

## بررسی شاخص خدمت دهی روسازی های بتنی در مواجهه با واکنش های قلیایی سیلیسی (مطالعه موردی فرودگاه تبریز و بندرعباس) 226D

حسین صادقی<sup>۱</sup> حامد خوشرو<sup>۲\*</sup>

۱- معاونت عملیات فردگاهی - شرکت فرودگاههای کشور

۲- کارشناس ارشد راه و ترابری - شرکت فرودگاههای کشور و مرکز تحقیقات راه  
مسکن شهرسازی (آموزشکده شهید تفویضی)

Email: [h.sadeghi@yahoo.com](mailto:h.sadeghi@yahoo.com)

تلفن: ۰۶-۶۳۱۴۸۵۰۰

Email: [hamedkhoshroo@yahoo.com](mailto:hamedkhoshroo@yahoo.com)

تلفن: ۰۹۱۲۳۱۷۸۱۴۶-۶۳۱۴۸۵۶۵

### چکیده:

در یک دهه اخیر تحقیقاتی در راستای ارزیابی روسازی بتنی در شرکت فرودگاههای کشور صورت گرفت بررسی خرابی ها و ارائه راهکار جهت افزایش شاخص خدمت دهی یکی از اهداف مهم این شرکت می باشد، علت بیشتر خرابیها، جداشدگی سنگدانه ها، و حتی بعضی از خرد شدن اسلب ها اثر واکنش های قلیایی- سیلیسی (ASR) مشخص گردید. در اکثر این نوع خرابی ها جایگزینی روسازی، تنها راهکاری است که می توان در دراز مدت از آن ها استفاده کرد. در این تحقیق که بصورت عملی صورت گرفت علت واکنش های قلیایی- سیلیسی در دو فرودگاه بین المللی تبریز و بندرعباس بررسی شده و پیشنهادهای جهت جلوگیری از واکنش های قلیایی- سیلیسی (ASR) در روسازی های بتنی این فرودگاهها ارائه گردیده است.

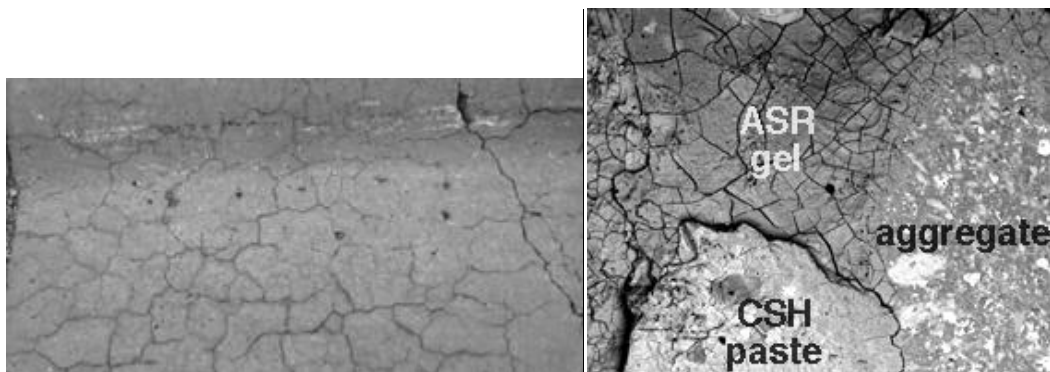
طبق ارزیابی های انجام شده بر روی سنگدانه ها، نتایج حاکی از آن است که آنها از معادن محلی تهیه و در بتن استفاده شده است که نسبت به واکنش های قلیایی- سیلیسی (ASR) حساس هستند و همچنین مصالح ریزدانه حساسیت به واکنش های قلیایی- سیلیسی (ASR) کاهش می دهد. بررسی سیمان و پوزلان نشان داد که حساسیت واکنش های قلیایی- سیلیسی در میزان اکسید کلسیم در پوزلان مهم است و باید مقداری آن را محدود کرد. مقدار اکسید کلسیم و قلیایی درون پوزلان؛ سیمان و مخلوط آب بررسی شد و همچنین کل مخلوط بتن نیز باید در برابر واکنش های قلیایی- سیلیسی (ASR) کنترل شود. همچنین، استات پتاسیم که به طور متداول در یخ زدایی روسازی به کار می رود باعث افزایش حساسیت واکنش های قلیایی- سیلیسی روسازی بتنی می شود و مقدار کل قلیایی مخلوط به حداکثر ۰/۷۰۵ کیلوگرم متر معکب باید محدود گردد.

واژه های کلیدی: شاخص خدمت دهی، واکنش قلیایی - سیلیسی (ASR)، پوزلان

## ۱- مقدمه

انبساط و ترک خوردگی ای در واکنش های قلیایی- سیلیسی (ASR) منجر به کاهش مقاومت، الاستیسته و دوام بتن می شود، این امر می تواند به علت واکنشهای شیمیایی بین یون های قلیایی ناشی از سیمان پرتلند (یا از منابع دیگر) یونهای هیدروکسیل و بعضی از مواد متشکله سیلیسی ای، که ممکن است در سنگدانه موجود باشند وجود می آیند شکل یک نمونه سطوح بتن موجود در فرودگاه بین المللی بندرعباس را نشان می دهد. بیرون پریدگی و تراوش مایع لزج قلیایی - سیلیکاتی، از ظواهر دیگر این پدیده می باشد. همچنین واکنش قلیایی-سیلیسی بتن در هنگام استفاده از مواد یخ زدا روی روسازی های بتنی بطور چشم گیری سرعت و گسترش می یابد و سطح واکنش پذیری شیمیایی افزایش پیدا می کند.

طی تحقیقات اخیری که توسط FAA<sup>۱</sup> انجام شد جزئیات واکنش شیمیایی را شناسایی و با استفاده از روش هایی آن ها را کاهش دادند. واکنش قلیایی-سیلیسی پذیری بتن در روسازی بتنی نگرانی های زیادی ایجاد می کند، این امر در اثر واکنش شیمیایی بین مواد قلیایی موجود در خمیر سیمان و مواد سیلیسی موجود سنگدانه ها (سدیم و پتاسیم)، در اثر این واکنش ماده ژلاتینی ایجاد می شود این امر در طولانی مدت افزایش می یابد رطوبت را جذب کرده و ترکهایی در روسازی بتنی ایجاد می نماید که این ترک ها قابل رویت هستند ترک ها در نزدیکی یکدیگر در سطح روسازی ایجاد می شوند و میزان نگرانی افزایش می یابد، تکه های بتنی شل به وجود آمده می توانند در اثر مکش موتور های جت با هواپیما برخورد نمایند و این امر نگرانی هایی برای هواپیماهایی که روی این روسازی ها حرکت می کنند به دنبال خواهد داشت.



شکل ۱- خرابی بتن در اثر واکنش پذیری قلیایی-سیلیسی (ASR) فرودگاه بندرعباس

<sup>1</sup> Federal Aviation Administration

واکنش قلیایی-سیلیس (ASR) پذیری بتن به طور موثر با انتخاب سنگدانه با کیفیت و کنترل شده و همچنین مقدار قلیایی موجود در سیمان، نیز کاهش خواهد یافته است. اگرچه در سال های اخیر روسازی های بتنی فرودگاه ها شاهد چنین خرابی هایی بوده اند که مشابه با واکنش پذیری قلیایی-سیلیس (ASR) است. ولی خرابی حاصل واکنش پذیری قلیایی-سیلیس (ASR) به طور کامل متفاوت می باشد. طی بررسی های صورت گرفته می توان مشخص کرد که واکنش پذیری قلیایی-سیلیس (ASR) نیز نگرانی هایی به دنبال داشته است. چند بررسی مستند نشان می دهد؛ این نگرانی به هنگام استفاده از مواد شیمیایی که به طور متداول در یخ زدائی روسازی ها به کار رفته اند باعث افزایش حساسیت واکنش پذیری قلیایی-سیلیسی شده این تحقیق که توسط FAA انجام شده و پتانسیل فعالیت (ASR) در اثر مواد یخ زدا را بررسی کرد.

یافته های اولیه حاکی از آن است که نگرانی مربوط به سطح روسازی های بتنی در روسازی هایی ایجاد می شود که مواد شیمیایی مثل استات پتاسیم در آنها به کار رفته است. این مواد شیمیایی سطوح بالای قلیایی را فراهم کرده و واکنش های سیلیس-قلیایی را در سطح روسازی افزایش می دهند و در فرودگاه هایی که از استات پتاسیم به عنوان مواد یخ زدا روی روسازی های بتنی استفاده می شود خرابی ها بسیار گسترش یافته است. سیاست ICAO<sup>2</sup> و FAA این نیست که از کاربرد مواد شیمیایی در روسازی های موجود اجتناب نماید، زیرا زمانیکه از آنها در روسازی استفاده می کنیم موجب می شود ایمنی عملیات های پروازی در زمستان بسیار افزایش یابد.

## ۲- طرح اختلاط باند بتنی تبریز از دیدگاه واکنش قلیایی - سیلیسی

فرودگاه بین المللی تبریز در سال ۱۳۲۶ خورشیدی تاسیس شد و فعالیت های خود را به طور رسمی از سال ۱۳۳۸ خورشیدی آغاز نمود. این فرودگاه در سال ۱۳۷۰ خورشیدی به فرودگاه بین المللی ارتقاء یافت و در سال ۱۳۸۷ خورشیدی به عنوان یکی از فرودگاههای آسمان باز ایران شناخته شده است. برای اولین در کشور باند بتنی تبریز اجرا گردید که با توجه به اهمیت پروژه ارزیابی پتانسیل واکنش های سیلیس-قلیایی (ASR) انجام و طرح اختلاط با این دیدگاه طراحی گردید.

### ۲-۱ سنگدانه

<sup>2</sup> International Civil Aviation Organization

ارزیابی پتانسیل واکنش های سیلیس-قلیایی (ASR) با آزمایش ASTM C 1260 در طول ۱۴ در روز انجام می پذیرد که برای مصالح درشت دانه وریزدانه معتبر است. این میزان بین سطوح ۰/۰۲۳ تا ۰/۰۹ درصد بود و مصالح خوب ریزدانه از سطح انبساط ۰/۰۳ تا ۰/۱۰ برخوردار بودند.

در نگهداری از باند در برابر یخبدان از استات پتاسیم هم به عنوان محلول خیس (به جای استفاده از هیدروکسید سدیم) می توان استفاده کرد، البته استفاده از استات پتاسیم بصورت رایج توصیه نمی گردد زیرا این امر در حال بررسی، تغییر و پیشرفت است و مستلزم آن است یک جایگزین مناسب برای استات پتاسیم در فرودگاه استفاده شود، و معایب و مزایای آن بررسی شود. به همین دلیل در آزمایش ASTM C 1260 از استات پتاسیم و هیدروکسید سدیم بطور جداگانه در دو سری استفاده شده است.

انبساط مصالح ریزدانه باید کمتر از ۰/۱۰ درصد باشد. همان طور که در آزمایشات ASTM C 1260 طی ۲۸ روز مشاهده می نمایم می توان از محلول هیدروکسید سدیم استفاده کرد که مشخصه استاندارد FAA باید تامین شود. برای اینکار باید آزمایشاتی با استفاده از استات سدیم صورت گیرد (به جای اینکه از هیدروکسید سدیم استفاده نمایم) می توان نتایج مربوط به راه کارها را با ارزیابی مواد فراهم کرد اما ممکن است آنها مورد تایید قرار نگیرند.

انبساط محلول خیس هیدروکسید سدیم بیشتر از محلول خیس استات پتاسیم بود که می توان اختلافات را در جدول ۱ مشاهده کرد. به علاوه می توان پیش بینی کرد، استات پتاسیم بر مبنای اطلاعات قبلی انبساط پایین تری ایجاد می نماید.

## ۲-۲ پوزلان در بتن:

یکی از راهکارهای کاهش فعالیت واکنش قلیایی-سیلیسی ASR استفاده از اکسید کلسیم پوزلان ها می باشد در شهر تبریز پوزلان پومیس موجود بوده که از آن بین ۱۰ تا ۱۲ درصد همراه با سیمان تیپ ۲ استفاده شد. مقدار اکسید کلسیم آن بین ۲ تا ۳٪ است. اما حمل آنها در زمان به شدت هزینه بر هستند و اختلاط آنها در کارگاه عملاً غیر ممکن می باشد. نتایج آزمایش حاکی از آن است؛ پوزلان آزمایش شده دارای اکسید کلسیم واقعی ۱۰/۷۸ درصد و مقدار قلیایی کلی ۰/۶۶ درصد می باشد.

مشخصه های استاندارد FAA P-501 تنظیم شده است که این امر مقدار اکسید کلسیم را به حداکثر ۱۲٪ محدود می نماید. آزمایشات صورت گرفته در دانشگاه کلمون نشان می دهد؛ پوزلان ها اکسید کلسیم را به مقدار ۱۵٪ افزایش می دهند که می توان از آنها جهت کنترل واکنش پذیری قلیایی-سیلیسی ASR استفاده کرد تا در صورت استفاده از مواد یخ زدا شیمیایی؛ تاثیر واکنش پذیری قلیایی-سیلیسی ASR را کاهش داد.

جدول ۱- نتایج مربوط به انبساط محلول های خیس استات پتاسیم و هیدروکسید سدیم

	انبساط در ۲۸ روز	
	استات پتاسیم	هیدروکسید سدیم
نمونه شماره یک- شن ماسه گستر		۰/۲۲ درصد
نمونه شماره دو- ماسه ماسه گستر		۰/۲۶ درصد
نمونه شماره سه- شن داش قوم	۰/۰۸ درصد	۰/۱۰ درصد
نمونه شماره چهار- ماسه داش قوم	۰/۱۰ درصد	۰/۱۷ درصد
نمونه شماره پنج- ماسه تل ماسه	۰/۳۴ درصد	۰/۴۵ درصد
نمونه شماره شش- شن قره قوم	۰/۲۴ درصد	۰/۴۲ درصد

### ۲-۳ سیمان :

مشخصات فنی نشان می دهد که باید از سیمان کم قلیا استفاده کرد البته باید توجه کرد سیمانی که از قلیایی کمی برخوردار است مشکلاتی در تولید ایجاد خواهد کرد (۰/۶ تا ۰/۸ درصد مقدار قلیایی طبیعی سیمان است). اگرچه ؛ مشخصه استاندارد FAA P-501 قلیا سیمان را به مقدار ۰/۰۳ درصد محدود می کند که سیمانی کم قلیا است. همچنین استفاده از لیتیوم می تواند در طرح اختلاط جهت افزایش ماندگاری استفاده گردد؛ اگرچه؛ به طور معمول مورد استفاده قرار نمی گیرد زیرا این امر باعث افزایش هزینه بتن می گردد. حداقل مقدار توصیه شده یک لیتر در کیلوگرم است. میانگین قیمت لیتیوم ۱۸ دلار در بشکه است.

بتنی که در روسازی فرودگاه به کار می رود باید با سیمانی با قلیایی کم تولید گردد، همچنین کل طرح اختلاط باید از مقدار قلیایی کلی ۰/۶۴ کیلوگرم در مترمکعب برخوردار باشد. افزودن لیتیوم بر مقاومت بتن زمانی که مقدار آن منطقی مصرف گردد، تاثیر نمی گذارد همچنین استفاده از لیتیوم می تواند حساسیت واکنش پذیری قلیایی-سیلیس ASR در اثر استفاده از مواد یخ زدا کاهش دهند.

## ۲-۴ آب :

مقدار سدیم و پتاسیم نمونه آب در آزمایشگاه باید انجام گردد و نتایج نمونه ارزیابی شد و مقدار قلیایی کلی آب تقریباً ۴۲ گرم در متر مکعب بود. در ابتداء مقرر شد آب مورد استفاده در پروژه از چاهی به عمق ۲۰ متر در محل پروژه استفاده شود که پس از انجام آزمایشات مقدار قلیا آب بسیار بالا تر از حد مجاز بود و در نهایت آب شهری که نتایج آن مورد تایید بود در مخلوط بتن استفاده شده است.

## ۴- محاسبه میزان کل قلیا طرح اختلاط با استفاده از پوزلان در فرودگاه بندر عباس

فرودگاه بین المللی بندرعباس در همجواری دریا قرار داشته و به همین دلیل میزان کلر موجود در هوا در فصول گرم سال بسیار بالا بوده که این امر واکنش پذیری قلیایی-سیلیسی را به شدت افزایش می دهد اگرچه مشکل استفاده از مواد یخ زدا در روسازی در این فرودگاه وجود ندارد اما بتن ها دو سر باند (هلدینگ A و G) دچار خرابی شدید در اثر واکنش پذیری قلیایی-سیلیسی شده است.

مقدار کل قلیایی مخلوط به حداکثر ۷۰۵ گرم متر مکعب محدود می شود. این امر با حداکثر و حداقل ۷۰ گرم در مترمکعب ارزیابی می گردد (مشخصه P-501). محاسبه نمونه مقدار قلیایی برای طرح اختلاط زیر:

سیمان نوع II بندر خمیر با مقدار قلیایی کم: ۲۷۴ کیلوگرم

پوزلان: ۳۰ کیلوگرم میکروسلیس

حباب ز: ۵/۵ درصد

مصالح درشت دانه ای که غیر حساس به ASR برخوردار است : ۸۶۰ کیلوگرم

مصالح ریزدانه : ۵۷۴ کیلوگرم

آب : ۹۶ کیلوگرم

نسبت اب به سیمان: ۰/۳۵

۴-۱ محاسبه مقدار قلیا طرح:

$$۰/۵۲۸ = ۰/۰۰۶۶ \times ۸۰ : \text{قلیا خاکستربادی}$$

$$۰/۱۲۳ = ۰/۰۰۶ \times ۴۱۱ : \text{قلیا حاصل از سیمان}$$

۰/۰۴۲ : قلیا حاصل از آب

کل قلیا موجود در طرح اختلاط ۰/۶۹۳ کیلوگرم در متر مکعب که از میزان مجاز کمتر می باشد.

#### ۵- نتیجه گیری

بررسی های انجام شده نشان می دهد که موضوع مرمت بتن نیاز به ارزیابی های بیشتری داشته است. بر این اساس می توان پروژه های تحقیقاتی تعریف شود تا بتوان از روسازی موجود استفاده مجدد گردد. البته این امر نباید باعث گردد تا تحقیقات بر روی پتانسیل واکنش قلیایی - سیلیسی (ASR) کاهش یابد. زیرا آسیب هایی که به روسازی های بتنی از این منظر وارد می شود بسیار شدید بوده و هزینه تعمیر بسیار زیاد می شود و تعریف پروژه های تحقیقاتی متفاوت امری عملی و مقرون به صرفه است.

همچنین نباید از نقش مواد های افزودنی به طرح اختلاط چشم پوشی شود زیرا این مواد تاثیرات دراز مدت و برخی مواقع ناشناخته دارند. اگرچه ؛ نتایج آزمایش اجرا شده در زمینه مواد به کار رفته حاکی از آن است ؛ نیاز به تحقیقات بیشتری جهت کنترل واکنش قلیایی-سیلیسی (ASR) می باشد.

این پژوهش به عنوان یک پروژه تحقیقاتی انجام نگردیده و نیاز به تحقیقات اضافی و تکمیلی زیادی در خصوص پتانسیل واکنش قلیایی - سیلیسی (ASR) بر روی روسازی بتنی می باشد، زیرا معادن موجود در کشور اکثرا دارای مشکلات پتانسیل واکنش قلیایی - سیلیسی می باشند جهت گسترش روسازی بتنی در کشور نیاز به تعریف پروژه های تحقیقاتی آتی می باشد.

#### ۶-مراجع

[1] Kimley-Horn and Associates, "ASR Preliminary Assessment for Colorado Springs Airport," 2004.

[2] Federal Aviation Administration, Airport Engineering Division, AAS-110 "Accelerated Alkali-Silica Reactivity in Portland Cement Concrete Pavements Exposed to Runway Deicing Chemicals," Engineering Brief No. 70, 2005.

[3] Rangaraju, P, "Test Method to Assess Potential Reactivity of Aggregates in Presence of Airfield Deicing Chemicals (Mortar Bar Test)," Interim Test Protocol, 2005

۴-ریزساختار، خواص، و اجزای بتن تالیف پرفسور مهتا ترجمه دکتر رضانیانپور، دکتر پرویز قدوسی دکتر سماعیل گنجیان

انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک) ۱۳۸۵