# افزودني هاي شيميايي بتن

## مشخصات فني و لزوم استفاده از آنها

## بخش دوم: كاهنده هاي آب

۲- مقدمه

سيمان براي آبگيري[۱] كامل خود به ۲۳ تا ۲۷ درصد وزني آب نياز دارد[1]. آب مصرفي اضافي در مخلوط بتن صرف ايجاد رواني و كارآيي مي‌شود. محبوس شدن آب اضافي در بتن منجر به پيدايش حفره‌ها و حباب‌هاي بزرگ در بتن سخت شده مي‌شود و كاهش مقاومت‌هاي مكانيكي و پايايي (دوام) بتن را به همراه دارد. از سوي ديگر، توليد و به كارگيري بتن با حداقل آب، باعث افزايش مشكلات و هزينه‌هاي اجرايي مي گردد.

راهكار رايج، اقتصادي و آسان براي حل اين معضلات، استفاده از افزودني‌هاي كاهنده آب است كه از دهه ۱۹۳۰ ميلادي به كار گرفته شده اند.

واژه هاي كليدي : افزودني ، روان كننده، فراوان كننده، فوق روان كننده، كاهنده آب

### ۲-۱ - تعريف

افزودني‌هاي كاهنده آب[۲] مواد آلي و يا تركيبي از مواد آلي و معدني هستند كه براي افزايش روانی بتن در مقدار آب معين، يا كاهش مقدار آب مصرفي با حفظ رواني، و يا هر دو به كار مي‌روند.

برخي از اين افزودني‌ها ممكن است داراي تاثيرات جانبي كُندگيري، زودگيري، زود سختكنندگي يا هوازايي در بتن

---

۱ Hydration

۲ Water reducer admixtures

باشند که در هنگام مصرف بایستي در نظر گرفته شوند. ترکیبات و فرآیندهاي مختلفي براي تولید کاهنده‌هاي آب به کار مي‌روند که مي‌توانند منجر به خواص جانبي گوناگون شوند. با اصلاح ساختار برخي از افزودني‌هاي کاهنده آب که داراي اثر کندگیري هستند، مي‌توان آنها را به کاهنده‌هاي آب خنثي یا حتي زودگیر تبدیل کرد یا اثر هوازایي آنها را به غیر هوازایي و در مواردي حتي هوازدایي (کاهش مقدار هوا) تغییر داد.

**۲-۲ - دسته‌بندي**

افزودني‌هاي کاهنده آب به سه گروه اصلي و هر گروه نیز بسته به خواص جانبي خود به دسته‌هاي دیگري تقسیم مي‌شوند.

**۲-۲-۱ - روانکننده‌ها**

روانکننده‌ها[۱] که نخستین گروه کاهنده‌هاي آب هستند و کاربرد آنها از دهه ۱۹۳۰ میلادي آغاز شده است[2]، بسته به خواص جانبي خود و بر اساس استاندارد ASTM C۴۹۴ به دسته‌هاي زیر تقسیم مي‌شوند:

- روانکننده (کاهنده آب) معمولي (Type A)
- روانکننده (کاهنده آب) کندگیر (Type D)
- روانکننده (کاهنده آب) زودگیر (Type E)

روانکننده‌ها در بسیاري از پروژه‌هاي کوچك و بزرگ و به ویژه در بتن‌هاي حجیم مانند بدنه سدها و تولید قطعات بزرگ بتني به کار مي‌روند و مي‌توان آنها را پرمصرفترین کاهنده‌هاي آب به شمار آورد. این افزودني‌ها در مقادیر مصرف متعارف، مقدار آب اختلاط بتن را ۵ تا ۱۲ درصد کاهش مي‌دهند و در مقادیر زیاد

---

[۱] Plasticizers

مصرف ممکن است تاثیرات جانبي همچون کندگيري بيش از اندازه يا هوازايي داشته باشند. به همين دليل دامنه مقدار مصرف آنها محدود است. اين افزودني‌ها با نام‌هاي پلاستي‌سايزر، کاهنده آب يا روان‌کننده بتن عرضه و مصرف مي‌شوند.

**۲-۲-۲ - فوق روان‌کننده‌ها**

فوق‌روان‌کننده‌ها[۱] که دومين گروه کاهنده‌هاي آب هستند و از دهه ۱۹۵۰ مورد استفاده قرار گرفته‌اند با عنوان بساکاهنده‌هاي آب[۲] شناخته مي‌شوند. فوق‌روان‌کننده‌ها بر اساس استانداردهاي ASTM C۴۹۴ & C۱۰۱۷ به دو دسته زير تقسيم مي‌شوند:

- فوق روان‌کننده معمولي (ASTM C۴۹۴: Type F)[۳]
- فوق روان‌کننده کندگير (ASTM C۴۹۴: Type G)[۴]

اين افزودني‌ها در مقادير مصرف متعارف، مقدار آب اختلاط بتن را ۱۲ تا ۲۵ درصد کاهش مي‌دهند و نسبت به روان‌کننده‌ها تاثيرات جانبي کمتري دارند ولي برخي از آنها در مقادير مصرف بيش از اندازه[۵] موجب کندگيري يا هوازايي مي‌شوند. عموما فوق روان‌کننده‌ها در مقادير مصرف خيلي کم، رواني کمتري نسبت به روان‌کننده‌ها (در مقدار مصرف يکسان) ايجاد مي‌کنند.

نکته ۲-۱ - به دليل اثرات نامطلوب مصرف بيش از اندازه روان‌کننده‌ها، نمي‌توان آنها را در مقادير زياد به جاي فوق روان‌کننده‌ها به کار برد.

---

۲ Super plasticizers

۳ High range water reducers

۴) مطابق با ASTM C۱۰۱۷: Type I

۵) مطابق با ASTM C۱۰۱۷: Type II

۱ Over dosage

نكته ۲-۲ - در مقادير مصرف بيش از اندازه فوق روان‌كننده‌ها در مخلوطهاي بتن با دانه‌بندي نامناسب، ممكن است جداشدگي و آب‌انداختگي افزايش يابد.

**۲-۲-۳ - فراروان‌كننده‌ها (Ultra high range water reducers)**

اين افزودني‌ها كه سومين گروه كاهنده‌هاي آب هستند از دهه‌ي ۱۹۹۰ ميلادي مورد استفاده قرار گرفته‌اند و با نام‌هاي فوق روان‌كننده توانمند[۱] يا ابرروان‌كننده نيز شناخته مي‌شوند. هرچند اين افزودني‌ها ويژگي‌هاي منحصر به فردي نسبت به فوق روان‌كننده‌ها دارند ولي در حال حاضر در همان دسته‌بندي فوق روان‌كننده‌ها يعني ASTM C۴۹۴: Type F & G و ASTM C۱۰۱۷: Type I & II جاي مي‌گيرند.

اين افزودني‌ها مقدار آب اختلاط بتن را بيش از ۲۵ درصد كاهش مي‌دهند. اين دسته از افزودني‌ها نسبت به روان‌كننده‌ها و فوق روان‌كننده‌ها تاثيرات جانبي كمتري دارند. عموما فراروان‌كننده‌ها در مقادير مصرف كم، تاثير روان‌كنندگي بيشتري نسبت به فوق روان‌كننده‌ها (در مقدار مصرف يكسان) دارند. ويژگي‌هاي منحصر به فرد اين افزودني‌ها از جمله توليد بتن‌هاي توانمند، خودتراز، خودمتراكم و با مقاومت‌هاي خيلي زودرس و خيلي زياد از يك سو و صرفه‌جويي در انرژي مصرفي، كاهش هزينه‌هاي اجرايي و سازگاري زيست‌محيطي از سوي ديگر، باعث گسترش روز افزون كاربرد آنها در كشورهاي مختلف جهان شده است.

نكته ۲-۳ - فرآيند توليد اين افزودني‌ها اين امكان را فراهم مي‌آورد كه بر اساس نياز هر صنعت يا مشخصات فني و شرايط اجرايي هر پروژه، فراروان‌كننده‌اي سازگار و مناسب توليد كرد.

---

[۲] High performance super plasticizer

نكته ۲-۴ - مراكز تحقيقاتي جهان، شركت‌هاي توليدكننده افزودني‌هاي بتن و سازمان‌هاي مرتبط با صنعت ساخت و ساز همواره در جستجوي يافتن مواد شيميايي جديد با كارآيي و تاثير بهتر بر عملكرد مخلوطهاي بتني هستند و احتمال پيدايش و عرضه محصولات جديد همچنان وجود دارد.

نكته ۲-۵ - با توجه به خاصيت پخش‌كنندگي بسيار زياد فراروان‌كننده، تاثير آن بر احتمال جداشدگي و آب‌انداختگي در مخلوطهاي بتن با دانه‌بندي نامناسب به مراتب بيشتر از ساير كاهنده‌هاي آب است.

### ۲-۳ - مكانيزم عملكرد كاهنده‌هاي آب

كاهنده‌هاي آب از نوع افزودني‌هاي با عملكرد فيزيكي هستند و تاثيري مستقيمي بر فرآيند آبگيري سيمان ندارند. بخش اصلي افزودني‌هاي كاهنده‌ي آب، عوامل اثركننده بر سطح[۱] موادي هستند كه در سطح مشترك بين دو فاز آميخته نشدني متمركز مي‌شوند و نيروهاي فيزيكي شيميايي موثر بر اين سطح را تغيير مي‌دهند. در مخلوطي كه از مواد كاهنده آب استفاده نشود، ذرات سيمان به يكديگر مي‌چسبند و لخته مي‌شوند. مكانيزم كلي عملكرد اين افزودني‌ها، كاهش نيروهاي جاذبه بين ذرات و كمك به جدايش و بهبود پخش‌شوندگي دانه‌هاي سيمان از يكديگر است. اين مكانيزم علاوه بر فراهم كردن حركت آزادانه ذرات سيمان به دليل جدايش آنها از يكديگر، آب محبوس در لخته‌هاي سيماني را نيز آزاد و صرف بهبود رواني مخلوط بتن مي‌كند.

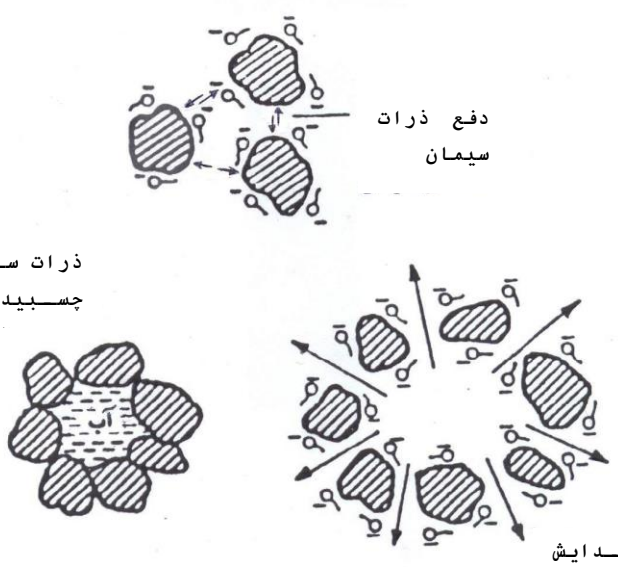
---

[۱] Surfactants (Surface active agents)

روان‌کننده‌ها به یکي از شیوه‌هاي زیر نیروي جاذبه بین ذرات سیمان را کاهش مي‌دهند و به پراکنده‌شدن آنها کمك مي‌کنند[7]:

- کاهش کشش بین سطحي
- جذب چندلایه‌اي مولکول‌هاي آلي
- افزایش پتانسیل الکتروسینماتیکي
- ایجاد لایه‌اي از مولکول‌هاي آب احاطه‌کننده ذرات
- تغییر در ساختار ترکیبات هیدراته شده سیمان

مکانیزم کلي عملکرد فوق‌روان‌کننده‌ها، جدایش و پراکندن دانه‌هاي سیمان از یکدیگر به کمك نیروهاي دافعه[1] ناشي از بارهاي الکتروستاتیکي است[3]. در بتن و ملات، دانه‌هاي سیمان و سنگدانه در اثر ترکیب با آب داراي بار سطحي الکتروستاتیکي مي‌شوند، ذرات سیمان در این حالت تمایل دارند که به یکدیگر بچسبند[2]. فوق‌روان کننده‌ها در زمان اختلاط، جذب سطح دانه‌هاي سیمان مي‌شوند و به آنها بار منفي مي‌دهند که منجر به ایجاد نیروي دافعه بین ذرات سیمان و پراکندن آنها مي‌شوند. این اثر به نام "پخش‌کنندگي"[2] شناخته مي‌شود. مکانیزم پخش‌کنندگي الکتروستاتیکي علاوه بر پخش کردن دانه‌هاي سیمان، آب محبوس در لخته‌هاي سیماني را نیز آزاد و صرف بهبود رواني مخلوط بتن مي‌کند (شکل ۲-۱)[4].




۱ Repulsion forc
۲ Dispersion

**شكل ۲-۱ - مكانيزم عملكرد كاهنده‌هاي آب بر اساس نيروي دافعه الكتروستاتيكي و آزاد كردن آب محبوس در لخته‌هاي سيماني**

فراروان‌كننده‌ها با توجه به ساختار مولكولي و با استفاده از همان اصل بارهاي الكتروستاتيكي نه تنها ذرات سيمان را بهتر از روان‌كننده‌ها و فوق‌روان‌كننده‌ها پخش مي‌كنند (تاثير اوليه) بلكه به دليل داشتن شاخه‌هاي جانبي در زنجيره مولكولي، از جذب شدن ذرات سيمان پخش شده نيز ممانعت به عمل مي‌آورند (تاثير ثانويه). تاثير ثانويه فراروان‌كننده‌ها در اصطلاح شيميايي "ممانعت فضايي"[۱] ناميده مي‌شود[3] كه به دليل ساختار و آرايش مولكول‌ها يا اتم‌هاي مجاور يكديگر ايجاد مي‌شود[5].

**۲-۴ - تركيبات شيميايي و مواد تشكيل‌دهنده**

تركيبات موادي كه بعنوان كاهنده آب به‌كار مي‌روند، معمولاً شامل مواد شيميايي زير هستند كه ممكن است به تنهايي و يا در تركيب با ساير مواد آلي و غيرآلي، فعال و يا خنثي مورد استفاده قرارگيرند.

**۲-۴-۱ - روان‌كننده‌ها**

گستره‌ي وسيعي از مواد روان‌كننده با ويژگي‌ها و خواص جانبي گوناگون توليد و ارايه مي‌شوند كه بخش اصلي مواد تشكيل‌دهنده آنها عبارتند از[2], [6], [7]:

---

[۱] Steric hindrance

- مشتقات و تركيبات اسيد ليگنوسولفونيك و نمك‌هاي آنها (ليگنوسولفونات‌ها[1]).
- مشتقات و تركيبات اسيد هيدروكسي كربوكسيليك[2] و نمك‌هاي آنها.
- پليمرهاي هيدروكسيل‌دار[3]
- مواد غير يوني اثركننده بر سطح

**۲-۴-۲ - فوق‌روان‌كننده‌ها**

بخش اصلي مواد تشكيل دهنده فوق روان‌كننده عبارتند از *[2], [6], [7]*:

- ليگنوسولفونات‌هاي اصلاح‌شده[4]
- نمك‌هاي تغليظ شده ملامين سولفونات (ملامين فرم آلدهيد سولفوناته[5]).
- نمك‌هاي اسيد نفتالين سولفونيك تغليظ شده با وزن ملكولي بالا (نفتالين فرم آلدهيد سولفوناته[6]).
- ساير پليمرهاي مصنوعي مانند پلي‌استايرن سولفوناته[7]، پليمرهاي هيدروكسيل‌دار، و برخي از كوپليمرهاي محلول در آب[8]، يا تركيبي از آنها.

**۲-۴-۳ - فراروان‌كننده‌ها**

فراروان‌كننده‌ها عمدتا بر پايه پليمرهای مصنوعي زير هستند:

---

۲ Lignosulfonate

۳ Hydroxycarboxilic acid

۴ Hydoxilated polymers

۵ Modified lignosulfonates

۶ Sulfonated melamine - formaldehyde

۱ Sulfonated naphthalene - formaldehyde

۲ Sulfonated polystyrene

۳ Copolymer dispersions

- پلی‌کربکسیلیک اتر، اسید اکریلیک، متوکسی پلی اتیلن، و انیدرید مالییک.
- کوپلیمرهاي کربوکسیلیك آکریلیك استر.

**۵-۲ - کاربرد**

افزودني‌هاي کاهنده آب پاسخگوي نیازهاي متعددي در کارگاه هستند که از آن جمله مي‌توان به کاهش آب بتن، تولید بتن با مقاومت زیاد، صرفه‌جویي در مصرف سیمان بدون کاهش مقاومت بتن، افزایش کارآیي بتن بدون افزودن آب، بهبود خواص بتن‌هایي که داراي سنگدانه‌هاي خشن و یا دانه‌بندي نامناسب هستند، سهولت در پمپاژ، بتن‌ریزي در مکانهایي که دسترسي کمتري دارند، و یا ترکیبي از موارد فوق اشاره کرد[6].

رواني بتن که با اسلامپ سنجیده مي‌شود، براي بتني با نسبت‌ها و اجزاي معین، به مقدار آب اختلاط بستگي دارد[1]. عملکرد اصلي افزودني‌هاي کاهنده‌ي آب، توانایي آنها در کاهش مقدار آب اختلاط است. بر اساس این عملکرد مي‌توان کاربرد آنها را به سه شیوه در بتن مورد بررسي و ارزیابي قرار داد.

- با مصرف کاهنده آب ضمن ثابت نگهداشتن مقدار سیمان و رواني بتن، مي‌توان مقدار آب اختلاط و در نتیجه نسبت آب به سیمان را کاهش داد (اثر کاهندگي آب اختلاط) و به بتني با رواني یکسان و مقاومت مکانیکي بیشتر از بتن شاهد (بدون افزودني) دست یافت.
- با مصرف کاهنده آب، ضمن ثابت نگهداشتن مقدار آب و سیمان بتن، رواني و کارآیي بتن افزایش مي‌یابد (اثر روان‌کنندگي).

- در برخي بتن‌ها با مصرف كاهنده آب ضمن ثابت نگهداشتن رواني و نسبت آب به سيمان، مي‌توان آب اختلاط و مقدار سيمان اضافي را كاهش داد.

دستيابي به برخي بتن‌هاي ويژه مانند بتن خودتراز، بتن خودتراكم، بتن‌هاي با مقاومت خيلي زودرس و بي‌نياز از بخاردهي، بتن خيلي روان و بتن توانمند بدون استفاده از افزودني‌هاي كاهنده آب به ويژه روان‌كننده‌ها و فراروان‌كننده‌ها در حال حاضر بسيار پرهزينه و در مواردي غير ممكن است. اگرچه به نظر مي‌رسد با افزايش مقدار سيمان مصرفي مي‌توان به برخي از اين ويژگي‌ها دست يافت ولي افزايش بيش از اندازه سيمان به دليل تمايل ذرات سيمان به لخته‌شدن و افزايش چسبندگي بيش از اندازه مخلوط و افزايش مشكلات اجرايي از يك سو و افزايش تغيير شكل‌هاي درازمدت بتن سخت‌شده (جمع‌شدگي و خزش) از سوي ديگر، نه تنها از نظر فني راهكار مناسب و كارآمدي نيست بلكه بسيار غيراقتصادي هم هست. براي دستيابي به اين ويژگي‌ها، فراروان‌كننده‌ها به دليل تاثيرات جانبي كمتري كه نسبت به روان‌كننده‌ها و فوق روان‌كننده‌ها دارند، كاربرد گسترده‌تري دارند.

### ۲-۶ - تاثير كاهنده‌هاي آب بر ويژگي‌هاي بتن تازه

افزودني‌هاي كاهنده آب علاوه بر كاهش مقدار آب مخلوط بتن تازه، بر برخي ديگر از خواص آن نيز تاثير مي‌گذارند.

#### ۲-۶-۱ - زمان گيرش

زمان گيرش بتن به تركيبات شيميايي و اندازه ذرات سيمان، دما و نسبت آب به سيمان بستگي دارد. در بتني با دما و نسبت آب به سيمان معين، كاهنده‌هاي آب به دليل پخش‌كردن ذرات سيمان و به تاخير انداختن به هم

چسبيدن و لخته‌شدن ذرات و محصولات آبگيري سيمان به يكديگر (كندگيري فيزيكي)، گيرش اوليه و نهايي بتن را به تاخير مي‌اندازند. از سوي ديگر، پخش‌شدن ذرات سيمان امكان آبگيري بهتر و همه جانبه‌ي آنها را فراهم مي‌كند كه مي‌تواند تسريع واكنش و توليد محصولات آبگيري را به دنبال داشته باشد. بنابراين هر چقدر كه قدرت پخش‌كنندگي افزودني‌هاي كاهنده آب بيشتر باشد (از روان‌كننده به فراروان‌كننده) تاثير كندگيري آنها كاهش مي‌يابد.

برخي از روان‌كننده‌ها مانند ليگنوسولفونات‌ها و اسيدهاي هيدروكسي كربوكسيليك در مقادير مصرف متعارف و در دماهاي ۱۸ تا ۳۸ درجه سانتيگراد معمولاً ۱ تا ۳ ساعت تاخير در گيرش بتن بوجود مي‌آورند[2]. با افزايش مقدار مصرف روان‌كننده‌ها، تاخير در زمان گيرش بتن نيز افزايش مي‌يابد. اغلب فوق روان‌كننده‌ها در مقادير مصرف متعارف، كندگيري قابل توجهي ندارند و يا كندگيري آنها كاملاً كنترل شده است. در بتن‌هايي كه با سيمان نوع ۵ ساخته مي‌شوند و داراي فوق‌روان‌كننده هستند، صرفنظر از نسبت آب به سيمان و نوع فوق‌روان‌كننده مصرفي، زمان گيرش اوليه و نهايي حدود يك ساعت افزايش مي‌يابد[8]. بعضی از فراروان‌كننده‌ها زمان گيرش نهايي بتن را كاهش مي‌دهند [3].

**۲-۶-۲ - هوازايي**

برخي از روان‌كننده‌ها كشش سطحي آب را كاهش مي‌دهند و مقداري حباب هوا در بتن ايجاد مي‌كنند. ليگنوسولفونات‌ها شناخته شده‌ترين كاهنده‌هاي آب هستند كه خاصيت هوازايي دارند. مقدار هواي وارده توسط اين مواد معمولاً بين ۲ تا ۶ درصد متغير است، اگرچه مقادير بيشتر نيز تا كنون گزارش شده است[6]. هوازايي

روان‌کننده‌ها را می‌توان با اصلاح فرمول شیمیایی کنترل کرد[6] ، معمولاً لیگنوسولفونات‌های اصلاح‌شده کمتر از یک درصد حباب هوا ایجاد می‌کنند. فوق‌روان‌کننده‌ها و فراروان‌کننده‌ها اصولاً خاصیت هوازایی ندارند ولی ممکن است روی توان هوازایی برخی از سیمان‌ها و مواد هوازا تاثیرگذار باشند و باعث تغییر در میزان هوای بتن شوند[6]. افزایش روانی مخلوط بتن به ازدیاد تشکیل حباب‌های هوا در حین اختلاط کمک می‌کند ولی بتن‌های دارای فوق‌روان‌کننده در مقایسه با بتن شاهد (با روانی یکسان)، فرصت خروج آسان‌تر حباب‌های هوای محبوس را در حین عملیات انتقال و بتن‌ریزی فراهم می‌کنند. فوق‌روان‌کننده‌های بر پایه ملامین در مقایسه با نوع نفتالینی نه تنها هوای محبوس کمتری ایجاد می‌کنند بلکه افت مقدار هوای سریع‌تری نیز دارند[2]. فراروان‌کننده‌ها عموما خاصیت هوازایی ندارند و پس از اتمام اختلاط بتن به دلیل سهولت حرکت اجزای بتن، موجب جابجایی و جایگیری ذرات در درون فضای خالی بین یکدیگر می‌شوند و حباب‌های هوای محبوس را به سطح بتن می‌رانند.

افزودنی‌های کاهنده آب در بتن‌های هوازایی شده، پایداری حباب‌های هوا را بهبود می‌بخشند و میزان تاثیر و راندمان افزودنی‌های هوازا را افزایش می‌دهند[2].

**۳-۶-۲ - کارآیی**

کارآیی[۱] خصوصیتی از بتن یا ملات تازه است که آسانی یا دشواری اختلاط، ریختن، تراکم و پرداخت کردن آن را بیان می‌کند[11]. موضوع کارآیی همواره در بتن‌ریزی‌ها مطرح می‌شود ولی در حال حاضر ابزار مناسبی برای سنجش

---

[۱] Workability

كارآيي در كارگاه‌ها وجود ندارد. معمولاً رواني بتن كه به وسيله آزمايش اسلامپ اندازه‌گيري مي‌شود ملاكي براي توصيف كارآيي بتن به شمار مي‌آيد در حالي كه ممكن است دو نمونه با رواني يكسان، داراي كارايي متفاوتي باشند. بتن‌هاي محتوي افزودني‌هاي كاهنده آب معمولاً كارآيي بهتري از خود نشان مي‌دهند و ميل به قالب پذيري و پرداخت سطح آنها بهتر از بتن‌هاي با رواني مشابه ولي بدون افزودني است. اين موضوع به ويژه در مورد بتن‌هاي سفت (با اسلامپ خيلي كم) نمايان‌تر است.
بتن محتوي اين افزودني‌ها تمايل كمتري به جداشدگي نشان مي‌دهد[9] و در هنگام لرزاندن مي‌توان رواني و تحرك بهتر اجزا را مشاهده نمود ضمن اين كه كارآيي بهتر اين نوع بتن، نياز به لرزاندن را كاهش مي‌دهد و صرفه جويي قابل توجهي در مصرف انرژي و نيروي انساني پديد مي‌آورد.
هوازايي برخي از كاهنده‌هاي آب كه به عنوان يك اثر جانبي مطرح مي‌شود، در مخلوط‌هاي بتن با ريزدانه ناكافي مي‌تواند چسبندگي داخلي بين دانه‌هاي سنگي را تا حدودي افزايش دهد (به فصل هوازاها مراجعه شود) و حالت خميري و كارآيي بتن را بهبود بخشد.

**۴-۶-۲ - آب انداختگي**

تاثير همه افزودني‌هاي كاهنده آب بر آب‌انداختگي يكسان نيست، به عنوان مثال نمك‌هاي اسيد هيدروكسي كربوكسليك موجب افزايش آب انداختگي مي‌شوند در حالي كه مشتقات و تركيبات اصلاح شده آنها تاثيري بر پديده آب انداختگي ندارند. ليگنوسولفونات‌ها و مشتقات آنها آب انداختگي بتن تازه را كاهش مي‌دهند كه بخشي از اين خاصيت آنها به دليل ايجاد حباب هوا در بتن است. فوق روان‌كننده‌ها و فراروان‌كننده‌ها معمولا آب انداختگي و جداشدگي را

كاهش مي‌دهند به جز در مواردي كه مقدار مصرف افزودني بيش از اندازه باشد[9]. گاهي آب‌انداختگی و جداشدگي بتن تازه پس از اضافه كردن فوق روان‌كننده و فراروان‌كننده‌ها به دليل اشكال در دانه‌بندي سنگدانه‌ها است و نه تاثير منفي افزودني، در چنين شرايطي با اصلاح دانه‌بندي به خصوص افزايش ريزدانه‌ها مي‌توان جداشدگي را كاهش داد.

**۵-۶-۲ - روند افت روانی (اسلامپ)**

روند افت روانی[۱] كه بيانگر مقدار كاهش روانی در واحد زمان است، در بتن داراي كاهنده آب بيشتر از بتن شاهد (با اسلامپ اوليه يكسان) است. بتن‌هاي حاوي فوق‌روان‌كننده در مقايسه با بتن‌هاي حاوي روان‌كننده كه اسلامپ اوليه يكساني داشته باشند از روند افت روانی بيشتري برخوردارند. فراروان‌كننده‌ها اگرچه نسبت به بتن شاهد روند افت روانی بيشتري دارند ولي نسبت به فوق‌روان‌كننده‌ها از توان حفظ روانی (اسلامپ) بيشتري برخوردارند.

يكي از مزاياي اصلي استفاده از فوق‌روان‌كننده‌ها و فراروان‌كننده‌ها در بتن افزايش قابل توجه اسلامپ و روانی آن است ولي زمان قابل كاركردن به دليل افت اسلامپ به شدت كاهش مي‌يابد كه مي‌تواند سبب بروز مشكلات اجرايي شود. براي حل اين مشكل در مورد فوق‌روان‌كننده‌ها مي‌توان بخشي از فوق روان‌كننده را در محل ساخت بتن و بخش ديگر را در محل بتن‌ريزي به مخلوط اضافه كرد تا زمان قابل كار كردن افزايش يابد يا از فوق‌روان‌كننده‌هاي كندگير استفاده كرد. در مورد فراروان‌كننده‌ها مي‌توان روانی بتن را در هنگام ساخت

---

۱ Rate of consistency (slump) loss

به گونه‌اي تنظيم كرد (با اسلامپ بالاتر) كه رواني مورد نظر را در پاي كار تامين كند يا در هنگام ساخت بتن، در صورت نياز جهت سهولت در اختلاط و حمل، از يك روان‌كننده سازگار در مقادير كم استفاده كرد و فراروان‌كننده را در پاي كار به بتن افزود.

فرصت كار با يك بتن به عوامل متعددي بستگي دارد كه از آن جمله مي‌توان به: نوع و مقدار كاهنده آب، فاصله زماني بين ساختن و ريختن بتن، زمان اضافه كردن كاهنده آب، مصرف ساير افزودني‌هاي شيميايي، ويژگي‌ها و درجه حرارت سيمان و بتن، رواني اوليه بتن و دماي محيط اشاره كرد.

**۲-۶-۶ - پرداخت پذيري**

روان‌كننده‌ها معمولاً در پرداخت سطح بتن بسيار مؤثرند درحاليكه سطح بتن‌هاي محتوي فوق روان‌كننده به دليل كاهش آب‌انداختگي و افت سريع رواني به سختي پرداخت مي‌شوند، مضافاً اينكه تمايل به پوسته شدن و يا تركهاي ناشي از جمع شدگي خميري در اين نوع بتن‌ها بيشتر است، به همين دليل در اينگونه مواقع بايستي سطح بتن را با روش‌هايي چون مرطوب كردن، استفاده از مواد تاخير دهنده تبخير، يا هر روش مناسب ديگري از خشك شدن حفظ نماييم. اين روش‌ها بايستي با دقت انجام پذيرد تا تاثير نامناسبي بر دوام سطح بتن بوجود نياورند.

**۲-۶-۷ - تراكم‌پذيري**

كاهنده‌هاي آب امكان حركت و لغزش ذرات بر روي يكديگر را در داخل مخلوط بتن فراهم مي‌كنند و خواص ريولوژيك بتن تازه و رفتار آن را در هنگام ارتعاش و متراكم‌شدن بهبود مي‌بخشند. براي متراكم‌كردن بتن‌هاي داراي كاهنده آب در مقايسه با بتن شاهد به انرژي كمتري نياز است.

اين اثر در بتن‌هاي با رواني (اسلامپ) كم و به ويژه در بتن‌هاي بدون اسلامپ نمايان‌تر است. در بتن‌هاي داراي مقادير كافي فراروان‌كننده به دليل سهولت حركت و لغزش ذرات بر روي يكديگر بدون نياز به لرزاندن، اجزاي بتن در اثر وزن خود فضاهاي خالي را پر مي‌كنند و متراكم مي‌شوند (بتن خود متراكم) در حالي كه در بتن‌هاي بدون فراروان‌كننده به دليل پديده لخته‌شدگي ذرات سيمان و ريزدانه‌ها، هر چقدر هم كه رواني افزايش يابد نمي‌توان به بتن خود متراكم دست‌يافت.

**۲-۷ - تاثير بر ويژگي‌هاي بتن سخت شده**

**۲-۷-۱ - مقاومت**

استفاده از كاهنده آب اگر با كاهش نسبت آب به سيمان همراه باشد افزايش مقاومت را به دنبال دارد ضمن اين كه در صورت ثابت بودن نسبت آب به سيمان نيز به دليل پخش كردن بهتر ذرات سيمان سبب بهبود فرآيند آبگيري و افزايش مقاومت مي‌شود.

نكته ۲-۶- تاثير كاهنده‌هاي آب بر مقاومت بتن صرفاً به دليل تاثيرات آنها بر بتن تازه در زمان‌هاي اوليه است و نه فعال بودن آنها در بتن سخت شده.

كاهنده‌هاي آب كندگير، مقاومت ۲۴ ساعته را به خصوص در مناطق گرمسير افزايش مي‌دهند، البته ممكن است مقاومت در ساعات اوليه بتن تحت تاثير كندگيری كاهش يابد. كاهنده‌هاي آب در مقدار سيمان و رواني ثابت مقاومت بتن را افزايش مي‌دهند و يا براي رسيدن به مقاومتي مشخص باعث صرفه جويي قابل ملاحظه در مصرف سيمان مي‌شوند.

اگر افزودن فوق روان‌كننده همراه با كاهش آب بتن باشد مقاومت فشاري را تا ۲۵ درصد و يا حتي بيشتر افزايش

مي‌دهد. اين افزايش مقاومت با استفاده از فراروان‌كننده‌ها به مراتب محسوس‌تر است و توليد بتن‌هايي با مقاومت فشاري ۷۰ مگاپاسكال و بيشتر در شرايط كارگاهي به آساني قابل طراحي و توليد مي‌باشد. مقاومت خمشي بتن‌هاي داراي اين افزودني‌ها بهبود مي‌يابد ولي نسبت افزايش آن در مقايسه با مقاومت فشاري كمتر است.

**۲-۷-۲ - جمع‌شدگي (تكيدگي) و خزش**

گزارش‌ها و اطلاعات متناقضي در مورد تاثير كاهنده‌هاي آب بر پديده جمع‌شدگي و خزش وجود دارد. گرچه متناسب با كاهش مقدار آب بتن، جمع شدگي دراز مدت كمتر مي‌شود و به همين منوال افزايش مقاومت فشاري بتن باعث كاهش خزش مي‌گردد ولي بطور كلي مي‌توان گفت حتي مصرف مقادير ثابتي از افزودني‌ها زماني كه همراه با سيمان‌هاي مختلف مصرف مي‌شوند، تاثير متفاوتي بر جمع‌شدگي و خزش بتن سخت شده دارند.

**۲-۷-۳ - دوام (پايايي)**

به طور كلي كاهنده‌هاي آب به دليل پخش‌كردن ذرات سيمان و بهبود فرآيند آبگيري و نيز بهبود تراكم‌پذيري، سبب كاهش تخلخل و جذب مويينگي مي‌شوند و در نتيجه نفوذپذيري بتن كاهش و دوام آن در برابر عوامل مهاجم افزايش مي‌يابد.

در بتن‌هاي هوازايي‌شده، استفاده از كاهنده‌هاي آب سبب افزايش مقاومت جداره حباب‌هاي هوا و بهبود پايايي بتن در برابر چرخه‌هاي يخزدن و آب‌شدن مي‌شود.

**۲-۸ - تاثير مواد متشكله بتن بر عملكرد كاهنده‌هاي آب**

همانگونه كه وجود يك افزودني بر روي نسبت اجزا و ويژگي‌هاي بتن تاثير مي‌گذارد، خواص و مقدار اجزاي

تشکیل‌دهنده بتن نیز تاثیرات متقابلي بر عملکرد افزودني دارد.

مقدار، نوع، و ترکیبات شیمیایي سیمان بر عملکرد کاهنده‌هاي آب تاثیر مي‌گذارد. با افزایش مقدار سیمان، نسبت مصرف فوق‌روان‌کننده به سیمان کاهش مي‌یابد. سیمان‌هاي نوع ۲ و ۵ در مقایسه با سیمان‌هاي نوع ۱ و ۳ به کاهنده آب کمتري نیاز دارند. ترکیبات شیمیایي سیمان به ویژه نسبت $C_3A/C_3S$ و مقدار $C_3A$ و نیز مقدار قلیایي‌ها بر عملکرد افزودني‌هاي کاهنده آب تاثیر مي‌گذارند[7]. با افزایش مقدار $C_3A$ در سیمان از راندمان روان‌کننده‌هاي لیگنوسولفوناتي کاسته مي‌شود[1]. با افزایش مقدار قلیایي‌هاي سیمان میزان تاثیر و حفظ رواني روان‌کننده‌ها در بتن کاهش مي‌یابد[1].

شکل و بافت سطحي سنگدانه‌ها بر عملکرد کاهنده‌هاي آب تاثیرگذار است. سنگدانه‌های گرد گوشه در مقایسه با سنگدانه‌هاي تیزگوشه مقدار روان کننده کمتری را برای رسیدن به یك روانی مشخص لازم دارند. براي دستیابي به یك رواني مشخص هر چقدر بافت سطحي سنگدانه‌ها زبرتر باشد مقدار مورد نیاز افزودني کاهنده آب افزایش مي‌یابد.

پوزولان‌ها به جز خاکستر بادي، عموما به دلیل افزایش چشمگیر سطح جانبي دانه‌ها و تمایل به لخته‌شدن، کارآیي و رواني بتن را به شدت کاهش مي‌دهند و به همین دلیل توصیه مي‌شود که در بتن‌هاي داراي پوزولان و به ویژه دوده سیلیسي از فوق‌روان‌کننده یا فراروان‌کننده استفاده شود.

در مجموع مطالعه، بررسی و انجام آزمایش‌های کارگاهی برای مشخص کردن تاثیر مواد متشکله بتن بر افزودنیهای کاهنده آب به شدت توصیه می‌شود.

### ۲-۹ - تاثير عوامل محيطی و اجرايي

بدون شك عواملي مانند: دما، رطوبت، سرعت وزش باد، ماشين آلات و تجهيزات توليد و انتقال بتن، زمان بين توليد و ريختن بتن، زمان حمل، و مهارت نيروهاي اجرايي از جمله عوامل مهم و تاثير گذار در عملكرد افزودني‌های كاهنده آب مي‌باشند.

به دليل آن كه دما در زمان گيرش، كارآيي و روند كسب مقاومت اوليه بتن بسيار مؤثر است، براي دستيابي به نتايج مؤثر معمولا افزودني‌های كاهنده آب در سه گروه با تاثيرهای زودگيری، خنثی، و ديرگيری عرضه مي‌شوند.

رطوبت موجود در هوا و سرعت وزش باد بر زمان كارآيی بتن تاثير مي‌گذارند در نتيجه براي حفظ كارآيي در چنين شرايطي ممكن است مقدار مصرف و يا حتی نوع كاهنده آب تغيير نمايد.

با توجه به اينكه مقدار مصرف افزودني‌های كاهنده آب به نسبت سيمان موجود در طرح اختلاط تعريف مي‌شود، لازم است ماشين آلات توليد بتن از حساسيت كافی برای پيمانه كردن آب، سيمان، سنگدانه، و مواد افزودنی برخوردار باشند. در غير اين صورت مقادير متفاوتی در هر نوبت وارد مخلوطكن مي‌شود و نتايج متفاوتی نيز در بر خواهد داشت.

### ۲-۱۰ - رهنمودهای اجرايي در كارگاه

افزودني‌هاي كاهنده آب در حالت مايع اندازه‌گيري و مصرف مي‌شوند و چنانچه اين افزودني‌ها به شكل جامد (پودر) تحويل گردند، لازم است ابتدا بر طبق پيشنهاد توليدكننده محلولي با درصد جامد مناسب از آن تهيه و سپس مصرف شوند.

چگالي افزودني‌هاي ارسالي مايع و يا آنهايي كه در كارگاه به مايع تبديل شده‌اند بايستي براساس معيار و

استانداردي كه توليد كننده معرفي مي‌كند سنجيده و با آن مقايسه گردد. براي اين منظور مي‌توان به سهولت و با استفاده از وسايلي چون مايع‌سنج يا چگالي‌سنج، درصد جامد و غلظت مناسب آنرا بررسي نمود. اين عمل بايستي در دماي استاندارد انجام و نتايج آن بعنوان بخشي از عمل كنترل كيفيت براي آينده ثبت و نگهداري گردد.

تمامی افزودني‌های كاهنده آب در محدوده زمانی معينی بر مخلوط بتن تاثير مي‌گذارند و به محض اتمام اين محدوده زمانی، بتن به حالت قبل از مصرف افزودنی برمي‌گردد، بنابراين زمان افزودن آنها بايستی بگونه‌ای تنظيم شود كه حداكثر كارآيی حاصل گردد، بنابراين در حمل‌های طولانی بتن كه احتمال اتمام خاصيت افزودنی وجود دارد، بهتر است كه افزودني در محل بتن ريزی به مخلوط اضافه تا فرصت كافی برای ريختن، لرزاندن، پرداخت، و كارهای تكميلی فراهم شود.

افزودني‌های كاهنده آب را نبايد به سيمان خشك اضافه كرد، بهتر است آنها را بعد از افزودن بخشي از آب اختلاط (به همراه آب تنظيم[1]) به بتن اضافه كرد.

در طرح اختلاط‌های داراي اين افزودني‌ها، به خصوص در بتن‌های با اسلامپ بيشتر از ۷۰ ميليمتر از لرزاندن (ويبره كردن) بيش از اندازه پرهيز شود زيرا باعث جداشدگی و آب انداختگی مي‌شود. البته آب انداختگی مختصر در سطح بتن در انجام پرداخت سطحی مفيد است.

### ۲-۱۱ - رهنمودهای كاربردی

چنانچه اطلاعات كافي و معتبر از كاربرد يك افزودني در دسترس نباشد، بهترين روش براي بررسي تاثير افزودني بر خواص بتن انجام آزمايش‌هاي كارگاهي است. لازم است

---

[1] Gauging water

اين آزمايش‌ها با توجه به اوضاع جوي پيش بيني شده، روش و امكانات عملي ساخت بتن، و با استفاده از مصالح مصرفي كارگاه انجام پذيرد. پارامترهايي كه انتظار مي‌رود در اثر به كار بردن كاهنده آب در طرح اختلاط بتن تغييركنند عبارتند از: مقدار هوا، رواني، آب انداختگي، جداشدگي، زمان و روند گيرش، و مقاومت‌هاي مكانيكي.

قبل از شروع كار اصلي بهتر است تعداد كافي طرح اختلاط در آزمايشگاه كارگاه، تهيه و آزمايش گردد و با ثبت و مقايسه آنها طرح‌هاي بهينه براي اجرا برگزيده شوند.

اگرچه راهنمايي‌هاي بسيار مفيدي در آيين نامه‌هاي معتبر بين‌المللي و استانداردهاي ساختماني ايران براي كاربرد افزودني‌هاي شيميايي وجود دارد ولي اغلب آنها در شرايط استاندارد و آزمايشگاهي كنترل شده نتيجه گيري شده‌اند. بنابراين بهتر است ضمن پيروي از آنها اقدام به انجام آزمايش‌هاي كارگاهي نزديك به شرايط واقعي كاربردي در كارگاه كرد.

همواره لازم است طرح اختلاط اين گونه بتن‌ها مجدداً بررسي شود چنانچه يك طرح بتن داراي كارآيي و قابليت پرداخت مناسب باشد و بخواهيم به آن افزودني كاهنده آب بيافزاييم، مقادير آب، سيمان و يا مقدار هوا تغيير مي‌كند و باعث تغيير در حجم كل بتن مي‌شود. در اينگونه موارد براي جبران كاهش حجم كل، بايستي به اندازه مقادير كاهش يافته آب و سيمان، مقادير متناسبي از سنگدانه‌ها به بتن اضافه گردد تا نسبت سنگدانه‌هاي درشت به حجم كل بتن ثابت بماند. روش طراحي و تنظيم مخلوطها در ACI ۲۱۱,۱ شرح داده شده است.

با توجه به اینکه اغلب افزودنی‌هاي کاهنده آب، مواد محلول در آب هستند لازم است در هنگام محاسبه آب اختلاط و نسبت آب به سیمان، مقدار آب موجود در این افزودنی‌ها محاسبه و معادل آن از آب اختلاط کاسته شود ولي بخش جامد آنها که نسبت به حجم کل بتن بسیار ناچیز هستند معمولا نادیده گرفته مي‌شوند.

مخازن نگهداري افزودنی‌ها باید به آساني قابل شناسایي بوده و محلول‌ها در برابر آلودگي، تبخیر، رقیق شدن، دماي بسیار بالا و یخزدگي، محافظت شوند. توجه به زمان انبارداري هر افزودني براساس توصیه تولیدکننده آن ضروري است. اختلاط دو یا چند افزودني با هم مجاز نمي‌باشد مگر اینکه سازگاري آنها با یکدیگر قبلاً توسط تولیدکننده بلامانع اعلام شود، در غیر این صورت بایستي افزودنی‌ها به طور جداگانه پیمانه و به مخلوط اضافه گردند. مثلاً ممکن است یك روان‌کننده با یك هوازا با هم سازگاري نداشته باشند و هرکدام در مخازن جداگانه نگهداري و با فاصله زماني مناسب وارد مخلوط کن بتن شوند.

با توجه به اینکه این افزودنی‌ها معمولا در مقادیر بسیار کم و بر اساس نسبتهای کوچک سیمان مصرف مي‌شوند، لازم است لوازم اندازه‌گیری دقیقی برای پیمانه کردن آنها در کارگاه فراهم شده و در ضمن آموزش‌های لازم در مورد حساسیت و تاثیرات منفی احتمالی ناشی از مصارف نادرست به کاربران داده شود.

### ۲-۱۲ - ارزیابي و انتخاب کاهنده آب

عملکرد افزودنی‌ها از هر نوع و طبقه با یکي از شیوه‌هاي زیر بررسي مي‌شوند. این شیوه‌ها ممکن است به تنهایي و یا تواماً در تشخیص و انتخاب یك افزودني مورد توجه قرار گیرند.

۱) نتایج حاصل از کاربرد موفقیت آمیز یک افزودنی در کارهای مشابه قبلی که تحت شرایط کنترل شده کارگاهی انجام شده باشد. در این روش بایستی تا حد امکان شرایط کار و مصالح مرجع انتخابی شبیه به شرایط کارگاه باشد.

۲ ) انجام آزمایشهای کارگاهی با مصالح و شرایط موجود در محل کارگاه.

۳) کتب و نشریات فنی و اطلاعات ارایه شده از سوی تولیدکننده ها.

با استفاده از روشهای فوق محدوده مقادیر مصرفی و حد بهینه آن تعیین میشود و اثرات احتمالی ناشی از مصرف بیش از حد مورد بررسی قرار میگیرد ولی لازم است اطلاعات کاملی از عملکردهای قبلی یک افزودنی و نتایج آن که بیانگر محدوده مقادیر مصرف باشد در اختیار مصرف کننده قرار گیرد. بدیهی است که نتایج تاثیر یک افزودنی معین بر روی انواع سیمان، مقدار سیمان، نوع سنگدانه ها، شرایط آب و هوا و شرایط ساخت بتن متفاوت است ولی محدوده تعیین شده از سوی تولیدکننده میتواند ملاک سنجش در هر کارگاهی قرارگیرد.

از آنجایی که این افزودنیها عموماً مقاومتهای بتن را افزایش میدهند و این فرصت را فراهم میآورند که مقدار سیمان کمتری مصرف شود، علاوه بر ایجاد صرفه جویی اقتصادی در طرح میتوانند حرارت آبگیری را کاهش دهند که بخصوص در بتن ریزیهای حجیم بسیار مؤثر است. توجه شود که استفاده از کاهنده های آب به خودی خود باعث کاهش حرارت آبگیری نمیشود بلکه کاهش مقدار سیمان این امر را میسر میسازد. با استفاده از روانکننده کندگیر میتوان با اصلاح زمان گیرش حرارتزایی بتن را در سنین اولیه کاهش داد.

براي توليد بتن‌هايی با مقاومت زياد ( بيشتر از PSI ۶۰۰۰ يا MPa ۴۱ ) مي‌توان از فوق روان‌كننده و يا فراروان‌كننده با خاصيت كندگيری در مقادير زيادتر استفاده نمود كه هم باعث كاهش بيشتر آب مي‌گردد و هم تاخيري كه درگيرش بتن بوجود مي‌آيد، موجب آرامش در روند كسب مقاومت اوليه مي‌شود، بتن‌هايي كه به آرامي‌كسب مقاومت اوليه مي‌كنند عموماً داراي مقاومت‌هاي دراز مدت بيشتري هستند. استفاده از روان‌كننده كندگير در مقادير زياد ممكن است گيرش بتن را دچار مشكل نمايد بتن‌هاي حاوي افزودني زودگير كننده، سريعتر به مقاومت‌هاي اوليه دست پيدا مي‌كنند ولي مقاومت‌هاي دراز مدت آنها از رشد كمتري برخوردار است.

در طراحي بتن‌هاي توانمند استفاده از فوق‌روان‌كننده‌ها و فرا روان‌كننده‌ها پيشنهاد مي‌گردد كه مي‌توان آنها را در مقادير زيادتر و بدون تاثيرات جانبي نامطلوب مصرف نمود ولي بدليل افت سريع كارآيي در اين گونه بتن‌ها همواره توصيه مي‌شود كه اين افزودني‌ها در محل مصرف به بتن اضافه گردند.

آيين نامه‌هاي معتبر و استانداردهاي ساختماني ايران، مشخصات افزودني‌هاي كاهنده آب و روش ارزيابي آنها در شرايط استاندارد و كنترل شده از قبيل دما، مقدار سيمان، كارآيي، مقدار هواي موجود و سنگدانه‌هاي دانه‌بندي شده را تعيين نموده‌اند. اين آيين نامه‌ها همچنين حداقل تغييراتي كه اين افزودني‌ها در كاهش مقدار آب، كسب مقاومت، محدوده زمان گيرش، جمع شدگي، و پايداري در برابر يخ زدگي و ذوب به وجود مي‌آورند را معين مي‌كنند ولي اكثر كاهنده‌هاي آب قادرند بهتر از حداقل‌هاي خواسته شده در آيين‌نامه‌ها كيفيت بتن را بهبود بخشند. به عنوان مثال برخي از روان‌كننده‌ها

توانايي كاهش آب بتن به ميزان بيش از ۱۲ درصد را دارند و فوق‌روان‌كننده‌ها و فراروان‌كننده‌ها در برخي موارد تا بيش از ۳۰ درصد آب مصرفي را كم مي‌كنند.

### ۲-۱۳ - كنترل كيفيت

يكنواختي و ثابت بودن يك افزودني در مراحل مختلف پروژه و ارسال‌هاي متعدد به كارگاه بايستي كنترل شده و برابري آن با آزمايش‌هاي اوليه به اثبات برسد. آزمونهاي لازم براي شناسايي و تاييد افزودني‌ها شامل: تعيين درصد جامد، غلظت ظاهري، طيف سنجي براي مواد آلي، مقدار كلرايد، درجه قليايي ( pH )، و برخي موارد ديگر مي‌باشند. آيين نامه‌هاي معتبر بين‌المللي و استانداردهاي ساختماني ايران راهنمايي‌هاي لازم براي تعيين يكنواختي افزودني‌هاي شيميايي را به تفصيل بيان نموده‌اند. اگرچه با كنترل رنگ، بو، شكل ظاهري و اندازه‌گيري غلظت و مقدار pH مي‌توان يكنواختي محموله‌هاي مختلف افزودني‌هاي وارده به كارگاه را تاييد يا رد كرد.

### ۲-۱۴ - مراجع


۱- فاميلي هرمز، "خواص بتن"، مترجم، ۱۳۷۸.

۲- Rixom, R. and Mailvaganam, N. "CHEMICAL ADMIXTUIRES FOR CONCRETE", ۳rd Ed., ۱۹۹۹, E & EN SPON.

۳- " Guideline for Self-Compacting concrete", Japan Society of Civil Engineer ۱۹۹۸.

۴ - ايراجيان محمود، "كاربرد مواد افزودني در پروژه‌هاي سدسازي"، چهارمين كنفرانس بين‌المللي سدسازي، ايران، تهران، ۱۳۸۰.

۵ - ياوري عيسي، "فرهنگ شيمي"، انتشارات فاطمي، ۱۳۷۵.

۶- ACI ۲۱۲,۳R – ۰۴, "Chemical Admixtures for Concrete", MCP-ACI ۲۰۰۶.
۷- REILIM, "Application of Admixtures in Concrete", ۱۹۹۵.
۸- Ramezanianpour, A.A., Sivasundaram, V., and Malhotra, V.M., "Superplasticizers: Their Effect on the strength Properties of Concrete"; ACI Concrete International, Vol. ۱۷, No. ۴, ۱۹۹۵.
۹- Ramachandran V.S., Malhotra V.M., Jolicoeur C., and Spiratos N., "SUPERPLASTICIZERS; Properties and applications in concrete", CANMENT, ۱۹۹۸.
۱۰- Hewlett, "Lea's Chemistry of Cement and Concrete", ۴th Ed., ۱۹۹۸, Arnold.
۱۱- Kosmatka S. H., Kerkhoff B., and Panarese W.C., "Design and Control of Concrete Mixtures", ۱۴th ed., PCA – ۲۰۰۲.