



کاربرد میکروسیلیس والیاف فولادی در بتن حجیم و روش اجراء آن (سد و مخازن بتنی و...)

علیرضا اسماعیلی، دانشجوی کارشناسی عمران - عمران (ورودی 81)، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه¹

چکیده

در بتن ریزی سدها و قطعات حجیم بتنی همواره حبس گرما و افزایش دمای بخشهای مرکزی (هسته)؛ ناشی از هیدراتاسیون سیمان و آب) مشکلاتی را در طرح اختلاط و اجراء ایجاد می کند (این افزایش دما ترکهای حرارتی را سبب شده و مقاومت نهایی را نیز کم می کند). در روش سنتی بتن ریزی تدابیری برای رفع این نقیصه اندیشیده شده است که هزینه بر می باشد و کیفیت بتن حاصله نیز آنطور که باید مطلوب نمی شود. در این مقاله ابتدا کاربرد میکروسیلیس در بتن حجیم مطرح شده (که با کاربرد صحیح آن می توان تا حد قابل قبولی بر مشکل حرارت زایی در بتن حجیم فائق آمد). و سپس اشاره ای به مزایای کاربرد الیاف فولادی در بتن حجیم شده و در انتها نیز برای اجراء بتن حجیم روش بتن پیش آکنده پیشنهاد گردیده که کاهش هزینه ها، رفع مشکل حرارت زائی، ایمنی بیشتر و افزایش کیفیت بتن حاصله به همراه سهولت اجراء از مزایای این روش بتن ریزی می باشد.

کاربرد میکروسیلیس والیاف فولادی در بتن حجیم و اجراء آن به روش بتن پیش آکنده می تواند نقیصه ترکهای حرارتی ناشی از حبس گرمای هیدراتاسیون و کم شدن مقاومت نهایی را رفع کند. علاوه بر این کیفیت بتن حاصله نیز مطلوب میگردد.

کلمات کلیدی: میکروسیلیس، الیاف فولادی، بتن حجیم، مقاومت فشاری.

مقدمه

میکروسیلیس یا دوده سیلیسی شکل ریزی از مواد سیلیسی می باشد که ذرات این ماده 50 تا 100 برابر از ذرات سیمان کوچکتر بوده و به عنوان مواد پر کننده بین اجزاء تشکیل دهنده بتن عمل نموده و علاوه بر اینکه باعث چسبندگی ذرات بین سیمان می شوند؛ چسبندگی بین سیمان و سنگدانه را نیز افزایش می دهند. این ماده به روش جذب و فرو نشاندن الکترواستاتیکی گرد همراه با گازهای متصاعد از کوره های الکتریکی از نوع قوسی غوطه ور کارخانجات سیلیس و آلیاژهای آن تهیه می شود. میکروسیلیس یا دوده سیلیسی بسیار نرم و به صورت پودر می باشد و مرکب از مواد غیر بلوری یا قطره های بین 0,2 تا 0,5 میکرون است و جرم مخصوص آن $2,2 \text{ gr/cm}^3$ دارای بزرگترین سطح مخصوص با مقدار تقریبی $20 \text{ m}^2/\text{g}$ (نسبت به سیمان با مقدار $0,3-0,4 \text{ m}^2/\text{g}$) می باشد. چگالی ظاهری این ماده 200 kg/m^3 می باشد. میزان سیلیس در این ماده معمولاً 85 تا 98 درصد می باشد که بستگی به نوع

محصول کوره و کارخانه سیلیس دارد. در کوره هایی که مجهز به سیستم بازایی حرارتی می باشند اگر دمای گاز خروجی حدود 800 درجه سانتی گراد باشد؛ آنگاه میکروسیلیس یا دوده سیلیسی حاصل دارای رنگ روشن خواهد بود و در غیر اینصورت دمای گاز خروجی حدود 200 درجه سانتی گراد بوده و مقداری کربن سوخته در آن باقی می ماند و در نتیجه سیلیس خاکستری رنگ تولید می شود. [1 و 2 و 3]

در این مقاله ابتدا مزیت های کاربرد میکروسیلیس در بتن حجیم آورده شده و سپس مزایای کاربرد الیاف فولادی و روش بتن ریزی پیش آکنده در تهیه و اجراء بتن حجیم بیان شده است.

1- مزیت های کاربرد میکروسیلیس در بتن حجیم

1-1- افزایش مقاومت فشاری و کششی

مقاومت بتن شاید مهمترین معیار برای ارزیابی کیفیت بتن باشد. افزایش مقاومت نسبت به زمان بر اساس تداوم آبیگری سیمان و کاهش درصد تخلخل و فضای خالی بین مواد متشکله در مرحله ایجاد چسبندگی می باشد. [4] میکروسیلیس شکل ریزی از مواد سیلیسی می باشد که با هیدروکسید کلسیم ناشی از هیدراتاسیون سیمان ترکیب شده و ترکیب ژل مانند (C-S-H) را می سازد. این ترکیب؛ عنصر اصلی مقاومت اضافی و کاهش تخلخل و بهم فشردگی ذرات متشکله بتن می باشد. کریستالهای بزرگ هیدروکسید کلسیم در فصل مشترک سنگدانه و خمیر؛ مانع پیشرفت مقاومت می شود که میکروسیلیس تحت واکنش پوزولانی با هیدروکسید کلسیم آنرا به اجزاء مقاومتی بنام سیلیکات کلسیم هیدراته تبدیل می کند. [5] بدین ترتیب مقاومت فشاری بتن افزایش میابد.

مقاومت کششی کنترل کننده رفتار ترک خوردگی است و دیگر خواص نظیر سختی، عملکرد میرایی، پیوستگی فولاد و دوام بتن را تحت تاثیر قرار می دهد. همچنین این مقاومت از نظر رفتار بتن تحت برش اهمیت دارد. رابطه تنش کششی برزلی بتن با مقاومت فشاری توسط کمیته ACI636 بصورت زیر می باشد:

$$f_{ct}=2.0(f_c)^{1/2} \quad (1) \quad , \quad (f_c < 830 \text{ kg/cm}^2)$$

مثلاً" با افزایش مقاومت فشاری بتن (با استفاده از میکروسیلیس) از 210 kg/cm^2 به 560 kg/cm^2 مقاومت کششی حدوداً" دو برابر می شود. {ص 86} افزایش مقاومت فشاری؛ مدول گسیختگی بتن را نیز زیاد می کند. مثلاً" با افزایش مقاومت فشاری بتن (با استفاده از میکروسیلیس) از 210 kg/cm^2 به 560 kg/cm^2 مدول گسیختگی بتن نیز دو برابر می شود. ضریب $(f_c)^{1/2}$ همانند آن در رابطه (1) برای مدول گسیختگی بتن در دامنه 2.0 تا 3.2 واقع است. [6] تغییر شکل بتن بستگی به خواص کوتاه مدت نظیر مدول الاستیسیته استاتیکی و قابلیت کرنش پذیری دارد. همچنین تحت تاثیر خواص دراز مدت نظیر جمع شدگی و خزش است. بر اساس آئین نامه ACI [7] مدول الاستیسیته استاتیکی با افزایش مقاومت فشاری بتن به صورت زیر مرتبط است :

(2):

$$E_c=0.14(w)^{1.5}(f_c)^{1/2}$$

این فرمول نشانگر افزایش مدول الاستیسیته استاتیکی افزایش مقاومت فشاری می باشد. مدول الاستیسیته دینامیکی نیز با افزایش مقاومت فشاری افزایش می یابد. در ضمن افزایش مقاومت فشاری بتن سبب کاهش خزش می شود. بنابراین در مجموع با افزایش مقاومت فشاری تغییر شکل بتن نا چیز خواهد شد. [6]

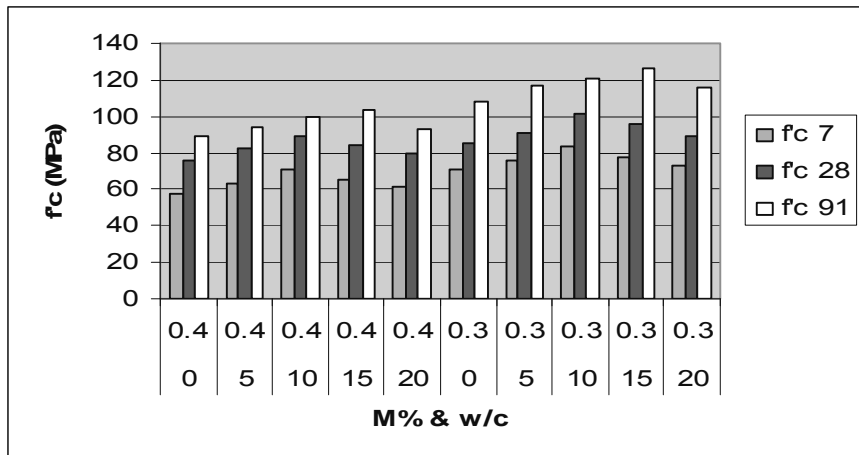
افزایش مقاومت فشاری باعث افزایش مقاومت سایشی نیز می شود که مقاومت سایشی بتن های حاوی میکروسیلیس با مقاومت فشاری زیاد بهبود می یابد.

جدول (1) و نمودار (1) تغییرات مقاومت فشاری با کاربرد میکروسیلیس را نشان می دهد.

جدول (1): تغییرات مقاومت فشاری با افزایش درصد جایگزینی میکروسیلیس و کاهش w/c

شماره طرح	w/c	M %	فوق روان کننده (درصد مواد سیمانی)	بتن یا درشت دانه کوارتزیت		
				f'_c	f'_c	f'_c
1	0,4	0	1,2	57,9	75,7	89,1
2		5		63,6	82,5	94,0
3		10		70,5	89,2	99,8
4		15		65,5	84,3	103,4
5		20		61,2	79,4	92,7
6	0,3	0	1,2	70,8	85,7	107,7
7		5		75,4	90,9	117,2
8		10		83,7	102,0	120,9
9		15		77,2	95,9	126,1
10		20		72,9	88,7	115,8

نمودار (1) برای جدول (1)



1-2- افزایش مقاومت سایشی

سطوح بتنی در اثر اصطکاک، حرکت اشیاء سنگین، غلطیدن و یا حضور مواد ساینده بر سطح بتن تحت سایش قرار می گیرند. در مورد سازه های آبی عمل مواد ساینده ای که با آب حمل می شود سبب فرسایش و از بین رفتن تدریجی بتن می گردد. علت دیگر خسارت آبهای جاری بر بتن؛ خلاء زایی می باشد. مقاومت سایشی مربوط به سختی و مقاومت لایه های سطحی است. یکی از عوامل مهم در بهبود رفتار سایشی بتن استفاده از میکروسیلیس می باشد که همانطوریکه اشاره شد از طریق افزایش مقاومت فشاری؛ مقاومت سایشی نیز افزایش می یابد.

بطور کلی با بکارگیری پایین ترین نسبت آب به سیمان ممکن (معمولاً بین 0,3 تا 0,4) و درصد زیاد سیمان، می توان به بتن با مقاومت فشاری و در نتیجه مقاومت سایشی بیشتری دست یافت. [8] البته باید در کاربرد سنگدانه نیز از سنگدانه با سختی زیاد استفاده کرد تا مقاومت سایشی افزایش یابد.

1-2-1- سایش توسط خلاء زایی

در صورتی که فشار سطح سیال به حدود کمتر از فشار بخار آن برسد باعث بروز تبخیر ناگهانی می شود که این پدیده موجب بروز خلاء زایی یا کاویتاسیون خواهد شد که این پدیده به هنگام جریان یافتن سیالات در خطوط لوله ها، پمپها و سرریز سدها و مخازن و ... قابل ملاحظه می باشد که با وقوع چنین پدیده ای خردگی در آن سازه ها بوجود می آید. [34]

1-3- افزایش مقاومت پیوستگی با فولاد

میکروسیلیس با کاهش آب انداختگی در بتن تازه، تجمع آب آزاد در زیر دانه و فولاد را کاهش داده و مقاومت پیوستگی را افزایش می دهد. با افزایش مقدار میکروسیلیس، مقاومت بیرون کشیدگی آرماتور از بتن به نحو قابل توجهی افزایش می یابد. [6]

1-4- حرارت زایی

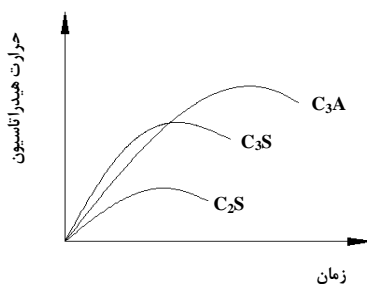
اغلب سازه های دارای ابعاد سازه ای بزرگ دارای بتن ریزی حجیم می باشند و گرمای ایجاد شده در اثر عمل هیدراتاسیون در آنها بسیار بالا خواهد بود. [10 و 11] گرمای سیمان و بویژه آهنگ ایجاد این گرما باعث بالا رفتن دمای بخشهای مرکزی، انبساط و تنشهای حرارتی می گردد. هیدراته شدن سریع منیزیم آزاد موجود در سیمان در دمای زیاد و فشار بالا نیز شدیدا "انبساط مخزنی ایجاد می کند. ترکهای حاصله به کیفیت مکانیکی و دوام بتن جوان لطمه جدی می زند. دمای زیاد، سقف مقاومتی بتن را کاهش داده و موجب پایین آمدن مدول ارتجاعی آن می گردد. همچنین پایایی بتن صدمه دیده و نفوذپذیری آن افزایش می یابد. [12 و 13 و 14] بنابراین کاهش حرارت هیدراتاسیون برای کسب مقاومت نهایی بیشتر سودمند خواهد بود و ترکهای حرارتی نیز کنترل می شود.

1-4-1- حرارت هیدراتاسیون

واکنش شیمیایی بین مولفه های کلینگر سیمان و آب باعث عمل هیدراتاسیون می شود. این واکنش شیمیایی به شکل شدیدی حرارت را می باشد و مقدار زیادی گرما تولید می کند. در ضمن با افزایش دما در طی عمل هیدراتاسیون، سرعت واکنش هیدراتاسیون نیز افزایش می یابد. [10 و 15]



نمودار (2): حرارت هیدراتاسیون - زمان



50 درصد حرارت حاصل از هیدراتاسیون یک گرم سیمان در روزهای اول تا سوم و حدود 75 درصد آن در هفت روز اول تولید می شود. [33]

کاهش نسبت آب به سیمان موجب تسریع واکنش هیدراتاسیون می گردد و لیکن این واکنش بصورت کامل انجام نمی پذیرد. نتایج بدست آمده در رابطه با حرارت زایی حکایت از این دارد که با کاهش نسبت آب به سیمان حرارت زایی سیمان و همچنین میکروسیلیس در بتن کاهش می یابد. [16]

2-4-1- تاثیر میکروسیلیس بر حرارت هیدراتاسیون

در مخلوط های بتن با نسبت های آب به مواد سیمانی (0,6-0,4) و درصد معمول استفاده از میکروسیلیس (10%)، حرارت زایی یک گرم میکروسیلیس از یک گرم سیمان پرتلند معمولی بیشتر بوده و در مواردی بیشتر از دو برابر آن خواهد بود. [17] بنابراین در آزمایشهای تعیین میزان مصرف میکروسیلیس برای استفاده در بتن ستونهای پلها و سایر سازه های بتنی نیمه حجیم و حجیم که در صدهای نزدیک 10% تعیین شده است، احتمال وقوع ترکهای حرارتی و در نتیجه کم شدن مقاومت نهایی و افزایش نفوذپذیری و زیاد شدن احتمال تخریب در برخی سازه ها (تخریب فولاد داخل بتن یا خود بتن در سیکل یخ زدن هاو...) را باعث شد. مطالب زیر نیز عنوان کننده این موضوع می باشد.

مطالعات انجام شده روی مسئله حرارت زایی بتنهای حاوی میکروسیلیس نشان داده که کاربرد میکروسیلیس در حدود 10% وزن سیمان مصرفی بالاترین حرارت زایی را ایجاد کرده و در مقادیر بالاتر استفاده شروع به افت می کند. [17]

همانطور که در قسمت 1-2-4 نیز اشاره شد؛ کاهش نسبت آب به سیمان (w/c) باعث کاهش حرارت هیدراتاسیون میگردد. آزمایشهای هلند نیز تایید کننده این امر است.

هلند [17] و [16] روی حرارت زایی مخلوط های بتن با w/c از 0,2 تا 0,6 و سیمان معمولی و کاربرد میکروسیلیس 15%؛ به روش آدیباتیک مطالعاتی انجام داده است. نتایج وی بیانگر کمتر شدن حرارت زایی میکروسیلیس در نسبتهای پایین w/c نسبت به جرم مساوی سیمان معمولی است. [17] یعنی در w/c کمتر؛ حرارت هیدراتاسیون مقداری میکروسیلیس کمتر از حرارت هیدراتاسیون همان مقدار سیمان معمولی می باشد.

بنطور [17] و [18] نیز آزمایشهایی مشابه هلند انجام داده که با کاربرد w/c=0.33 و میکروسیلیس 15% وزن سیمان به این نتیجه رسید که یک گرم میکروسیلیس حرارت زایی کمتر از 0,5 گرم سیمان داشته است.

سانچر [17] و [19] با w/c=0.5 و در دمای 20 درجه سانتی گراد مطالعاتی روی بتنهای حاوی درصدهای میکروسیلیس 5 و 10 و 15 و 30 نسبت به وزن سیمان؛ انجام داده است که در طول شش روز به ترتیب حرارت معادل 320 و 340 و 325 و 315 ژول برای هر کدام بدست آورد. که ضریب حرارت زایی برای 10% جایگزینی برابر 1,6 و برای 15% برابر 1,1 و برای 30% برابر 0,8 قابل تعیین می باشد. [17]

ملند [20] و [17] نیز آزمایشهایی مشابه سانچر با مقادیر جایگزینی 10% و 20% میکروسیلیس و با w/c=0.5 و در دمای 20 درجه سانتی گراد در ظرف دو روز انجام داده است. نتایج وی حاکی از این می باشد که با افزایش درصد جایگزینی میکروسیلیس بجای سیمان از 10% به 20%؛ حرارت زایی کمتر می شود. وی ضریب حرارتی را برای جایگزینی 10% میکروسیلیس؛ برابر 0,35 و برای جایگزینی 20% برابر 0,2 بدست آورد. [17]

بنابراین در تفسیر نتایج آزمایشات حرارت زایی بتن حاوی میکروسیلیس باید گفت که با افزایش درصد جایگزینی میکروسیلیس از 10% به بالا حرارت زایی آن به ازاء واحد جرم کاهش مییابد و در ضمن با کاهش نسبت آب

به سیمان نیز؛ حرارت زایی میکروسیلیس به ازای واحد جرم کاهش می یابد و در بعضی موارد حتی کمتر از جرم مساوی سیمان نیز می شود.

پس استفاده از میکروسیلیس برای کاهش مسائل حرارتی بتنهای حجیم که قبلاً اشاره شد؛ می تواند با در نظر داشتن w/c و درصد صحیح مقدار کاربرد میکروسیلیس صورت گیرد.

5-1- رفتار پوزولانی میکروسیلیس

رفتار پوزولانی میکروسیلیس در بتن، مهمترین خاصیتی است که باعث بوجود آمدن خواص قابل ملاحظه ای در بتن سخت شده می گردد. این ماده بواسطه شکل و اندازه ذراتش؛ یک پوزولان خیلی فعال و پر کننده موثری است. در جریان هیدراتاسیون سیمان پرتلند، بخش زیادی از فعالیت پوزولانی میکروسیلیس باعث تبدیل کریستالهای هیدرکسید کلسیم غیر مفید به ژل می شود. این ژل (C-S-H) دارای C/S کمتری نسبت به ژلهای معمولی است و ظرفیت بالایی در ترکیب با یونهای خارجی و خصوصاً "یونهای بازی دارد. خاصیت پر کنندگی میکروسیلیس نیز باعث توزیع یکنواخت و هموژن محصولات بدست آمده از هیدراتاسیون در مخلوط می گردد. نهایتاً ترکیب دو خاصیت پر کنندگی و پوزولانی میکروسیلیس در ایجاد یک جسم بسیار متراکم و کم تخلخل؛ خود را نشان می دهد. بنابراین فعالیت پوزولانی باعث کاهش نفوذپذیری بتن و کاهش درجه قللیت آن می شود. کاهش نفوذپذیری باعث تغییر توزیع اندازه های منافذ می گردد. وقتی ذرات میکروسیلیس به بتن اضافه می گردد اندازه لوله های موئینه (که در میان ذرات ریز سیمان قرار دارند و از میان آنها سیمان آب خود را به سطح بتن می رساند) بمقدار زیادی کاهش می یابد، زیرا این ذرات قادرند راه خود را به فضاهای خالی بین ذرات سیمان پیدا کنند و باعث قطعه قطعه شدن کانالهای جریان آب گردند. همچنین به علت افزایش تعداد نقاط تماس ذرات خمیر به یکدیگر ناشی از عملکرد فوق، چسبندگی مخلوط بتن به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد. [21]

از آنجا که منافذ فوق با وجود میکروسیلیس؛ دچار تغییر در توزیع می شوند و تعدادشان کاهش می یابد به آسانی قابل نفوذ نمی باشند. پس بتن حاوی میکروسیلیس در برابر سولفاتها نیز مقاومت خوبی از خود نشان خواهد داد و آب انداختگی بتن نیز که از طریق لوله های موئینه است کمتر اتفاق می افتد. هیدرکسید کلسیم موجود در بتن قابل حل در آب بوده و به صورت پودر کرنات کلسیم بر روی سطح بتن ظاهر می شود که ترکیب آن با سولفاتها، تشکیل گچ یا سولفو آلومینات کلسیم می دهد که حجم آن چند برابر بزرگتر است، این تغییر حجم باعث تخریب بتن می شود. می توان ادعا نمود که کاربرد میکروسیلیس به اندازه 20% وزن سیمان می تواند تقریباً تمام هیدرکسید کلسیم سیمان را از بین ببرد. [22 و 3] بنابراین فعل و انفعالات پوزولانی میکروسیلیس باعث کاهش نفوذپذیری بتن و میزان قللیتی آن (هیدرکسید کلسیم) می گردد که این خود باعث مقاوم بودن در برابر خردگی می شود.

می توان مزیت های کاربرد میکروسیلیس در بتن حجیم را که از رفتار پوزولانی میکروسیلیس حاصل می شوند را به صورت زیر برشمرد:

مقاومت در برابر سولفاتها، مقاومت به خوردگی و تخریب (کاهش میزان قللیتی)، مقاومت به نفوذپذیری و کاهش تخلخل افزایش چسبندگی، آب افتادگی کمتر.

6-1- زمان گیرش

افزودن میکروسیلیس تا حدود 10% وزن سیمان تاثیری بر زمان گیرش ندارد اما مقادیر زیادتر تاخیر در زمان گیرش تا 40 دقیقه را باعث می شود. چون میکروسیلیس جایگزین سیمان شده و حاصل کاهش قدرت سفت شدن اولیه می باشد. البته افزایش دما نیز باعث افزایش آگیری مواد سیمانی شده زمان گیرش را کاهش می دهد. [3 و 23 و

[24]

7-1- دوام در برابر یخبندان

افزودن موادی نظیر میکروسیلیس به بتن که منجر به افزایش قابل ملاحظه مقاومت مکانیکی آن می شود؛ می تواند بر هر کدام از عوامل موثر بر دوام بتن در برابر یخبندان اثر بگذارد. به عنوان مثال با افزایش مقاومت مکانیکی، مقاومت کششی بتن هم زیاد شده و در نتیجه دوام آن در برابر یخبندان نیز افزایش می یابد. همچنین با کاهش تخلخل بتن؛ تنشهای ناشی از یخبندان کم می شود، زیرا مقدار این تنشها بستگی به سطح مقطع نسبی یخ و جسم توپر سنگ و ضریب تغییر شکل نسبی یخ، سنگ و بتن دارد. از سوی دیگر با کاهش ابعاد خلل و خرج میزان جذب آب نمونه بیشتر می شود (پدیده موئینگی). با نزدیک شدن میزان آب درون نمونه به میزان آب حالت اشباع، نمونه بیشتر در خطر تخریب قرار می گیرد. به نظر می رسد کاربرد میکروسیلیس در بتن بر عوامل موثر بر دوام آن در برابر یخبندان آثار متناقضی می گذارد. دکتر علی صدر ممتازی، عضو گروه عمران دانشگاه گیلان؛ طی انجام آزمونهای دوام بتن حاوی میکروسیلیس در برابر یخبندان (با جایگزینی 5% و 10% میکروسیلیس بجای سیمان در بتن) به این نتیجه رسید که جایگزینی 10% میکروسیلیس مقدار مناسبی نسبت به جایگزینی 5% میکروسیلیس بجای سیمان است. [25] علت این امر افزایش مقاومت مکانیکی با افزایش درصد جایگزینی می باشد. در ضمن همانطور که قبلاً نیز اشاره شد؛ با جایگزینی درصدهای بالای 10% میکروسیلیس، تعداد منافذ کاهش یافته و نحوه توزیع آنها دچار تغییر می شود و کانالهای آب (لوله های موئینه) قطعه قطعه می شوند و راه نفوذ و رخنه آب و در نتیجه یخ؛ بسته می شود.

2- کاربرد الیاف فولادی در بتن حجیم حاوی میکروسیلیس

یکی از روشهای کنترل ترکهای حرارتی در بتن حجیم کاربرد الیاف فولادی است. در بتن مسلح به الیاف فولادی؛ عرض ترکها محدود می شود و ترکها بصورت مناسب در سازه توزیع می شود. تحقیقات انجام شده بر روی رفتار فشاری و کششی بتنهای مسلح به الیاف فولادی (براده آهن و...) ساخته شده از بتن با مقاومت معمولی و بالا نشان می دهد که استفاده از الیاف در بتن؛ افزایش مقاومت کششی و فشاری را باعث شده و انعطاف پذیری در بتن را افزایش می دهد. [10] همچنین مقاومت ثانویه ای در بتن به سبب وجود الیاف ایجاد می شود. اضافه کردن 1,5% الیاف به بتن می تواند تا میزان 100% افزایش مقاومت ترکیدگی در بتن بوجود بیاورد. [10 و 26] بنابراین علاوه بر اینکه کاربرد میکروسیلیس 20% w/c در محدوده 0,2 تا 0,4 در بتن باعث کاهش ترکهای حرارتی می شود بلکه می توان با کاربرد الیاف فولادی؛ به میزان قابل توجهی از ایجاد ترکهای حرارتی جلوگیری کرد. روش اجراء نیز می تواند در جلوگیری از ایجاد ترکهای حرارتی کارا باشد. (با کاهش حبس حرارت هیدراتاسیون در داخل بتن حجیم)

3- پیشنهاد طرحی برای اجراء بتن حجیم حاوی میکروسیلیس

1-3- بتن ریزی سنتی (معمولی) در قطعات بتنی حجیم و مشکلات آن

برای کنترل افزایش دما در اوان بتن ریزی در اثر گرمایابی و آهنگ آن مصرف سیمان کم حرارت یا کندگیر با C_2S بیشتر، پوزولان جانشین سیمان، سیمانهای درشت تر و بیات، سیمان با CaO و MgO کمتر، کندگیر کننده ها و سیمان کمتر توصیه شده است. همچنین استفاده از بتن خنک برای هدف بالا ضروری است که روش پیش تبرید نام دارد. بکارگیری روش پس تبرید راه حل دیگری است که هدف آن خروج گرمای حاصله و جلوگیری از بالا رفتن دمای بخشهای مرکزی می باشد که به نوبه خود کنترل آهنگ گرمایابی را باعث میشود. به هر حال مصرف سیمان کمتر و پیش تبرید از جمله اقدامات مهم و اساسی است که مشکلاتی را در بر دارد. [12 و 13 و 14 و 27] برای مصرف سیمان کمتر و حفظ بیشتر ویژگیهای مکانیکی و پایایی و نفوذپذیری بتن باید آب مورد نیاز را کم کرد. کاهش روانی بتن، افزایش حداکثر سنگدانه ها، انتخاب شکل و دانه بندی مناسب، بکارگیری روان کننده ها (کاهنده آب) و حباب زها ازترفندهای رایج است. [12 و 13 و 14]

اکثر ترفندهای فوق هزینه برند و نیز در مرحله اجراء مشکلاتی را ایجاد می کنند. مثلاً "کاهش روانی مشکل تراکمی را در بر دارد که هزینه ها را بالا میبرد و سرعت اجراء را کم می کند. افزایش حداکثر اندازه سنگدانه ها در کنار

روانی کم و عیار پائین سیمان؛ مسئله جدایی مواد و ناهمگنی را جدی جلوه می دهد. همچنین مشکل تراکم را به دنبال می آورد که در مجموع کاهش مقاومت و E، کاهش پایداری و افزایش نفوذپذیری را باعث می شود. [12] و 13 و 14] تامین سنگدانه هایی تا 150 میلیمتر پویژه از بستر رودخانه مشکل می باشد و همیشه امکان پذیر نیست. سنگدانه های حاصل از شکستن کوه، مصرف آب را بالا می برد و به سیمان بیشتری نیاز است. [12] مصرف افزودنی هایی مثل روان کننده ها به ازای هر متر مکعب بتن قابل توجه است. [12] و 13 و 14]

تولید بتن خنک نیز هزینه بر می باشد. استفاده از خنک سازی سنگدانه های ریز و درشت، خنک نمودن سیمان و مصرف پودر یخ و آب سرد علاوه بر پیچیده کردن کار و افزایش هزینه ها، تجهیزات ویژه ای را می طلبد و ایجاد این تجهیزات زمانبر و هزینه بر است. [12] و 13 و 14]

در این روش بتن به صورت لایه لایه نیز ریخته می شود که در اینصورت اتلاف دما چشمگطر خواهد بود. راهکار پله ای ریختن بتن، بکارگیری امکانات و نفرا ت بیشتری را می طلبد. [12] و 13 و 14]

2-3- بتن ریزی به روش پیش آکنده

در این روش ابتدا قالب ها را در جای خود به خوبی محکم و نصب و آب بندی می شوند. در مرحله اول لوله های تزریق ملات به قطر 25 تا 50 میلیمتر را به طور قائم در قالب تا پائین قطعه به فاصله های حدود 1,25 تا 3 متر کار گذاشته شده و سپس سنگدانه های درشت و یکنواخت و یکدست و ترجیحا "شکسته با حداکثر اندازه مورد نظر (بیش از 25 میلیمتر) در قالب و لایه لای لوله های تزریق ملات ریخته می شوند. در بیشتر موارد سنگدانه ها مترامک نمی شوند. سپس ملاتی شل و ریزدانه با حداکثر اندازه ای به مراتب ریزتر از حداقل اندازه اسمی شن را با عیار سیمانی در حدود 375 تا 750 کیلوگرم در متر مکعب با w/c مطلوب از طریق این لوله ها با فشار به درون فضای خالی سنگدانه درشت تزریق میگرد تا این فضاها با ملات پر شود، سطح ملات در قالب بالا آید و بتن حاصل گردد. مسلما" در طول تزریق به تدریج لوله ها بالا کشیده می شود و ممکن است از لوله های خروج هوا و بازدید نیز استفاده کنیم. [12] و 28 و 29 و 30 و 31]

در بتن پیش آکنده؛ همگنی و عدم جدایی مواد، جمع شدگی کمتر، مقاومت بهتر، E بیشتر، ضریب پواسون کمتر، مصرف کمتر سیمان و پوزولان، آب بندی بهتر، دوام و پایداری بیشتر، مصرف کمتر افزودنی ها و عدم نیاز به لرزاننده های قوی داخلی و سهولت دستیابی به بتن خنک را داریم. ضمنا" امکان بکارگیری وسایل و دستگاه ها و نفرا ت کمتر در کارگاه وجود دارد و در نتیجه ایمنی نیز بالا خواهد رفت. سرعت کار بیشتر و هزینه اجراء به مراتب کمتر خواهد شد و زمان تحویل کار کوتاهتر می باشد. [12]

4- نتیجه گیری و پیشنهادات

1- با توجه به مزایای کاربرد میکروسیلیس در بتن که در قسمت های 1-1 تا 1-7 آمده است (پویژه با در نظر گرفتن قسمت 1-4-2) کاربرد میکروسیلیس در بتن حجیم با w/c بین 0,2 تا 0,4 و درصد جایگزینی بین 15% تا 20% میکروسیلیس بجای سیمان در بتن حجیم بسیار مفید خواهد بود. (بخصوص در رفع مشکل ترکهای حرارتی در بتن حجیم)

2- همانطور که در بخش 2 اشاره شد؛ علاوه بر کاربرد میکروسیلیس با w/c بین 0,2 تا 0,4 و درصد جایگزینی بین 15% تا 20% میکروسیلیس بجای سیمان؛ اضافه کردن الیاف فولادی 1,5% الیاف به بتن حجیم (که تا میزان 100% افزایش مقاومت ترکیدگی در بتن بوجود آورد) می تواند به میزان قابل توجهی از ایجاد ترکهای حرارتی در بتن حجیم جلوگیری کند.

3- روش بتن ریزی سنتی برای بتن حجیم هزینه بر می باشد. روش بتن ریزی بتن پیش آکنده علاوه بر کاهش هزینه ها و افزایش امنیت کارگاه؛ دارای قابلیت های ویژه ای می باشد (قسمت 2-3) که علاوه بر رفع مشکل حبس گرما در بتن حجیم؛ می تواند باعث بالا رفتن کیفیت بتن حاصله نسبت به بتن حاصل از روش بتن ریزی سنتی نیز شود.

بنابراین پیشنهاد می شود که بتن حجیم حاوی میکروسیلیس مورد بحث در این مقاله (قسمت 1 و 2 در بخش نتیجه گیری) به روش بتن پیش آکنده اجرا گردد.

5- مراجع

- 1- Regan P.E , Test on High Strength Concrete Columns for British Cement Association , 1998
- 2- Kinnunen S. , Hallgren M. , Punching of Circular High Strength Concrete Slabs Without Shear Reinforcement . The Royal Institute of Technology .
- 3- تاجیک ، نصرت الله ، " تاثیر دوده سیلیسی بر خواص بتنهای پر مقاومت " ، سمینار بین المللی کاربرد میکروسیلیس در بتن ، 7-8 اردیبهشت 1376 - تهران .
- 4-Yuan , R.L. , Ragab , M. , Hill , R.E. and Cook , J.E. , "Evaluation of Core Strength in High-Strength Concrete International , American Concrete Institute , Vol. 13 , No. 5, May 1991 , PP. 30-34.
- 5- رمضانپور، علی اکبر ، "بتن با مقاومت زیاد" ، سمینار بین المللی کاربرد میکروسیلیس در بتن ، 7-8 اردیبهشت 1376 - تهران .
- 6- خالو ، علیرضا ، "رفتار سازه ای بتن دارای میکروسیلیس" ، سمینار بین المللی کاربرد میکروسیلیس در بتن ، 7-8 اردیبهشت 1376 - تهران .
- 7- Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R95) , 1995, 369 PP.
- 8- Holland , Terence C. , "Abrasion-Erosion Update" , Concrete Structures : Repair and Rehabilitation , V.C-83-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiments Station , Vicksburg , Aug. 1983 , PP. 1-3.
- 9- پرهیزکار، طیبه، "اثر میکروسیلیس در مقاومت سایشی بتن" اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، 10-12 اردیبهشت 1380 - تهران.
- 10- همایون ابریشمی، سعید جاویدی، "پیش بینی خصوصیات حرارتی و مکانیکی بتنهای با مقاومت معمولی و بالا در سنین اولیه"، اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، 10-12 اردیبهشت 1380 - تهران.
- 11- Abrishami, homayoun h., "Studies on Bond and Cracking of Structural Concrete", Ph.D. Thesis, McGill university, Montral, Canada, 185 PP., 1994.
- 12- تدین، محسن، "مزایای بکارگیری بتن پیش آکنده (PA) در بتن حجیم و سدهای بتنی" ، اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، 10-12 اردیبهشت 1380 - تهران.
- 13- ACI Manual of Concrete Practice , Part 5 "Guide to Shotcrete" Reported by ACI Committee 506-1994
- 14- ACI Manual of Concrete Practice , Part 1 "Guide to Mix Design" Reported by ACI Committee 211-1995.
- 15- Khan , Arshad A. , Cook , W.D., and Mitchell , Denis , "Thermal Properties and Transient Thermal Analysis of Structural Members During Hydration" , ACI Materials Journal , Vol. 95 , No. 3 , PP. 293-303, 1995.
- 16- Helland , S. "Temperature Strength Development in Concrete With w/c Less Than 0.4" , Proc. of the Symp. on Utilization of high Strength Concrete" , Stravangar , Norway , June 1987 , PP. 473-486.
- 17- باقری، علیرضا، "حرارت زایی بتن حاوی میکروسیلیس" ، سمینار بین المللی کاربرد میکروسیلیس در بتن ، 7-8 اردیبهشت 1376 - تهران .

- 18- Bentur , A. , and Goldman , A. "Curing Effects Strength and Physical Properties of high Strength Silica Fume Concretes" , Journal of Materials in Civil Engineering , A.S.C.E , Vol. 1, No. 1 , Feb 1989 , PP. 46-58.
- 11-19- Sanchez de Rojas , M.I and Frias , M. "The Influence of Silica Fume on the Heat of Hydration of Portland Cement" , Proc. of the 5th Int. Conf. on Flyash Silica Fume , Slag and Natural Pozzolans in Concrete , ACI SP-153 Vol. 2, 1995 , PP.829-844.
- 20- Melland , I. "Influence of Condensed Silica Fume and Flyash on the Heat Evolution in Cement Paste", Proc. of the first Int. Conf. on Flyash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete , ACI SP-79, Vol. 2 , 1983 , PP. 665-676.
- 21- علی اکبر رمضانپور، منصور پیدایش، "میکروسیلیس و ضریب بازده آن در مقاومت بتن"، سمینار بین المللی کاربرد میکروسیلیس در بتن ، 7-8 اردیبهشت 1376- تهران .
- 22- Mohammad M.Samadi et al. Shrinkage and Creep of High, Medium and Low Strength Concrete, Including Overloads.
- 23- ACI Committee 305, Hot Weather Concreting , ACI Publication, Detroit , Michigan , 17 PP., 1989.
- 24- British Standards , 554550: Part 3 : 1978, Physical Tests.
- 25- صدر ممتازی، علی، "ارزیابی دوام بتن با مقاومت زیاد(حاوی دوده سیلیس) در برابر یخبندان"، اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، 10-12 اردیبهشت 1380- تهران.
- 26- Abrishami , Homayoun H. and Mitchell , Denis , "Influence of Steel Fibers on Tension Stiffening " , ACI Structural Journal , Vol. 94 , No. 6 , PP. 769-776 , 1997.
- 27- ASTM "Standard in Building Codes" , Vol. 1-4 , 1995.
- 28- Hassinen , P, Aysto , P. "The Work of CIB.W56.Lightweight Construction" , Batiment Int. 1988.
- 29- "ASHRAE Handbook-Fundamentals", American Society of Heating-Refrigerating and Air-Conditioning Engineers ,Inc. New York . ,1985.
- 30- نوبل، آدام، "خواص بتن"، ترجمه هرمز فامیلی، بازنگری چهارم، انتشارات ابوریحانی، تهران، 1378.
- 31- قالیبافیان، مهدی، سلطانی، عربشاهی، ک، "اجرای ساختمان های بتن آرمه"، انتشارات دهخدا، تهران، 1376.
- 32- داود مستوفی نژاد، مجید نزهتی، "ارائه روشی جهت طرح اختلاط بتن با مقاومت بالا"، اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، 10-12 اردیبهشت 1380- تهران.
- 33- تیمورزاده، عباس، "جزوه درسی تکنولوژی بتن"، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، زمستان 1382.
- 34- محمدی، میرعلی، "جزوه درسی مکانیک سیالات"، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، زمستان 1382.