



## استفاده از میکروسیلیس در بتن رویه سرریز و کف تخلیه رسوبات و حوضچه آرامش سد انحرافی هندیجان

نوشته:

نورا... آبخو<sup>۱</sup> - عزیز پورسنگبر<sup>۲</sup>

### چکیده:

با توجه به این موضوع که در سرریز سدها سطح بطور مداوم در معرض سایش قرار داشته، همچنین عمل مواد شناور و ساینده‌ای که با آب حمل می‌شوند موجب فرسایش و از بین رفتن تدریجی بتن در سایر قسمتهای سازه‌ای سد خواهد شد. علاوه بر آن بالا بودن درصد املاح کلر و سولفات موجبات بالا رفتن خطرات ناشی از آسیب دیدگی بتن قسمتهای مختلف سد در اثر حملات شیمیایی ناشی از این یونها از جمله خوردگی میلگرد های آن را فراهم خواهد نمود. افزون بر این ها مشکل ساز بودن مقوله بالا بودن حرارت‌زایی و گرمای هیدراتاسیون سیمان در سازه‌های حجیم و در وحله آخر لزوم کسب مقاومتهای مورد نظر طرح، ما را برآن داشت که از میکروسیلیس در بتن رویه سرریز و حوضچه آرامش سد و کف تخلیه رسوبات آن استفاده نمائیم.

### ۱- مقدمه

استفاده از میکروسیلیس در بتن مشخصه‌های فیزیکی خمیر تازه سیمان و همچنین ریز سازه ای خمیر فوق پس از گیرش و سخت شدن را اصلاح کرده و موجبات اصلاح و بهبود خواص مهندسی بتن از جمله چسبندگی و یکنواختی و خواص مکانیکی آن نظیر مقاومتهای فشاری، کششی و خمشی، مقاومت پیوستگی با آرماتور، خزش و جمع شدگی و علی‌الخصوص دوام و مقاومت بتن درمقابل خرابیهای ناشی از حملات شیمیایی، سایش، فرسایش و سیکلهای یخ زدن و ذوب شدن را فراهم می‌نماید. ولیکن علی‌رغم داشتن تمامی این مزایا استفاده از آن مستلزم بکار بستن تکنیک های خاص و استفاده از تجربیات و آزمایشات کارگاهی و رعایت برخی از ملاحظات ضمن و پس از اجرا بوده زیرا که نادیده گرفتن آنها ممکن است خسارات جبران ناپذیری را به کار وارد نماید. لذا در این مقاله ضمن برشمردن مزایا و برتری های اثبات شده این نوع بتن ها به برخی از تجربیات کسب شده در حین استفاده از آن در پروژه سد انحرافی هندیجان اشاره گردیده است.

۱- کارشناس شرکت مهندسين مشاور دزآب  
۲- کارشناس شرکت مهندسين مشاور دزآب

## ۱- روش تهیه و خصوصیات ظاهری دوده سیلیس

دوده سیلیس به روش جذب و فرو نشاندن الکترواستاتیکی، از گرد همراه با گازهای متصاعد از کوره های الکتریکی کارخانجات سیلیس و آلیاژهای آن تهیه می شود ساختار کوره های الکتریکی که این ماده در آن تولید می شود اثر مهمی در کیفیت و رنگ تولیدات دارند این کوره ها مجهز به سیستم بازیابی حرارتی و یا بدون آن هستند اگر کوره مجهز به سیستم یاد شده باشد دمای گاز خروجی حدود 800 درجه سانتیگراد و دوده سیلیس دارای رنگ روشن خواهد بود و در غیر اینصورت دمای گاز خروجی حدود 200 درجه سانتیگراد بوده و مقداری کربن سوخته در آن باقی می ماند و در نتیجه دوده سیلیس خاکستری رنگی تولید می شود.

دوده سیلیس بسیار نرم وبصورت پودر می باشد و مرکب از مواد غیر بلوری با قطرهای بین 0/1 تا 0/2 میکرون است. جرم مخصوص آن 2/2 گرم بر سانتی متر مکعب و دارای بزرگترین سطح مخصوص با مقدار تقریبی  $20m^2/g$  می باشد سطح مخصوص سیمان  $0/3m^2/g$  تا  $0/4$  می باشد که حدوداً سطح مخصوص دوده سیلیس 60 برابر سطح مخصوص سیمان می باشد چگالی ظاهری این ماده  $200 kg/m^3$  می باشد میزان سیلیس در دوده سیلیس 85 تا 98 درصد می باشد که بستگی به نوع محصول، کوره و کارخانه سیلیس دارد.

## 2- خواص مکانیکی بتن حاوی میکروسیلیس

### 1-2- مقاومت فشاری

مواد سیلیس در جریان هیدراتاسیون سیمان با هیدروکسید کلسیم  $Ca(OH)_2$  آزاد شده از آبگیری سیمان ترکیب شده و یک ترکیب جدید بصورت ژل (C-S-H) را می سازد که این ترکیب عنصر اصلی مقاومت اضافی بتن های حاوی میکروسیلیس می باشد همچنین باعث کاهش تخلخل و بهم فشردگی ذرات متشکله می گردد.

### 2-2- خزش

بطور کلی افزایش مقاومت فشاری بتن سبب کاهش خزش می گردد، تحقیقات نشان می دهد که با افزودن بیش از 7 درصد دوده سیلیس به بتن خزش در مقایسه با بتن بدون دوده سیلیس و مقاومت مشابه کمتر است. همچنین بتن مقاوم با ده درصد میکروسیلیس دارای ضریب خزش حدود 20 درصد بتن معمولی است.

### 3-2- مقاومت پیوستگی

میکروسیلیس با کاهش آب انداختن در بتن تازه، تجمع آب آزاد در زیردانه ها و فولاد را کاهش داده و مقاومت پیوستگی را افزایش می دهد. با افزایش مقدار دوده سیلیس، مقاومت بیرون کشیدگی آرماتور از داخل بتن بنحوی قابل توجه افزایش می یابد این پدیده به خاطر کاهش ضخامت و تخلخل منطقه انتقالی بین سیمان و فولاد و بهبود زیر ساختار ناحیه فصل مشترک آنها است.

#### 4- تأثیر بتن حاوی میکروسیلیس در دوام و پایداری بتن

##### 4-1- اثرات میکروسیلیس در کاهش نفوذپذیری

فعالیت پوزولانی میکروسیلیس در جریان هیدراتاسیون سیمان موجب می شود کریستالهای هیدروکسید کلسیم آزاد به سیلیکات کلسیم آبدار تبدیل شود همچنین خاصیت پرکنندگی میکروسیلیس باعث توزیع یکنواخت و همگن محصولات بدست آمده از هیدراتاسیون در مخلوط می شود و نهایتاً ترکیب هر دو خاصیت پرکنندگی و پوزولانی میکروسیلیس سبب بوجود آمدن جسمی متراکم و کم تخلخل شده و نهایتاً باعث کاهش نفوذپذیری بتن و کاهش درجه قلیائیت آن می گردد.

##### 4-2- اثر استفاده از میکروسیلیس در مقاومت سایشی بتن

مقاومت سایشی مربوط به سختی مقاومت لایه های سطحی بتن است (عمدتاً تا ضخامت چند میلیمتر) و عامل مهمی در تعیین دوام بتن می باشد. همچنین تحقیقات نشان می دهد مقاومت در برابر سایش با مقاومت بتن رابطه نزدیکی دارد. لذا با توجه به اینکه استفاده از میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری بتن شده و از طرفی موجب کاهش نفوذپذیری و کاهش آب انداختن بتن می شود، (این مورد سبب سختی و مقاومت لایه های سطحی می شود) نهایتاً مقاومت سایشی بتن افزایش خواهد یافت.

##### 4-3- مقاومت در برابر سولفاتها (خوردگی شیمیایی)

آسیب پذیرترین قسمت خمیر سیمان در مقابل آب و مواد شیمیایی هیدروکسید کلسیم است. در محیط های آلوده به سولفات، واکنش هیدروکسید کلسیم با سولفاتهای محلول، تولید گچ می کند که آن بنوبه خود با آلومیناتهای موجود در خمیر سیمان ترکیب شده و سولفوآلومینات کلسیم آبدار، اترینگایت می دهد چه گچ و چه اترینگایت، متورم شده و باعث تخریب بافت بتن می شود. کاربرد میکروسیلیس در بتن تا حدود 10 درصد علاوه بر این که قابلیت نفوذ بتن را کم می کند سبب می شود که بخش عمده هیدروکسید کلسیم به سیلیکات کلسیم آبدار که قابل شسته شدن با آب نیست تبدیل شود و باقیمانده آن به شکل بلورهای کوچکتری نسبت به هیدروکسید کلسیم در خمیر سیمان خالص متبلور شود که به دلیل کوچک و دور از هم بودن و احتمال ضعیف نشستن آب به سادگی با آب شسته نمی شوند. لذا خطر شسته شدن و رفتن مواد با آب کم شده و امکان تشکیل گچ کاهش می یابد. بعلاوه، سیلیکات آبدار کلسیم حاصل که می تواند آلومینیم موجود و خمیر سیمان را احاطه نماید، مقدار آلومینیم آزاد را کم کرده و از تشکیل اترینگایت ممانعت بعمل می آورد. به این ترتیب مصرف میکروسیلیس در بتن آن را در مقابل حمله مواد شیمیایی مقاوم می سازد.

#### 4-4- مقاومت در برابر نفوذ یون های کلرید (جلوگیری از خوردگی میلگرد در بتن)

در بتن های معمولی ساخته شده با سیمان پرتلند و یا بعضی پوزولان ها، عوامل متعددی از قبیل کاهش مقدار و اندازه منافذ و افزایش یون های کلر پیوند یافته در کاهش نفوذ کلر و شدت خوردگی آرماتور نقش دارند. ولی در بتن میکروسیلیس، تحرک کم یون های کلر کنترل کننده اصلی در نفوذ کلر می باشد به عبارت دیگر وجود میکروسیلیس در بتن سبب می شود که از تحرک یون های کلر کاسته شود و در نتیجه عمق نفوذ کلر نیز کاهش می یابد. یون پتاسیم  $K$  از جمله یون هایی است که عامل محرک یون های دیگر بخصوص کلر محسوب می شود در حالی که این یون ( $K$ ) در بتن دارای میکروسیلیس به مراتب کمتر از بتن معمولی است از طرف دیگر یون سیلیس ( $Si$ ) از نقطه نظر تحرک در حالت تقریباً کما قرار دارد و از تحرک یون های دیگر بخصوص کلر می کاهد و در بتن میکروسیلیس مقدار یون  $Si$  به مراتب بیشتر از بتن معمولی است پس از آغاز خوردگی، تحرک یون ها نیز عامل مهم در مقدار شدت خوردگی است به عبارت دیگر حتی اگر کلر به سطح آرماتور در بتن میکروسیلیس برسد، به دلیل تحرک کم یونها (مانند  $OH$ ) از شدت خوردگی کاسته می شود.

دومین عاملی که در کاهش نفوذ کلر و شدت خوردگی در بتن میکروسیلیس نقش دارد وجود پیچ و خم های زیاد در منافذ است که از تحرک یونها می کاهد.

#### 4-5- کاهش واکنش قلیایی سیمان با سنگدانه ها

با توجه به این موضوع که این پدیده ناشی از واکنش نامطلوب مواد قلیایی موجود در سیمان با سیلیس بی شکل و قابل حل موجود در سنگدانه ها است حضور میکروسیلیس در لعاب سیمان سبب کاهش سریع مواد قلیایی موجود در آب حفره ای لعاب، شده و این مواد را از دسترس خارج ساخته و از واکنش بعدی آنها با سیلیس موجود در سنگدانه ها، که براحتی در آب موجود در بتن حل می شود ممانعت می کند. همچنین میکروسیلیس معمولاً آب اضافی خمیر سیمان را جذب کرده و حل شدن سیلیس موجود در سنگدانه رامشکل می کند به این ترتیب مصرف میکروسیلیس در بتن احتمال بروز پدیده واکنش قلیایی را تا حد نزدیک به صفر کاهش می دهد.

#### 5- عملکرد روان کننده در بتن، چگونگی انتخاب نوع و مقدار آن

بدون استفاده از مواد روان کننده عملاً تولید بتن میکروسیلیس در کارگاه با کارایی مناسب امکان پذیر نمی باشد. استفاده از میکروسیلیس همراه با مواد فوق روان کننده باعث می گردد که دانه های بسیار ریز و کروی شکل میکروسیلیس از هم جدا شده و در حد فاصل دانه های سیمان پراکنده گشته و بنوبه خود همانند ساچمه به حرکت دانه ها بر روی هم و روانی مخلوط کمک می کند یک ماده روان ساز به توزیع و پراکندگی بهتر ذرات سیمان و میکروسیلیس کمک خواهد کرد. برای تعیین مقدار مناسب روان کننده جز آزمایش و توسل به روش آزمون و خطا راهی وجود ندارد و معمولاً معیار قضاوت، نسبت آب به مواد سیمان است اگر منظور دستیابی به بیشترین مقاومت بتن باشد باید کار را با کمترین مقدار ممکن نسبت آب به مواد سیمانی آغاز کرد. که طبعاً بیشترین مقدار فوق روان کننده نیاز خواهد بود. اگر روانی و قوام بتن هدف اصلی باشد، باید بیشترین مقدار نسبت آب به سیمان را که با مقاومت مورد نظر سازگار باشد اختیار نمود و مقدار روان کننده را آنقدر تغییر

داد که کارایی مورد نظر بتن بدست آید. لازم به ذکر است که عملکرد روان کننده‌های مختلف با سیمانهای متفاوت حتی اگر سیمانها از یک نوع مثلاً تیپ I باشد متفاوت است. این تفاوت از یک سو مربوط به مقدار ناچیز برخی از مواد موجود در سیمانها است که معمولاً در مشخصات سیمانها درج نمی شود و از سوی دیگر مربوط به روان کننده‌ها است که استاندارد پذیرش خیلی مشخصی ندارند. مجموعه این عوامل گاه سبب می شود که یک نوع روان کننده با یک نوع مشخص سیمان، سازگاری نداشته باشند. عدم توجه به این مسئله و مصرف روان کننده بدون انجام آزمایشهای لازم ممکن است بروز مشکلاتی را سبب گردد.

## 6- مشخصات سد انحرافی هنديجان

### محل اجرا سد:

محل اجرای سد انحرافی هنديجان بر روی رودخانه هنديجان در جنوب شرقی شهر امیدیه واقع در 130 کیلومتری جنوب شرقی اهواز در استان خوزستان می باشد

### اهداف طرح

هدف از اجرای این سد بالا آوردن تراز آب رودخانه و انحراف آن به منظور آبیاری 50 هزار هکتار از اراضی سمت چپ و راست رودخانه هنديجان می باشد.

### اجزاء سد:

- 1- سرریز
- 2- حوضچه آرامش
- 3- پل روگذر
- 4- آبگیرهای چپ و راست
- 5- تخلیه رسوبات چپ و راست
- 6- پلکان ماهی رو

### مشخصات سرریز و حوضچه آرامش

مشخصات سرریز: نوع سرریز روگذر آزاد با طول نهایی 316/15 متر با دبی طراحی  $4718 \text{ m}^3/\text{sec}$  که ارتفاع آن از کف حوضچه آرامش 8/5 متر و عرض آن 17/58 متر می باشد.  
مشخصات حوضچه آرامش: نوع حوضچه *USBR III* با دبی طراحی  $4718 \text{ m}^3/\text{sec}$  و عرض 14 متر و طول 316/15 متر می باشد.

## تاسیسات آبیگری

دبی آبیگری ساحل چپ و راست به ترتیب  $17 \text{ m}^3/\text{sec}$  و  $33 \text{ m}^3/\text{sec}$  دارای دریچه های کشویی و در راست چهار دریچه به ابعاد  $2/25 * 1/5$  و در چپ دو دریچه به ابعاد  $2/25 * 1/3$  می باشد.

## تخلیه رسوبات

حداکثر دبی عبوری در راست  $555 \text{ m}^3/\text{sec}$  و در چپ  $277/5 \text{ m}^3/\text{sec}$  دارای دریچه های قطاعی در راست چهار دریچه به ابعاد  $3/5 * 5$  و در چپ دو دریچه به ابعاد  $3/5 * 5$  و طول حوضچه آرامش هر کدام 20 متر از نوع *USBR III* می باشند.

## پل ماشین روی بالای تاج سد

عرض پل 5 متر نوع تابلیه پل بتنی و شاهتیرها بتنی پیش ساخته می باشند.  
پلکان ماهی رو :

طول پلکان  $71/3$  متر با عرض مفید  $1/5$  متر و تعداد 23 پلکان و شیب طولی 1:10

## 7- مشخصات مصالح مصرفی و طرح های اختلاط بتن حاوی میکروسیلیس ارائه شده توسط آزمایشگاه

شن مصرفی از نوع شکسته و با حداکثر اندازه اسمی  $\frac{3}{4}$  اینچ دارای دانه بندی مطابق با استاندارد های ایران و *ACI* بوده، نسبت حجمی مصالح درشت دانه به کل مصالح مصرفی 50% می باشد. وزن مخصوص در حالت اشباع با سطح خشک (*S.S.d*)  $2/67$  می باشد.  
ماسه مصرفی: مخلوطی از ماسه طبیعی و شکسته به نسبت 60 به 40 درصد می باشد که تمیزی یا هم ارزی (*S.E*) حاصله آن 76 درصد بوده است. وزن مخصوص در حالت اشباع با سطح خشک (*S.S.d*)  $2/61$  می باشد.

سیمان مصرفی : تیپ II کارون شهرستان مسجسد سلیمان  
فوق روان کننده : سیکامنت 520 به میزان 2% وزنی سیمان  
میکروسیلیس مورد استفاده از شرکت صنایع فرو آلیاژ ایران با حداقل 90 درصد  $\text{SiO}_2$  به مقدار تقریبی 7 درصد وزنی مصالح سیمانی.  
نسبت آب به (سیمان + میکروسیلیس) حدوداً 42%  
طرح های اختلاط بتن در حالت وزنی برای مصالح اشباع با سطح خشک ارائه شده است.

مصالح	طرح 1 در حالت S.S.D	طرح 2 در حالت S.S.D
شن $\frac{3}{4}$ (اینچ) ( $kg/m^3$ )	957/96	1007/093
مخلوط ماسه طبیعی و شکسته به نسبت 60 به 40 ( $kg/m^3$ )	936/43	984/46
سیمان تیپ II مسجد سلیمان ( $kg/m^3$ )	325	280
میکروسیلیس ( $kg/m^3$ )	25	21
آب ( $Lit/m^3$ )	147	126
فوق روان کننده سیکامنت 520 ( $kg/m^3$ )	5/5 کیلوگرم	4/75
آب سیمان + میکروسیلیس	0/42	0/418
مقاومت 9 روزه ( $kg/cm^2$ )	403	356
مقاومت 31 روزه ( $kg/cm^2$ )	503	430

## 8- ساخت نمونه‌های آزمایشی بتن حاوی میکروسیلیس در کارگاه و بهینه کردن مقدار فوق روان کننده و آب طرحهای اختلاط

قبل از استفاده عملی از طرحهای ارائه شده توسط آزمایشگاه جهت ساخت بتن در پروژه نسبت به ساخت آزمایشی آنها با درصدهای مصالح داده شده با منظور نمودن مقدار رطوبت سطحی مصالح سنگی اقدام گردید که با حفظ نسبت  $\frac{w}{c}$  در حدود 0/38 الی 0/4 مقدار فوق روان کننده داده شده (حدوداً 2% وزنی سیمان) بسیار زیاد بوده بنحوی که گیرش اولیه بتن برخی از نمونه‌ها حتی پس از گذشت 24 ساعت از ساخت آنها آغاز نگردیده بود. لذا آزمایشات کارگاهی با درصدهای متفاوت و متغیر روان کننده موجود تکرار گردیده و پس از انجام سعی و خطای زیاد با حفظ کلیه درصدهای مصالح سنگی و حفظ نسبت آب به مواد سیمانی به مقدار 0/38 مقدار 2 کیلوگرم فوق روان کننده (حدوداً 0/7% وزن سیمان) در متر مکعب برای اسلامپ 3 اینچ جوابگو گردید که البته این مقدار روان کننده در سطوح شیبدار سرریز با شیب تقریبی 45 درجه مشکلاتی جهت پرداخت و جا انداختن بتن را فراهم می نمود که با توجه به محدودیت اسلامپ حداکثر 1/5 اینچ جهت بتن رویه این قسمت، مقدار روان کننده حتی تا یک کیلوگرم در مترمکعب بتن نیز کاهش داده شد.

## 9- نحوه ساخت بتن حاوی میکروسیلیس با توجه به طرحهای اختلاط نهایی شده

با توجه به موجود نبودن دستگاه بچینگ پیشرفته در کارگاه و استفاده از دستگاه بتن‌سازهای معمولی که دستگاه توزین جداگانه جهت وزن کشی میکروسیلیس و فوق روان کننده را نداشتند ابتدا نسبت به محاسبه مقادیر میکروسیلیس مورد نیاز جهت هر دیگ (بچ) بتن با توجه به حجم تولید اقدام و سپس در مورد میکروسیلیس نسبت به وزن کشی و قرار دادن آنها در گونی‌های کوچک و دیپوی آن در کنار دستگاه بتن ساز اقدام نموده در زمان ساخت هر دیگ بتن، بوسیله کارگر بر روی تسمه نقاله مخصوص حمل مصالح سنگی توزین شده، ریخته می شد که همزمان به داخل دیگ

ساخت بتن وارد شده و لذا اختلاط آن با سایر مصالح و سیمان بصورت مناسب انجام می گرفت. البته با توجه به این موضوع که انجام این کار در روزهایی که وزش باد را داشته باشیم مشکلاتی را برای کارگر حمل میکروسیلیس فراهم خواهد نمود، استفاده از دستگاه بتن ساز با امکانات توزین میکروسیلیس بصورت جداگانه توصیه می شود که در حال حاضر این امر در کارگاههای با حجم بتن ریزی بالا و با صرفه اقتصادی امکان پذیر است.

## 10- نحوه استفاده از فوق روان کننده در ساخت بتن میکروسیلیس

در ابتدا مقدار فوق روان کننده مورد نیاز جهت ساخت هر دیگ بتن (بج) محاسبه و پیمانهای جهت اینکار ساخته شد که در زمان ساخت بتن با حجم پیمانها یاد شده توسط کارگر، روان کننده به داخل دیگ ریخته می شده البته با توجه به بروز برخی از مشکلات از جمله الف: چسبیدن روان کننده به بدنه داخلی دیگ بتن و هدر رفتن قسمتی از آن در هر نوبت ساخت بتن. ب: تعدد دفعات ریختن روان کننده به داخل دیگ ساخت بتن که اتلاف وقت و کندی کار را در برداشت. ج: لزوم دقت و بکارگیری نیروهای کنترلی بیشتر جهت استفاده حتمی از روان کننده در هر نوبت ساخت بتن. د: تقدم و تأخیر عملکرد روان کننده در بتن بچههای ابتدایی، میانی و انتهایی وارد شده به یک تراک میکسر به حجم 7 متر مکعب ما را بر آن داشت که مقدار روان کننده مورد نیاز جهت هر چند دیگ مورد نیاز برای ساخت بتن یک تراک میکسر را یکجا و در یک نوبت توسط کارگر به داخل تراک حمل بتن ریخته، مشروط بر اینکه عملیات اختلاط آن با بتن توسط دور زدن و چرخیدن دیگ تراک میکسر تحت نظر دستگاه نظارت انجام پذیرد. که البته اینکار با موفقیت صورت گرفت. لازم به ذکر است که در صورت زیاد بودن فاصله بین محل ساخت و استفاده بتن، اضافه نمودن کل روان کننده حساب شده جهت حجم یک تراک میکسر به داخل آن در محل ساخت ارجح تر است ولیکن در این پروژه با توجه به فاصله اندک 1/2 کیلومتری دستگاه بتن ساز تا محل سد، روان کننده در محل استفاده به داخل مخزن کامیون حمل بتن ریخته می شد.

## 11- حمل بتن

درنگاه اول بنظر می رسد که حمل بتن حاوی میکروسیلیس و بتن معمولی تفاوتی قابل ملاحظه ای را نداشته و در اصل نیز چنین می باشد ولیکن با اطلاع از این موضوع که بتن میکروسیلیس دارای ویسکوزیته و چسبندگی بالایی بوده، در عمل به دلایل مشروحه زیر ماشین آلات حمل بتن دارای استهلاک بیشتری خواهند شد.

الف: ادامه عملیات اختلاط بتن توسط چرخیدن مخزن تراک میکسر در بتن حاوی میکروسیلیس با صرف انرژی بیشتری از حالت بتن معمولی صورت می گرفت که انجام این کار را مشکل تر می نمود.

ب: در حالت عادی در بتن ریزهای معمولی در پایان تخلیه بتن از داخل تراک میکسر به محل بتن ریزی داخل مخزن را بوسیله آب شستشو داده تا از چسبندگی مصالح بتنی به تیغه های مخصوص اختلاط جلوگیری شود. ولیکن در مورد بتن حاوی میکروسیلیس با توجه به ریزدانه بودن و چسبندگی بالای آن علیرغم مصرف آب بیشتر برای شستشو و حتی ریختن مصالح درشت دانه خشک به داخل تراک متأسفانه عمل جداشدگی مصالح ریزدانه از تیغه های یاد شده بخوبی انجام

نمی‌گرفت و پس از مدتی دانه‌های ریزبتنی به آنها چسبیده که می‌بایست نسبت به خارج نمودن تراک حمل بتن از مدار کاری و جدا نمودن بتن‌های خشک شده از تیغه‌ها پس از وارد شدن کارگر به مخزن تراک و توسط ابزار مخصوص اینکار از جمله دژبر اقدام می‌شد.

## 12- کارآیی بتن

با حفظ مقدار روان کننده در بتن حاوی میکروسیلیس در صورت استفاده از چند فوق روان کننده متفاوت تأثیرات متفاوتی در اسلامپ و کارایی را می‌توان مشاهده نمود. حتی نوع سیمان مورد استفاده عملکردهای متفاوتی را با فوق روان کننده‌ها داشته لذا مجموعه این عوامل موجب می‌شود که برای رسیدن به یک کارایی مطلوب و مورد نیاز در قسمتهای مختلف کاری، تنها به آزمایش متکی بود و لذا جزروش آزمون و خطا راهی وجود ندارد. مثلاً در این پروژه با توجه کارایی های مورد نیاز در قسمتهای مختلف سد از جمله سرریز با شیب زیاد (در بعضی از قسمتها با شیب 45 درجه)، کف تخلیه رسوبات و کف حوضچه آرامش استفاده از مقدار متفاوت فوق روان کننده تجربه گردید که در شیبهای زیاد حتی مقدار روان کننده برای رسیدن به کارایی مورد نیاز حتی به نصف تقلیل داده شد. لازم به توضیح است که مشخصه بارز و متفاوت بتن حاوی میکروسیلیس با بتن معمولی که بر کارایی آن تأثیر دارد چسبندگی زیاد آن است.

## 13- زمان گیرش

با توجه به تحقیقات صورت گرفته ظاهراً افزودن میکروسیلیس به مقدار بهینه آن (حدوداً 10% وزنی سیمان) تأثیر چشمگیری بر زمان گیرش بتن نخواهد داشت ولیکن اضافه بر آن باعث بروز تأخیر در گیرش حتی تا 40 دقیقه می‌گردد البته دلیل افزایش مدت زمان گیرش این است که میکروسیلیس جایگزین قسمتی از سیمان طرح اختلاط شده که این خود باعث کاهش سخت شدن اولیه و در نهایت کندی گیرش و زیاد شدن زمان آن خواهد شد.

در پروژه مورد بحث افزودن میکروسیلیس به میزان 7% وزنی سیمان تأثیر چندانی بر افزایش مدت زمان گیرش نداشته و لیکن با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی نامناسب محل اجرای سد در بخش زیادی از طول سال علی‌الخصوص در فصل تابستان دمای بالای محیط باعث افزایش آبگیری مواد سیمانی و در نهایت تسریع در امر گیرش و کم شدن مدت زمان گیرش می‌گردید که البته این موضوع به خودی خود تأثیر منفی بر روند کار داشته زیرا که عملیات حمل، ریختن، جا انداختن، و بیره زدن، جابجایی، شمشه کشی، ماله کشی بتن علی‌الخصوص در سطوح شیبدار سرریز نیازمند داشتن وقت زیاد بوده که لذا استفاده از یک فوق روان کننده دیرگیر کننده بنام سیکامنت 520 به مرتفع نمودن این مشکل کمک شایانی را نمود.

## 14- آب انداختن

مطابق تحقیقات صورت گرفته با افزودن میکروسیلیس به بتن، اندازه لوله‌های موئینه داخل ژل سیمانی به مقدار زیادی کاهش یافته زیرا این ذرات بسیار ریز می‌توانند به فضای خالی بین ذرات سیمان راه یافته و باعث جدا شدن کانالهای آب شوند. از نگاه دیگر اثر کندگیر کننده فوق روان کننده‌ها باعث خواهد شد تا آب انداختن بتن برای تحقق، زمان کافی داشته باشد و در حقیقت

می‌توان گفت در این نوع بتن‌ها میزان آب انداختن کمتر بود و زمان آب انداختن نیز نسبت به بتن معمولی تأخیر بیشتری دارد. که هر دو در بهبود کیفیت کار مؤثر خواهد بود.

## 15- جدا شدگی

آب انداختن و جدا شدگی معمولاً دو پدیده‌ای هستند که در بتن‌ریزی بصورت توأم و با تأخیر کمی صورت گرفته که البته با توجه به مباحث قبلی و اینکه پدیده آب انداختن در بتن میکروسیلیس خیلی کمتر از بتن معمولی و با فاصله زمانی بیشتری صورت می‌گیرد لذا می‌توان گفت احتمال بروز جداسازی نیز در بتن میکروسیلیس خیلی کم می‌باشد. در پایان لازم به توضیح است که چسبندگی و ویسکوزیته زیاد بتن میکروسیلیس تأثیر زیادی در جلوگیری از جداسازی ذرات و مصالح تشکیل دهنده آن دارند.

## 16- لرزاندن بتن میکروسیلیس

با توجه به این موضوع که بتن میکروسیلیس دارای چسبندگی بالایی بوده علاوه بر آن محدودیت اسلامپ بتن در قسمتهای شیبدار سرریز سد به جهت جلوگیری از حرکت بتن باعث می‌شد که عملیات لرزاندن و ویبره کردن بتن با دقت نظر و زمان بیشتری انجام گیرد لذا انجام کار مستلزم صرف وقت و انرژی بیشتری بوده است.

## 17- ریختن و جا انداختن

با توجه به این موضوع که شیب سرریز سد در قسمتی از آن  $45^\circ$  بوده همچنین بخشی از آن از یک منحنی خاص تبعیت نموده که اجرای آن توسط قالب‌بندی مشکلاتی را در برداشت لذا اجرای کار توسط ساخت شابلون مخصوص و جاگذاری آن بر سطح سرریز صورت گرفته که بالطبع انجام مراحل مختلف عملیات از جمله ریختن و جا انداختن، جابجایی، شمشه کشی بین شابلونها بسختی صورت می‌گرفت. البته ویسکوزیته زیاد بتن میکروسیلیس که چسبیدن بتن به شمشه و سختی جابجایی آن را در پی داشت صعوبت کار را بیش از پیش می‌نمود.

## 18- پرداخت بتن

با توجه به این موضوع که پدیده آب انداختن و جداسازی در بتن پس از تراکم آن صورت گرفته و باعث تشکیل شدن لایه ضعیف سطحی می‌گردد که پس از سخت شدن به سادگی تحت سایش قرار می‌گیرد. لذا از عملیات ماله کشی در چند نوبت با فاصله زمانی، که از تکنیک های متداول پرداخت سطح می‌باشد استفاده گردید عملیات فوق برای پخش و متراکم نمودن ملات سطحی و در نتیجه کاهش نسبت آب به سیمان ( $\frac{W}{C}$ ) مؤثر در سطح آن و در نهایت سخت شدن بتن این ناحیه انجام گردید. با توجه به صعوبت کار پرداخت، علی‌الخصوص در شیب سرریز، انجام ماله‌کشی در چند نوبت به آسانی میسر نبوده و مستلزم داشتن فرصت و وقت زیادی بوده که استفاده از فوق روان کننده و دیر گیر کننده قوی سیکامنت 520 کمک زیادی به این موضوع می‌نمود. البته تجربه‌ای که در این

کار حاصل گردید مؤید این موضوع بود که جهت کار بتن‌ریزی در شیب می‌بایست بر بعد دیر گیرکنندگی روان‌کننده مورد استفاده، بیشتر از بخش روان‌کنندگی آن تأکید نمود که لذا به جهت رعایت این مسئله همانگونه که در بخش طرحهای اختلاط گفته شد مقدار روان‌کننده در بتن‌های قسمت شیب حتی به نصف نیز تقلیل داده می‌شد. زیرا در غیر اینصورت بتن ریخته و ماله‌کشی شده حتی پس از گذشت یک ساعت دچار نشست و افتادگی در سطح شده که لذا ماله‌کشی مجدد و چندین باره آن امری اجتناب‌ناپذیر بود. البته راه حل دیگری نیز وجود داشت و آن استفاده از یک روان‌کننده ضعیف و معمولی با قدرت دیرگیر کنندگی متوسط بود، لازم به ذکر است که چسبندگی بسیار زیاد بتن حاوی میکروسیلیس باعث می‌گردد که ماله‌کشی به سختی انجام گرفته و در این رابطه استفاده از کارگران و استادکاران مجرب و متخصص در امر ماله‌کشی لازم و ضروری است.

## 19- عمل آوری بتن

بدلیل اینکه میکروسیلیس موجود در بتن دارای دانه‌بندی بسیار ریزی بوده که به سرعت آب آزاد موجود در بتن را جذب نموده و احتمال بروز ترکهای حاصل از نشست خمیری و خشک شدن سطح را تشدید و تسریع می‌نماید لذا بتن‌های حاوی میکروسیلیس می‌بایست بلافاصله پس از جا انداختن و پرداخت سطح مراقبت شده و از خشک شدن سطوح آزاد آنها به هر نحو ممکن، جلوگیری گردد. این امر علی‌الخصوص در مناطقی که اقلیم خورنده دارند از جمله در سد هنديجان و همچنین در صورت مصرف سنگدانه‌هایی که مشکوک به داشتن پتانسیل واکنش قلیایی می‌باشد حائز اهمیت خاص است. زیرا که ترکهای سطحی می‌توانند بهترین راه برای ورود مواد خورنده به داخل بتن باشند و مناطق طرفین ترکها معمولاً مناسبترین محل برای شروع واکنشهای قلیایی می‌باشند. همچنین با توجه به نتایج تحقیقات انجام گرفته بتن با عمل آوری مناسب می‌تواند مقاومت سایشی حتی تا دو برابر نسبت به بتن معمولی داشته باشد. بنا به نشریه ACI 201 در مورد دوام بتن، برای حاصل شدن بتن با حداکثر دوام و مقاومت سایشی لازم عمل آوری می‌بایست بلافاصله پس از پرداخت سطح آغاز گردد و حداقل 14 روز ادامه یابد. لذا عمل آوری در این پروژه بلافاصله پس از اتمام عملیات پرداخت و شروع گیرش اولیه توسط گونی و پتوی خیس صورت گرفته و پس از اتمام گیرش اولیه توسط لوله‌های مشبک و آبپاشی به مدت 28 روز و در مواردی که آبپاشی موجبات اختلال در کار سایر قسمتها را فراهم می‌نمود، حداقل 14 روز تمام انجام می‌گرفت.

## 20- بررسی مقاومت فشاری نمونه های بتنی ریخته شده

نتایج حاصل از شکستن نمونه های استوانه ای تهیه شده از دو نوع طرح اختلاط مورد استفاده در کارگاه با مقاومت مشخصه‌های 300 و 350 کیلوگرم بر سانتی متر مربع ذیلاً طی جدولی آمده است که با بررسی آنها می‌توان گفت:

الف : در تمامی موارد مقاومت فشاری خواسته شده در هر دو طرح اختلاط مورد استفاده در رویه بتنی حاصل گردیده است.

ب : مقاومتها گاهاً حتی تا نزدیک به دو برابر مقاومت مشخصه خواسته شده در طرحها نیز افزایش داشته است.

ج : تفاوت‌های مشاهده شده در مقاومتهای کسب شده ناشی از تغییر مشخصات مصالح مصرفی مورد استفاده بدلیل خرید شن و ماسه از چند تولید کننده متفاوت که دارای تمیزی و دانه بندی و... یکسانی نبوده‌اند و همچنین خطاهای انسانی در اندازه‌گیری مقدار مصالح مورد استفاده در ساخت بتن و نیز تغییرات در کیفیت سیمان مورد استفاده در طرح می باشد.

300	350	مقاومت مشخصه بتن $f_c$ ( $kg/cm^2$ )
182	168	تعداد نمونه ها
405	450	متوسط مقاومت نمونه ها
13/7	-	درصد نمونه ها با مقاومت 300 تا 350 $kg/cm^2$
28/1	50	درصد نمونه ها با مقاومت 350 تا 400 $kg/cm^2$
24/1	28/48	درصد نمونه ها با مقاومت 400 تا 450 $kg/cm^2$
24/7	16/3	درصد نمونه ها با مقاومت 450 تا 2500 $kg/cm^2$
4/4	5/22	درصد نمونه های با مقاومت بیش از 2500 $kg/cm^2$
489	566	حداکثر مقاومت نمونه ها برحسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع

## 21- مقایسه اقتصادی بتن حاوی میکروسیلیس و معمولی و تأثیرات آن در هزینه‌های طرح

با توجه به این موضوع که در طرحهای اختلاط مورد استفاده در این پروژه در اثر افزایش میکروسیلیس به میزان 7 درصد وزنی سیمان، بطور متوسط کاهش 120 کیلوگرمی در مقدار سیمان مورد استفاده داشته‌ایم، همچنین با عنایت به استفاده از متوسط 2 کیلوگرم فوق روان کننده در طرحهای یاد شده، مابه التفاوت هزینه ساخت یک متر مکعب بتن میکروسیلیس و بتن معمولی بطور متوسط در طول دوره اجرا 90000 ریال بوده که با احتساب حجم بتن میکروسیلیس مصرف شده در پروژه به مقدار 9300 مترمکعب و هزینه کل اجرای پروژه شامل هزینه‌های مشاور، کارفرما، پیمانکار و سایر هزینه‌های دیگر می توان گفت که هزینه کل طرح بابت استفاده از بتن میکروسیلیس به مقدار حدوداً 0/76 درصد افزایش داشته است.

## 22- نتیجه گیری

با توجه به تجارب کسب شده در کارگاه و همچنین بررسیهای صورت گرفته نتایجی به شرح زیر حاصل گردیده است:

- 1- استفاده از بتن میکروسیلیس بطور تقریبی معادل 0/76 درصد هزینه های کل پروژه را افزایش داده که با توجه به خصوصیات بارز این نوع بتن که منجر به اصلاح خواص مهندسی بتن از جمله چسبندگی و یکنواختی، خواص مکانیکی آن مثل مقاومت فشاری، کششی، خمشی، مقاومت پیوستگی با آرماتور، خزش و جمع شدگی و دوام بتن از جمله مقاومت در برابر خرابی ناشی از حملات شیمیایی، سایش و فرسایش می‌شود و در جهت افزایش طول عمر سد مقرون به صرفه می‌باشد.
- 2- در طرح اختلاط بتن میکروسیلیس جهت استفاده در شیبهای سرریز به جهت جلوگیری از افتادگی و نشست بتن و موجدار شدن سطح آن پس از پایان ماله کشی توصیه می‌گردد که بجای یک فوق روان کننده صرفاً از یک روان کننده معمولی با دیر گیر کنندگی متوسط استفاده شده و یا در صورت استفاده از یک فوق روان کننده حتماً مقدار آن را جهت استفاده در شیبهای زیاد با سعی و خطا در حداقل ممکن قرار داد.
- 3- با توجه به این موضوع که عملکرد فوق روان کننده در بتن در مواردی حتی پس از اتمام عملیات بتن ریزی و ماله کشی سطح باعث نشست و افتادگی بتن گردیده ضروری است از

تکنیک عملیات ماله‌کشی در چند نوبت با فاصله زمانی که از تکنیک‌های متداول پرداخت سطح می‌باشد استفاده نمود.

4- با توجه به خصوصیات بتن میکروسیلیس و احتمال بروز ترک‌های حاصل از خشک شدن سریع سطح آن ضروری است بلافاصله پس از جا انداختن و پرداخت سطح نسبت به عمل آوری و مراقبت از آن اقدام نموده، از خشک شدن سطوح آزاد بتن به هر نحو ممکن جلوگیری شود.

5- در ساخت بتن میکروسیلیس در کارگاه در صورتیکه فاصله بین محل ساخت تا استفاده زیاد باشد با توجه به حجم پائین آب بتن میکروسیلیس به جهت جلوگیری از سخت شدن و گیرش بتن می‌بایست حتماً روان کننده اولاً دیرگیر کننده بوده ثانیاً حتماً در محل ساخت به تراک میکسر اضافه گردد.

6- با توجه به مقاومت بالای بتن میکروسیلیس می‌بایست در زمان بتن‌ریزی حتی‌الامکان از ریختن آن بر روی سطوح بتن ریزی شده قبلی جلوگیری نموده و در صورت ریختن قبل از شروع گیرش با آب شستشو شده زیرا در غیر اینصورت به سختی از سطح قبلی جدا شده و موجبات خراب شدن سطح را فراهم خواهد نمود.

7- پس از پایان هر بتن‌ریزی می‌بایست کلیه ماشین آلات و لوازم و ابزار ساخت، حمل، ریختن و پرداخت بتن را بخوبی شستشو داد زیرا در غیر اینصورت بعلت چسبندگی و مقاومت زیاد بتن جدا نمودن بتن سخت شده آن از وسایل یاد شده علی‌الخصوص دستگاه بتن‌ساز و تراک میکسر و قیف تخلیه بتن با صرف هزینه بالا و استهلاک آنها همراه خواهد بود.

