

فصل دوم
فوق روان کننده‌ها



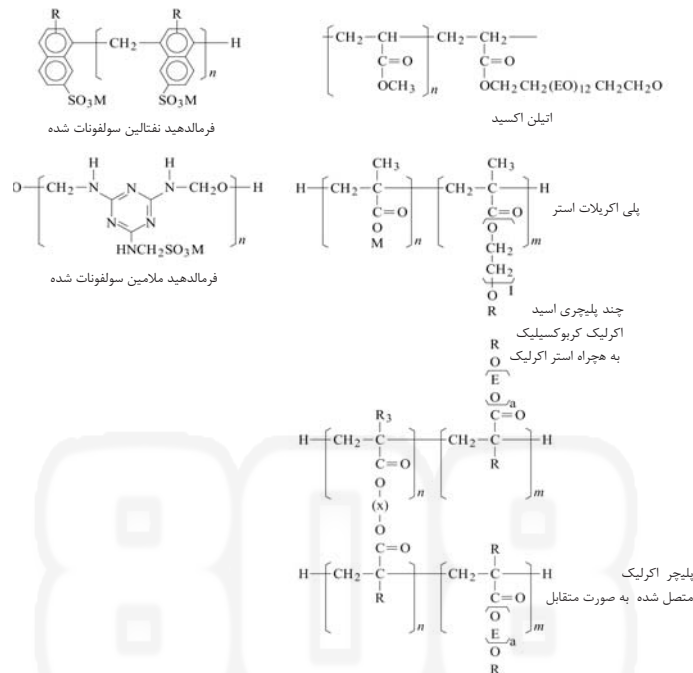
۱.۲ تعاریف اولیه

فوق روان کننده‌ها دسته ای ویژه از عوامل کاهنده آب هستند، به این دلیل که از موادی تشکیل یافته اند که توانایی کاهش های خیلی زیادی در آب را فراهم می آورند. فوق روان کننده‌ها همچنین در کارایی اکثر بتن ها را به شدت افزایش می‌دهند. این نوع عملکرد بدون ایجاد اثرات جانبی غیرمطلوب از قبیل هوای محبوس اضافی یا کندهی در گیرش، حاصل می‌شود. موادی که در دهه ۱۹۶۰ اصولاً به عنوان اساس فوق روان کننده‌ها مطرح بودند، عبارت بودند از فرمالدهید نفتالن سولفوناتی (۸-۱) [SNF] در ژاپن و فرمالدهید ملامین سولفوناتی ((SMP (۹)) در آلمان که در سال‌های بعد کاربرد فزاینده‌ای در سطح جهان یافتند. در اوایل دهه ۱۹۸۰، تحقیقاتی برای طراحی پلیمرهای پلی اکریلاتی [۱۰] برای فرمولاسیون فوق روان کننده‌ها آغاز شد و پس از چندی در آلمان و بعد در ژاپن و ایالات متحده [۱۱-۱۲] به بازار مصرف راه پیدا کردند. فرآورده‌های پلی اکریلاتی بر پایه سه نوع پلیمر متفاوت هستند، و به نظر مبنای نسل بعدی فوق روان کننده‌ها محسوب می‌شوند.

۲.۲ مباحث شیمیایی مربوط به فوق روان کننده‌ها

سه نوع اصلی مواد خام مورد استفاده در فوق روان کننده‌ها، SMF , SNT ، و پلی اکریلات ها در شکل ۱.۲ نشان داده شده‌اند. این شکل همچنین سه نوع مختلف پلی اکریلات ها را هم نشان می‌دهد. مقادیر اندکی از دیگر مواد همچون تری اتانولامین (برای مقابله با کندهی در گیرش)، تریبوتیل فسفات (برای کم کردن هوای محبوس اضافی) و نمک‌های اسید هیدروکسی کربوکسیلیک یا لیگنوسولفونات‌ها (برای کندتر کردن گیرش) نیز استفاده می‌شوند. فوق روان کننده‌ها همچنین می‌توانند ترکیبی از دو یا چند جزء اصلی از مواد فوق باشند.

مواد افزودنی شیمیایی بتن



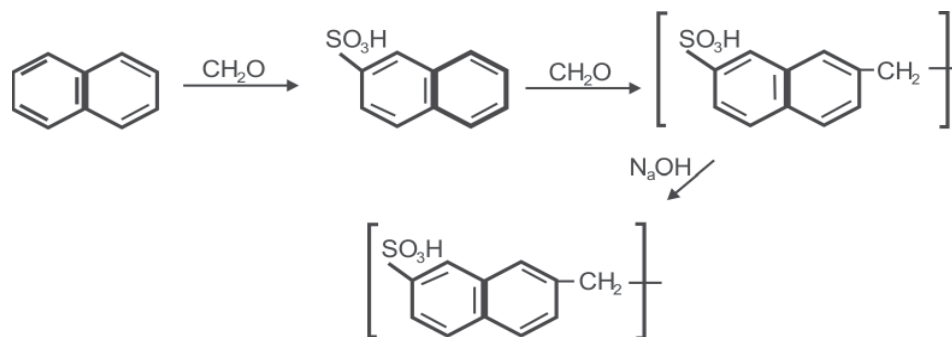
شکل ۱.۲ انواع مواد شیمیایی فوق روان کننده‌ها

۱.۲.۲ فرمالدهید نفتالین سولفوناتی

این ماده خام یکی از اولین موادی است که در مباحث عوامل کاهنده آب [۱۶] به آن ارجاع می‌شود. با این حال، این ماده از سال ۱۹۷۰ کاربرد فراوانی در فرمولاسیون های افزودنی‌ها پیدا کرد. این ماده از نفتالن توسط اولیوم یا سولفونات شدن تری اکسید سولفور تحت شرایطی که منجر به شکل گیری سولفونات β می‌شود، تولید می‌گردد. واکنش بعدی با فرمالدهید منجر به پلیمری شدن گشته و اسیدسولفونیک با سدیم هیدروکسید [۱۷] یا آهک خنثی می‌شود. این فرآیند در شکل ۱.۲ به تصویر کشیده شده است. مقدار n معمولاً پایین است اما شرایط به نحوی انتخاب شده‌اند که یک نسبت بالاتر در وزن مولکولی فرآورده داشته باشیم و بازدهی بیشتری دریافت کنیم [۱۸]. بسته به فرآیند مورد استفاده، مقدار سدیم سولفات تشکیل شده توسط خنثی سازی عامل سولفوناتی اضافی تغییر خواهد داشت، اما می‌توان با استفاده از آهک آن را کاهش یابد [۱۹].

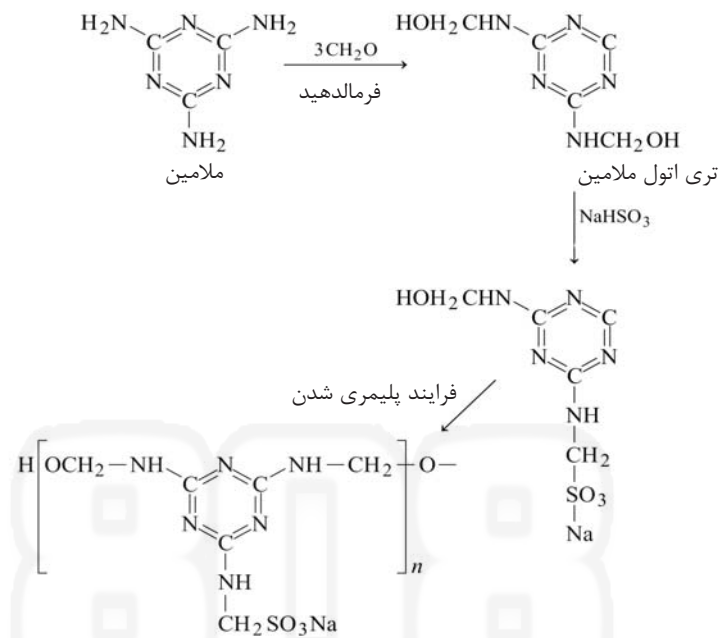
۲.۲ فرمالدهید ملامین سولفوناتی

این نوع فرآورده شیمیایی اصولاً در دهه ۱۹۵۰ به عنوان "پراکنده کننده" در طیف وسیعی از صنایع توسعه یافت، اما کمتر از ۱۰ سال بعد معلوم شد که از آن در بتن هم می‌توان استفاده کرد. این ماده توسط تکنیک های رزین سازی معمولی مطابق با فرآیند [۲۱] نشان داده شده در شکل ۲.۳ تولید می‌شود. روش تولید معمولی منجر به فرآورده ای می‌شود که خصوصیات آن در جدول ۲.۱ ارائه شده است. طول زمان پلیمری شدن بر وزن مولکولی فرآورده اثر می‌گذارد. بهترین میانگین وزن مولکولی حدود ۳۰۰۰۰ است. این ماده معمولاً به تنهایی یا در ترکیب با SNF استفاده می‌شود. هنگامی که این ماده به تنهایی به کار رود، دسته‌بندی آن از روی دارا بودن اثر حداقلی آن روی هوای محبوس یا زمان گیرش انجام می‌گردد. اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک [۲۳] در بعضی فرمولاسیون ها به منظور کم کردن افت اسلامپ هم به کار برده می‌شوند.



شکل ۲.۲ فرآیند تولید SNF

مواد افزودنی شیمیایی بتن



شکل ۳.۲ فرآیند تولید SMF

جدول ۱.۲ خصوصیات معمول یک رزین فرمالدهید ملامین آینونی (برگرفته از Davis)

درصد میزان مواد جامد ویسکوزینه در دمای ۲۰ درجه	۲۰ ۱۰ ۸.۵ ۱.۱۲
وزن مخصوص در 0° ظاهر	محلول سفید آبی زلال

۳.۲.۲ پلی اکریلیت‌ها

انواع مختلف پلیمرهای پلی اکریلیاتی از مونومرهای مرتبط تولید می‌شوند. این فرآیند توسط مکانیسمی آزاد با استفاده از معرف‌های پروکسیدی صورت می‌گیرد و بسته به اینکه درجه پیش پلیمری شدن مونومرهای استفاده شده چقدر باشد می‌تواند پلیمرهای « بلوکی » یا « اتفاقی » باشد، نامیده شود.

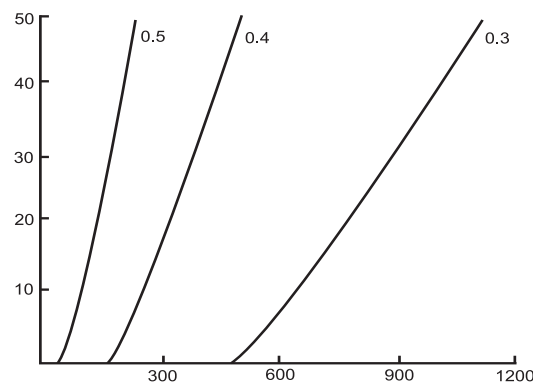
۳.۲ اثرات بر روی سیستم آب-سیمان

برای درک شیوه تأثیر گذاری فوق روان‌کننده‌ها بر خصوصیات بتن، مطالعات مختلفی روی خمیر های سیمانی انجام گرفته است.

۱.۳.۲ اثرات مربوط تغییر شکل

ویسکومتر (غلظت سنج) را برای مطالعه تنش تسلیم و ویسکوزیته خمیرهای سیمانی می‌توان استفاده نمود (بخش ۱.۳.۱). این امر با ترسیم نرخ برش - تنش برشی برای خمیر های سیمانی در نسبت‌های متنوع آب به سیمان، در شکل ۴.۲ نشان داده شده است. این خمیر های سیمانی عموماً نشانگر رفتار شکل‌پذیر (پلاستیک) Bingham هستند. مقدار تسلیم نقطه تقاطع محور برش بوده و مرتبط با چسبندگی است. شیب خط برابر ویسکوزیته ظاهری است که مربوط به پیوستگی یا کارایی سیستم می‌باشد. مطابق شکل، داریم:

۱- فوق روان‌کننده‌ها هم مقدار تسلیم و هم ویسکوزیته شکل‌پذیر (پلاستیک) خمیرهای سیمانی را کاهش می‌دهند [۲۴]. در پیمان‌های مصرفی بالاتر (مثلاً ۴٪ برای SNF [۵, ۶]، مقدار تسلیم نزدیک به صفر می‌شود و سیستم نیوتنی رفتار می‌کند.



شکل ۴.۲ رابطه های تنش برشی - نرخ برش برای خمیر های سیمانی در نسبت‌های گوناگون آب به سیمان

مواد افزودنی شیمیایی بتن

۲- ترکیب سیمان بر رفتار تغییر شکل سیستم اثر می‌گذارد؛ هنگامی که افزودن فوق روان کننده‌ها

۳- به تأخیر بیافند، [۲۷] خمیر های سیمانی دارای نسبت‌های $\frac{C_{32}}{C_{25}}$ و $\frac{C_3A}{CqAF}$ پایین دارای ویسکوزیته بالاتری خواهند بود.

۴- رابطه ای میان مقدار فوق روان کننده جذب شده به سیمان و ویسکوزیته ظاهری [۲۸, ۲۹] وجود دارد. قسمت دوم حاکی از آن است که رابطه خطی است، در حالی که رابطه در قسمت اول حداقل در قسمتی از منحنی خطی می‌باشد (شکل ۵.۲).

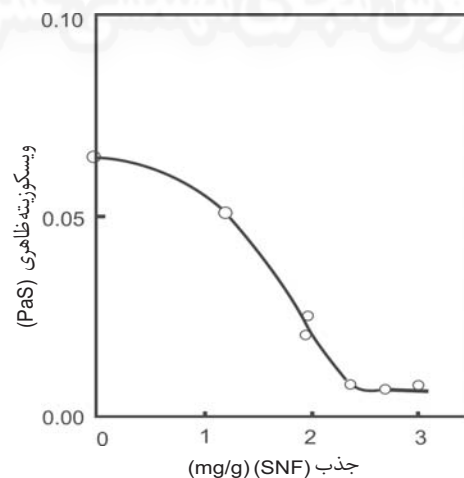
۵- در یک مرحله مضاعف ثابت در SNF، مساحت سطح Blaine از سیمان مستقیماً متناسب با ویسکوزیته ظاهری است [۳۰].

۲.۳.۲ پتانسیل زتا

پتانسیل زتا برابر اختلاف در پتانسیل میان سیستم پراکنده شده کل، لایه ای که در حد فاصل ذرات پراکنده شده (در این حالت، سیمان) و واسط پراکنده کننده (آب) است. بسیاری از مطالعات از تأثیر فوق روان کننده‌ها روی پتانسیل زتا سیستم آب به سیمان انجام گرفته است و از آنها نتایج زیر استخراج شده است:

۱- سیمان دارای یک پتانسیل زتای مثبتی است که کاسته شده و نهایتاً با افزوده شدن یک فوق روان کننده منفی می‌شود [۳۱].

۲- با SNF, SMF رابطه ای میان پتانسیل زتا و کاهش در ویسکوزیته خمیر موجود است [۳۲].



شکل ۵.۲ وابستگی ویسکوزیته به جذب SNF در خمیر سیمان

فصل دوم

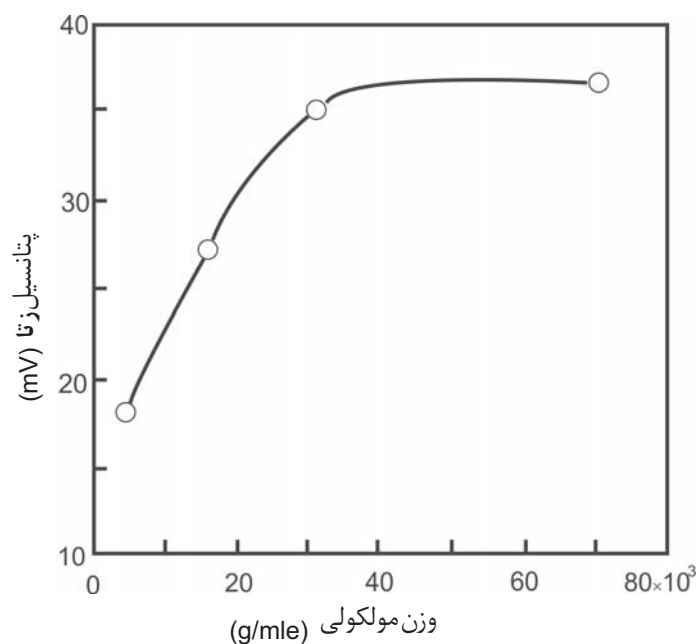
۳- با SMF و SNF، در رابطه میان پیمانانه مصرفی و پتانسیل زتا یک مقدار منفی حداکثر وجود داشته که متناظر با یک ویسکوزیته خمیر حداقل می‌باشد [۳۳].

۴- چنان که در شکل ۶.۲ نشان داده شده، برای انواع پلیمر سولفوناتی فوق روان‌کننده‌ها، پتانسیل زتا نیز همزمان با وزن مولکولی تا یک حد ماکزیمم افزایش می‌یابد [۳۴].

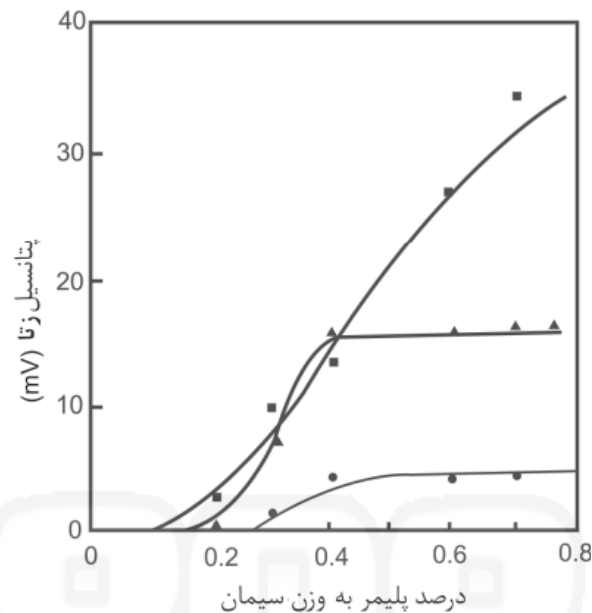
۵- پتانسیل زتا در مواد پلی‌اکریلاتی به طور محسوسی کمتر از پتانسیل زتا برای SNF و یا SMF است، همچنانکه در شکل ۷.۲ [۳۵] نشان داده شده است. در واقع برای پایین آوردن ویسکوزیته، پتانسیل زتا برای فرآورده‌های پلی‌اکریلاتی می‌تواند نصف پتانسیل زتای SNF یا SMF باشد [۳۶].

۳.۳.۲ جذب

قبلاً در مطالعه انواع عوامل کاهنده آب، از جمله فوق روان‌کننده‌ها اشاره کردیم که این افزودنی‌ها در محلول باقی نمی‌ماند، اما عوامل کاهنده آب تا حد قابل توجهی و به شدت توسط هیدراتاسیون سیمان جذب می‌شوند. مطالعه جذب با اضافه کردن افزودنی به خمیر سیمان پس از یک دوره زمانی که سیستم را فیلتر می‌کند، انجام می‌گردد. تا میزان افزودنی باقی مانده در محلول معلوم شود، این فیلتر تحلیل شده و بنابراین مقدار جذب شده از اختلاف مقادیر محاسبه می‌شود. مطابق شکل، داریم:



شکل ۶.۲ پتانسیل زتا در مقابل غلظت افزودنی با وزن های مولکولی مختلف



شکل ۲.۷ بتانسیل های زتا خمیر های حاوی SNF , SMF , CAE به عنوان تابعی از پیمانہ مصرفی پلیمر

- ۱- تحقیق پیشین [۳۷] توسط یکی از نویسندگان، حاکی از آن بود که فوق روان کننده های نوع SNF , SMF با شدت کمتری بر روی سیمان هیدراتی نسبت به عوامل کاهنده آب، جذب شدند و این برای توضیح علت اینکه چرا تأخیر در گیرش کمتر توسط روان کننده ها استفاده شد، می باشد. این نظریه مورد اشکال دار شد، کارهای بعدی نشان داد که قسمت SNF که مؤثر بود (پلیمر) به شدت خیلی زیادی جذب می شود و وزن مولکولی پایین تر فرآورده های ثانوی بود که در محلول باقی می ماند. وقتی پلیمر به تنهایی مورد مطالعه واقع گردد [۳۸]، خطوط هم دمایی نشان داده شده در شکل ۲.۸ برای سه سیمان مختلف حاصل می شود.
- ۲- فوق روان کننده های SMF و SNF به سرعت بر سیمان هیدراته جذب می گردند، اما این اثر خالص متشکل از جذب خیلی سریع توسط C_3A و جذب آرام تر توسط فازهای سیلیکاتی است (چنانکه در شکل ۲.۹ داریم) [۳۹].
- ۳- آزمایش های عدم جذب نشان داده است که SNF و SMF به طور غیرقابل بازگشتی روی سیمان هیدراته جذب می شوند.
- ۴- میزان فوق روان کننده های جذب شده وابسته به موارد زیر می باشد :

فصل دوم

الف- نوع سیمان، که تیپ $III < I$ تیپ $I <$ است.
ب- نرمی، (که هر چه سیمان ریزدانه تر باشد) جذب بیشتر می‌شود.

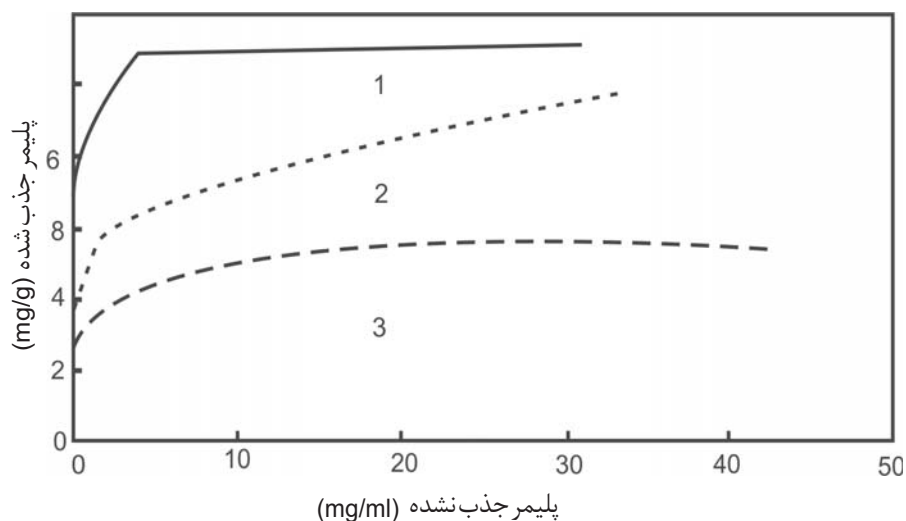
ج- نسبت‌های C_3S/C_2S ، C_3A/C_4AF (که در آن هر چه نسبت بالاتر باشد) جذب بیشتر است.

۵- لایه جذب شده SNF که ضخامت -۲۰ ۵۰ nm دارد.

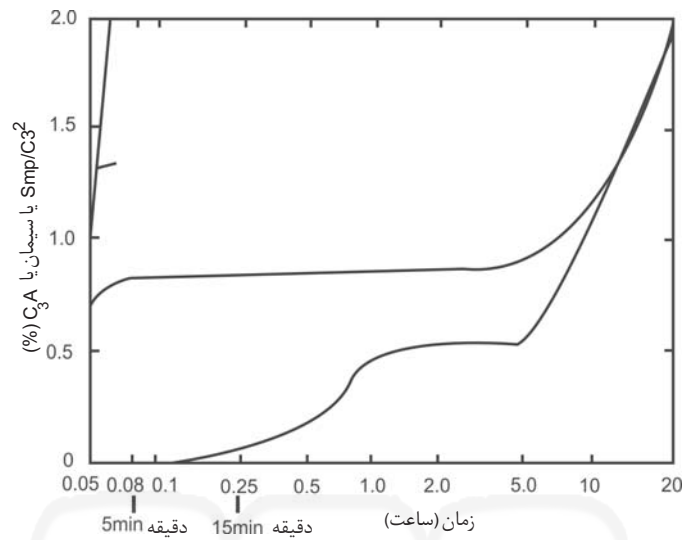
۶- همان طور که در شکل ۱۰.۲ داریم، فوق روان‌کننده‌های پلی‌اکریلیتی به اندازه انواع SNF و SMF با شدت جذب نمی‌شوند [۴۳].

۴.۳.۲ اثرات بر روی فرآورده‌ها و سرعت هیدراتاسیون

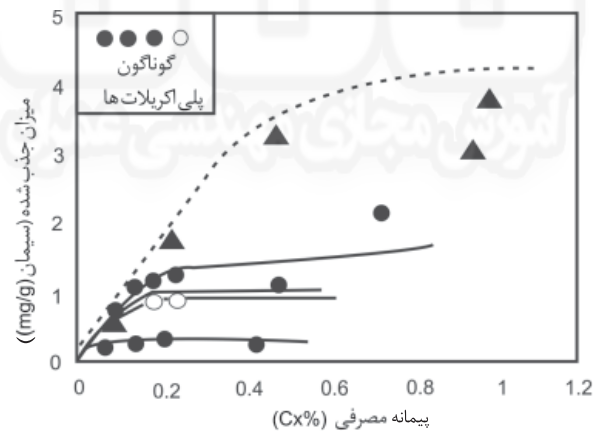
بدون شک، فوق روان‌کننده‌ها بر روند و سرعتی که در آن هر یک از اجزاء سیمان با یکدیگر و با آب واکنش می‌دهند، اثر می‌گذارد. حتی در عدم حضور فوق روان‌کننده‌ها، این واکنش‌ها از حیث شیمیایی بسیار پیچیده است. قسمت بعد خلاصه‌ای از آنچه که توسط بسیاری افراد در این حوزه انجام گرفته را خواهیم آورد.



شکل ۸.۲ خطوط هم‌دما با کسری از پلیمر SNF روی مارک‌های سیمانی مختلف (جذب پلیمر به اندازه ۱ گرم سیمان)



شکل ۹.۲ جذب SMF روی ترکیبات سیمان و سیمان در طی هیدراتاسیون



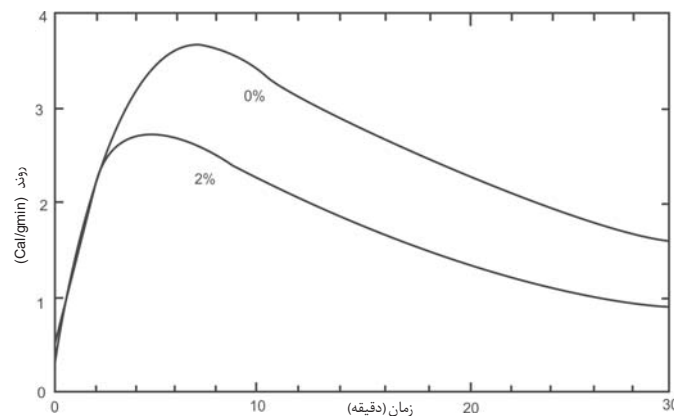
شکل ۱۰.۲ رابطه میان مقدار جذب شده و پیمانه مصرفی

الف- اندرکنش‌ها با

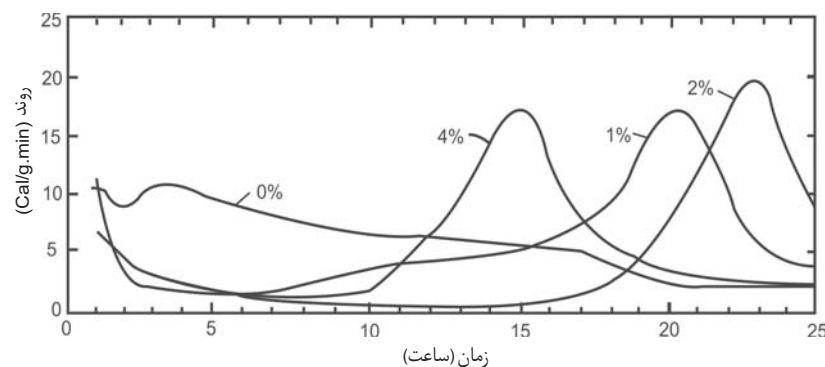
۱- عموماً مورد توافق است که هر دوی SMF و SNF هیدراتاسیون C_pA [۴۴, ۴۵] را به تأخیر می‌اندازند. شکل ۱۱.۲ تکامل گرمایی C_pA هیدرات شده در حضور SMF را به تصویر

فصل دوم

می‌کشد. آزمایش‌های تا ۲۸ روزگی با SNF [۴۶] حاکی از آن است که C_pA کمتر به صورت هیدراته باقی می‌ماند.



شکل ۱۱.۲ منحنی‌های کالری سنجی از C_pA هیدراته در حضور SMF.



شکل ۱۲.۲ منحنی‌های کالری سنجی برای C_pA + گچ + آب حاوی SMF

- ۲- [۴۷],[۴۸] SMF هیدراتاسیون C_pA به فاز شش گوشه‌ای و همچنین تبدیل متعاقب به فرم مکعبی را به تأخیر می‌اندازد.
- ۳- در مطالعات با SNF [۳۸] که با وزن مولکولی متغیر است، نشان‌هایی هست که کسر شدن وزن مولکولی بیشتر موجب تأخیر کمتر در فرآیند هیدراتاسیون نسبت به مواد با وزن مولکولی پایین‌تر می‌شود.
- ۴- در حضور سولفات‌ها، هر دو SMF [۴۷] و SNF [۴۹] هیدراتاسیون C_pA را به تأخیر

مواد افزودنی شیمیایی بتن

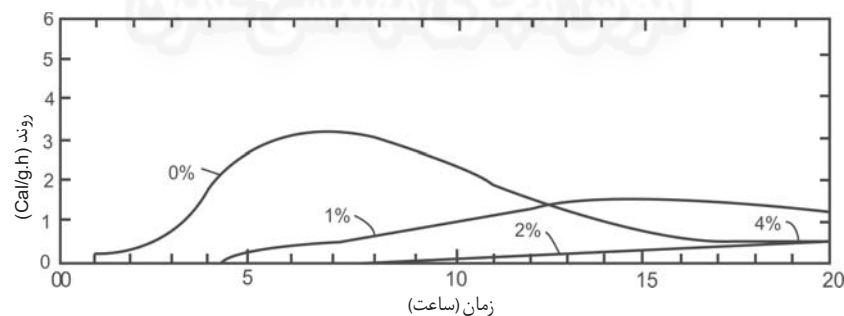
می‌اندازد (چنانکه در شکل ۱۲.۲ برای SMF و تبدیل اترینگیت به هیدرات مونوسولفات به تأخیر می‌افتد) مانند آنچه که در جدول ۲.۲ تصویر شده است.
 ۵- کارهای اخیر [۵۰] نشان داده است که در حضور یونهای سولفاتی، SNF با C_3A تشکیل یک ترکیب معدنی را می‌دهد که انحلال $CaSD_4$ را با سرعت بیشتر ممکن می‌سازد و فرآورده‌های هیدراتاسیون را تغییر می‌دهد.

ب- اندرکنش با فاز C_3S

۱- چنانکه در شکل ۱۳.۲ برای SMF نشان داده شده است [۵۴]، هر دو SNF و SMF هیدراتاسیون C_3S را به تأخیر می‌اندازد [۵۱-۵۳]

جدول ۲-۲ مقدارهای اترینگیت و هیدرات مونوسولفات تشکیل شده در سیستم $2H_2O$

زمان هیدراتاسیون (h)	اترینگیت (%)		مونوسولفات هیدراته	
	مرجع	مرجع	مرجع	SMF (%۴)
۲	۲۸.۳	—	۰	—
۶	۱۷.۶	۲۴.۴	۵.۵	۳.۵
۲۴	۱۲.۳	—	۱۳.۲	—
۴۸	۱۰.۰	۱۸.۸	۱۵.۰	۹.۹



شکل ۱۳.۲ تأثیر SMF روی منحنی های کالری سنجی از هیدراتاسیون C_3S

۲- هیدراتاسیون کند شده اولیه، با یک دوره هیدراتاسیون سریع تر پی‌گیری می‌شود، تا اینکه در ۲۸ روزگی درجه هیدراتاسیون معادل یا حتی فراتر از هیدراتاسیون بتن کنترلی است [۵۵].

فصل دوم

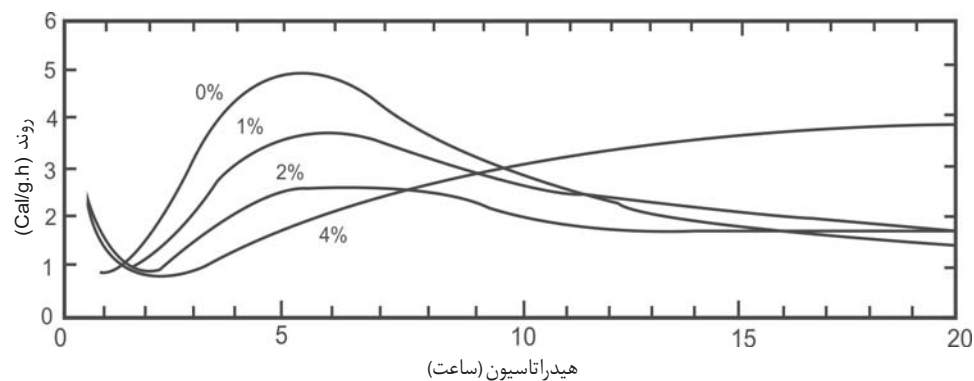
- ۳- نوع و مقدار سولفات و قلیاها بر درجه تأخیر فاز C_3S تأثیرگذار است.
- ۴- وزن مولکولی SNF بر درجه کندی C_3S اثر می‌گذارد. هر چه وزن مولکولی بالاتر باشد، کندی شونده‌گی هم بیشتر می‌شود [۳۸].

ج- اندرکنش با سیمان

- اندرکنش فوق روان‌کننده‌ها با سیمان پرتلند وضعیت بسیار پیچیده‌ای دارد. به علت واکنش‌های میان اجزاء متنوع سیمان و رقابتی که میان آنهاست (مثلاً میان فوق روان‌کننده و گچ برای واکنش با C_3A) با این وجود در حالت کلی:
- ۱- چنانچه در شکل ۱۴.۲ هم نشان داده شده است، هیدراتاسیون به مانند اجزاء منفرد به تأخیر می‌افتد [۵۴].
 - ۲- فاز C_3S به شدتی که برای مواد منفرد وجود دارد، با کندی مواجه نمی‌شود، زیرا C_3A بخش بزرگی از فوق روان‌کننده‌ها را جذب می‌کند. تشکیل اترینگیت شتاب می‌گیرد.
 - ۳- هر چه وزن مولکولی SNF بالاتر باشد، هیدراتاسیون سیمان با کندی بیشتری همراه می‌شود.

۵.۳.۲ تفسیری به لحاظ مود فعال

فوق روان‌کننده‌ها با جذب روی هیدرات‌های اولیه C_3A و C_2S و C_3S عمل می‌کنند. در حالت C_3A ، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد این مورد بیش از تنها یک اثر فیزیکی است، و اینکه یک ترکیب معدنی-آلی ممکن است شکل بگیرد.



شکل ۱۴.۲ منحنی‌های کالری سنجی برای سیمان پرتلند هیدراته در حضور SMF.

مواد افزودنی شیمیایی بتن

رابطه با SMF و SNF، گروه‌های سولفوناتی یونی شده بر روی مولکول‌های فوق روان کننده جذب شده، به شدت به طور منفی باردار می‌شوند و رانش میان ذرات سیمانی بر نیروهای واندروالسی غلبه می‌کنند، که منجر به سیستمی پراکنده می‌شود. مواد پلی اکریلاتی به طور مشابهی جذب می‌شوند و تا اندازه ای موجب پراکندگی ذرات سیمان با مکانیسم الکترواستاتیک یکسان از طریق گروه‌های کربوکسیل یونی می‌شود. با این وجود، زنجیره های جانبی بلند منعطف متصل به این پلیمرها (مخصوصاً آنهایی که اتوکسیلاتی شده‌اند) به عنوان موانع فیزیکی عمل می‌کنند. آنها از آمدن ذرات سیمان به محدوده ی نیروهای واندروالسی جلوگیری می‌کند. این مکانیسم به عنوان ابزاری اضافی برای ایجاد و حفظ پراکندگی عمل می‌کند.

قدری تأخیر در هیدراتاسیون سیمان وجود دارد، اما در ۲۸ روزگی فرآورده‌های هیدراتاسیون C_3S لزوماً با سیستم سیمانی که در آن فوق روان کننده‌ای نداریم، یکسان خواهد بود. فرآورده‌های واکنش C_3A یا گچ ممکن است، نه به فرم شش گوشه، بلکه به فرم مکعبی تغییر کنند.

۲.۴ اثرات فوق روان کننده‌ها بر خصوصیات بتن

خصوصیات بتن می‌تواند در قالب دسته‌بندی زیر در نظر گرفته شود:

- حالت شکل‌پذیر اولیه بتن تازه خصوصیات هم‌چون کارایی، همان گونه که از طریق آزمایش اسلامپ یا جدول جریان یا هوای موجود اندازه‌گیری می‌شود، می‌تواند توسط روش استاندارد مرتبط تعیین گردد.
 - حالت شکل‌پذیر ثانوی به هنگامی که بتن جابه جا، حمل و ریخته شود؛ تغییرات در هوای موجود و کارایی ممکن است رخ بدهد و زمان گیرش می‌تواند به عنوان فاکتوری در اتمام عملیات باشد.
 - حالت سخت شدگی در سنین نسبتاً اولیه (معمولاً ۲۸ روز) که خصوصیات مکانیکی به عنوان مبنای الزامات سازه‌ای تعیین می‌شود.
 - حالت سخت شدگی ثانوی در طی عمر بتن در محل اجرا، وقتی بتن باید نقش معماری یا سازه‌ای خود را بدون تخریب تحت شرایط سرویس برآورده کند.
- ۲.۵ اثرات فوق روان کننده‌ها بر خصوصیات بتن شکل‌پذیر

۲.۵.۱ هوای محبوس

انواع گوناگون فوق روان کننده‌ها هوای موجود در بتن تازه را تغییر می‌دهند، البته با درجات متغیر و اثرات گوناگون که بستگی به شیوه مصرف فوق روان کننده‌های مورد استفاده دارد. در حالت کلی، موارد زیر حائز اهمیت است:

فصل دوم

۱- زمانیکه فوق روان کننده‌ها برای تولید بتن با کارایی بالا استفاده می‌شود، هوای بیشتری نسبت به بتن کنترلی محبوس خواهد شد. این مورد به خصوص در انواع SNF و پلی اکریلات دیده می‌شود. (در جایی که عوامل مغایر محبوس کننده هوا گاهی عمداً به فرمولاسیون‌ها افزوده می‌شود) و در مورد نوع SMF، تا حد کمتری به همین ترتیب است.

۲- زمانیکه فوق روان کننده‌ها برای کاهش دادن نسبت آب به سیمان استفاده شود، به طور معمول هر افزایشی در هوای موجود، به خصوص در مخلوط‌های با سیمان موجود بالا حداقل خواهد بود. زمانیکه الزام باشد که حتماً چنین مخلوط‌هایی را با هوا محبوس کنیم، پیمانانه مصرفی لازم برای به دست آوردن یک میزان هوای مشخص اغلب به اندازه قابل توجهی افزایش می‌یابد (ظاهراً به دلیل حد واسط آبی کاهش یافته در بتن).

جدول ۳.۲ پایداری هوا در بتن آماده

طرح اختلاط						
سیمان	۳۳۰ Kgm ⁻³					
آب	۱۵۰ Kgm ⁻³					
ماسه	۸۰۰ Kgm ⁻³					
شماره ۶۷ ADVSP AEA	۱۰۸۰ Kgm ⁻³					
دمای بتن	۲۶۰ Kgm ⁻³					
	۱۸MI ۱۰۰ Kg ⁻¹					
هوای محبوس						
زمان نمونه‌گیری	اسلامپ	درصد پلاستیک	درصد هوای سخت شده	فاکتور فاصله (mm)	طول وتر	سطح مخصوص (mm ⁻¹)
۰.۲۵	۱۸۰	۷.۲	۷.۴	۰.۱۲	۰.۱۴	۲۸.۳
۰.۷۵	۱۵۰	۶.۲	۶.۹	۰.۱۵	۰.۱۶	۲۴.۱
۱.۲۵	۱۳۰	۵.۸	۶.۱	۰.۱۸	۰.۱۷	۲۳.۸

مواد افزودنی شیمیایی بتن

۳- پایداری هوای محبوس در بتن که در آن فوق روان کننده به کار برده شده در آزمایشگاه [۵۶] مورد مطالعه قرار گرفته است. نوع SMF هوا را با سرعت بیشتری نسبت به SNF از دست می‌دهد. آزمایش های جامع انجام گرفته با یک نوع پلی اکریلات از فوق روان کننده‌ها در بتن آماده [۵۷] حاکی از آن است که نوع خاص مواد ارزیابی شده ایجاد یک سیستم با هوای منفذی خیلی پایدار می‌کند، همان طور که در جدول ۳.۲ نشان داده شده است.

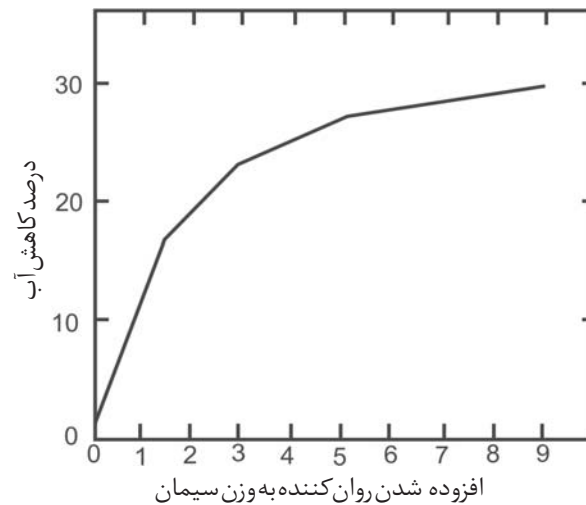
۲.۵.۲ کارایی

فوق روان کننده‌ها موجب افزایش‌های چشمگیری در کارایی می‌شوند. این افزایش کارایی از طریق اسلامپ یا توزیع جدول جریان اندازه‌گیری می‌شود. فوق روان کننده‌ها همچنین امکان کاهش های زیاد در نسبت‌های آب به سیمان را با حفظ کارایی فراهم می‌آورند. شکل ۱۵.۲ رابطه میان پیمانانه مصرفی و کاهش آب برای یک فوق روان کننده متداول را نشان می‌دهد [۵۸]، در حالی که شکل ۱۶.۲ چگونگی ارتباط اسلامپ اولیه، پیمانانه مصرفی، و توزیع جدول جریان را نشان می‌دهد [۵۹]. مانع اصلی در کاربرد عملی فوق روان کننده‌ها برای تولید بتن با کارایی بالا (تقریباً بتن خود متراکم شونده) عبارت از دوام کم در کارایی حداکثر است، که اغلب تنها به مدت ۳۰ تا ۴۰ دقیقه می‌باشد (البته فوق روان کننده‌های تولیدی در حال حاضر، زمان حفظ کارایی را تا ۲ ساعت نیز رسانیده است - مترجم). این مورد برای یک فوق روان کننده نوع SMF در دماهای گوناگون در شکل ۱۷.۲ به تصویر کشیده شده است که در آن افت شدید اسلامپ در دماهای بالاتر خیلی بارز است [۶۰].

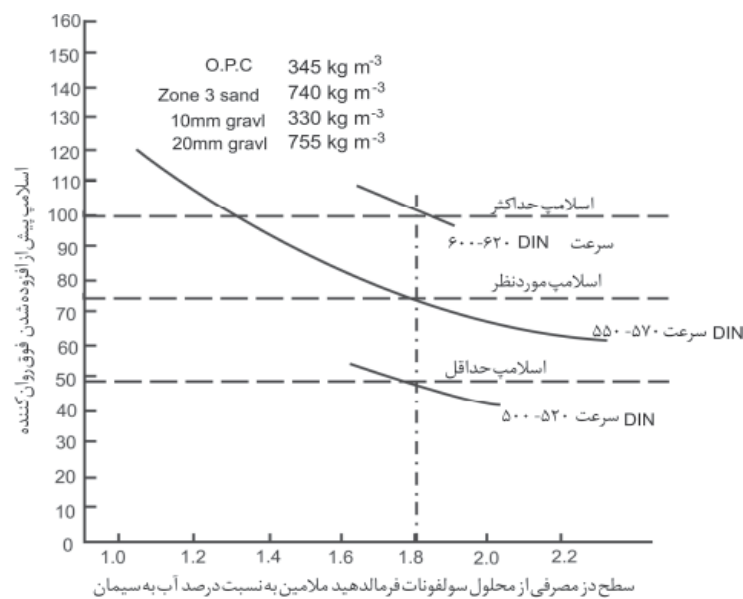
نشانه‌هایی وجود دارد که سیمان های با C_3A بالاتر موجب افت اسلامپ سریع تر بتن فوق روان شده می‌شود [۶۱].

روی مواد پلی اکریلیت جدیدتر می‌توان به عنوان شیوه ای برای حفظ اسلامپ بالا در طی یک دوره زمانی طولانی‌تر حساب کرد. همچنان که در شکل ۱۸.۲ برای یک فرآورده از این نوع [۶۲] نشان داده شده، کارایی حداکثری به مدت بیش از دو ساعت حفظ می‌شود. این امر به دلیل نوع فوق روان کننده ای است که در حالت فعال «ممانعت فضایی» به جای رانش الکترواستاتیک عمل می‌کند [۶۳].

فصل دوم

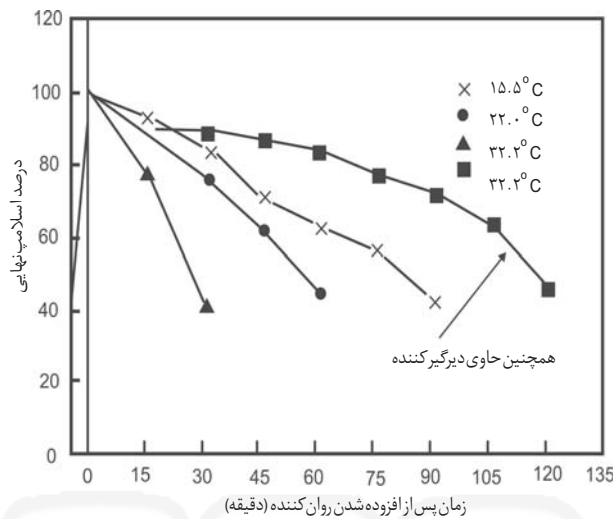


شکل ۱۵.۲ کاهش آب حاصل شده توسط افزودن یک فوق روان کننده

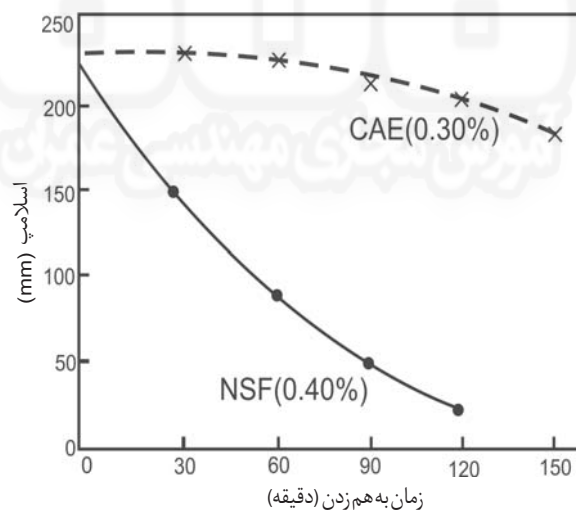


شکل ۱۶.۲ رابطه میان اسلامپ اولیه، توزیع جدول روانی و مرحله مضاعف یک فوق روان کننده

مواد افزودنی شیمیایی بتن



شکل ۱۷.۲ تست های اسلامپ پس از بازه های گوناگون زمانی برای بتن متشکل از ۳ درصد SMF توسط وزن سیمان (Mailvaganam).



شکل ۱۸.۲ افت اسلامپ در دمای ۲۱ درجه بتن های فوق روان شده با افزودنی های پلیمری CAE , OPC , یا SNF. افت نشان دهنده درصد اجزاء فعال فوق روان کننده توسط توده سیمان است.

۳.۵.۲ زمان گیرش

اثری که فوق روان‌کننده‌ها روی زمان های گیرش بتن دارند وابسته به چند فاکتور است. این فاکتورها شامل نوع فوق روان کننده، ترکیب سیمان، و به خصوص اینکه افزودنی به بتن اضافه شده است یا اینکه کاهش در نسبت آب به سیمان صورت گرفته، می‌باشد. عموماً می‌توان اظهار داشت که :

- ۱- با افزودن مستقیم فوق روان‌کننده‌ها برای رسیدن به بتنی با کارایی بالا، زمان های گیرش اولیه و نهایی با ترتیب با $SMF > SNF$ پلی اکریلیت‌ها، افزایش می‌یابد. در پیمانان مصرفی معمولی، این افزایش به ندرت فراتر از دو ساعت می‌رود.
- ۲- زمانیکه نسبت آب به سیمان کاهش یابد تا به اسلامپ مشابهی با یک اختلاط کنترلی برسیم، زمان گیرش به طور طبیعی بسیار شبیه به زمان کنترل گیرش می‌شود؛ احتمالاً کاهش اندکی در حالت SNF و [۶۴] SMF و یک افزایش جزئی در حالت مواد پلی اکریلیتی [۵۷] داریم، در هر صورت در حالت معمولی این مدت بیشتر از یک ساعت نیست.

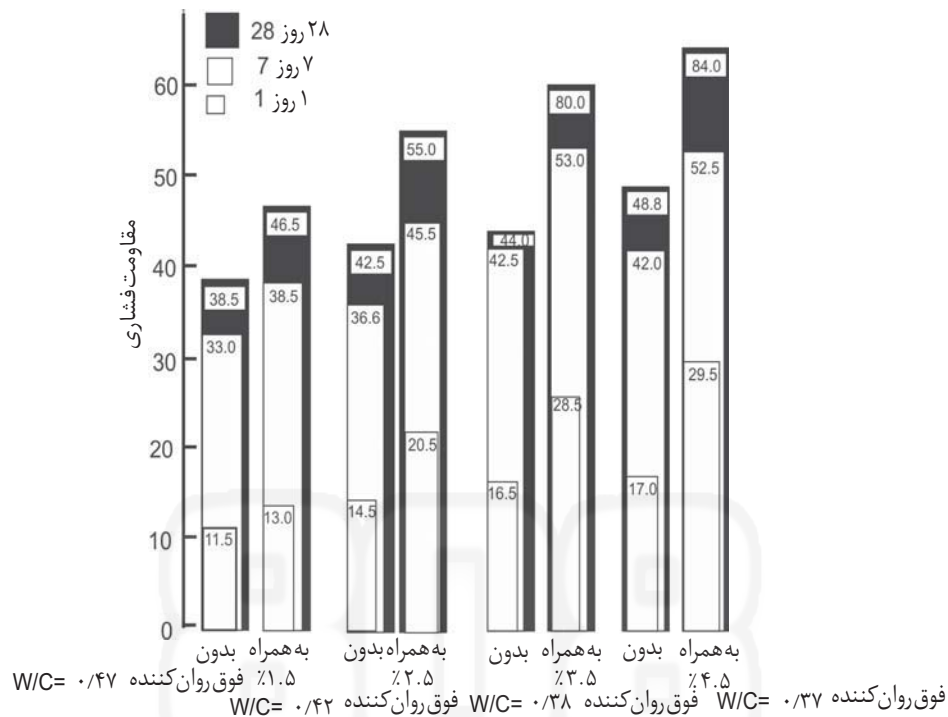
۲.۶ اثرات فوق روان‌کننده‌ها بر خصوصیات بتن سخت شده

مشخصه‌های فیزیکی اصلی بتن که فوق روان‌کننده‌ها را تبدیل به یک مصالح سازه‌ای منتخب کرده عبارتست از، مقاومت فشاری بالای آن و همچنین سختی و قابلیت آن برای حفظ فولاد مسلح می‌باشد. نکته حائز اهمیت این است که این خصوصیات در طی عمر خدمت دهی حفظ می‌شود و اینکه هر نوع افزودنی (همچون فوق روان‌کننده‌ها) هیچ اثر معکوسی روی این مشخصات نداشته باشد.

۲.۶.۱ مقاومت فشاری

عموماً، فوق روان‌کننده‌ها اثر معکوسی بر مقاومت بتن یا توسعه مقاومت آن، هنگامی که به منظور تولید بتنی با کارایی خیلی بالا و بدون کاهش آب استفاده شود، ندارد. در واقع مطالعات نشان داده است که با مصرف فوق روان‌کننده‌ها افزایش مقاومت هم رخ دهد، که در بعضی موارد می‌تواند قابل توجه باشد [۶۵]. همانطور که در شکل ۲.۱۹ برای یک ماده با پایه SMF نشان داده شده است. جدول ۲.۴ (ستون ۳) داده‌ها را برای یک فوق روان‌کننده SNF نشان می‌دهد، که در آن مقاومت‌ها دقیقاً مشابه مقاومت کنترلی می‌باشند.

مواد افزودنی شیمیایی بتن



شکل ۱۹.۲ توسعه مقاومت بتن روان با مقاومت بالا حاوی فوق روان کننده ملامینی در قیاس با بتن ساخته شده با ۴۰۰ کیلوگرم سیمان پرتلند در متر مکعب (m³) در دامنه کارایی سخت تا پایین (۲۵ تا ۱۰۰ میلی متر در اسلامپ)

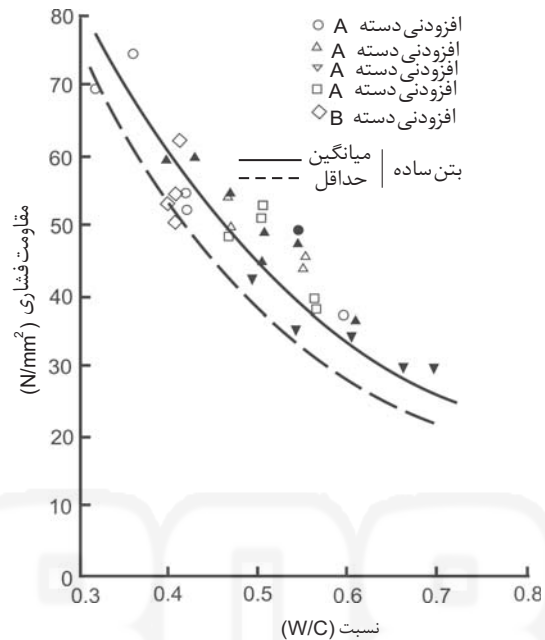
وقتی فوق روان کننده‌ها برای کاهش آب موجود مخلوط بتن استفاده گردد، افزایش در مقاومت به طور معمولی از منحنی Abram تبعیت می‌کند. علی‌رغم این امر، در نظر گرفتن تجمیع داده‌ها در شکل ۲۰.۲ حاکی از روند افزایشی مقادیر برای بتن فوق روان شده می‌باشد. همانطور که در جدول ۵.۲ نشان داده شده، این افزایش‌ها در مقاومت با استفاده از فوق روان کننده‌ها برای کاهش نسبت آب به سیمان در چندین نوع از سیمان‌ها و فوق کننده‌ها یکنواخت می‌باشد. این شکل همچنین حاکی از چگونگی تأثیرگذاری مشابه مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته می‌باشد.

فصل دوم

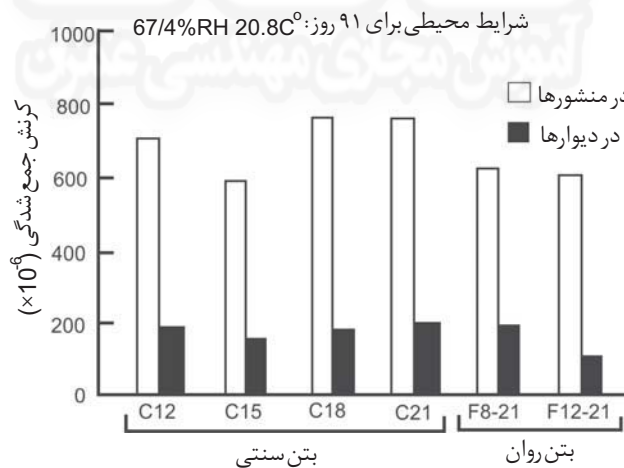
جدول ۴.۲ مقاومت ذوب- انجماد بتن فوق روان شده (Rixom)

شماره اختلاط توضیح	کنترلی	اضافه شدن افزودنی با کارایی معمولی	اضافه شدن افزودنی با بتن خود متراکم شونده
طرح اختلاط (نامنظم گردگوشه) شن ۱۰ mm سیمان ناحیه ۳ OPC(Kg) آب (لیتر)	۸ ۴	۸ ۴	۸ ۴
افزودنی (درصد به وزن سیمان) خصوصیات بتن شکل پذیر اسلاب (mm)	۲	۲	۲
درصد هوای محبوس فاکتور تراکمی چگالی Kg/m^3	۱.۱ ۰	۰.۹ ۲.۵	۱.۰ ۲.۵
خصوصیات بتن سخت شده (N/mm^2)	۶۰	۶۰	
۱ روز	۱.۸	۱.۷	۲.۲
۷ روز			
۲۸ روز	-۰.۸۷	-۰.۹۰	-
حذب (درصد وزن مکعب خشک)			۲۳۹۴
۱۰ دقیقه	۲۳۹۴	۲۴۳۰	
۳۰ دقیقه			
۶۰ دقیقه			
۲۴ ساعت			
روش ISAT	۶.۳	۱۲.۹	۶.۰
آزمون جذب سطحی اولیه BS ۱۸۸۱، قسمت ۵، ۱۹۷۰	۳۱.۲	۴۰.۲	۳۲.۴
نقوذپذیری			
۱۰ دقیقه	۴۱.۲	۶۴.۳	۴۲.۰
۳۰ دقیقه			
۶۰ دقیقه			
آزمون تورم ذوب؟؟ (درصد تورم در ۵۰ سیکل) آزمون تعداد سیکل‌های تجزیه mg/mm^2 -۵	۱.۳ ۱.۹ ۲.۹ ۵.۲	۰.۸ ۱.۰ ۱.۸ ۲.۶	۱.۱ ۲.۰ ۲.۸ ۵.۰
	-۰.۵۱	-۰.۱۵	-۰.۴۰
	-۰.۴۲	-۰.۰۸	-۰.۳۱
	-۰.۲۶	-۰.۰۳	-۰.۲۰
			-۰.۷۵
	-۰.۱۰	-۰.۳۰	۱۲
	۶	۳۲	

مواد افزودنی شیمیایی بتن



شکل ۲۰.۲ رابطه میان نسبت آب به سیمان و مقاومت فشاری بتن‌های حاوی فوق روان‌کننده‌ها



شکل ۲۱.۲ کرنش‌های جمع شدگی در هر دیوار مدل تمام شده در قیاس با منشورها در ۹۱ روزگی

فصل دوم

جدول ۵.۲ نسبت‌های مخلوط و خصوصیات بتن تازه و سخت شده (آب کاهش یافته)

سری‌های اختلاط	خصوصیات اختلاط		نسبت‌های مخلوط و خصوصیات بتن تازه				خصوصیات بتن سخت شده				مدول الاستیسیته (GPa)
	میزان آب موجود (Kg/m ³)	نسبت W/C به وزن	درصد هوای محبوس	اسلامپ (MM)	چگالی (Kg/m ³)	مقاومت فشاری استوانه با ابعاد ۱۵۰×۳۰۰ میلی-متر		مقاومت خمشی منشور با ابعاد ۹۰×۱۰۰×۴۰ میلی-متر			
						روز ۷	روز ۲۸	روز ۹۱	روز ۲۸		
مینا	۱۴۷	۰.۴۹	۵.۲	۷۵	۲۳۴۸	۲۶.۸	۳۲.۸	۳۷.۸	۶.۱	۳۲	
تیپ											
؟	۱۲۰	۰.۴۰	۵.۶	۸۰	۲۳۶۲	۳۷.۳	۴۴.۰	۴۸.۵	۷.۰	۳۷	
؟	۱۲۰	۰.۴۰	۶.۰	۸۰	۲۳۵۰	۳۵.۵	۳۹.۳	۴۷.۶	۷.۰	۳۷	
؟	۱۲۰	۰.۴۰	۴.۹	۷۰	۲۳۶۰	۳۶.۳	۴۲.۶	۴۹.۶	۶.۶	۳۶	
؟	۱۴۷	۰.۴۹	۵.۳	۸۵	۲۳۵۴	۲۵.۶	۳۶.۶	۴۹.۹	۶.۰	۳۲	
؟	۱۲۰	۰.۴۰	۴.۸	۹۰	۲۳۶۲	۳۶.۳	۴۷.۶	۴۲.۴	۶.۹	۳۷	
؟	۱۲۱	۰.۴۰	۵.۴	۷۵	۲۳۷۷	۳۶.۹	۴۷.۶	۵۵.۰	۷.۲	۳۷	
؟	۱۲۱	۰.۴۰	۵.۳	۷۵	۲۳۸۵	۳۵.۰	۴۷.۶	۵۵.۸	۷.۳	۳۶	
؟	۱۴۴	۰.۴۸	۵.۲	۹۰	۲۳۵۲	۱۹.۱	۳۲.۲	۳۸.۰	۵.۰	۳۲	
؟	۱۱۷	۰.۳۸	۷.۵	۷۵	۲۳۶۴	۳۱.۹	۴۰.۳	۴۶.۲	۶.۲	۳۶	
؟	۱۱۸	۰.۳۸	۸.۰	۸۰	۲۳۸۱	۳۳.۰	۴۲.۵	۴۸.۵	۵.۷	۳۵	
؟	۱۱۸	۰.۳۸	۸.۵	۸۵	۲۳۷۹	۳۲.۸	۴۲.۴	۵۰.۳	۶.۲	۳۵	

*درشت دامنه سنگ آهک زیر با یک اندازه حداکثر ۱۹mm ریزدانه ماسه طبیعی بود. افزودنی محبوس کننده هوا یک هیدروکربن سولفونات شده بود.
 *SP-L , SP-N , SP-M مربوط به فوق روان کننده‌های نوع ملامین، نفتالن و لیگنوسولفونات به ترتیب هستند.

جدول ۶.۲ داده‌ها در اندازه‌گیری خزش برای بتن کنترلی و فوق روان شده کاهنده آب

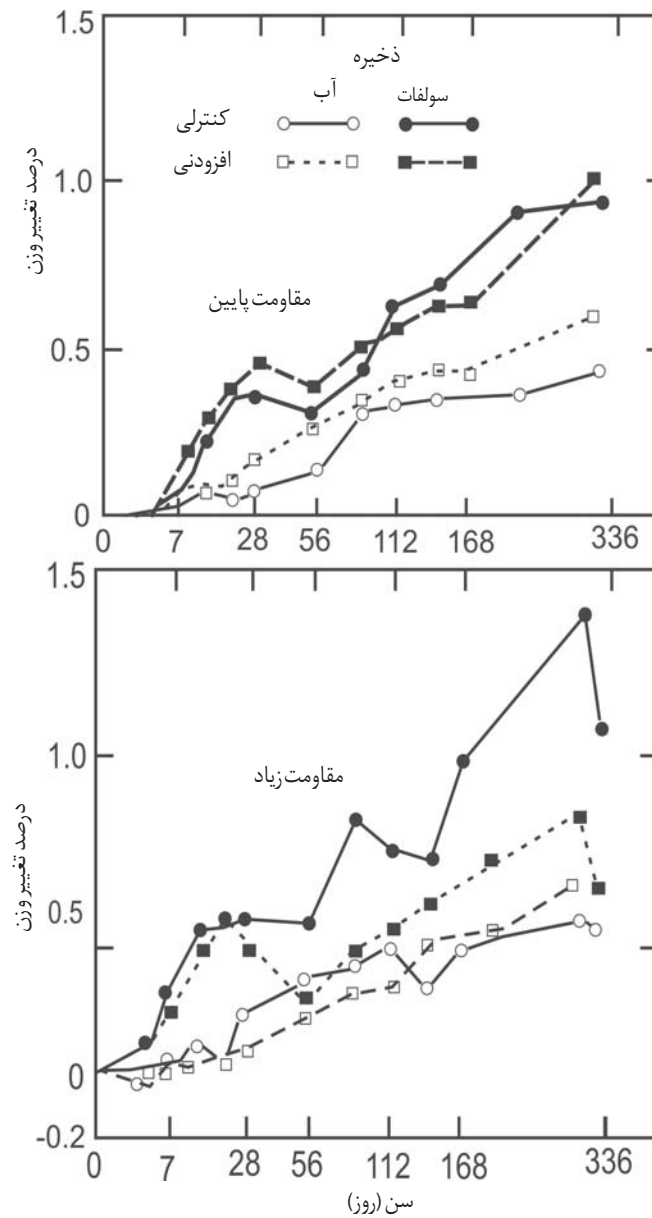
افزودنی‌ها	خصوصیات اختلاط		خصوصیات بتن تازه		اندازه‌گیری خزش در استوانه‌های ۱۵۰ x ۳۰۰ میلی‌متر									
	نوع فوق‌روان کننده AEA	فوق روان کننده AEA*	نسبت W/C به وزن	سیمان تیپ I	درصد هوای محبوس	اسلامپ (MM)		چگالی (Kg/m ³)	تنش اعمال شده			نسبت تنش - کرنش	آزمون کرنش خزشی	
کنترل	-	-	۰.۳۱	۰.۴۹	۲۹۸	۱۰.۸۲	۵.۳	۸۰	۲۳۴۴	۳۴.۵	۳۷.۴	۱۵.۲	۰.۴۴	۱۱۰.۱
ملامین نفتالین	۲۳.۶	۲۳.۶	۱.۱۸	۰.۴۰	۳۰.۴	۱۱.۰۶	۵.۴	۷۵	۲۳۶۵	۴۵.۲	۵۰.۸	۱۹.۶	۰.۴۳	۱۰۸.۵
لینگو سولفونات	۹.۱	۹.۱	۳.۱۵	۰.۴۰	۳۰.۳	۱۱.۰۲	۶.۰	۸۰	۲۳۵۷	۴۷.۴	۵۱.۱	۲۰.۳	۰.۴۳	۱۱۰.۷
	۲۵.۶	۲۵.۶	۰.۳۴	۰.۴۰	۳۰.۵	۱۱.۱۱	۳.۴	۴۰	۲۳۷۷	۴۶.۰	۴۸.۷	۱۹.۸	۰.۴۳	۱۱۵.۷

***عامل محبوس کننده هوا**

- کرنش خزش کلی حاصل از طریق ساخت جمع شدگی و کرنش الاستیک در بارگذاری از قرائت های کرنش.
- در روزهای 334 ± 10

۶.۲.۲ جمع شدگی و خزش

اغلب مطالعات در این حوزه حاکی از آن است که بتن فوق روان شده خصوصیات جمع شدگی و خزش مشابهی با بتن ساده دارد. شکل ۶.۲.۲ نتایج جمع شدگی بتن فوق روان شده و ساده [۶۶] را به تصویر می کشد. در حالی که جدول ۶.۲ نتایج مشابهی را برای خزش نشان می دهد [۶۷].



شکل ۲۲.۲ اثر افزودنی بر تغییر در وزن نمونه های بتنی آب و سولفات ذخیره شده.

مواد افزودنی شیمیایی بتن

جدول ۷.۲ تعیین هوای منفذی در بتن سخت شده

شماره اختلاط	خصوصیات بتن تازه	تعیین میزان هوای خالی در بتن سخت شده				
		میزان هوا (%)	میزان خمیر (%)	درصد فضای خالی در بتن	مساحت سطح مخصوص (mm)	فاکتور فاصله در فضای خالی (mm)
۱	۰.۰۷۰ ساده	۲.۴	۲۴.۶	۲.۴	۱۰	۰.۶۲
۲	۰.۷۰ هوای محبوس	۶.۲	۲۱.۲	۹.۰	۱۴	۰.۲۳
۳	۰.۷۰ هوای محبوس و فوق روان شده	۶.۷	۲۰.۹	۹.۴	۱۲	۰.۲۶
۴	۰.۵۰ ساده	۲.۲	۲۷.۰	۲.۰	۱۲	۰.۵۹
۵	۰.۵۰ هوای محبوس	۶.۸	۲۳.۲	۷.۷	۲۸	۰.۱۳
۶	۰.۵۰ هوای محبوس و فوق روان شده	۶.۵	۲۳.۲	۷.۱	۲۱	۰.۱۸
۷	۰.۳۵ ساده	۲.۰	۳۴.۱	۱.۴	۱۳	۰.۷۳
۸	۰.۳۵ هوای محبوس	۵.۷	۳۱.۲	۶.۰	۳۲	۰.۱۴
۹	۰.۳۵ هوای محبوس فوق روان شده	۵.۰	۳۰.۷	۴.۸	۲۱	۰.۲۳

* داده‌ها از منبع Ontario Hydro

- یک فوق روان کننده نفتالنی در یک پیمانہ مصرفی ۰/۷۵٪ توسط وزن سیمان استفاده شد.

۲.۶.۳ دوام ذوب - انجماد

در آغازین روزهای کاربرد بتن فوق روانی شده، بعضی ملاحظات پیرامون مقاومت بتن با هوا محبوس شده حاوی فوق روان کننده‌ها برای چرخه ذوب- انجماد لحاظ می‌شد. با این وجود، تحقیقات اخیر موارد زیر را نشان داده:

۱- در بتن فوق روان شده با هوای محبوس، مقدار حداقل پذیرفته شده متداول فاکتور فاصله گذاری سیستم هوای منفذی (۰/۲mm) برای فراهم کردن حفاظت ذوب - انجماد مناسب معمولاً فراتر می‌رود [۷۱-۶۸].

۲- علی‌رغم این حقیقت که فاکتور فاصله گذاری حداقل فراتر می‌رود، ظاهراً مقاومت ذوب- انجماد بتن به طور معکوس تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد [۷۱]. جدول ۷.۲ به روشنی چگونگی تأثیر یک فوق روان کننده SNF بر افزایش فاکتور فاصله گذاری سیستم هوای منفذی، در هر یک از سه مرحله آب به سیمان ارزیابی شده می‌دهد [۷۱].

۲.۶.۴ مقاومت سولفاتی

پژوهش درباره استعداد آسیب پذیری بتن‌های فوق روان شده به حمله سولفاتی نشان داده است که هیچ اختلاف محسوسی میان بتن ساده و بتن حاوی افزودنی وجود ندارد.

References

- 1 British Patent (1973). 1 386 933.
- 2 US Patent (1970). 3 537 869.
- 3 Japanese Patent (1972). 50 329/72.
- 4 Japanese Patent (1973). 53 192/73.
- 5 Rixom, M. R. (1974). Precast Concrete Journal, 5, 633–7.
- 6 Canadian Patent (1975). 961 866.
- 7 Karsten, R. (1967). Proceedings of the International Symposium on Admixtures for Mortar and Concrete, Brussels, 357.
- 8 Hattori, K. (1967). D. B. P. 1 238 831.
- 9 British Patent (1969). 1 169 582.
- 10 Bradley, G. and Howarth, I. (1986) Cement and Concrete Aggregates, 8, 68–75.
- 11 Cerulli, T. et al. (1994). US Patent 5 362 324.
- 12 Okazaw, S. et al. (1993). Physical Properties of Concrete 2000, Dhir, R. K. and Jones, M. R. (Eds), Dundee, UK, 2, 1813–24.
- 13 Kinshita, M. et al. (1994). US Patent 5 362 829.
- 14 Tanako, Y. and Okazawa, S. (1993). Chemistry and Dispersing Performance of Concrete 2000, Dhir, R. K. and Jones, M. R. (Eds), Dundee UK, 351–8.
- 15 Nmai, C. et al. (1990) Presented at ACI Fall Convention Atlanta, GA, Nov 9–14.
- 16 US Patent (1932). 643740.
- 17 Rixom, M. R. (1975). Proceedings of the Workshop on the Use of Chemical Admixtures in Concrete, University of New South Wales, 153.
- 18 US Patent (1956). 2 730 516.
- 19 Gilbert, E. F. (1968). Sulphonation and Related Reactions, Wiley Interscience, New York.

- 20 British Patent (1969). 1 169 582.
- 21 Aignesberger, A. (1943). Cement, Lime and Gravel, 48, 188–92.
- 22 Davis, B. (1975). Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes, London, 6.
- 23 Japanese Patent (1974). 80 133.
- 24 Young, J. F. (1982). Concrete Rheology, Materials Research Society Symposium. 120–51
- 25 Banfill, P. F. G. (1979). Cement and Concrete Research. 9, 795–6
- 26 Roy, D. M. and Asaga, K. (1980) Cement and Concrete Research, 10, 387–94.
- 27 Nawa, T. et al. (1989). Third International Conference of Superplasticizers and Other Admixtures, Canada, ACI SP-119, 405–24.
- 28 Asakura, F. et al. (1992) Ninth International Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, India, 4, 570–6.
- 29 Rixom, M. R. and Mailvaganam, N. P. (1986). Chemical Admixtures for Concrete, E. & F. N. Spon, London, UK, 22.
- 30 Nawa, T. and Eguchi, H. (1992). Ninth International Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, India, 4, 597–603.
- 31 Daimon, M. and Sakai, E. (1995). Material Science of Concrete IV, American Ceramics Society, OH, 91–111.
- 32 Daimon, M. and Roy, D. M. (1979). Cement and Concrete Research 9, 103–10.
- 33 Al-Kurwi, A. et al. (1984). British Ceramics Society, 35, 339–48.
- 34 Anderson, P. J. et al. (1988). Cement and Concrete Research, 18, 980–6.
- 35 Shonaka, M. et al. (1997) Fifth Canmet/ACI Conference on Superplasticizers and Other Admixtures in Concrete, Italy, 613.
- 36 Ohta, T. et al. (1997) Fifth Canmet/ACI Conference on Superplasticizers and Other Admixtures in Concrete, Italy, 361.
- 37 Rixom, M. R. and Mailvaganam, N. P. (1986). Chemical Admixtures for Concrete. E. & F. N. Spon, London, UK, 21.
- 38 Ferrari, et al. (1997) Fifth Canmet/ACI Conference on Superplasti-

فصل دوم

- cizers and Other Admixtures in Concrete, Italy, 869.
- 39 Ramachandran, V. S. (1988). Journal of the ACI, 80, 235–41.
- 40 Burke, A. A. et al. (1981). Second International Conference on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, 23.
- 41 Asakura, F. et al. (1992). Ninth International Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, India, 4, 570–6.
- 42 Uchikawa, H. et al (1995). Cement and Concrete Research, 25, 353–64.
- 43 Ohta, A. et al. (1997). Fifth Canmet/ACI Conference on Superplasticizers and Other Admixtures in Concrete, Italy, 365.
- 44 Ramachandran, V. S. (1995). Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publ. , NJ, 1153.
- ٤٥ Slanicka, S. (١٩٨٠). Seventh International Congress on the Chemistry of Cement, Paris,
- 46 Henning, O. and Goretzki, L. (1982) RILEM International Conference on Cement at Early Ages, Paris, France, 1, 151–5
- 47 Massazza, F. et al. (1977). CEMBUREAU Report #3.
- 48 Quon, D. H. H. and Malhotra, V. S. (1981) Developments in the use of Superplasticizers, ACI SP-68, 151–5.
- 49 Massazza, F. and Costa, U. (1980). Seventh International Congress on the Chemistry of Cement, Paris, 4, 529–35.
- 50 Fernon, V. et al. (1997). Fifth Canmet/ACI Conference on Superplasticizers and Other Admixtures in Concrete, Italy , 361.
- 51 Hayek, N. and Diercks, P. (1973). SKW Symposium, Trostberg, Germany, 14.
- 52 Singh, N. B. and Prabha Singh, S. (1993). Journal of Scientific and Industrial Research, 75–661 , 52 .
- 53 Odler, I. and Abdul-Maula, S. (1987). Cement and Concrete Aggregates, 9, 38–43.
- 54 Ramachandran, V. S. (1981) Third International Congress on Polymers in Concrete, Japan, 1071–81.

- 55 Lukas, W. Fifth International Melment Symposium, Munich, Germany, 17–21.
- 56 Johnson, C. D. et al. (1979). Proceeding TRB Symposium on Superplasticizers in Concrete, Transportation Research Record No. 720, Washington D. C.
- 57 Jeknavorian, A. et al. (1997). Fifth Canmet/ACI Conference on Superplasticizers and Other Admixtures in Concrete, Italy , 55–81.
- 58 Aignesberger, A. and Kern, A. (1981) ACI SP-68 (ed. Malhotra, V. M.)
- 59 Roeder, A. R. (1976) Private communication.
- 60 Malhotra, V. M. and Malanka, D. (1979). ACI SP-62, 209–44.
- 61 Perenchio, W. F. et al. (1974). ACI SP-62, 137–56.
- 62 Collepari, M. (1994). Proceedings of Advances in Cement and Concrete, Durham ,91–257 .
- 63 Collepari, M. (1998). Cement and Concrete Composites, in press.
- 64 Ghosh, R. S. and Malhotra, V. M. (1978) Canmet Report MRP/MRL 78–189 (J), Canmet, Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.
- 65 Johnson, C. D. et al. (1979). Proceedings TRB Symposium on Superplasticizers in Concrete, Transportation Research Record No. 720, Washington, D. C.
- 66 Lane, R. O. and Best, J. F. (1978). Proceedings International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Canmet, Canada Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada, 1, 379–402.
- 67 Burg, R. G. and Ost, B. W. (1994). PCA R& D Bulletin RD 104T, Skokie, Illinois.
- 68 Perenchio, W. F. et al. (1978). Proceedings International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Canmet, Canada Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada 1, 325–46
- 69 Mielenz, R. C. and Sprouse, J. H. (1978). Proceedings International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Canmet, Canada Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada, 1, 403–24.
- 70 Roberts, L. R. and Scheinder, P. (1982). ACI SP-68, 189–213.

فصل دوم

71 Malhotra, V. M. (1982) Cement Concrete and Aggregates, ASTM, 4, 3–23.

72- Brooks, J. J. et al. (1979). ACI SP-GL, 293–314.