

طراحی روسازی صلب و انعطاف پذیر فرودگاه با استفاده از نرم افزار LEDFAA

غلامعلی شفابخش^۱، احسان کاشی^۲

۱- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه سمنان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه سمنان

E-mail : eng_eki@yahoo.com

خلاصه

تسهیلات زمینی بخش لاینفک فرودگاه ها بوده که از جمله مهمترین آنها سیستم روسازی فرودگاه می باشند از آنجائیکه بار چرخ های هواپیما مستقیماً بر سیستم روسازی اعمال می گردد ، رفتار و وضعیت روسازی بر عملکرد ناوگان تاثیر بسزایی دارد . لذا داشتن یک سیستم روسازی مناسب با توجه به در نظر گرفتن کلیه شرایط طراحی امری ضروری می باشد ، از اینرو نرم افزارهای متعددی توسط سازمان های هواپیمایی طراحی شده است ، LEDFAA جدیدترین نسخه از نرم افزار سازمان هوانوردی آمریکا می باشد که در این مقاله قابلیت های آن در طراحی روسازی صلب و انعطاف پذیر بیان شده است و در انتها خروجی نرم افزار برای طراحی روسازی انعطاف پذیر یک فرودگاه با ترافیک مختلط ارائه شده است .

کلمات کلیدی: روسازی فرودگاه ، هواپیما ، نرم افزار LEDFAA ، ترافیک مختلط

مقدمه

LEDFAA یک برنامه کامپیوتری برای طراحی روسازی فرودگاه می باشد که بر اساس تئوری لایه های ارتجاعی عمل می کند . این نرم افزار توسط سازمان هوانوردی آمریکا طراحی شده است و آخرین نسخه آن در سال ۲۰۰۴ ارائه گردیده است و برای طراحی روسازی صلب و انعطاف پذیر کاربرد دارد . روش طراحی در این برنامه بر اساس استاندارد های طراحی ضخامت روسازی سازمان هوانوردی می باشد و قابل نصب بر روی کلیه کامپیوتر ها با سیستم عامل ویندوز می باشد . اطلاعات ورودی شامل فرضیات اولیه می باشد که در دو صفحه مجزا وارد می شوند ، یکی از صفحات مربوط به فرضیات سازه ای و صفحه دیگر مربوط به اطلاعات ترافیکی می باشد . همچنین یک سری مقادیر پیش فرض برای پارامتر های ورودی مختلف مطابق با استانداردها در خود نرم افزار موجود می باشد . بطوریکه نتایج بدست آمده از طراحی ها در LEDFAA با سایر طراحی های بدست آمده از روابط و آئین نامه های طراحی ضخامت روسازی فرودگاه مطابقت دارد .

روش کار با نرم افزار

صفحه آغازین برنامه دارای بخش های مختلفی جهت سازماندهی و ورودی اطلاعات می باشد ، این صفحه جهت تعریف نمودن فایل طراحی می باشد و کلیه فرضیات اولیه را در این صفحه وارد می کنیم . برای سهولت در طراحی ، یک سری مقاطع پیش فرض در قسمت Samples موجود می باشد که می توان آنها را در فایل های ساخته شده کپی کرد و از آنها استفاده نمود . در شکل (۱) قسمت های مختلف صفحه ورود اطلاعات نمایش داده شده است که در زیر به توضیح هر یک از آنها می پردازیم :

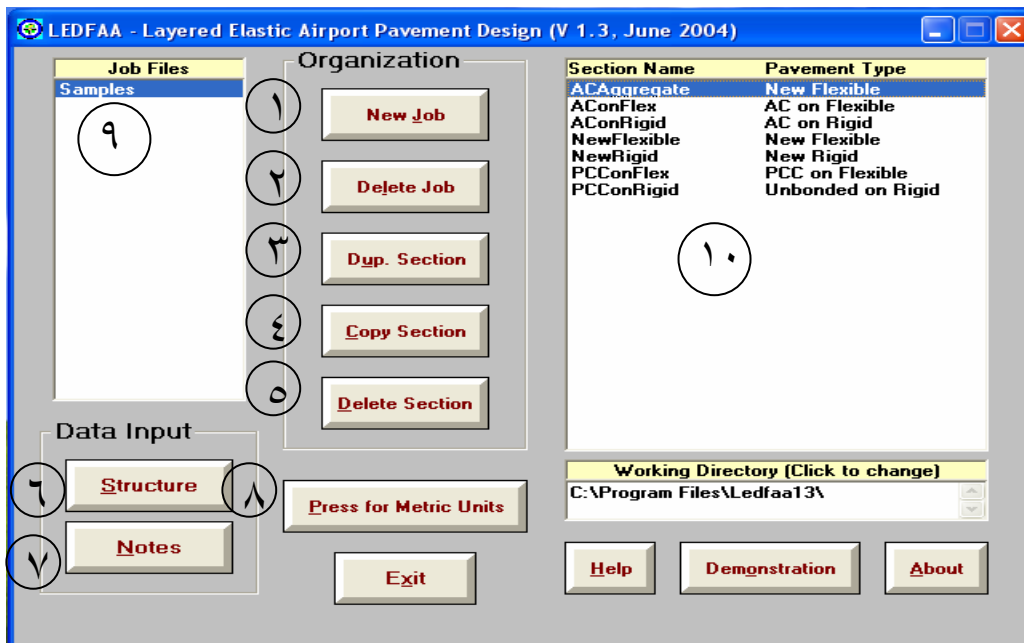
۱- New Job : جهت ساختن یک فایل جدید و نامگذاری آن می باشد . با کلیک کردن روی آن پنجره ای باز می شود که از ما نام فایل طراحی را می خواهد ، پس از تایپ کردن نام فایل آن را OK کرده و فایل جدید وارد نرم افزار می شود . لازم به ذکر است که نام فایل انتخابی نباید بیش از ۳۶ حرف باشد همچنین فایل ساخته شده هیچ گونه مقاطع پیش فرضی وجود ندارد .

۲- Delete Job : با استفاده از این گزینه می توانیم کل فایل ساخته شده را حذف نمائیم .

^۱ استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه سمنان

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه سمنان

- ۳- Dup Section : با استفاده از این گزینه می توانیم همه مقاطع پیش فرض موجود در قسمت Samples را به فایل انتخابی انتقال دهیم .
- ۴- Copy Section : با استفاده از این گزینه می توانیم به دلخواه هر کدام از مقاطع پیش فرض موجود در قسمت Samples را به فایل انتخابی انتقال دهیم . به عنوان مثال فقط یک سیستم روسازی صلب یا فقط یک سیستم روسازی انعطاف پذیر را می توانیم در فایل جدید داشته باشیم .
- ۵- Delete Section : با استفاده از این گزینه می توانیم به دلخواه هر یک از مقاطع موجود در فایل جدید را حذف نمائیم .
- ۶- Structure : در این قسمت می توانیم مشخصات سازه ای و جنس و نوع مصالح موجود در لایه های مقطع انتخابی را مشاهده نمائیم .

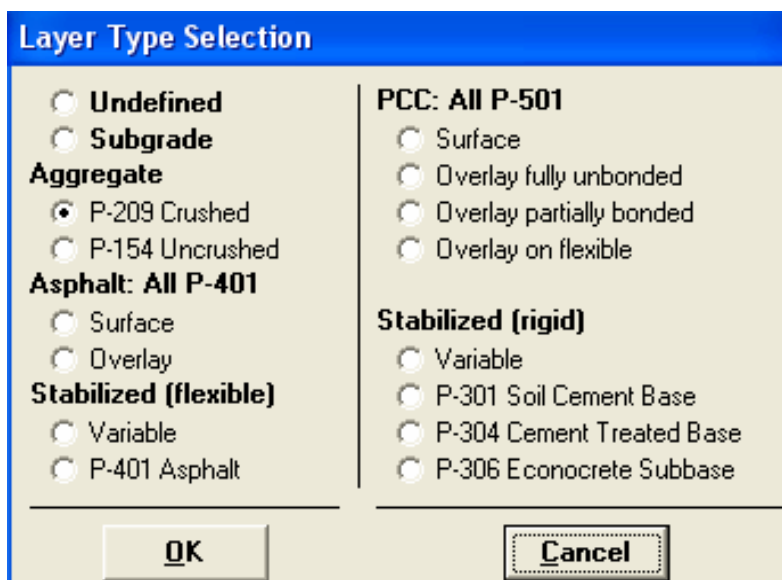


شکل ۱- صفحه ورود اطلاعات نرم افزار

- ۷- Notes : با استفاده از این گزینه در پایان مراحل ورود اطلاعات می توانیم به خروجی برنامه و طراحی نهایی را مشاهده و آن را چاپ کنیم .
- ۸- Press for Metric Units : در این قسمت می توانیم در هر زمان از مراحل طراحی واحد ها را به سیستم متریک یا انگلیسی تبدیل کنیم .
- ۹- Job Files : در این قسمت فایل های طراحی موجود می باشند و در آغاز کار یکسری سیستم های روسازی مختلف و ترکیبی در این بخش موجود می باشند که از طریق Samples قابل دسترسی است .
- ۱۰- Section Name : در این قسمت می توانیم کلیه مقاطع پیشفرض موجود در برنامه را مشاهده و از آنها جهت طراحی استفاده نماییم. [۱]

مقاطع پیش فرض موجود در نرم افزار

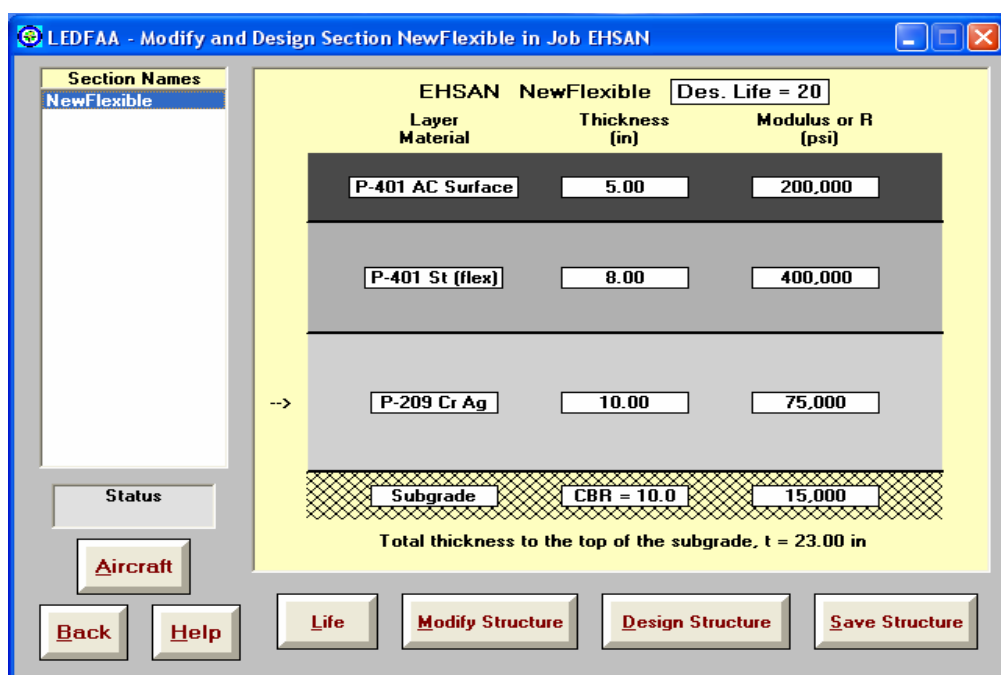
- روسازی انعطاف پذیر با بتن آسفالتی سنگدانه ای (AC Aggregate)
- رویه بتن آسفالتی روی یک لایه ارتجاعی (AC on Flexible)
- رویه بتن آسفالتی روی یک لایه صلب (AC on Rigid)
- روسازی ارتجاعی روی یک اساس تثبیت شده (New Flexible)
- روسازی صلب روی یک اساس تثبیت شده (New Rigid)
- رویه بتنی برای روسازی انعطاف پذیر (PCC on Flexible)
- رویه بتنی برای روسازی صلب (PCC on Rigid)
- برای شروع کار روی گزینه New Job کلیک می کنیم ، در پنجره ایجاد شده نام فایل را وارد می کنیم .
- برای انتقال هر کدام از مقاطع پیش فرض به فایل جدید روی گزینه copy section کلیک می کنیم . برای مشاهده جزئیات مقطع انتخاب شده بر روی گزینه Structure کلیک می کنیم .
- به عنوان مثال یک سیستم ارتجاعی را انتخاب و در فایل ساخته شده کپی می کنیم .



شکل ۲ - مشخصات لایه های موجود در نرم افزار

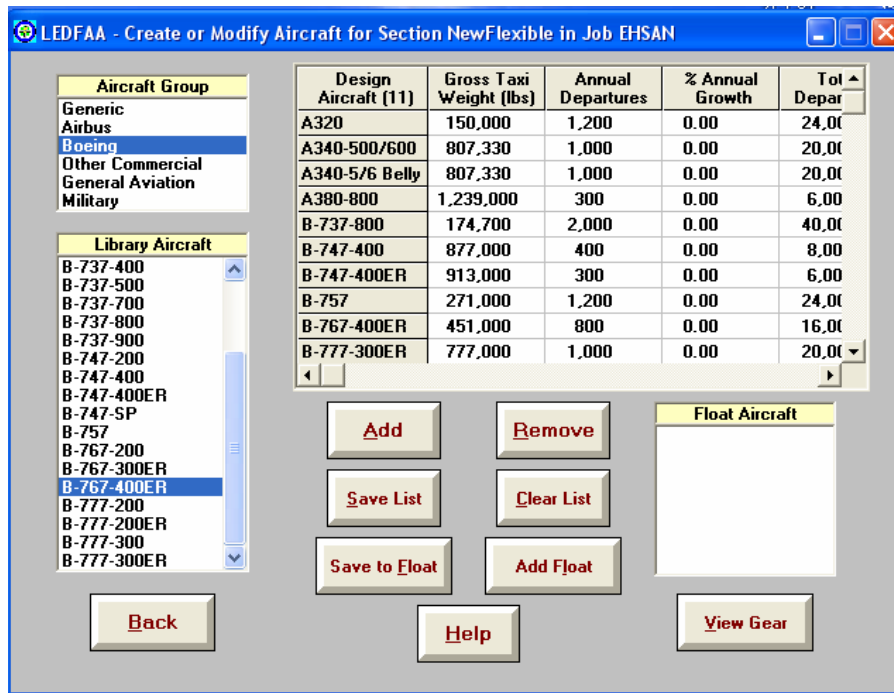
محدودیت های برنامه در تغییر دادن جنس لایه ها

در تغییر دادن جنس لایه ها محدودیت هایی وجود دارد که نرم افزار از آنها جلوگیری می کند ، مانند محدودیت هایی که در محل قرار گیری برخی لایه های روسازی وجود دارد مثلاً ما نمی توانیم یک لایه روکش آسفالتی را در زیر یک لایه رویه آسفالتی قرار دهیم . [۱] یا تغییراتی که باعث بر هم زدن نوع سیستم روسازی (صلب یا انعطاف پذیر) می گردد ، به عنوان مثال تغییر دادن یک لایه آسفالت سطحی با یک لایه صلب نوع روسازی را تغییر خواهد داد .
 عمر دوره طرح را از ۱ تا ۵۰ سال می توان در نظر گرفت . LEDFAA آن را برابر ۲۰ سال فرض نموده که برابر با استاندارد طراحی FAA می باشد . همچنین CBR بستر را می توان از ۰/۷ تا ۳۳/۳۳ فرض نمود . [۱] پس از تعیین مشخصات و جنس مواد تشکیل دهنده لایه ها و ضخامت هر یک از آنها با استفاده از گزینه Aircraft وارد صفحه جدیدی می شویم که مشخصات ترافیکی و نوع هواپیماها و تعداد آنها را ثبت می کنیم .



شکل ۳ - صفحه مشخصات سازه ای طرح

سه نوع هواپیما به عنوان پیش فرض ترافیکی وجود می باشد ، که می توانیم آنها را حذف و انواع هواپیماهای مورد نظر را وارد کنیم . برای وارد کردن هواپیماها کفایت روی نام هواپیمای مورد نظر کلیک کرده و با گزینه Add آن را به لیست ترافیک مختلط اضافه کنیم . برای هرکدام از هواپیماها وزن ناخالص و تعداد پرواز سالانه فرض شده است که در صورت نیاز می توانیم آنها را تغییر دهیم ، البته محدودیت هایی وجود دارد ، به طوری که تغییرات باعث نشود تا طراحی دور از واقعیت شکل پذیرد .
با استفاده از گزینه Remove می توان هر کدام از هواپیماها را از لیست حذف نمود .



شکل ۴- صفحه مشخصات ترافیکی طرح

طبقه بندی هواپیماها

- هواپیماهای موجود در برنامه به شش گروه تقسیم شده اند : [۷]
- ۱- بطور کلی هواپیماها از لحاظ نحوه قرارگیری چرخها و محورهایشان دسته بندی شده اند .
 - ۲- هواپیماهای مسافری و ایرباس ها از مدل A300 تا A380
 - ۳- انواع بوئینگ ها از 707 تا مدل 777
 - ۴- سایر هواپیماهای تجاری
 - ۵- هواپیما های عمومی و همگانی
 - ۶- هواپیماهای نظامی مدل C5 تا C130 و F15 و F16
- به عنوان مثال ۱۱ نوع هواپیما برای ترافیک مختلط فرودگاهی فرض شده اند :

جدول ۱- هواپیماهای ترافیک مختلط طرح

No.	Name	Gross Weight, lb	Annual Departures	Annual Growth, %
1	A320-100	150,796	600	0.00
2	A340-600 std	805,128	1,000	0.00
3	A340-600 std Belly	805,128	1,000	0.00
4	A380-800	1,239,000	300	0.00
5	B737-800	174,700	2,000	0.00
6	B747-400	877,000	400	0.00
7	B747-400ER	913,000	300	0.00
8	B757-300	271,000	1,200	0.00
9	B767-400 ER	451,000	800	0.00
10	B777-300 ER	777,000	1,000	0.00
11	B787-8	478,000	600	0.00

پس از تکمیل لیست هواپیماهای مورد نظر در ترافیک مختلط با استفاده از گزینه Save List آنها را ذخیره کرده و به قسمت قبل بر می گردیم تا تغییرات سازه ای را روی لایه ها انجام داده و طراحی صورت پذیرد .
 برای تغییر وزن ناخالص با کلیک کردن روی آن می توانیم وزن ناخالص را تا محدوده معینی تغییر دهیم .
 برای تغییر میزان پرواز سالانه با کلیک کردن روی آن می توانیم میزان پرواز سالانه را از ۰ تا ۱۰۰۰۰۰ تغییر دهیم .
 برای تغییر میزان رشد سالانه ترافیک با کلیک کردن روی آن می توانیم میزان رشد سالانه را از -۱۰ تا ۱۰ تغییر دهیم .

رشد سالیانه پرواز تعداد برخاست سالیانه وزن ناخالص هواپیما

Design Aircraft (11)	Gross Taxi Weight (lbs)	Annual Departures	% Annual Growth
A320	150,796	600	0.00
A340-500/600	805,128	1,000	0.00
A340-5/6 Belly	805,128	1,000	0.00
A380-800	1,239,000	300	0.00
B-737-800	174,700	2,000	0.00
B-747-400	877,000	400	0.00
B-747-400ER	913,000	300	0.00
B-757	271,000	1,200	0.00
B-767-400ER	451,000	800	0.00
B-777-300ER	777,000	1,000	0.00

شکل ۵- مشخصات ترافیک مختلط هواپیماهای فرض شده

حداکثر CDF ضریب نشان دهنده میزان خسارت وارد بر روسازی تعداد کل پرواز ها در دوره طرح

Design Aircraft (11)	Total Departures	CDF Contribution	CDF Max for Aircraft
A320	12,000	0.00	0.00
A340-500/600	20,000	0.00	0.00
A340-5/6 Belly	20,000	0.00	0.00
A380-800	6,000	0.00	0.00
B-737-800	40,000	0.00	0.00
B-747-400	8,000	0.00	0.00
B-747-400ER	6,000	0.00	0.00
B-757	24,000	0.00	0.00
B-767-400ER	16,000	0.00	0.00
B-777-300ER	20,000	0.00	0.00

شکل ۶- مشخصات ترافیک مختلط هواپیماهای فرض شده

ضریب خسارات تجمعی (CDF) : Cumulative Damage Factor

این ضریب نشان دهنده میزان خسارات ناشی از ترافیک بر روی روسازی می باشد و به ما این امکان را می دهد تا هواپیما بیشترین حد مجاز به روسازی نیرو وارد کند [۱].

اگر $CDF < 1$ باشد یعنی مقداری از عمر روسازی باقی مانده و روسازی دچار خستگی نشده است .

اگر $CDF = 1$ باشد از تمام عمر مفید روسازی استفاده شده است .

اگر $CDF > 1$ باشد عمر مفید روسازی پایان یافته و روسازی دچار خرابی شده است [۱].

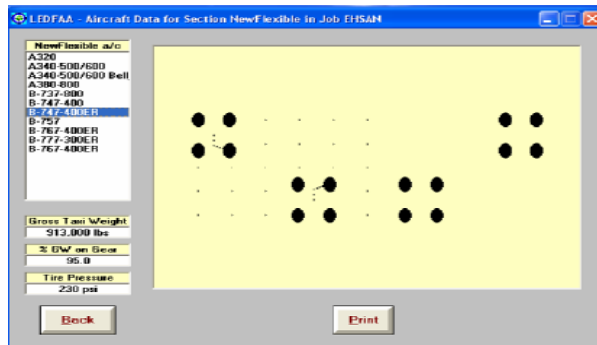
عرض تماس چرخ فضای بین محور های مرکب فضای بین محور های زوج طول تماس چرخ

Design Aircraft (11)	Dual Spacing (in)	Tandem Spacing (in)	Tire Contact Width (in)	Tire Contact Length (in)
A320	36.50	0.00	11.94	19.10
A340-500/600	55.00	78.00	15.19	24.30
A340-5/6 Belly	46.00	78.00	14.55	23.28
A380-800	53.10	66.90	15.54	24.86
B-737-800	34.00	0.00	12.69	20.31
B-747-400	44.00	58.00	14.39	23.03
B-747-400ER	44.00	58.00	13.70	21.91
B-757	34.00	45.00	11.93	19.08
B-767-400ER	45.80	54.00	14.08	22.53
B-777-300ER	55.00	57.60	14.98	23.98

شکل ۷- مشخصات ترافیک مختلط هواپیماهای فرض شده

نکات مهم در وارد نمودن اطلاعات ترافیکی

- بعضی از هواپیماها ممکن است ۲ بار در در این لیست ظاهر شوند که این به خاطر نحوه قرارگیری چرخهایشان می باشد.
- وزن ناخالص ، میزان برخاست سالیانه و میزان رشد سالیانه قابل اصلاح می باشند وبقیه گزینه ها غیر قابل تغییر می باشند .
- در تغییر وزن ناخالص هواپیما یکسری محدودیت هایی وجود دارد و تغییرات در یک بازه مشخص انجام پذیر می باشند تا نشان دهنده وزن واقعی هواپیما باشد .
- برای بدست آوردن تعداد کل پروازها در طراحی ، نرم افزار حرکات سالیانه را با ضریب رشد سالیانه ضرب در تعداد سالهای طراحی کرده و تعداد کل پروازها بدست می آید .
- جهت مشاهده نحوه قرارگیری چرخهای هواپیما ها ، با استفاده از گزینه View Gear می توان شکل قرار گیری چرخها را مشاهده نمود .



شکل ۸- نحوه قرارگیری چرخها

پس از اینکه کلیه اطلاعات ترافیکی را وارد کردیم ، آنها را ذخیره کرده و به مرحله قبل بر می گردیم تا طراحی سازه ای آن را انجام دهیم .
 عمر طراحی را بین ۱ تا ۵۰ سال می توان در نظر گرفت ، که با توجه به استاندارد های FAA ۲۰ سال فرض می کنیم .
 در این مرحله با استفاده از گزینه Design Structure طراحی توسط نرم افزار صورت می پذیرد تا جایی که $CDF=1$ شود .
 برای مشاهده خروجی برنامه در صفحه اول با استفاده از گزینه Notes می توان خروجی برنامه را مشاهده ، ذخیره و از آن پرینت گرفت .

اطلاعات خروجی برنامه

LEDFAA - Layered Elastic Airport Pavement Design (V ۱,۳, June ۲۰۰۴)

Section New Flexible in Job EHSAN.

Working directory is C:\Program Files\Ledfaa\۱۳\

The structure is New Flexible. Asphalt CDF was not computed.

Design Life = ۲۰ years.

A design for this section was completed on ۰۶/۳۰/۰۸ at ۲۳:۱۳:۴۴.

Pavement Structure Information by Layer, Top First

Aircraft	Gross Weight, lbs	Annual Departures
B-۷۳۷-۴۰۰	۱۵۰,۰۰۰	۳۶۰
B-۷۴۷-۴۰۰	۸۷۳,۰۰۰	۴,۲۰۰
B-۷۵۷	۲۵۰,۰۰۰	۳۶۰
B-۷۶۷-۲۰۰	۳۳۵,۰۰۰	۷۲۰
B-۷۷۷-۲۰۰ B	۶۳۴,۵۰۰	۷۲۰
MD-۸۲/۸۸	۱۵۰,۰۰۰	۶۰۰
DC-۱۰-۳۰	۵۸۳,۰۰۰	۳۶۰
MD-۱۱	۶۲۱,۰۰۰	۷۰۰
L-۱۰۱۱	۴۹۶,۰۰۰	۳۲۰

The structure is New Flexible. Asphalt CDF = ۰/۰۰۳۶.

Design Life = ۲۰ years.

Pavement Structure Information by Layer, Top First

No	Type	Thickness inches	Modulus psi	Poisson's Ratio	Strength R, psi
۱	P-۴۰۱ AC Surface	۵/۰۰	۲۰۰,۰۰۰	۰/۳۵	۰
۲	P-۴۰۱ St (flex)	۱۰/۰۰	۴۰۰,۰۰۰	۰/۳۵	۰
۳	P-۲۰۹ Cr Ag	۱۵/۷۹	۴۸,۳۱۲	۰/۳۵	۰
۴	Sub grade	۰/۰۰	۱۲,۰۰۰	۰/۳۵	۰

Total thickness to the top of the sub grade = ۳۰/۷۹ inches

Aircraft Information

No.	Name	Gross Wt. lbs	Annual Departures	% Annual Growth
۱	B-۷۳۷-۴۰۰	۱۵۰,۰۰۰	۳۶۰	۰,۰۰
۲	B-۷۴۷-۴۰۰	۸۷۳,۰۰۰	۴,۲۰۰	۰,۰۰
۳	B-۷۵۷	۲۵۰,۰۰۰	۳۶۰	۰,۰۰
۴	B-۷۶۷-۲۰۰	۳۳۵,۰۰۰	۷۲۰	۰,۰۰
۵	B-۷۷۷-۲۰۰ B	۶۳۴,۵۰۰	۷۲۰	۰,۰۰
۶	MD-۸۲/۸۸	۱۵۰,۰۰۰	۶۰۰	۰,۰۰
۷	DC-۱۰-۳۰	۵۸۳,۰۰۰	۳۶۰	۰,۰۰
۸	DC-۱۰-۳۰ Belly	۵۸۳,۰۰۰	۳۶۰	۰,۰۰
۹	MD-۱۱	۶۲۱,۰۰۰	۷۰۰	۰,۰۰
۱۰	MD-۱۱ Belly	۶۲۱,۰۰۰	۷۰۰	۰,۰۰
۱۱	L-۱۰۱۱	۴۹۶,۰۰۰	۳۲۰	۰,۰۰

نتیجه گیری

از آنجائیکه بار چرخ های هواپیما مستقیماً بر سیستم روسازی اعمال می گردد ، رفتار و وضعیت روسازی بر عملکرد ناوگان تاثیر بسزایی دارد . یکی از مواردی که در سیستم مدیریت فرودگاه مورد بررسی قرار می گیرد ، تاثیر نوع هواپیما بر میزان خرابی وارد بر روسازی فرودگاه می باشد . امروزه با رشد صنعت هواپیمایی در دنیا ، شرکت های سازنده مدل های مختلفی از هواپیماها را روانه بازار نموده اند که تفاوت آنها در نوع کاربری هواپیما ، وزن ، شکل هندسی و نحوه قرارگیری چرخهایشان می باشد ، نوع چرخهای اصلی هواپیما و نحوه قرارگرفتن آنها ، چگونگی و کیفیت توزیع تنش ناشی از وزن هواپیما را به روسازی دیکته می کند . مطالعه ترافیک فرودگاه ها نشان می دهد که همواره طیف وسیعی از هواپیماهای با وزن و سیستم چرخهای گوناگون از باند فرودگاه نشست و برخاست می نمایند . بدیهی است وجود این تفاوت ها در انواع مختلف هواپیماها باعث بوجود آمدن خرابی هایی با شدت مختلف در سیستم روسازی فرودگاه می گردند ، با استفاده از نرم افزار می توان تحلیل های دقیق تری از نوع روسازی مورد نیاز و عمر مفید روسازی و زمان تعمیر آن بدست آورد .

مراجع

- ۱ . Federal Aviation Administration (FAA) - Ledfaa Soft User Manual ۲۰۰۴
- ۲ . PACKARD, R.G. (۱۹۷۳). DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT, PCA, SKOKIE
- ۳ . PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (۱۹۸۶) AIRPORT. CONCRETE THICKNESS DESIGN FOR AIRPORTS AND PAVEMENTS. CONCRETE DESIGN SOFTWARE LIBRARY, PCA, SKOKIE.
- ۴ . RICKARDS, I. (۱۹۹۴). APSDS A STRUCTURAL DESIGN SYSTEM FOR AIRPORT AND INDUSTRIAL PAVEMENTS. PROC. ۹TH AAPA INTERNATIONAL ASPHALT CONF. SURFERS PARADISE, AUSTRALIA.
- ۵ . WITCZAK, M.W., JOHNSON, M.,UZAN, J.DEVELOPMENT OF A PROBABILISTIC RIGID PAVEMENT DESIGN METHODOLOGY FOR MILITARY AIRFIELD., ۱۹۸۵.
- ۶ . AIRPORT PAVEMENT DESIGN AND EVALUATION – ADVISORY CIRCULAR NO: ۵۰/۵۳۲۰-۶D – ۷/۷/۹۵ (change: ۳-April ۲۰،۲۰۰۴)
- ۷ . <http://www.faa.gov/arp>