



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

علیرضا اسماعیلی، دانشجوی کارشناسی عمران - عمران (ورودی ۸۱)، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه<sup>۱</sup>

### چکیده

در بتن ریزی سدها و قطعات حجیم بتني همواره حبس گرما و افزایش دمای بخششای 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 تدبیری برای رفع این نقصه اندیشه شده است که هزینه بر می باشد و کیفیت بتن حاصله نیز آنطور که بايد 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 فاثق آمد). و سپس اشاره ای به مزینهای کاربرد الیاف فولادی در بتن حجیم شده و در انتهای نیز برای اجراء بتن حجیم روش بتن پیش آکنده پیشنهاد گردیده که کاهش هزینه ها، رفع مشکل حرارت زائی، اینمی 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 نقصه 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 قشاری.

### مقدمه

میکروسیلیس یا دوده سیلیسی شکل ریزی از مواد سیلیسی می باشد که ذرات این ماده ۵۰ تا ۱۰۰ برابر از ذرات سیمان کوچکتر بوده و به عنوان مواد پر کننده بین اجزاء تشکیل دهنده بتن عمل نموده وعلاوه بر اینکه باعث چسبندگی ذرات بین سیمان می شوند؛ چسبندگی بین سیمان و سنجدانه را نیز افزایش می دهد. این ماده به روش جذب و فرو نشاندن الکترواستاتیکی گرد همراه با گازهای منتصاعد 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 با قطرهای بین ۰,۲ تا ۰,۵ میکرون است و جرم مخصوص آن  $2,2 \text{ gr/cm}^2$  دارای بزرگترین سطح مخصوص با مقدار تقریبی  $20 \text{ m}^2/\text{g}$  (نسبت به سیمان با مقدار  $0,3\text{-}0,4 \text{ m}^2/\text{g}$ ) می باشد. چگالی ظاهری این ماده  $200 \text{ kg/m}^2$  می باشد. میزان سیلیس در این ماده معمولاً ۸۵ تا ۹۸ درصد می باشد که بستگی به نوع

محصول کوره و کارخانه سیلیس دارد. در کوره هایی که مجهز به سیستم بازیابی 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.<sup>[1, 2 و 3]</sup>

در این مقاله ابتدا مزیتهای کاربرد میکروسیلیس در بتون حجیم آورده شده و سپس مزایای کاربرد الاف فولادی و روش بتون ریزی پیش آکنده در تهیه واجراء بتون حجیم بیان شده است.

## ۱- مزیت های کاربرد میکروسیلیس در بتون حجیم

### ۱-۱- افزایش مقاومت فشاری و کششی

مقاومت بتون شاید مهمترین معیار برای ارزیابی کیفیت بتون باشد. افزایش مقاومت نسبت به زمان بر اساس تداوم آبگیری سیمان و کاهش درصد تخلخل و فضای خالی بین مواد مشکله در مرحله ایجاد چسبندگی می باشد.<sup>[4]</sup> 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 مشکله بتون 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.<sup>[5]</sup> بدین ترتیب مقاومت فشاری بتون افزایش میابد.

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

$$f_{ct} = 2.0(f'_c)^{1/2} \quad (1)$$

متلا" با افزایش مقاومت فشاری بتون (با استفاده از میکروسیلیس) از  $560\text{kg/cm}^2$  به  $210\text{kg/cm}^2$  مقاومت کششی حدودا" دو برابر می شود.<sup>[6]</sup> افزایش مقاومت فشاری؛ مدول گسیختگی بتون را نیز زیاد می کند. مثلا" با افزایش مقاومت فشاری بتون (با استفاده از میکروسیلیس) از  $560\text{kg/cm}^2$  به  $210\text{kg/cm}^2$  مدول گسیختگی بتون نیز دو برابر می شود. ضریب  $(f'_c)^{1/2}$  همانند آن در رابطه (1) برای مدول گسیختگی بتون در دامنه 2.0 تا 3.2 واقع است.<sup>[6]</sup>

تغییر شکل بتون بستگی به خواص کوتاه مدت نظری مدول الاستیسیته استاتیکی و قابلیت کردن پذیری دارد. همچنین تحت تاثیر خواص دراز مدت نظری جمع شدگی و خرز است. بر اساس آئین نامه ACI [7] مدول الاستیسیته استاتیکی با افزایش مقاومت فشاری بتون 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 بتون سبب کاهش خرس می شود. بنابرین در مجموع با افزایش مقاومت فشاری تغییر شکل بتون نا چیز خواهد شد.<sup>[6]</sup>

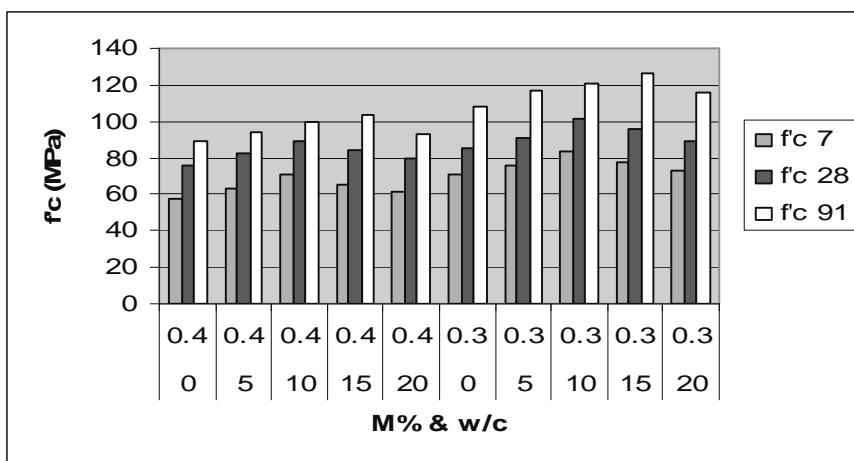
افزایش مقاومت فشاری باعث افزایش مقاومت سایشی نیز می شود که مقاومت سایشی بتهای حاوی میکروسیلیس با مقاومت فشاری زیاد بهبود می یابد.

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)	بنن با 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

(1) برای جدول (1) نمودار



## 2-1- افزایش مقاومت سایشی

سطح پتنی در اثر اصطکاک، حرکت اشیاء سنگین، غلطیدن و یا حضور مواد ساینده بر سطح بنن 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 بنن می گردد. علت دیگر خسارت آبهای جاری بر بنن؛ خلاء زایی می باشد. مقاومت سایشی مربوط به سختی و مقاومت لایه های سطحی است. یکی از عوامل مهم در بهبود رفتار سایشی بنن استفاده از میکروسیلیس می باشد که همانطوری که اشاره شد از طریق افزایش مقاومت فشاری؛ مقاومت سایشی نیز افزایش می یابد.

بطورکلی با بکارگیری پایین ترین نسبت آب به سیمان ممکن ("مجموعاً" بین 0,4 تا 0,3) و درصد زیاد سیمان، می توان به بنن با مقاومت فشاری و در نتیجه مقاومت سایشی بیشتری دست یافت.<sup>[8]</sup> 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 می‌شود که این پدیده موجب بروز خلاء زایی یا کاویتاسیون خواهد شد که این پدیده به هنگام جریان یافتن سیالات در خطوط لوله های پمپها و سریز سدها و مخازن و ... قابل ملاحظه می‌باشد که با وقوع چنین پدیده‌ای خردگی در آن سازه‌ها وجود می‌آید.<sup>[3]</sup>

### 1-3- افزایش مقاومت پیوستگی با فولاد

میکروسیلیس با کاهش آب انداختگی در بتون تازه، تجمع آب آزاد در زیر داده و فولاد را کاهش داده و مقاومت پیوستگی را افزایش می‌دهد. با افزایش مقدار میکروسیلیس، مقاومت بیرون کشیدگی آرماتور از بتون به نحو قابل توجهی افزایش می‌یابد.<sup>[6]</sup>

### 1-4- حرارت زایی

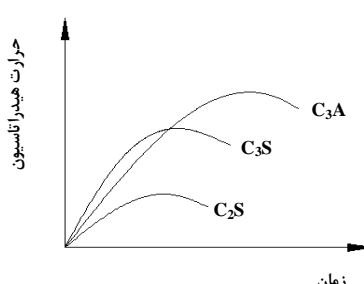
اغلب سازه‌های دارای ابعاد سازه‌ای بزرگ دارای بتون ریزی حجمی می‌باشد و گرمای ایجاد شده در اثر عمل هیدراتاسیون در آنها بسیار بالا خواهد بود. [10 و 11] گرمایی سیمان و بویژه آهنگ ایجاد این گرما باعث بالا رفتن دمای بخش‌های مرکزی، انساط و تنشهای حرارتی می‌گردد. هیدراته شدن سریع منیزیم آزاد موجود در سیمان در دمای زیاد و فشار بالا نیز شدیداً "انساط مخزنی ایجاد می‌کند. ترکهای حاصله به کیفیت مکانیکی و دوام بتون جوان لطمeh جدی می‌زند. دمای زیاد، سقف مقاومتی بتون را کاهش داده و موجب پایین آمدن مدول ارتعاعی آن می‌گردد. همچنین پایایی بتون صدمه دیده و نفوذپذیری آن افزایش می‌یابد. [12 و 13 و 14] بنابراین کاهش حرارت هیدراتاسیون برای کسب مقاومت نهایی بیشتر سودمند خواهد بود و ترکهای حرارتی نیز کنترل می‌شود.

### 1-4-1- حرارت هیدراتاسیون

واکنش شیمیایی بین مولفه‌های کلینکر سیمان و آب باعث عمل هیدراتاسیون می‌شود. این واکنش شیمیایی به شکل شدیدی حرارت را می‌باشد و مقدار زیادی گرما تولید می‌کند. در ضمن با افزایش دما در طی عمل هیدراتاسیون، سرعت واکنش هیدراتاسیون نیز افزایش می‌یابد.<sup>[10 و 15]</sup>



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- تأثیر میکروسیلیس بر حرارت هیدراتاسیون

در مخلوط های بتن با نسبت های آب به مواد سیمانی (0,4-0,6) 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 دوبار 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 1-4-2 نیز اشاره شد؛ کاهش نسبت آب به سیمان (w/c) باعث کاهش حرارت هیدراتاسیون میگردد. آزمایشهای هلنند 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 کلربرد میکروسیلیس 15٪؛ به روش آدیباتیک مطالعاتی انجام داده است. نتایج وی بیانگر کمتر شدن حرارت زایی میکروسیلیس در نسبتهای پایین c/w نسبت به جرم مساوی سیمان معمولی است.[17] یعنی در c/w=0.33 کمتر، حرارت هیدراتاسیون مقداری میکروسیلیس کمتر از حرارت هیدراتاسیون همان مقدار سیمان معمولی می باشد.

بنتور [17] و [18] نیز آزمایشهایی مشابه هلنند 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.

سانچز [17] و [19] با w/c=0.5 و در دمای 20 درجه سانتی گراد مطالعاتی روی بتنهای حاوی درصد های 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 1,1 و برای 1,0 و برای 0,8 قابل تعیین می باشد.[17]

هلند [20] و [17] نیز آزمایشهایی مشابه سانچز با مقادیر جایگزینی 10٪ و 20٪ میکروسیلیس و با w/c=0.5 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 گفته که با افزایش درصد جایگزینی میکروسیلیس از 10٪ به بالا حرارت زایی آن به ازاء واحد جرم کاهش میابد و در ضمن با کاهش نسبت آب

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

پس استفاده از میکروسیلیس برای کاهش مسائل حرارتی بتنهای حجیم که قبلاً اشاره شد؛ می‌تواند با در نظر داشتن  $W/C$  و درصد صحیح مقدار کاربرد میکروسیلیس صورت گیرد.

### 5-1- رفتار پوزولانی میکروسیلیس

رفتار پوزولانی میکروسیلیس در بتون، مهمترین خاصیتی است که باعث بوجود آمدن خواص قابل ملاحظه‌ای در بتون سخت شده می‌گردد. این ماده بواسطه شکل واندازه ذراتش، یک پوزولان خیلی فعال و پر کننده موثری است. در جریان هیدراتاسیون سیمان پرتلندر، بخش زیادی از فعالیت پوزولانی میکروسیلیس باعث تبدیل کریستالهای هیدرکسید کلسیم غیر مفید به ژل می‌شود. 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 هموزن محصولات بدست آمده از هیدراتاسیون در مخلوط می‌گردد. نهایتاً ترکیب دو خاصیت پر کنندگی و پوزولانی میکروسیلیس در ایجاد یک جسم بسیار متراکم و کم تخلخل؛ خود را نشان می‌دهد. بنابراین فعالیت پوزولانی باعث کاهش نفوذپذیری بتون و کاهش درجه قلیاتی آن می‌شود. کاهش نفوذپذیری باعث تغییر توزیع اندازه‌های منافذ می‌گردد. وقتی ذرات میکروسیلیس به بتون اضافه می‌گردد اندازه لوله‌های موئینه (که در میان ذرات ریز سیمان قرار دارند و از میان آنها سیمان آب خود را به سطح بتون می‌رساند) بمقدار زیادی کاهش می‌یابد، زیرا این ذرات قادرند راه خود را به فضاهای خالی بین ذرات سیمان پیدا کنند و باعث قطعه قلعه شدن کانالهای جریان آب گردند. همچنین به علت افزایش تعداد نقاط تماس ذرات خمیر به یکدیگر ناشی از عملکرد فوق، چسبندگی مخلوط بتون به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد.<sup>[21]</sup>

از آنجا که منافذ فوق با وجود میکروسیلیس؛ دچار تغییر در توزیع می‌شوند و تعدادشان کاهش می‌یابد به آسانی قابل نفوذ نمی‌باشند. پس بتون حاوی میکروسیلیس در برابر سولفاتها نیز مقاومت خوبی از خود نشان خواهد داد و آب انداختگی بتون نیز که از طریق لوله‌های موئینه است کمتر اتفاق می‌افتد. هیدرکسید کلسیم موجود در بتون قابل حل در آب بوده و به صورت پودر کربنات کلسیم بر روی سطح بتون می‌شود که ترکیب آن با سولفاتها، تشکیل گچ یا سولفو آلومینات کلسیم می‌دهد که حجم آن چند برابر بزرگ‌تر است، این تغییر حجم باعث تخریب بتون می‌شود. می‌توان ادعا نمود که کاربرد میکروسیلیس به اندازه 20٪ وزن سیمان می‌تواند تقریباً تمام هیدرکسید کلسیم سیمان را از بین ببرد.<sup>[22]</sup> و [3] بنابراین فعل و انفعالات پوزولانی میکروسیلیس باعث کاهش نفوذپذیری بتون و میزان قلیایی آن (هیدرکسید کلسیم) می‌گردد که این خود باعث مقاومت بودن در برابر خردگی می‌شود.

می‌توان مزیت‌های کاربرد میکروسیلیس در بتون حجیم را که از رفتار پوزولانی میکروسیلیس حاصل می‌شوند را به صورت زیر برشمرد:

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

### 6- 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 می‌شود. چون میکروسیلیس جایگزین سیمان شده و حاصل کاهش قدرت سفت شدن اولیه می‌باشد. البته افزایش دما نیز باعث افزایش آبگیری مواد سیمانی شده زمان گیرش را کاهش می‌دهد.<sup>[3]</sup> و [23]

<sup>[24]</sup>

### 7- 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 ضربت تغییر شکل نسبی یخ، سنگ و بتن دارد. از سوی دیگر با کاهش ابعاد خلل و خرج میزان جذب آب نمونه بیشتر می شود(پیدیده 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 اثاث 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 قلا" نیز اشاره شد؛ با جایگزینی درصدهای بالای 10% میکروسیلیس، تعداد منافذ کاهش یافته و نحوه توزیع آنها دچار تغییر می شود و کانالهای آب (ولوهای موئینه) قطعه قطعه می شوند و راه نفوذ و رخده 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 بنتهای 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% با W/c در محدوده 0,4 تا 0,2 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

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

برای کنترل افزایش دما در اوان بتن ریزی در اثر گرمایی 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 تیرید نام دارد. بکارگیری روش پس تیرید 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 گرمایی را باعث می شود. به هر حال مصرف سیمان کمتر و پیش تیرید 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 نفوذناپذیری 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 زاها از ترفندهای رایج است.[12 و 13 و 14]

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

روانی کم و عیار پائین سیمان؛ مسئله جدایی مواد و نامگنی را جدی جلوه می‌دهد. همچنین مشکل تراکم را به دنبال می‌آورد که در مجموع کاهش مقاومت و E، کاهش پایایی و افزایش نفوذپذیری را باعث می‌شود.<sup>[12] و 13 و 14</sup> تامین سنگدانه‌های تا 150 میلیمتر بویژه از ستر رودخانه مشکل می‌باشد و همیشه امکان پذیر نیست. سنگدانه‌های حاصل از شکستن کوه، مصرف آب را بالا می‌برد و به سیمان بیشتری نیاز است.<sup>[12]</sup> مصرف افزودنی‌هایی مثل رونکنده‌ها به ازای هر متر مکعب بتن قابل توجه است.<sup>[12] و 13 و 14</sup>

تولید بتن خنک نیز هزینه بر می‌باشد. استفاده از خنک سازی سنگدانه‌های ریز و درشت، خنک نمودن سیمان و مصرف پودر يخ و آب سرد علاوه‌بر پیچیده کار و افزایش هزینه‌ها، تجهیزات بیوژه‌ای را می‌طلبد و ایجاد این تجهیزات زمانبر و هزینه بر است.<sup>[12] و 13 و 14</sup>

در این روش بتن به صورت لایه لایه نیز ریخته می‌شود که در اینصورت اتلاف دما چشمگطر خواهد بود. راهکار پله ای ریختن بتن، بکارگیری امکانات و نفرات بیشتری را می‌طلبد.<sup>[12] و 13 و 14</sup>

### 2-3- بتن ریزی به روش پیش آنکه

در این روش ابتدا قالب‌ها را در جای خود به خوبی محکم و نصب و آب بندی می‌شوند. در مرحله اول لوله‌های تزریق ملات به قطر 25 تا 50 میلیمتر را به طور قائم در قالب تا پائین قطعه به فاصله‌های حدود 1,25 تا 3 متر کار گذاشته شده و سپس سنگدانه‌های درشت و یکنواخت و یکدست و ترجیحاً "شکسته با حداکثر اندازه موردنظر(بیش از 25 میلیمتر)" در قالب و لابه لای لوله‌های تزریق ملات ریخته می‌شوند. در بیشتر موارد سنگدانه‌ها مترکم نمی‌شوند. 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 لوله‌ها با فشار به درون فضای خالی سنگدانه درشت تزریق می‌گردد تا این فضاهای ملات پر شود، سطح ملات در قالب بالا آید و بتن حاصل گردد. مسلماً در طول تزریق به تدریج لوله‌ها بالا کشیده می‌شود و ممکن است از لوله‌های خروج‌ها و بازدید نیز استفاده کنیم.<sup>[12] و 28 و 29 و 30 و 31</sup>

در بتن پیش آنکه؛ همگنی و عدم جدایی مواد، جمع شدگی کمتر، مقاومت بهتر، E بیشتر، ضربه پواسون کمتر، مصرف کمتر سیمان و پوزولان، آب بندی بهتر، دام و پایداری بیشتر، مصرف کمتر افزودنی‌ها و عدم نیاز به لرزاننده‌های قوی داخلی و سهولت دستیابی به بتن خنک را داریم. ضمناً امکان بکارگیری وسایل و دستگاه‌ها و نفرات کمتر در کارگاه وجود دارد و در نتیجه این نیز بالا خواهد رفت. سرعت کار بیشتر و هزینه اجراء به مراتب کمتر خواهد شد و زمان تحويل کار کوتاهتر می‌باشد.<sup>[12]</sup>

## 4- نتیجه گیری و پیشنهادات

1- با توجه به مزیتهای کاربرد میکروسیلیس در بتن که در قسمت های 1-1 تا 1-7 آمده است(بویژه با در نظر گرفتن قسمت 1-4-2) کاربرد میکروسیلیس در بتن حجیم با w/c بین 0,2 و 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) می‌تواند به میزان قابل توجهی از ایجاد ترکهای حرارتی در بتن حجیم جلوگیری کند.

3- روش بتن ریزی سنتی برای بتن حجیم هزینه بر می‌باشد. روش بتن ریزی بتن پیش آنکه علاوه بر کاهش هزینه‌ها و افزایش امنیت کارگاه؛ دارای قابلیت‌های بیوژه‌ای می‌باشد(قسمت 3-2) که علاوه بر رفع مشکل حبس گرما در بتن حجیم؛ می‌تواند باعث بالا رفتن کیفیت بتن حاصل نسبت به 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 اجراء 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- رمضانیان پور، 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، طبیه،"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، "مزایی 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 5<sup>th</sup> 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 رمضانی‌پور، 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 نژهتی، "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