

تحلیل عددی اثر مجموعه چرخ‌های انواع هواپیماها در تعیین نواحی بحرانی روسازی صلب بانده فرودگاه

غلامعلی شفابخش^{۱*}، عباس اکبری^۲ و احسان کاشی^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: مطالعه عددی، روسازی صلب، بانده فرودگاه، تنش بحرانی.</p>	<p>طراحی ضخامت روسازی صلب بانده فرودگاه مبتنی بر تنش کششی بحرانی در زیر دال بتنی می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق تعیین نواحی بحرانی دال بتنی تحت بارگذاری انواع هواپیماها در محیط سه بعدی اجزا محدود است. در این مقاله با توجه به مدل‌سازی‌های سه بعدی صورت گرفته با استفاده از نرم‌افزار اجزا محدود ABAQUS، مطالعه عددی به‌منظور تعیین نقش مجموعه چرخ هواپیماهای مسافربری، تجاری و نظامی بر تنش بحرانی وارده بر روسازی و تعیین نواحی بحرانی روسازی صلب بانده فرودگاه صورت پذیرفته است. بدین منظور آرایش چرخ‌های ۱۴۸ هواپیمای مختلف در حالات مختلف بارگذاری در لبه و وسط دال بتنی مدل‌سازی شده است. نتایج این مطالعه بیانگر آنست که در میان هواپیماهای مختلفی که در فرودگاه‌های جهان تردد می‌کنند، A380F، B777-300ER و C17A Concorde بیشترین تنش کششی را بر روسازی صلب بانده فرودگاه تحمیل می‌کنند. همچنین در طیف وسیعی از هواپیماها، در حالتی که طول تایر چرخ‌ها در لبه دال بتنی قرار می‌گیرد، بحرانی‌ترین تنش در زیر دال بتنی اتفاق می‌افتد.</p>

۱- مقدمه

بانده فرودگاه، روابطی که مبتنی بر ماکزیمم تنش در زیر دال و در حالت بارگذاری لبه می‌باشد، بدون در نظر گرفتن هواپیماها با آرایش پیچیده چرخ‌ها، ارائه کرده است [۱]. سپس نرم‌افزارهای رایانه‌ای بر پایه همین نظریات، مبتنی بر سیستم‌های چند لایه‌ای تهیه شدند. این نرم‌افزارها سرعت انجام عملیات محاسباتی در تحلیل تنش و تغییر شکل را در نقاط مختلف روسازی به‌اندازه قابل توجهی افزایش دادند. از میان روش‌های تحلیل روسازی‌ها روش المان محدود به لحاظ میزان دقت و انعطاف‌پذیری آن در پذیرش شکل هندسی و شرایط مرزی مختلف از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد. سیستم اجزای محدود ابزاری قدرتمند در تحلیل تنش در لایه‌های مختلف روسازی

طراحی ضخامت روسازی‌های صلب بانده فرودگاه مبتنی بر تنش کششی بحرانی در زیر دال بتنی می‌باشد. در روش‌های مکانیستیک استفاده شده در تحلیل سیستم روسازی، لایه‌های روسازی یکنواخت^۱، الاستیک خطی و همسان‌گرد^۲ و بارگذاری در حالت استاتیکی در نظر گرفته می‌شود. وسترگارد به‌منظور تحلیل تنش در روسازی صلب

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: shafabakhsh@semnan.ac.ir

۱. دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه سمنان

۳. دانشجوی دکتری راه و ترابری دانشگاه سمنان

¹ Homogeneous

² Isotropic

هواپیماهای پهن‌پیکر مانند بوئینگ ۷۷۷ و بوئینگ ۷۴۷ در روسازی‌های صلب و انعطاف‌پذیر تاسیس کرد [۷]. مشاهدات اخیر بر روی روسازی بتنی در آزمایشگاه ملی سازمان هوانوردی (NAPTF¹) نشان داد که ترکیب بارگذاری و وضعیت هندسی روسازی در ترک خوردگی بالا-پایین روسازی بتنی تاثیرگذار می‌باشند [۸].

در سال ۲۰۱۲ شفابخش و کاشی در مطالعات خود به بررسی میزان خسارات وارده از سوی هواپیماهای مسافربری بر روسازی‌های صلب و انعطاف‌پذیر پرداختند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که هرچه آرایش چرخ‌ها گسترده‌تر باشد میزان ضریب خسارات تجمعی برای آن هواپیما کمتر بوده و برعکس هرچه آرایش چرخ‌ها در سطح محدودی متمرکز شود میزان صدمات وارده افزایش می‌یابد [۹].

Chia-pei & Shih-Ying Wang تحقیقات میدانی بر روی فرودگاه بین‌المللی Chiang-Kai-Shek تایوان انجام دادند [۱۰]. آن‌ها با تعمیم نتایج خود در محیط سه بعدی نرم‌افزار اجزاء محدود، نشان دادند که مشخصات چرخ‌های هواپیما بر روی میزان صدمات وارد بر روسازی نقشی تعیین‌کننده داشته و در عمر مفید روسازی و میزان ضخامت دال‌های بتنی موثر می‌باشد. علاوه بر این، شبیه‌سازی هواپیماهای بوئینگ ۷۷۷ و بوئینگ ۷۴۷ موید این موضوع بوده که تنش‌های قائم وارد بر روسازی در اثر بارهای استاتیکی بیشتر از اعمال بارهای دینامیکی می‌باشد.

۲- متدولوژی تحقیق

هدف اصلی از انجام این تحقیق تعیین میزان تنش وارده بر روسازی و نواحی بحرانی تحت بارگذاری انواع هواپیماها بر روی روسازی‌های صلب باند فرودگاه می‌باشد. این مطالعه شامل مدل‌های سه‌بعدی المان محدود در محیط

صلب می‌باشد که استفاده از آن در نرم‌افزارها با توانایی بالای مدل‌سازی مانند ABAQUS، بر دقت تحلیل رفتار روسازی می‌افزاید. بدین منظور در این تحقیق با مدل‌سازی چرخ‌های هواپیماهای مختلف بر روسازی صلب باند فرودگاه در محیط سه بعدی المان محدود سعی در تحلیل تنش در نواحی مختلف دال بتنی به‌منظور تعیین نواحی بحرانی بر روسازی بتنی و همچنین تعیین هواپیماهایی که بیشترین میزان تنش را بر روسازی وارد می‌کنند، پرداخته شده‌است.

به‌منظور تحلیل روسازی باند فرودگاه و تاثیر انواع مختلف هواپیماها بر آن تاکنون مطالعات زیادی صورت گرفته‌است. سامانه‌های مدیریت و نگهداری روسازی فرودگاه‌ها در تمامی جهان در پی راه‌حلهایی به‌منظور کاهش خرابی وارده بر روسازی و در نتیجه کاهش هزینه‌ها به‌منظور افزایش عمر روسازی می‌باشند.

در سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری به‌منظور مدل‌سازی چرخ‌های هواپیماهای مختلف به‌خصوص نسل جدید هواپیماهای پهن‌پیکر در محیط‌های دو بعدی و سه بعدی اجزاء محدود صورت پذیرفته‌است [۲-۴].

تحقیقاتی که به‌منظور بررسی طول عمر مفید روسازی مبتنی بر استانداردهای سازمان هوانوردی و مطالعات میدانی در فرودگاه بین‌المللی John F. Kennedy انجام شد، نشان داد که افزایش ناچیز ضخامت مصالح بتنی در مقایسه با مصالح تثبیت‌شده با قیر در طول عمر روسازی تاثیر بسزایی دارد [۵].

Erol Tutumluer & Tai kim در مطالعات خود به‌منظور بررسی تغییرشکل‌ها بر روی روسازی فرودگاه، آزمایشات بسیاری را بر روی هواپیماهای بوئینگ ۷۴۷ و چند نمونه هواپیمای نظامی انجام دادند. مطالعات صورت‌گرفته نشان داد که هواپیمای B777-300 تاثیر زیادی بر روی میزان شیار افتادگی روسازی فرودگاه دارند [۶].

سازمان هوانوردی فدرال امکانات آزمایشگاهی با مقیاس واقعی به‌منظور بررسی روش‌های طراحی برای نسل جدید

¹ National Airport Pavement Testing Facility

مبنای تعیین نواحی بحرانی می‌باشد. نمونه‌ای از حالات مختلف بارگذاری چرخ‌های هواپیمای B777-300ER در شکل ۲ نشان داده شده‌است.



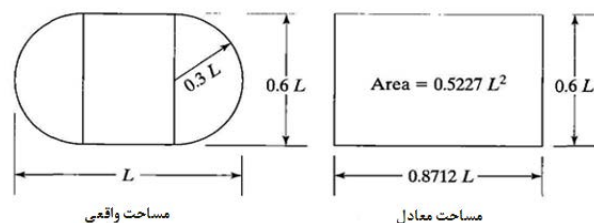
شکل ۲- نحوه قرارگیری چرخ‌های بوئینگ ۷۷۷ بر روی نواحی مختلف دال بتنی

۳- اعتبارسنجی مدل با نتایج میدانی

به منظور اطمینان از صحت مدل‌سازی، نتایج مطالعات میدانی باند فرودگاه بین‌المللی دنور انتخاب گردید. در این فرودگاه برای بررسی میزان تغییرشکل روسازی در هنگام اعمال بار به روسازی، از سنسورها و سیستم‌های اندازه‌گیری تغییرشکل استفاده شده‌است. این سنسورها در طولی معادل $6/1$ متر قرار داده شده‌اند که میزان تغییرشکل را در طول مورد نظر اندازه‌گیری کنند. هواپیمای موردنظر در این مدل‌سازی هواپیمای C-130 با وزن $70/3$ تن می‌باشد. بار وارده به در حالت استاتیکی و به صورت چرخ منفرد با فشار $0/724$ مگاپاسکال در وسط دال بتنی به ابعاد $6/1 \times 5/7$ متر وارد می‌شود [۱۵ و ۱۶]. بخشی از باند پرواز مورد مطالعه که شامل ۱۶ دال بتنی است و در قسمت غربی خط مرکزی باند قرار گرفته‌اند، در شکل ۳ قابل مشاهده می‌باشد. کرنش‌های طولی و عرضی در عمق $2/54$ سانتیمتر بالاتر از کف دال، به وسیله کرنش‌سنج‌ها اندازه‌گیری شده‌اند.

نرم‌افزار ABAQUS 6.10 می‌باشد که از فرضیات مسئله، رفتار الاستیک خطی مصالح لایه‌های روسازی می‌باشد. المان‌های استفاده شده در مدل‌سازی، شامل المان‌های C3D8R Solid بوده و آرایش مجموعه چرخ هواپیماهای مختلف، در حالت استاتیکی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پیش از بررسی رفتار دال بتنی و تعیین میزان صدمات وارده بر روسازی تحت بارگذاری انواع هواپیماها، مدل روسازی اعتبارسنجی شده‌است. اعتبارسنجی با استفاده از مدل‌سازی لایه‌های مختلف روسازی در ABAQUS و مقایسه آن با نتایج مطالعات میدانی در باند پرواز فرودگاه بین‌المللی دنور صورت پذیرفته‌است.

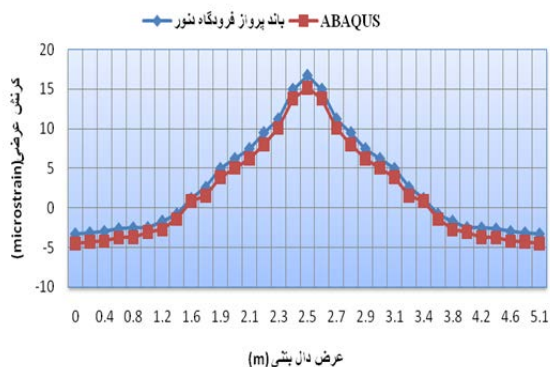
المان‌های بکاررفته جهت مدل‌سازی لایه‌های روسازی در ABAQUS، المان‌های C3D8R Solid می‌باشند. به منظور افزایش دقت در تحلیل، اندازه المان‌های دال بتنی و نواحی بارگذاری ریزتر می‌باشند. در زیر لایه بستر تکیه‌گاه‌ها به صورت گیردار و در اطراف مرزهای کناری لایه‌های روسازی از قیدهای تغییرمکانی استفاده شده‌است. در این قیدها از تغییرمکان‌های افقی جلوگیری شده و تنها امکان تغییرمکان به صورت قائم وجود دارد. سطح تماس چرخ‌ها بر روی دال بتنی به صورت مستطیل معادل در نظر گرفته شده [۱۱ و ۱۲] که در شکل ۱ قابل مشاهده است.



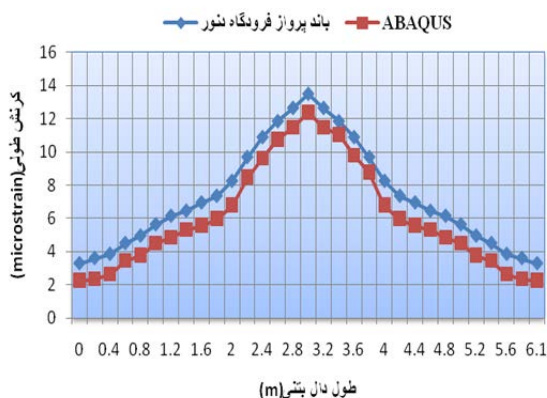
شکل ۱- تبدیل سطح تماس واقعی بارگذاری به مستطیل معادل

بارگذاری بر روی دال بتنی مطابق با استاندارد سازمان هوانوردی فدرال در حالات وسط و لبه دال با 25% انتقال تنش [۱۳ و ۱۴] در نظر گرفته شده و بیشترین تنش

امتداد این مسیر دقیقاً مشابه امتداد سنسورهای اندازه‌گیری تغییرشکل در روسازی می‌باشد.



شکل ۴-الف- مقایسه نتایج مدل‌سازی و میدانی برای کرنش در عرض دال بتنی

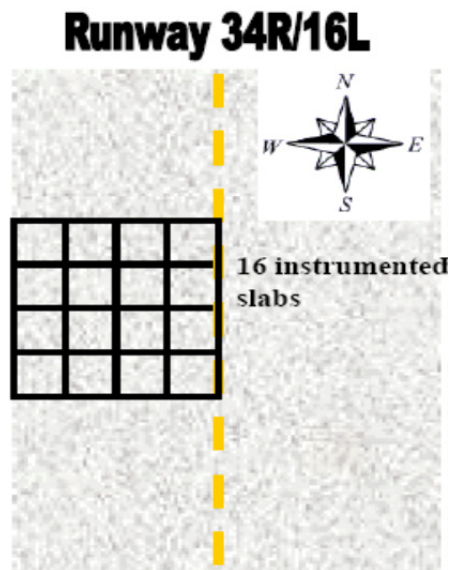


شکل ۴-ب- مقایسه نتایج مدل‌سازی و میدانی برای کرنش در طول دال بتنی

همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌گردد، نتایج حاصل از مدل‌سازی با میزان تغییرات کرنش در زیر دال بتنی مطالعه میدانی، مطابقت داشته و توانایی بالای مدل‌سازی صورت گرفته را نشان می‌دهد.

۴- مطالعه عددی اثر چرخ‌های هواپیماها در تعیین نواحی بحرانی دال بتنی

در این تحقیق مطالعه عددی بر روی روسازی صلب باند فرودگاه صورت پذیرفته‌است. بدین منظور با مدل‌سازی



شکل ۳- موقعیت دال‌های مورد مطالعه در باند پرواز فرودگاه بین‌المللی دنور

ساختار روسازی در باند فرودگاه شامل ۴۳/۲ سانتیمتر دال بتنی، ۲۰/۳ سانتیمتر اساس تثبیت‌شده با سیمان، ۳۰/۵ سانتیمتر زیراساس تثبیت‌شده با آهک و خاکریز رسی می‌باشد. خصوصیات لایه‌های روسازی در جدول ۱ نشان داده شده‌است.

جدول ۱- خصوصیات لایه‌های روسازی باند فرودگاه بین‌المللی دنور

نوع لایه	مدول الاستیسیته (Mpa)	ضریب پواسون
دال بتنی	۳۲۴۰۵	۰/۲
اساس تثبیت‌شده با سیمان	۶۸۹۵	۰/۲۵
زیر اساس تثبیت‌شده با آهک	۴۱۴	۰/۴
بستر طبیعی	۱۳۷/۹	۰/۵

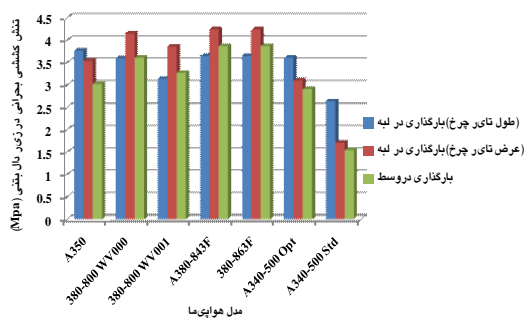
روسازی موردنظر با استفاده از المان‌های C3D8R مدل شده‌است. در این مدل‌سازی ابعاد لایه‌های زیرین روسازی ۱۰×۱۰ متر در نظر گرفته شده‌است. مشخصات لایه‌های روسازی مطابق جدول ۱ می‌باشد. مقایسه کرنش و تغییرمکان در زیر دال بتنی در شکل ۴ قابل مشاهده است. در این مدل خصوصیات لایه‌ها مشابه لایه‌های اجراشده روسازی در نظر گرفته شده‌است. علاوه بر این

جدول ۴- مشخصات لایه‌های روسازی صلب تیپ ۳ باند فرودگاه نمونه

نوع لایه	دال	اساس	زیر	بستر
	بتنی	تثبیت شده	اساس	طبیعی
ضخامت (cm)	۲۲/۹	۱۵/۲	۱۶/۸	-
مدول الاستیسیته (Mpa)	۲۷۵۸۰	۴۸۲۶	۲۰۰	۳۵۰
ضریب پواسون	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۴

۴-۱- نتایج تحلیل تنش‌ها تحت بارگذاری هواپیماهای مسافری

در این تحلیل برای هواپیماهای مسافربری دو گروه هواپیماهای ایرباس و بویینگ مورد مطالعه قرار گرفته است که در شکل‌های ۵ و ۶ برخی نتایج تنش بحرانی برای این نوع هواپیماها قابل مشاهده است.



شکل ۵- نتایج تنش کششی بحرانی در زیر دال بتنی تحت بارگذاری هواپیماهای گروه ایرباس

هواپیماهای گروه ایرباس حداکثر تنش کششی در زیر دال بتنی با توجه به نتایج ارائه شده، در گروه هواپیماهای Airbus مربوط به هواپیماهای A380-800، A380-843F، A340-300 Opt، A340-500 Std، A350، A340-600 St، 800، A380F 600 Opt، A321-200 Opt، 500-Opt می‌باشد. در ایرباس ۳۸۰، به دلیل نحوه خاص قرارگیری چرخ‌ها که مرکب از زوج تاندم سه‌تایی در زیر بدنه و زوج تاندم دو تایی در زیر بال هواپیما قرار دارد. همچنین فشار بالای چرخ‌ها، تاثیر بسزایی در تغییر شکل

چرخ‌های ۱۴۸ نمونه از هواپیماهای مختلف و تعیین میزان تنش در نواحی مختلف دال بتنی، نواحی بحرانی باند پرواز و همچنین هواپیماهایی که بیشترین میزان تنش را بر روسازی وارد می‌کنند مشخص شده‌اند. جهت انجام تحلیل عددی، سه تیپ روسازی صلب، مطابق با استاندارد آزمایشگاه ملی سازمان هوانوردی شامل دال بتنی، اساس تثبیت شده با سیمان، زیر اساس سنگدانه‌ای و بستر طبیعی در نظر گرفته شده است [۱۷]. ابعاد دال بتنی ۷/۵×۷/۵ متر و ابعاد لایه‌های زیرین روسازی ۱۲×۱۲ متر در نظر گرفته شده که دال بتنی دقیقاً در وسط لایه اساس قرار دارد. در روسازی مورد نظر لایه‌های مختلف روسازی با فرض رفتار الاستیک خطی و با ضریب پواسون مشخص مدل شده اند که در جداول ۲ تا ۴ قابل مشاهده می‌باشند. همچنین در حدود ۱۴۸ هواپیما در گروه‌های مختلف مسافربری، تجاری و نظامی با آرایش مختلف چرخ‌ها در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است که در ادامه نتایج تحلیل تنش‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۲- مشخصات لایه‌های روسازی صلب تیپ ۱ باند فرودگاه نمونه

نوع لایه	دال	اساس	زیر	بستر
	بتنی	تثبیت شده	اساس	طبیعی
ضخامت (cm)	۲۸	۱۵/۶	۲۱/۳	-
مدول الاستیسیته (Mpa)	۲۷۵۸۰	۴۸۲۶	۲۰۰	۳۶
ضریب پواسون	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۴

جدول ۳- مشخصات لایه‌های روسازی صلب تیپ ۲ باند فرودگاه نمونه

نوع لایه	دال	اساس	زیر	بستر
	بتنی	تثبیت شده	اساس	طبیعی
ضخامت (cm)	۲۴/۸	۱۴/۹	۲۱/۹	-
مدول الاستیسیته (Mpa)	۲۷۵۸۰	۴۸۲۶	۲۰۰	۷۷
ضریب پواسون	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۴

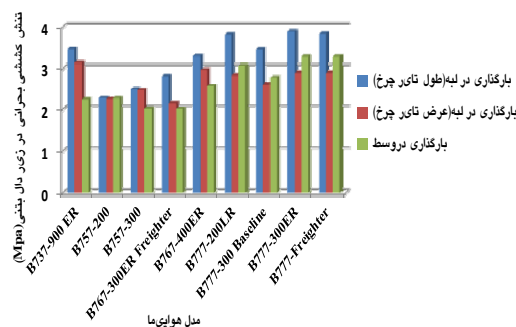
روسازی شده‌است. در هواپیماهای B727، هواپیماهای B727-Opt با آرایش زوج چرخ و با فاصله یکسان بین چرخ‌ها به دلیل وزن بیشتر و در نتیجه فشار بیشتر چرخ‌ها، تنش بیشتری بر روسازی وارد می‌کند.

در بین هواپیماهای B747 که در آن‌ها فاصله بین چرخ‌ها برابر می‌باشند، مهمترین عامل تفاوت تنش بحرانی مربوط به وزن و سطح تماس چرخ‌ها می‌باشد. به طوری که هواپیماهای B747-400ER با وزن ۴۱۴/۱۳ تن بیشترین تنش را بر روسازی تحمیل می‌کنند.

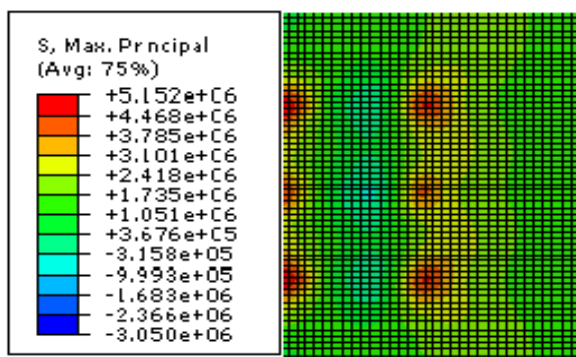
در میان هواپیماهای مسافربری بویینگ، هواپیماهای بوئینگ ۷۷۷ سهم زیادی بر میزان تنش وارد بر روسازی دارند. آرایش زوج تاندم سه‌تایی در زیر بدنه هواپیما سبب ایجاد یک نوار بارگذاری بین چرخ‌ها بر روسازی شده که توالی تاندم‌ها این اثر را افزایش داده که نمونه‌ای از توزیع تنش در زیر دال بتنی تحت بارگذاری هواپیما B777-300ER در شکل ۷ قابل مشاهده است. هواپیماهای B777-300ER، B777 Freighter و B777-200LR به علت فشار بالای چرخ‌ها و همچنین ابعاد بزرگ آن‌ها بیشترین تنش را بر روسازی وارد می‌کنند.

B777-300ER به دلیل بالا بودن سطح تماس چرخ‌ها بر روسازی نسبت به B777 Freighter، با وجود یکسان بودن وزن، فشار چرخ‌ها و فاصله چرخ‌ها، سهم بیشتری در میزان تنش کششی وارد بر روسازی دارد.

دال بتنی و در نتیجه افزایش تنش‌ها دارند. آرایش زوج تاندم سه‌تایی در زیر بدنه هواپیما سبب ایجاد یک نوار بارگذاری بین چرخ‌ها بر روسازی شده که توالی تاندم‌ها این اثر را افزایش داده و وجود زوج تاندم دوتایی در زیر بال هواپیما افزایش تنش را به همراه دارد. به دلیل یکسان بودن آرایش چرخ‌ها تفاوت توزیع تنش بین هواپیماهای این گروه مربوط به تفاوت در فشار چرخ‌ها می‌باشد، در هواپیماهای A321-200 Opt با آرایش زوج چرخ، با وجود یکسان بودن فاصله بین چرخ‌ها در بین تمامی هواپیماها با این آرایش چرخ در گروه ایرباس، بالا بودن فشار چرخ‌ها (۱/۵Mpa) ناشی از وزن زیاد هواپیما، سبب افزایش تنش کششی در دال بتنی می‌شود. هواپیماهای A350، A340-500 Opt، A340-600 Opt و A340-500 St نیز با فشار ۱/۶ و ۱/۶۶ مگاپاسکال بیشترین میزان تنش را ایجاد می‌کنند.



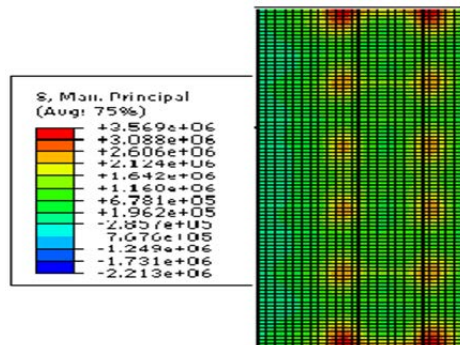
شکل ۶- نتایج تنش کششی بحرانی در زیر دال بتنی تحت بارگذاری هواپیماهای گروه بوئینگ



شکل ۷- توزیع تنش در زیر دال بتنی تحت بارگذاری هواپیما B777-300ER

در بین مدل‌های مختلف هواپیما بوئینگ ۷۳۷، بیشترین میزان تنش مربوط به هواپیما B737-900ER می‌باشد. با وجود آرایش و فشار یکسان چرخ‌ها در هواپیماهای B737-800، B737-900 و B737-BBJ2، هواپیما B737-800 به علت ابعاد زیاد چرخ‌ها میزان تنش بیشتری بر روسازی وارد می‌کنند. بالا بودن فشار تاور چرخ‌ها در هواپیما B737-300 و همچنین ابعاد بزرگتر چرخ‌ها در B737-400 با وجود فشار کمتر چرخ‌ها نسبت به B737-500، سبب افزایش تنش وارد بر

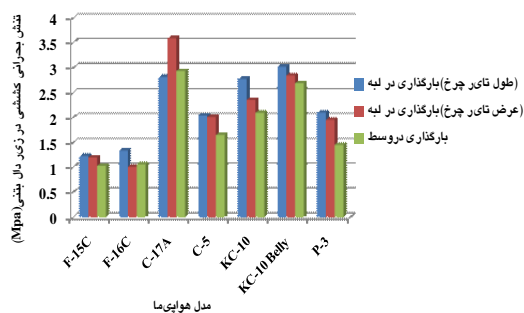
همچنین تعدد چرخ‌ها، توزیع یکنواختی از تنش بر روسازی اعمال کرده و سبب کاهش تنش‌های وارده بر روسازی می‌شوند. نحوه توزیع تنش وارده بر روسازی تحت بارگذاری هواپیماهای An-225 در شکل ۹ قابل مشاهده است.



شکل ۹- توزیع تنش در زیر دال بتنی تحت بارگذاری هواپیمای An-225

۳-۴- نتایج تحلیل تنش‌ها تحت بارگذاری هواپیماهای نظامی

در این تحلیل هواپیماهای نظامی مورد مطالعه قرار گرفته است که در شکل ۱۰ برخی نتایج تنش بحرانی برای این نوع هواپیماها قابل مشاهده است.

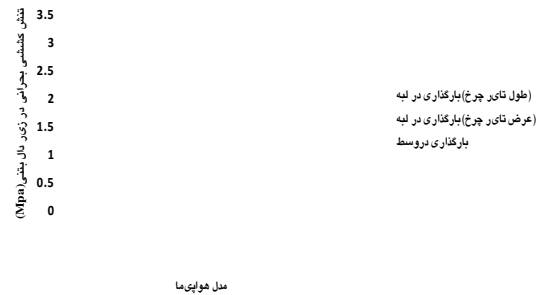


شکل ۱۰- نتایج تنش کششی بحرانی در زیر دال بتنی تحت بارگذاری هواپیماهای گروه نظامی

در میان هواپیماهای نظامی، هواپیمای C-17A دارای چرخ‌هایی با فشار ۹۵۱ کیلو پاسکال می‌باشد. آرایش خاص چرخ‌های این هواپیما به صورت نوار یکپارچه بارگذاری عرضی بر روی روسازی عمل کرده و تاندوم موجود بین چرخ‌ها اثر نوار بارگذاری را مضاعف کرده و این موضوع سبب افزایش تنش بر روسازی می‌شود.

۲-۴- نتایج تحلیل تنش‌ها تحت بارگذاری هواپیماهای تجاری

در این تحلیل هواپیماهای تجاری مورد مطالعه قرار گرفته است که در شکل ۸ برخی نتایج تنش بحرانی برای این نوع هواپیماها قابل مشاهده است.

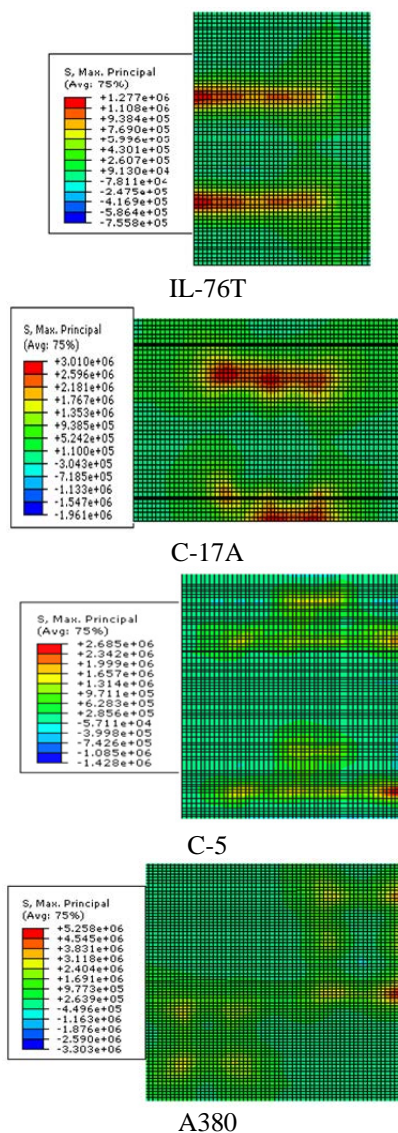


شکل ۸- نتایج تنش کششی بحرانی در زیر دال بتنی تحت بارگذاری هواپیماهای گروه تجاری

حداکثر تنش کششی در زیر دال بتنی در گروه هواپیماهای تجاری مربوط به هواپیماهای Concorde, DC-10-30 Belly و DC-8-63, MD-83 می‌باشد. در هواپیماهای DC-8-63-73 Concord و با زوج تاندوم دوتایی، فاصله کم بین زوج چرخ‌ها نسبت به هواپیماهایی چون L10-11 و MD-11ER با آرایش مشابه چرخ‌ها، تنش بیشتری ایجاد می‌شود. در این حالت فاصله کم بین زوج چرخ‌ها، سبب عملکرد یکسان دو چرخ به صورت یکپارچه بر روسازی نسبت به هواپیمای L-1011 که چرخ‌ها به صورت مجزا عمل می‌کنند، می‌شود. هواپیمای Concorde با فشار بالای چرخ‌ها، سطح تماس زیاد چرخ‌ها و فاصله کم بین زوج چرخ‌ها، تنش بیشتری در مقایسه با DC-10-30 Belly و MD 83 بر روسازی وارد می‌کنند. در بین هواپیماهای روسی Illyshin، هواپیماهای IL96M و IL76T با آرایش چهارگانه تاندوم به علت تعدد چرخ‌ها و در نتیجه توزیع وزن هواپیما بر آن‌ها منجر به کاهش تنش وارده بر روسازی می‌شود.

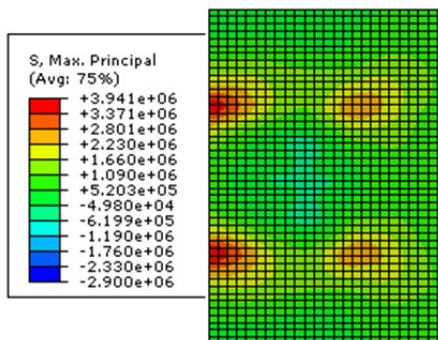
در هواپیماهای An-225 و An-124 با وجود وزنی در حدود ۳۹۷ و ۵۹۸ تن و آرایش زوج تاندوم پنج‌تایی و زوج تاندوم هفت‌تایی، به علت فاصله زیاد بین زوج چرخ‌ها و

هواپیماهایی نظیر IL76T با آرایش چهارگانه تاندم دوتایی و C-17A با آرایش سه چرخ تاندم دوتایی نامتقارن بحرانی‌ترین حالت بارگذاری مربوط به حالتی که عرض چرخ‌ها در لبه دال بتنی قرار دارند، می‌باشد. افزایش چرخ‌ها به صورت ردیف عرضی در زیر بدنه هواپیما سبب افزایش برهم‌کنش اثر چرخ‌ها بر یکدیگر و در نتیجه عملکرد یکپارچه چرخ‌ها شده که نهایتاً منجر به توزیع نوار بارگذاری بر روسازی می‌شود. در شکل ۱۲ بحرانی‌ترین حالت قرارگیری چرخ‌ها بر روی دال بتنی برای هواپیماهایی با آرایش پیچیده چرخ‌ها قابل مشاهده است.



شکل ۱۲- توزیع تنش در زیر دال بتنی تحت بارگذاری هواپیماها با آرایش پیچیده چرخ‌ها

نتایج تحلیل‌های صورت‌گرفته بیانگر آن است که، بحرانی‌ترین حالت بارگذاری در هواپیماهایی با آرایش چرخ‌های منفرد و زوج چرخ و زوج تاندم دوتایی در حالتی که طول تایر چرخ‌ها در لبه دال قرار دارند، صورت می‌گیرد. در این گروه به هواپیماهایی نظیر F-15، F-16 و هواپیماهای گروه B737 اشاره کرد که در شکل ۱۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱۱- نمونه‌ای از توزیع تنش در زیر دال بتنی تحت بارگذاری هواپیما با آرایش زوج تاندم دوتایی

در هواپیماهایی نظیر C-130 و L-100-20 با آرایش منفرد تاندم دوتایی، به دلیل عمود بودن چرخ‌ها نسبت به چرخ‌های هواپیماهایی با آرایش منفرد و زوج چرخ، وقتی که عرض تایرها در لبه دال قرار دارند، بحرانی‌ترین حالت بارگذاری اتفاق می‌افتد. نکته قابل توجه این که بعد از حالات بارگذاری بیان‌شده بحرانی‌ترین حالت، در حالت عمود نسبت به حالت اول بوده و نهایتاً بارگذاری در حالت وسط بحرانی می‌باشد.

در هواپیماهایی با آرایش چرخ‌های زوج تاندم سه‌تایی مانند هواپیماهای گروه 777 و هواپیمای TU154B، در حالت بارگذاری طول تایر در لبه، بحرانی‌ترین حالت قابل مشاهده است. البته نکته جالب آن که برخلاف حالات قبل بحرانی‌ترین بارگذاری بعد از حالت مذکور مربوط به بارگذاری در وسط دال بتنی می‌باشد.

بحرانی‌ترین حالات بارگذاری برای هواپیماهایی نظیر An-124 با آرایش زوج تاندم پنج تایی و An-225 با آرایش زوج تاندم هفت تایی مربوط به بارگذاری در لبه دال بتنی می‌باشد.

۵- نتیجه گیری

تاثیر و فشار چرخ‌ها و سطح تماس چرخ‌ها بر روسازی در مراتب بعدی قرار دارند.

- در میان هواپیماهای مختلفی که در فرودگاه‌های جهان تردد می‌کنند A380F، B777-300ER، C-17A و Concorde بیشترین تنش کششی را بر روسازی صلب باند فرودگاه تحمیل می‌کنند.

- نتایج حاصل از مدل‌سازی‌ها به منظور تعیین نواحی بحرانی بیانگر آن است که در طیف وسیعی از هواپیماها، بحرانی‌ترین حالت بارگذاری مربوط به زمانی است که طول تیر چرخ‌ها در لبه دال بتنی قرار می‌گیرند. همچنین بارگذاری در وسط دال بتنی در هیچ یک از آرایش چرخ‌های هواپیماهای مختلف، حالت تنش بحرانی نمی‌باشد.

- در حالتی که افزایش چرخ‌ها به صورت ردیف عرضی در زیر بدنه هواپیما باشد، بحرانی‌ترین تنش کششی در زیر دال بتنی زمانی اتفاق می‌افتد که عرض تیر چرخ‌ها در لبه دال قرار می‌گیرند. همچنین زمانی که افزایش چرخ‌ها به صورت تاندم صورت گیرد، بحرانی‌ترین تنش کششی در زیر دال بتنی زمانی اتفاق می‌افتد که طول تیر چرخ‌ها در لبه دال قرار گیرند.

در این تحقیق به منظور اطلاع از صحت مدل‌سازی صورت‌گرفته با استفاده از ABAQUS، اعتبارسنجی با نتایج تغییرشکل‌ها در زیر دال بتنی باند پرواز فرودگاه بین‌المللی دنور انجام شد. نتایج نشان‌دهنده مطابقت پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌سازی با مطالعه میدانی بوده و دقت بالای مدل‌سازی را نشان دادند.

به منظور مطالعه عددی، روسازی در نظر گرفته شده در محیط نرم‌افزار المان محدود ABAQUS شامل مصالحی با مشخصات دال بتنی، اساس تثبیت شده با سیمان، زیراساس سنگدانه‌ای و بستر طبیعی می‌باشد. تحلیل با فرض رفتار الاستیک خطی مصالح لایه‌های روسازی و بارگذاری در حالت استاتیکی در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی در زیر ارائه شده است:

- فشار چرخ‌ها، نحوه آرایش چرخ‌ها خصوصاً فاصله بین زوج چرخ‌ها و سطح تماس چرخ‌ها بر روسازی نقش مهمی در تعیین میزان تنش کشش بحرانی بر روسازی صلب ایفا می‌کنند که در این میان فاصله بین زوج چرخ‌ها بیشترین

مراجع

- [1] Westergaard, H. (1948). "New formulas for stresses in concrete pavements of airfields". Transactions, American Society of Civil Engineers, Vol. 113, pp. 425-439.
- [2] Hammons, M.J. (1998). "Advanced pavement design: Finite element modeling for rigid pavement joints". Report II: Model development. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- [3] Guo, E., Ricalde, L., Kawa, I. (2007). "FAA Finite element design procedure for rigid pavements". SRA International, Inc., Egg Harbor Township, NJ.
- [4] Willis, M., Johnson, D., Sukumaran, B. (2006). "Three-dimensional finite element analyses of flexible airport pavement for the next generation of aircrafts". Minnesota Department of Transportation, USA.
- [5] Garg, N., Guo, E., McQueen, R. (2004). "Operational Life of Airport Pavements". Galaxy Scientific Corporation, Egg Harbor Township, NJ.
- [6] Tutumluer, E., Kim, I.T. (2004). "Permanent Deformation Behavior of Airport Pavement Base and Subbase Courses". University of Illinois, Urbana-Champaign.
- [7] Gopalakrishnan, K. (2008). "Evaluation of accelerated deterioration in NAPTF flexible test pavement". Journal of Zhejiang university SCIENCE A., Vol. 9, Issue 9, pp 1157-1166.

- [8] Brill, D.R., Hayhoe, G.F., Ricalde, L. (2005). "Analysis of CC2 rigid pavement test data from the FAA's National airport pavement test facility". Proceedings of 7th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways, and Airfields, Trondheim, Norway.
- [9] 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.
- [10] Pei, C., Wang, S.Y. (2005). "The development and application of finite element model in the Chiang-Kai-Shek International Airport". Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Pavements, Colorado, USA, August 10-12.
- [11] Huang, Y. H. (2003). "Pavement analysis and design". 2nd Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffee, New Jersey.
- [12] Ozawa, Y., Maina, J.W., Matsui, K. (2009). "Linear elastic analysis of pavement structure loaded over rectangular area". Proceedings of the TRB 2009 Annual Meeting.
- [13] Kawa, I., Guo, E.H., Hayhoe, G.F., Brill, D.R. (2002). "Implementation of rigid pavement 430 thickness design for new pavements". FAA Technology Transfer Conference, Atlantic City, NJ, USA.
- [14] Wadkar, A.A., Mehta, Y.A., Guo, E.H., Norton, A. (2010). "Load transfer efficiencies of rigid airfield pavement 1 joints based on stresses and deflections". Proceedings of the TRB Annual Meeting.
- [15] Harrison, A., Barker, W.R. (1997). "Comparison of elastic layered theory and in-situ rigid pavement response at Denver International Airport". Aircraft/Pavement Technology In the Midst of Change, M.ASCE, pp. 61-76.
- [16] Dong, M., Hayhoe, G.F., Fang, Y.W. (1997). "Runway instrumentation at Denver International Airport: Dynamic sensor data processing". Aircraft/Pavement Technology In the Midst of Change, M.ASCE, pp. 363-378.
- [17] Guo, E.H., Hayhoe, G.F., Brill, D.R. (2002). "Analysis of NAPTF Traffic Test Data for the First-Year Rigid Pavement Test Items". Federal Aviation Administration Airport Technology Transfer Conference, Atlantic City, New Jersey, USA.