

مواد افزودنے شیمیایے بتن

مترجمین:

مهندس علیرضا صالحین

مهندس رضا عسکری اصل

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..... | ۳-۲-۲ پلی اکریلیت‌ها |

| | |
|-----|---|
| 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 محبوس کننده 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 محبوس کننده 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 محبوس کننده 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 محبوس کننده 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 آب گریز 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 موینگی 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 |

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

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

| | |
|-----|---|
| ۴۴۲ | ۷-۱۳-۴ نسبت مخلوط شدگی با استفاده از کامپیوتر |
| ۴۴۳ | ۷-۱۳-۵ جنبه‌های امنیتی و بهداشتی در به کارگیری افزودنی‌ها |
| ۴۴۳ | ۷-۱۳-۶ مشکلات افزودنی‌ها - محدودیت‌ها و ناسازگاری‌ها |
| ۴۶۱ | ۷-۱۴ 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 |

تقديم به وب سایت (مرحوم)
Gigapedia
که بیشتر دانش خود را مديون
آن هستم.

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 گلوکاتون و شیر 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 دانشجو،

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، مقاوم کننده‌های 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 محتمل 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 می گردد 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 می باشد:

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

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

۳- قسمت فیلم : مجموعه ای بی نظیر و چند ساعته در رابطه با مواد افزودنی بتن و بتن های خاص..

از زمانیکه از شرکت های مختلف مواد افزودنی بتن تهیه می کردم 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 می باشد. 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 می تواند 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 می باشد. همچنین در این کتاب راهنمایی هایی برای نحوه مصرف، پیمانانه مصرفی و چگونگی استفاده از این مواد را ارائه شده است، بنابراین برای مهندسين اجرایی نیز مفید می باشد. 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 می خوانیم : بتن دیگر تنها ترکیبی از نسبت های سیمان، ماسه و سنگدانه نیست. بتن به یک ماده مهندسی تبدیل گشته که حاوی مخلوطی از افزودنی ها می باشد. گرچه این کتاب در سال ۱۹۹۹ تألیف شده است، اما اکثر مطالب آن به روز و علوم اساسی می باشند.

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 کننده ها خواهیم پرداخت. فصل سوم و چهارم به ترتیب به عامل هوازا و آب بند کننده ها تخصیص داده شده است. فصل پنجم مربوط به تسریع کننده ها می باشد.

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 شاکریت 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 سبزه علی در رابطه با این اثر تشکر نمایم.

مهندس علیرضا صالحین

مهندس رضا عسکری اصل

فصل اول

عوامل کاهنده 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.

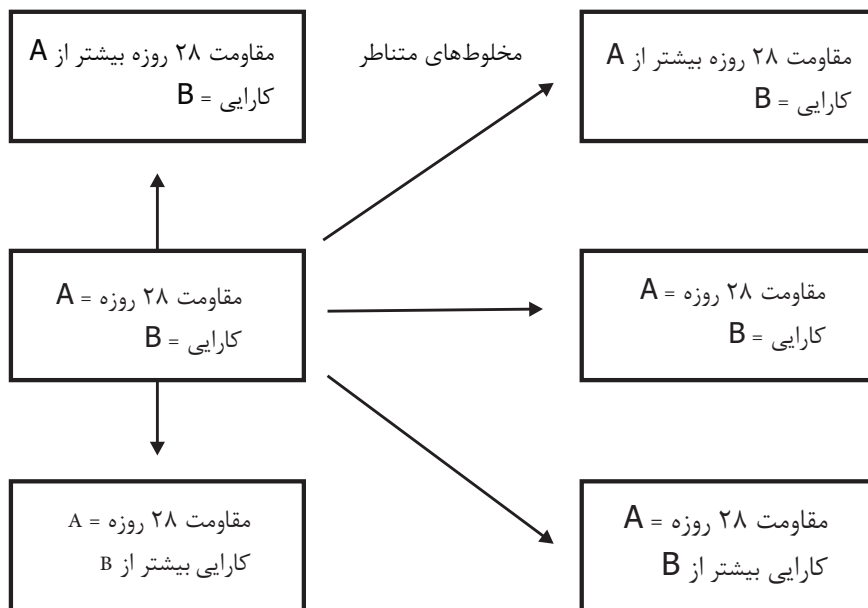
افزودنی‌های کاهنده آب معمولی این امکان را می‌دهند که نسبت آب به سیمان با یک کارایی مشخص، بدون اینکه چندان هم بر خصوصیات گیرش بتن تاثیر گذار شود، کاهش یابد. در عمل، این تاثیر به صورت زیر انجام می‌گیرد :

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.

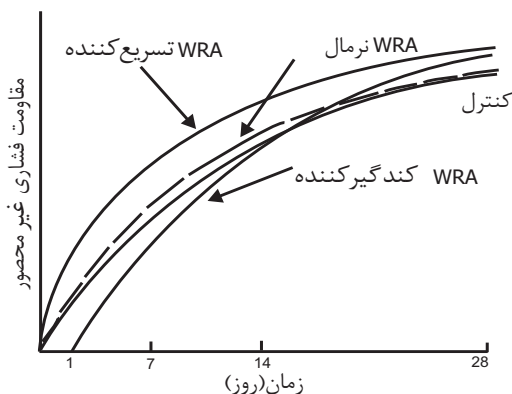
دیگر اعضای گروه افزودنی‌های آب کاهنده دارای کاربردهایی هستند که نمی‌توان آنها را از ملاحظات

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 روکشگر (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.

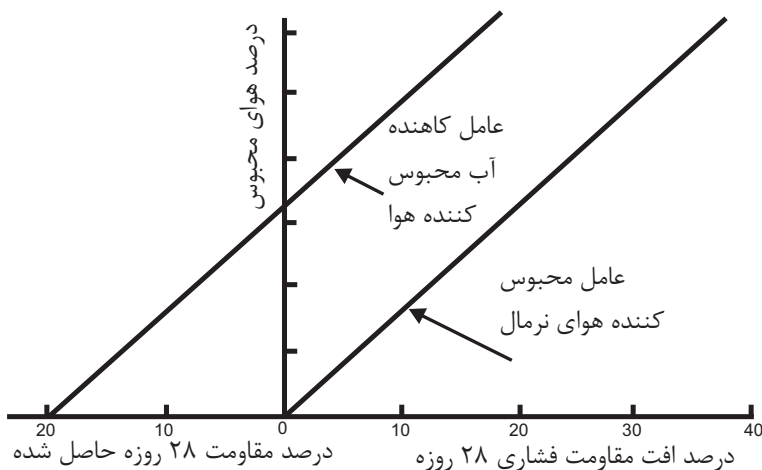
افزودنی‌های کاهنده‌ی آب دیرگیر کننده هم به صورت مشابه با مواد «معمولی» رفتار می‌کنند. اغلب با ترکیب شیمیایی مشابهی استفاده می‌شوند و سطح پیمانه مصرفی بالاتری قرار دارند، اما از طرفی مدت زمانی را که طی آن بتن در حالت شکل‌پذیر است را افزایش می‌دهد. این به آن معناست که زمان برای حمل و نقل، جابه‌جایی، تخلیه 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 ۱-۲ 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 ۱-۲ 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 ۱-۳ 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 ۱-۳ تاثیر محبوس شدن هوا بر روی مقاومت فشاری بتن حاوی عامل محبوس کننده هوای کاهنده‌ی آب و یک عامل محبوس کننده هوای معمولی

۱-۲ 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، فرایندهای 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 | | | |
|--|--|--|---|
| محبوس 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]

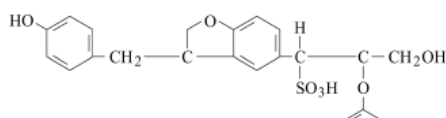
مولکول لیگنوسولفونات یک واحد جایگزین شده فنیل پروپان حاوی گروه‌های هیدروکسیل، کربوکسیل، متوکسی و اسید سولفونیک [۱۳-۱۵] است. این یک نمایش محتمل پلیمری از واحدهای تکراری نشان داده شده در شکل ۱-۴ است. این پلیمرها نوعاً دارای وزن مولکولی میانگین حدود ۲۰ تا ۳۰۰۰ در بازه ای که از چند صد تا ۱۰۰۰۰۰ متغیر می‌باشند [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

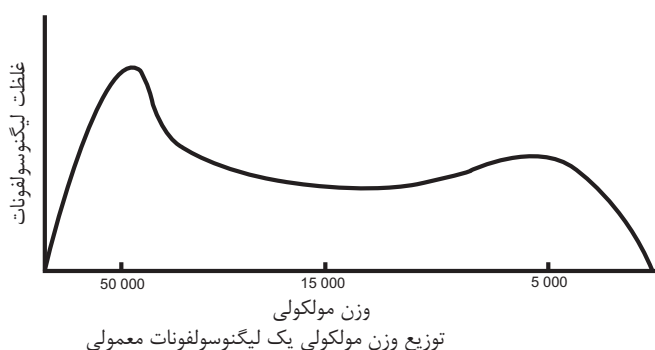
نام‌های فوق فیلتراسیون، عملیات حرارتی در PH مشخص و تخمیر استفاده می‌شوند. تا به حال دریافته‌ایم که [۱۷] پلیمر لیگنوسولفونات یک گروه منعطف خطی نمی‌باشد. چنانکه در بسیاری موارد وزن مولکولی سطح بالا داشته‌ایم، بلکه این پلیمر لیگنوسولفونات میکروژل‌های کروی، از نوع نشان داده شده در شکل ۶-۱ را تشکیل می‌دهد. 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 |

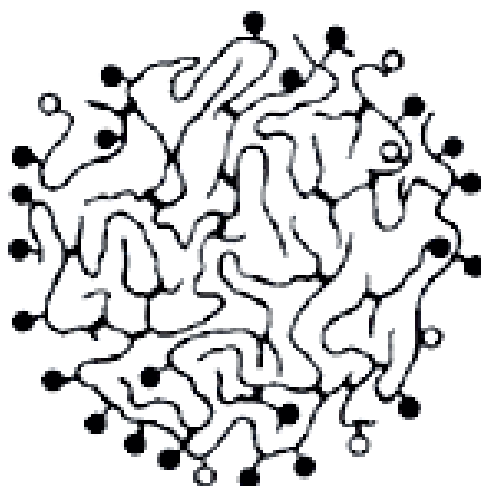
جدول ۲.۱ تحلیل‌های متداول از افزودنی‌های کاهنده آب لیگنوسولفوناتی (بر گرفته از Edmeades)



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

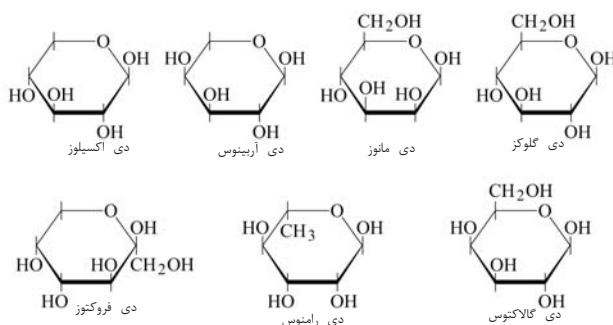
#### شکل ۶-۱ نمایش شماتیک یک واحد میکروژل پلی الکترولیت

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 میکروارگانیسم‌های 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 (برگرفته از Joisel و Mouton)

| تحلیلی از شکرها در مواد لیگنوسولفوناتی |                        |         |                    |
|----------------------------------------|------------------------|---------|--------------------|
| ماده<br>میزان شکر                      | سولفات فلزا<br>عادی ۳۰ |         | افزودنی های تخمیری |
|                                        |                        | A ۱۰.۲  | B ۵.۴              |
| Composition of sugars (%)              | ۱۵} ۲۱                 | ۵۵} ۷۰  | ۶۰} ۷۴             |
| Pentoses Xylose + acid                 | ۶                      | ۱۶      | ۱۴                 |
| Arabinose                              |                        |         |                    |
| Hexoses mannose                        | ۴۸ } ۷۵                | ۱۶ } ۳۰ | ۱۱ } ۲۶            |
| Glucose                                | ۱۵                     | ۱۴      |                    |
| Fructose                               |                        |         |                    |
| Rhamnose                               | ۲                      |         | ۱۵                 |
| Galactonse                             |                        |         |                    |
| Others                                 | ۱۰                     |         |                    |
|                                        | ۴                      |         |                    |



### 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، نیتрат، 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

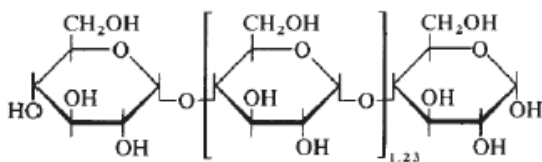
همان‌طور که از نام آن‌ها هم بر می‌آید، در این مواد شیمیایی ارگانیک (آلی) که هم گروه‌های هیدروکسیل و هم کربوکسیل را در مولکول‌هایشان دارند، عموماً نمک سدیم استفاده می‌شود، گرچه گاه گاهی مواد به عنوان نمک‌های آمونیا یا تری اتانولامین هم پیدا می‌شوند. این مواد از منابع مواد خام خالص، یا با ابزار شیمیایی 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.



| ماکیک اسید                                                                           | تارتاریک اسید                                                                                             | اسید سیتریک                                                                     | کاربرد گروه های OH<br>وزن مولکولی<br>فرمول                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۴<br>۲۱۰<br>COOH<br>H-C-OH<br> <br>HO-C-H<br> <br>H-C-OH<br> <br>H-C-OH<br> <br>COOH | ۳<br>۱۵۰<br>COOH<br> <br>H-C-OH<br> <br>HO-CH<br> <br>COOH                                                | ۱<br>۱۹۲<br>CH <sub>2</sub> COOH<br> <br>HO-C-COOH<br> <br>CH <sub>2</sub> COOH | ۱<br>۱۹۲<br>فرمول                                                                               |
| مالیک اسید                                                                           | هیتونیک اسید                                                                                              | سالیسیلیک اسید                                                                  | گلوتنیک اسید                                                                                    |
| ۱<br>۲<br>۱۳۴<br>HO-CH-COOH<br> <br>CH <sub>2</sub> COOH                             | ۶<br>۲۳۰<br>H-C-OH<br> <br>HO-C-H<br> <br>H-C-OH<br> <br>HO-C-H<br> <br>HO-C-H<br> <br>CH <sub>2</sub> OH | ۱<br>۱۳۸<br>COOH<br> <br>OH<br> <br>Cyclohexane ring                            | ۵<br>۱<br>۱۹۶<br>H-C-OH<br> <br>HO-C-H<br> <br>H-C-OH<br> <br>H-C-OH<br> <br>CH <sub>2</sub> OH |

شکل ۸-۱ اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک 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 پیمان‌ه مصرفی پایین و افزودنی‌های کاهنده آب درگیر کننده در پیمان‌ه‌های 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

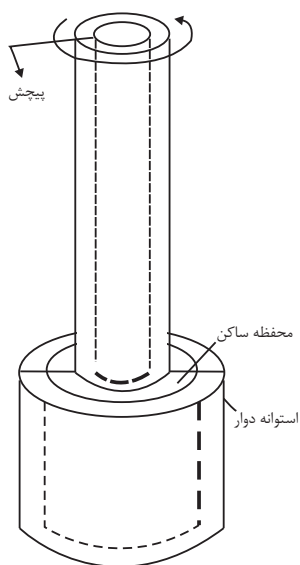
محبوس کننده هوایی را بدهند که ممکن است درگیر کننده باشد یا نباشد (بسته به اینکه میزان نمک اسید هیدروکسی کربوکسیلیک موجود در فرمولاسیون به چه اندازه باشد).

### ۳-۲-۱ پلیمرهای هیدروکسیل شده

پلیمرهای هیدروکسیل شده از پلی ساکاریدهای طبیعی به مانند نشاسته غلات استخراج می شوند، 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 می دهد. برخلاف گلوکز مونوساکارید، این مواد تحت شرایط قلیایی از یک ترکیب حاوی سیمان پایدار هستند و به عنوان عوامل کاهنده آب موثر رفتار می کنند. قطعاً این مواد به هنگامی که ترکیب شوند در درگیر کنندگی بتن سهم دارند و می توان 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 افزودنی های کاهنده آب در اکثر محصولات تجاری در دسترس هستند، اما ممکن است که کاربرد اینستئول [۲۸]، پلی اکریلامید [۲۹]، اسیدهای پلی اکریلیک [۳۰] و پلی گلیسرول محدود شده باشد. به منظور فهم عمیق تر از تاثیر افزودنی های 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 می تواند سودمند باشد. عناوینی که با این نگاه می توان پی گیری نمود عبارتند از: (الف) اثرات تغییر شکل و سطح اولیه، و (ب) اثرات بر روی فرآورده های هیدراتاسیون محلول و غیر محلول و سرعت هیدراتاسیون.

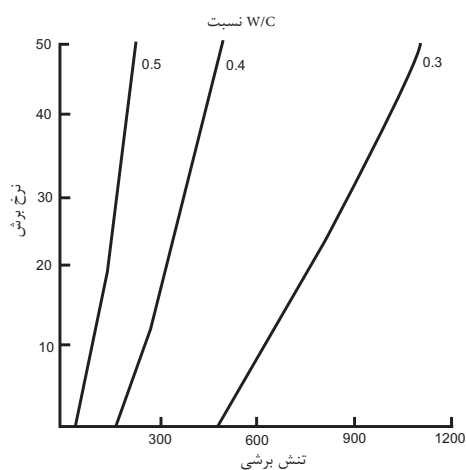
### ۳-۳-۱ ملاحظات مربوط به تغییر شکل (Rheological Consideration)

برخی خصوصیات بتن تازه را می توان 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 می توان 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 نسبت های گوناگون آب به سیمان، در شکل ۱۱-۱ به صورت نمودار ترسیم شده است و نتایج حاصل از قرائت های تنش برشی همزمان با اینکه سرعت برش افزایش داده می شود، (منحنی بالا) به دست آمده است. سیستم هایی که دارای ارتباط های سرعت تنش - برش خطی هستند و با محور تنش برشی تقاطع دارند، اصطلاحاً جریان شکل پذیر از خود نشان می دهند، و مقدار تقاطع به عنوان «تنش تسلیم» شناخته می شود. 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

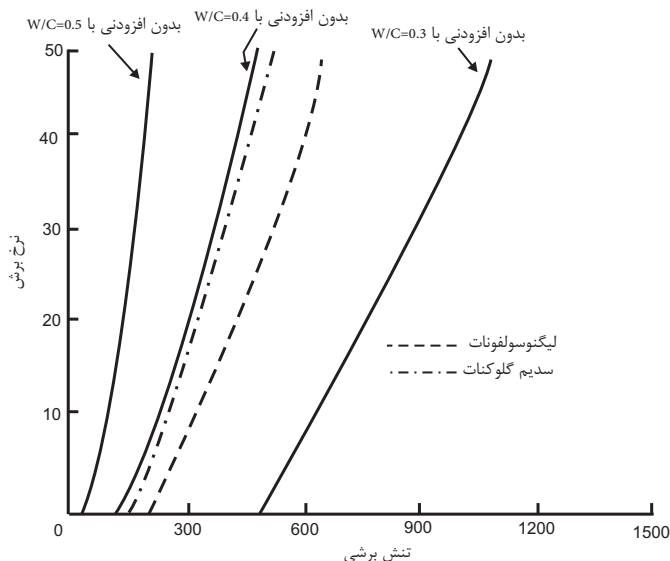


شکل ۱۱-۱ روابط نرخ برش - تنش - برش برای خمیرهای سیمان در نسبت‌های گوناگون آب به سیمان

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 ۱-۱۲ 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 ۱-۱۲ داریم، استفاده از مواد لزج با به هم چسبندگی به عنوان ابزاری برای ارزیابی و مطالعه افزودنی‌های کاهنده آب مفید می‌باشد، و شکل‌های ۱-۱۳ و ۱-۱۴ به ترتیب اثرات اضافه شدن سطوح دو افزودنی کاهنده آب بر ویسکوزیته سیمان و اثرات دو ماده در پیمانه‌های مصرفی معمول نسبت‌های آب به سیمان گوناگون را نشان می‌دهد. این اطلاعات حاکی از آن است که کاهش‌های آب محتمل از دو نوع عوامل کاهنده آب متفاوت هستند و وابسته به نسبت آب به سیمان در سیستم می‌باشد. نتایج معمول در جدول ۱-۴ 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 ۱-۱۲ روابط نرخ برش - تنش - برش برای خمیرهای سیمانی حاوی عوامل کاهنده آب متنوع