

فهرست مطالب

۱۵	مقدمه‌ای بر ویرایش سوم
۱۷	مقدمه مترجمین
۱۹	۱- عوامل کاهنده آب مصرفی
۲۰	۱-۱ تعاریف اولیه
۲۴	۱-۲ مباحث شیمیایی مربوط به افزودنی‌های کاهنده آب
۲۴	۱-۲-۱ لیگنوسولفونات‌ها
۲۸	۱-۲-۲ اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک
۳۰	۱-۲-۳ پلیمرهای هیدروکسی شده
۳۰	۱-۳ تاثیرات افزودنی‌های کاهنده آب مصرفی بر سیستم آب - سیمان
۳۰	۱-۳-۱ ملاحظات مربوط به تغییر شکل (روانگی)
۳۳	۱-۳-۲ اثرات سطح اولیه
۴۱	۱-۳-۳ اثرات بر روی فرآورده‌ها و سرعت هیدراتاسیون
۴۶	۱-۳-۴ تفسیری به لحاظ مود فعال
۴۷	۱-۴ اثرات افزودنی‌های کاهنده آب بر خصوصیات بتن
۴۷	۱-۵ اثرات افزودنی‌های کاهنده آب بر خصوصیات بتن شکل‌پذیر
۴۷	۲-۵-۱ هوای محبوس
۴۸	۲-۵-۲ کارایی
۵۱	۳-۵-۱ افت کارایی
۵۳	۴-۵-۱ کاهش آب
۵۶	۵-۵-۱ ویژگی‌های گیرش بتن تازه حاوی افزودنی‌های کاهنده آب
۵۷	۶-۵-۱ پایداری بتن تازه حاوی افزودنی‌های کاهنده آب
۵۹	۷-۵-۱ ملاحظات مربوط به طرح اختلاط
۶۱	۱-۶ اثرات افزودنی‌های کاهنده آب بر خصوصیات بتن سخت شده
۶۱	۱-۶-۱ پارامترهای طراحی سازه‌ای
۶۶	۲-۶-۱ جنبه‌های مربوط به دوام
۸۸	۳-۶-۱ دستورالعمل‌های مربوط به دوام
۸۹	مراجع
۹۵	۲- فوق روان‌کننده‌ها
۹۷	۲-۱ تعاریف اولیه
۹۷	۲-۲ مباحث شیمیایی مربوط به فوق روان‌کننده‌ها
۹۸	۲-۲-۱ فرمالدهید نفتالین سولفونات
۹۹	۲-۲-۲ فرمالدهید ملامین سولفونات
۱۰۱	۲-۲-۳ پلی‌اکریلیت‌ها

۱۰۱	۲-۳ اثرات بر سیستم آب - سیمان
۱۰۱	۲-۳-۱ اثرات مربوط به تغییر شکل
۱۰۲	۲-۳-۲ پتانسیل زتا
۱۰۳	۲-۳-۳ جذب
۱۰۵	۲-۳-۴ اثرات بر فرآورده‌ها و سرعت هیدراتاسیون
۱۰۹	۲-۳-۵ تفسیری به لحاظ مود فعال
۱۱۰	۲-۴ اثرات فوق روان‌کننده‌ها بر خصوصیات بتن
۱۱۰	۲-۵ اثرات فوق روان‌کننده‌ها بر خصوصیات بتن شکل‌پذیر
۱۱۰	۲-۵-۱ هوای محبوس
۱۱۲	۲-۵-۲ کارایی
۱۱۵	۲-۵-۳ زمان گیرش
۱۱۵	۲-۶ اثرات فوق روان‌کننده‌ها بر خصوصیات بتن سخت شده
۱۱۵	۲-۶-۱ مقاومت فشاری
۱۲۰	۲-۶-۲ جمع شدگی و خزش
۱۲۲	۲-۶-۳ دوام در برابر فرآیند ذوب - انجماد
۱۲۲	۲-۶-۴ مقاومت سولفاتی
۱۲۳	مراجع
۱۲۹	۳- عوامل محبوس‌کننده هوا
۱۳۱	۳-۱ تعاریف اولیه
۱۳۱	۳-۱-۱ دوام
۱۳۲	۳-۱-۲ به هم چسبندگی
۱۳۲	۳-۱-۳ چگالی
۱۳۲	۳-۲ مباحث شیمیایی مربوط به عوامل محبوس‌کننده هوا
۱۳۳	۳-۲-۱ رزین‌های چوبی خنثی شده
۱۳۳	۳-۲-۲ نمک‌های اسید چرب
۱۳۳	۳-۲-۳ سولفونات‌های الکیل - آریل
۱۳۴	۳-۲-۴ سولفات‌های الکیل
۱۳۵	۳-۲-۵ فنول اتوکسیلات
۱۳۵	۳-۳ اثرات عوامل محبوس‌کننده هوا بر سیستم آب - سیمان
۱۳۶	۳-۳-۱ تغییر شکل
۱۳۸	۳-۳-۲ میزان هوای موجود و ویژگی‌های مرتبط
۱۴۳	۳-۳-۳ توزیع میان فازهای جامد و آبی
۱۴۴	۳-۳-۴ اثرات بر فرآیند شیمیایی هیدراتاسیون سیمان
۱۴۶	۳-۳-۵ تفسیری به عنوان مکانیسم فعال
۱۴۷	۳-۴ اثر عوامل محبوس‌کننده هوا بر خصوصیات بتن شکل‌پذیر

۱۴۸.....	۳-۴-۱ حجم هوای محبوس
۱۵۶.....	۳-۴-۲ پایداری هوای محبوس
۱۵۸.....	۳-۴-۳ کارایی
۱۵۸.....	۳-۴-۴ کاهش آب
۱۵۸.....	۳-۴-۵ پایداری اختلاط
۱۵۹.....	۳-۴-۶ الزامات طرح اختلاط
۱۶۱.....	۳-۵ اثرات عوامل محبوس کننده هوا بر خصوصیات بتن سخت شده
۱۶۱.....	۳-۵-۱ پارامترهای طراحی سازه‌ای
۱۶۳.....	۳-۵-۲ جنبه‌های دوام
۱۷۴.....	مراجع
۱۷۷.....	۴ مقاوم کننده‌های بتن در برابر رطوبت
۱۷۹.....	۴-۱ تعاریف اولیه
۱۸۱.....	۴-۲ مباحث شیمیایی مربوط به مقاوم کننده‌های بتن در برابر رطوبت
۱۸۱.....	۴-۲-۱ موادی واکنش دهنده با فرآورده‌های هیدراتاسیون سیمان
۱۸۲.....	۴-۲-۲ موادی پیوند خورنده با یکدیگر در تماس با فرآورده‌های هیدراتاسیون سیمان
۱۸۲.....	۴-۲-۳ مواد آب‌گریز تقسیم‌بندی شده مناسب
۱۸۳.....	۴-۳ اثرات مقاوم کننده‌های مقابل رطوبت بر سیستم آب - سیمان
۱۸۳.....	۴-۳-۱ جدایی شیرابه از سنگدانه خمیرهای سیمانی
۱۸۴.....	۴-۳-۲ هیدراتاسیون خمیرهای سیمانی
۱۸۷.....	۴-۳-۳ اثرات سیستم موبینگ بر خمیر سخت شده
۱۸۷.....	۴-۴ اثرات ضد رطوبت کننده‌ها بر خصوصیات بتن شکل‌پذیر
۱۸۷.....	۴-۵ اثرات ضد رطوبت کننده‌ها بر خصوصیات بتن سخت شده
۱۸۷.....	۴-۵-۱ پارامترهای طراحی سازه‌ای
۱۸۸.....	۴-۵-۲ جنبه‌های مربوط به دوام
۱۹۱.....	مراجع
۱۹۳.....	۵- تسریع کننده‌ها
۱۹۵.....	۵-۱ تعاریف اولیه
۱۹۵.....	۵-۲ شیمی مربوط به تسریع کننده‌ها
۱۹۵.....	۵-۲-۱ کلسیم کلرید
۱۹۶.....	۵-۲-۲ کلسیم فرمیت
۱۹۶.....	۵-۲-۳ تری اتانولامین
۱۹۷.....	۵-۳ اثرات تسریع کننده‌ها بر سیستم آب - سیمان
۱۹۷.....	۵-۳-۱ اثرات تغییر شکل
۱۹۷.....	۵-۳-۲ اثرات شیمیایی
۲۰۰.....	۵-۳-۳ اثرات بر هیدراتاسیون سیمان

۲۰۹	۵-۳-۴ مکانیسم‌های فعال
۲۱۱	۵-۴ اثرات تسریع کننده‌ها بر خصوصیات بتن شکل‌پذیر
۲۱۱	۵-۴-۱ تاثیر بر تکامل حرارتی
۲۱۲	۵-۴-۲ تاثیر بر زمان گیرش
۲۱۴	۵-۵ اثرات تسریع کننده‌ها بر خصوصیات بتن سخت شده
۲۳۰	مراجع
۲۳۳	۶- افزودنی‌های با اهداف خاص
۲۳۵	۶-۱ مقدمه
۲۳۶	۶-۲ افزودنی‌های کاهنده انبساط سنگدانه‌های قلیایی
۲۳۶	۶-۲-۱ واکنش سنگدانه‌های قلیایی
۲۳۷	۶-۲-۲ انواع افزودنی‌ها
۲۴۳	۶-۲-۳ مود فعال
۲۴۵	۶-۲-۴ اثرات روی خصوصیات شکل‌پذیری و سخت شدگی ملات و بتن
۲۴۵	۶-۳ افزودنی‌های ضد انجماد
۲۴۶	۶-۳-۱ ترکیب شیمیایی و مود فعال
۲۵۰	۶-۴ افزودنی‌های ضد آب شستگی
۲۵۰	۶-۴-۱ دسته‌بندی‌ها
۲۵۲	۶-۴-۲ فرمولاسیون بتن غیر پراکنده شونده در زیر آب
۲۵۴	۶-۴-۳ اثرات ایجاد شده بر بتن سخت شده و شکل‌پذیر
۲۵۶	۶-۴-۴ فاکتورهای موثر بر عملکرد افزودنی‌های ضد آب شستگی
۲۵۶	۶-۴-۵ مخلوط و ذخیره
۲۵۸	۶-۴-۶ کاربردها
۲۵۹	۶-۵ افزودنی‌های بازدارنده خوردگی
۲۶۰	۶-۵-۱ پارامترهای مواد
۲۶۰	۶-۵-۲ انواع بازدارنده‌های خوردگی
۲۶۸	۶-۵-۳ تحقیقی پیرامون دیگر بازدارنده‌های خوردگی
۲۷۰	۶-۶ افزودنی‌های انبساطی بر پایه کلسیم - سولفوآلومینات
۲۷۰	۶-۶-۱ ترکیب شیمیایی
۲۷۱	۶-۶-۲ مود فعال
۲۷۳	۶-۶-۳ نسبت مخلوط، اختلاط و عمل‌آوری
۲۷۵	۶-۶-۴ فاکتورهای موثر بر واکنش
۲۷۸	۶-۶-۵ اثرات بر خصوصیات سخت شدگی و شکل‌پذیری بتن و ملات
۲۸۰	۶-۶-۶ کاربردها
۲۸۰	۶-۷ افزودنی‌های بر پایه پلیمر
۲۸۰	۶-۷-۱ دسته‌بندی‌ها

۲۸۳	۶-۷-۲ پارامترهای مواد موثر بر کارایی
۲۸۶	۶-۷-۳ اصلاح ماتریس سیمانی
۲۸۷	۶-۷-۴ نسبت اختلاط
۲۸۸	۶-۷-۵ مخلوط شدگی، تخلیه و عمل آوری
۲۸۹	۶-۷-۶ خصوصیات ملات اصلاح شده با لاتکس و بتن
۲۹۶	۶-۷-۷ کاربردها
۲۹۶	۶-۷-۸ استانداردها و مشخصه‌ها
۲۹۷	۶-۸ افزودنی‌ها برای بازیافت زائدات بتن
۳۰۰	۶-۸-۱ ترکیب شیمیایی و مکانیسم فعال
۳۰۱	۶-۸-۲ اثرات بر خصوصیات سخت شده بتن
۳۰۱	۶-۹ مواد افزودنی شاتکریت
۳۰۴	۶-۹-۱ انواع افزودنی‌ها و مود فعال
۳۰۹	۶-۹-۲ فاکتورهای موثر بر تاثیرات افزودنی
۳۱۱	۶-۹-۳ اثرات روی خصوصیات شکل‌پذیری و سخت شدگی بتن و ملات‌ها
۳۱۴	۶-۹-۴ دستورالعمل‌هایی برای کاربرد
۳۱۷	۶-۱۰ افزودنی‌های کاهنده جمع شدگی
۳۱۹	۶-۱۰-۱ اثرات روی خصوصیات بتن تازه
۳۲۰	۶-۱۰-۲ اثرات روی خصوصیات سخت‌شدگی بتن
۳۲۱	۶-۱۰-۳ فاکتورهای موثر بر عملکرد افزودنی‌های کاهنده جمع‌شدگی
۳۲۴	مراجع
۳۳۵	۷- کاربردهای افزودنی‌ها
۳۳۷	۷-۱ مقدمه
۳۳۹	۷-۱-۱ دلایلی بر کاربرد افزودنی‌ها
۳۳۹	۷-۲ افزودنی‌های محبوس‌کننده هوا
۳۴۲	۷-۲-۱ تدابیر کنترلی استفاده شده برای اطمینان از حبس شدگی مناسب هوا
۳۴۴	۷-۲-۲ روش‌های تخلیه
۳۴۵	۷-۲-۳ سازگاری فوق روان‌کننده‌ها یا افزودنی‌های محبوس‌کننده هوا
۳۴۶	۷-۲-۴ افزودنی‌های ترکیبی محبوس‌کننده هوا - کاهنده آب
۳۴۸	۷-۳ افزودنی‌های کاهنده آب با گیرش معمولی
۳۵۰	۷-۳-۱ بتن آماده
۳۵۲	۷-۳-۲ بتن با مقاومت بالا یا با کارایی بالا
۳۵۷	۷-۳-۳ مخلوط‌های با کارایی بالا
۳۵۷	۷-۳-۴ پمپاژ
۳۵۹	۷-۳-۵ بتن ناتروا
۳۵۹	۷-۳-۶ شمع‌گذاری

- ۷-۴ افزودنی‌های کاهنده آب و به تعویق اندازنده گیرش ۳۶۰
- ۷-۴-۱ بتن دیر گیر شده برای بتن‌ریزی حجیم ۳۶۰
- ۷-۴-۲ قالب لغزنده ۳۶۴
- ۷-۴-۳ سازه‌های دریایی ۳۶۹
- ۷-۴-۴ سازه پیش ساخته ۳۷۱
- ۷-۵ افزودنی‌های تسریع کننده ۳۷۲
- ۷-۵-۱ هدف و مزیت‌های منتج از کاربرد تسریع کننده‌ها ۳۷۲
- ۷-۵-۲ افزودنی‌های غیرکلریدی ۳۷۲
- ۷-۵-۳ تسریع کننده‌ها برای کاربرد در سیمان مخلوط شده (خاکستر بادی یا سرباره) ۳۷۳
- ۷-۶ فوق روان کننده‌ها (کاهنده‌های آب در سطح بالا) ۳۷۴
- ۷-۶-۱ جریان دادن بتن ۳۷۵
- ۷-۶-۲ بتن کاهنده آب در سطح بالا ۳۸۵
- ۷-۶-۳ بتن و ملات با کارایی بالا ۳۹۰
- ۷-۷ افزودنی‌های ارتقاء دهنده ویسکوزیته ۴۰۰
- ۷-۷-۱ کاربردهای گروتینگ ۴۰۲
- ۷-۷-۲ بتن زیر آب ۴۰۵
- ۷-۷-۳ فرمولاسیون فرآورده‌های ساخت و ساز ۴۰۹
- ۷-۸ افزودنی‌های مقاوم در برابر رطوبت ۴۰۹
- ۷-۹ باز یافت مواد زائد سیمانی ۴۱۰
- ۷-۱۰ بتن در هوای بسیار گرم ۴۱۸
- ۷-۱۱ بتن در هوای بسیار سرد ۴۱۹
- ۷-۱۱-۱ تسریع هیدراتاسیون و پایین آوردن نقطه انجماد مخلوط آبی ۴۲۲
- ۷-۱۱-۲ کاهش آب قابل انجماد ۴۲۵
- ۷-۱۱-۳ موارد مطالعاتی ۴۲۶
- ۷-۱۲ جنبه‌های اقتصادی کاربرد افزودنی ۴۲۸
- ۷-۱۲-۱ اقتصاد در نسبت مخلوط شدگی ۴۲۹
- ۷-۱۲-۲ مزیت اقتصادی مربوط به دوام بهبود یافته ۴۳۰
- ۷-۱۲-۳ مزیت اقتصادی مربوط به خصوصیات تخلیه بهبود یافته و روش‌های ساخت و ساز ۴۳۰
- ۷-۱۲-۴ بتن پیش ساخته ۴۳۲
- ۷-۱۲-۵ فواید اقتصادی افزودنی‌ها در هوای سرد ۴۳۶
- ۷-۱۲-۶ فواید اقتصادی از باز یافت بتن شکل پذیر و شسته شدن با آب ۴۳۷
- ۷-۱۳ دستورالعمل‌هایی برای کاربرد افزودنی‌ها ۴۳۸
- ۷-۱۳-۱ ارزیابی و انتخاب ۴۳۸
- ۷-۱۳-۲ یکنواختی افزودنی ۴۴۰
- ۷-۱۳-۳ موارد احتیاط در کاربرد افزودنی‌ها ۴۴۱

مواد افزودنی شیمیایی بتن

۴۴۲	..... نسبت مخلوط شدگی با استفاده از کامپیوتر
۴۴۳	..... جنبه‌های امنیتی و بهداشتی در به کارگیری افزودنی‌ها
۴۴۳	..... مشکلات افزودنی‌ها - محدودیت‌ها و ناسازگاری‌ها
۴۶۱	..... بچینگ و توزیع افزودنی‌ها
۴۶۲	..... ۷-۱۴-۱ تولید
۴۶۳	..... ۷-۱۴-۲ بسته‌بندی و تحویل
۴۶۴	..... ۷-۱۴-۳ برچسب‌ها
۴۶۶	..... ۷-۱۴-۴ ذخیره‌سازی
۴۶۸	..... ۷-۱۴-۵ توزیع افزودنی‌ها
۴۷۰	..... ۷-۱۴-۶ تجهیزات توزیعی
۴۷۸	..... ۷-۱۴-۷ اندازه‌گیری و نگهداری سیستم‌های بچینگ
۴۷۹	..... ۷-۱۴-۸ بچینگ کامپیوتری
۴۸۲	..... مراجع
۴۹۱	..... لغت‌نامه

**تقدیم به وب سایت (مرحوم)
Gigapedia
که بیشتر دانش خود را مدیون
آن هستیم.**

مقدمه‌ای بر ویرایش سوم

به ترتیب ۲۰ و ۱۳ سال از ویرایش‌های اول و دوم کتاب افزودنی‌های شیمیایی بتن می‌گذرد. نگاهی اولیه به بازار افزودنی‌ها در سطح بین‌المللی به ما می‌گوید که طی این ۲۰ سال تفاوت چندانی رخ نداده است، یا حداقل آن قدر نبوده است که نیاز به یک بازنگری کامل نسبت به ویرایش دوم کتاب باشد. گرچه فرآورده‌هایی که اساس آنها بر لیگنوسولفونات‌ها، سدیم گلوکیتون و شیره غلات است هر ساله به میزان هزاران تن در بازار عرضه می‌گردد، اما چندین تغییر اساسی صورت گرفته است:

۱- تحول در وضعیت عرضه رزین وینسول، با افزایش محسوس قیمت که همچنین با کاربرد وسیع مواد مکمل هم همراه شده، منجر به این شد که تقریباً همه شرکت‌های مواد افزودنی در عوامل محبوس‌کننده هوا محصولات خود بازنگری کنند و از فرآورده‌های مصنوعی یا فرآورده‌های طبیعی جایگزین همچون روغن تال یا رزین‌ها استفاده کنند. در یک مدت حدوداً دو ساله، محصولی که به مدت ۴۰ سال بیشترین کاربرد را داشت، در نقش خود در صنعت تنزل پیدا کرد.

۲- یک دسته کامل از عوامل کاهنده آب، فرآورده‌های حد میانی (Mid-Range Products)، خود را در صنعت بتن به عنوان محصولاتی با منفعت بسیار مهم پدیدار کرده‌اند، که این امکان را فراهم می‌کنند که با سهولت بیشتری بتن با اسلامپ بالا را با هزینه حداقلی، با اثری اندک روی زمان گریش تولید کنیم. در ایالات متحده آمریکا، که این بخش در صنعت افزودنی‌ها بیشترین سرعت رشد را داراست.

۳- اگرچه کاربرد فوق‌روان‌کننده‌ها آنچنان که انتظار می‌رفت به سرعت رشد نداشته است و هنوز هم کمتر از ۱۰ درصد بتن تولیدی را به خود اختصاص می‌دهد، شاهد توسعه‌های تکنیکی در این زمینه نیز بوده‌ایم. انواع مواد شیمیایی جدید از این محصولات بر پایه پلی‌اکریلیت‌ها توسعه یافته و کاربرد آنها در فرمولاسیون‌ها آغاز شده است. با پیدایش بتن با عملکرد سطح بالا، چنین توسعه‌هایی گاه به گاه رخ می‌دهد. از آنجا که مصالح و موادی که بر پایه اکریلیت می‌باشند، اسلامپ‌های بالاتری را برای مدت زمان طولانی‌تر حفظ کرده و در نتیجه می‌توانند در دستگاه مخلوط‌کننده مرکزی اضافه گردند، بتن آماده با عملکرد سطح بالا در حال حاضر به صورت یک واقعیت در آمده است.

۴- دیگر انواع افزودنی‌های شیمیایی که در حجم خیلی پایین در ۱۵ یا ۲۰ سال پیش عرضه می‌شدند، همچون مقاوم‌کننده‌ها برابر خوردگی و... در حال حاضر تبدیل به محصولات با حجم بالا شده‌اند و سبب شده‌اند که بازار افزودنی‌های بتن از زمان ویرایش اخیر تا به حال دو برابر شود.

در سطوح آکادمیک هم، کارکنان دانش خود را از چگونگی کارکرد عوامل کاهنده آب و فوق‌روان‌کننده‌ها بهبود داده‌اند و تئوری‌های پیشین ما را ساده‌سازی کرده‌اند.

دیگر نویسندگان هم البته فعالیت داشته‌اند؛ هنگامی که افزودنی‌های شیمیایی بتن اولین مرتبه انتشار یافت، تقریباً تنها کتابی بود که در این موضوع وجود داشت. در حال حاضر چندین کتاب دیگر هم در این زمینه است و به خصوص دو مود آنها که نوشته Ramachandran و Dodson می‌باشد می‌تواند به افرادی که علاقه به افزودنی‌های شیمیایی دارند کمک کند.

با وجود این پیش‌زمینه، نویسندگان احساس کردند که هنوز هم نیاز به یک رساله و مرجع هم‌جانبه بر پاسخگویی به نیازهای همه کسانی که در این زمینه علاقه‌مند هستند وجود دارد، چه برای دانشجویان

فصل اول

مصرف کننده، تولیدکننده یا یک متخصص. از این رو یک بازنگری عمیق در کتاب پیش رو (به خصوص تحولات زیر) صورت گرفته است :

۱- به روز رسانی کلی در مراجع صورت گرفته و در تمام فصول توسعه‌هایی داده شده‌اند که از آن جمله اضافه شدن یک بخش جدید اصل برای «فوق روان‌کننده‌ها» یا عوامل کاهنده آب در سطح بالا هستند.

۲- اضافه شدن یک بخش جدید در مورد افزودنی‌های گوناگون از جمله افزودنی‌های شاتکریت، مقاوم‌کننده‌های خوردگی، و همچنین افزودنی‌هایی برای بازیافت آب شست و شو و بتن شکل‌پذیر.

۳- بسط دادن فصل مربوط به کاربردها، از جمله یک بخش اضافی مربوط به رفع مشکلات.

این کتاب خلاصه‌ای از کار و تفکر در حال حاضر است و حاوی آخرین دریافت‌ها از فرآیند پیچیده از کنش‌های سیمان - افزودنی‌ها و تکنیک‌هایی که ما را در بهبود عملکرد بتن توانمند می‌سازد. تلاش ما بر این بوده است که این موضوع را به نحوی ارائه دهیم که به سادگی اجرا شود و در نتیجه برای مهندسان اجرایی کارایی داشته باشد، به نحوی که توازن میان تئوری و اتفاقاتی که در عمل در محل کارگاه اجرایی صورت می‌گیرد داشته باشیم.

هر دو نویسنده با تصمیم قاطع و فعالانه در زمینه مواد شیمیایی ساختمانی در آمریکای شمالی به مدت چند سال فعالیت کرده‌اند و حالا علی‌رغم آنکه در سه قاره دیگر هم مجموعاً به مدت ۶۰ سال کار کرده‌اند، نارسایی‌هایی دارند و از این بابت هم عذرخواهی می‌کنند.

همانند همیشه، منتظر پیشنهادات و انتقادات ارزنده هستیم تا اینکه در چاپ بعدی بتوانیم کار بهتری را ارائه دهیم.

مقدمه مترجمین

خداوند بزرگ و مهربان را شاکرم که افتخار ترجمه اثر دیگری را تحت عنوان "مواد افزودنی شیمیایی بتن" نصیب ما گردانید. در این زمینه در دنیا ۲ کتاب جامع وجود داشته که این اثر یکی از آنها بوده و دیگری تعداد صفحات بسیار بالایی دارد (به همین دلیل نمی توانستیم آنرا ترجمه نماییم). در ایران نیز هیچ کتاب تحت این عنوان و مضمون وجود ندارد برای تهیه این کتاب تلاش زیادی صورت گرفته است. تمامی جداول، نمودارها، اشکال و فرمول ها بازنویسی و مجدداً ترسیم شدند.

توصیه می‌گردد که پیش از مطالعه این کتاب از لغتنامه تخصصی آن که در انتهای کتاب آورده شده استفاده نمایید. در صورتی که نیاز باشد مطلبی در رابطه با این کتاب انتشار یابد، از طریق وب سایت همیار این کتاب (www.AvistaBook.com) انجام خواهد پذیرفت. همچنین یک نسخه DVD برای تکمیل این کتاب تهیه شده که شامل مطالب زیر می‌باشد:

۱- قسمت استاندارد : شامل استانداردهای ASTM ، ACI و BSI.

۲- قسمت کتب تکمیلی : شامل 16 عدد کتاب و هندبوک.

۳- قسمت فیلم : مجموعه‌ای بی نظیر و چند ساعته در رابطه با مواد افزودنی بتن و بتن‌های خاص..

از زمانیکه از شرکت‌های مختلف مواد افزودنی بتن تهیه می‌کردم همیشه یک سری سوالات در مورد نحوه عملکرد، نوع استفاده، تفاوت دقیق محصولات با هم، بحث اندرکنش مواد افزودنی بتن با یکدیگر و بسیاری مباحث دیگر در ذهنم بود که متأسفانه کسی را نیافتیم که بتواند به درستی اینجانب را راهنمایی نماید. کاتالوگ های شرکت های پخش مواد افزودنی معمولاً همگی شبیه به هم و فاقد موارد تکنیکی می‌باشد. بنابراین با جستجو در اینترنت و جمع آوری منابع مختلف، بهترین اثر برای ترجمه را یافتیم. در بسیاری از موارد شاید شما به اطلاع دقیق از رفتار مواد افزودنی در مواجهه با شرایط متفاوت نیاز داشته باشید، این کتاب می‌تواند بسیار راهگشا باشد. در این کتاب با جزئیات کامل به فرمول های شیمیایی مواد افزودنی بتن پرداخته شده است، بنابراین برای تولید کنندگان این محصولات در داخل کشور مفید می‌باشد. همچنین در این کتاب راهنمایی‌هایی برای نحوه مصرف، پیمانان مصرفی و چگونگی استفاده از این مواد را ارائه شده است، بنابراین برای مهندسين اجرایی نیز مفید می‌باشد. اصولاً یک مهندس عمران طراح یا مجری در عصر حاضر باید از مواد افزودنی بتن اطلاعات کافی داشته باشد. در ابتدای فصل هفتم این کتاب می‌خوانیم : بتن دیگر تنها ترکیبی از نسبت‌های سیمان، ماسه و سنگدانه نیست. بتن به یک ماده مهندسی تبدیل گشته که حاوی مخلوطی از افزودنی‌ها می‌باشد. گرچه این کتاب در سال ۱۹۹۹ تالیف شده است، اما اکثر مطالب آن به روز و علوم اساسی می‌باشند.

این کتاب از ۷ قسمت تشکیل شده است: در فصل اول به بررسی مواد افزودنی کاهنده آب پرداخته شده است. در بخش دوم به مبحث فوق روان کننده‌ها خواهیم پرداخت. فصل سوم و چهارم به ترتیب به عامل هوازا و آب بند کننده‌ها تخصیص داده شده است. فصل پنجم مربوط به تسریع کننده ها می‌باشد.

فصل اول

در فصل ششم به مواد افزودنی خاص مانند مواد افزودنی کاهش انبساط سنگدانه قلیایی، ضد یخ ها، افزودنی های ضد شستگی، افزودنی ضد خوردگی، مواد افزودنی پایه پلیمری، مواد افزودنی شاتکریت و در نهایت مواد افزودنی کاهش دهنده جمع شدگی پرداخته شده است. در فصل آخر به کاربرد مواد افزودنی بتن پرداخته خواهد شد.

با تمام تلاش های صورت گرفته این کتاب خالی از نقص و ایراد نخواهد بود. بنابراین، ضمن پوزش از خوانندگان عزیز به دلیل نقایص احتمالی، از عزیزان خواننده تقاضا می شود نظرات و پیشنهادات خود را که می تواند به رفع نواقص و ارتقاء سطح علمی کتاب در چاپ های بعدی کمک کند، از طریق آدرس الکترونیکی Info@avistabook.com به ما انتقال دهید. البته در DVD همراه این کتاب، مطالب بیشتری از این کتاب آورده شده است و احتمالاً به اکثر سوالات شما عزیزان پاسخگو خواهد بود. این امر افتخار اینجانب است که این اثر را به جامعه مهندسی ایران تقدیم نمایم. در آخر لازم می دانم از زحمات و دلسوزی های مهندس عسکری و سرکار خانم سبزعلی در رابطه با این اثر تشکر نمایم.

مهندس علیرضا صالحین

مهندس رضا عسکری اصل

فصل اول

عوامل کاهشده آب

۱-۱ تعاریف اولیه

افزودنی‌های کاهنده آب آن دسته از فرآورده‌ها هستند که این قابلیت را دارند که بتنی با یک کارایی مشخص را تولید کنند، آن هم با نسبت آب به سیمان کمتری از نسبت آب به سیمان بتن کنترلی که حاوی هیچ گونه افزودنی نباشد.

در سال [۱] ۱۹۳۲ اولین مرجع منتشر شده معروف برای کاربرد مقادیر پایین مواد ارگانیک به منظور افزایش روانی ترکیبات حاوی سیمان منتشر شد، که در آن ادعا شد که نمک‌های سولفونات فرمالدهید نفتالین پلیمری شده، نقش سودمندی در کارایی بتن دارند. این امر طی اواسط دهه ۱۹۳۰ تا اوایل دهه ۱۹۴۰ توسط چندین منبع که نسبت به کاربرد لیگنوسولفونات‌ها توجه داشتند پی‌گیری شد و ترکیبات بهبود یافت [۹-۲].

لیگنوسولفونات‌ها تقریباً اساس تمامی افزودنی‌های کاهنده آب در دسترس را تا دهه ۱۹۵۰ تشکیل می‌دادند که نمک‌های اسید هیدروکسی کربوکسیلیک توسعه پیدا کرد و توانست جایگاهی مهم، اما حداقلی را در این دسته از محصولات به خود اختصاص دهد. موادی همچون گلوکز و پلیمرهای هیدروکسی که از هیدرولیز نسبی پلی ساکاریدها به دست می‌آید، تا حد زیادی در شمال آمریکا مورد استفاده واقع شده‌اند. پلیمرها معمولاً وزن مولکولی پایینی دارند و حاوی واحدهای گلوکوسید در محدوده ۳ تا ۲۵ هستند. به علاوه، دیگر مواد شیمیایی و انواع افزودنی‌ها در فرمولاسیون افزودنی‌های کاهنده آب لحاظ شدند، تا پنج نوع در این دسته تولید شود.

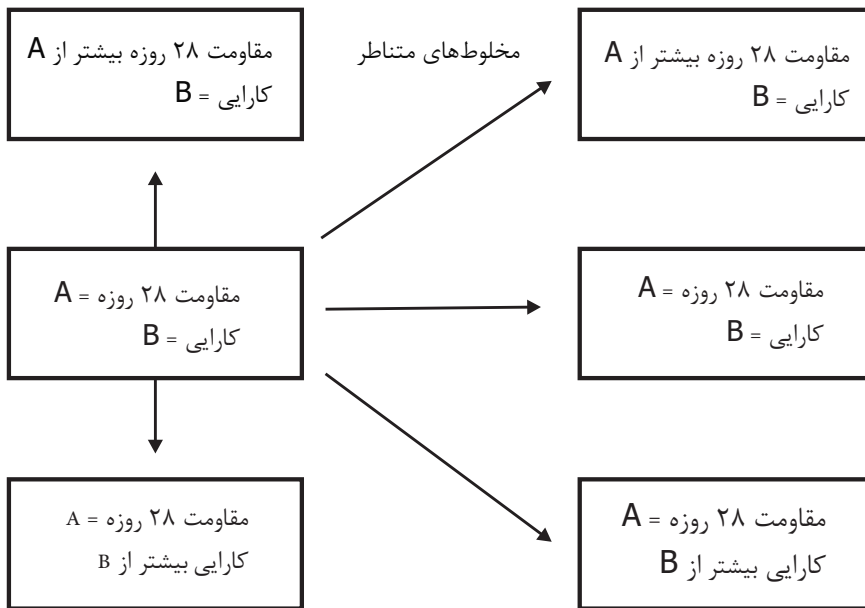
افزودنی‌های کاهنده آب معمولی این امکان را می‌دهند که نسبت آب به سیمان با یک کارایی مشخص، بدون اینکه چندان هم بر خصوصیات گیرش بتن تاثیر گذار شود، کاهش یابد. در عمل، این تاثیر به صورت زیر انجام می‌گیرد:

۱- با اضافه کردن افزودنی به همراه کاهش در نسبت آب به سیمان، در شرایطی که مقاومت‌های فشاری غیر محصور شده در تمام سنین بتن از مقاومت‌های کنترلی بالاتر می‌رود، بتنی دارای کارایی یکسان (به مانند بتن کنترلی) می‌تواند حاصل شود.

۲- چنانچه افزودنی مستقیماً به بتن به عنوان قسمتی از آب اندازه‌گیری شده اضافه گردد (بی‌هیچ تغییر دیگری در نسبت‌های مخلوط) بتنی دارای خصوصیات مقاومتی مشابه بهتر حاصل می‌شود، در حالی که کارایی بسیار بیشتری از بتن کنترلی دارد.

۳- می‌توان بتنی با کارایی مشابه و خصوصیات مقاومتی بهتر، در شرایطی که سیمان کمتری از بتن کنترلی داشته باشیم را به دست آورده، بی‌آنکه به طور معکوس بر دوام یا خصوصیات بتن تاثیر داشته باشد.

در هر یک از این سه راه کاربرد، این نوع افزودنی را می‌توان به عنوان عامل صرفه‌جویی در سیمان تلقی کرد، چنانچه در شکل ۱-۱ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱.۱ مفهوم مخلوط‌های متناظر

در نتیجه مخلوط‌های متناظر که عبارتند از مخلوط‌هایی که کارایی یکسان و خصوصیات مقاومتی ۲۸ روزه مشابه دارند، و در عین حال مخلوط آنها حاوی افزودنی‌های کاهنده آب است، میزان سیمان کمتری نسبت به دیگر مخلوط‌ها خواهد داشت. البته در عمل، پارامترهای کارایی و مقاومت بر اساس ضوابط در موقعیت‌های ویژه دیکته می‌گردند؛ مثلاً در مواردی که میزان فولاد بالا داریم، کارایی بالا هم مورد نیاز است، در حالی که در تولید تیرهای پیش تنیده، کارایی خیلی پایین مورد نیاز است. در هر دوی این حالت‌ها الزامات مربوط به بتن حاوی افزودنی‌ها، چه این بررسی مربوط به فاکتورهای مقاومتی باشد یا مربوط به دوام، یا مربوط به ملاحظات آماری همچون انحراف استاندارد، نتایج مخلوط‌های متناظر باید مد نظر قرار گیرد.

اگرچه مقایسه تصویری در شکل ۱-۱ نشان داده شده است و در قسمت فوق مورد بحث قرار گرفت، رسیدن به مقاومت و کارایی بالاتر، در مواردی که میانگین چگالی سیمان تا حدود 3500 kg/m^3 باشد، با افزایش بیشتر میزان سیمان مشکل می‌باشد. در همین محدوده است که افزایش‌های قابل توجهی در مقاومت به دست آمده می‌توانیم داشته باشیم، بی‌آنکه هزینه و اثرات جانبی نامطلوب ناشی از افزودنی‌های سیمان را شاهد باشیم.

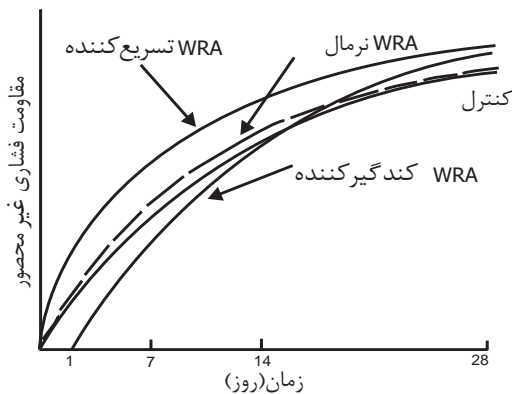
دیگر اعضای گروه افزودنی‌های آب کاهنده دارای کاربردهایی هستند که نمی‌توان آنها را از ملاحظات

طراحی مخلوط به دست بیاید. افزودنی‌های کاهنده آب تسریع کننده، از سویی دارای قابلیت آب کاهندگی دسته «معمولی» را داشته و از سویی دیگر مقاومت‌های بالاتری را در طی دوره هیدراتاسیون اولیه دارند و از زمان گیرش سریع‌تری برخوردارند. افزودنی مذکور این اجازه را می‌دهند که اتمام عملیات (به خصوص در دماهای پایین) به صورت زمان‌بندی شده انجام گیرد.

نوع خاصی از افزودنی‌های آب کاهنده تسریع کننده نیز هست که کاربری فزاینده‌ای دارد و در آمریکای شمالی به عنوان «افزودنی کاهنده‌ی آب حد میانی» شناخته می‌شود. این نوع فرآورده از مواد کاهنده آبی که اثرات تاخیری در زمان گیرش حداقلی دارند استفاده می‌کند. موادی (همچون لیگنوسولفونات‌های فرآوری شده با شکر کم، یا ترکیباتی از لیگنوسولفونات‌ها با فوق روان‌کننده‌ها) متشکل از نسبت‌های بالای تسریع کننده‌ها (کلرید یا غیر کلریدی)، و اغلب یک روکنشگر (surfactant) غیر یونی هستند. عامل کاهنده آب حد میانی می‌تواند در پیمانه‌های بالاتر (Higher Dosages) استفاده شود و از این رو کارایی بیشتری را ایجاد می‌کند. حالت دیگر اینکه کاهش آب بدون ادامه یافتن زمان گیرش به سطوح غیر قابل قبول صورت می‌گیرد.

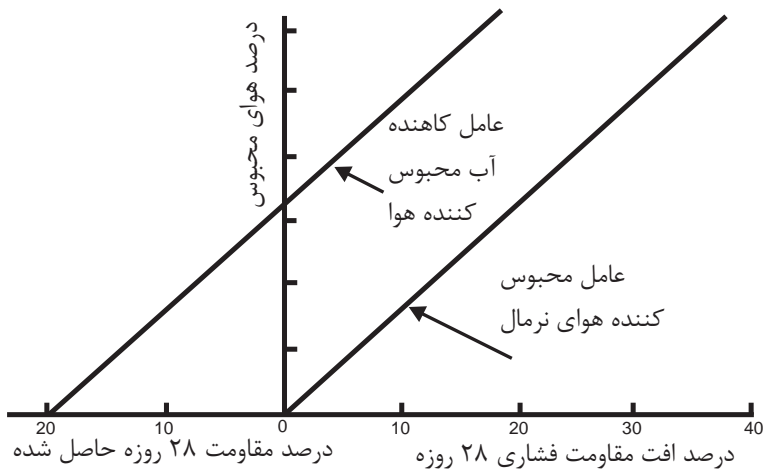
افزودنی‌های کاهنده‌ی آب دیرگیر کننده هم به صورت مشابه با مواد «معمولی» رفتار می‌کنند. اغلب با ترکیب شیمیایی مشابهی استفاده می‌شوند و سطح پیمانه مصرفی بالاتری قرار دارند، اما از طرفی مدت زمانی را که طی آن بتن در حالت شکل‌پذیر است را افزایش می‌دهد. این به آن معناست که زمان برای حمل و نقل، جابه‌جایی، تخلیه و اتمام کار، بیشتر افزایش می‌یابد. در واقع، گرچه که چندین ماده موجود هستند که تنها اثری تاخیری بر بتن دارند و در ظرفیت کاهندگی آب یا هیچ تاثیری ندارند (یا اثر خیلی کمی دارند) اما اکثریت مواد (حدود ۹۵٪) به نام «دیرگیر کننده‌ها» در واقع افزودنی‌های کاهنده آب دیرگیر کننده هستند و در این کتاب با این خصوصیت مورد ملاحظه قرار گرفته‌اند.

چگونگی تاثیر چهار نوع افزودنی‌های آب کاهنده مورد بحث بر خصوصیات مقاومتی بتن حاوی آنها در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. هر چهار مخلوط بتنی طوری طراحی شده‌اند که تقریباً مقاومت ۲۸ روزه یکسانی دارند. یعنی مخلوط‌های حاوی افزودنی تقریباً به میزان ۱۰ درصد، سیمان کمتری از مخلوط‌های کنترلی دارند. عوامل کاهنده آب محبوس کننده هوا دارای این قابلیت هستند که حباب‌های هوای میکروسکوپی را در خمیر سیمان نگه دارند. در حالی که امکان کاهش در نسبت آب به سیمان، بیش از آنچه که توسط خود هوای محبوس به دست می‌آید را دارند. این عوامل به فرم معمولی و تاخیری در دسترس هستند و همچنین در دو دسته قرار می‌گیرند. بسته به سطح هوای محبوس، اولین نوع تنها حدود ۱ الی ۲ درصد هوای اضافی را جذب می‌کند. معمولاً برای افزایش سطح داخلی بتن به منظور پوشش مجدد هر گونه نقص و آسیب در دانه بندی ذرات ریز دانه از این نوع استفاده می‌شود. نوع دوم در بتن‌های حاوی ۳ الی ۶ درصد هوا است، و به منظور ارتقاء دوام بتن در شرایط ذوب-انجماد استفاده می‌گردد.



شکل ۲-۱ رشد مقاومت فشاری بتن حاوی انواع مختلف افزودنی‌های کاهنده آب

مزیت‌های استفاده از این نوع از مصالح و مواد که جایگزین عامل محبوس کننده هوای مستقیم هستند، بیشتر بر پایه حداقل سازی اثرات تخریبی است که هوای محبوس بر روی مقاومت فشاری می‌گذارد. چنان که در شکل ۳-۱ هم نشان داده شده است. بنابراین در یک مخلوط بتن معمولی تا میزان ۳ درصد هوا می‌تواند بی‌هیچ تغییری در طرح مخلوط یا کاهش در مقاومت فشاری، به هنگامی که افزودنی کاهنده آب محبوس کننده هوا استفاده می‌شود، باقی بمانند.



شکل ۳-۱ تاثیر محبوس شدن هوا بر روی مقاومت فشاری بتن حاوی عامل محبوس کننده هوای کاهنده آب و یک عامل محبوس کننده هوای معمولی

۲-۱ مباحث شیمیایی مربوط به افزودنی‌های کاهنده آب

اگرچه طیف وسیعی از افزودنی‌ها به لحاظ تجاری در بازار تحت چندین دسته‌بندی اقتصادی به نام‌های ضد آب‌ها، متراکم کننده‌ها، آسان ساز کارایی و... در دسترس هستند، این امکان هم هست که دسته‌بندی بر اساس مواد شیمیایی استفاده شده همانند جدول ۱-۱ صورت بگیرد. در نتیجه می‌بینیم که تنها سه ماده شیمیایی مبنای همه افزودنی‌های کاهنده آب را شکل می‌دهند و وجود دارند که عبارتند از لیگنوسولفونات، اسید هیدروکسی کربوکسیلیک و پلیمرهای هیدروکسی شده می‌باشند.

۱-۲-۱ لیگنوسولفونات‌ها

لیگنین یک ماده پیچیده است که تقریباً ۲۰ درصد ترکیب چوب را تشکیل می‌دهد. در طی فرآیند تولید و ساخت خمیر کاغذ از چوب، یک مایع اضافی تولید می‌شود که به عنوان یک محصول ضمنی حاوی مخلوطی پیچیده از مواد، از جمله فرآورده‌های تجزیه لیگنین و سلولز، محصولات سولفوناتی لیگنین، انواع گوناگون کربوهیدرات‌ها (شکرها) و اسید سولفروس‌های آزاد یا سولفات‌ها است. خنثی سازی بعدی، فرآیندهای رسوب گذاری و تخمیر [۱۰] ایجاد طیفی از لیگنوسولفونات‌ها با شفافیت و خلوص گوناگون را می‌کند. ترکیباتی هم بسته به تعدادی فاکتورها همچون خنثی سازی قلیایی، فرآیند خمیری شدن، درجه تخمیر و حتی نوع و سن چوب مورد استفاده [۱۱] قرار می‌گیرد.

نوع افزودنی کاهنده آب			
محسوس کننده هوا	کند گیر کننده	تسریع کننده	عادی
لیگنوسولفونات ناخالص لیگنوسولفونات + روکشگر هیدروکربوکسیلیک اسید + روکشگر	لیگنوسولفونات با شکر زیاد هیدروکربوکسیلیک اسید پلیمر هیدروکسیلات شده	لیگنوسولفونات + CaCl ₂ لیگنوسولفونات + تری اتانولامین لیگنوسولفونات + فرمیت کلسیم هیدروکربوکسیلیک اسید + CaCl ₂ لیگنوسولفونات + سدیم تیوکانات	لیگنوسولفونات خالص لیگنوسولفونات + عامل خارج کننده هوا هیدروکسی کربوکسیلیک اسید در دز مصرفی کم پلیمر هیدروکسی شده در دز کم

جدول ۱-۱ فرمولاسیون‌های افزودنی‌های کاهنده آب

لیگنوسولفونات‌های تجاری مورد استفاده در فرمولاسیون‌های افزودنی‌ها عمدتاً بر مبنای سدیم یا کلسیم با میزان شکر ۱ تا ۳۰ درصد هستند. تحلیل‌های متداول از دو افزودنی کاهنده آب لیگنوسولفونات موجود تجاری در جدول ۱-۲ نشان داده شده است. [۱۲]
مولکول لیگنوسولفونات یک واحد جایگزین شده فنیل پروپان حاوی گروه‌های هیدروکسیل، کربوکسیل، متوکسی و اسید سولفونیک [۱۳-۱۵] است. این یک نمایش محتمل پلیمری از واحدهای تکراری نشان داده شده در شکل ۱-۴ است. این پلیمرها نوعاً دارای وزن مولکولی میانگین حدود ۲۰ تا ۳۰۰۰ در بازه ای که از چند صد تا ۱۰۰۰۰۰ متغیر می‌باشند [۱۶، ۱۲]. این بازه وزن مولکولی نشان می‌دهد که در لیگنوسولفونات (بسته به شیوه و شرایط) تصفیه صورت می‌گیرد. تعداد سه تا از چنین روش‌هایی، به

فصل اول

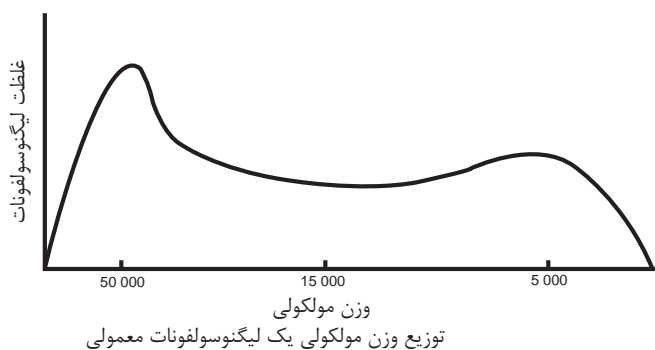
نام‌های فوق فیلتراسیون، عملیات حرارتی در PH مشخص و تخمیر استفاده می‌شوند. تا به حال دریافته‌ایم که [۱۷] پلیمر لیگنوسولفونات یک گروه منعطف خطی نمی‌باشد. چنانکه در بسیاری موارد وزن مولکولی سطح بالا داشته‌ایم، بلکه این پلیمر لیگنوسولفونات میکروژل‌های کروی، از نوع نشان داده شده در شکل ۶-۱ را تشکیل می‌دهد. بنابراین بارها عمدتاً بیرون کره بر روی گروه‌های کربوکسیل داخلی سولفونات غیر یونیزه شده است. مطالعات جریان مؤید آن است که لیگنوسولفونات‌ها تنها ۲۰ تا ۳۰ درصد یونیزه می‌شوند [۱۶].

نوع	درصد لیگنوسولفونات سولفیت کلسیم قلیای چوبی	درصد لیگنوسولفونات سدیم
مواد جامد	۵۴	۳۰
حاکستر	۶۶	—
حاکستر سولفانی شده	۱۰.۹	—
شکر کاهنده (مانند گلوکز)	۴۴	۰.۱
سولفور مجموع	۵.۸	۰.۹
	۳.۲	۲.۶

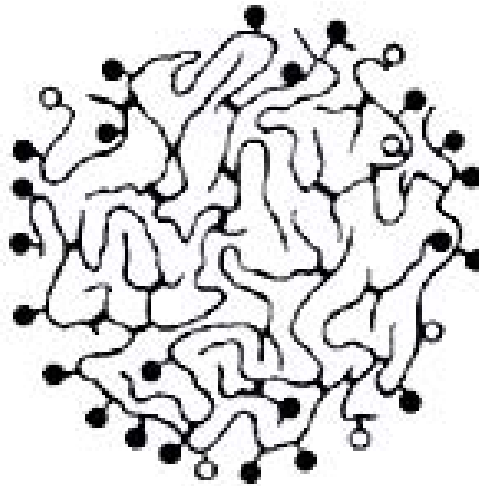
جدول ۲.۱ تحلیل‌های متداول از افزودنی‌های کاهنده آب لیگنوسولفوناتی (برگرفته از Edmeades)



شکل ۴.۱ واحد تکرار شونده یک مولکول لیگنوسولفونات



شکل ۵.۱ توزیع وزن مولکولی یک لیگنوسولفونات متداول



- گروه O-COOH
- گروه SOH
- ⌘ پیوند اتری

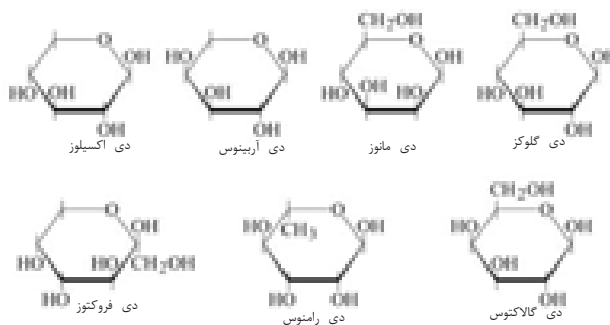
شکل ۶-۱ نمایش شماتیک یک واحد میکروژل پلی الکترولیت

شکرهایی که در لیگنوسولفونات قرار دارند به لحاظ نوع و غلظت، بسته به منبع، نوع و درجه تصفیه‌ای که رخ می‌دهد متغیر می‌باشند. در فرآیند تخمیر میکروارگانیزم‌های استفاده شده ترجیحاً از هکسوس‌ها به جای پنتوس‌ها استفاده می‌کنند، بنابراین شکرهای پس ماند در لیگنوسولفونات‌های تصفیه شده عمدتاً پنتوس‌ها هستند. انواع شکرها در شکل ۷-۱ و جدول ۳-۱ نشان داده شده است. تفکیکی از شکرهای یافته شده در آب قلیایی سولفیتی [۱۵] و دو نوع افزودنی کاهنده آب تجاری را می‌بینیم [۱۱].

گرچه چندین نمک گوناگون از لیگنوسولفونات‌ها به لحاظ تجاری در دسترس هستند، مشتقات سدیم و کلسیم بیشترین کاربرد را در فرمولاسیون افزودنی‌ها دارند. نمک سدیم تمایل به حفظ انحلال‌پذیری در دماهای پایین دارد، بنابراین از رسوب‌گذاری در شرایط زمستانی ممانعت می‌کنند. به علاوه، نمک سدیم در درجه یونیزه شدن بالاتری نسبت به نمک کلسیم در محلول دارد [۱۶]. این مطلب در مشاهده اینکه محلول‌های با غلظت بالاتر نمک کلسیم برای به دست آوردن کاهش یکسان در نسبت آب به سیمان مورد نیاز، بازتاب می‌یابد. این کاهش نسبت با استفاده از پیمانه مصرفی یکسان در افزودنی‌های کاهنده آب که پایه سدیم-نمک دارند، مشاهده می‌شود. با این وجود، مواد خام لیگنوسولفونات کلسیم از لیگنوسولفونات‌های سدیم ارزان‌تر هستند، بنابراین غلظت‌های بالاتر را می‌توان بر مبنای هزینه-بازده تقریباً مساوی به دست آورد.

جدول ۳-۱ آنالیز شکرها در مواد لیگنوسولفونات (بر گرفته از Joisel و Mouton)

تحلیل از شکرها در مواد لیگنوسولفوناتی			
نام ماده	سولفات تری % ماده	A ۱-۲	B ۱-۲
Composition of sugars (%)	۱۵ | ۲۱	۵۵ | ۲۰	۶۰ | ۲۲
Pentoses: Xylose + acid Arabinose	۶	۱۶	۱۶
Hexoses: mannose Glucose Fructose Rhamnose Galactose	۲۸ | ۲۵ ۱۵ ۲ ۱۵	۱۶ | ۲۰ ۱۲	۱۱ | ۲۲
Others	۱۰ ۲		



شکل ۷-۱ فرمول شکرهای ساخته شده در مواد لیگنوسولفونات خالص سازی شده و اصلاح نشده

موارد زیر در مورد فرمولاسیون افزودنی‌ها از لیگنوسولفونات‌ها (جدول ۱-۱) وابسته می‌باشند:

۱- بسیاری از لیگنوسولفونات‌ها، به خصوص آنهایی که خلوص پایین‌تری دارند یا از لگنین‌های چوب سخت تولید شده‌اند، نسبت کمی از هوا را داخل بتن محبوس می‌کنند. این امر در مورد ماده‌های محبوس کننده هوایی که به منظور ارتقاء دوام یا به هم چسبندگی مورد نیاز است، مطلوب می‌باشد. اما اغلب اثرات جانبی ناخواسته‌ای را به بار می‌آورد. بنابراین در تولید افزودنی‌های کاهنده آب معمولی، عوامل خارج ساز هوا را می‌توان اضافه نمود. ماده معمول و رایج تریبوتیل فسفات می‌باشد، آن هم در سطح پایین‌تر از ۱ درصد لیگنوسولفونات، اگر چه دیبوتیل فنالات، الکل‌های غیر محلول آبی، استرهای بورت و مشتقات سیلیکون هم کاربردهایی دارند [۱۸].

۲- البته خود مولکول لیگنوسولفونات و شکرها در مواد لیگنوسولفونات حضور دارند و قطعاً اثر

دیرگیرکنندگی برهیدراتاسیون سیمان دارند. در حالتی که مواد حاوی شکر بالاتری داریم، از این مواد برای ایجاد افزودنی‌های کاهنده آب دیرگیرکننده استفاده می‌شود و این امکان را فراهم می‌آورد که زمان حمل و نقل و تخلیه طولانی‌تری برای بتن در اختیار داشته باشیم. با این حال، برای افزودنی‌های کاهنده آب معمولی، این مورد یک اثر جانبی نامطلوب تلقی می‌شود. در نتیجه، اضافه شدن تری اتانولامین به صورت گاه به گاه و در سطح حدود ۱۵ درصد میزان لیگنوسولفونات افزودنی می‌باشد [۱۹]. در این سطح اضافه شدن، تری اتانولامین به عنوان یک تسریع کننده عمل می‌کند و اثر دیرگیرکنندگی لیگنوسولفونات و ناخالصی‌های آن را جبران می‌نماید. تحقیقات نشان داده که این امر اثرات زیان بار مشخصی بر بعضی خصوصیات بتن نهایی به جای می‌گذارد.

۳- افزودنی‌های کاهنده آب تسریع کننده ترکیباتی ساده هستند که از کلسیم کلرید، نترات، تیوسیانات یا با یک لیگنوسولفونات و یا یک نمک اسیدی هیدروکسی کربوکسیلیک تشکیل می‌شود. در بعضی موارد شاید نتوان امکان یک محلول کاملاً بدون رسوب را به دست آورده و نیاز به هم زده شدن مخازن ذخیره ضروری باشد. نوعاً، مخلوطی از کلسیم کلرید به میزان ۳۳ درصد، و لیگنوسولفونات کلسیم به میزان ۴ درصد وزنی در آب استفاده می‌شود.

۴- چنان که قبلاً هم بیان شد، در جایی که ۲ تا ۳ درصد هوای اضافی مورد نیاز باشد، افزودنی‌های کاهنده آب محبوس کننده هوا حاوی لیگنوسولفونات‌هایی هستند که می‌تواند بر مبنای مواد خام لیگنوسولفونات غیر خالص باشد. با این حال، این هوا ممکن است که به لحاظ پایداری، نوع و میزان آن مطلوب ما نباشد، در نتیجه مقادیر اضافی از روکشگرها تهیه می‌گردد. چندین نوع مختلف افزودنی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد اما در اغلب مواد بر مبنای سولفونات‌های آلکیل-آریل هستند (مثلاً سولفونات بنزن دو دسیل سدیم) یا صابون‌های اسید چرب (مثلاً نمک سدیم یا اسیدهای چرب روغن تال). اضافه شدن این نوع افزودنی‌ها به ترکیب، لحاظ شدن هوای پایدار کافی با اندازه حساب صحیح را ممکن می‌سازد تا بتواند با الزامات مربوط به دوام تحت شرایط ذوب - انجماد همخوانی برقرار کند.

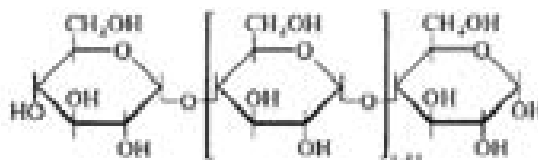
۲-۲-۱ اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک

همان‌طور که از نام آن‌ها هم بر می‌آید، در این مواد شیمیایی ارگانیک (آلی) که هم گروه‌های هیدروکسیل و هم کربوکسیل را در مولکول‌هایشان دارند، عموماً نمک سدیم استفاده می‌شود، گرچه گاه گاهی مواد به عنوان نمک‌های آمونیا یا تری اتانولامین هم پیدا می‌شوند. این مواد از منابع مواد خام خالص، یا با ابزار شیمیایی و یا بیوشیمیایی ایجاد می‌شوند. در نتیجه خلوص پیوسته و بالایی دارند و در واقع کاربرد اساسی این مواد، اغلب در مواد غذایی یا داروسازی می‌باشد.

نمک‌های به فرم سدیم همگی بسیار انحلال‌پذیر هستند و نقاط انجماد پایینی دارند، بنابراین جامد شدن و استحکام آنها در شرایط زمستانی غیرمحمتمل است. شکل ۸-۱ انواع و فرمول‌های موادی که در فرمولاسیون این نوع افزودنی‌های کاهنده آب کاربرد می‌یابند را نشان می‌دهد. با این حال، تنها موادی که کارکرد وسیعی در فرمولاسیون‌ها می‌یابند، نمک‌های گلوکونیک و اسیدهای هیپونیک هستند.

	اسید سیتریک	اسید مالیک	اسید فومیک
اسیدهای هیدروکسی کربوکسیک در حالت کلی فرمول	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100
اسیدهای هیدروکسی کربوکسیک در حالت کلی فرمول	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

شکل ۸-۱ اسیدهای هیدروکسی کربوکسیک مورد استفاده در افزودنی‌ها



شکل ۹-۱

به طور معمول، تقریباً ۳۰ درصد محلول‌های نمک‌ها با اضافاتی از دیگر انواع مواد شیمیایی استفاده می‌گردند. بسته به کارکرد پیشنهادی در بتن نمک‌ها ممکن است که به تنهایی برای ایجاد افزودنی‌های کاهنده آب معمولی در پیمانته مصرفی پایین و افزودنی‌های کاهنده آب درگیر کننده در پیمانته‌های مصرفی بالا موجود باشند. مقادیر کمی از آنها می‌تواند با کلسیم کلرید ترکیب شود تا از افزودنی‌های کاهنده آب تسریع کننده که تقریباً بی‌رنگ هستند، محلول‌های بی‌رسوب تولید شود. به شیوه مشابه با لیگنوسولفونات‌ها، عوامل محبوس کننده هوا می‌توانند اضافه گردند تا تشکیل افزودنی‌های کاهنده آب

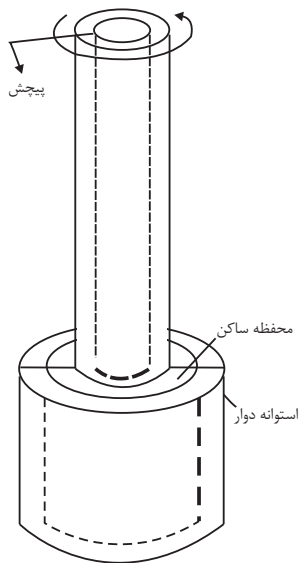
محبوس کننده هوایی را بدهند که ممکن است درگیر کننده باشد یا نباشد (بسته به اینکه میزان نمک اسید هیدروکسی کربوکسیلیک موجود در فرمولاسیون به چه اندازه باشد).

۳-۲-۱ پلیمرهای هیدروکسیل شده

پلیمرهای هیدروکسیل شده از پلی ساکاریدهای طبیعی به مانند نشاسته غلات استخراج می‌شوند، که به وسیله آب کافت نسبی تشکیل پلیمرهای با وزن مولکولی پایین تر حاوی واحدهای گلوکوسید از ۳ الی ۲۵ (شکل ۹-۱) [۲۷] را می‌دهد. برخلاف گلوکز مونوساکارید، این مواد تحت شرایط قلیایی از یک ترکیب حاوی سیمان پایدار هستند و به عنوان عوامل کاهنده آب موثر رفتار می‌کنند. قطعاً این مواد به هنگامی که ترکیب شوند در دیرگیر کنندگی بتن سهم دارند و می‌توان با اضافه شدن تعداد کمی کلسیم کلرید یا تری اتانولامین بر آنها غلبه کرد [۲۷]. سه دسته اصلی از اجزا ترکیبات بحث شده در قسمت فوق برای فرمولاسیون افزودنی‌های کاهنده آب در اکثر محصولات تجاری در دسترس هستند، اما ممکن است که کاربرد اینستپول [۲۸]، پلی اکریلامید [۲۹]، اسیدهای پلی اکریلیک [۳۰] و پلی گلیسرول محدود شده باشد. به منظور فهم عمیق تر از تاثیر افزودنی‌های کاهنده آب بر خصوصیات شکل پذیری بتن تازه و یافتن یک دید کلی از مکانیسم واکنش این دسته از مواد، مطالعه اثرات آن بر سیستم آب به سیمان می‌تواند سودمند باشد. عناوینی که با این نگاه می‌توان پی گیری نمود عبارتند از: (الف) اثرات تغییر شکل و سطح اولیه، و (ب) اثرات بر روی فرآورده‌های هیدراتاسیون محلول و غیر محلول و سرعت هیدراتاسیون.

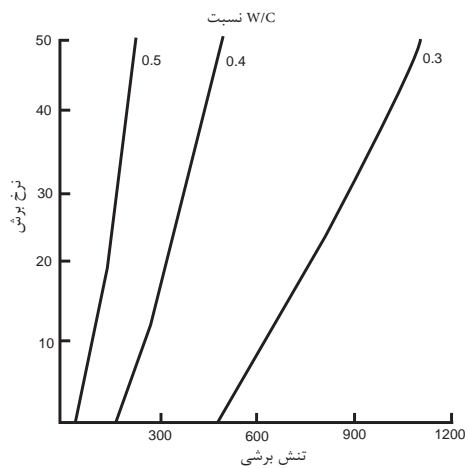
۳-۳-۱ ملاحظات مربوط به تغییر شکل (Rheological Consideration)

برخی خصوصیات بتن تازه را می‌توان به لحاظ تغییر شکلی خمیر سیمان موجود در بتن در نظر گرفت. بنابراین یک بتن با نسبت آب به سیمان بالا دارای میزان خمیری خواهد بود که از بتن با نسبت آب به سیمان پایین، روانی بیشتری خواهد داشت. «سیالیت» خمیر سیمان را می‌توان در قالب عبارات تغییر شکلی توسط گشتاور منتقل شده به مغزه ساکن درون یک استوانه بیرونی دوار که درون یک سیستم آب - سیمان که به مانند شکل ۱۰-۱ قرار داده شده است، اندازه گیری نمود. تنش برشی محاسبه شده در مغزه ساکن در مقابل سرعت اعمال شده برش، برای خمیرهای با نسبت‌های گوناگون آب به سیمان، در شکل ۱۱-۱ به صورت نمودار ترسیم شده است و نتایج حاصل از قرائت‌های تنش برشی همزمان با اینکه سرعت برش افزایش داده می‌شود، (منحنی بالا) به دست آمده است. سیستم‌هایی که دارای ارتباط‌های سرعت تنش - برش خطی هستند و با محور تنش برشی تقاطع دارند، اصطلاحاً جریان شکل پذیر از خود نشان می‌دهند، و مقدار تقاطع به عنوان «تنش تسلیم» شناخته می‌شود. ویسکوزیته سیستم برابر با شیب خطی است که بر روی آن نسبت خطی برقرار است.



ویسکومتر استوانه ای هم مرکز

شکل ۱۰-۱ ویسکوزیته سنج استوانه ای هم محور

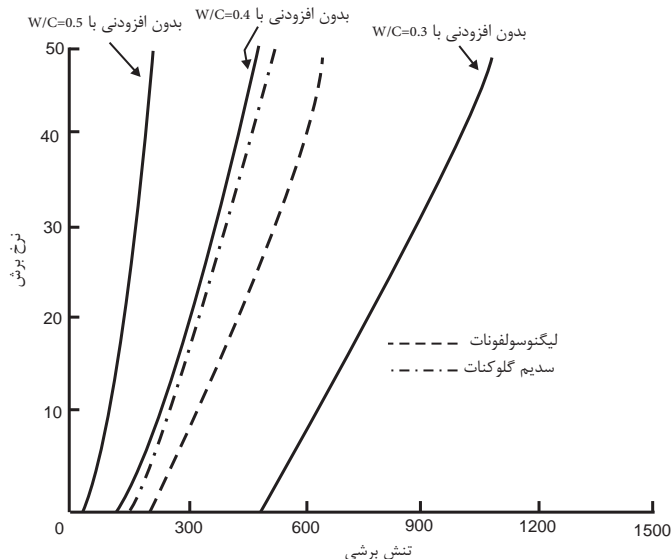


شکل ۱۱-۱ روابط نرخ برش - تنش - برش برای خمیرهای سیمان در نسبت‌های گوناگون آب به سیمان

خصوصیات کلی سیستم بتن در حالت شکل پذیر تابعی از چندین پارامتر همچون نوع و اندازه سنگدانه‌ها، میزان سیمان و خصوصیات آن و... است. اما جداسازی اثرات تغییر شکلی خمیر، مفید می‌باشد تا جایی که می‌توان اظهار داشت:

- یکنواختی (پیوستگی) یا سیالیت بتن تابعی از ویسکوزیته خمیر سیمان خواهد بود.
- به هم چسبندگی بتن تابعی از تنش تسلیم خمیر سیمان خواهد بود.

حالا بازگردیم به اثر افزودنی‌های کاهنده آب بر روی تغییر شکل خمیرهای سیمان. از شکل ۱۲-۱ می‌توان مشاهده نمود که اضافه شدن این انواع مواد ظاهراً تغییری در شکل رابطه نرخ برش - تنش - برش ایجاد نمی‌کند و صرفاً آن را به یک سطح پایین‌تر انتقال می‌دهد (ماده لیگنوسولفونات دارای ترپسیوتیل فسفات بوده که به آن اضافه شده بنابراین اثر هوای محبوس حذف می‌گردد). در نمایی که از رابطه نشان داده شده در شکل ۱۲-۱ داریم، استفاده از مواد لزج با به هم چسبندگی به عنوان ابزاری برای ارزیابی و مطالعه افزودنی‌های کاهنده آب مفید می‌باشد، و شکل‌های ۱۳-۱ و ۱۴-۱ به ترتیب اثرات اضافه شدن سطوح دو افزودنی کاهنده آب بر ویسکوزیته سیمان و اثرات دو ماده در پیمان‌های مصرفی معمول نسبت‌های آب به سیمان گوناگون را نشان می‌دهد. این اطلاعات حاکی از آن است که کاهش های آب محتمل از دو نوع عوامل کاهنده آب متفاوت هستند و وابسته به نسبت آب به سیمان در سیستم می‌باشد. نتایج معمول در جدول ۴-۱ ارائه شده است و این مقادیر به نوعی بالاتر از مقادیر به دست آمده در مخلوط‌های بتن هستند، که بر اهمیت دیگر پارامترهای مخلوط تاکید دارند. لیگنوسولفونات‌ها همچنین مقداری هوا در داخل بتن حبس می‌کنند که می‌تواند کاهش آب حاصل را افزایش دهد.



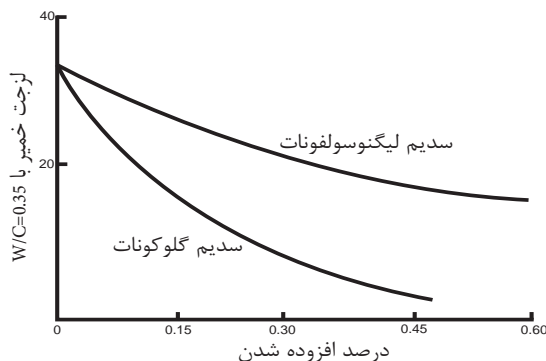
شکل ۱۲-۱ روابط نرخ برش - تنش - برش برای خمیرهای سیمانی حاوی عوامل کاهنده آب متنوع

۲-۳-۱ اثرات سطح اولیه

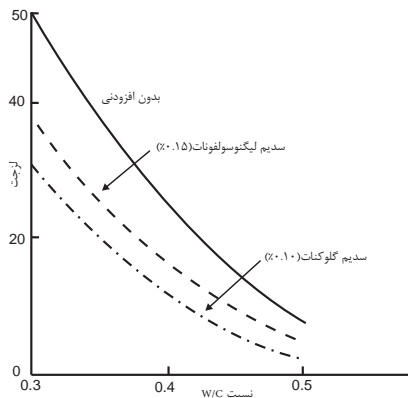
خصوصیات تغییر شکلی خمیرهای سیمان مربوط به ماهیت جذب کننده و نیروهای رانشی است که میان سیمان و ذرات محصولات هیدراتاسیون سیمان موجود است و می‌تواند مطابق دسته‌بندی زیر باشد:

- ۱- نیروهای واندروالسی جذب کننده به لحاظ مقدار بزرگ بوده، اما تنها در فواصل میان ذره‌ای تا ۵ الی ۷ میلی‌متر می‌باشد.

- ۲- دافعه الکتریکی به لحاظ ماهیت کاتیونی ظرفیت‌های آزاد در سطح ذرات سیمان، به دلیل اتم‌های Ca ، Al و Si [۳۲] است. این رانش به لحاظ مقدار از نیروهای واندروالسی کوچکتر می‌باشد، اما به دلیل وجود یک یون ترکیبی و مولکولی آبی « پوششی»، احتمالاً تا اندازه محسوسی در فواصل میان ذره‌ای تا ۵۱mm وجود دارد.



شکل ۱۳-۱ اثر افزودنی‌های کاهنده آب روی ویسکوزیته خمیر در سطوح اضافه شدگی مختلف



شکل ۱۴-۱ تاثیر افزودنی‌های کاهنده آب بر ویسکوزیته خمیر در نسبت‌های آب به سیمان گوناگون

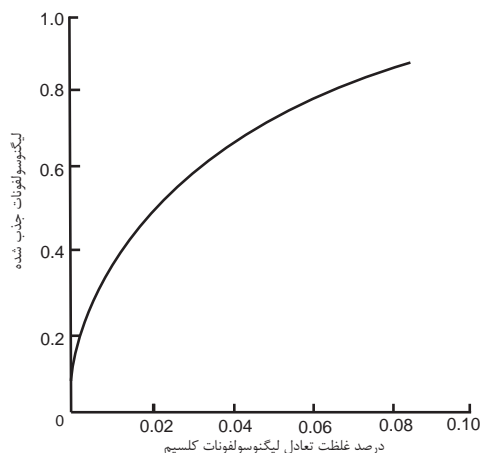
جدول ۴-۱ کاهش‌های آب معمول از خمیر سیمان در سطوح اضافه شدگی معمولی افزودنی‌ها به منظور حفظ ویسکوزیته خمیر

افزودنی با نرخ دز مصرفی نرمال	کاهش آب میانگین در بازه ۰.۳-۰.۵
سدیم لیگنوسولفونات	۱۰
سدیم گلوکونات	۱۶
سدیم نفتالن سولفونات	۲۶
پلیمر فرمالدهید	

بنابراین در خمیرهای سیمانی در جاهایی که ذرات در تماس نزدیک با هم واقع می‌شوند، تمایلی برای خمیرهای سیمانی برای تشکیل توده‌های بزرگ وجود می‌آید که به علت نیروهای واندروالسی کششی ذرات را به هم جذب می‌کند.

ضروری است که به مقادیر زیادی از اطلاعات و داده‌های تجربی توجه کنیم تا بتوانیم درک کنیم چگونه اضافه شدن مقادیر کوچک مواد ارگانیک می‌تواند این جاذبه میان ذره‌ای را تا حدی کاهش دهد. تا جایی که مقادیری زیادی آب می‌تواند از سیستم حذف شود و در عین حال خصوصیات تغییر شکلی تغییری نکند. از جمله این داده‌ها عبارتند از:

۱- اضافه شدن عامل کاهنده آب به فاز آبی با کاهش سریع در میزان افزودنی در محلول پی‌گیری می‌گردد، لذا افزایشی در میزان جذبی در سطح مشترک ذرات سیمان یا آب می‌بینیم [۳۹-۳۳ و ۲۷]. این تاثیر توسط یک جذب هم دما نشان داده می‌شود. به این نحو که چندین سطح متنوع افزودنی‌ها، به سیستم آب به سیمان اضافه می‌شوند و لرزانده می‌شود. این لرزش مدتی ادامه می‌یابد تا جایی که مقدار باقی مانده در محلول تخمین زده شود. مقدار مواد روی سطح از اختلاف این دو مقدار محاسبه می‌شود. در شکل ۱۵-۱ منحنی درصد لیگنوسولفونات کلسیم در مقابل سیمان پرتلند معمولی را می‌بینیم [۳۳].



شکل ۱۵.۱ روشن شدن هم‌دمایی کلسیم لیگنوسولفونات در سیمان پرتلند معمولی

فصل اول

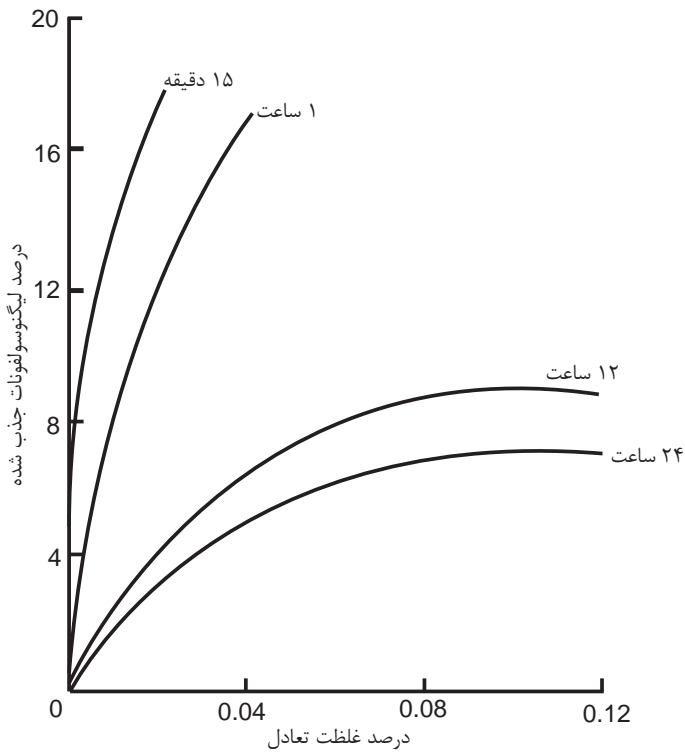
۲- افزودنی‌های کاهنده آب به طور مساوی توسط تشکیل دهنده‌های سیمان هیدراته شده جذب نمی‌شود. در مورد مطالعات پیرامون لیگنوسولفونات کلسیم، ارقام جذب حداکثر تقریبی در جدول ۵-۱ نشان داده شده است [۳۸ و ۳۹]. به علاوه، رونشین شدن هم دمایی (Adsorbition Isotherm) در مراحل گوناگون هیدراتاسیون C_3A مورد مطالعه قرار گرفته [۳۶] و نشان داده است که فرآورده‌های هیدراتاسیون اولیه (تا کمتر از ۱۵ دقیقه) که بیشترین ظرفیت جذب برای لیگنوسولفونات کلسیم دارد. این امر نشان می‌دهد که ممکن است ماده متشکله (مثلاً C_4AH_{19}) برای فازهای شش تایی باشد که در جذب بالای اولیه مسئول هستند. شکل ۱۶-۱ نشانگر این تاثیر است. داده‌ها در مورد اسید سالیسیلیک (که یک اسید هیدروکسی کربوکسیسیلیک است) ما را به نتایج مشابهی می‌رساند، گرچه که سطوح جذب معمولاً پایین‌تر هستند.

۳- چنان که در شکل ۱۷-۱ نشان داده شده است، انواع گوناگون افزودنی‌های کاهنده آب دارای خصوصیات رونشین شدن هم دمایی متفاوت هستند. این موارد هم به صورت کیفی اثرشان را بر سرعت هیدراتاسیون سیمان منعکس می‌کنند.

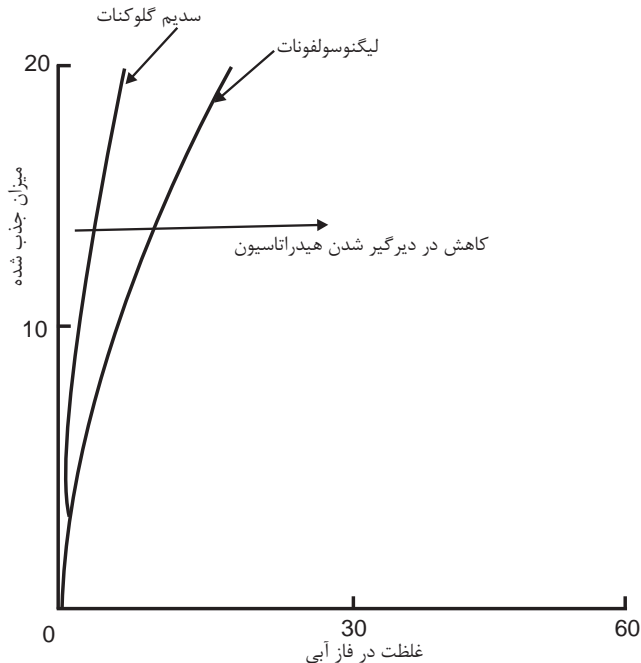
۴- با وجود عدم آگاهی نسبت به مساحت سطح هیدرات‌های سیمان به منظور جذب در زمان اضافه شدن، به سختی می‌توان تخمین زد که چه تعداد لایه مولکول‌های افزودنی کاهنده آب جذب می‌شوند، اما تلاش‌هایی که صورت گرفته [۴۰] حاکی از آن است که ممکن است بیش از ۱۰۰ لایه با لیگنوسولفونات کلسیم و اسید سالیسیلیک در سطوح معمولی اضافه شدگی تشکیل شود. با این وجود، این محاسبات بر مبنای مساحت‌های سطح مخصوص $0.3-0.1 \text{ m}^2/\text{g}$ بود. در حالی که دیگر مطالعات [۲۷، ۳۸، ۳۹] تا اندازه قابل توجهی نشان دهنده‌ی مساحت‌های سطح بالاتر بوده است، همانطور که در جدول ۶-۱ نشان داده شده است. از هیدرات‌های C_3A پیشین انتظار می‌رفت که حتی مساحت بالاتری هم داشته باشند. اگرچه تمام سطح در دسترس برای مولکولی‌های نیتروژن، برای مولکول‌های افزودنی بزرگتر در دسترس نخواهد بود. برای دو ماده لیگنوسولفونات کلسیم و گلوکونات سدیم امکان تجمع داده‌های نشان داده شده در جدول ۷-۱ وجود دارد. از این جدول می‌توان مشاهده نمود که مساحت سطح در دسترس برای افزودنی‌های تا حدود $3-7 \text{ m}^2/\text{g}$ برای تشکیل تک لایه مولکول‌های افزودنی مورد نیاز است. مقادیر آورده شده در جدول ۶-۱ نشان می‌دهد که این میزان حتی چند دقیقه پس از هیدراتاسیون از سطح در دسترس ممکن است مهیا شود. در سطوح بسیار بالاتر از آنچه که برای ویسکوزیته خمیر حداقلی مورد نیاز است، بسیار محتمل است که چندین لایه (احتمالاً از نمک‌های آلومینیوم غیرمحلول باشند) شکل بگیرد. خاطر نشان می‌شود که [۴۱] چنانچه چند ده لایه مولکولی ساخته شوند، آنگاه استقرار آرایش فضایی اجزاء می‌تواند به همان میزان فاکتور مهمی باشد، که رانش یونی در کاهش ویسکوزیته خمیر اهمیت دارد.

تشکیل دهنده سیمان	درصد طبقاً
C ₃ A (anhydrous)	۷
C ₃ A hydrates	۲۲
C ₃ AH _۳ (شکل اولیه)	۰
C ₃ AH _۴ (شکل ثانویه)	۰
OH	۱۲
C ₂ S	۰
C ₂ S hydrates (C ₂ S)	۲

جدول ۵-۱ جذب لیگنوسولفونات کلسیم توسط تشکیل دهنده‌های سیمانی (بر گرفته از Feldman and Ramchandran)



شکل ۱۶-۱ اثر زمان هیدراتاسیون بر جذب لیگنوسولفونات کلسیم روی هیدرات‌ها (بر گرفته از Rossington)



شکل ۱۷-۱ رونشین شدن هم دمایی برای افزودنی‌های کاهنده آب گوناگون

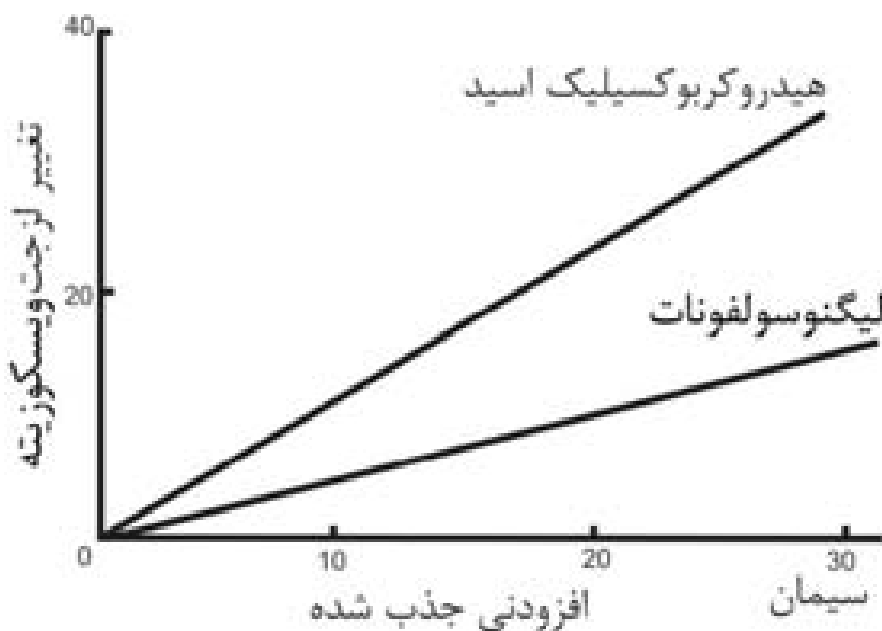
جدول ۶-۱ مساحت سطح هیدرات‌های تشکیل دهنده سیمان (بر گرفته از Feldman and Ramchandran)

فاز	مساحت سطح	گاز جذب شده
هیدرات C3A (شش گوشه)	۱۱-۱۴	N ₂
کلسیم هیدروکسید	۱۶	—
هیدرات C3S	۱۳۶	H ₂ O
هیدرات C2S	۷۰	N ₂

۵- در مورد آن موادی که با دارا بودن خاصیت ظرفیت جذبی نسبت به تشکیل دهنده‌های سیمانی و قابلیت کاهش ویسکوزیته خمیر شناخته می‌شوند، یک رابطه خطی میان میزان جذب شده روی سطح و کاهش در ویسکوزیته خمیر در سطوح افزایشی وجود دارد. این مورد در شکل ۱۸-۱ نشان داده می‌شود [۳۳]. این داده‌ها می‌تواند برای یافتن یک شاخص کاهشی ویسکوزیته برای مواد گوناگون، با اندازه‌گیری شیب خط به دست بیاید. بعضی از مقادیر در جدول ۸-۱ نشان داده می‌شود، اگر چه تاکید می‌گردد که این تکنیک را نگارنده تنها به عنوان ابزاری برای مقایسه مجموعه‌های فرآورده‌های تجربی با استانداردهای مشخص استفاده کرده است، زیرا که مقادیر متفاوتی برای دسته‌بندی‌های مختلف سیمان به دست می‌آید.

جدول ۱. ۷ داده‌های جذب برای کسیم لیگنوسولفونات و سدیم گلوکنات

ماده	سطح مولکولی	سطح پوشانده شده با ۱ میلی گرم ماده	سطح افزوده شدن برای حداقل لزجت خمیر	درصد میزان جذب شده (از جذب هم (دما)	مساحت برای تکمیل در حداقل لزجت خمیر
کسیم	۲۵۰۰۰۰	۰.۶	۱.۰	۰.۶	۳.۶
لیگنوسولفونات سدیم گلوکنات	۵۰	۱.۵	۰.۵	۰.۴۵	۶.۸



شکل ۱. ۱۸ کاهش در ویسکوزیته خمیر سیمان توسط افزودنی‌های کاهنده آب متنوع به عنوان تابعی از میزان جذب شده

۶- ماهیت پیوند میان مولکول‌های افزودنی کاهنده آب و سطح هیدرات‌های تشکیل دهنده سیمان در بسیاری مراجع به عنوان «گروه یونی بیرونی» توصیف شده است [۳۲ و ۳۳]. مبنای کار [۴۳، ۳۳] نشان می‌دهد که انتقال ذرات سیمان (به هنگامی که مولکول‌های لیگنوسولفونات روی سطح جذب می‌شوند) تحت تاثیر یک جریان الکتریکی است. نتایج مشابهی نیز برای اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک گزارش

فصل اول

شده است [۴۴]. دیگر اطلاعات مرتبط در قسمت زیر خلاصه‌وار آمده است :

الف) تمام دسته‌بندی‌های افزودنی‌های کاهنده آب به صورت غیرقابل بازگشتی روی سیمان پرتلند هیدراتی جذب شده‌اند. این مورد به طور تجربی با افزودن مقادیر بیشتر از حلال در طی فرآیند تعیین رونشین شدن هم دمایی نشان داده می‌شود؛ در جذب فیزیکی صحیح باید روند هم دماهای اصلی پی‌گیری گردد، اما همان‌طور که برای کلسیم لیگنوسولفونات در هیدرات‌های شش تایی C_3A نشان داده شده است (شکل ۱۹-۱)، تقریباً هیچ تمایلی برای جذب وجود ندارد [۳۸]. همچنین نشان داده شده است که جذب روی فاز C_3S هیدرات شده برای مصالح لیگنوسولفونات کلسیم غیرقابل بازگشت است [۳۹].

ب) میزان کلسیم لیگنوسولفونات جذب شده برای هیدراته کردن سیمان تقریباً مستقل از نسبت آب به سیمان اولیه در بازه ۰/۴ تا ۱/۵ می‌باشد [۳۴].

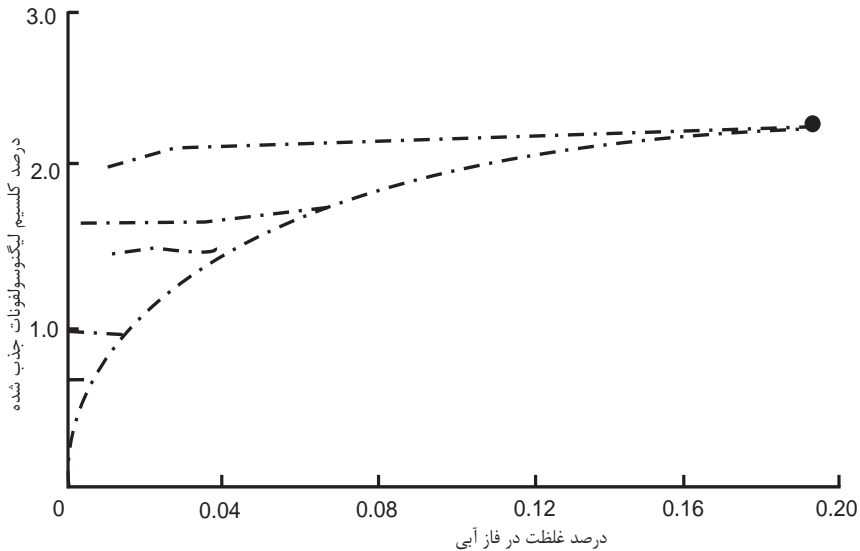
ج) چنانکه در شکل ۲۰-۱ هم نشان داده شده است، در مطالعات مدل شده با یک اسید هیدروکسی کربوکسیلیک (اسید سالیسیلیک)، یک توده همگن از واکنش با هیدرات‌های C_3A [۴۵] جداسازی شده است.

د) تحلیل حرارتی دیفرانسیلی از شکل‌گیری یک توده میان هیدرات‌های S_2C و لیگنوسولفونات کلسیم حاکی است.

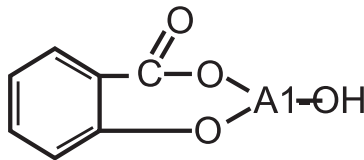
ه) مقدار و علامت پتانسیل سطح سیمان پرتلند در حضور مقادیر متغیر لیگنوسولفونات‌های آمونوم در جدول ۹-۱ نشان داده می‌شود [۴۶]. مقایسه این داده‌ها با رونشین شدن هم دمایی متداول نشان‌دهنده یک سطح پوششی فرآینده تا حدود ۰/۲۵ الی ۰/۵۰ درصدی از لیگنوسولفونات بوده که در آن یک لایه یک مولکولی ناقص تشکیل می‌شود.

جدول ۸-۱ کاهش جذب خمیرهای سیمانی توسط افزودنی‌های کاهنده آب گوناگون

ماده	شاخص کاهش لزجت نسبت آب به سیمان = ۰.۳
کلسیم لیگنوسولفونات	۵
پلی ساکارید	۹
سدیم گلوکات	۱۲



شکل ۱۹-۱ خطوط هم دمای جذبی - غیر جذبی از لیگنوسولفونات کلسیم بر هیدرات C_3A (فاز شش تایی) (Ramchandran)



شکل ۲۰-۱ ترکیب شیمیایی تشکیل شده از اسید سالیسیلیک و هیدرات های C_3A

و) ظاهراً به دلیل اینکه C_3A با سرعت بالاتری هیدراته می شود، لیگنوسولفونات بیشتر توسط C_3A هیدرات شده در قیاس با C_2S هیدرات شده جذب می شود [۴۴]. همچنین نشانه‌هایی هست که در مورد لیگنوسولفونات، رونشین شدن هم دمایی میانی حاکی از آن است که بعضی واکنش‌ها مستلزم گروه‌های هیدروکسیل هستند.

جدول ۹-۱ کاهش در پتانسیل سطح توسط لیگنوسولفونات آمونیوم (بر گرفته از Zhuravhev)

آمونیم	۰	۰.۰۱	۰.۰۵	۰.۱	۰.۲۵	۰.۸	۱.۰
درصد لیگنوسولفونات در جذب آبی	+۷.۲	+۶.۰	+۵.۸	+۱.۴	+۳.۵	+۳.۳	+۱.۱
پتانسیل سطحی							

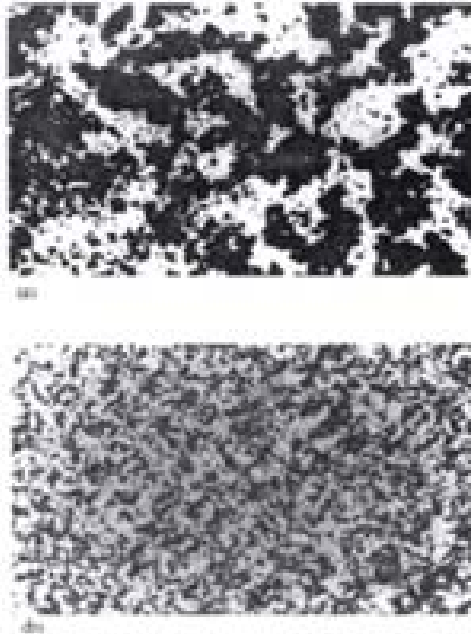
۷- با اضافه شدن افزودنی‌های کاهنده آب به ذرات معلق سیمان، انباشت‌های (کلوخه‌ها) ذرات سیمان به ذرات ریزتر و کوچک‌تر پراکنده شده [۳۳، ۳۴، ۴۷] و می‌تواند به روشنی در عکس میکروسکوپی هم دیده شود (چنان که در شکل ۲۱-۱ مشاهده می‌گردد). حداکثر پراکندگی در سطحی ۰/۳ الی ۰/۵ درصد برحسب وزن لیگنوسولفونات کلسیم رخ می‌دهد [۳۳ و ۳۴] که حاکی از حضور در سطحی حدود ۰/۲ تا ۰/۴ درصد لیگنوسولفونات کلسیم است. جداسازی ذرات منجر به افزایش در مساحت سطح سیستم تا حدود ۳۰ الی ۴۰ درصد می‌شود [۳۳، ۳۴]، که ممکن است نرخ سرعت بالاتری از هیدراتاسیون سیمان را پس از دوره دیرگیرکنندگی اولیه نشان دهد.

۳-۲-۱ تأثیر بر فرآورده‌ها و سرعت هیدراتاسیون

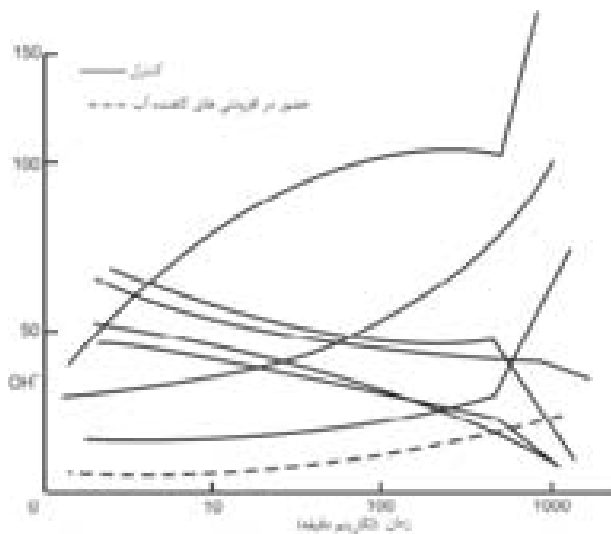
الف) فرآورده‌های هیدراتاسیون فاز آبی

در طی هیدراتاسیون سیمان پرتلند، غلظت و ماهیت یون‌های محلول در فاز آبی به‌طور پیوسته (به خصوص در زمان‌های هیدراتاسیون اولیه) تغییر می‌کند. گونه‌های یونی اصلی حاضر در فلزهای قلیایی سدیم و پتاسیم کلسیم فلزی قلیایی، و سولفات آنیون‌ها و هیدروکسیدها هستند. شکل ۲۲-۱ سطح این گونه‌های آنیونی حاضر در یک دوره زمانی را به تصویر می‌کشد. همچنین تغییرات در این غلظت‌های آنیونی در جایی رخ می‌دهد که اضافه شدن نسبی پیمان‌ه مصرفی بالایی از لیگنوسولفونات در کار باشد یا یک پیمان‌ه مصرفی معمولی از نوع افزودنی کاهنده آب سدیم گلوکونات داشته باشیم [۳۴، ۳۷، ۴۳-۵۰] مشاهدات زیر می‌تواند انجام گیرد:

۱- غلظت یون کلسیم فاز محلول اندکی در مراحل اولیه هیدراتاسیون افزایش می‌یابد، اما بعداً غلظت به همان سیستم بدون افزودنی نزدیک می‌شود. مشخص شده است که هر چه دوره دیرگیرکنندگی گیرش بیشتر باشد، تفاوت در غلظت کلسیم بیشتر گشته و زمان بیشتری نیز طول می‌کشد تا به همان سطح سیستم کنترل برسیم. انتظار می‌رود که هیدراتاسیون کند شده در فاز C_pS در غلظت پایین تری انجام شود، اما باور ما بر این است که افزایش مشاهده شده به دلیل تاخیر در وارد شدن کلسیم و غلظت‌های یون سولفات از سطح فوق اشباع به سطح اشباع است. چنان که می‌بینیم، این افت خیلی زود در سیستم آب به سیمان کنترلی رخ می‌دهد.



شکل ۲۱-۱ پراکندگی ذرات سیمانی توسط یک افزودنی کاهنده آب، (a) پیش از اضافه شدن، (b) پس از اضافه شدن



شکل ۲۲-۱ سطح گونه‌های آنیونی کوناگون موجود در فاز آبی خمیرهای سیمان هیدراتی

فصل اول

۲- غلظت یون سولفات به صورت عادی با سرعت کاهش می‌یابد، در حالی که در حضور افزودنی کاهنده آب، غلظت زیاد (به واسطه دلایلی که در (۱) ارائه گفته گردید) حفظ می‌گردد، در عوض می‌تواند به تاخیر در واکنش گچ توسط فاز C_pA برای تشکیل اترینگیت مرتبط شود. در واقع چنانچه تشکیل دهنده‌های سیمان پیش از اضافه شدن افزودنی، یک دوره پیش هیدراتاسیون را بگذرانند، نتایجی در حد میانی از نتایج نشان داده شده در شکل ۲۲-۱ به دست می‌آید، زیرا اجازه داده شده است که قسمتی از واکنش $C_pA + CaSO_4$ انجام شود [۴۹].

۳- غلظت یون هیدروکسیل در ابتداً به دلیل کندشدگی در هیدراتاسیون C_pS برای تشکیل $Ca(OH)_2$ کاهش می‌یابد. افزایش ناگهانی در غلظت یون هیدروکسیل احتمالاً به دلیل تخلیه تدریجی افزودنی مقاوم کننده یک لایه است. این کار برای سرعت بخشیدن به نفوذ هیدراتاسیون فرآورده‌ها است.

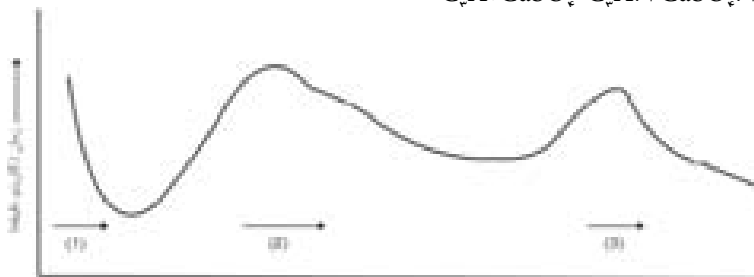
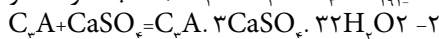
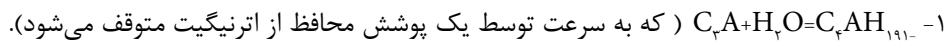
۴- یون‌های فلزی قلیایی Na^+ و K^+ ، به دلیل تاخیر در هیدراتاسیون C_pS به شیوه‌ای مشابه با غلظت‌های یون هیدروکسیل رفتار می‌کنند، چون اکثریت یون‌های فلزی قلیایی محلول از فاز بلورین C_pS سرچشمه می‌گیرد.

این مشاهدات در فاز آبی سازگار با مفهوم جذب افزودنی‌های کاهنده آب در هیدرات‌های اولیه C_pA و C_pS است، که همراه با اصلاح در فرآیند معمول واکنش C_pA با گچ برای تشکیل اترینگیت و تاخیر در هیدراتاسیون فاز C_pS می‌باشد.

ب) تاثیر بر فرآورده‌های هیدراتاسیون جامد

فرآیند هیدراتاسیون سیمان پرتلند بسیار پیچیده است، اما تا حد زیادی می‌تواند به صورت هیدراتاسیون فازهای اصلی موجود و واکنش‌های با کلسیم سولفات در نظر گرفته شود. رفتار یک سیمان پرتلند معمولی تا حد زیادی همان رفتار مجموعه مولفه‌های آن است [۵۱]. تغییرات در اضافه شدن افزودنی‌های کاهنده آب می‌تواند به لحاظ شیمیایی، ساختار شناسی (morphology) و سرعت‌های واکنش در نظر گرفته شود. شکل ۲۳-۱ یک نمونه تکامل حرارتی انجام گرفته تحت شرایط هم دما با استفاده از یک نمونه سیمان پرتلند حاوی C_pA ، C_pS و C_pS و گچ را نشان می‌دهد. [۵۲]

قله ۱



شکل ۲۳-۱ منحنی کالری سنجی هم دمای سیمان پرتلند هیدراتی

۳- $C-S-H=C_3S+H_2O$ لایه هیدرات S-C اولیه با حدود ۱۰nm (۱۰۰A) ضخامت و Ca پایین

۴- حرارت محلول عاری از قلیا

فاز C_3A در معرض واکنش رقابتی میان آب و گچ برای تشکیل یک اندازه کوچک از هیدرات‌های C_3A اولیه پوشش داده شده توسط پوشش حفاظتی اترنیگیت است و همچنین نسبتی از هیدرات‌های C_3S برای تشکیل یک هیدرات سیلیکات کلسیم با میزان کلسیم پایین در ناحیه با ضخامت ۱۰۰nm است.

قله ۲

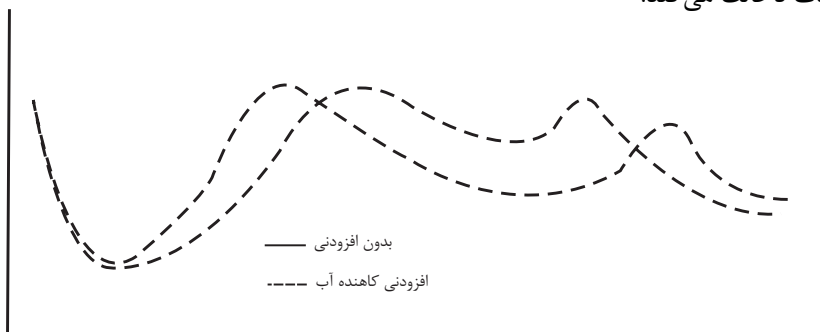
در طی این فاز در لایه هیدرات سیلیکات کلسیم، خود دیرگیرکننده اولیه به ظاهر شکست می‌خورد، و امکان هیدراتاسیون بیشتر فرآورده از فازهای C_3S و C_2S حاصل می‌شود. این کارها ظاهراً در سه شکل صفحه‌ای، سوزنی و ورق‌های پین خورده ایجاد می‌شوند. در طی این واکنش تعداد قابل توجهی منشورهای شش گوشه از آهک شکفته هم تشکیل می‌شود.

قله ۳

در این قله پایانی، سه کلسیم آلومینات باقی مانده با هر دوی گچ و آب واکنش می‌دهد تا اترنیگیت تشکیل شود و پس از آن تری کلسیم آلومینات مونوسولفات به وجود می‌آید. هیدرات‌های C_3A تشکیل شده از ترکیبات گوناگونی هستند، اما نهایتاً فاز مکعبی پایدار C_3AH_6 در محلول جامد را با تری کلسیم آلومینات مونوسولفات را تشکیل می‌دهد.

پژوهشی قابل توجه بر روی اثر افزودنی‌های کاهنده آب گوناگون بر فازهای خالص و همچنین روی سیمان پرتلند معمولی انجام گرفته است. نکات زیر مشاهدات عمومی را به طور خلاصه وار بیان می‌کند.

۱- در حضور افزودنی کاهنده آب لیگنوسولفونات سدیم که دارای ترکیب: % ۵۷/۶ اسید لیگنوسولفونیک، % ۱۱/۶ شکرهای کاهنده، % ۱۸/۵ خاکستر می‌باشند، تاثیر منحنی تکامل حرارتی تحت شرایط هم‌دما در شکل ۲۴-۱ نشان داده می‌شود. این نتایج [۵۳، ۵۴] حاکی از آن است که در قله دوم، به عنوان مثال هیدراتاسیون فازهای C_3S و C_2S کند می‌شود، حال آنکه فازهای مذکور در قله سوم تسریع می‌گردند. بعضی نتایج برای سدیم گلوکونات [۵۵]، مقادیر حداقل به دست آمده تا پایان قله دوم می‌باشد. در نتیجه به نظر می‌رسد که افزودنی‌های کاهنده در واکنش اترنیگیت، به خصوص در تبدیل اترنیگیت به مونوسولفات دخالت می‌کند.



شکل ۲۴-۱ اثر افزودنی کاهنده آب بر روی تکامل حرارتی سیمان

فصل اول

۲- نکته‌ای که در قسمت (۱) قابل تامل است، تجزیه ترکیبات C_pA و آب در زمان‌های گوناگون در حضور یا عدم حضور گچ و کلسیم لیگنوسولفونات (CLS) است. جدول ۱۰-۱ نتایج به دست آمده را نشان می‌دهد [۵۶]. این نتایج این نظریه که لیگنوسولفونات کلسیم صرفاً تبدیل C_pA را به فرم هیدرات شده پایدار C_pAH_x به طریقی مشابه با گچ به تاخیر می‌اندازد را تقویت می‌نماید. به علاوه، سرعت تشکیل و تبدیل اترنیگیت به مونوسولفات هم به تعویق می‌افتد. این امر همچنین نشان می‌دهد که صفحات شش گوشه هیدرات‌های C_pAH_x در حضور لیگنوسولفونات کلسیم کم ضخامت هستند، که ممکن مسبب افزایش در مقاومت مشاهده شده باشند.

۳- تا جایی که به فرآورده‌های هیدراتاسیون نهایی سیمان پرتلند معمولی مرتبط است، نشانه‌ای از کالری سنجی هم دما [۵۷] وجود دارد که تفاوت خیلی اندکی در حضور یا عدم حضور افزودنی کاهنده آب لیگنوسولفونات کلسیم دارد. در این کار، حرارت در واحد آب ترکیبی هیدرات برای دو سیمان تعیین شده است. از نتایجی که در شکل ۱-۲۵ نشان داده ایم، دیده می‌شود که رابطه میان میزان حرارت به دست آمده و میزان آب ترکیبی با سیمان حفظ می‌گردد، اعم از آنکه افزودنی حضور داشته باشد یا نباشد. این کار همچنین حاکی از آن است که کندگیر شدن در مراحل اولیه با تسریعی که در زمان بعدی صورت می‌گیرد جبران می‌گردد.

۴- در حضور لیگنوسولفونات کلسیم [۵۰]، ژل هیدرات سیلیکاتی کلسیم از فازهای C_pS و C_pS تمایل به داشتن سهم بزرگتری از نوع ساختارشناسی ورق جمع شده نسبت به سیستم متناظر بدون افزودنی را دارد. این مشاهده تنها در غلظت‌های بالای لیگنوسولفونات کلسیم در ناحیه دو یا چهار برابر پیمانانه مصرفی معمولی صورت می‌گیرد. این نوع ساختارشناسی به نوعی دارای پتانسیل خشک‌شدگی (آب از دست دادگی) بیشتری از دیگر انواع هیدرات ژل C-S-H دارد و می‌تواند دلیلی بر چرایی جمع شدگی‌های گاه به گاه ناشی از خشک‌شدگی زیادی باشد که در حضور افزودنی‌های کاهنده آب مشاهده می‌گردد.

جدول ۱۰-۱ تاثیر لیگنوسولفونات کلسیم بر واکنش C_pA (بر گرفته از chatterji)

C_pA+H_2O	C_pA گچ			CLS ۰.۲% C_pA گچ				CLS ۰.۲% C_pA گچ				
	۱ روز	۱۴ روز	۳ ماه	۱ روز	۱۴ روز	۳ ماه	۱ روز	۱۴ روز	۳ ماه	۱ روز	۱۴ روز	۳ ماه
C_pA	٪۸۰	٪۲۰	۰	٪۶۰	٪۳۰	٪۲۰	٪۷۰	٪۶۰	٪۳۰	٪۸۰	٪۶۰	٪۱۰
گچ	—	—	—	٪۲۰	۰	۰	٪۲۰	٪۱۰	۰	—	—	—
C_2AH_8	٪۱۰	Trase	Trase	—	Trase	٪۱۰	۰	۰	٪۱۰	٪۱۰	٪۱۰	Trase
C_4AH_x	٪۱۰	٪۲۰	٪۲۰	—	٪۱۰	٪۱۰	۰	۰	٪۱۰	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰
C_3AH_6	Trase	٪۶۰	٪۸۰	—	—	—	—	—	—	—	٪۱۰	٪۶۰
اترنیگیت	—	—	—	٪۲۰	۰	۰	٪۱۰	٪۲۰	۰	—	—	—
مونوسولفات	—	—	—	Trase	٪۶۰	٪۶۰	Trase	٪۱۰	٪۵۰	—	—	—