بتن های فوق سنگین با مقاومت زیاد برای محافظت در برابر اشعه

مرتضی نیک‌روان، دانشجوی کارشناسی، دانشگاه علم و صنعت ایران
تلفن : ۰۹۱۲۶۰۹۸۲۷۳ ، پست الکترونیکی : m_nikravan@civileng.iust.ac.ir

چکیده

بتن های فوق سنگین با مقاومت زیاد و دانسیته ۳۸۰۰-۴۸۰۰ (kg/m^3) ، برای محافظت در برابر تابش مورد استفاده قرار می گیرند . افزایش دانسیته بتن کاملا به میزان استفاده از ضایعات شیشه های سنگین سیلیکات سرب (با علامت تجاری DF) به عنوان مواد پرکنندهٔ و فوق روان کننده (SP) بستگی دارد .

این مقاله سعی دارد ضمن معرفی بتن های فوق سنگین ، ویژگی ها و کاربرد آن را نیز بیان کند

کلید واژه‌ها : ***مقاومت زیاد ، بتن ، تابش ، محافظت ، بتن فوق سنگین ، پرکننده شیشه ای***

۱- مقدمه

گسترش تکنولوژی همراه با تولید مواد جدید همراه بوده که در سازه های خاص به کار گرفته می شوند. بتن های فوق سنگین که در این مقاله به آن پرداخته شده است نمونه ای از این مواد هستند.

زباله های رادیواکتیویته و تابش های نوترونی با قابلیت نفوذ بالا از خطرناک ترین آلاینده های محیط زسیت محسوب می شوند ، برای غلبه بر این مشکل بتن های فوق سنگین با مقاومت زیاد ابتداع شد که برای محافظت در برابر تابش ها و اشعه γ به کار می روند

برای کاهش نفوذ اشعه و جریان های ناشی از نوترون ها ، از بین موادی که می تواند برای محافظت در برابر تابش مورد استفاده قرار گیرد ، بتن ماده کار آمدی است زیرا بتن دارای دانسیته زیاد و مقدار قابل توجهی از مواد شیمیایی آن با هیدروژن ارتباط دارند . (هیدراسیون).

برای افزایش دانسیته بتن باید از فوق روان کننده ها با خاصیت پراکندگی خوب و همچنین پرکننده های معدنی با خاصیت پخش شوندگی زیاد استفاده شود .(در ادامه این مقاله اصطلاح "مواد پخش کننده" به معنای مواد پرکننده معدنی هستند که وظیفه پخش کردن فوق روان کننده در مخلوط را دارند). استفاده از پخش کننده ها اجازه می دهد تا نسبت آب به سیمان را تا $0.3 - 0.28$ کاهش دهیم .

معمولاً برای پرکننده های این نوع بتن ها، موادی چون سولفات باریم طبیعی ، سنگ آهن ، لیمونیت ، مگنیت ،آهن قراضه و .... استفاده می شود ؛ بیشترین مقاومت مربوط به باریت با $400\ MPa$ ، لیمونیت و ژمتیت با $300\ MPa$ و همچنین مگنتیت و شمش آهن قراضه با مقاومت فشاری $200\ MPa$ دارند . (تست فشاری بر روی یک نمونه استوانه ای با قطر $150\ mm$ انجام شده است) .

اکسید های باریت (AL_2O_3 و Fe_2O_3) کمتر از ۱٪ ، مگنتیت و باریت آبدار ۱-۲٪ ، لیمونیت و ژمتیت ۹-۱۰٪ وزن پرکننده ها را تشکیل می دهند .

۲- ویژگی های سیلیکات سرب سنگین (با علامت DF) تولید ضایعات شرکت های شیشه سازی

از تکه های شکسته شده یا گلوله ای شکلِ ضایعات شیشه DF-10 می توان به عنوان پرکننده در بتن های فوق سنگین با مقاومت زیاد استفاده کرد . عناصر شیمیایی تشکیل دهنده شیشه های سنگین بر حسب درصد به ترتیب زیر می باشد :

$PbO-70.9\ \%\quad SiO_2-27.03\%\quad Al_2O_3, K_2O-1.27\%\quad Na_2O-0.5\%$

ضایعات شیشه های DF، که به عنوان پرکننده انتخاب می شود باید خواص زیر را دارا باشد :

- چگالی : $5.2\ gr/cm^3$
- مقاومت : $120-200\ MPa$
- مدول الاستیسیته : 55300
- ضریب پواسون : 0.2
- ضریب هدایت گرمایی : $0.621\ Bt/m*^{\circ}C$
- ضریب انبساط خطی در دمایی بین $100-20$درجه : 81×10^{-7}
- نفوذپذیری در برابر فرکانس 30 هرتز : 9.47

مدول الاسیسیتهٔ شیشه های سیلیکات سرب DF-10 که برای این کار استفاده می شود $55.3\times10^3\ MPa$ است . این ضریب نباید بیشتر از $60\times10^3\ MPa$ باشد و در بین شیشه هایی که از سرب سولفات باریم ساخته می شوند ، این نوع شیشه کمترین ضریب الاستیته را دارد .

طبق معادله $G=\frac{E}{2(1+\mu)}$ اگر E مقدار مشخص $55.3\times10^3\ MPa$ و ضریب پواسون 0.2 باشد، G (مدول صلابت برشی) برابر $2.3\times10^3\ MPa$ خواهد شد .

همچنین شیشه های DF-10 نسبت به شیشه هایی دیگر ظرفیت گرمایی و هدایت گرمایی کمی دارند .

۳- فرم شناسی ترکیب سیمان و شیشه و خصوصیات کاهش آب

در این مطالعه تاثیر افزایش شیشه در کلینکر سیمانی که در آن روان کننده استفاده شده و سیمانی که درآن روان کننده استفاده نشده و همچنین تاثیر آن در مخلوط بتن مورد توجه قرار گرفته است.

ما در اینجا به عنوان فوق روان کننده از سولفید نفتالین استفاده کرده ایم .

تخمین کاهش آب در استفاده از فوق روان کننده بر اساس روش افزودن فوق روان‌کننده (SP) بستگی دارد . در روش افزودن آب با مواد پرکننده مثل مواد معدنی که سیمان را پخش می‌کنند(DC) ، مقدار W_a (کاهش آب) بر اساس کاهش مقدار آب مصرفی در سوسپانسیون حاصل از فوق‌روان‌کننده محاسبه می‌شود. مواد پخش‌کننده فوق‌روان‌کننده‌ها، با آب مخلوطی را ایجاد می‌کند که با کاراکتر $\frac{W}{H}$ (نسبت آب به سختی بتن) ارتباط دارند .

میزان مواد پخش‌کننده (DC) از ۱۷ تا ۲۰٪ وزن مخلوط تغییر می‌کند.

$$(\frac{W}{H})_{calc.} = (\frac{W}{C}).m_c + (\frac{W}{H_{gl}}).m_{gl} \qquad (۱)$$

$\frac{W}{C}$ و $\frac{W}{H}$ به ترتیب نسبت آب به سیمان و آب به سختی می باشد زمانی که از روان کننده در مخلوط سیمان و شیشه استفاده می شود و m_c و m_{gl} به ترتیب وزن سیمان و شیشه‌ای است که در میکسر شکسته میشود.

به دلیل دانسیته متفاوت سیمان و شیشه ما باید برای رسیدن به سطحی از مواد پرکننده، حجم سوسپانسیون در فاز ثابت را از رابطه زیر حساب می کنیم:

$$S = \frac{1/p}{(1/p + W/H)} \qquad (۲)$$

که در این رابطه P حجم کل در حالت ثابت خمیری بتن بر حسب $\frac{gr}{cm^3}$ است و $\frac{W}{H}$ نسبت آب به سختی است.

به عبارت دیگر برای ارزیابی تاثیر فوق‌روان‌کننده‌ها در این بتن ها ، شش نوع سیمان پرتلند استفاده شده‌است. پنج نوع از آن‌ها $PC-500$ و بدون افزودنی و یکی $PC-400$است که ۲۰٪ از بتن های ساخته شده از این نوع است.

اگر ما به آب مصرف شده در در حجم ثابت دقت کنیم ، خواهیم دید نسبت آب به حجم مخلوط ۱،۴ است و نسبت آب به سیمان ۱،۵۵-۱،۲۴ است ؛ که این اختلاف بین سیمان و شیشه در پرکننده ها در بیشتر انواع سیمان ناچیز است .

مقایسه بعضی از انواع سیمان ها بدون استفاده از روان کننده در حالت سوسپانسیون ، نشان می دهد در همان حالت خمیری ، سیمان های حاوی ضایعات شیشه ، آب بیشتری مصرف می کنند .

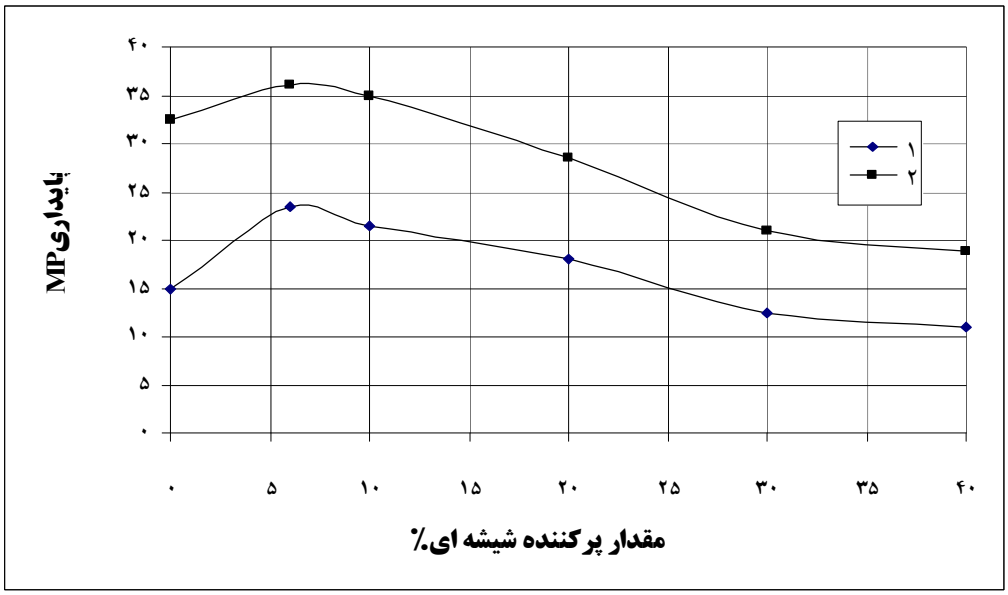
که این حقیقت را روشن می کند که شیشه با سطح مخصوص ($S_{spec} = 240\, m^2/kg$) نسبت به سیمان با سصح مخصوص ($S_{spec} = 300 - 400\, m^2/kg$) کمتر پراکننده می شود و شیشهٔ مصرفی در همان غلظت از آب ، بیشتر است .

۴- تاثیر شیشه روی انرژی جنبشی ملات ماسه سیمان و توسعه بتن های مقاوم

برای ارزیابی روند ساختمانی و بهینه سازی مصرف شیشه در قالب ریزی ها ، مطالعاتی انجام شد و انرژی ملات ساخته شده از نسبت ۱ به ۳ سیمان $PC-500$ و ماسه کوارتزی با مدول نرمی ۱،۴۶ و مقدار شیشه DF-10 ($S_{spec} = 572\, m^2/kg$) مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی مقاومت روی نمونه هایی که درآب نگه داشته و سن های ۱،۳، ۷،۱۴،۲۸روزه انجام شد .[1]

برای رسیدن به مخلوطی با غلظت نرمال با استفاده از شیشه های معرفی شده ، نیاز به آب بسیار کمی است. بنا براین نسبت آب به سیمان مخلوط نرمال ۰،۵ می باشد . وقتی که مقدار شیشه(DF-10) استفاده شده ۵ ، ۱۰ ، ۲۰ درصد باشد،کاهش آب نیز به ترتیب ۵ ، ۱۱،۱ و ۱۱،۷ درصد است.

مقاومت های حاصل شده بر حسب نموداری که در شکل ۱ آمده تغییر می کند .مقدار بهینهٔ اضافهٔ کردن شیشه به عنوان پرکننده بین ۱۲،۵-۸ درصد وزن سیمان است . باید به این نکته دقت شود که افزایش سهم شیشه به بیش از ۲۰ ٪ موجب کاهش مقاومت بتن می شود .



شکل ۱: *تاثیر پخش شدگی شیشه در پایداری مخلوط : ۱- پایداری سن ۳ روزه ۲- پایداری سن ۲۸ روزه*

برای افزایش تراکم بتن مطالعات مقدماتی روی ساختار توزین دانه بندی انجام شد که از سنگدانه هایی با حجم دانه ای۳،۷ و درصدتراکم ۳۷ درصد استفاده شده است .

ماکزیمم چگالی $4297\ kg/m^3$ زمانی برای بتن حاصل می شود که در پرکنندهٔ بتن از دانه بندی موزون و مناسب استفاده شود . در این حالت مقاومت فشاری بتن $92\ MPa$ می رسد؛ این در حالی است که نسبت آب به سیمان برابر ۰،۲۴ باشد و این نکته حائز اهمیت است که حتی در بتنی که از موادگرانیتی به عنوان پرکننده استفاده می شود و نسبت آب به سیمان ۰،۲۹ باشد ، به این مقاومت نمی رسیم .

رابطه اجزای مخلوط در این بتن به صورت زیر است :

$1:0.18:2.03$ خرده شیشه :ماسه : مواد معدنی

$1.6:34$ خرده شیشه : سیمان

کاهش نسبت $\frac{W}{C}$ باعث افزایش تراکم و کاهش تخلخل در کل بتن می شود ، همچنین موجب تغییر خواص فیزیکی- مکانیکی و خواص کاربردی بتن می شود .[1].

جمع شدگی بتن هایی که در آنها از روان کننده و پرکنندهٔ شیشه ای و همچنین مواد پخش کننده استفاده می شود ، خیلی کم است (حدود $15\ mm/m$) و انقباض کامل این نوع بتن ها بعد از خشک و سخت شدن از $0.3\ mm$ بیشتر نمی شود و این مقاومت بالای بتن را در مقابل ترک خوردگی ، نشان می دهد .

بتن ها با مقاومت فوق العاده زیاد می توانند در ساختمان راکتورها و یا سازه های احاطه کننده گودال هایی که در زمین برای دفن مواد رادیواکتیویته حفر می شود، به کار برود. [2]

۵- پایداری چسبندگی مرز بین سیمان و پرکننده

یکی از عوامل اصلی که باعث افزایش پایداری بتن می شود ، فراهم کردن قابلیت چسبندگی پایدار در مرز جداشدگی بین سیمان و پرکننده ها است .

در بتن هایی که از پرکننده های شیشه ای استفاده می شود ، سطح صیقلی خرده شیشه ها و مقدار بیش از حد ذرات صفحه ای شکل یا سوزنی شکل ، که در روند شکستن حاصل می شود در تخمین پایداری چسبندگی بین سیمان و پرکننده تاثیر بسزایی دارد .

مطالعاتی بر روی مرز جداشدگی سیمان و پرکننده روی نمونه ای که شکل هندسی شیشه در سیمان اصلاح شده بود ، انجام شد و با این آزمایش همچنین مقایسه ای روی انواع طبیعی مواد سنگی انجام گرفت ؛ در این آزمایش مقاومت ۲۸ روزه مد نظر بوده و شرایط طبیعی دمای ۲۲ $\pm$ ۲ می باشد ؛ نتایج این آزمایش در جدول ۱ آمده است[1]

شماره	انواع مواد	مقاومت چسبندگی *MPa*	مشخصات گسیختگی		توضیحات
			مواد چسبیده	مواد چسباننده	
1	Granite	2.89	70	30	خرده کریستال های گرانیت
2	Quartz	0.81	50	50	خرده کریستال های کوارتز
3	Granodiorite	1.7	65	35	-
4	Microline	0.67	30	70	خرده کریستال های میکرولاین
5	Plagioclase	0.58	25	75	-
6	Bauxite	0.8	50	50	خرده کریستال های بوکسیت
7	Argillite	0.1	15	85	-
8	Glass DF	0.1	15	85	-

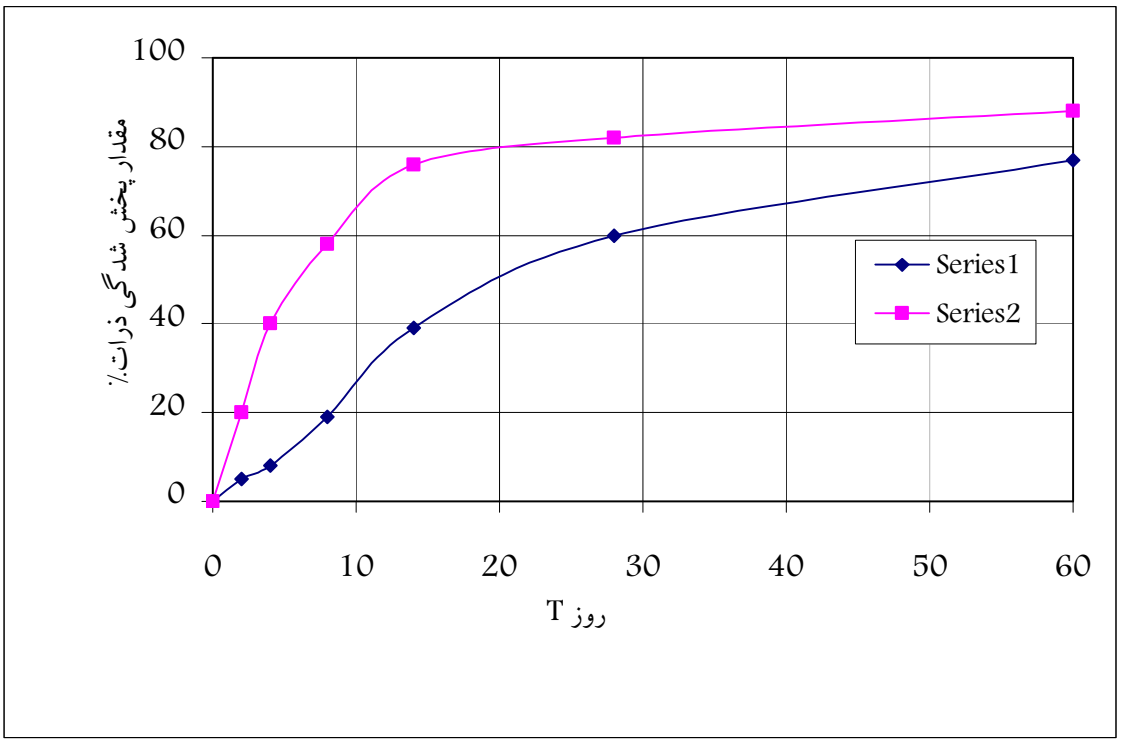
جدول ۱ : *مرز جداشدگی سیمان و پرکننده های مختلف*

۶- پایداری چسبندگی سیمان سخت شده و مواد سنگی (سنگدانه)

ماکزیمم مقاومت چسبندگی در نمونه هایی از سیمان سخت شده که در آن سنگ گرانیت و گرانودوریت (ترکیبی ازگرانیت و دوریت) به کار رفته است، به ترتیب $2.89\ MPa$ و $1.70\ MPa$ است. پایداری چسبندگی در گروه سیلیکات و کوارتز و میکروگلاین کمی کمتر است. مشاهدات عینی بعد از آزمایش گسیختگی سیمان سخت شده ، نشان می دهد که گسیختگی ، از سطح سیمان صورت می گیرد .

یکی از عوامل گسیختگی ، میکس کردن است ؛ گسیختگی در خود سیمان سخت شده ۶۰ تا ۷۰ درصد ازگسیختگی سطح تماس بین سیمان و مواد سنگی را تشکیل می دهد .[2]

سطح باقیمانده از گسیختگی مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داد که گسیختگی کاملِ مرز چسبندگی در شیشه و آرگلیت اتفاق می افتد و آرگلیت کمترین مقاومت چسبندگی را در بین مواد داراست .



شکل ۲ : *مقدار پخش شده ذرات در سن های مختلف : ۱- بتن با خرده های گرانیت ۲- بتن با پرکننده شیشه ای*

عوامل گسیختگی در بتنی با پرکنندهٔ شیشه ای به وسیله آزمایش در اولین روز سخت شدن بتن مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داد این عوامل با اطلاعاتی که از کم بودن پایداری چسبندگی نمونه بدست آمده ، رابطه دارد . ضمناً با افزایش سن بتن ، مقاومت پرکننده های ماکروسکوپی (درشت) و پرکننده های میکروسکوپی (مثل شیشه) ، بدون هیچ تخریبی در مرز بین آنها ، کاهش می یابد . [3]

با توجه به شکل ۲ در توضیح می توان گفت که آبکاف آهک و قلیاهای سیمان با مواد تشکیل دهنده شیشه روی چسبندگی سطحِ تماس تاثیر دارد و باعث افزایش سطح ترک های میکروسکوپی و ماکروسکوپی می شوند . که این از ویژگیهای این نوع پرکننده است .

بعد از سن ۱۸۰ روز ، ویژگیهای مقاومت چسبندگی در مرز سیمان سخت شده و شیشه حدوداً شبیه مقاومت سیمان سخت شده وگرانیت می شود .

۷- نتیجه گیری

از آنجا که دانستیته بتن های حاوی شیشه DF -10 بالاست و توانایی جلوگیری نفوذ اشعه را به میزان زیادی دارد ، می توان از آنها برای نگهداری راکتورها و یا دفن مواد رادیواکتیویته در زیر خاک استفاده کرد.

خواص فیزیکی- شیمیایی بتن های فوق العاده مقاوم که با پرکننده شیشه DF-10 ساخته شده اند ، در جدول۲ نشان داده شده :

ویژگی های اصلی	واحد	مقدار
چگالی	kg/m^3	2400-3800
مقاومت فشاری بتن با دوام بالا	MPa	80-100
دوام خمشی	MPa	8-10
مقدار آب	%	1-1.4
: گیرش بتن		
در حالت طبیعی -	mm/m	0.1- 0.11
دردمای ۱۰۵ درجه -	mm/m	0.25- 0.3
مدول دینامیکی	MPa	$(41..42)\times10^3$
ضریب سایش داخلی	-	0.011- 0.0043
ضریب سهولت خطی	cm^{-1}	0.27- 0.35
ضریب مقاومت تابشی	-	0.9

جدول ۲ : *خواص بتن فوق العاده مقاوم با پرکننده شیشه DF-10*

۷- مراجع

[1] A.P.Proshin ,V.S.Demjanova ,D.V.Kalashnicov and O.V.Grintsova "Concrete For Protection Against Radiation". Asian Journal of Civil Engineering VOL.6,NOS.1-2(2005)

[2] N.C. Department of Environment and Natural Resources, Division of Environmental Health Radiation Protection Section , Raleigh, North Carolina " NORTH CAROLINA REGULATIONS FOR PROTECTION AGAINST RADIATION "Printed October 2002

[3] Christian Meyer, "Concrete for the New Century " , Association of New York City Concrete Producers .2002