

مروری بر مبانی و روش‌های ساخت سریع روسازی فرودگاه در شرایط اضطراری

مقاله پژوهشی

محمد رضا شیشه‌بران، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
محمد گلستانه*، مربی، دانشکده و پژوهشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: kpgolestn@ihu.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۱/۱۷ - پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۵

صفحه ۱۱۶-۹۳

چکیده

فرودگاه‌ها یکی از مهم‌ترین مراکز حساس و حیاتی هستند که در شرایط جنگ، مورد تهاجم دشمن قرار می‌گیرند. بنابراین، در شرایط بحرانی نیاز به ساخت و توسعه سریع فرودگاه به منظور انجام نشست و برخاست هواپیماهای جنگی، انجام حملات نظامی، انتقال تجهیزات جنگی، نیروی انسانی و دیگر عوامل ضروری است. در این مطالعه به بررسی مواد، تکنولوژی‌ها و روش‌های ساخت سریع که تاکنون در ساخت روسازی فرودگاه استفاده شده است، پرداخته می‌شود. بدین منظور، روش‌های آنالیز سریع برای شناخت خصوصیات خاک محل، روش‌های آنالیز سریع کیفیت ساخت روسازی، الزامات طراحی روسازی‌های بدون رویه، روش‌های مقاوم‌سازی سریع خاک‌ها جهت به‌کارگیری در ساخت سریع روسازی فرودگاه، کاربرد سیستم کفپوش (ماتینگ) در ساخت و توسعه سریع روسازی هلی‌پد، تاکسی‌وی، توقفگاه، خط پرواز، رویه هواپیماهای بدون سرنشین و همچنین امکان‌سنجی استفاده از مخلوط‌های سرد آسفالتی در ساخت سریع روسازی تاکسی‌وی و توقفگاه و عوامل تأثیرگذار بر مقاومت شیارشدگی مخلوط‌های سرد آسفالتی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: آسفالت سرد، آنالیز سریع خاک، روسازی بدون رویه، کفپوش، هواپیمای بدون سرنشین

۱- مقدمه

راهکارهایی جهت کاهش زمان تعمیر این مراکز و همچنین روش‌های ساخت سریع فرودگاه‌ها برای شرایط اضطراری پرداخته شود. ساخت و توسعه سریع فرودگاه در موقعیت‌های حساس به منظور انجام نشست و برخاست هواپیماهای جنگی، انجام حملات نظامی، انتقال تجهیزات جنگی و نیروی انسانی و دیگر عوامل ضروری است.

بررسی موقعیت ویژه ایران و به دنبال آن حساسیت‌های گوناگون موجود در کشور، لزوم برنامه‌ریزی و پیش‌بینی طرح‌ها و اقدامات مختلف را با رویکرد دفاعی ضروری می‌سازد. بر اساس تئوری پنج حلقه واردن مهم‌ترین وظیفه در طرح‌ریزی جنگ شناسایی مراکز ثقل کشور مورد تهاجم بوده و چنانچه این مراکز با دقت لازم شناسایی و مورد هدف قرار گیرند، کشور مورد تهاجم در اولین روزهای جنگ، شکست خورده و در برابر خواسته‌های کشور متهاجم تسلیم خواهد شد (Kameli et al., 2014). فرودگاه‌ها از جمله مراکز حساس و حیاتی می‌باشند که می‌توانند مورد تهاجم دشمن قرار گیرند، از همین رو باید در کنار اقداماتی که موجب کاهش آسیب‌پذیری این مراکز می‌شود، به بررسی

۲- پیشینه تحقیق

ورود کشورها به عرصه جنگ انکارناپذیر است، با توجه به قرارگیری کشورمان در منطقه خاورمیانه که بخش عظیمی از منابع انرژی را در اختیار دارد، بروز مسئله تروریسم و ناامنی

تغییرات منحنی تراکم و منحنی CBR ارائه دادند. در این تحقیق از اطلاعات پایگاه داده‌ای WES^۱ (Station., 1999) برای ایجاد معادلات پیش‌بینی استفاده شده است (Berney, Ernest, & Wahl, 2008). نتایج این مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. معادلات تعیین مشخصات خاک بر اساس آنالیز سریع (Berney et al., 2008)

رابطه	سطح انرژی	نوع خاک
$OMC (\%) = 9.0697 + 0.47874 * PL - 0.10135 * GSP$ (1)	CE-12	خمیری
$OMC (\%) = 6.8455 + 0.36895 * PL - 0.1428 * GSP$ (2)	CE-55	
$OMC (\%) = 15.038 - 0.096723 * GSP$ (3)	CE-12	غیرخمیری
$OMC (\%) = 12.247 - 0.068758 * GSP$ (4)	CE-55	
$MDD (pcf) = 123.04 - 0.84733 * PL + 0.31392 * GSP$ (5)	CE-12	خمیری
$MDD (pcf) = 131.06 - 0.98307 * PL + 0.3645 * GSP$ (6)	CE-55	
$MDD (pcf) = 96.556 + 0.47188 * GSP$ (7)	CE-12	غیرخمیری
$MDD (pcf) = 102.07 + 0.46044 * GSP$ (8)	CE-55	
$LL = (PL - 9.1367) / 26.84$ (9)	-	-
$NDD = a NMC^4 + b NMC^3 + c NMC^2 + d NMC + e$ (10)	-	-
$CBR = a NMC^4 + b NMC^3 + c NMC^2 + d NMC + e$ (11)	-	-

$GSP = 100 - (1/6) * (\% \text{ finer } \#3/8 + \% \text{ finer } \#4 + \% \text{ finer } \#10 + \% \text{ finer } \#40 + \% \text{ finer } \#100 + \% \text{ finer } \#200)$,

$NMC = MC - OMC$, $NDD = DD/MDD$ و $a, b, c, d =$ ضرایب تجربی

پروژه‌های مهندسی نظامی در سرتاسر جهان با مسائل کیفیت روبه‌رو هستند که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای به جدول زمان‌بندی کلی اضافه می‌کنند و بر خروجی مورد انتظار ساخت‌وساز تأثیر می‌گذارند. کنترل درصد رطوبت بهینه، چگالی و CBR از مهم‌ترین پارامترهای کنترل کیفیت می‌باشند. انجمن مهندسين ارتش آمریکا، تست چکش ضربه‌ای را به‌عنوان جایگزین تست نفوذ مخروط دینامیکی برای تخمین سریع CBR خاک‌ها پیشنهاد دادند. رابطه ۱۲، برای تخمین CBR خاک با استفاده از شاخص CIV^۲ بکار می‌رود (Freeman et al., 2008).

$$CBR = 0.05 CIV^2 + 0.53 CIV \quad (12)$$

این رابطه، مقادیر $CIV \leq 40$ را با دقت حدود ۱۰۰ درصد به CBR تبدیل می‌کند.

به‌ویژه در کشورهای همسایه ایران و تهدیدات روزافزون استکبار جهانی، انجام تحقیقات راهبردی راجع به سازه‌های سریع‌الاحداث جهت حفظ زمان در موقعیت اضطراری جنگ، ضروری است. بر اساس سند راهبردی پدافند غیرعامل یکی از اهداف عملیاتی در این راستا، تسریع بازسازی و احیاء مکان‌های آسیب‌دیده و ساخت سریع آن‌ها به‌منظور تداوم فعالیت‌ها است (PassiveDefenseOrganaziation, 2012)، بنابراین بررسی مواد و تکنولوژی‌هایی که قابلیت ساخت سریع فرودگاه‌ها را فراهم می‌سازند ضروری به نظر می‌رسد. کشورهای مختلف از جمله هند، استرالیا و به‌ویژه مرکز تحقیق و توسعه ارتش مهندسين آمریکا تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه ساخت سریع فرودگاه‌ها انجام داده‌اند، که بیانگر اهمیت این موضوع است.

۳- روش‌های آنالیز سریع خاک

مشخصات خاک به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در فرآیند طراحی سازه‌ای روسازی فرودگاه تأثیرگذار است. در ساخت سریع فرودگاه، برای شناسایی خصوصیات خاک محل فقط چند ساعت زمان در اختیار خواهد بود. مهم‌ترین مشخصات خاک که برای طراحی مورد نیاز است عبارت‌اند از درصد رطوبت بهینه (OMC)، چگالی خشک ماکزیمم (MDD) و نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) (Manual, 1992; Proctor, 1933). مطالعات متعددی به‌منظور تخمین پارامترهای تراکم خاک انجام شده است، در این مطالعات از شاخص خمیری (PI)، حد روانی (LL) و پارامتر اندازه ذرات (GSP)^۱ جهت تعیین اطلاعات تراکم خاک استفاده شده است (Jeng & Strohm, 1976; Johnson & Sallberg, 1960; Ring, 1962; Sherman & Hadjidakis, 1962). طراحی روسازی، اطلاع از روند تغییرات چگالی خشک در برابر درصد رطوبت (منحنی تراکم) و همچنین روند تغییرات CBR در برابر درصد رطوبت (منحنی CBR)، از مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز است. اما در هیچ‌یک از مطالعات فوق‌الذکر رابطه‌ای برای پیش‌بینی رفتار منحنی تراکم و منحنی CBR خاک‌ها ارائه نشده است. مرکز تحقیق و توسعه ارتش آمریکا مطالعات جامعی را به‌منظور پیش‌بینی اطلاعات تراکم خاک، بر اساس سطوح انرژی مختلف و خصوصیات چسبندگی خاک‌ها مبتنی بر شاخص حد خمیری (PL) و GSP ارائه کرده است. همچنین آن‌ها روابطی را برای پیش‌بینی روند

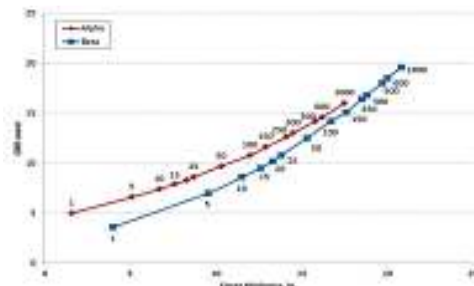
۴- فرودگاه‌های بدون رویه (رویه سنگدانه‌ای)

همیت و همکاران، بر اساس نتایج مطالعه راد در سال ۱۹۷۰ (Ladd, 1970)، مطالعه تامپسون در سال ۱۹۶۰ (Thompson & Burns, 1960) که مبتنی بر انجام آزمایشات تمام‌مقیاس به‌منظور بررسی عملکرد روسازی با رویه سنگدانه‌ای است، رابطه (۱۳) و گراف نشان داده‌شده در شکل (۱) را برای طراحی روسازی‌های بدون رویه پیشنهاد دادند، که فقط برای مقادیر $CBR < 20$ صادق است. این رابطه با اقتباس از روش $CBR-\alpha$ در طرح روسازی‌های انعطاف‌پذیر به‌دست‌آمده است. در این معادله معیار خرابی رویه سنگدانه‌ای بر مبنای وقوع تغییر شکل‌های بیشتر از ۳ اینچ در خاک بستر است (Hammit & Aspinall Iii, 1970).

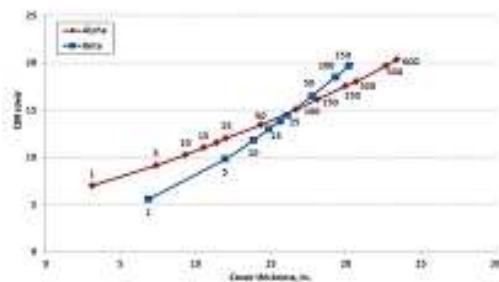
$$t = (0.176 \log c + 0.12) \sqrt{\frac{P}{8.1 (CBR)} - \frac{A}{\pi}} \quad (13)$$

در این رابطه t: ضخامت لایه پوششی (in)، c: تعداد عبور هواپیمای طرح، P: بار چرخ منفرد معادل (Ib) و A و سطح تماس تایر با روسازی (in.²) است.

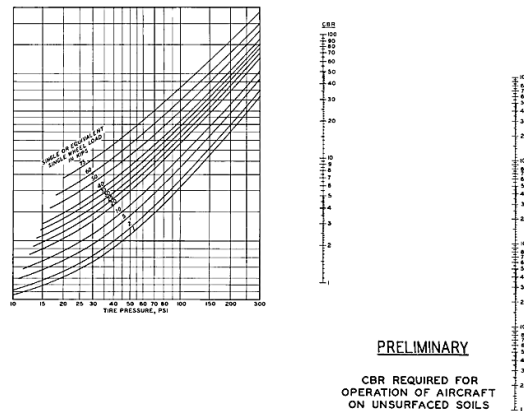
مطالعه نشان می‌دهد که میانگین تعداد عبور مجاز هواپیمای C-17 بر اساس معیار گسیختگی تغییر شکل کمتر از ۳ اینچ بر روی نوار آزمون با مقادیر CBR برابر ۹، ۱۲ و ۱۵ به ترتیب ۲، ۱۷ و ۷۳ بار عبور، است. در حالی که بر اساس رابطه (۱۳) تعداد عبور ترافیک هواپیمای C-17 برای خاک با مقادیر CBR برابر ۹، ۱۲ و ۱۵ به ترتیب ۶، ۳۰ و ۳۰ است. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از گراف و آزمایشات تمام‌مقیاس، بیانگر مقادیر محافظه‌کارانه معادله (۱۳) برای هواپیمای C-17 است. مرکز تحقیق و توسعه ارتش آمریکا، بر اساس روش طراحی $CBR-\beta$ ، گراف‌های نشان داده‌شده در شکل (۲) تا شکل (۵) و جدول (۲) را جهت طراحی روسازی بدون رویه در زمان پرواز هواپیمای طرح C-17 و C-130 ارائه دادند. در این گزارش معیار خرابی رویه سنگدانه‌ای بر مبنای وقوع تغییر شکل‌های بیشتر از ۳ اینچ در خاک بستر است. لازم به ذکر است که روش طرح CBR تنها برای مقادیر CBR کمتر از ۲۰ از دقت قابل‌قبولی برخوردار است. همچنین نتایج روش طرح $CBR-\beta$ در مقایسه با روش طرح $CBR-\alpha$ دارای ضریب اطمینان بالاتر و محافظه‌کارانه است (Bianchini & Gonzalez, 2014).



شکل ۲. چارت طراحی مشخصات کاور برای خاک بستر با $CBR=3$ و هواپیمای C-130 برای تعداد عبور مشخص (Bianchini & Gonzalez, 2014)



شکل ۳. چارت طراحی مشخصات کاور برای خاک بستر با $CBR=3$ و هواپیمای C-17 برای تعداد عبور مشخص (Bianchini & Gonzalez, 2014)



شکل ۱. نمودار تعیین CBR مورد نیاز برای طراحی

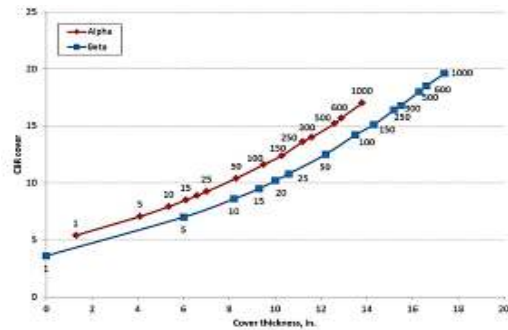
روسازی با رویه سنگدانه‌ای به ازای تغییر شکل بزرگ‌تر از ۳ اینچ (Hammit & Aspinall Iii, 1970)

ویلیام و همکاران (Grogan & Tingle, 1999) با ساخت سه نوار آزمون با مقادیر CBR برابر ۹، ۱۲ و ۱۵ به عمق ۳۶ اینچ، تعداد عبور ترافیک هواپیمای C-17 را بر اساس انجام آزمایشات تمام‌مقیاس تعیین کردند. نتایج این

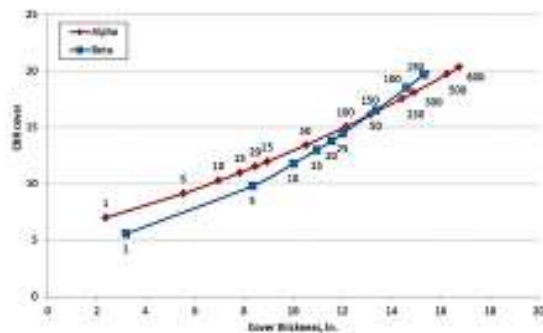
جدول ۲. تعداد عبور مجاز ترافیک هوایمای طرح C-130 و C-17 بر روی روسازی سنگدانه‌ای با $CBR < 20$ با ضخامت کاور صفر (Bianchini & Gonzalez, 2014)

تعداد عبور مجاز C-130		تعداد عبور مجاز C-17		CBR خاک بستر
CBR- α	CBR- β	CBR- α	CBR- β	
۰	۰/۱۶	۰	۰	۱
۰	۰/۳۸	۰	۰/۱۷	۲
۰	۰/۷۱	۰	۰/۳۱	۳
۱/۱۷	۱/۲۲	۰	۰/۵۱	۴
۰/۶۳	۲/۰۳	۰/۱۳	۰/۷۹	۵
۱/۹	۳/۲۴	۰/۴۰	۱/۲	۶
۴/۷۶	۵/۱۰	۱	۱/۷۷	۷
۱۰/۶۰	۷/۸۴	۲/۲۰	۲/۶۰	۸
۲۱	۱۲	۴/۵۰	۳/۷۰	۹
۴۰	۱۸	۸/۶۰	۵/۳۴	۱۰
۱۲۱	۴۱	۲۶	۱۱	۱۲
۱۹۵	۶۲	۴۱	۱۵	۱۳
۳۰۵	۹۴	۶۴	۲۱	۱۴
۴۶۱	۱۴۲	۹۷	۳۰	۱۵
۶۷۹	۲۱۵	۱۴۴	۴۲	۱۶
۹۷۶	۳۲۷	۲۰۷	۶۰	۱۷
۱۳۷۶	۴۹۸	۲۹۱	۸۴	۱۸
۱۹۰۳	۷۶۴	۴۰۳	۱۱۹	۱۹
۲۵۸۹	۱۱۷۹	۵۴۸	۱۶۸	۲۰

آزمایشگاه تحقیقاتی نیروی هوایی آمریکا به انتخاب مؤثرترین روش تثبیت خاک بستر به منظور افزایش مقاومت خاک‌های ضعیف طی ۷۲ ساعت برای فرودگاه‌های اضطراری پرداخت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد استفاده از سیمان پرتلند نوع ۳ به میزان ۵ درصد وزن خشک خاک همراه با الیاف پلی پروپیلین، به میزان یک درصد وزن خشک خاک باعث افزایش چشمگیر مقاومت فشاری محدود نشده خاک بستر با $CBR < 2$ و همچنین افزایش انعطاف‌پذیری این مخلوط‌ها می‌گردد (Rafalko et al., 2006). بر اساس برنامه ساخت سریع روسازی فرودگاه‌ها (JRAC)، تثبیت خاک‌ها با استفاده از فیبر پلی پروپیلین تک‌رشته‌ای و سیمان زود سخت شونده، به‌عنوان یک روش سریع و مؤثر برای افزایش CBR خاک‌ها بکار گرفته می‌شود. میزان مصرف سیمان و فیبر به ترتیب حدوداً ۴ الی ۵ درصد و ۰٫۲ تا ۰٫۴ درصد جرم خشک خاک پیشنهاد شده است. برای جلوگیری از آسیب رطوبتی، سطح خاک تثبیت‌شده، با لایه‌ای از قیر امولسیون ضد آب



شکل ۴. چارت طراحی مشخصات کاور برای خاک بستر با $CBR=5$ و هوایمای C-130 برای تعداد عبور مشخص (Bianchini & Gonzalez, 2014)



شکل ۵. چارت طراحی مشخصات کاور برای خاک بستر با $CBR=5$ و هوایمای C-17 برای تعداد عبور مشخص (Bianchini & Gonzalez, 2014)

مرکز تحقیق و توسعه ارتش آمریکا به ساخت روسازی بدون رویه برای هوایمای بوئینگ C-17 می‌پردازد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برای ۵۰۰ بار عبور هوایمای طرح بر روی خاک بستر با $CBR=10$ ، به رویه‌ای با ضخامت ۱۵۰ میلی‌متر و لایه اساس با ضخامت ۱۷۵ میلی‌متر نیاز است. مقدار CBR و چگالی خشک ماکزیمم مورد نیاز برای رویه و اساس خط پرواز به ترتیب ۵۰ و ۹۸ درصد است. همچنین مقدار CBR و چگالی خشک ماکزیمم مورد نیاز برای رویه تاکسی‌وی و توقفگاه به ترتیب ۵۰ و ۹۸ درصد و برای اساس به ترتیب ۱۰ و ۹۰ درصد است (G. L. Anderton et al., 2008).

سه عامل نوع خاک، روش تثبیت خاک و تعداد عبور غلتک پارامترهای تأثیرگذار در CBR خاک‌ها می‌باشند. در صورتی که نمی‌توان با دو پارامتر نوع خاک و تعداد عبور غلتک به CBR و چگالی خشک ماکزیمم طرح دست یافت، می‌توان از روش‌های تثبیت خاک استفاده کرد (G. L. Anderton et al., 2008).

تامپسون و همکاران (Thompson & Burns, 1960) گراف‌هایی را مبتنی بر روش طرح CBR برای طراحی سیستم کفپوش M-8 و M-9 ارائه دادند. این گراف‌ها بر اساس وزن بار چرخ منفرد هواپیما، فشار تایر، هدف طراحی (شرایط اضطراری ۱۴ روزه برای ۴۰ کاوریج و یا طرح میان‌مدت ۶ ماهه برای ۷۰۰ کاوریج) و مشخصات کاور هستند. همچنین ایستگاه آزمایشگاهی ارتش مهندسين آمریکا کفپوش T7 را از آلیاژ منیزیم تولید کردند، که وزن واحد سطح آن نصف بلوک‌های فلزی سوراخ‌دار و مقاومت کششی و فشاری آن به ترتیب ۳۰ و ۵۰ درصد بیشتر از آن است. نتایج تست‌های انجام شده توسط WES، بر روی خاک‌هایی با مقاومت مختلف تحت ترافیک محور تک‌چرخ، با فشار ۲۰۰ پوند بر اینچ مربع، بیانگر عملکرد بهتر T7 نسبت به M8 و M9 است (Garrett & Horsley, 1957). در سال ۱۹۶۱ الی ۱۹۶۷ تلاش‌ها برای ساخت کفپوش سبک و با مقاومت بالا منجر به تولید کفپوش پلاستیکی خانواده T-x گردید، این سیستم از هسته‌ای آلومینیومی با چگالی بالا و دارای ساختار لانه‌زنبوری که بین دو لایه فوم پوششی (از جنس پارچه شیشه‌ای تسلیح شده با رزین فنولیک یا اپوکسی) قرار دارد تشکیل شده است و در چهار نوع T-11 (Brown, 1966)، T-12 (Green, 1968)، T-13 (Turner, 1965) و T-14 (Green, 1967) تولید می‌گردد. تغییر شکل خاک بستر و جابه‌جایی کفپوش بر روی خاک‌هایی با $CBR=4$ به ضخامت یک متر در زمان اعمال بار چرخ منفرد ۵۰۰۰۰ پوند با فشار ۲۵۰ پوند بر اینچ مربع مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که این کفپوش‌ها بعد از کمتر از ۳۰ بار عبور ترافیک اعمال شده، دچار گسیختگی می‌شوند و استفاده از آن برای ساخت فرودگاه‌های موقتی پیشنهاد نمی‌گردد. در سال‌های بعد تلاش‌های زیادی برای ایجاد و اصلاح سیستم‌های کفپوش انجام شد، این تلاش‌ها منجر به تولید سیستم کفپوش آلومینیومی اکستروژن دو، سه و چهار تکه شد. طول هر تکه ۱۲ فوت و عرض آن ۸ اینچ و تکه‌ها با جوش به یکدیگر متصل شده‌اند. مروری بر تحقیقات انجام شده بر روی این سیستم‌های آلومینیومی نشان می‌دهد که تقریباً همه این سیستم‌ها با انجام آزمایشات تمام‌مقیاس بر روی خاک بستر به عمق ۶۰ سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. عملکرد سیستم‌های چندتکه آلومینیومی بر روی سه مقطع با مقادیر CBR برابر ۳، ۶ و ۱۰، تحت ترافیک هواپیمای فاننوم

می‌گردد. همچنین خاک استفاده شده برای اساس و رویه باید از الک ۱۲،۵ میلی‌متر رد شده باشند تا از وقوع پدیده FOD^۵ (ورود و برخورد اجسام خارجی در اثر بلند شدن هلی‌کوپتر و هواپیما) جلوگیری شود (Newman & White, 2008).

۵- کاربرد سیستم کفپوش در ساخت سریع روسازی فرودگاه

کفپوش‌های ساخته شده از مواد سبک، شامل مش‌های مفتولی، چوب روکش‌دار و فنس‌های دارای روکش و همچنین کفپوش‌هایی با مصالح قوی‌تر فولادی و آلومینیومی برای اولین بار در سال ۱۹۴۵ به‌عنوان جایگزین آسفالت و بتن در ساخت روسازی فرودگاه استفاده شد. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که کفپوش‌های فولادی و آلومینیومی گزینه برتر هستند (Tolbert, 1945). بلوک‌های فلزی سوراخ‌دار جزء اولین کفپوش‌هایی است که از عملکرد مناسبی برای تحمل وزن هواپیمای سنگین ۵۰ هزار پوندی برخوردار بود. حدود ۸۰۰ میلیون فوت مربع از این کفپوش، در جنگ جهانی دوم مورد استفاده قرار گرفت (Robinson, 1992). سیستم کفپوش پارچه‌ای نیز در جنگ جهانی دوم، توسط مهندسين ارتش کانادا ایجاد شد، این نوع کفپوش از پارچه آغشته به قیر ساخته شده است و عمدتاً به‌عنوان پوششی ضد آب بر روی سطح خاک تثبیت شده بکار می‌رود. تمامی این سیستم‌ها عملکرد خوب خود را در موقعیت به کار گرفته شده، به اثبات رساندند، اما برای جنگنده‌های سنگین و بمب‌افکن‌ها دارای عملکرد مناسبی نیستند (Dover, Anderson, & Brown, 2002). ساخت هواپیماهای جنگنده پیچیده‌تر، تحقیقات برای ایجاد سیستم‌های کفپوش قوی‌تری که بتوانند وزن جنگنده‌های سنگین و بمب‌افکن‌ها را نیز تحمل کرده و همچنین دارای پایداری و دوره عملکرد بیشتر و قابلیت استفاده مجدد باشند، آغاز شد. در سال ۱۹۵۱ کفپوش فولادی M-8 و کفپوش آلومینیومی M-9 در راستای دستیابی به این اهداف تولید شدند. برای اتصال پنل‌ها در راستای عرضی از اتصالات کشویی و برای اتصال پنل‌ها در راستای طولی از اتصالات مکانیکی استفاده شد.

سرعت اجرای سیستم کفپوش M-8 و M-9 به ترتیب برابر ۳۶۱ و ۳۹۷ فوت مربع در هر ساعت توسط مرد بالغ است (PassiveDefenseOrganiation, 2012).

۵-۱- کاربرد سیستم کفپوش در ساخت هلی پد

کفپوش‌های استفاده شده در پروژه JRAC جهت ساخت سریع هلی پد، عمدتاً عملکرد غیر سازه‌ای دارند و به منظور مقابله با پدیده FOD مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شکل (۶) و جدول (۳) به ترتیب تصاویر و مشخصات سیستم‌های کفپوش غیرسازه‌ای استفاده شده در این پروژه جهت ساخت سریع هلی پد نشان داده شده است.



(Mobi-Mat)

(Dura-Base)



(Supa-Trac)

(Multi-Purpose (MP))

شکل ۶. کفپوش‌های بکاررفته در ساخت سریع هلی پد
(G. Anderton & Gartrell, 2005)

جدول ۳. مشخصات کفپوش سیستم‌های غیر سازه‌ای در ساخت سریع هلی پد (G. Anderton & Gartrell, 2005)

سیستم مانتینگ	مشخصات فنی	تعداد پنل برای ساخت منطقه پرواز	وزن واحد سطح (کیلو متر مترمربع)	نرخ پیشرفت پروژه (ft ² /man-hr)
Mobi-Mat	بارچه پلی استر بافته شده	۱۲ پنل ۴/۲ × ۱۰ متر	۱/۹	۵۰۰
Dura-Base	پلی اتیلن با چگالی بالا	۵۰ پنل ۲/۴ × ۴/۳ متر	۴۲/۶	۳۰۰
Supa-Trac	مواد پلاستیکی پلی پروپیلین	۲۴۵۰ پنل ۹۱۴ × ۲۲۹ میلی متر	۷/۵	۶۰۰
MP Mat (GFI, 2006)	فایبر گلاس ۵ لایه	۱۲۵ پنل ۲/۰ × ۲/۰ متر	۱۱/۸	۳۰۰

F-4 با وزن ۶۰ هزار پوند، بار چرخ منفرد ۲۷۰۰۰ پوند و فشار تایر ۴۰۰ پوند بر اینچ مربع مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که این سیستم‌ها می‌تواند حدود ۳۲۰۰ بار عبور بار چرخ (۱۶۰۰ سیکل یا ۱۸۸ کاورج) را در خاک‌هایی با CBR برابر ۵٫۷ و بزرگ‌تر از آن تحمل نماید (Brabston, 1967; Burns & Barker, 1966; White Jr, 1971, 1973). انجمن مهندسين ارتش آمریکا، عملکرد پنل خرابایی توخالی ساخته شده با آلیاژ آلومینیوم بر روی مقطع با CBR برابر ۴ به عمق ۶۰ سانتی‌متر را تحت ترافیک هواپیمای طرح با وزن ۵۰ هزار پوند، فشار تایر ۲۵۰ پوند بر اینچ مربع تحت بار محور تک‌چرخ منفرد، مورد بررسی قرارداد. طول، عرض، ضخامت و چگالی این پنل به ترتیب ۹ فوت، ۲ فوت، ۱٫۵ اینچ و ۶٫۳ پوند بر اینچ مربع و ۷۷۸ فوت مربع از آن توسط یک مرد بالغ در یک ساعت قابل نصب است. پنل‌ها در عرض خود با استفاده از اتصالات I شکل و در طول خود با استفاده از اتصالات نر و مادگی به هم متصل می‌شوند. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که این سیستم قادر به تحمل حداقل ۱۴۱۰ عبور بار چرخ منفرد با فشار تایر ۲۵۰ پوند بر اینچ مربع پیش از خرابی ۱۰ درصد پنل‌ها است (White Jr, 1974). فاستر و همکاران (Foster & Burns, 1952) رابطه (۱۴) را، مبتنی بر روش طرح CBR برای تعیین ضخامت روسازی انعطاف‌پذیر معادل که توسط سیستم کفپوش ایجاد می‌شود (t)، پیشنهاد دادند.

$$t = (0.23 \log c + 0.15) \sqrt{P \left(\frac{1}{8.1 \text{ CBR}} - \frac{1}{p \pi} \right)} \quad (14)$$

که در آن، C تعداد کاورج هواپیمای طرح (بدون واحد)، P بار چرخ منفرد معادل (Ib) و p فشار تایر (Psi).

زمانی که ضخامت معادل روسازی انعطاف‌پذیر سیستم کفپوش تعیین شد، معادله فوق برای تعیین تعداد کاورج مجاز بر اساس CBR خاک بازنویسی می‌شود و در نهایت تعداد عبور مجاز بار چرخ منفرد با داشتن نسبت عبور به کاورج (P/C)، برای تعداد کاورج محاسبه شده به دست خواهد آمد. روش طرح CBR فقط برای خاک‌های ضعیف (CBR < 10) پیشنهاد می‌شود.

۳۰۰۰۰ پوند و فشار تایر ۹۵ پوند بر اینچ مربع، مورد ارزیابی قرار گرفتند:

Dura-Base, Multi-Purpose (MP), Rapid Mat, Rolla Road

کفپوش Rapid Mat از ۹ پل جداگانه که با اتصالات مفصلی لولایی به هم متصل شده‌اند، تشکیل شده است. ابعاد هریک از پل‌ها ۱/۸ در ۹/۱ متر است. این کفپوش وزن مرده بالایی دارد و از همین رو برای جابه‌جایی آن به حداقل یک الی دو لیفتراک نیاز است. کفپوش Rolla Road از تولیدات کفپوش لاستیکی است که برای ورود و خروج وسایل نقلیه سنگین طراحی شده است و به صورت رول شکل است که ابعاد آن ۱۵/۲۵ در ۲/۴ متر و وزن آن ۳۸-۴۵ کیلوگرم در هر متر است (Gartrell, Newman, & Anderton, 2009).



(Rapid Mat)

(Rolla Road)

شکل ۷. کفپوش‌های بکاررفته در ساخت سریع روسازی تاکسی

وی و توقفگاه (G. Anderton & Gartrell, 2005)

در جدول (۴) تعداد عبور مجاز بار چرخ هواپیمای بوئینگ C-130 پیش از وقوع گسیختگی خاک بستر برای کفپوش‌های فوق‌الذکر نشان داده شده است. در این مطالعه نسبت P/C برابر ۱ است، به عبارت دیگر بار چرخ در یک مسیر مشخص و بدون جابه‌جایی حرکت می‌کند. این الگوی ترافیک بدترین حالت ممکن است، چراکه در عمل همواره شاهد جابه‌جایی در مسیر چرخ حرکت هواپیما هستیم.

جدول ۴. تعداد عبور مجاز بار چرخ هواپیمای C-130 بر روی

سیستم کفپوش پیش از وقوع گسیختگی خاک بستر

(Gartrell et al., 2009)

تعداد عبور به ازای تغییر شکل ۳ اینچ در بستر (گسیختگی خاک بستر)			مشخصات فنی	سیستم کفپوش
40<CBR<50	8<CBR<10	3<CBR<5		
۱۰۵	۲۵	۵	بدون کفپوش	مقطع کنترل
>۲۰۰۰	>۲۰۰۰	>۲۰۰۰	پلی اتیلن با چگالی بالا	Dura-Base

نتایج تست‌های انجام شده نشان می‌دهد که هریک از این سیستم‌ها می‌توانند به‌طور موفقیت‌آمیزی، بار هلی‌کوپتر طرح (CH-47,UH-60) را تحمل نمایند. وزن زیاد کفپوش Dura-Base و در نتیجه ایجاد محدودیت در انتقال تعداد پل با هر هواپیما و نیاز به لیفتراک برای حمل و نقل آن را می‌توان از عوامل محدودکننده برای استفاده از این سیستم در ساخت سریع روسازی فرودگاه‌ها دانست. همچنین سیستم Supa-Trac علائمی از سایش و خرابی را تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی از خود نشان می‌دهد و از این رو نیازمند ملاحظات بیشتری است تا بتوان از آن، جهت ساخت هلی‌پد در شرایط اضطراری استفاده کرد. دو سیستم MP-Mat و Mobi-Mat تمام شرایط مورد نیاز را برآورده می‌کنند، اما سیستم MP-Mat عملکرد بهتری را در ارتباط با شرایط خاک نرم در مقایسه با Mobi-Mat از خود نشان می‌دهد (G. Anderton & Gartrell, 2005).

۲-۵- کاربرد سیستم کفپوش در ساخت سریع تاکسی

وی و توقفگاه

ساخت سریع تاکسی وی و توقفگاه منجر به افزایش MOG در فرودگاه‌ها می‌شود. پارامتر MOG تعداد حداکثر هواپیمایی است که می‌تواند فرودگاه را در یک زمان مشخص اشغال کند، بدون آنکه مسیرهای دسترسی سایر هواپیماها با خط پرواز فعال فرودگاه، تداخل داشته باشد. توسعه سریع پارکینگ و تاکسی وی برای فرودگاه، در برنامه‌ریزی جنگ به منظور به‌کارگیری سناریوهای مختلف بسیار مهم است، چراکه یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده در به‌کارگیری هواپیما در شرایط دشوار فضای پارکینگ و تاکسی وی مناسب برای هر هواپیما است، به طوری که هواپیما در شرایط دشوار بلافاصله بعد از فرود بتواند خط پرواز را ترک کند تا هواپیمای بعدی بتواند فرود آید (G. Anderton & Gartrell, 2005).

بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ برنامه JRAC بر روی ساخت سریع تاکسی وی و توقفگاه متمرکز شد. در فاز نخست این مطالعه، عملکرد کفپوش‌های زیر، بر روی خاک‌هایی با مقاومت بالا (40<CBR<50)، متوسط (8<CBR<10) و پایین (3<CBR<5) در زمان عبور هواپیمای C-130 با بار چرخ منفرد محور اصلی برابر

نتایج ارزیابی های انجام شده نشان می دهد که سیستم کفپوش Dura-Base، به عنوان گزینه برتر به منظور افزایش ظرفیت مقطع ساخته شده با خاک های SM و CH که در معرض بار هواپیمای بوئینگ C-17 قرار دارند، هستند. وزن زیاد و نیاز به لیفتراک برای حمل و نقل این سیستم را می توان از عوامل محدودکننده برای استفاده از این سیستم در ساخت سریع روسازی فرودگاه ها دانست (Gartrell, 2007).

دایل و همکاران (Doyle et al., 2012) به بررسی عملکرد کفپوش های مختلف در زمان اعمال ترافیک شبیه سازی شده بوئینگ C-17 بر روی سه مقطع با خاک های با مقاومت بالا ($40 < CBR < 50$)، متوسط ($10 < CBR < 40$) و ضعیف ($3 < CBR < 5$) با استفاده از مدلسازی اجزاء محدود سه بعدی پرداختند. مشخصات کفپوش ها در جدول (۶) نشان داده شده است. همچنین مدول الاستیسیته (مدول برجهنگی) خاک بستر نیز از رابطه تجربی (۱۵) که مبتنی بر CBR خاک ها است و یا رابطه تجربی (۱۶) که مبتنی بر ضریب عکس العمل بستر خاک است، بدست می آید (Barker & Gonzalez, 1991; Heukelom & Foster, 1962).

$$E = 110 (CBR) \quad (15)$$

در این رابطه E مدول الاستیسته خاک (kg/cm^2) است.

$$\text{Log}(M_R) = 1.415 + 1.284 \text{ log}(k) \quad (16)$$

در این رابطه M_R مدول برجهنگی خاک برحسب پوند بر اینچ مربع و k ضریب عکس العمل بستر هستند.

عملکرد سیستم های کفپوش بر اساس اندازه گیری سطح تنش در خاک بستر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مدل سازی نشان می دهد که سیستم کفپوش Rapid Mat و Rolla Road برای تحمل ترافیک هواپیمای بوئینگ C-17 مناسب نیست. سیستم کفپوش MP Mat تنها برای تحمل ترافیک هواپیمای بوئینگ C-17 در خاک هایی با مقاومت بالا و متوسط، دارای عملکرد مناسبی است. سیستم کفپوش Dura-Base دارای بهترین عملکرد بر روی خاک های با مقاومت بالا، متوسط و همچنین خاک های سست است. بین نتایج مدل سازی با تست های آزمایشگاهی که نیازمند صرف زمان و هزینه است انطباق بسیار خوبی وجود دارد و به عنوان ابزاری پیش از ساخت نوار آزمون پیشنهاد شده است (Doyle et al., 2012).

MP Mat	فایرگلاس	۵۵	۳۳۰	>۲۰۰۰
Rapid Mat	فایرگلاس فشرده	-	-	۱۰۱۰
Rolla Road	پلیمری	-	-	۱۰۵۰

همان طور که مشاهده می شود، سیستم کفپوش Dura-Base عملکرد بسیار خوبی را در تمامی شرایط دارا است و هیچ نشانه ای از شکست و یا خرابی اتصالات در آن مشاهده نمی شود. همچنین سیستم کفپوش MP Mat نیز عملکرد نسبتاً خوبی را از خود به ویژه در خاک های با مقاومت بالا، نشان می دهد. سیستم کفپوش Rapid Mat و Rolla Road تکیه گاه سازه ای مناسبی برای بهبود عملکرد خاک نمی باشند و برای ساخت سریع تاکسی وی و توقفگاه توصیه نمی شوند (Gartrell et al., 2009).

در فاز دوم تحقیقات ساخت سریع تاکسی وی و توقفگاه، کفپوش های Dura-Base و MP Mat را که عملکرد قابل قبولی در زمان اعمال ترافیک شبیه سازی شده C-130 داشتند، بر روی مقطع با خاک ماسه سیلتی (SM) دارای مقاومت متوسط ($8 < CBR < 10$) و مقطع با خاک های رسی دارای خاصیت خمیری زیاد (CH) با مقاومت پایین ($3 < CBR < 5$)، در زمان اعمال بار چرخ هواپیمای گول بیگر بوئینگ C-17 با بار چرخ منفرد محور اصلی برابر ۳۴۲۷۰ پوند و فشار تایر ۱۴۲ پوند بر اینچ مربع، مورد ارزیابی قرار دادند. در جدول (۵) تعداد عبور مجاز بار چرخ هواپیمای بوئینگ C-17 پیش از وقوع گسیختگی خاک بستر برای کفپوش های فوق الذکر نشان داده شده است.

جدول ۵. تعداد عبور مجاز بار چرخ هواپیمای C-17 بر روی سیستم کفپوش پیش از وقوع گسیختگی خاک بستر (Gartrell, 2007)

سیستم کفپوش	تعداد عبور به ازای تغییر شکل ۳ اینچ در بستر (گسیختگی خاک بستر)	
	$3 < CBR < 5$	$8 < CBR < 10$
مقطع کنترل	۱	۲۹
Dura-Base	۸۰۰	>۲۰۰۰
MP Mat	۱	۵۶۱

جدول ۶. مشخصات کفپوش‌های به‌کاررفته در ساخت تاکسی وی و توقفگاه (Doyle et al., 2012).

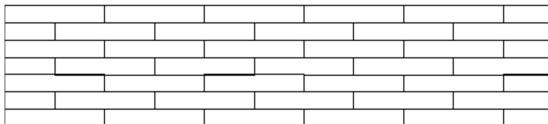
مشخصات	سیستم کفپوش			
	Rapid Mat	Rolla Road	MP Mat	Dura-Base
جنس	فایبرگلاس	پلیمر	فایبرگلاس	پلی اتیلن با چگالی بالا
عرض (متر)	۹/۱۰	۲/۴۰	۲/۰۴	۲/۴۴
طول (متر)	۱۶/۵۰	۱۵/۳۰	۲/۰۴	۴/۲۷
ضخامت (سانتی متر)	۰/۶۴	۲/۵۴	۰/۹۵	۱۰/۸۰
ضریب پواسون	-	-	۰/۲۰	۰/۳۰
وزن مخصوص (کیلو متر بر مترمربع)	۹	۴۳	۱۲	۴۶
مدول مؤثر پتل کفپوش (متر بر مگاپاسکال)	-	-	۱۶۹۶۰	۳۲۱
مدول مؤثر بین پتل‌ها (متر بر مگاپاسکال)	-	-	۱۱۷۰۰	۴۶۲

(Rushing, & Garcia, 2014). در طی عملیات حرارتی، آلومینیوم تا دمای حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شده و سپس سرد می‌شود، طی این فرآیند عناصر منیزیم و سیلیس که بین ساختار شبکه‌ای آلومینیوم قرار گرفته‌اند، به داخل آلیاژ آلومینیوم رسوب کرده و باعث افزایش استحکام آلیاژ آلومینیوم می‌شوند (AMS-H-6088, 2000). آلیاژ AA6061 به دلیل قابلیت جوش پذیری بالا، نسبت بالای مقاومت به وزن، انعطاف پذیری زیاد، مقاومت زیاد در برابر خوردگی و وجود تناسب بین مقاومت و قابلیت اکستروژن، برای تولید مقاطع پیچیده به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود و در کاربردهای سازه‌ای، این آلیاژ عمدتاً در اثر تکرار بارگذاری دچار شکست می‌شود (Epstein, Kaufman, & Pollak, 1994). طول، عرض، ضخامت، وزن و چگالی هر پتل کامل به ترتیب ۱۲ فوت، ۲ فوت، ۱٫۵ اینچ، ۱۴۵ پوند و ۶٫۱ پوند بر اینچ مربع است، همچنین طول، عرض، ضخامت و وزن هر نیمه پتل به ترتیب ۶ فوت، ۲ فوت، ۱٫۵ اینچ و ۷٫۴ پوند است. هسته پتل‌های اکستروژن شده شامل سخت‌کننده‌های عمودی I شکل، با فاصله ۱٫۷۵ اینچ در جهت ۱۲ فوت است. پس از اکستروژن آلومینیوم، اتصالات عرضی ساخته شده با این آلیاژ به انتهای پتل جوش داده می‌شوند، برای جوشکاری از روش اصطکاکی اغتشاشی (FSW) استفاده می‌شود. پتل‌ها دارای دو نوع اتصال مفصلی پوششی و نر و مادگی می‌باشند. همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود پتل‌ها در عرض خود (2ft) با استفاده از اتصالات پوششی^۱ و در طول خود (12ft) با استفاده از اتصالات نر و مادگی^{۱۱} به هم متصل می‌شوند و بعد از آنکه اتصالات پوششی مونتاژ شد و در کنار هم قرار گرفت، یک میله مستطیل شکل توپر از جنس آلیاژ آلومینیوم AA6061 در داخل شکاف تعبیه شده در اتصالات مکانیکی پوشش و در عرض پتل (2ft) قرار می‌گیرد تا از جابه‌جایی قائم پتل‌ها جلوگیری به عمل آید. همچنین سطح پتل با مواد ضد لغزش و ترمز به منظور افزایش زبری سطح پوشیده می‌شود (L. Garcia et al., 2016).

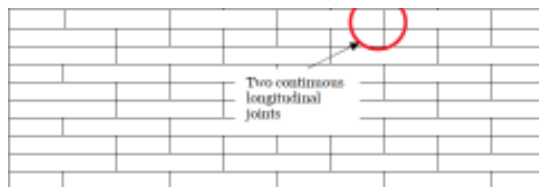
۳-۵- کاربرد سیستم کفپوش سازه‌ای در ساخت سریع خط پرواز

سیستم کفپوش AM-2 رایج‌ترین سیستمی است که برای ساخت سریع خط پرواز، پدهای نشست و برخاست قائم و ساخت تاکسی وی و توقفگاه قابل استفاده است (Dover et al., 2002). این سیستم از آلیاژ آلومینیوم 6061-T6^{۱۲} با هسته توخالی و طی عملیات حرارتی رسوب سختی (T6) ساخته شده است. بیش از ۹۷ درصد این آلیاژ از آلومینیوم تشکیل شده است و سایر آلیاژهای تشکیل دهنده آن عبارت‌اند از: منیزیم، سیلیسیم، مس، منگنز، آهن و کروم (Jogi et al., 2008). مقاومت کششی نهایی و تسلیم این آلیاژ به ترتیب ۳۰۳ و ۲۸۳ مگاپاسکال است (Allison,

فقط در انتهای هر ردیف استفاده می‌شود و در نتیجه تعداد زیادی از این پنل‌ها بدون استفاده باقی خواهند ماند و به همین دلیل الگوهای جایگزین 2-1 Lay و 3-4 Lay با هدف بهینه‌سازی در استفاده از پنل‌های ۶ فوتی ایجاد شدند. چیدمان 2-1 Lay برای خط پرواز و تاکسی وی با سرعت بالا قابل استفاده است، در این چیدمان تعداد پنل‌های ۶ فوتی و ۱۲ فوتی مورد استفاده با یکدیگر برابرند، همچنین دو ردیف نخست این چیدمان مشابه آرایش دیوار آجری است و سومین ردیف از آرایش 2-1 Lay با پنل کامل ۱۲ فوت شروع می‌شود و با نیمه پنل ۶ فوت ادامه می‌یابد. این چیدمان برخلاف آرایش دیوار آجری منجر به قرارگیری دو اتصال ۲ فوتی در یک راستا (راستای طولی) می‌شود که می‌تواند باعث تضعیف عملکرد خط پرواز گردد (L. Garcia et al., 2016; Hoffman, Garcia, & Rushing, 2018). آرایش 3-4 Lay برای استفاده در پارکینگ و مناطق تاکسی وی ثانویه با سرعت پایین طراحی شده است. سه ردیف نخست این آرایش مشابه آرایش دیوار آجری است و چهار ردیف بعدی با استفاده از هر پانلی که در دسترس است اجرا می‌شود و در بدترین حالت منجر به قرارگیری شش اتصال ۲ فوتی در یک راستا (راستای طولی) می‌شود (T. W. Rushing, Garcia, & Tingle, et al., 2014).

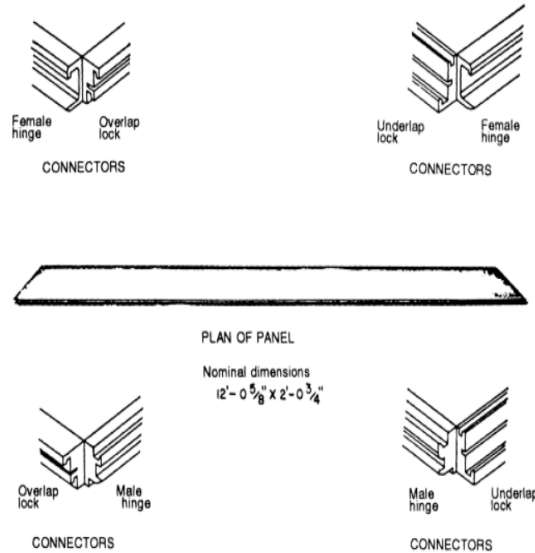


شکل ۹. آرایش چیدمان دیوار آجری برای پنل‌های AM-2 (L. Garcia et al., 2016)



شکل ۱۰. آرایش 2-1 lay برای چیدمان پنل‌های AM-2 (Hoffman et al., 2018)

گسیختگی ناشی از تغییر شکل خاک بستر یکی از دلایل خرابی سیستم کفپوش است. جان و همکاران در سال ۲۰۰۵ مدلی را جهت پیش‌بینی تغییر شکل خاک بستر در زمان حرکت وسایل نقلیه سنگین نظامی ارائه دادند (Jones et al., 2005). همچنین درشر و همکاران در سال ۲۰۰۸ مدلی



شکل ۸. پنل AM2، اتصالات پوششی و نر-مادگی

(MATS, 2015)

خصوصیات خمشی پنل‌های AM-2 شامل ممان اینرسی (I)، مدول الاستیسیته خمشی (E) و صلیبیت خمشی (D) در جدول (۷) نشان داده شده است، لازم به ذکر است که خصوصیات خمشی پنل‌های AM-2 با استفاده از تست خمش سه نقطه‌ای از طریق اندازه‌گیری بار و تغییر شکل قائم متناظر با آن به دست می‌آید. این تست برای هر دو جهت طولی (L) و عرضی (T) انجام می‌شود (T. W. Rushing, 2018).

جدول ۷. خصوصیات خمشی (ممان اینرسی، مدول الاستیسیته

خمشی و صلیبیت خمشی) پنل AM-2 (T. W. Rushing, 2018)

پنل AM-2	پارامتر
۴/۸۱	$I^{Transverse} (mm^4 \times 10^4)$
۴/۴۷	$I^{Longitudinal} (mm^4 \times 10^4)$
۴/۳۰	$E_{Flexural}^{Transverse} (Mpa \times 10^4)$
۱/۱۲	$E_{Flexural}^{Longitudinal} (Mpa \times 10^4)$
۲۰۶۸/۳	$D_{Flexural}^{Transverse} (N.m^2)$
۵۰/۶۴	$D_{Flexural}^{Longitudinal} (N.m^2)$

انواع آرایش چیدمان پنل‌های AM-2 عبارت است از: دیوار آجری (شکل ۹)، 2-1 lay (شکل ۱۰) و 3-4 lay.

آرایش دیوار آجری رایج‌ترین الگوی استفاده شده برای چیدمان پنل‌ها است. این آرایش بهترین عملکرد را برای انتقال بار بین پنل‌ها دارا است، چراکه مفصل طولی پیوسته در آن شکل نمی‌گیرد. در آرایش دیوار آجری پنل‌های ۶ فوتی

اغتشاشی (2ft) گسترش می‌یابد و در نهایت منجر به جدا شدن اتصال از انتهای پنل می‌شود. گسترش این خرابی در هواپیمای F-15E به دلیل فشار بالای تایر عمدتاً با سرعت بیشتری گسترش می‌یابد، و ۴. خرابی اتصالات نر و مادگی به طول بزرگ‌تر از ۶۰ اینچ. انواع مدهای شکست پنل در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۱۲. نمایش انواع مدهای شکست پنل AM-2

(L. Garcia et al., 2016; L. Garcia, Heiser, et al., 2015; Hoffman et al., 2018)

گارسیا و همکاران (L. Garcia et al., 2016) با انجام آزمایشات تمام‌مقیاس به ارزیابی عملکرد پنل‌های AM-2 با آرایش دیوار آجری بر روی خاک بستر با $CBR=6$ تحت ترافیک شبیه‌سازی شده هواپیمای F-15E و بوئینگ C-17 پرداختند. هواپیمای F-15E متشکل از دو محور اصلی تک‌چرخ با بار چرخ منفرد ۳۵۰۰۰ پوند و فشار تایر ۳۲۵ پوند بر اینچ مربع و هواپیمای C-17 متشکل از دو محور اصلی شش‌چرخ با بار چرخ منفرد ۴۴۹۳۰ پوند و فشار تایر ۱۴۲ پوند بر اینچ مربع است. خصوصیات بارگذاری هواپیمای طرح با خودروی حمل بار (شکل ۱۳) شبیه‌سازی شده است.

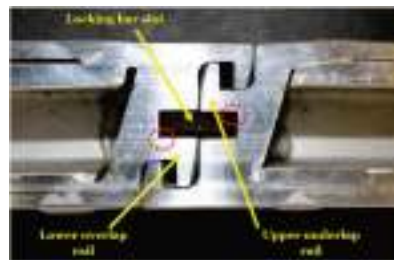


شکل ۱۳. خودروی حمل بار هواپیمای (a) F-15E (b) C-17 (Gartrell, 2007; T. W. Rushing, 2018)

را بر مبنای المان محدود سه‌بعدی جهت پیش‌بینی تغییر شکل خاک بستر در زمان حرکت وسایل نقلیه بر روی خاک‌های ماسه‌ای و رسی پیشنهاد دادند (Hambleton & Drescher, 2008). هیچ‌یک از این مدل‌ها علی‌رغم پیچیدگی، برای محاسبه آسیب تجمعی، تحت سیکل بارگذاری تکراری و در نتیجه محاسبه تغییر شکل خاک بستر در زیر سیستم کفپوش مناسب نمی‌باشند (Chai & Miura, 2002; Li & Selig, 1996).

دو معیار برای گسیختگی سیستم کفپوش سازه‌ای AM-2 در نظر گرفته شده است: (۱) شکست خستگی پنل‌ها: شکست بیش از ۱۰ درصد پنل‌ها، درصد شکست خستگی پنل‌ها از تقسیم مساحت پنل‌های آسیب‌دیده به مساحت کل پنل‌ها به دست می‌آید. (۲) گسیختگی ناشی از تغییر شکل خاک بستر: وقوع تغییر شکل بزرگ‌تر از ۱/۲۵ اینچ برای هواپیمای F-15E و بزرگ‌تر از ۳ اینچ برای هواپیمای C-17 در خاک بستر، لازم به ذکر است که محور اصلی در بوئینگ C-17 از قدرت بالایی برای تحمل تغییر شکل خاک بستر تا ۳ اینچ برخوردار است.

مدهای اصلی شکست پنل‌های AM-2 عبارت‌اند از: ۱. شکستن ریل اتصال در طول بیش از ۱۲ اینچ از نقاط نشان داده شده در شکل (۱۱) که منجر جدایی دو پنل مجاور از یکدیگر می‌شود. عدم اجرای ماهیچه در شکاف اتصال پوششی و تمرکز تنش در این نقطه را می‌توان، علت اصلی این مد شکست دانست.



شکل ۱۱. محل تمرکز تنش در اتصالات پوششی در پنل AM-2 (L. Garcia, Rushing, et al., 2015)

۲. ایجاد ترک‌های با طول بزرگ‌تر از ۱۰ اینچ در پوسته بالایی پنل، ۳. وقوع ترک در جوش اصطکاکی اغتشاشی بین اتصال پوششی و هسته پنل، به طوری که ترک‌ها ابتدا در جوش فیوژن بین اتصال پوششی و اتصال مفصلی نر و مادگی شروع می‌شوند و سپس در تمام طول جوش اتصال اصطکاکی

می‌دهد که شکست زود هنگام پنل‌ها در این مطالعه، به دلیل شکست ریل اتصال پوششی ناشی از تمرکز تنش در نقاط گوشه کانال اتصال به دلیل عدم ماهیچه‌ای بودن گوشه کانال است (مد ۱).

معادلات طراحی سیستم AM-2 با آرایش دیوار آجری به منظور تعیین تعداد عبور مجاز بار چرخ هوایم‌ای طرح F-15E و C-17، با نسبت P/C به ترتیب ۴ و ۱،۱۲ مبتنی بر CBR خاک بستر بر اساس معیار گسیختگی تغییر شکل ۱/۲۵ اینچ و ۳ اینچ به ترتیب برای F-15E و C-17 و شکست خستگی (در دو حالت شکست اولین پنل و شکست ۱۰ درصد پنل‌ها) در جدول (۹) نشان داده شده است. این معادلات با انجام آزمایشات تمام‌مقیاس بر روی خاک‌هایی با CBR مختلف ۶، ۱۰، ۱۵، ۲۵ و ۱۰۰ در زیر سیستم کفپوش AM-2 در زمان نشست هوایم‌ای طرح به دست می‌آید.

جدول ۹. معادلات طراحی سیستم کفپوش AM-2 بر اساس

CBR خاک بستر

معادله پیش‌بینی	معیار گسیختگی	هوایم‌ای
$\delta_s = \log P. 1.64. CBR^{-0.61}$ (17)	تغییر شکل (T. W.) Rushing & Howard, 2015	F-15E
$\frac{CBR}{N_f-1} = 6.1 \times 10^{-3}$ (18)	شکست خستگی به ازای اولین شکست پنل (T. W.) (Rushing et al., 2016)	
$\frac{CBR}{N_f-4} = 4.3 \times 10^{-3}$ (19)	شکست خستگی به ازای خرابی ۱۰ درصد پنل‌ها (T. W. Rushing et al.,) 2016	
$\frac{CBR}{N_f-lab} = 5.3 \times 10^{-3}$ (20)	شکست خستگی به ازای خرابی اتصالات (T. W.) (Rushing et al., 2016)	
$\delta_s = \log P. 1.92. CBR^{-0.467}$ (21)	تغییر شکل (T. Rushing & Howard, 2017)	C-17
$CBR = 0.1237 \times N_f^{0.5452}$ (22)	شکست خستگی به ازای خرابی ۱۰ درصد پنل‌ها (T.) Rushing & Howard, 2017	
$\frac{CBR}{N_f^{0.344}} = 0.74$ (23)	شکست خستگی به ازای خرابی اتصالات (T.) Rushing & Howard, 2017	

در این مطالعه فرض شده است که هر الگوی تردد ترافیک هوایم‌ای F-15E منجر به ۱۶ بار عبور بار چرخ منفرد یا ۴ کاورجیج (تعداد دفعاتی که در هر الگو، چرخ بارگذاری از نقطه‌ای واحد در خط مرکزی ترافیک نوار آزمون عبور می‌کند) می‌شود. بنابراین نسبت P/C (معکوس مجموع احتمال عبور چرخ هوایم‌ای از نقطه‌ای مشخص در خط مرکزی سطح روسازی به ازای هر بار عبور) برابر ۴ است یعنی احتمال آنکه هر بار عبور هوایم‌ای منجر به عبور کردن از یک نقطه‌ای مشخص در خط مرکزی سطح روسازی در نوار آزمون شود ۲۵ درصد است. در الگوی تردد ترافیک بوئینگ C-17، نسبت P/C برابر ۱،۱۲ است یعنی احتمال آنکه هر بار عبور هوایم‌ای منجر به عبور کردن از یک نقطه‌ای مشخص در خط مرکزی سطح روسازی در نوار آزمون گردد، ۹۰ درصد فرض شده است. تعداد عبور مجاز ترافیک هوایم‌ای طرح برای سیستم کفپوش AM-2 بر روی خاک بستر با CBR=6 در جدول (۸) نشان داده شده است.

جدول ۸. تعداد عبور مجاز ترافیک هوایم‌ای طرح بر روی پنل

AM2 برای خاک بستر با CBR=6

(L. Garcia et al., 2016).

معیار هوایم‌ای	تعداد عبور به ازای اولین آسیب به پنل	تعداد عبور مجاز بر اساس معیار شکست خستگی	تغییر شکل متناظر بر روی سطح کفپوش (in)
F-15E	۲۴۰	۴۷۶	۱/۲۵
C-17	۱۶۸	۳۰۸	۳/۹۱

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود، تعداد عبور مجاز بر اساس معیار شکست گسیختگی در مطالعه گارسیا و همکاران برای هوایم‌ای F-15E و C-17 به ترتیب برابر ۴۷۶ و ۳۰۸، عبور بار چرخ هوایم‌ای طرح است که در مقایسه با پژوهش مبنای راشینگ و همکاران که برابر ۱۵۰۰، عبور بار چرخ هوایم‌ای طرح است (T. W. Rushing & Tingle, 2007)، به ترتیب کاهش ۷۰ و ۸۰ درصدی را نشان می‌دهد. نتایج آزمایشات تمام‌مقیاس نشان

جدول ۱۱. تعداد عبور مجاز هوایمای F-15E بر روی سیستم کفپوش در دو حالت اجرا و عدم اجرای ماهیچه بر روی خاک بستر با CBR=6 (L. Garcia, Rushing, et al., 2015)

معیار گسیختگی مشخصات کفپوش	تعداد عبور به ازای خرابی ۱۰ درصد پنل‌ها	تعداد عبور به ازای وقوع تغییر شکل بزرگ‌تر از ۱/۲۵ اینچ
عدم اجرای ماهیچه در شکاف اتصال پوششی	(۱۱,۹ درصد) ۹۲۳	(۱,۵۱ اینچ) ۴۹۶
اجرای ماهیچه در شکاف اتصال پوششی	(۱۱,۹ درصد) ۲۰۵۶	(۱,۸۱ اینچ) ۱۰۰۸

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که طرح اتصالات انتهایی پنل AM-2 با گوشه گرد شده (ماهیچه‌ای) قادر به عبور بیش از دو برابر ترافیک هوایمای طرح F-15E بر روی خاک بستر با CBR=6 در مقایسه با حالت عدم اجرای ماهیچه بر اساس هر دو معیار گسیختگی تغییر شکل و شکست خستگی است. هافمن و همکاران (L. I. Garcia et al., 2014a) به بررسی تأثیر چیدمان و آرایش Lay 2-1 برای پنل‌های AM-2، بر تعداد عبور مجاز هوایمای طرح F-15E و C-17 بر روی خاک بستر با CBR=25 پرداختند. نتایج این مطالعه در جدول (۱۲) نشان داده شده است.

جدول ۱۲. تعداد عبور مجاز ترافیک هوایمای طرح بر روی پنل AM2 با آرایش Lay 2-1 برای خاک بستر با CBR=25 برای ساخت خط پرواز (L. I. Garcia et al., 2014a)

معیار هوایما	تعداد عبور به ازای اولین آسیب به پنل	تعداد عبور مجاز بر اساس معیار شکست خستگی	تعداد عبور مجاز بر اساس معیار گسیختگی تغییر شکل
F-15E	۱۰۰۸	۷۱۲۰	۲۵۴۴
C-17	—	^۱ >۱۰۰۸	^۲ >۱۰۰۸

^۱ بعد از ۱۰۰۸۰ بار عبور (۹۰۰۰ کاوریج) بار چرخ هوایمای C-17 هیچ پنلی آسیب نمی‌بیند.

^۲ تغییر شکل خاک بستر بعد از ۱۰۰۸۰ عبور بار چرخ هوایمای C-17 برابر ۲,۵ اینچ است.

در جدول فوق δ_s تغییر شکل خاک (اینچ)، P تعداد عبور هوایما، CBR نسبت باربری کالیفرنیا (درصد)، N_{F-1} تعداد عبور هوایمای طرح به ازای شکست اولین پنل و N_{F-4} تعداد عبور هوایمای طرح به ازای خرابی ۱۰ درصد پنل‌ها است. به‌عنوان مثال CBR مورد نیاز برای ۳۰۰۰ بار عبور هوایمای C-17 با در نظر گرفتن تغییر شکل مجاز خاک ۱/۲۵ اینچ (CBR=36%)، خرابی سیستم (CBR=10%) و خرابی اتصالات (CBR=12%) برابر ۳۶ درصد است. در این مثال تغییر شکل خاک عامل کنترل‌کننده است. همچنین محققین دیگری نیز به بررسی تأثیر CBR خاک بستر بر عملکرد شکست خستگی سیستم کفپوش AM-2 در زمان اعمال ترافیک بار چرخ هوایمای F-15E و بوئینگ C-17 پرداختند. نتایج این بررسی‌ها در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۱۰. تعداد عبور مجاز بار چرخ هوایمای طرح به ازای خرابی ۱۰ درصد پنل‌ها بر اساس CBR خاک و هوایمای طرح

تعداد عبور ترافیک پیش از خرابی ۱۰ درصد پنل‌ها		مقاومت خاک (CBR)
C-17	F-15E	
۱۵۰۰	۱۵۰۰	۶ (T. W. Rushing & Tingle, 2007)
۶۰۰۰	۳۰۰۰	۱۰ (T. W. Rushing, Torres, & Mason, 2008)
۷۰۰۰	۴۱۰۰	۱۵ (T. W. Rushing & Mason, 2008)
۱۰۰۰۰*	۶۳۰۰	۲۵ (L. I. Garcia, Rushing, & Mason, 2014a)
—	۲۳۰۰۰	۱۰۰ (L. I. Garcia et al., 2014b)

گارسیا و همکاران (L. Garcia, Rushing, et al., 2015)

در مرکز تحقیق و توسعه ارتش مهندسين آمریکا، به بررسی عملکرد اتصال پوششی انتهایی پنل AM-2 پرداختند. بدین منظور آزمایشات تمام‌مقیاس بر روی سیستم کفپوش AM-2 با دو نوع طرح اتصال انتهایی مختلف شامل اجرای ماهیچه در کانال اتصال و عدم اجرای ماهیچه در کانال اتصال بر روی خاک بستر با CBR=6 و به ضخامت ۳۶ اینچ تحت ترافیک هوایمای طرح F-15E با آرایش دیوار آجری انجام شد. نتایج این مطالعه در جدول (۱۱) نشان داده شده است.

در این پژوهش ارائه دادند: ۱. استفاده از آلیاژ منیزیم در فرآیند اکستروژن پنل AM-2 ۲. استفاده از آلیاژهای آلومینیوم با مقاومت بالا (گروه 7XXX) از قبیل ۷۰۷۵ و ۷۰۵۵، که به دلیل مقاومت بسیار زیادشان می‌توانند باعث کاهش ضخامت موردنیاز و در نتیجه کاهش وزن پنل شوند. اکستروژن این آلیاژها برای ساخت مقطع پنل AM-2 دشوار است. در این شرایط از اکستروژن بخش‌های پنل به صورت جداگانه با آلیاژهای گروه 7xxx و سپس اتصال آن‌ها با جوش به روش اصطکاکی اغتشاشی، می‌توان برای ساخت پنل استفاده کرد.

۵-۴- ارزیابی عملکرد سیستم کفپوش برای پهباد

مرکز تحقیق و توسعه ارتش مهندسی آمریکا، به بررسی سیستم‌های کفپوش مختلف به عنوان سطح رویه توقفگاه و آشیانه نشست و برخاست هواپیمای بدون سرنشین (پهباد) MQ بر روی خاک بستر با $CBR=6$ به ضخامت ۲۴ اینچ با نسبت P/C برابر ۴، پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سیستم کفپوش ALMATS^{۱۳} بهترین عملکرد را در شرایط مذکور دارا است، به طوری که بعد از ۷۳۹۸ بار عبور ترافیک هواپیمای MQ هیچ پنلی دچار شکست نشده است و تغییر شکل خاک بستر کمتر از ۰/۵ اینچ است. پنل‌های ALMATS بسیار مشابه با AM-2 می‌باشند، طول، عرض، ضخامت، وزن و چگالی هر پنل کامل به ترتیب برابر ۱۰۳ اینچ، ۲۰ اینچ، ۱ اینچ، ۵۷ پوند و ۳/۹۷ پوند بر اینچ مربع است. افزایش فاصله سخت‌کننده‌های قائم به ۳ اینچ و استفاده از آلیاژ پر مقاومت AA 6082 و کاهش ضخامت موردنیاز به ۱ اینچ را می‌توان اصلی‌ترین عوامل کاهش چگالی پنل ALMATS نسبت به پنل AM-2 دانست (L. Garcia, Rushing, & Rutland, 2017). هافمن و همکاران (Hoffman & Garcia, 2018) به بررسی عملکرد سیستم ALMATS برای ساخت پارکینگ و تاکسی وی هواپیمای F-15E با بار چرخ منفرد ۲۶۷۵۰ پوند و فشار تایر ۳۲۵ پوند بر اینچ مربع و C-17 با بار چرخ منفرد ۳۴۲۷۰ پوند و فشار تایر ۱۴۲ پوند بر اینچ مربع بر روی خاک بستر با $CBR=6$ به ضخامت ۲۴ اینچ و با آرایش دیوار آجری پرداختند. نتایج این مطالعه در جدول (۱۴) نشان داده شده است.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نیازی به بهسازی خاک بستر و یا تعمیر و جابه‌جایی پنل‌های AM-2 برای عمر بهره‌برداری مورد انتظار در شرایط بحرانی (۱۵۰۰ بار عبور) برای هواپیمای طرح در شرایط $CBR=25$ و آرایش 2-1 Lay نیست. راشینگ و همکاران (T. W. Rushing, Garcia, Tingle, et al., 2014) به بررسی عملکرد سیستم کفپوش AM-2 با آرایش 3-4 Lay بر روی خاک بستر با $CBR=6$ و به عمق ۳۶ اینچ در زمان اعمال ترافیک هواپیمای طرح (F-15E و C-17) برای ساخت خط پرواز و تاکسی وی اصلی با سرعت بالا پرداختند. نتایج این پژوهش در جدول (۱۳) نشان داده شده است.

جدول ۱۳. تعداد عبور مجاز ترافیک هواپیمای طرح بر روی پنل AM2 با آرایش 3-4 Lay برای خاک بستر با $CBR=6$ برای ساخت خط پرواز

(T. W. Rushing, Garcia, Tingle, et al., 2014)

معیار هواپیما	تعداد عبور مجاز بر اساس معیار شکست گسیختگی	تغییر شکل متناظر بر روی سطح کفپوش (in)
F-15E	۱۳۵	۰/۶۲
C-17	۵۶	۰/۹۵

* مد غالب شکست خستگی برای هر دو هواپیمای طرح، مد ۱ است و به دلیل آرایش قرارگیری، اتصالات نمی‌توانند نقش خود را در انتقال بار ایفا کنند.

مطابق جدول (۱۳)، تعداد عبور مجاز برای هواپیمای F-15E و C-17 به ترتیب برابر ۱۳۵ و ۵۶ بار عبور ترافیک است که در مقایسه با پژوهش مبنای راشینگ و همکاران که برابر ۱۵۰۰، عبور بار چرخ هواپیمای طرح است (T. W. Rushing & Tingle, 2007)، به ترتیب کاهش ۹۰ و ۹۵ درصدی را نشان می‌دهد. بنابراین، نمی‌توان از آرایش 3-4 Lay برای چیدمان پنل‌ها در خط پرواز و تاکسی وی اولیه با سرعت بالا استفاده کرد و این آرایش تنها برای ساخت پارکینگ و تاکسی وی ثانویه با سرعت کم قابل استفاده است.

الیسون و همکاران (Allison et al., 2014) به بررسی مصالحی که قابلیت جایگزین شدن با آلیاژ آلومینیوم T6061 را برای ساخت AM-2 به منظور ساخت پنل‌های سبک‌تر، برخوردار است، پرداختند. آن‌ها پیشنهادات زیر را

جدول ۱۴. تعداد عبور مجاز ترافیک هواپیمای طرح بر روی پنل ALMATS برای خاک بستر با $CBR=6$ به منظور ساخت تاکسی وی و توقفگاه (Hoffman & Garcia, 2018)

معیار هواپیما	تعداد عبور به ازای اولین آسیب به پنل	تعداد عبور مجاز بر اساس معیار شکست خستگی	تغییر شکل متناظر بر روی سطح کفپوش (in)
F-15E	۴۸	۱۵۲	۰/۴۱
C-17	۲۴۰	۶۶۰	۰/۸۵

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سیستم کفپوش ALMATS قبل از تحمل ۱۵۰۰ بار عبور ترافیک هواپیمای طرح به دلیل جدایی اتصال پوششی از هسته پنل، دچار شکست می‌شود و از مقاومت کافی برای تحمل بارهای سنگین تر از پهباد بر روی خاک بستر با $CBR=6$ برخوردار نیست.

۵-۵ ارزیابی عملکرد سیستم کفپوش سازه‌ای جایگزین AM-2

عملکرد سیستم کفپوش AM-2 برای تحمل ترافیک هواپیماهای مدرن نظامی و جنگی از قبیل F-15E و C-17 بسیار موفقیت‌آمیز بوده است، اما به دلیل ابعاد و وزن آن امکان جابه‌جایی آن با هواپیما دشوار است و نیروی هوایی ارتش مهندسين آمریکا در برنامه‌ای با عنوان AM-X به ارزیابی و شناسایی سیستم‌های کفپوش سبک، به‌عنوان جایگزین AM-2 می‌پردازد. گارسیا و همکاران (L. Garcia, 2016) در مرکز تحقیق و توسعه ارتش آمریکا، به بررسی عملکرد چهار نوع سیستم کفپوش بر روی خاک بستر با $CBR=6$ در زمان نشست و برخاست هواپیمای F-15E پرداختند. مشخصات فیزیکی این پنل‌ها در جدول (۱۵) نشان داده شده است.

پنل M-19 از هسته لانه‌زنبوری آلومینیومی با ضخامت ورق ۰/۱۲۵ اینچ که در قسمت بالا و پایین توسط دو ورق آلومینیومی به ضخامت ۰/۶۳ اینچ با چسباننده اپاکسی چسبیده شده است، تشکیل می‌شود. اتصالات پنل M-19 مشابه AM-2 است. هسته پنل کامپوزیت کربن از سخت‌کننده‌های کربنی که بین آن‌ها با فوم پلی اورتان پر شده، تشکیل شده است. هسته در قسمت بالا و پایین با دو ورق از جنس فیبر کربن توسط

چسباننده اپاکسی چسبیده شده و سطح آن زیر و غیر لغزنده است. اتصالات این پنل از جنس آلومینیومی و به‌گونه‌ای ساخته شده که وقتی دو پنل در راستای طولی و عرضی در کنار هم قرار می‌گیرند یک شکاف H شکل تشکیل می‌شود که یک میله H شکل از جنس نایلون فشرده برای جلوگیری از جابه‌جایی پنل‌ها داخل آن قرار گیرد. پنل کامپوزیت آلومینیومی لانه‌زنبوری مشابه M-19 است، با این تفاوت که پوسته بالا و پایین از ورقی از جنس فیبر کربن که بین دو صفحه آلومینیومی فشرده شده، تشکیل می‌شود. همچنین اتصال پنل‌ها در راستای طولی با اتصال نر و مادگی مشابه پنل AM-2 و در راستای عرضی با اتصالات H شکل مشابه پنل کامپوزیت کربن صورت می‌پذیرد. پنل MLC-70 از اکستروژن ورق آلومینیومی ساخته شده است. برای اتصال پنل‌ها در راستای طولی، اتصال T شکل (نر) به داخل اتصال C شکل (ماده) لبه دیگر به صورت کشویی متصل می‌شود. پس از آنکه پنل‌ها با آرایش دیوار آجری در کنار هم قرار گرفتند، پیچ‌های مخصوص فولادی به داخل شکاف‌های تعبیه شده در لبه اتصالات نر پنل قرار داده می‌شوند تا از جابه‌جایی پنل‌ها جلوگیری شود. نتایج این پژوهش در جدول (۱۶) نشان داده شده است.

جدول ۱۵. مشخصات فیزیکی پنل‌های جایگزین AM-2 (L. Garcia, 2016)

نام پنل	ابعاد (in)	چگالی (lb/ft ²)	E_c^{NJ} Composit (MPa)
AM-2 (Gonzalez & Rushing, 2010)	۱۴۴×۲۴×۱/۵	۶۱	۲۷۳۷۲
M-19 (Gonzalez & Rushing, 2010)	۵۰/۲×۴۹/۵×۱/۵	۴/۳	۳۴۴۷
کامپوزیت کربن (T. W. Rushing, Garcia, & Mason, 2011)	۸۴×۵۰×۱/۲۵	۴/۲۶	۱۶۹۳۱
پنل کامپوزیت آلومینیومی لانه‌زنبوری (T. W. Rushing et al., 2011)	۱۰۴×۴۲×۱/۲۵	۴/۰۲	۲۴۲۰
MLC-70 (T. W. Rushing, Garcia, & Mason, 2014)	۱۸۰×۹×۱/۲۵	۶/۵۵	۳۷۹۳

مقاومت پنل در برابر تغییر شکل بدون در نظر گرفتن خصوصیات اتصالات (E_c^{NJ})

جدول ۱۶. تعداد عبور مجاز ترافیک هواپیمای F-15E بر

روی پنل AM-X برای خاک بستر با CBR=6

(L. Garcia, 2016)

تعداد عبور	تعداد عبور مجاز	تعداد عبور به	معیار
مجاز - معیار	- معیار شکست	ازای اولین	کفپوش
تغییر شکل	خستگی	آسیب	
۳۸۴	۱۵۳۶	۴۰۰	AM-2
۱۹۲	۲۰۸۵	۵۳۰	M-19
۴۹۶	۳۴۰۴	۱۷۰۰	کامپوزیت کربن
۲۴۰	۶۶۲	۴۰۰	کامپوزیت لانه زنبوری
۴۸	-	-	MLC-70

مطابق جدول فوق، عامل کنترل کننده در تعیین تعداد عبور ترافیک شبیه سازی شده بار چرخ هواپیمای طرح F-15E، برای خاک بستر با CBR=6، تغییر شکل خاک بستر است. در میان پنل های AM-X، تنها کامپوزیت کربن عملکرد مناسبی را دارا است. راشینگ و همکاران (T. W. Rushing, Garcia, & Mason, 2014) به بررسی توانایی سیستم کفپوش MLC-70 برای تحمل ترافیک هواپیمای F-15E بر روی خاک بستر با CBR=25 و CBR=100 به ضخامت ۲۴ اینچ، با انجام آزمایشات تمام مقیاس پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می دهد که خاک بستر با CBR=25، توانایی تحمل ۱۰۰۸ بار عبور ترافیک هواپیمای طرح را پیش از وقوع تغییر شکل های بزرگ تر از ۱/۲۵ اینچ دارا است. خاک بستر با CBR=100 به ضخامت ۲۴ اینچ پس از تحمل ۳۷۱۶ بار عبور ترافیک F-15E کمتر از ۰/۳ اینچ تغییر شکل می دهد، پیش بینی می شود که این سیستم حداقل ۱۰,۰۰۰ بار عبور ترافیک جنگنده F-15E را قبل از وقوع تغییر شکل های بزرگ تر از ۱/۲۵ اینچ تحمل نماید. بنابراین برای اعمال حداقل ۱۰۰۰ بار عبور ترافیک جنگنده F-15E بر روی سیستم کفپوش MLC-70، مقدار CBR خاک بستر باید بزرگ تر از ۲۵ باشد. گارسیا و همکاران (L. Garcia & Hoffman, 2018) در مرکز تحقیق و توسعه ارتش مهندسی آمریکا به ارزیابی سه سیستم کفپوش می پردازند. پنل ALMATS اصلاح شده، در این سیستم اتصالات در راستای عرضی اصلاح شده اند به طوری که شکاف آن با قرارگیری تنها یک ریل با لبه رو به بالا و یک ریل با لبه روبه پایین دو پنل

مجاور شکل می گیرد. ۲. سیستم کفپوش S46، از دو قاب اکستروژن آلایز آلومینیوم 6005A که توسط جوش FSW به هم متصل شده اند، تشکیل می شود. ۳. سیستم کفپوش I-Trac، که از پلی پروپیلین بسیار فشرده ساخته شده است. نتایج آزمایشات تمام مقیاس نشان می دهد که هر سه سیستم، پیش از ۵۰ بار عبور هواپیمای F-15E بر روی خاک بستر با CBR=6 دچار شکست گسیختگی می شوند و برای ساخت روسازی خط پرواز قابل استفاده نیستند.

۶- کاربرد مخلوط سرد آسفالتی در ساخت و

تعمیر سریع فرودگاه

آسفالت سرد بیشتر در موقعیت های که دسترسی به آسفالت گرم کارخانه ای دشوار است و یا نیاز به ساخت و تعمیر سریع باشد، بکار می رود. آسفالت سرد عمدتاً به دلیل حلال های استفاده شده در قیرها دارای عملکرد شیارشدگی نسبتاً ضعیفی است و ریسک وقوع پدیده FOD در زمان نشست و برخاست هواپیما را افزایش خواهد داد (J. F. Rushing, Cox, & Floyd, 2017). در سال های اخیر مطالعات متعددی در زمینه امکان سنجی استفاده از مخلوط سرد آسفالتی در ساخت و تعمیر روسازی خط پرواز، تاکسی وی و توقفگاه و همچنین بهبود خصوصیات شیارشدگی قیرها به منظور استفاده در آسفالت سرد انجام شده است. مرکز تحقیق و توسعه مهندسی ارتش آمریکا به بررسی امکان پذیری استفاده از ۷ نوع تولید تجاری آسفالت سرد برای تعمیر سریع رویه های آسفالتی در زمان پرواز هواپیمای F-15E می پردازد. نتایج تست های میدانی نشان می دهد آسفالت های سرد مورد بررسی با توجه به فشار بالای چرخ هواپیمای طرح دارای عملکرد مطلوبی نیستند و عمق شیارشدگی آنها زیاد است، از این رو استفاده از آسفالت سرد برای ساخت و تعمیر روسازی های فرودگاهی در معرض هواپیماهای با فشار تابر بالا توصیه نمی شود. این مطالعه استفاده از مخلوط های سرد آسفالتی را فقط در ساخت تاکسی وی و توقفگاه توصیه می کند (Mejías-Santiago, Valle-Roldan, & Priddy, 2010). راشینگ و همکاران (J. F. Rushing et al., 2017) در مرکز تحقیق و توسعه ارتش مهندسی آمریکا به بررسی عملکرد شیارشدگی ۹ مخلوط سرد با استفاده از تست آزمایشگاهی ویل ترک پرداختند. نتایج تست شیارشدگی بیانگر عملکرد بسیار مناسب مخلوط های سرد ساخته شده با قیر امولسیون در مقایسه با مخلوط های سرد

تحقیقات نشان می‌دهد که علاوه بر مشخصات قیر، جنس فیلر و نوع دانه‌بندی نیز بر عملکرد شیارشدگی مخلوط سرد آسفالتی تأثیرگذار است. استفاده از فیلر سیمان و دانه‌بندی پیوسته در ساخت مخلوط‌های سرد آسفالتی باعث افزایش چشمگیر مقاومت شیارشدگی مخلوط می‌گردد، به طوری که این مخلوط‌ها عملکرد مشابه و یا حتی بهتر از آسفالت گرم داشته و می‌توانند در بدنه روسازی راه استفاده شوند (Hasanuzzaman, Hashemian, & Bayat, 2017; Head, 1974; Oruc, Celik, & Akpinar, 2007). ناگیم و همکاران نشان می‌دهند که استفاده از فیلر خاکستر بادی در مقایسه با سیمان پرتلند تأثیر بیشتری در افزایش مقاومت شیارشدگی مخلوط‌های سرد آسفالتی دارد (Al Nageim et al., 2012). علاوه بر استفاده از آسفالت سرد و سیستم کفپوش که قابلیت به‌کارگیری در تعمیر سریع روسازی فرودگاه را دارا می‌باشند.

استفاده از فوم پلی اورتان (Gurtowski et al., 2016)، بتن زود سخت شونده (Priddy et al., 2007) و آسفالت گرم گسوردی (Chavoshian, Golestaneh, & Khosravi, 2017) از دیگر روش‌هایی است که می‌توان برای تعمیر سریع چاله‌های حاصل از بمب بکار برد. همچنین کفپوش به‌منظور ساخت راه‌های موقتی برای تحمل ترافیک خودروهای نظامی سنگین نیز قابل استفاده می‌باشند (T. W. Rushing & Howard, 2011).

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله مرور کاملی بر روش‌های ساخت سریع روسازی فرودگاه در شرایط اضطراری انجام شد. در بخش اول و دوم، مقدمه و ضرورت انجام تحقیق بیان شد. در بخش سوم، به بررسی روش‌های آنالیز سریع خاک در مرحله طراحی روسازی پرداخته شد و معادلاتی جهت پیش‌بینی مقادیر درصد رطوبت بهینه، چگالی خشک ماکزیم، منحنی تراکم (تغییرات درصد رطوبت- چگالی خشک)، منحنی CBR (تغییرات درصد رطوبت - CBR) و حد روانی بر اساس پارامترهای طبقه‌بندی خاک، حد خمیری و پارامتر اندازه ذرات ارائه گردید. در بخش چهارم مطالعه، گراف‌ها و روابط طراحی روسازی بدون رویه بر مبنای دو روش - CBR α و β - CBR، به‌منظور تعیین تعداد عبور مجاز هوایم‌ای

ساخته‌شده با قیر محلول به‌منظور استفاده در ساخت تاکسی وی و توقفگاه است. افزودنی‌های مختلفی به‌منظور بهبود عملکرد شیارشدگی قیر پایه آسفالت سرد انجام شده است. عملکرد شیارشدگی قیرها با تست رثومتر برش دینامیکی و تست بازیابی چندمرحله‌ای خزش و عملکرد شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی با تست خزش دینامیکی بررسی شد. در جدول (۱۷) تأثیر افزودنی‌های مختلف بر عملکرد شیارشدگی قیرها نشان داده شده است. افزایش پارامتر شیارشدگی ($G^*/\sin\delta$) از آزمایش رثومتر برش دینامیکی، کاهش پارامتر مدول غیرقابل برگشت (J_{nr}) از آزمایش بازیابی چندمرحله‌ای خزش و افزایش عدد روانی از آزمایش خزش دینامیکی باعث افزایش مقاومت شیارشدگی قیر و مخلوط‌های آسفالتی می‌گردد.

جدول ۱۷. عملکرد شیارشدگی قیرهای امولسیون اصلاح شده

افزودنی	درصد	$G^*/\sin\delta$	J_{nr}	عدد روانی	توضیحات
لاتکس SBR	۶	↑↑	↓	↑	بهترین عملکرد شیارشدگی مربوط به
لاتکس CR	۸	↑	↓↓	↑↑	قیرهای اصلاح‌شده با لاتکس CR است و مطابقت بهتری بین نتایج تست خزش دینامیکی با تست MSCR وجود دارد (Jiang et al., 2018).
پلیمر SEBS	۶	↑	↓	↑	
لاتکس NBR	۴	↑	-	-	بهترین عملکرد شیارشدگی مربوط به
	۶	↑↑	-	-	قیرهای اصلاح‌شده با ۶ درصد لاتکس NBR است (Abedini, Naimi, & Abedini, 2017).
	۸	↑	-	-	
لاتکس SBR	۵	↑	↓	-	قیرهای اصلاح‌شده با لاتکس NR عملکرد شیارشدگی بهتری از خود نشان می‌دهند (Khadivar & Kavussi, 2013).
لاتکس NR	۵	↑↑	↓↓	-	

شکست خستگی (خرابی کمتر از ۱۰ درصد پنل‌ها) پنل‌ها ارائه شد. آرایش دیوار آجری و Lay 1-2 برای ساخت خط پرواز، تاکسی وی و توقفگاه قابل استفاده است، اما آرایش Lay 3-4 تنها برای ساخت پارکینگ و تاکسی وی ثانویه با سرعت کم قابل استفاده است. همچنین طرح اتصالات انتهایی پنل AM-2 با گوشه گرد شده (ماهیچه‌ای) نیز بر عملکرد سیستم کفپوش تأثیرگذار است و منجر به افزایش قابل ملاحظه تعداد عبور مجاز هوایماید طرح می‌شود. در این بخش انواع مدهای شکست پنل AM-2 تشریح شده و پیشنهادهایی به منظور کاهش وزن مخصوص پنل ارائه شد. همچنین، عملکرد سیستم‌های کفپوش مختلف برای سطح رویه هوایماید بدون سرنشین MQ ارزیابی و سیستم کفپوش ALMATS به‌عنوان گزینه برتر معرفی شد. این سیستم از مقاومت کافی برای تحمل بارهای سنگین تر از ترافیک هوایماید بدون سرنشین بر روی خاک بستر با $CBR=6$ برخوردار نیست. در پایان بخش پنجم، به ارزیابی سیستم‌های کفپوش جایگزین AM-2 در برنامه AM-x پرداخته شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که تنها، سیستم کفپوش کامپوزیت کربن عملکرد قابل قبولی را بر روی خاک بستر با $CBR=6$ از خود نشان می‌دهد و سایر سیستم‌ها عملکرد ضعیف‌تری از AM-2 دارند. همچنین سیستم کفپوش MLC-70 بر روی خاک بستر با $CBR > 25$ قادر به تحمل حداقل ۱۰۰۰ بار عبور ترافیک جنگنده F-15E است. در بخش ششم این مطالعه، به بررسی امکان‌سنجی استفاده از آسفالت سرد در ساخت و تعمیر سریع روسازی فرودگاه و همچنین روش‌های افزایش مقاومت شیارشدگی آن پرداخته و نشان داده می‌شود که اصلاح قیر با انواع لاتکس SBR، NR، NBR، CR و پلیمر SEBS و همچنین استفاده از فیلر سیمان و دانه‌بندی پیوسته، باعث افزایش مقاومت شیارشدگی مخلوط سرد آسفالتی می‌شود. استفاده از مخلوط‌های سرد آسفالتی تنها برای ساخت و تعمیر تاکسی وی و توقفگاه توصیه می‌شود و برای ساخت و تعمیر روسازی‌های فرودگاهی در معرض هوایماید با فشار تایر بالا مناسب نیست.

۸- پی‌نوشت‌ها

1- Grain Size Parameter (GSP)

طرح C-130 و C-17 بر مبنای CBR خاک بستر و مشخصات کاور پوششی و بر اساس معیار گسیختگی تغییرشکل کمتر از ۳ اینچ ارائه شد. این معادلات تنها برای مقادیر CBR کمتر از ۲۰ قابل استفاده است. نتایج روش طرح $CBR-\beta$ در مقایسه با روش طرح $CBR-\alpha$ دارای ضریب اطمینان بالاتری است. همچنین الزامات سازه‌ای طراحی روسازی بدون رویه خط پرواز و تاکسی وی و روش ساخت آن، برای ۵۰۰ بار عبور هوایماید طرح C-17 ارائه شد. روش‌های بکار رفته برای تثبیت سریع خاک‌ها نیز در این بخش تشریح شد. در بخش پنجم مطالعه، ابتدا به بررسی تاریخچه استفاده از سیستم کفپوش از قبیل بلوک‌های فلزی سوراخ‌دار، M-8، M-9، T-x و کفپوش‌های آلومینیومی و پنل‌های آلومینیومی خریایی در ساخت سریع روسازی فرودگاه پرداخته شد. همچنین معادله ریاضی تعیین ضخامت روسازی انعطاف‌پذیر معادل ایجادشده، توسط کفپوش ارائه شد. سپس عملکرد کفپوش‌های مختلف برای ساخت رویه هلی‌پد در زمان پرواز هلی‌کوپتر طرح (UH-60, CH-47) به‌منظور مقابله با پدیده FOD مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که سیستم‌های کفپوش ساخته‌شده با پلی‌اتیلن چگالی بالا (Dura - Base) و فایبرگلاس ۵ لایه فشرده (MP Mat) بهترین عملکرد را دارا می‌باشند. همچنین عملکرد کفپوش‌های مختلف برای ساخت رویه تاکسی وی و توقفگاه در زمان پرواز هوایماید طرح (C-17, C-130) بر اساس معیار گسیختگی تغییرشکل کمتر از ۳ اینچ و خرابی کمتر از ۲۰ درصد سطح پنل‌ها بر روی خاک بستر با مقاومت عالی، متوسط و ضعیف، به‌منظور افزایش نرخ MOG مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که کفپوش Dura Base بهترین عملکرد را در تمامی شرایط خاک بستر دارا است و سیستم کفپوش MP در خاک‌های با مقاومت عالی و متوسط از عملکرد قابل قبولی برخوردار است. در ادامه عملکرد کفپوش سازه‌ای AM-2 مورد بررسی قرار گرفت. نحوه اکستروژن هسته پنل، مشخصات فیزیکی پنل، خصوصیات خمشی پنل، ویژگی‌های آلیاژ به‌کاررفته، اتصالات بین پنل‌ها و انواع آرایش چیدمان پنل‌ها تشریح شد و معادلات طراحی بر اساس انجام آزمایشات تمام‌مقیاس به‌منظور تعیین تعداد عبور مجاز بر مبنای نوع هوایماید طرح (F-15E و C-17)، CBR خاک بستر و معیار شکست گسیختگی تغییرشکل (۱/۲۵ اینچ برای F-15E و ۳ اینچ برای C-17) و معیار

-AMS-H-6088, S., (2000), "Heat Treatment of Aluminum Alloys", SAE International (SAE), 4 .

-Anderton, G., & Gartrell, C., (2005), "Rapid maximum-on-ground (MOG) enhancement technologies", ERDC/GSL TR-05, 2.

-Anderton, G. L., Berney, I., Ernest, S., Mann, T. A., Newman, J. K., Baylot, E. A., Mason, Q., (2008), "Joint rapid airfield construction (JRAC) 2007 technology demonstration", engineer research and development center vicksburg ms geotechnical and structures lab.

-Barker, W. R., & Gonzalez, C. R., (1991), "Pavement design by elastic layer theory, Paper presented at the Aircraft/Pavement Interaction", An Integrated System.

-Berney, I., Ernest, S., & Wahl, R. E. (2008), "A rapid soils analysis kit", Engineer Research And Development Center Vicksburg Ms Geotechnical And Structures Lab.

-Bianchini, A., & Gonzalez, C. R., (2014), "CBR-Beta Design Procedure for Aggregate-Surfaced Airfield Pavements", engineer research and development center Vicksburg ms geotechnical and structures lab.

-Brabston, W. N., (1967), "Evaluation of Three-Piece AM2 Aluminum Landing Mat", Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg Ms.

-Brown, D. (1966), "Engineering Tests Of Experimental T11 Aluminum Airplane Landing Mat. Appendix B", Development of Revised Design Criteria for T11 Landing Mat: Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg Ms.

-Burns, C. D., & Barker, W., (1966), "Evaluation of Harvey two-piece landing mat (AM2)", Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg Ms.

-Chai, J.-C., & Miura, N., (2002), "Traffic-load-induced permanent deformation of road on soft subsoil", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128(11), pp.907-916 .

-Dover, D., Anderson, M., & Brown, R. W.,

2-U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (WES)

3 -Clegg Impact Value (CIV)

4 -Joint Rapid Airfield Construction (JRAC)

5- Foreign Object Damage (FOD)

6- Pass to Coverage (P/C) Ratio

7- Maximum on Ground (MOG)

8- 6061-T6 aluminum alloy (AA6061-T6)

9- Friction Stir Welding (FSW)

10- Overlap/Underlap Mechanical Connections

11- Male/Female Hinge Type Connections

12- Aluminum Logistics Military Airfield Take-off and Landing Surface (ALMATS), Modified Light-Duty AM2

۹-مراجع

-چاووشیان، ف.، گلستانه، م.، و خسروی، ف.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی عملکرد شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی فرودگاهی حاوی گوگرد"، مجله علمی پژوهشی علوم و فناوری‌های پدافند نوین، سال نهم، شماره اول، ص. ۱۲۶-۱۱۹.

-Air Force Civil Engineering Support Agency, (1997), "Criteria and Guidance for C-17 Contingency and Training Operations on Semi-Prepared Airfields", ETL 97-9, U.S. Air Force.

-Abedini, H., Naimi, S., & Abedini, M. (2017), "Rheological properties of bitumen emulsion modified with NBR latex", Petroleum Science and Technology, 35(15), pp.1576-1582 .

-Al Nageim, H., Al-Busaltan, S. F., Atherton, W., & Sharples, G. (2012) "A comparative study for improving the mechanical properties of cold bituminous emulsion mixtures with cement and waste materials", Construction and Building Materials, 36, pp.743-748 .

-Allison, P. G., Rushing, T. W., & Garcia, L. (2014), "Analysis of lightweight materials for The Am2 System", Engineer Research And Development Center Vicksburg Ms Geotechnical And Structures Lab.

- Tingle, J. S., & Rutland, C. A., (2015), "AM2 mat end connector modeling and performance validation", engineer research and development center vicksburg ms geotechnical and structures lab.
- Garcia, L., Rushing, T. W., & Rutland, C. A., (2017), "Evaluation of Expedient Surfaces for Remote Piloted Aircraft", ERDC-GSL Vicksburg United States.
- Garcia, L. I., Rushing, T. W., & Mason, Q. S. (2014a), "AM2 25 CBR subgrade sensitivity test", US Army Engineer Research and Development Center, Geotechnical and Structures Laboratory.
- Garcia, L. I., Rushing, T. W., Williams, B. A., & Rutland, C. A., (2014b), "AM2 100 CBR subgrade sensitivity test", US Army Engineer Research and Development Center, Geotechnical and Structures Laboratory.
- Garrett, J., & Horsley, J., (1957), "Engineering tests of experimental T7 magnesium and modified standard steel airplane landing mats", Technical Rep (3-461).
- Gartrell, C. A., (2007), "Full scale instrumented testing and analysis of matting systems for airfield parking ramps and taxiways", Mississippi State University.
- Gartrell, C. A., Newman, J. K., & Anderton, G. L., (2009), "Performance measurements of pavement matting systems by full-scale testing over differing soil strengths", Journal of Materials in Civil Engineering, 21(10), pp.561-568.
- GFI, I., (2006), "MP Mat – multipurpose composite mat system", Website-based, downloadable fact sheet, GFI, Inc., Harrison, AR, 72602.
- Gonzalez, C. R., & Rushing, T. W., (2010), "Development of a new design methodology for structural airfield mats", International Journal of Pavement Research and Technology, 3(3), pp.102-109 .
- Green, H. L., (1967), "engineering tests of t14 plastic airplane landing mat", army engineer waterways experiment station (2002), "Recent advances in matting technology for military runways", Designing, Constructing ,Maintaining, and Financing Today's Airport Projects, pp. 1-10.
- Doyle, J. D., Howard, I. L., Gartrell, C. A., Anderton, G. L., Newman, J. K., & Berney IV, E. S., (2012), "Full-scale instrumented testing and three-dimensional modeling of airfield matting systems", International Journal of Geomechanics, 14(2), pp.161-170 .
- Epstein, S. G., Kaufman, J., & Pollak, P., (1994), "Aluminum and Its Alloys", Aluminum Association Washington, DC.
- Foster, C., & Burns, C. D., (1952), "Development of tentative cbr design curves for landing mats".
- Freeman, R. B., Mann, T. A., Mason, L. W., Gartrell, C. A., & Moore, V. M., (2008), "Quality assurance for rapid airfield construction", Engineer Research And Development Center Vicksburg Ms Geotechnical And Structures Lab.
- Garcia, L., (2016), "Full-scale instrumented evaluations of multiple airfield matting systems on soft soil to characterize permanent deformation", Geotechnical and Structures Laboratory, US Army Engineer Research and Development Center Vicksburg United States.
- Garcia, L., Fisher, J., Rushing, T. W., & Tingle, J. S., (2016), "AM2 Brickwork Pattern Evaluation", US Army Engineer Research and Development Center Vicksburg United States.
- Garcia, L., Heiser, J., Rushing, T. W., Bradley, C. T., Tingle, J. S., & Rutland, C. A. (2015), "am2 modified 2-1 lay pattern evaluation under f-15e traffic", engineer research and development center vicksburg ms geotechnical and structures lab.
- Garcia, L., & Hoffman, N. R., (2018), "Evaluation of Lightweight Airfield Matting for the AMX Program", ERDC-GSL VICKSBURG United States.
- Garcia, L., Rushing, T. W., Mason, Q.,

- Y.-S., & Strohm, W. E., (1976), "Prediction of the shear strength and compaction characteristics of compacted fine-grained cohesive soils", US Waterways Experiment Station.
- Jiang, J., Ni, F., Zheng, J., Han, Y., & Zhao, X., (2018), "Improving the high-temperature performance of cold recycled mixtures by polymer-modified asphalt emulsion", *International Journal of Pavement Engineering*, pp.1-8 .
- Jogi, B., Brahmkar, P., Nanda, V., & Prasad, R., (2008), "Some studies on fatigue crack growth rate of aluminum alloy 6061", *Journal of materials processing technology*, 201(1-3), pp.380-384 .
- Johnson, A. W., & Sallberg, J. R., (1960), "Factors that influence field compaction of soils", *Highway Research Board Bulletin* (272).
- Jones, R., Horner, D., Sullivan, P., & Ahlvin, R., (2005), "A methodology for quantitatively assessing vehicular rutting on terrains", *Journal of Terramechanics*, 42(3-4), pp.245-257.
- Kameli, M., Zarei, S., Kalantari, M., & Nejad, E. S., (2014), "Criteria of Passive Defense in Subway Stations", *Journal of Civil Engineering and Urbanism*. 4 (3), pp.298-304.
- Khadivar, A., & Kavussi, A., (2013), "Rheological characteristics of SBR and NR polymer modified bitumen emulsions at average pavement temperatures", *Construction and Building Materials*, 47, pp.1099-1105 .
- Ladd, D., (1970), "Soil strength criteria for operation of fighter aircraft on unsurfaced airfields", bare base support, Project 3782-65.
- Li, D., & Selig, E. T., (1996), "Cumulative plastic deformation for fine-grained subgrade soils", *Journal of geotechnical engineering*, 12, (12), pp. 21013-1006
- Manual, F., (1992), "Manual 5-410 Military soils engineering", USA.
- vicksburg ms.
- Green, H. L., (1968), "engineering tests of modified t12 plastic airplane landing mat", army engineer waterways experiment station vicksburg ms.
- Grogan, W. P., & Tingle, J. S., (1999), "Evaluation of unsurfaced airfield criteria for operation of C-17 aircraft", *Journal of transportation engineering*, 125(1), pp.67-74 .
- Gurtowski, L., Mejías-Santiago, M., Griggs, C., Johnson, J., Ruiz, B., & Felt, D., (2016), "Refinement of Foam Backfill Technology for Expedient Airfield Damage Repair", Phase I: Laboratory Evaluation of Foam Materials.
- Hambleton, J., & Drescher, A., (2008), "Modeling wheel-induced rutting in soils", *Indentation. Journal of Terramechanics*, 45(6), pp.201-211 .
- Hammitt, G. M., & Aspinall Iii, W., (1970), "Thickness Requirements for Unsurfaced Roads and Airfields", Bare Base Support: army engineer waterways experiment station vicksburg miss.
- Hasanuzzaman, M., Hashemian, L., & Bayat, A., (2017), "Laboratory Investigations of Cold Mix Asphalt for Cold Region Applications", *Journal of Testing and Evaluation*, 46(1), pp.1-11 .
- Head, R., (1974), "An informal report of cold mix research using emulsified asphalt as a binder", Paper presented at the Association of Asphalt Paving Technologists Proc.
- Heukelom, W., & Foster, C. R., (1962), "Dynamic testing of pavements", *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 127(1), pp.425-450 .
- Hoffman, N. R., & Garcia, L., (2018), "Modified Light Duty AM2 Capability Assessment", erdc-gsl vicksburg United States.
- Hoffman, N. R., Garcia, L., & Rushing, T. W. (2018), "Evaluation of AM2 2 1 Lay Pattern Over a 25 CBR Subgrade", ERDC-GSL VICKSBURG United States.

Scholar .

-Rushing, J. F., Cox, B. C., & Floyd, W. C., (2017), "Rutting Performance of Cold-Applied Asphalt Repair Materials for Airfield Pavements Airfield and Highway Pavements", pp. 185-195.

-Rushing, T., & Howard, I., (2017), "Analysis of AM2 Airfield Matting Performance Under Six-Wheel Boeing C-17 Gear Loading", Journal of Testing and Evaluation, 45(6), pp.2243-2258.

-Rushing, T. W., (2018), "Performance Prediction Relationships for AM2 Airfield Matting Developed from Full-Scale Accelerated Testing and Laboratory Experimentation", ERDC-GSL Vicksburg United States.

-Rushing, T. W., Garcia, L., & Mason, Q. S., (2014), "Evaluation of Faun MLC-70 Trackway Mat System Under Simulated F-15 Traffic", engineer research and development center vicksburg ms geotechnical and structures lab.

-Rushing, T. W., Garcia, L., Tingle, J. S., Allison, P. G., & Rutland, C. A., (2014), "AM2 3-4 alternate lay pattern evaluation", engineer research and development center vicksburg ms geotechnical and structures lab.

-Rushing, T. W., Garcia, L. I., & Mason, Q. S., (2011), "Large-scale 6-CBR prototype mat system evaluation for the AMX program", [US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center], Geotechnical and Structures Laboratory.

-Rushing, T. W & ,Howard, I. L., (2011), "Matting solutions for low-volume roads", Transportation Research Record, 2204(1), pp.92-101 .

-Rushing, T. W., & Howard, I. L., (2015), "Prediction of soil deformation beneath temporary airfield matting systems based on full-scale testing", Journal of Terramechanics, 58, pp.1-9.

-Rushing, T. W., Howard, I. L., Jordon, J. B., & Allison, P. G., (2016), "Laboratory

-MATS, M. A., (2015), <https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/5-430-00-2/Appn.htm> .

-Mejías-Santiago, M., Valle-Roldan, F. d., & Priddy, L. P., (2010), "Certification tests on cold patch asphalt repair materials for use in airfield pavements", engineer research and development center vicksburg ms geotechnical and structures lab.

-Newman, J., & White, D., (2008), "Rapid assessment of cement and fiber-stabilized soil using roller-integrated compaction monitoring", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (2059), pp.95-102 .

-Oruc, S., Celik, F., & Akpınar, M. V., (2007), "Effect of cement on emulsified asphalt mixtures", Journal of Materials Engineering and Performance, 16(5), pp.578-583 .

-PassiveDefenseOrganaziation, (2012), "Passive Defense Organization Strategic Document".<http://paydarymelli.ir/fa/special.html>.

-Priddy, L. P., Tingle, J. S., McCaffrey, T. J., & Rollings, R. S., (2007), "Laboratory and field investigations of small crater repair technologies", engineer research and development center vicksburg ms geotechnical and structures lab.

-Proctor, R., (1933), "Fundamental principles of soil compaction", Engineering News-Record, 111(13).

-Rafalko, S. D., Brandon, T. L., Filz, G. M., & Mitchell, J. K. (2006) "Fiber reinforcement for rapid stabilization of soft clay soils", virginia polytechnic inst and state univ blacksburg dept of civil and environmental engineering.

-Ring, G., (1962), "Correlation of compaction and classification test data", Hwy. Res. Bull., 325, pp.55-75 .

-Robinson, M. C., (1992), "Landing mat development at WES. US Army Corps of Engineers, Builders and Fighters", US Army Engineers in World War II. Washington, DC: US Government Printing Office. Google

Waterways Experiment Station .

-Thompson, A., & Burns, C., (1960), "Criteria for designing runways to be surfaced with landing mat and membrane-type materials", Technical Rep. 3, pp.539.

-Tolbert, R., (1945), "Development of airplane landing mats", Road and Bridges, 83(11), pp.62-64 .

-turner, r., (1965), "engineering tests of t13 plastic airplane landing mat", army engineer waterways experiment station vicksburg ms.

-White Jr, D. W., (1971), "Evaluation of Dow Chemical Company Extruded Aluminum Two-Piece 2-by 12-Ft Landing Mat (MX18-D)", army engineer waterways experiment station vicksburg miss.

-White Jr, D. W., (1973), "Evaluation of Dow Chemical Company Extruded Aluminum 4-Piece 4-by 4-Ft", Landing Mat (mx18-e): army engineer waterways experiment station vicksburg miss.

-White Jr, D. W., (1974), "Evaluation of Dow Chemical Production Extruded Truss-Web Landing Mat", army engineer waterways experiment station vicksburg miss.

Characterization of Fatigue Performance of AM2 Aluminum Airfield Matting", Journal of Materials in Civil Engineering, 28(11), 04016134 .

-Rushing, T. W., & Mason, Q. S., (2008), "AM2 15 CBR subgrade sensitivity test for the rapid parking ramp expansion program", [US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center], Geotechnical and Structures Laboratory.

-Rushing, T. W., & Tingle, J. S., (2007), "AM2 and M19 airfield mat evaluation for the rapid parking ramp expansion program", [US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center], Geotechnical and Structures Laboratory.

-Rushing, T. W., Torres, N., & Mason, Q. S (2008), "AM2 10 CBR subgrade sensitivity test for the rapid parking ramp expansion program", [US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center], Geotechnical and Structures Laboratory.

-Sherman, W., & Hadjidakis, C., (1962), "engineering properties of fine-grained mississippi valley alluvial soils meander belt and backswamp deposits", army engineer waterways experiment station vicksburg miss.

Station., W. E., (1999), "tests on soils samples from bases, air. technical memorandum 3-274. Vicksburg, MS",

A Review of the Bases and Methods of Rapid Pavement Construction of an Airfield in an Emergency

Mohammadreza Shishehboran, M.Sc., Grad., School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Mohammad Golestaneh, M.Sc. Grad., School of Passive Defense, Imam Husain University, Tehran, Iran.

E-mail: kpgolestn@ihu.ac.ir

Received: March 2020-Accepted: September 2020

ABSTRACT

Airports are one of the most important critical centers invaded by the enemy during wars. Therefore, in critical circumstances, the need for rapid development of the airport in order to operate fighter aircraft, military strikes, the transfer of military equipment and manpower and other factors is necessary. This study examines the materials, technologies, and manufacturing methods that have been used to construct the airport so far. For this purpose, rapid soil analysis, rapid quality assurance of soil, requirements for designing aggregate-surfaced airfield pavements, rapid soil stabilization methods for use in the rapid construction of airport pavement, application of the matting systems in rapid construction and development of the helipads, airfield parking ramps and taxiways, runway, hanger, remote pilot aircraft, as well as the feasibility of using cold asphalt mixtures in the rapid construction of airfield parking ramps and taxiways and factors affecting the rutting resistance of cold asphalt mixtures is assessed.

Keywords: Rapid Soil Analysis, Aggregate Surfaced Pavement, Matting Systems, Remote Pilot Aircraft, Cold Mix Asphalt