل های ماندگار روسازی فرودگاه، آزمایشهای بسیاری را بر اساس هواپیماهای مسافربری و چند نمونه هواپیمای نظامی انجام دادند (Tutumluer and kim,2004). در سال 2005 میلادی ونگ⁴ و چی پی⁵ بر اساس نتایج تحقیقات میدانی در فرودگاه بین المللی چیانگ کای شک⁶ تایوان و تعمیم نتایج در محیط سه بعدی نرم افزار اجزاءمحدود، نشان دادند که مشخصات چرخ های اصلی هواپیما بر میزان صدمات وارد بر روسازی نقش تعیین کننده ای داشته و در عمر مفید روسازی و میزان ضخامت دال های بتنی روسازی مؤثر است (Chai and Wang,2005). در سال 2006 میلادی مطالعاتی توسط جوئل⁷ بر روی چند نرم افزار سازمان هوانوردی آمریکا، از جمله FEDFAA و LEDFAA انجام گرفت و با بهره گیری از سوابق گذشته تحلیل و طراحی فرودگاه در دنیا و ضرورت توسعه و پیشرفت آن برای نسلهای آینده هواپیماهای پهن پیکر، نتایج بیان گردید (Jeol,2006,Shafabakh and kash,2012).

در سال های اخیر محققین بسیاری از تئوری مکانیک شکست در تعیین رفتار بتن آسفالتی در مقابل ترک خوردگی خستگی استفاده کرده اند: در سال 1997 ارکینز⁸ و جاکوب⁹ با استفاده از قانون پاریس به تعیین خواص خستگی مخلوط آسفالتی پرداختند. آنها ابتدا توجیه تئوریک استفاده از قانون پاریس برای توصیف ترک خوردگی خستگی را ارائه کردند، و برای حمایت از این توجیه از داده های تجربی استفاده کردند. و در نهایت به این نتیجه رسیدند که رشد ترک بخش عمده ای از فرایند خستگی را پوشش می دهد (Erkens at el.,1997) بنابراین، قانون رشد ترک پاریس یک تقریب از طول عمر خستگی را ارائه می دهد. علاوه بر این، نشان داده شده است

1 . Fatigue Crack Progression

2 . Kim

3 . Tutumluer

4 . Wang

5 . Chia-pei

6 . Chiang Kai Shek

7 . Joel

8 . Airport Pavement Design and Evaluation and Airport Technology FEDFAA Software

9 . Erkens

10 . Jacobs

که عوامل موجود در قانون رشد ترک را می توان با استفاده از تست های ساده تعیین نمود ویژگی خستگی که با استفاده از این روش پیش بینی شده بود، به خوبی با داده های واقعی خستگی مطابقت دارد (Paris and Erdong,1963,Ayatolahi,2012).

آنها نشان دادند که تعریفی که قانون پاریس (1964) برای ترک های بزرگ ارائه داد بطور قابل ملاحظه ای از تعریفی که در مهندسی جاده استفاده می شد متفاوت بود. یک نتیجه این است که بر اساس قانون پاریس رشد ترک می تواند بخش وسیعی از فرسودگی را برخلاف آنچه تصور می شود را شامل شود. این نتیجه توسط تحلیل های او درباره رشد ترک تایید می شود که بوسیله آن ابزارهایی برای پیش بینی بهتر عمر خستگی فراهم می شود. هم توصیف پاریس درباره اهمیت رشد ترک خوردگی در زمان خستگی و هم نتایج آزمایشات جاکوب (1995) هر دو نشان دهنده این است که رشد ترک خوردگی بخش وسیعی از فرایند خستگی را شامل می شود. بنابراین، امکان استفاده از قانون پاریس به عنوان نشانه ای دال بر مقاومت خستگی مخلوط آسفالت وجود دارد (Garg,2008).

در سال 2006 ایدوریس¹ و همکارانش در مقاله ای با استفاده از روش المان محدود برای اولین بار به ارائه مسائل اساسی در رابطه با خستگی لایه های قیری پرداختند. پس از آن به ارائه مدلهایی برای مقابله با شروع ترک و انتشار آن می پردازند و به بحث در این مورد می نشینند که چگونه المان محدود می تواند چشم انداز بهتری در اثر ترک خوردگی و آنالیز مربوط به آنها را برای ما فراهم کند. آنها در این مقاله به آنالیز در سطح پروژه پرداختند که در آن مدلها به محاسبه پارامترها که هم نشان دهنده قدرت روسازی ها به عنوان یک واحد و هم نشان دهنده لایه های تشکیل دهنده آن است، اختصاص دارد. این مقاله بر روی ترک خوردگی بر اساس خستگی تمرکز دارد و آنالیز را به صورت الاستیک خطی انجام داده است. آنها سه مدل آماده کردند (1: آسفالت بدون ترک خوردگی (2) ترک خوردگی بر روی سطح روسازی (ترک بالا به پایین) (3) ترک خوردگی زیر لایه آسفالتی (ترک پایین به بالا) و سپس تغییرات هر دو مقدار نیروهای کششی و توزیع آنها را در مقایسه با لایه معمول بدون ترک بررسی کردند (Evdoris at el,2006).

در سال 1990 ال-بالبایی² و همکاران مکانیزم ترمیم آسفالت را مورد بررسی قرار داد او نشان داد که به منظور بررسی دقیق دقیق انرژی مرتبط با ترک خستگی و یا بطور کلی انتشار ترک، باید به لحاظ نظری یک رویکرد تحلیلی را مد نظر قرارداد. علم مکانیک شکست چنین رویکردی را ارائه می دهد. البته، بتن آسفالتی از مواد الاستیک خطی نیست و در نتیجه مکانیک شکست خطی الاستیک معتبر نیست. اینکه فرض کنیم رفتار در نوک ترک با یک منطقه نسبتاً بزرگ پلاستیکی قبل از ترک خطی نیست، مشکلی ندارد. تحت شرایط تنش صفحه ای در حالتی که نوک ترک ناحیه پلاستیکی کوچک است، تجزیه و تحلیل الاستیک خطی مناسب است. ال-بالبایی روش انتگرال J را برای تجزیه و تحلیل داده ها استفاده کرده است. مزیت عمده روش انتگرال J این است که برای بالا بودن دقت کار، منطقه پلاستیکی نباید زیاد کوچک باشد. این روش با استفاده از نمونه های کوچکتر به تعیین نرخ انرژی آزاد شده می پردازد، اگر چه مواد آسفالت به دلیل اندازه بزرگ می توانند با رفتار الاستیکی در محل شکستگی فرض شوند. اندازه بزرگ آسفالت بعنوان یک محدودیت برای توسعه منطقه پلاستیکی به شمار می رود. بنابراین، می توان رفتار الاستیک را فرض کرد. (Al-Babissi and Littell,1990). در سال 2012 شفابخش و کاشی در مطالعات خود به بررسی میزان خسارات وارده از سوی هواپیماهای مسافربری بر روسازی های صلب و انعطاف پذیر پرداختند. نتایج مطالعات آن ها نشان می دهد که هرچه آرایش چرخ ها گستردهتر باشد میزان ضریب خسارات جمعی برای آن هواپیما کمتر بوده و برعکس هرچه آرایش چرخ ها در سطح محدودی متمرکز شود میزان صدمات وارده افزایش می یابد (Shafabakh and kash,2012).

3- محاسبه ضرایب شدت تنش

مبانی مکانیک شکست بیان می کند که در یک جسم ترکدار نظیر لایه آسفالتی، هنگامی که مقدار ضریب شدت تنش بحرانی در نوک ترک به مقادیر بحرانی و مشخصه ماده که از خواص ماده ترکدار محسوب می شود، برسد، رشد ترک اتفاق می افتد. ضرایب شدت تنش به نوع و مقدار بارگذاری و مشخصات هندسی ترک وابسته هستند. حوزه تنش در کل سازه ترکدار در صورت وجود این ضرایب در یک هندسه و بارگذاری مشخص، مشخص خواهد شد. پس در رویه های آسفالتی که در معرض بارهای

¹. Evdorides

². Al-Balbissi

کششی (مود I خالص)، بارهای برشی (مود II خالص) و یا بارهای ترکیبی کششی- برشی (مود I و II) قرار دارند، برای بررسی شرایط شکست و عوامل مؤثر در رشد ترک، لازم است تا این ضرایب به طریق مناسب برای حالت های مختلف بارگذاری و ترکهای مختلفی که در یک سیستم روسازی ممکن است به وجود بیایند، محاسبه شوند. (Al-Qadi,2006).

روشهای تحلیلی، آزمایشگاهی و عددی برای محاسبه ضرایب شدت تنش وجود دارد. ولی به دلیل محدود بودن روشهای تحلیلی به هندسه و بارگذاری ساده و همچنین نیازمند بودن به امکانات آزمایشگاهی و صرف وقت و هزینه ی زیاد در روشهای آزمایشگاهی در سالهای اخیر تکنیک های اجزای محدود برای بدست آوردن پارامترهای شکست بطور قابل توجهی بکار گرفته شده اند که از جمله مزایای آن می توان به محدوده ی وسیع آنها برای شرایط هندسی و بارگذاری و همچنین عدم نیاز به امکانات آزمایشگاهی را نام برد که با رعایت نکات مطرح در مسائل اجزاء محدود بخصوص در محدوده ی مسائل مربوط به مکانیک شکست، می توان به نتایج بسیار قابل قبولی رسید .

بطور کلی، بتن آسفالتی ماده ای با رفتار ویسکوالاستو - پلاستیک می باشد. بنابراین در واقعیت نمی توان این ماده را یک ماده با رفتار الاستیک خطی در نظر گرفت . با این وجود مواد موجود در لایه های روسازی به خاطر اینکه اندازه آنها در مقایسه با اندازه ناحیه پلاستیک گسترش یافته بزرگ می باشد، معمولاً فرض می شوند که در شکست رفتار الاستیک داشته باشند. (Al-Babissi and Littel,1990). در سالهای اخیر محققان بسیاری (مانند، اوزن و ایرکنس - 1997 ، لزلی - 2001 ، ایدوریس - 2006) نیز برای استفاده از تئوری مکانیک شکست، فرض داشتن رفتار الاستیک خطی را برای بتن آسفالتی و نیز مواد لایه های زیرین روسازی صادق دانسته اند (Ayatollahi,2012, Willis, et al., 2006). بنابراین با استناد به موارد ذکر شده ، در این پایان نامه رفتار الاستیک خطی را برای آسفالت در نظر گرفته می شود.

هدف این است که با بررسی ضرایب شدت تنش حدود محل قرارگیری ترک بحرانی نسبت به بارگذاری پیدا شده و با استفاده از آن به اثرات پارامترهایی مثل تغییر ضخامت آسفالت و دما در رفتار ترک پرداخته شود.

4- معرفی محدوده مورد مطالعه و روش تحقیق

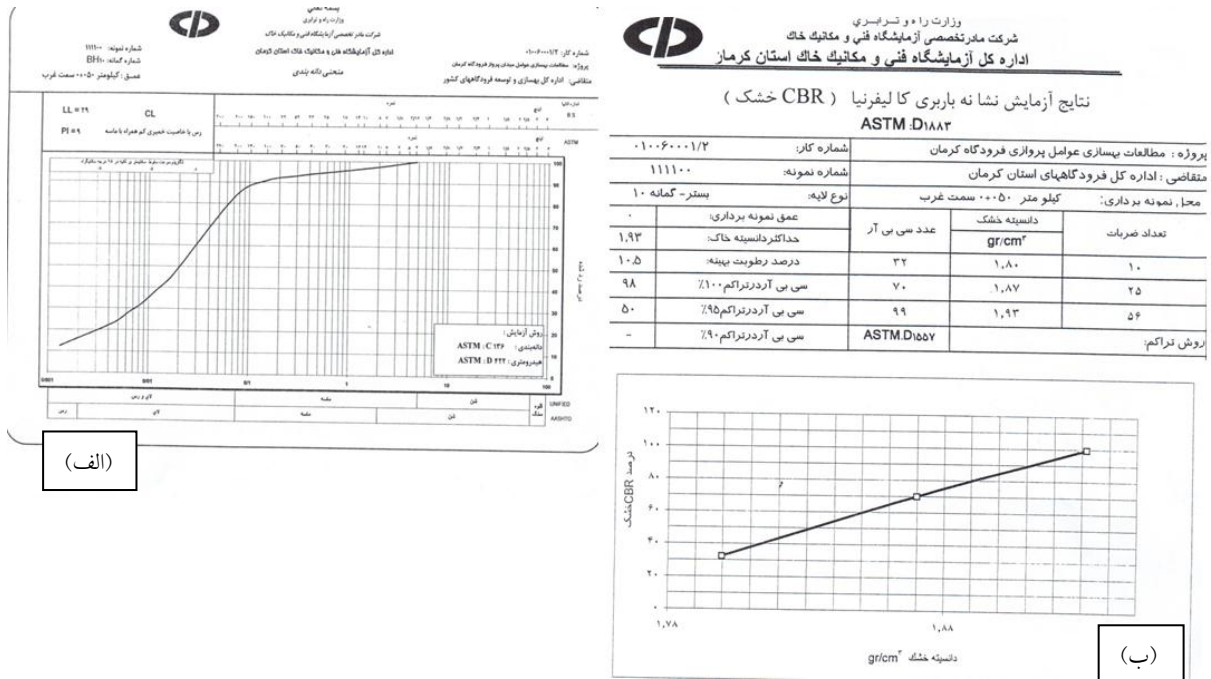
فرودگاه بین المللی کرمان در شهر کرمان و استان کرمان واقع شده است و یکی از فرودگاههای مهم مرکز ایران به حساب می آید. این فرودگاه دارای 2 ترمینال داخلی و خارجی بوده که در سال 1393، که 730 هزار مسافر داخلی و خارجی از امکانات این فرودگاه استفاده کرده اند و هر هفته بالغ بر 116 پرواز داخلی و بین المللی از فرودگاه بین المللی کرمان انجام می شود. بخشی از باند پرواز فرودگاه به ویژه در ابتداء آن خرابی ترک خوردگی در حذبزادی ملاحظه می شود که شکل (1) قسمتی از آن را به نمایش می گذارد (TSYAT,2014).



شکل 1: وقوع ترکهای خستگی بر روی باند پرواز R120/45 فرودگاه کرمان

1-4- مشخصات خاک بستر محل مطالعه

جنس خاک محل از رس با خاصیت خمیری کم است. میانگین چگالی خاک بستر طبق گزارش های آزمایشگاه مکانیک خاک حدود 1900 کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. در شکل (2) نمونه هایی از آزمایش های انجام گرفته از خاک بستر نشان داده شده است. اطلاعاتی که از این صفحات آزمایش ها بدست آمده است در مدلسازی رفتار روسازی استفاده می شود [آمارنامه هوایی].



شکل 2: نمونه نتایج آزمایش بر روی خاک بستر (الف) آزمایش دانه بندی، (ب) آزمایش CBR

4-2- بارگذاری روسازی فرودگاه

تنوع هواپیماهای استفاده شده در فرودگاه کرمان زیاد است، با توجه به تعداد تکرار پروازهای هواپیمای A320 و همچنین وزن بیشتر آن در مقابل اکثر هواپیماهای مورد استفاده در این فرودگاه، هواپیمای A320 به عنوان هواپیمای طرح در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه در آیین نامه طراحی باند فرودگاه 95 درصد وزن هواپیما را برای چرخهای عقب و مابقی را برای چرخ های جلو در نظر میگیرند، وزن اختصاصی به هر چرخ مطابق جدول (2) در نرم افزار آباکوس اعمال شده است. وزن هواپیمای A320 حدود 75000 کیلوگرم می باشد. از آنجایی که در طراحی روسازی باند فرودگاه بین 5 تا 10 درصد بار هواپیما را به چرخ های جلویی و مابقی را به چرخ های عقب می دهند، سهم چرخ های جلو 5000 کیلوگرم و سهم چرخ های عقب 70000 کیلوگرم در نظر گرفته می شود. (Airbus, 2014).

جدول 1: مقایسه فرودگاه بین المللی کرمان با سایر فرودگاههای کشور و رشد پرواز آن (TSYAT, 2014).

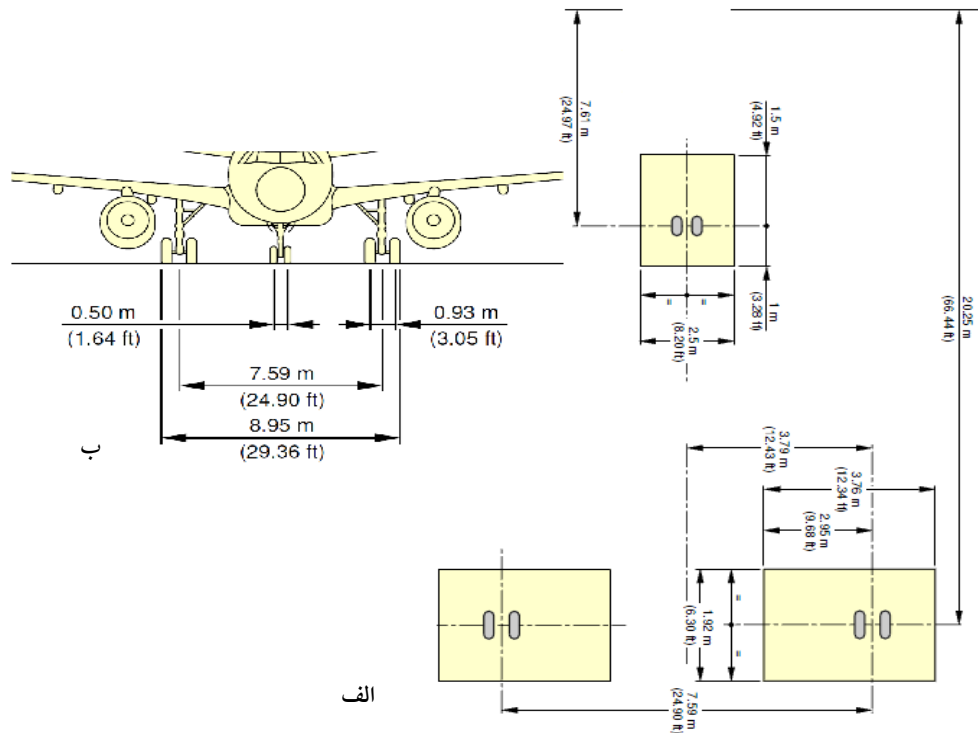
ردیف	فرودگاه	دو ماهه اول سال 1394			دو ماهه اول سال 1393			درصد رشد
		نشست و برخاست (فروند)	اعزام و پذیرش مسافر (نفر)	ارسال و پذیرش بار و پست (کیلوگرم)	نشست و برخاست (فروند)	اعزام و پذیرش مسافر (نفر)	ارسال و پذیرش بار و پست (کیلوگرم)	
1	مهرآباد	18.63 2	2.227.152	16.509.95 0	19.555	2.411.812	20.217.725	7
								5
								18

15	17	14	19.908.470	1.043.403	7.668	22.906.220	1.221.794	8.776	امام خمینی	2		
-12	-8	3	1.239.113	138.837	775	1.088.718	128.112	800	کرمان	3		
5	3	5	7.327.436	740.503	6.449	7.681	760.648	6.783	پنج فرودگاه اختصاصی			
درصد سهم هر ماه در پروازها												
سهم (%)	مجموع		شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	فرودگاه/ماه			
			اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر				
3.71	1510 2		1.352	1.228	1.176	1.046	1.529	1.135	کرمان			
			1.628	1.146	958	1.265	1.313	1.276				
تعداد متوسط پرواز های ده ساله												
متوسط ده ساله	مجموع	1392	1391	1390	1389	1388	1387	1386	1385	1384	1383	کرمان
3548	3548 4	3706	3804	436 3	4317	352 8	332 6	3312	332 7	315 3	3048	

جدول 2: وزن اختصاص یافته به هر چرخ (Airbus,2014).

نوع محور	تعداد چرخ	وزن کل وارده (Kg)	بار وارد بر هر چرخ (Kg)
محور جلو	2	5000	2500
محور عقب	4	70000	17500

در بارگذاری روسازی ها، سطح بارگذاری برای نیروهای ناشی از عبور وسایل نقلیه، همان سطح تماس لاستیک با لایه رویه است. بنابراین با مشخص بودن نوع هواپیما فاصله و آرایش قرار گیری چرخ ها و عرض تایر مشخص می شود و با در نظر گرفتن سطح تماس مستطیل، سطوح تماس تایر با جاده مشخص خواهد شد. با توجه به توضیحات این بخش و بخش قبل، سطوح بارگذاری و فاصله آنها از هم بصورت شکل (3) می باشد.



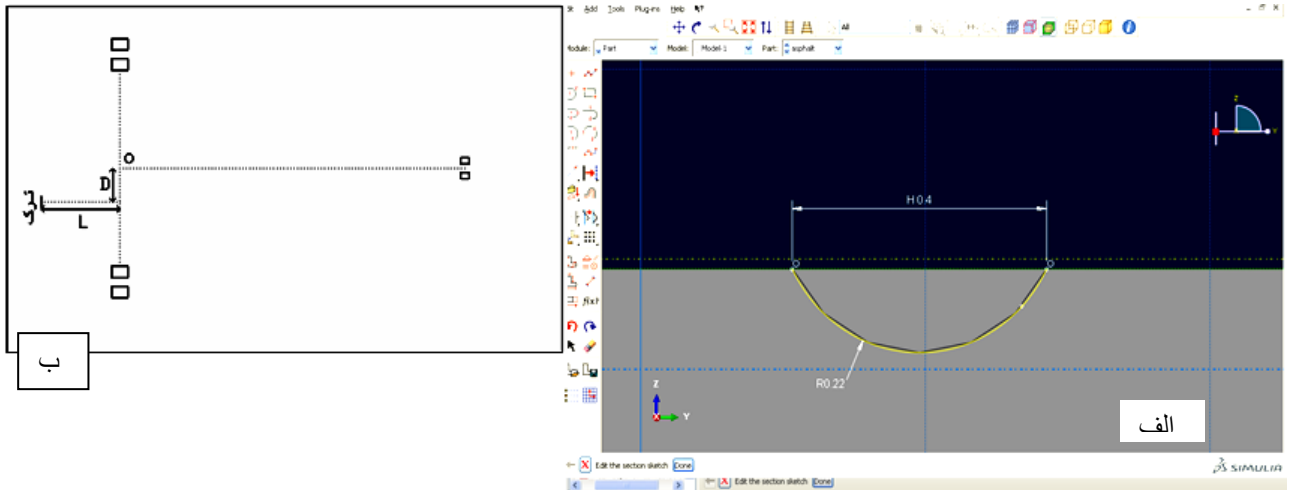
شکل 3: الف. نحوه قرارگیری و فاصله چرخهای هواپیمای طرح - ب : نحوه قرارگیری و فاصله چرخهای هواپیمای طرح A320 (Airbus,2014).

3-4- معرفی مدل شکل ترک در رویه آسفالتی

نرم افزار آباکس اکسپلیسیت¹ محصولی با اهداف ویژه است که برای مدل سازی مسائل دینامیکی گذرا مانند برخورد و ضربه انفجار، آزمایش ضربه، مجالگی، همچنین مسائل شبه استاتیکی یا مسائل غیر خطی ای که در آن ها شرایط تماس تغییر می کند مانند شکل دهی مناسب است. این محصول دستگاه معادلات حاکم را بر پایه ی قانون انتگرال گیری اکسپلیسیت به همراه استفاده از ماتریس جرم قطری المان تحلیل می کند. در این روش تعیین اندازه نمو در مسائل غیر خطی توسط کاربر ممکن نبوده و نرم افزار بر اساس شرایط پایداری، میزان نمو در هر مرحله را به صورت اتوماتیک محاسبه می کند... در بسته نرم افزاری Abaqus می توان از Abaqus Viwer که زیرمجموعه ای از Abaqus Cae است یا خود نرم افزار Abaqus Cae استفاده کرد. پاسخ ها را می توان به صورت symbol control، تصویر متحرک و یا نمودار تغییرات پارامتر مورد نظر در طول تحلیل مشاهده نمود. با توجه به مشاهدات انجام شده از محل، نیمرخ در نظر گرفته شده برای ترک مطابق شکل (4) می باشد. مقطع ترک نیم بیضی می باشد. نحوه مدل کردن ترک در مدل سه بعدی، به صورت دو بعدی است. همانگونه که در این شکل ملاحظه می شود، طول ترک 40 سانتی متر می باشد.

از آنجایی که هدف از انجام تحلیلهای اجزای محدود در این مطالعه محاسبه تغییرات ضرایب شدت تنش ترک نسبت به موقعیت های مختلف چرخهای هواپیما می باشد، شاید به نظر برسد که در نظر گرفتن اثر فقط یکی از چرخها که ترک را در وضعیت بحرانی تری قرار می دهد (نزدیکترین چرخ به ترک)، کافی باشد. در تحقیقات متعددی با انجام تحلیل های اجزای محدود این نتیجه حاصل شده که تأثیر چرخهای دور از ترک نیز به اندازه ای است که نمی توان از آنها چشم پوشی کرد. این تأثیر به محل قرارگیری چرخها نیز وابسته است و نشان داده شده است که نتایج دو حالت (در نظر گرفتن تمام چرخ ها و در نظر گرفتن یک چرخ) از یکدیگر فاصله زیادی دارند که این موضوع ضرورت مدلسازی سه بعدی و در نظر گرفتن اثر تمامی چرخها را نشان می دهد (Ayatollahi,2012).

¹. Abaqus Explicit



شکل 4: (الف) شکل نیم بیضی ترک در مدل (ب) مختصات انتخابی برای فاصله گذاری و موقعیت ترک

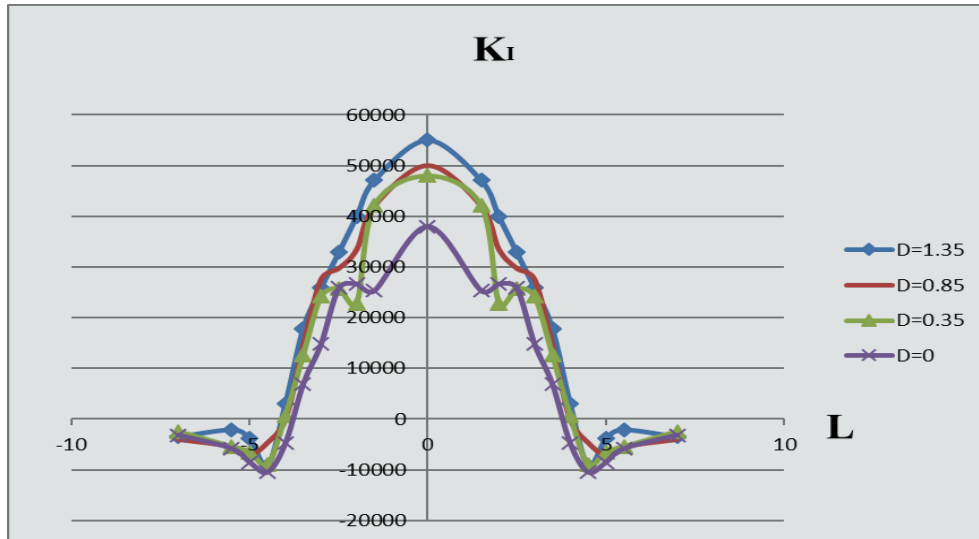
با توجه به توضیحات فوق، برای نزدیک شدن به حالت واقعی، تأثیر تمامی چرخها در تحلیل ها مدنظر قرار می گیرد. اما برای در نظر گرفتن این تأثیر می بایست یک دستگاه مختصات مناسب انتخاب شود، بطوری که بتواند موقعیت چرخها را نسبت به ترک مشخص کند. همانطور که در شکل (4) نشان داده شده است این دستگاه مختصات در مرکز چهار چرخ عقب در نظر گرفته شد. موقعیت این نقطه نسبت به ترک به عنوان نقطه مرجعی در تحلیلهای بعدی مورد استفاده قرار می گیرد. با در نظر گرفتن این دستگاه مختصات، بهتر میتوان نتایج را تفسیر کرد. همانطور که در شکل مشاهده می شود، طول L بیانگر موقعیت طولی مرکز ثقل چرخهای عقب از وسط جبهه ترک و طول D بیانگر موقعیت عرضی مرکز ثقل چرخهایی عقب از وسط جبهه ترک می باشد.

5- تحلیل نتایج

پس از اعمال بار ناشی از چرخها در مکانهای از پیش تعیین شده نسبت به ترک، مدل ساخته شده برای تحلیل، توسط نرم افزار آباکوس حل شده و ضرایب شدت تنش مربوط به هر بارگذاری مستقیماً از خروجی نرم افزار به دست می آیند. از آنجایی که این ضرایب روی صفحات موازی با جبهه ترک مقادیر متفاوتی دارد و با توجه به اینکه هدف مقایسه کیفی و نسبی مقادیر ضرایب شدت تنش می باشد، اعداد مربوط به یک کانتور مد نظر قرار می گیرد و با هم مقایسه می شود.

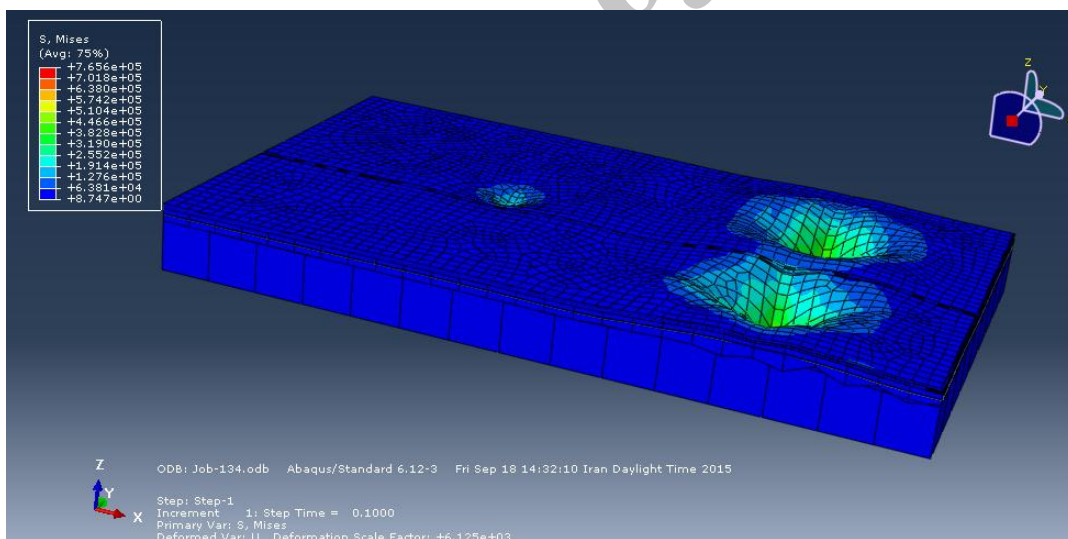
5-1- تغییرات ضریب شدت تنش مود I (K_I)

با توجه به مدل در نظر گرفته شده، برای هر تحلیل فقط موقعیت بار ناشی از چرخها تغییر کرده و نتایج حاصل از نرم افزار استخراج شده است. برای این مدل سازی در مجموع حدود 40 اجرای کامپیوتری انجام شده است. نتایج به دست آمده در حالات مختلف بارگذاری (موقعیتهای مختلف بار نسبت به ترک) برای ضریب شدت تنش مود I در شکل (5) ارائه شده است.



شکل 5: نمودار تغییرات ضریب شدت تنش K_I در موقعیتهای مختلف بارگذاری

در شکل (5) محور افقی مقادیر L و محور عمودی مقادیر K_I را نشان می دهد. قسمت منفی نمودار در جهت طولی، با استفاده از قرینه سازی رسم شده است. همانطور که در شکل (6) پیداست، با وجود اینکه چرخ های هواپیما نسبت به هم قرینه نیستند اما با توجه به فاصله دور چرخ های جلو از چرخ های عقب تنش های بوجود آمده از چرخ های جلو تداخلی با تنش های چرخهای عقب ندارند، بنابر این در فاصله نزدیک به ترک تنها چرخ های عقب در ضریب شدت تنش نقش دارند، به همین دلیل میتوان در نمودار قرینه سازی انجام داد.



شکل 6: تنش بدست آمده در سطوح روسازی فرودگاه با استفاده از آباکوس

با توجه به نمودار شکل (5)، حداکثر مثبت ضریب شدت تنش مود I (عامل باز شدگی ترک) زمانی است که مرکز چرخها در جهت طولی به ترک نزدیک می شوند و همچنین با نزدیکتر شدن چرخ ها به ترک در جهت عرضی، این ضریب کاهش می یابد. نتایج نشان داده شده سایر تحقیقات بیان می کند که فشار چرخ باعث می شود تا تنش خمشی کششی در نقاط بالایی فاصله های دور از آن به وجود بیاید و این در حالی است که در اثر بار فشاری لاستیک نقاط زیرین و نزدیک به لاستیک در حال فشار هستند. بنابراین اثر تنشهای خمشی کششی بر بارهای فشاری تا فاصله ای مشخص که لاستیک به ترک نزدیک می شود غلبه می کند و روند صعودی ضریب شدت تنش مود I افزایش می یابد. اما اثر بارهای فشاری با نزدیکتر شدن لاستیک به ترک، بزرگتر شده و از تأثیر بارهای خمشی می کاهد. با نزدیکتر شدن لاستیک به ترک، بارهای فشاری بر تنشهای کششی غلبه می نماید و مقدار ضریب شدت تنش مود I منفی می

گردد.[16]. پس از عبورکردن چرخهای جلو از ترک، همچنان روند افزایشی ضریب شدت تنش مود I تا قرار گرفتن تمامی چرخها در موقعیت متقارن نسبت به ترک ($L = 0$) ادامه دارد و بیشترین مقدار ضریب شدت تنش مود I در این حالت می باشد.

2-5- نتایج ضریب شدت تنش مود II (K_{II})

نتایج به دست آمده در حالات مختلف بارگذاری (موقعیتهای مختلف بار ناشی از چرخ نسبت به ترک) برای ضریب شدت تنش مود II (K_{II}) در جدول (3) ارائه شده است. مقدار K_{II} متناسب با میزان لغزش و جوه ترک نسبت به یکدیگر می باشد. این لغزش در راستای عمود بر جبهه ترک است.

جدول 3: مقادیر محاسبه شده از نرم افزار برای ضریب شدت تنش مود II در موقعیتهای مختلف بارگذاری

K_{II} (MPa \sqrt{m})				
L(متر)	D=1.35(متر)	D=0.85(متر)	D=0.35(متر)	D=0(متر)
0.5	2732	3292	6717	8721
1	27164	13524	16999	15337
1.5	11780	13859	17733	7447
2	19897	12672	12203	16791
2.5	11356	11386	12468	15129
3	9337	13842	15024	4020
3.5	5552	3773	6111	3640
4	-2696	-1075	40	-1489
4.5	-7290	-3372	-4639	-5157
5	-1733	-3473	-3761	-3320
5.5	-98	-2065	-2992	-1771
7	-2105	-2376	-903	-2094

همانطور که از جدول (3) دریافت می شود هر چه فاصله طولی چرخ ها از ترک بیشتر می شود مقدار ضریب شدت تنش مود II نیز کاهش می یابد. همچنین دیده می شود که با کاهش فاصله عرضی مرکز چرخ های عقب از ترک، میزان این ضریب شدت تنش نیز مانند ضریب شدت تنش مود I کاهش می یابد. دلیل این اتفاق این است که با کاهش فاصله، بدلیل دور بودن فاصله چرخ های هواپیما از یکدیگر، برآیند تنش ها در محل ترک کاهش می یابد. البته باید توجه داشت که برخلاف مود I، در مود II مقدار منفی ضریب شدت تنش نیز تأثیر مثبتی در گسترش ترک دارد. از آنجایی که تنشها در یک جسم ترکدار بر حسب ضرایب شدت تنش محاسبه می شوند و ضرایب شدت تنش بیانگر میزان شدت تنش در یک قطعه ترکدار است با تقسیم K_{II} بر K_I نسبت بار برشی به کششی (R) محاسبه می شود که مقادیر آن در جدول (4) آمده است.

جدول 4: نسبت بار برشی به کششی (R)

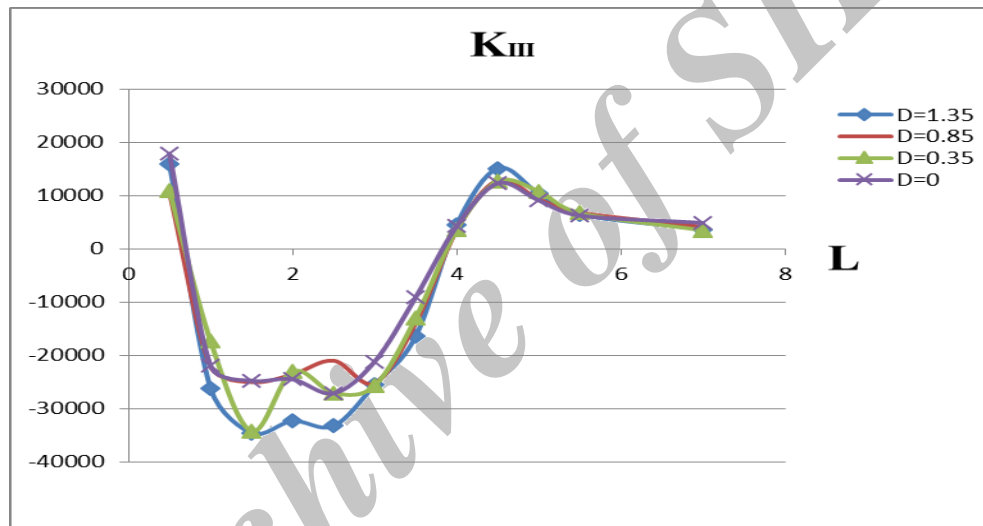
$R = \frac{K_{II}}{K_I}$				
L(متر)	D=0(متر)	D=0.35(متر)	D=0.85(متر)	D=1.35(متر)
0.5	0.844976	5.031461	0.461323	0.50743
1	0.578296	0.724626	0.48602	0.946118
1.5	0.294406	0.420642	0.329733	0.250287
2	0.63034	0.535689	0.329733	0.498085

2.5	0.585737	0.483781	0.383045	0.345545
3	0.272524	0.621314	0.50545	0.361445
3.5	0.528686	0.483427	0.260837	0.311141
4	0.309563	0.063492	0.54545	0.89065
4.5	0.490116	0.513505	0.731136	0.79646
5	0.386136	0.57684	0.490329	0.450364
5.5	0.300781	0.546784	0.380575	0.047093
7	0.660985	0.355587	0.592371	0.613524

از اعداد بدست آمده مشخص می گردد که مقدار ضریب شدت تنش مود I در اکثر موقعیت ها بسیار بیشتر از ضریب شدت تنش مود II می باشد، لذا بیشترین تأثیر را این مود I بر روی گسترش ترک دارد.

3-5- نتایج ضریب شدت تنش مود III (K_{III})

نتایج به دست آمده از تحلیلهای اجزای محدود در حالات مختلف بارگذاری (موقعیتهای مختلف بار نسبت به ترک) برای ضریب شدت تنش مود III در شکل (7) ارائه شده است.



شکل 7: نمودار تغییرات ضریب شدت تنش مود III در موقعیتهای مختلف بارگذاری

در این مود هم با کاهش فاصله عرضی ترک از مرکز چرخهای عقب ضریب شدت تنش کاهش می یابد و در فواصل دور L به دلیل از بین رفتن اثرات بار، به صفر نزدیک می شود. مروری بر نتایج به دست آمده در مورد مودهای یک و دو و سه شکست نشان می دهد که در حالت کلی، حالت تغییر فرم ترک، ترکیبی از هر سه مود شکست می باشد و برای حالتیهای مختلف بارگذاری نسبت به ترک، مشارکت همزمان هر سه ضریب شدت تنش، می تواند باعث شکست شود. با توجه به اینکه مود I بیشترین تأثیر را در گسترش ترک دارد بیشترین سهم را باید به این مود داد. البته باید توجه داشت که فقط مقادیر مثبت این مود مورد بررسی قرار بگیرند. با توجه به اعداد بدست آمده به ترتیب اهمیت این مودها، به هر کدام از آنها یک ضریب نسبت داده می شود تا بتوان از طریق فرمول ریاضی به این نتیجه رسید که حدوداً کدام فاصله بحرانی تر است. با توجه به آنچه بیان شد و با توجه به نتایج نرم افزار محل ترک بحرانی برای بررسی های بعدی $L=1.5$ و $D=2$ در نظر گرفته می شود. به ترتیب برای K_I ، K_{II} و K_{III} مقادیر عبارتند از 60848 و 13210 و -37171 بر حسب $(MPa\sqrt{m})$ همانطور که مشاهده مقدار K_I بدست آمده برای این حالت از تمامی مقادیر بدست آمده برای K_I بیشتر است.

4-5- بررسی تأثیر تغییر ضخامت، دما و طول ترک آسفالت در رفتار ترک

پس از انتخاب ترک مورد نظر این مسئله مورد بررسی قرار می گیرد که افزایش یا کاهش ضخامت آسفالت به چه مقدار در ضریب شدت تنش و در نتیجه رشد ترک تأثیر دارد. جهت انجام این کار ضخامت های 17 و 20 و 22 و 30 و 33 و 40 سانتی متری را

بر پایه مشاهدات برای بتن آسفالتی در نظر گرفته و ضرایب شدت تنش برای ترک در فاصله بحرانی اشاره شده در بخش قبل بدست آورده می شود.

جدول 5: نتایج تغییر ضخامت در ضریب شدت تنش

ضریب شدت تنش ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)			ضریب شدت تنش ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)
K _{III}	K _{III}	K _{III}	
27689-	8187	68375	17
37172-	13210	60847	20
40873-	12959	52064	22
44308-	10844	39062	30
177760-	10818	34829	33
34661-	5568	26090	40

جهت بررسی تأثیر درجه حرارت، در سه حالت دمای کم (صفر درجه سانتی گراد)، دمای متوسط (20 درجه سانتی گراد) و دمای زیاد (40 درجه سانتی گراد)، با در نظر گرفتن این که در دماهای مختلف، مدول الاستیسیته آسفالت مقادیر مختلفی دارد، به تحلیل نمونه پرداخته می شود (Taha, et al, 2013). مقادیر مدول الاستیسیته مربوط به هر درجه حرارت به ترتیب 125، 375 و 165 مگاپاسکالدر نظر گرفته شد، نتایج تحلیل بدست آمده از نرم افزار در جدول (6) بیان شده است. از اعداد بدست آمده این نتیجه بدست می آید که در دماهای پایین ضریب شدت تنش بیشترین مقدار خود را دارد و با افزایش دما تا حد زیادی از مقدار آن کاسته می شود. اما با افزایش بیش از حد دما شیب کاهش ضریب شدت تنش کاهش می یابد.

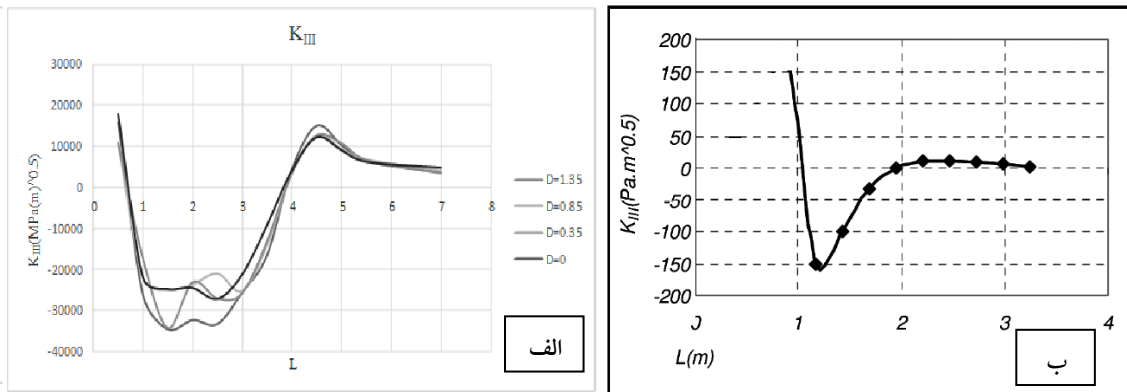
جدول 6: مقادیر ضرایب شدت تنش در دماهای مختلف

ضریب شدت تنش ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)			دما
K _{III}	K _{III}	K _{III}	
37172-	13210	60847	دمای کم
2004	4521-	20428	دمای متوسط
12040	8829-	6078	دمای بالا

جهت سنجش اثر طول، ترک هایی با طول های متفاوت در نمونه در حالت بحرانی در نظر گرفته شد، و با محاسبه میزان تنش در اطراف ترک تأثیر طول ترک در رشد آن سنجیده شد که نتایج جدول (7) گویای این مسئله است.

جدول 7: نتایج ضرایب شدت تنش در طول های متفاوت ترک خستگی

ضریب شدت تنش ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)			طول ترک (سانتیمتر)
K _{III}	K _{II}	K _I	
37172-	13210	60847	40
36671-	13001	62997	50
36073-	12729	64896	60
35730-	12382	67730	70
35327-	11976	70521	80
35041	11382	72472	90



شکل 8: الف) تغییرات ضریب شدت تنش مود III (نگارنده) و ب) مقایسه با نتایج مطالعات سایر محققین (Ayatolahi, 2012)

همانگونه که مشاهده می شود، روند کلی نمودارهای بدست آمده در تحقیق آیت الهی (1391) با نمودارهای بدست آمده از نرم افزار که در شکل (7) آمده است تفاوت های بسیار کمی دارد که دلیل این تفاوت ها ذکر شد (Ayatolahi, 2012). اما در ترتیب نقاط ماکزیمم و مینیمم یک روند را طی می کنند. در این مقاله این نتیجه بدست آمد که با افزایش ضخامت مقدار ضریب شدت تنش و در نتیجه رشد ترک کاهش می یابد. در تحقیقی که توسط آقای فخری (1389) صورت گرفت، نیز همین نتیجه ارائه شد (Fakri and Farokhi, 2010). آنها برای تعیین اثر ضخامت لایه ی بتن آسفالتی روی مقادیر تنش در اطراف نوک ترک سه عدد 20، 10 و 25 سانتی متر را برای ضخامت روسازی انتخاب کردند. در تحقیق آقای آیت الهی (1391) بیان شده است که خواص شکست خوب برای راه های آسفالتی بخصوص برای مناطق سردسیر یک نیاز ضروری است و در دماهای پایین ضریب شدت تنش بیشتر است و در تحقیق آقای فخری (1387)، تأثیر دما در میزان ضریب شدت تنش بررسی شده است و این نتیجه تائید شد (Ayatolahi, 2012, Fakri and Farokhi, 2010).

6- نتیجه گیری

این تحقیق به دنبال تدابیری بود که با اتخاذ آنها سرعت گسترش ترک را کاهش داد. برای دستیابی به این هدف و جهت انطباق نتایج با واقعیت، از اطلاعات میدانی فرودگاه کرمان در این پژوهش استفاده گردید و با استفاده نرم افزار المان محدود روسازی باند فرودگاه و یک شکل ترک مدلسازی شد. با جابجایی بار هواپیمای طرح نسبت به موقعیت ترک محدوده محلی که بارگذاری بیشترین تنش را به ترک وارد می کند بدست آورده و سپس تحلیل های مختلف در این فاصله انجام گرفت و تأثیر تغییر ضخامت آسفالت، تغییر طول ترک و همچنین تغییرات دما بر رفتار ترک بررسی شد، نتایج این بررسی ها نشان می دهد:

- نتایج تغییر طول ترک در مدل نشان داد که در ترک های با طول بیشتر، میزان ضریب شدت تنش افزایش پیدا کرد، به عبارت دیگر سرعت رشد ترک با افزایش طول ترک افزایش می یابد. هر چه طول ترک بیشتر شود، افزایش سرعت رشد ترک سیر صعودی به خود می گیرد. با استفاده از نتایج بدست آمده با 2 برابر شدن طول ترک (افزایش طول ترک از 40 سانتی متر به 80 سانتی متر) میزان K_I حدود 15 تا 20 درصد افزایش پیدا می کند.

- با افزایش ضخامت آسفالت مقدار ضریب شدت تنش کاهش پیدا می کند. به عبارت دیگر با افزایش ضخامت لایه آسفالتی سرعت رشد ترک کاهش پیدا می کند. اما این مقدار کاهش K_I در ضخامت های مختلف متفاوت است و همانطور که از نتایج بدست آمده پیداست به ازای هر سانتی متر افزایش ضخامت آسفالت حدود 3 تا 8 درصد از ضریب شدت تنش کاسته می شود. چون معمولاً در طراحی روسازی فرودگاه پس اعمال شرایط طراحی، برای انتخاب ضخامت لایه ها، امکان انتخاب از یک بازه وجود دارد، می توان ضخامت آسفالت را مقدار حداکثر در نظر گرفت و جهت صرفه جویی اقتصادی ضخامت لایه های دیگر را مقدار حداقل انتخاب کرد.

- نتایج حاصل شده از تغییرات دما نشان دهنده این است که بارگذاری در دماهای بسیار پایین، که رفتار آسفالت شکننده تر و ترد است، بیشترین آسیب را به روسازی می رساند و سرعت رشد ترک خستگی در آن افزایش چشمگیری پیدا می کند. نتایج بدست آمده نشان می

دهد که به ازای هر درجه افزایش دما، میزان تنش حدود 3 تا 4 درصد کاهش پیدا می کند که نشان دهنده اهمیت این پارامتر می باشد. جهت جلوگیری از این امر، می توان تا حد امکان ساعات پروازی هواپیما را به نحوی تنظیم نمود که در دماهای نزدیک به صفر درجه و کمتر از آن به ویژه در شب های سرد زمستان، که حداقل دما را در شهری مانند کرمان دارا می باشد پروازها محدود گردند. با ملاحظه نتایج خروجی نرم افزار نیز بیان گردید، می توان پیشنهادات ادامه را جهت جلوگیری از گسترش ترک در فرودگاه ارائه داد: استفاده از مخلوط آسفالتی با مقاومت کافی در برابر شروع و گسترش ترک در وسط باندها، ترمیم به موقع و پر کردن ترک ها جهت جلوگیری از رشد سریع آن و در حد امکان عدم برقراری پروازها در ساعاتی که درجه حرارت نزدیک و یا کمتر از صفر درجه است. جهت جامع تر و دقیق تر شدن تحقیقات بعدی و درک بهتر رفتار رشد و گسترش ترک خوردگی پیشنهاد می شود، با استفاده از روش XFEM¹ در مدلسازی و بررسی رشد ترک استفاده شود، همچنین در صورت امکان در بازه های زمانی مختلف از روسازی و محل های از پیش تعیین شده آن بازدید و برداشت شود و تغییرات شکل گرفته با نتایج نرم افزار مقایسه شود.

7- سپاسگزاری

استفاده از منابع علمی و راهنمایی حضوری جناب آقای دکتر آیت الهی کمک شایانی به پیشبرد این تحقیق نمود که لازم است از ایشان و از سایر محققینی که مطالب علمی آنها در متن استفاده شده سپاسگزاری شود.

8- مراجع

- Airbus Manual.(2014).“Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning”, A320/A320NEO, Revision No. 28, May 2014.
- Al-Balbissi, A., and Little, D. N. (1990). “Effect of fracture healing on laboratory-to-field shift factor” Transportation Research Record 1286, Transportation Research Board, Washington, D.C., 173-183.
- Ayatollah, M. (2011), "The crack growths under combined loads stretch in asphalt shear (low-temperature)." Printing. Transportation Research Institute, spring 2011 [In Persian].
- Al-Qadi, I.L.(2006).”Pavement Interlayer System Mechanisms: Separation, Reinforcement, and Reflective Cracking Control” Chinese Society of Pavement Engineering.
- Balbissi, A., and Little, D. N. (1990). “Effect of fracture healing on laboratory-to-field shift factor.” Transportation Research Record 1286, Transportation Research Board, Washington, D.C., 173-183.
- Chia-pei & Shih-ying Wang. (2005). "The Development and Application of Finite Element Model in the Chiang Kai-Shek International Airport". Preceding the 8th Int’l Conference on Concrete Pavements, August 10-12, 2005. Colorado, USA.
- Erkens, S. M. J. G., Groenendijk, J., Moraal, J., Molenaar, A. A. A., and Jacobs, M. M. J. (1997). “Using Paris’ Law to determine fatigue characteristics – A discussion.” Proc., Eight International Conference on Asphalt Pavements, Seattle, Washington, 1123-1140.
- Evdorides, H.T. and Snaith, M.S. and Anyala, M., (2006) “An analytical study of road pavement fatigue” , Transport 159 Issue TR2 , Pages 93– 100.
- Erol Tutumluer & In Tai Kim, (2004). "Permanent Deformation Behavior of Airport Pavement Base and Subbase Courses" University of Illinois, Urbana-Champaign November 9, 2004.
- Fakhri, M. and Farokhi, M., (2013), "The top-down method of crack propagation (TDC) in asphalt pavements using fracture mechanics hypothesis" Journal of Civil Tarbiat Modares 64, Fall 2010, Issue 3, [In Persian].
- Paris, P. and Erdogan, F., (1963), “A critical analysis of crack propagation laws”, Journal of Basic Engineering, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, December 1963, pp. 528-534.
- Rodney N. Joel, (2006) "FAA Rigid Pavement and Tools Design Philosophy" Northwest Region Airports Conference, April 10, 2006.
- Ten Statistical Yearbook of Air Transport(TSYAT),2004-2014,(2014), Civil Aviation Authority, Office of the Information and Communication Technology Survey 2014 [In Persian].

¹ - Extended Finite Element Method

- Taha, M., Yusoff, N. and Hainin, M. (2013). "Study of the Effect of Temperature Changes on the Elastic Modulus of Flexible Pavement Layers", Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, Maxwell Scientific Organization, pp1661-1667. February 2013.
- Shafabakhsh, G., Kashi, E. (2012). "A numerical study effect of aircraft's main gear configuration on airport runway damages". Technics Technologies Education Management TTEM Journal, Vol. 7, No. 2, pp. 811-819.
- Willis, M., Johnson, D. and Sukumaran, B. (2006). "Three-Dimensional Finite Element Analyses of Flexible Airport Pavements for the Next Generation of Aircrafts", Minnesota Department of Transportation, USA.

Archive of SID

Numerical Analysis of Stress Intensity Factors in Airport Asphalt Pavement by Aircraft Wheel Loading

Mohammad J. Akhavan Bahabadi¹, Mohammad Mehdi Khabiri^{*.2}, Alireza Fotuhi Firozabadi³

¹M.Sc. of Highway and Transportation, Engineering Faculty, Yazd University, Yazd, Iran

²Ph.D. of Highway and Transportation, Engineering Faculty, Yazd University, Yazd, Iran

³Ph.D. of Mechanic Engineering, Engineering Faculty, Yazd University, Yazd, Iran

*Corresponding Author: mkhabiri@yazd.ac.ir

Abstract: Ground facilities are an integral part of the airport, which the most important of them is runway pavements. One of the difficulties and the inevitable failure of the pavement are cracking. Cracking in flexible pavements is a distress seen in the most flight zones. Therefore, it is important to take action to reduce the speed of its spread. In this study, field data of Kerman airport (Iran) were used to achieve the mentioned goal and to adapt the results to the reality. Also, the real values of the thickness and density of the layers and other layer properties obtained from the experiments were used. By using finite element software for runway pavement, a crack was modeled and then its output was used to analyze the pavement in different modes. At first, by loads displacement to the position of the cracking, the place where loading causes the highest stress to the cracking was determined. Next, the different analysis in the targeted area was conducted to investigate the effect of the asphalt thickness changes, crack length changes and the temperature changes in the cracking behavior. The results of change in the crack length showed the stress intensity factor K_I increase to 17% with increasing the crack length two times. The amount of stress intensity factor decreases with increasing the asphalt thickness. In other words, the crack growth rates decrease with increasing the asphalt thickness. The results showed that for each degree increase in temperature, the stress reduces by 3%, which reflects the importance of temperature parameter. It is recommended at the temperatures close to zero degrees or below zero, the number of flights to be limited.

Key words: Numerical Analysis, Pavement Cracking, Airfield Flexible Pavement, Stress Intensity Factor, Crack Propagation.