Archive OF SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir

Archive of SID

بتن مقاوم در محیط حاوی سولفات آمونیوم شدید

رضا فخـــری[1]
کارشناس عمران

چکیده :

در مناطقی که خاکها و آبهای زیرزمینی، حاوی مقادیر زیادی سولفات هستند و یا سازه هائی که در محیطهای دریائی احداث شـده اند، طراحی بتن باید به نوعی باشد که در مقابل حملات سولفاتی، مقاومت کافی را دارا باشد. نمکهای سولفاتی در حالت جامد، قادر به آسیب رساندن به بتن نمی باشند؛ اما زمانی که بصورت محلول در می آیند، می تواننـد بـا مـواد ایجـاد شـده از عملیـات هیدراسـیون سیمان یعنی هیدروکسید کلسیم، آلومینات کلسیم و هیدرات سیلیکات، واکنش دهند که این واکنشها به فروپاشی و از هم گـسیختگی بتن منتهی می شود.

جهت بهبود عملکرد بتن در محیطهای سولفاتی، روشهائی وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از :

- استفاده از سیمان مقاوم در برابر سولفات
- استفاده از نسبت آب به سیمان حدود 0/32
- استفاده از خاکستر گدازه های آتشفشانی[2] یا خاکستر کوره[3]
- استفاده از سیلیکا فوم[4] (میکرو سیلیس)
- استفاده از آب بند کننده ها یا سایر مواد افزودنی بهبود دهنده

در این مطالعه، بررسیهائی بر روی شش ترکیب مختلف بتن انجام شد که ترکیبات مذکور از نظر مـواد سـیمانی و نیـز نـوع مـواد افزودنی، با هم متفاوت بودند. نمونه های تولید شده از بتنهای مذکور، در سیکلهای روزانه، در معرض سولفات آمونیوم قرار داده شـده و در نهایت ، مورد آزمایش قرار گرفتند.

نتایج تحقیق به این صورت بود که بتنی که سیمان آن حاوی خاکستر گدازه های آتشفشانی بود، بدتر از ملات با سیمان معمـولی نتیجه داد؛ همچنین افزودن سیلیکا فوم و مواد کریستالی آب بند کننده، باعث ایجاد بیـشترین مقاومـت در مقابـل حمـلات سـولفات آمونیوم گردید.

این نتیجه به این نحو قابل توجیه است که اکسید سیلیکن موجود در سیلیکا فوم (86 تا 98 درصد) با هیدروکسید کلسیم ایجـاد شده در بتن واکنش شیمیائی انجام می دهد. این ترکیب (هیدروکسید کلسیم)، همان قسمت از بتن است کـه بـا سـولفاتها واکـنش داده و به تولید نمک نامطلوب ژیپس منجر می شود. نتیجتاً، کاهش هیدروکسید کلسیم، همزمان با کاهش نفوذپزیری ایجاد شـده در نتیجه تغییر در ساختار بتن، از تولید نمک جلوگیری کرده و باعث ایجاد توانـائی مقاومـت در برابـر حمـلات سـولفاتی در بـتن دارای سیلیکا فوم شده است .

کلمات کلیدی: بتن مقاوم در برابر سولفات، میکرو سیلیس، خاکستر گدازه های آتشفشانی، خاکستر کوره

---

1 - E-mail: rez_fakhri@yahoo.com
2 - Blast furnace slag
3 - Fly ash
4 - Silica fume

www.SID.ir

Archive of SID

1- مقدمه

بیشتر آبهای زیرزمینی که در معرض فاضلابهای صنعتی قرار دارند، ایجاد کننده محیط سولفاتی بشمار می آیند. وجود همین آبهای زیرزمینی، عامل خرابی بتن در مقیاس وسیع در سازه های بتنی که در تماس با آنها قرار دارند، بوده است. برخی از صنایع ایجاد کننده سولفات آمونیوم عبارتند از کارخانجات ساخت کودهای شیمیائی، کارخانجات تولید فولاد، صنایع عمل آوری معادن و ... .کارخانجات مذکور قادرند که غلظت ماده مذکور را تا 760 گرم در لیتر در دمای 25 درجه سانتیگراد، بالا ببرند. واکنشهای مربوطه عبارتند از :

$$Ca(OH)2 + (NH4)2SO4 \rightarrow CaSO4.2H2O + NH3$$

$$3CaO.Al2O3.6H2O + 3CaSO4.2H2O + 24H20 \rightarrow 3CaO.Al2O3.3CaSO4.32H20$$

ترکیبات آمونیوم (سولفات، نیترات، سوپر فسفات)، در مدت زمان بسیار کوتاهی، سبب نابود شدن بتن می شوند. مدت زمان دقیق این فرایند به غلظت، بازه های زمانی تماس، میزان سائیدگی بتن و کیفیت بتن از نظر تخلخل، نفوذ پذیری، مقدار و نوع سیمان بستگی دارد. به نظر می رسد که تغییر در چسبنده های سیمانی برای رسیدن به چسبنده مقاوم در برابر سولفات، سرعت حملات شیمیائی را کاهش داده و کاهش دادن میزان نفوذپذیری، زمان انتقال یونهای سولفات به بتن جهت انجام واکنش با چسباننده های سیمانی را، طولانی تر خواهد کرد .

در ادامه، آزمایشاتی که توسط گروهی از محققین استرالیائی (در منابع معرفی شده اند) در این زمینه انجام شده است، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. قابل ذکر است که در انجام این آزمایشات، از استاندارد استرالیا استفاده شده است .

2- تست های آزمایشگاهی

2-1- نحوه انجام آزمایش :

در حال حاضر، در استاندارد استرالیا[1] روشی برای تعیین عملکرد بتن در محیطهای شدید و خورنده، وجود ندارد. بنابر این، نیاز به ایجاد روشی مناسب برای آزمایش مورد نظر بود که با شرائط مورد نظر، مطابقت داشته باشد .

نوع قالب بندی و نمونه گیری، مطابق با استاندارد (AS1012.2)، در نظر گرفته شد. سیمان، ماسه، سنگریزه ها و سایر مصالح نیز از نوعی انتخاب گردید که بطور متداول، در اجراء سازه ها بکار می رود. جهت شبیه کردن شرائط و هماهنگی با شرائط واقعی، عمل آوری نمونه ها بصورت قرار دادن آنها به مدت یک هفته در آب آهک، انجام شد .

پس از مرحله عمل آوری، نمونه ها به مدت 180 روز، در شرائط و محیط خورنده شدید قرار داده شدند. میزان اثر محیط خورنده بر نمونه ها، از طریق بررسی کاهش وزن نمونه ها و نیز تغییرات طول آنها، مورد بررسی قرار گرفت .

2-2- طرح اختلاط :

مجموعه ای از 6 ترکیب مختلف، در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. همه ترکیبات مذکور، دارای ترکیب دانه بندی یکسان بودند، اما در نوع چسبنده های سیمانی آنها، تفاوتهائی وجود داشت. (جدول شماره 1)

ترکیبهای سیمانی مورد استفاده عبارت بودند از : GP ، GP80 ، LH ، SR ، مخلوط GP و سیلیکا فوم و نیز مخلوط GP و مواد افزودنی ضد آب کننده[2] .

2-3- تهیه نمونه ها :

در تهیه همه نمونه ها از استاندارد (AS1012.2-1994) استفاده گردید. همچنین در همه نمونه ها ازنسبت آب به سیمان 0.43 استفاده گردید، سپس اسلامپ هر نمونه با استاندارد (AS1012.8) اندازه گیری شد؛ البته جهت رساندن اسلامپ نمونه ها به مقداری که کارائی مناسب را داشته باشد (اسلامپ 100 میلیمتر)، به مقدار مورد نیاز، از ترکیبات روان کننده[3] استفاده گردید. نمونه های تهیه شده، قالب ریزی شده و پس از آن طبق استاندارد (AS1012.8)، مورد مراقبت قرار گرفت. (جدول شماره 2)

---

1 - Australian Standard
2 - waterproof admixture
3 - superplasticiser

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 1 – طرح اختلاط نمونه ها

	MIX DESIGNATION					
COMPONENT	**GB80**	**GP**	**LH**	**SR**	**SF**	**ADMIX**
20mm Aggregate	635	625	625	625	655	630
14/10mm Aggregate	420	415	415	410	430	415
7mm Aggregate	210	205	205	205	215	210
Jandakot Sand	680	675	675	670	705	675
Type GP80 Cement	420					
Type GP Cement		415			315	415
Type LH Cement			415			
Type MGP Cement				415		
Silica Fume					30	
Catalytic Crystalline Waterproofing Admixture						3.3
Water Reducer (mls/m^3)	1675	1655	1655	1650	1650	1655
Water Added	180	180	180	180	150	180
Slump Prior to SP Addition (mm)	57	55	30	0	0	57
Superplasticiser (mls/m^3)	600	590	295	1325	4265	595
Post Superplasticiser Slump	100	90	108	110	102	97

Note 1: Jandakot sand was sourced from CSR quarry in Jandakot, WA
Note 2: All coarse aggregate was sourced from the CSR quarry in Gosnells, WA
Note 3: All cement is from the Cockburn Cement plant in Munster, WA
Note 4: All water reducing admixtures are supplied by W.R. Grace
Note 5: Catalytic crystalline waterproofing admixture from XYPEX Australia
Note 6: All values give as kg/m^3, except where stated otherwise

Cement Compositions

Type GB80 - 20% Ground Granulated Blast Furnace Slag
80% General Purpose Cement
Type GP - General Purpose Cement
Type LH - 70% Ground Granulated Blast Furnace Slag
- 30% General Purpose Cement
Type SR - 8% Silica Fume
(Type MGP) - 92% General Purpose Cement

جدول2 – آماده سازی نمونه ها

PURPOSE	DIMENSION	NUMBER	CURING
Compressive Strength	200 x 100	3	28 days water cured
Volume Water Permeable Voids	200 x 100	3	28 days water cured
Exposure Trials	280 x 75 x 75	3	7 days water cured

www.SID.ir

Archive of SID

2-4- شرائط در معرض سولفات گذاری نمونه ها :

در معرض سولفات قرار دهی نمونه ها، شامل سیکلهای خشک و مرطوب شدن متناوب بود؛ بنحوی که نمونه ها، در محلول سولفات آمونیوم 132 گرم در لیتر، به مدت 18 ساعت خیسانده شده و بعد از آن به مدت 6 ساعت، در دمای 50 درجه سانتیگراد، خشک می شدند .

2-5- بررسی عملکرد :

تعدادی از روشهای اندازه گیری عملکرد نسبی نمونه ها، مورد بررسی قرار گرفت. بهترین روش پیشنهاد شده، روشی بود که بر مبنای اندازه گیری میزان تغییرات وزن و تغییرات طول نمونه ها استوار بود. دو پارامتر مذکور، در فواصل زمانی یک هفته ای و برای نمونه های در معرض سولفات، مورد اندازه گیری واقع گردید .

3- بحث و نتیجه گیری

3-1- ارتباط چسبنده های سیمانی و آب مورد نیاز :

نمونه های حاوی سیلیکا فوم (نمونه های SR و SF)، جهت رسیدن به اسلامپ مطلوب، به طور قابل توجهی به روان کننده های بیشتری نیاز داشتند؛ دلیل نیاز به آب بیشتر را می توان به وجود ذرات سیلیکا فوم در ترکیب نسبت داد که این ذرات، دارای سطح خارجی زیادی در مقایسه با وزنشان می باشند. بعلاوه، نمونه SF ، دارای محتوای سیمانی کمتری نسبت به سایر نمونه ها بود؛ بهمین دلیل می بایست برای رسیدن به نسبت آب به سیمان یکسان با سایر نمونه ها، مقدار آب مورد استفاده از مقدار 180 کیلوگرم در متر مکعب، به 150 کیلوگرم در متر مکعب رسانده می شد. در نتیجه، مقدار آب درون نمونه کاهش می یافت و اجبارا"، برای رساندن نمونه ها به کارائی مطلوب، مقدار روان کننده بیشتری نسبت به سایر نمونه ها، مورد استفاده قرار گرفت .

3-2- اندازه گیری حجم حفرات دارای قابلیت نفوذ آب و مقاموت فشاری :

حجم حفرات دارای قابلیت نفوذ آب، بر مبنای استاندارد (ASTM C642-90) و مقاومت فشاری، بر مبنای استاندارد (AS1012.9)، در نمونه هائی که بمدت 28 روز در محیط آب آهک قرار گرفته شده بود، اندازه گیری شد. (جدول 3)

جدول 3 – حجم حفرات با قابلیت نفوذ و مقاومت فشاری (میانگین 3 نمونه)

COMPONENT	GB80	GP	LH	SR	SF	ADMIX
Compressive Strength (MPa)	66	64	58	79	69	62
Volume Water Permeable Voids (%)	11.8	11.4	12.8	10.9	9.5	11.4

3-3- اندازه گیری افت وزن در خلال در معرض سولفات آمونیوم گذاری نمونه ها :

میزان حمله سولفات آمونیوم بر نمونه ها، از طریق اندازه گیری افت وزن نمونه ها در طول زمانهای مختلف، تعیین شد. افت وزن نهائی حاصل از 25 هفته قرار دادن نمونه ها در محیط سولفاتی برای هر نمونه در جدول شماره 4 آمده است. شکل 1 نشاندهنده گرافی است که میانگین تغییرات وزن در طول زمان را برای نمونه ها، نشان می دهد .

نمونه SR، کمترین میزان افت وزن را در تمامی نمونه ها، تجربه کرده است؛ پس این موضوع شگفت انگیز نیست که این نمونه به مقدار 15 مگاپاسکال، مقاومت بیشتری را نسبت به سایر نمونه ها از خود نشان می دهد. عملکرد نمونه های SF و Admix، با هم مشابه بوده و تنها کمی بدتر از نمونه SR عمل کرده اند. سه نمونه مذکور، بطور قابل توجهی، افت وزنی کمتری را نسبت به نمونه GP از خود نشان داده اند. البته نمونه GP، بهتر از نمونه GB80 عمل کرده است. نمونه LH نیز، بدترین عملکرد را در بین تمامی نمونه ها داشته است .

3-4- تغییر طول نمونه های قرار گرفته در محیط سولفات آمونیوم :

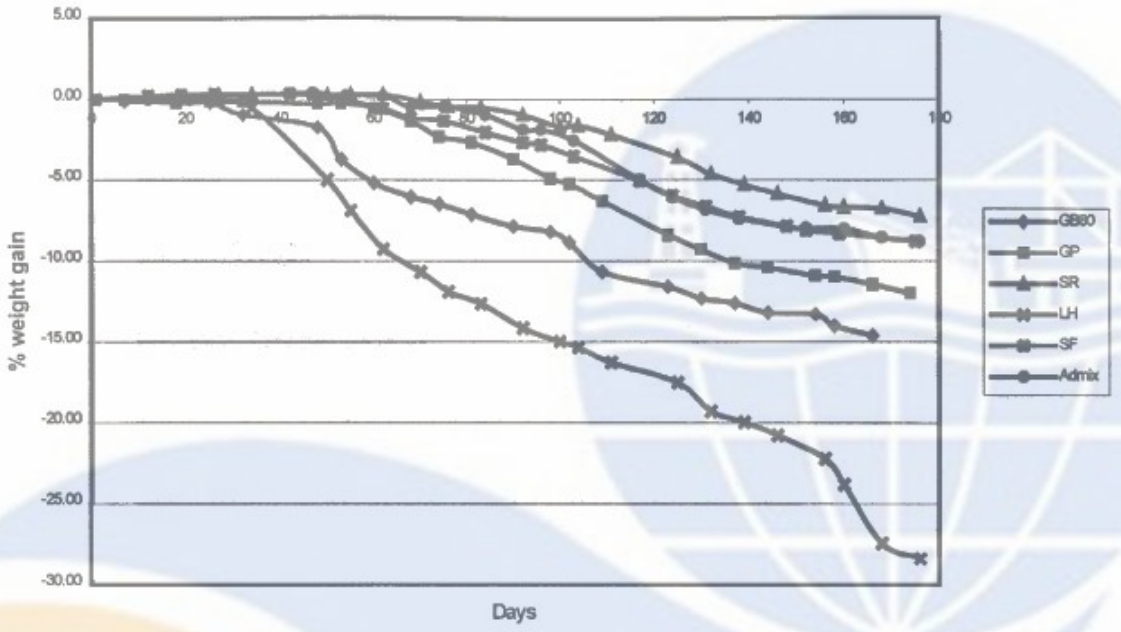
طول هر نمونه بصورت هفتگی توسط دستگاه اندازه گیری شد. جهت جبران تغییر طولهای ناشی از انقباض و تغییرات دمائی، تغییرات طول بصورت تفاوت درصد تغییرات در طول نمونه مورد نظر و تغییرات در نمونه GP ، در نظر گرفته شد. جهت بالا بردن دقت کار، میزان تغییرات طول بصورت میانگین تغییرات در 5 نقطه، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل 2 قابل مشاهده است .

www.SID.ir

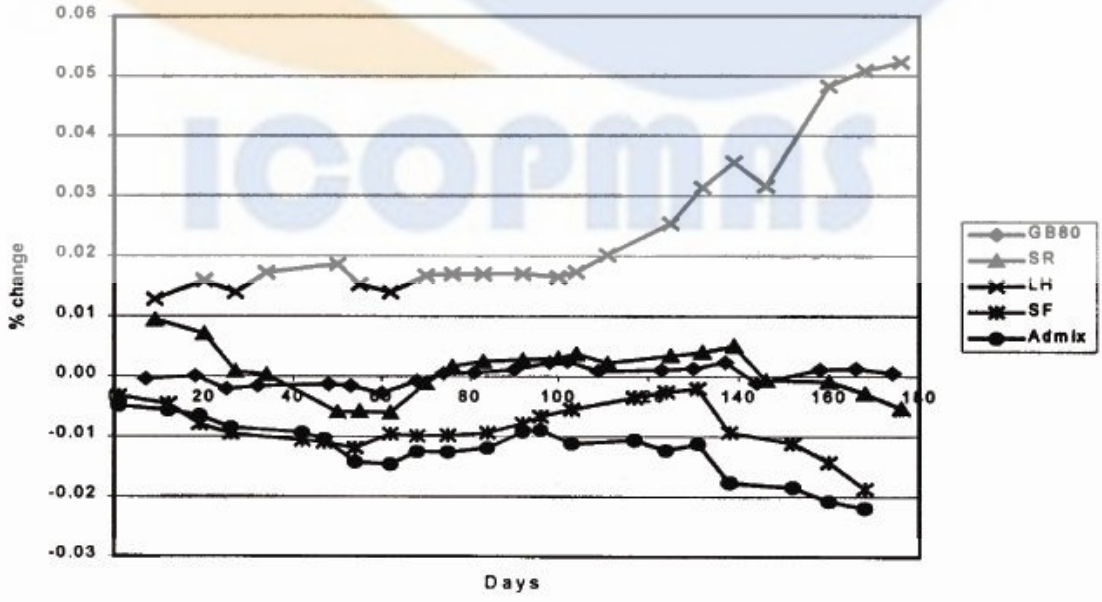
Archive of SID

در ادامه، مشخص شد که ترکیبات GB و LH که در ترکیب خود حاوی روباره آهنگدازی دان شده زمینی[1] بودند، در مقایسه با ترکیب GP ، انبساط بیشتری پیدا کرده بود که نشاندهنده این است که بیشتر تحت تأثیر محیط سولفاتی قرار گرفته است. نمونه های ترکیبی SR و SF نیز بطور قابل توجهی، کمتر از نمونه GP انبساط یافته بود و این مطلب نشاندهنده این است که بطور اساسی، به مقدار کمتری توسط حملات سولفاتی، مورد تغییر قرار گرفته است. نتایج مذکور، بطور واضح نشان می دهد که نمونه Admix که حاوی ترکیب ضد آب بلورین فعال کننده[2] بود، به بالاترین میزان حفاظت دست یافت. این شرایط، احتمالا" نتیجه ناتوانی آب حاوی سولفات آمونیوم در نفوذ به مرکز نمونه مورد نظر بوده است. پس در این مورد توانائی ترکیب ضدآب بلورین فعال کننده مشخص می شود .

شکل 1 – تغیرات وزن در طول زمان برای نمونه هائی که بصورت متناوب، در معرض سولفات آمونیوم بوده اند



شکل 2 – تغیرات طولی نمونه ها در مقایسه با GP در خلال در معرض سولفات آمونیوم گذاری



1- Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)

2- Catalytic crystalline waterproofing admixture

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 4 – نتایج آزمایشات در معرض سولفات گذاری نمونه ها

	MIX DESIGNATION					
COMPONENT	GB80	GP	LH	SR	SF	ADMIX
Total Percentage Weight Loss	14.6	12.0	28.4	7.2	8.8	8.8
Loss Percentage Length Change	0.01	--	0.12	0.00	-0.01	-0.02

3-5- ارتباط بین قابلیت نفوذ پذیری آب از فضای حفرات و مقاومت در برابر سولفات :

بطور کلی، میزان قابلیت نفوذ آب از فضای حفرات در یک نمونه بتنی، بعنوان شاخصی برای میزان قابلیت روانی نمونه معرفی می شود. همانطور که در جدول شماره 3 نشان داده شده است، اختلاف کلی در میزان حفرات با قابلیت نفوذ، کوچک است؛ اما همانطور که قابل پیش بینی نیز بود، ترکیب دارای سیلیکا فوم دارای کمترین مقدار حفره است. بعنوان یک نتیجه، بررسی حجم حفرات با قابلیت نفوذ پذیری آب، یک روش نامناسب برای بررسی مقاومت در برابر سولفات می باشد، بویژه وقتی که جهت بهبود اجراء، افزودنیهائی نیز به بتن اضافه می شود .

3-6- ارتباط بین مقاومت بتن و مقاومت سولفاتی :

با در نظر گرفتن یک نسبت آب به سیمان مناسب و یکسان برای تمام نمونه ها، میزان تغییرات در مقدار مقاومت نمونه ها به حداقل رسید. نمونه SR (با 8 درصد سیلیکا فوم)، مقاومت قابل توجه بیشتری را نسبت به سایر نمونه ها از خود نشان داد؛ همچنین این نمونه، کمترین میزان کاهش وزن را تجربه کرده بود. از طرف دیگر، اختلاف طول نمونه SR در محیط شدید قرار داده شده، اختلاف چندانی با نمونه GP در همان محیط قرار داده شده، نداشت. بطور مشابه، اگر نمونه Admix را بعنوان یک استثناء در نظر بگیریم، در سایر نمونه ها، با افزایش مقاومت نمونه، آن نمونه مقدار افت وزن کمتری را متحمل شده بود. نمونهAdmix نیز، عملکرد بهتری نسبت به ترکیبات با مقاومت خیلی بیشتر، از خود نشان داد.

3-7- عملکرد ترکیبات حاوی روباره آهنگدازی دان شده زمینی :

افزودن GGBFS (مقدار 20 درصد در نمونه GB80 و 70 درصد در نمونه LH)، تأثیر زیان آوری از نظر افت وزن و تغییرات طول را در نمونه ها نشان داد. این نتیجه غیر منتظره بود؛ زیرا انتظار می رفت که تأثیر پوزولانی سرباره، بدلیل کاهش دادن مقدار ئیدروکسیدکلسیم آزاد موجود برای واکنش با یونهای سولفات، مقاومت سولفاتی بیشتری را برای نمونه بوجود آورد. این عملکرد ضعیف ترکیب GGBFS را می توان به عواملی چون نیاز به زمان بیشتر عمل آوری جهت رسیدن به ئیدراسیون کامل و یا ساختار شیمیائی خود سرباره نسبت داد. پس می توان گفت که سرباره حاوی مقدار زیاد آلومینات، مقاومت در برابر حملات سولفاتی را کاهش می دهد .

3-8- عملکرد ترکیبات حاوی سیلیکافوم :

افزودن سیلیکافوم (در نمونه های SR و SF)، به بهبود کارائی نمونه ها نسبت به نمونه SR منجر گردید. این نتیجه بدین نحو قابل توجیه است که اکسید سیلیکن موجود در سیلیکافوم (86 تا 98 درصد) با ئیدروکسید کلسیم ایجاد شده در بتن واکنش شیمیائی انجام میدهد. ترکیب مذکور (ئیدروکسید کلسیم)، همان قسمت از بتن است که با سولفاتها واکنش داده و به تولید نمک نامطلوب ژیپس منجر می شود. نتیجتاً، کاهش هیدروکسید کلسیم، همزمان با کاهش نفوذپزیری ایجاد شده در نتیجه تغییر در ساختار بتن، از تولید نمک جلوگیری کرده و باعث ایجاد توانائی مقاومت در برابر حملات سولفاتی در بتن دارای سیلیکا فوم شده است .

3-9- عملکرد نمونه Admix :

همانطور که در قبل آمد، یک ارتباط کلی بین افزایش مقاومت و افت وزن از یک طرف، و نیز کاهش حفرات با قابلیت نفوذ و کاهش انبساط وجود دارد. در این رویکرد، نمونه Admix یک استثناء بود که یکی از کمترین مقاومتهای فشاری را کسب کرد (به استثناء نمونه LH)، اما به دومین مرتبه در زمینه کاهش افت وزن و نیز کمترین کاهش نسبی طول بدست آمده در بین نمونه ها دست یافت .

www.SID.ir

Archive of SID

این بهبود عملکرد را می توان به خواص ضد آب نمونه نسبت داد. این امر، سبب جلوگیری از دسترسی یونهای سـولفات بـه تـوده بتن شده و محدودیت اثرات حمله سولفاتی به سطوح بتن را سبب می شود .

4- منابع :

- Cao, H., Bucea, L., Ferguson, O., and Mateo, J., (1997) Some Important Issues Related to Sulphate Attack on Cementitious Materials, Concrete in Australia, April- June.
- Collins, F. and Green, W.K., (1990) Deterioration of Concrete Due to Exposure to Ammonium Sulphate, Concrete Institute of Australia, Sydney, Australia.
- Lea, F.M., (1965) The Action of Ammonium Salts on Concrete, Magazine of Concrete Research, Vol. 17, No. 52, September.
- Lea, F.M., (1970) The Chemistry of Cement and Concrete, 3rd Edition, Edward Arnold (Publishers) Ltd., London.
- Perkins, P.H., (1997) Repair, Protection and Waterproofing of Concrete Structures, Third Edition, E & FN Spon, London.
- Swenson, E.G. and Thorvaldson, T., (1968) Performance of Concrete: Resistance of Concrete to Sulphate and Other Environmental Conditions: a Symposium in Honour of Thorbergur Thorvaldson/E.G. Swenson, Technical Editor, Univ. of Toronto Pr.,Toronto.
- Peter Trinder, Colin Chalmers, Andrew Peek , Resistance of Concrete to Harsh Environments Ammonium Sulphate, Engineering Limited, Perth Warren Green Taywood Engineering Limited, Sydney

www.SID.ir

Archive of SID

Persistent Concretes in Environments Containing High Amount of Ammonium Sulfate

R. Fakhri, BSc. Civil Engineering

Abstract

In areas where underground soil and waters may contain high amounts of sulfates or in places where structures have been constructed in offshore sites, concrete must be designed in a way that can persist against sulfate invasions. Sulfate salts, when are in solid phase, are unlikely to be able to damage concrete. However, when they turn into soluble phase, they react with the Calcium hydroxide, Calcium Aluminates and Silica Hydrate which are created through cement hydration process. This reaction can result in destruction of concrete. This article evaluates six different concrete compounds which varied with cement materials in terms of the sort of additives used in them. Samples of such concretes were put exposed to Ammonium sulfate during routine cycles and then a comparison was made between them. Result showed that the concrete whose cement contained lava ashes had a worse performance in comparison to conventional cement. Also, addition of silicon fume and crystals for the purpose of sealing, contributed remarkably in improving persistence to ammonium sulfate invasions. This article helps to unveil solutions for ensuring concrete persistence in such circumstances.

Keywords*: concrete, persistence, sulfate, reaction, cement*

www.SID.ir