



کمیته تحقیقات ساختمان و مسکن

شماره نشریه ض - ۴۷۹

مجموعه

استانداردها و آیین نامه های  
ساختمانی ایران

# روش ملی طرح مخلوط بتن

زیر نظر کمیته تخصصی

عنوان و نام پدیدآور	: روش ملی طرح مخلوط بتن/وزارت مسکن و شهرسازی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
مشخصات نشر	: تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۶.
مشخصات ظاهری	: ۳۲ ص: جدول، نمودار.
فروست	: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن؛ نشریه شماره ض - ۴۷۹.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۹۹۰۳-۵۴-۴
و ضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: پشت جلد به انگلیسی: The national method for concrete mix design.
موضوع	: بتن - - مخلوط‌کردن.
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
ردیبندی کنگره	: TA۴۳۹/۹۴ ۱۳۸۶:
ردیبندی دیوبی	: ۶۶۶/۸۹۳:
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۱۴۹۷۱۲:

تصویب شماره ۸۶/۵۱۲ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

## روش ملی طرح مخلوط بتن

نشریه شماره ض ۴۷۹-، چاپ اول: ۱۳۸۶

ناشر: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

تنظيم برای چاپ: نسرین مقدس

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بها: ۵۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن  
مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.  
کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: بزرگراه شیخ فضل... نوری، خیابان پاس-فرهنگیان، خیابان ارشاد خیابان سوم صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶  
تلفن: ۸۸۲۰۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۰۵۹۴۱

پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>  
دفتر فروش: نرسیده به میدان ولی‌عصر، مجتمع اداری - تجاری ولی‌عصر، واحد ۸۲ تلفن: ۸۸۹۴۰۳۶۰

ISBN: 978-964-9903-54-5

شماره شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۹۹۰۳-۵۴-۵

## پیشگفتار

طرح مخلوط بتن، روندی است که در آن ترکیب صحیح اجزای بتن طبق مشخصات فنی داده شده، تعیین می‌گردد. هر چند بسیاری از مهندسین از اینکه نمی‌توان طرح مخلوط را بر اساس یک سری فرمول و عدد انجام داد، احساس خشنودی نمی‌کنند، اما با درک صحیح اصول و با کمی تجربه می‌توان به هنر طرح مخلوط مسلط شد.

ساز و کار طرح مخلوط پیچیده است، زیرا این حقیقت وجود دارد که با تغییر دادن یک متغیر ممکن است خواص بتن بصورت متضاد تحت تأثیر قرار بگیرد. برای مثال افزودن آب به مخلوط بتن با کارایی کم، ممکن است روانی بتن را افزایش دهد اما از مقاومت کاسته می‌شود. بنابراین روند طرح مخلوط، هنر متعادل کردن این اثرات متضاد است.

تعیین نسبت‌های مخلوط بتن که معمولاً به طرح مخلوط موسوم است، روندی است که از دو مرحله تشکیل یافته است: (۱) انتخاب اجزای مناسب بتن که شامل سیمان، سنگدان، آب و مواد افزودنی است و (۲) تعیین مقادیر نسبی (تعیین نسبت‌ها) مواد، به طوری که بتن تولید شده نیازهای مقاومت، کارایی، دوام و اقتصاد را تأمین کند.

طرح مخلوط بتن، روند تعیین نسبت اجزاء بتن است بنحوی که بتن تولید شده تا حد امکان مقرن به صرفه باشد و الزامات مورد نیاز را تأمین کند. این الزامات معمولاً شامل مقاومت فشاری، کارایی و دوام می‌باشد.

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن با توجه به تجربیات ارزشمند در زمینه تکنولوژی بتن و همکاری با اساتید و متخصصان دانشگاهی، لازم دید تا یک روش منسجم، کاربردی و قابل استفاده برای کلیه سطوح دست‌اندرکار صنعت ساخت و سازگار با تکنولوژی و همچنین مصالح موجود در کشور برای طرح مخلوط بتن تدوین نماید. اگر چه انتخاب روش طرح مخلوط بتن تنها یک روش انتخابی است و تعیین نسبت‌های نهایی نیاز به ساخت مخلوط‌های آزمایشگاهی دارد، اما انتخاب یک روش مناسب، برقراری یک رابطه تعادلی را بین خواص متفاوت و مطلوب بتن و کمترین هزینه ممکن می‌سازد. لذا ارائه یک روش منطبق بر تکنولوژی بومی هر کشور مسلماً فواید زیادی خواهد داشت و در بسیاری از پژوههای روند تصمیم‌گیری در انتخاب طرح مخلوط را سریعتر خواهد کرد.

عنوان جدول	
۱-۲-۳	تعیین انحراف معیار بر اساس نتایج آماری پژوهش‌های قبلی
۱-۲-۴	تعیین انحراف معیار.....۱-۲-۳
۱-۳	مقاومت فشاری متوسط لازم.....۱-۲-۳
۱-۲	تعیین انحراف معیار.....۱-۲-۳
۱	بخش سوم: تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم
بخش سوم: تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم	
۱	۱-۲-۳
۱	۱-۲-۴
۱	۱-۳
۱	۱-۲
۱	۱-۱ کلیات
۱	۱-۱ دامنه کاربرد
بخش دوم: مبانی طرح	
۱	۴-۲ دامنه بنده سنگانه
۱	۴-۲ نوع سنگانه‌ها
۱	۳-۲ آب آزاد
۱	۲-۲ اندازه‌گیری روانی
۱	۱-۲ حاشیه ایمنی مقاومت
۱	۱-۱ بخش دوم: مبانی طرح
بخش اول: مقدمه	
۱	۱-۱ کلیات
۱	۱-۱ دامنه کاربرد
فهرست مطالب	
۱	۱-۱ صفحه
۱	۱-۱ معرفت جداول
۱	۱-۱ معرفت ماده
۱	۱-۱ انحراف معیار
۱	۱-۱ مقاومت
۱	۱-۱ مبانی طرح
۱	۱-۱ مقدمه



## ۲-۲-۳ تعیین انحراف معیار در صورت عدم دسترسی به اطلاعات آماری

۱۱.....	<b>بخش چهارم: روش طرح مخلوط</b>
۱۱.....	۱-۴ گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان
۱۴.....	۲-۴ گام دوم: انتخاب منحنی سنگدانه
۱۶.....	۳-۴ گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن
۱۹.....	۴-۴ گام چهارم: تعیین مقدار سیمان در بتن
۱۹.....	۱-۴ فاکتور K برای خاکستر بادی
۲۰.....	۲-۴ فاکتور K برای دوده سیلیسی
۲۱.....	۴-۵ گام پنجم: تعیین مقدار سنگدانه در بتن

تبلیغ

سین لاجه

جایزه ملیه: همه رشته

۲-۱ تسعیت کوئی رفیعیه هیئتله	۷
۲-۲ رکاب، رجیسٹر ایما	۹
۲-۳ عان آب آب	۳
۲-۴ لفظ انتخاب و معا	۳
۲-۵ فناختن رجیسٹر	۳
۲-۶ ریجیسٹر لفیض	۰
۲-۷ ریجیلشن آن سی و نهم، آرلند نیویارک	۰
۲-۸ ریجی	۰

۲-۹ آنستیتوویه رجیسٹر تسعیت کوئی ملیه ملکیت ایجاد کرد

۷-۱ آنستیتوویه رجیسٹر تسعیت کوئی

۷-۲ لیغه ملکیت ایجاد کرد

۷-۳ ملکیت رجیسٹر تسعیت کوئی ملکیت ایجاد کرد

## فهرست جداول

### صفحه

### عنوان جدول

جدول ۱-۲ طبقه‌بندی بتن تازه بر اساس مقدار اسلامپ	۳
جدول ۱-۳ انحراف معیار بر اساس رتبه‌بندی کارگاه و مقاومت مشخصه بتن	۹
جدول ۲-۳ رتبه‌بندی کارگاه‌ها بر اساس وضعیت تولید بتن، نظارت و کنترل کیفیت	۱۰
جدول ۱-۴ مقادیر $K$ بر حسب رده مقاومتی سیمان برای جایگزینی خاکستر بادی به جای سیمان	۲۰
جدول ۲-۴ مقادیر $K$ بر حسب مقدار آب به سیمان برای جایگزینی دوده سیلیسی به جای سیمان	۲۰
جدول ۳-۴ مقدار هوای ناخواسته در بتن ( $V_a$ )	۲۱

## فهرست شکل‌ها

### صفحه

### عنوان شکل

شکل ۱-۴ رابطه بین نسبت آب به سیمان (W/C) و مقاومت فشاری بتن در سن ۲۸ روزه ..... ۱۳	شکل ۲-۴ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۹/۵ میلی‌متر..... ۱۵
شکل ۳-۴ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر..... ۱۵	شکل ۴-۴ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۲۵ میلی‌متر..... ۱۶
شکل ۵-۴ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۳۷/۵ میلی‌متر..... ۱۶	شکل ۶-۴ مقدار آب مورد نیاز بتن بر حسب مقدار روانی و مدول نرمی سنگدانه‌ها (سنگدانه‌هایی که به دلیل شکل و بافت خود، به آب کمی نیاز دارند) ..... ۱۷
شکل ۷-۴ مقدار آب مورد نیاز بتن بر اساس مقدار روانی و مدول نرمی سنگدانه‌ها (سنگدانه‌هایی که به دلیل شکل و بافت خود به آب زیادی نیاز دارند) ..... ۱۸	

پژوهش را به دو دسته می‌دانند: پژوهش تئوریک و پژوهش تطبیقی. پژوهش تئوریک برای تدوین نظریه‌ها، ایده‌ها و مدل‌هایی است که ممکن است در آینده اثبات شوند. این پژوهش معمولاً در طبقه‌بندی‌های علمی مانند فلسفه، علوم انسانی، علوم اقتصادی، علوم اجتماعی، علوم پزشکی و علوم اسلامی انجام می‌شود. پژوهش تطبیقی برای اثبات نظریه‌ها و مدل‌های تئوریک است که در آینده اثبات شوند. این پژوهش معمولاً در طبقه‌بندی‌های علوم انسانی، علوم اقتصادی، علوم اجتماعی، علوم پزشکی و علوم اسلامی انجام می‌شود.

## بخش اول

### مقدمه

#### ۱-۱ کلیات

طرح مخلوط بتن، فرآیند تعیین نسبت اجزای بتن است، به نحوی که بتن تولید شده تا حد امکان مقرن به صرفه باشد و الزامات مورد نیاز را تأمین کند. این الزامات معمولاً، مقاومت فشاری، کارایی و دوام می‌باشد.

تعیین نسبت‌های اجزای بتن بر اساس روابط تجربی انجام می‌شود. طرح مخلوط به مفهوم فرآیندی است که طی آن ترکیب مناسب اجزای بتن، طبق مشخصات فنی داده شده، تعیین می‌گردد. سازوکار طرح مخلوط پیچیده است، زیرا با تغییر دادن یک متغیر ممکن است خواص بتن به صورت متضاد تحت تأثیر قرار بگیرد. برای مثال، افزودن آب به مخلوط بتن با کارایی کم، ممکن است روانی را افزایش دهد، اما مقاومت را کم می‌کند. در حقیقت، کارایی خود از دو مؤلفه اصلی تشکیل یافته است، که شامل روانی (آسانی در جاری شدن) و چسبندگی (مقاومت در مقابل جاذبه‌گذاری ذرات) می‌باشد که وقتی به مخلوط آب افزوده می‌شود، ممکن است این دو مشخصه، عملکردی مخالف یکدیگر نشان دهند. بنابراین، طرح مخلوط، هنر متعادل کردن این اثرهای متضاد است. بسیاری از مهندسان از اینکه نمی‌توان طرح مخلوط را بر اساس یک سری روابط و محاسبات عددی انجام داد، احساس ناخشنودی می‌کنند، اما با درک صحیح اصول و با کمی تجربه می‌توان به هنر طرح مخلوط مسلط شد. در طرح مخلوط ممکن است معیارهای دیگری مانند کاهش جمع‌شدگی، خوش و ... در نظر گرفته شود. هر چند تاکنون تلاش زیادی در خصوص جنبه‌های نظری طرح مخلوط انجام شده است، اما هنوز از روش‌های تجربی استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، روش‌های طرح مخلوط برای انتخاب اولیه نسبت‌ها مفید می‌باشند، اما برای تعیین نسبت‌های نهایی نیاز



### ۳-۲ آب آزاد کل آب مخلوط بتن شامل آب جذب شده توسط سنگدانه، برای رسیدن به شرایط اشباع با سطح خشک و همچنین آب آزاد برای انجام شدن هیدراسیون سیمان و تامین کارایی می‌باشد.

کل آب مخلوط بتن شامل آب جذب شده توسط سنگدانه، برای رسیدن به شرایط اشباع با سطح خشک و همچنین آب آزاد برای انجام شدن هیدراسیون سیمان و تامین کارایی می‌باشد.

چنانچه در شرایط واقعی، مقدار رطوبت سنگدانه‌ها در حد کمتر از حالت اشباع با سطح خشک باشد، باید مقدار آب مورد نیاز برای رساندن سنگدانه به حالت اشباع با سطح خشک تعیین و به مقدار آب اختلاط افزوده شود و در صورتی که مقدار رطوبت سنگدانه‌ها بیش از رطوبت سنگدانه در حالت اشباع با سطح خشک باشد، باید مقدار آب معادل رطوبت اضافی از آب اختلاط کم گردد.

در روش ارائه شده، نسبت آب به سیمان، به صورت نسبت آب آزاد به سیمان در نظر گرفته شده، و مقدار آب آزاد نیز بر اساس رطوبت سنگدانه‌ها در حالت اشباع با سطح خشک منظور گردیده است.

### ۴-۲ نوع سنگدانه‌ها

دو عامل بسیار مهم که از ویژگی‌های سنگدانه است و در مشخصه‌های بتن اثر می‌گذارد، شکل ذرات و بافت سطحی سنگدانه است. شکل ذرات عامل مهمی در کارایی مخلوط است و بافت سطحی در پیوستگی بین خمیر سیمان و سنگدانه و مقاومت بتن مؤثر است. در روش ملی طرح مخلوط بتن، سنگدانه از نظر شکل به دو نوع، گردگوش و گوشه‌دار (تیزگوش) تقسیم شده است.

به طور کلی، سنگدانه شکسته شامل ذرات غیرمنظم و تیزگوش است و معمولاً بافت سطحی دانه‌ها نیز زیر می‌باشد. بنابراین کارایی مخلوط کاهش می‌یابد، اما معمولاً مقاومت آن نسبت به مخلوط با سنگدانه گردگوش بیشتر است. لذا انتخاب نوع سنگدانه برای بتن با مقاومت‌های نسبتاً زیاد از اهمیت بیشتری برخوردار است و بهتر است که از سنگدانه‌های شکسته استفاده شود. شایان ذکر است، تأثیر شکل و بافت درشت‌دانه‌ها در این خصوص بیشتر از ریزدانه‌ها می‌باشد.

### ۵-۲ دانه‌بندی سنگدانه

دانه‌بندی سنگدانه‌ها ثیز عامل مهمی در خواص بتن است. معمولاً محدوده دانه‌بندی طوری در نظر گرفته می‌شود که از طرفی از حجم فضای خالی بین سنگدانه‌ها تا آنجا که



امکان دارد، کاسته شود و از طرف دیگر، کارایی مناسبی برای بتن تأمین گردد. زیرا اگرچه می‌توان منحنی دانه‌بندی و محدوده آن را طوری ارائه کرد که حداقل فضای منافذ به دست آید، اما ممکن است چنین مخلوطی دارای کارایی مناسبی نباشد.

در روش ملی طرح مخلوط بتن، منحنی‌های ترکیب شن و ماسه با حداقل اندازه سنگدانه‌های  $19\frac{9}{5}$  و  $25\frac{37}{5}$  میلی‌متر در نظر گرفته شده است، به گونه‌ای که با انتخاب درصد مناسب سنگدانه ریز و درشت استاندارد (استاندارد ملی ایران ۳۰۲)، توزیع دانه‌ها مطابق محدوده منحنی‌های ارائه شده حاصل می‌گردد.

## ۶-۲ سیمان مصرفی

انواع مختلف سیمان و رده مقاومت سیمان در آهنگ کسب مقاومت بتن و خواص بتن اثر مستقیم دارد. در این روش طرح مخلوط، نوع سیمان مصرفی پرتلند با رده‌های مقاومتی ۴۲۵، ۳۲۵ و ۵۲۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (طبق استاندارد ایران) در نظر گرفته شده است. در صورتی که از انواع دیگر سیمان پرتلند استفاده شود، باید روند کسب مقاومت و مقدار مقاومت آن بر اساس آزمایش‌های مربوط تعیین و با رده‌بندی انتخاب شده در این طرح مطابقت داده شود.

## ۷-۲ شرایط عمل آوری و سن آزمایش

ممولاً مقاومت بتن با افزایش سن آن، افزوده می‌شود، اما در بسیاری از مشخصات فنی، مقاومت ۲۸ روزه، به عنوان معیار سنجش مقاومت، ذکر می‌گردد. بر همین اساس، در روش ملی طرح مخلوط، مقاومت آزمونهای استوانه‌ای بتن، که تا سن ۲۸ روز در شرایط استاندارد عمل آوری شده‌اند (مطابق با آیین‌نامه بتن ایران) در نمودارها و منحنی‌ها در نظر گرفته شده است.

## ۸-۲ دوام

دوام بتن، عملکرد بتن در شرایط محیطی است که در معرض آن قرار می‌گیرد و در افزایش عمر مفید پیش‌بینی شده آن، بسیار حائز اهمیت است. بنابراین نسبت اجزای مخلوط که در این روش تعیین می‌گردد، باید با مقادیر مجاز در مشخصات فنی خصوصی و همچنین آیین‌نامه بتن ایران، مقایسه گردد. معمولاً، طرح مخلوط بتن، بر اساس دوام با محدود کردن نسبت آب به سیمان حداقل و یا حداقل مقدار سیمان و انتخاب نوع سیمان و یا مواد افزودنی معدنی و شیمیایی، صورت می‌گیرد.

- انتساب مقدارهای مشخصه بتن به سطح پلکانی تراویح -

- عرض پلکانی مقدارهای مشخصه بتن تراویح -

## بخش سوم

### تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم

#### ۱-۳ مقاومت فشاری متوسط لازم

مقاومت فشاری متوسط لازم مطابق با " آییننامه بتن ایران" ، باید برابر با بزرگترین مقدار به دست آمده از هر یک از دو رابطه زیر در نظر گرفته شود:

$$f_{cm} = f_c + 1.34S + 1.5 \text{ N/mm}^2 \quad (1-3)$$

$$f_{cm} = f_c + 2.33 S - 4 \text{ N/mm}^2 \quad (2-3)$$

که در آنها:

$$N/mm^2 = \text{مقادیر فشاری مشخصه بتن متوسط بتن} , \quad f_{cm}$$

$$N/mm^2 = \text{مقادیر فشاری مشخصه بتن بر اساس آزمونهای استوانه‌ای} , \quad f_c$$

$$N/mm^2 = \text{انحراف استاندارد مقاومت فشاری آزمونهای} , \quad S$$

$$\text{هر}^2 1 N/mm^2 \text{ تقریباً معادل} 10 \text{ kg/cm}^2 \text{ می‌باشد} )$$

#### ۲-۳ تعیین انحراف معیار

برای تعیین انحراف معیار می‌توان از دو روش استفاده کرد:

اگر از نتایج آماری پروژه‌های مشابه قبلی استفاده می‌گردد، باید طبق بند ۱-۲-۳ انحراف معیار محاسبه گردد.

- منظور از پروژه‌های مشابه پروژه‌هایی است که:

- مصالح مصرفی به کار رفته در آن و پروژه موجود از نظر نوع و مشخصات فنی مشابه داشته باشند.



- شرایط نظارت و کنترل کیفیت آنها و پروژه موجود تشابه داشته باشند.
  - مقدار تفاوت در مقاومت فشاری مشخصه بتن در آنها و پروژه موجود از  $N/mm^2$  ۵ بیشتر نباشد.
- در غیر این صورت برای مواردی که اطلاعات آماری وجود ندارد، از روش ارائه شده در بند ۲-۲-۳ استفاده می‌شود.

### ۱-۲-۳ محاسبه انحراف معیار بر اساس نتایج آماری پروژه‌های قبلی

در این روش باید بر اساس نتایج مقاومت فشاری آزمونهای آزمونهای آزمایش‌های پروژه‌های مشابه به دست آمده است، انحراف معیار را با استفاده از رابطه ۳-۳ محاسبه کرد.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - m)^2}{n - 1}} \quad (3-3)$$

که در آن:

$x$ : مقاومت فشاری آزمونه

$m$ : میانگین مقاومت فشاری آزمونهای آزمونهای

$n$ : تعداد آزمونهای

نتایج آزمایش حداقل ۳۰ نمونه متوالی باید از پروژه مشابه قبلی موجود باشد. اگر کمتر از ۳۰ نتیجه آزمایش موجود باشد، باید بر اساس رابطه ۴-۳، ضریب اصلاحی برای انحراف معیار محاسبه گردد:

$$R = [0.75 + (\frac{2}{n})^{\frac{1}{2}}] \quad (4-3)$$

که در آن:

$n$  = تعداد آزمونهای

چنانچه نتایج آزمایش حداقل ۳۰ نمونه متوالی موجود نباشد، می‌توان از دو گروه نمونه‌های متوالی با مجموع حداقل ۳۰ آزمایش استفاده کرد. در چنین حالتی باید انحراف معیار دو گروه آزمایش بر اساس رابطه ۵-۳ به صورت میانگین آماری محاسبه گردد:



$$\bar{s} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (5-3)$$

که در آن:

$s$  = میانگین آماری انحراف معیار در گروه نمونه‌های متوالی

$s_1, s_2$  = انحراف معیار محاسبه شده از دو گروه نمونه‌های متوالی

$n_1, n_2$  = تعداد نمونه‌ها در دو گروه متوالی

▪ اگر از روش "محاسبه انحراف معیار بر اساس نتایج پروژه‌های مشابه" استفاده

می‌شود، باید موارد زیر در نظر گرفته شود:

- مقدار انحراف معیار فرض شده باید پس از کسب اطلاعات کافی در حین اجرای

پروژه، بر اساس انحراف معیار واقعی اصلاح گردد.

- در هیچ شرایطی نباید انحراف معیار کارگاهی کمتر از  $2/5 \text{ N/mm}^2$  در نظر گرفته

شود.

### ۲-۲-۳ تعیین انحراف معیار در صورت عدم دسترسی به اطلاعات آماری

در مواردی که نتایج مقاومت فشاری آزمونهای از نتایج آماری پروژه‌های قبلی، در

دسترس نباشد، می‌توان بر اساس سطح نظارت و کنترل کیفیت کارگاه و مقاومت مشخصه

بتن مقدار انحراف معیار را از جدول ۱-۳ تخمین زد.

جدول ۱-۳ انحراف معیار بر اساس رتبه‌بندی کارگاه و مقاومت مشخصه بتن

مقاومت مشخصه بتن ( $\text{N/mm}^2$ )					Rتبه‌بندی کارگاه
۴۰ و بیشتر	۳۵ و ۳۰	۲۵	۲۰	۱۶	
۴/۵	۴	۳/۵	۳	۲/۵	الف
۵/۵	۵	۴/۵	۴	۳/۵	ب
۶/۵	۶	۵/۵	۵	۴/۵	ج



رتیبه‌بندی کارگاه به شرایط تولید، نظارت و کنترل کیفیت بستگی دارد. به طور کلی کارگاه‌ها به ۳ درجه الف، ب و ج تقسیم می‌شوند. برای تعیین رتبه کارگاه باید از اطلاعات داده شده در چدول ۲-۳ استفاده کرد.

جدول ۲-۳ رتبه‌بندی کارگاه‌ها بر اساس وضعیت تولید بتن، نظارت و کنترل کیفیت

وضعیت کنترل کیفیت			شرایط تولید و کنترل
ج	ب	الف	
حجمی	وزنی	وزنی	توزین یا پیمانه کردن سیمان
حجمی	حجمی	وزنی	توزین یا پیمانه کردن سنگدانه
بدون کنترل	کنترل شده	کنترل شده	کنترل دانه‌بندی سنگدانه
بدون کنترل	کنترل شده	کنترل شده	کنترل رطوبت سنگدانه
در سطح ضعیف	در سطح خوب	در سطح عالی	نظرات بر تولید
در سطح محدود	موجود است	موجود است	امکانات آزمایشگاهی
در سطح محدود	گاهی اوقات	مداوم	تدابع در آزمایش
در سطح محدود	وجود دارد	وجود دارد	نیروی متخصص تولید بتن

بخش چهارم

روش طرح مخلوط

مقدمة

- طراح مخلوط بین یا بدیر اساس در نظر گرفتن همه یا تعدادی از عوامل زیر صورت

گرد:

- #### سیست آب یه سیمان (یا نسبت آب یه مواد سیمانی)

- شخصات و خصوصیات سنگانه (شکل، یافت و حداکثر اندازه سنگانه)

سقاہ مت

210

- ۵۰۰ و این عوامل با در نظر گرفتن مواردی، مانند نوع سیمان، مواد افزودنی، مقدار

وَهُوَ يَأْتِي مَنْ يَرِيدُ

#### ۴- گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان

نسبت مؤثر آب به سیمان به مفهوم نسبت مقدار آب آزاد به مقدار سیمان در بتن تازه است. ارتباط بین نسبت آب به سیمان و مقاومت بتن بر این اساس است که افزایش نسبت آب به سیمان سبب افزایش منافذ مویینه در بتن می‌شود. بنابراین با کاهش نسبت آب به سیمان به مقاومت بتن افزوده می‌شود. نسبت آب به سیمان اثر قابل توجهی در مقاومت بتن دارد.

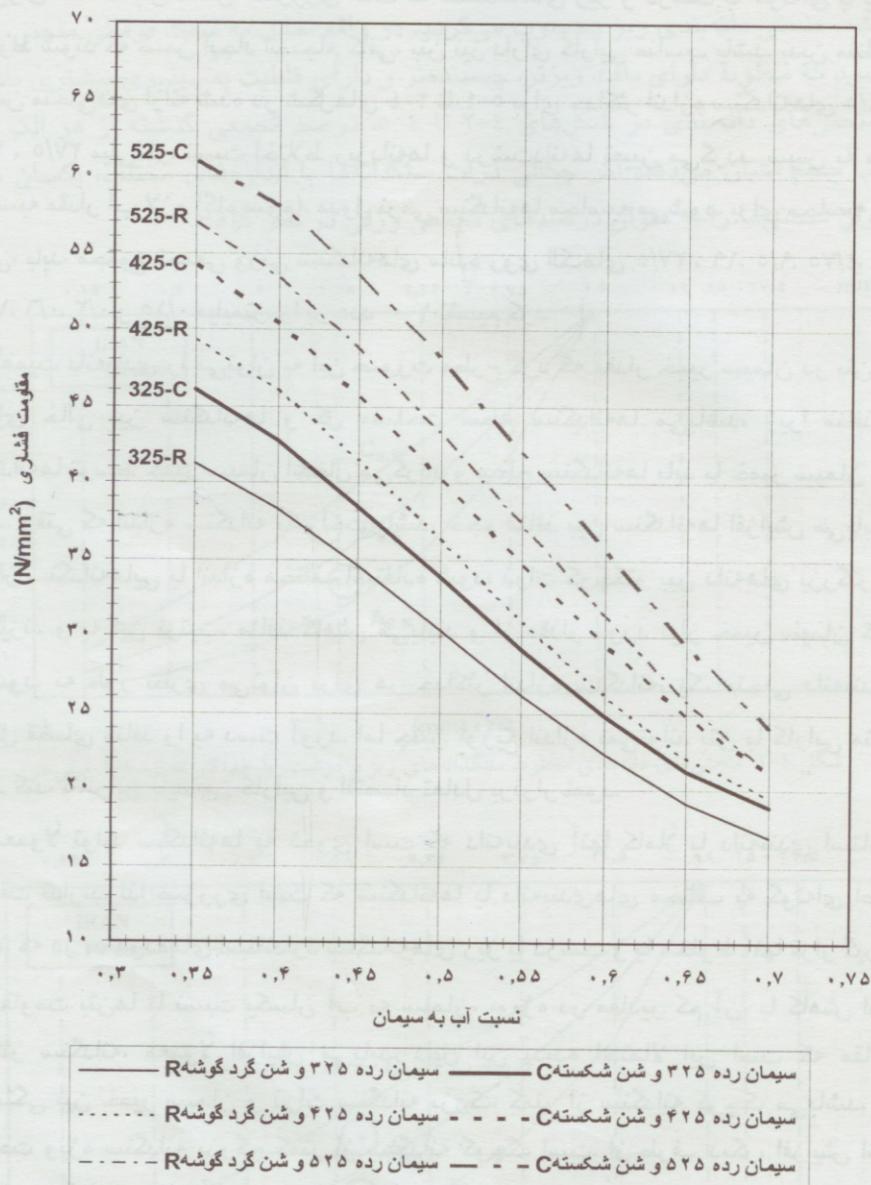


از همه مهمتر این که وقتی مقدار سیمان تغییر داده می شود و مقدار آب ثابت نگه داشته می شود، روانی بتن به همان نسبت تغییر نمی کند. به عبارت دیگر، افزایش مقدار سیمان تا حد معینی، مقاومت فشاری را افزایش می دهد، زیرا از نسبت آب به سیمان کاسته می شود، اما روانی تقریباً بدون تغییر می ماند. از طرف دیگر، وقتی که مقدار سیمان ثابت نگه داشته می شود و مقدار آب تغییر می کند، روانی بتن در حد قابل توجه تغییر می کند. اگر روانی بتن در حد سفت باشد، امکان دارد به دلیل عدم تراکم مطلوب، مقاومت فشاری کاهش یابد.

با استفاده از شکل ۱-۴ بر اساس مقاومت ملات استاندارد سیمان (رده مقاومتی سیمان) و مقاومت فشاری متوسط بتن، نسبت آب به سیمان ( $c/w$ ) تعیین می گردد. در منحنی های شکل ۱-۴، مقدار هوای ناخواسته در بتن ۱ تا ۲ درصد فرض شده است. همچنین در ارائه منحنی ها، حداکثر اندازه سنگدانه ها ۱۹ تا ۲۵ میلی متر، فرض شده و در یک نسبت آب به سیمان برابر، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، مقاومت فشاری افزایش می یابد. در صورت استفاده از مواد حباب ساز، به ازای هر یک درصد حباب هوای عمده، باید ۳ درصد از نسبت آب به سیمان (تعیین شده از شکل ۱-۴) کاسته شود تا مقاومت فشاری مورد نظر حاصل گردد. در این منحنی ها رده بندی سیمان ها بر اساس مقاومت استاندارد آنها و همچنین شکل سنگدانه های درشت از نظر تیز گوشه یا گرد گوشه بودن در نظر گرفته شده است. به این نکته باید دقت کرد که در طرح مخلوط بتن هایی که، فقط معیار مقاومت و روانی باید کنترل شوند، استفاده از درشت دانه های تیز گوشه و یا گرد گوشه چندان تفاوتی ندارد، اما اگر نسبت آب به سیمان به عنوان معیار دوام محدود شده باشد، مخلوط بتن با سنگدانه گرد گوشه نیاز به سیمان کمتری دارد.

همچنین به طور کلی حباب هوای عمده موجود در بتن باعث کاهش آب آزاد برای تأمین کارایی می گردد. به ازای هر یک درصد حباب هوای عمده (مازاد بر هوای ناخواسته)،  $2/5$

درصد از آب آزاد مورد نیاز در مخلوط کاسته می شود.



شکل ۱-۴ رابطه بین نسبت آب به سیمان (w/c) و مقاومت فشاری بتن در سن ۲۸ روزه



## ۲-۴ گام دوم: انتخاب منحنی سنگدانه

برای ساخت بتن همگن، ضروری است که سنگدانه‌های ریز و درشت به گونه‌ای با یکدیگر مخلوط شوند که ضمن ایجاد انسجام کافی، بتن نیز دارای کارایی مناسب باشد. بدین منظور بر اساس منحنی‌های ارائه شده در شکل‌های ۲-۴ تا ۵-۴ برای حداکثر اندازه سنگدانه‌های  $19, \frac{9}{5}, 25, \frac{37}{5}$  میلی‌متر، نسبت اختلاط ریزدانه‌ها و درشت‌دانه‌ها تعیین می‌گردد. سپس به منظور محاسبه مقدار آب لازم (گام سوم)، مدول فرمی سنگدانه‌ها محاسبه می‌شود. برای محاسبه مدول فرمی، باید، مجموع تجمعی وزنی سنگدانه‌های مانده روی الکهای  $37/5, 19, \frac{9}{5}, 26, \frac{475}{9}$  و  $0/3, 0/15$  میلی‌متر، را بر عدد  $100$  تقسیم کرد.

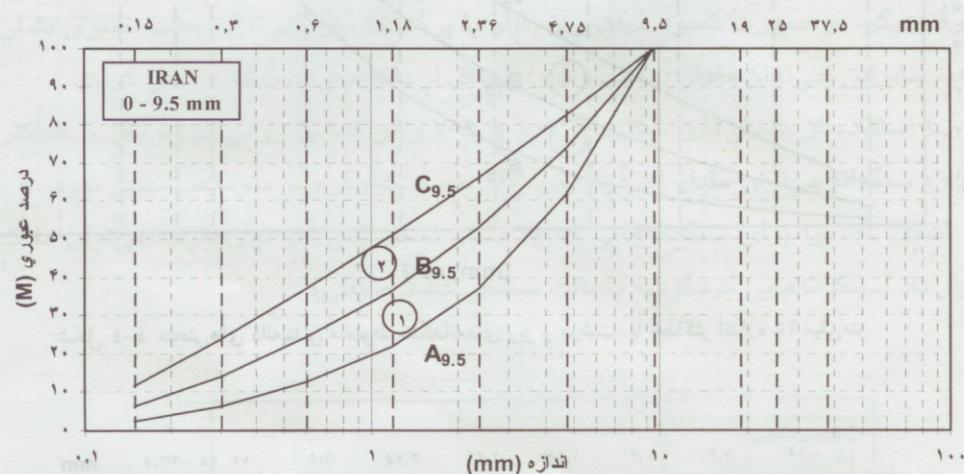
اهمیت دانه‌بندی را می‌توان به این صورت مطرح کرد که مقدار خمیر سیمان در بتن، تابع فضای خالی بین سنگدانه‌ها و کل مساحت سطح سنگدانه‌ها می‌باشد، زیرا منافذ بین سنگدانه‌ها توسط خمیر سیمان اشغال می‌گردد و سطح سنگدانه‌ها باید با خمیر سیمان اندود شود. وقتی که اندازه سنگدانه یکنواخت باشد، حجم منافذ بین سنگدانه‌ها افزایش می‌یابد. اما اگر از سنگدانه‌هایی با اندازه مختلف استفاده شود، ذرات کوچکتر بین دانه‌های بزرگتر قرار می‌گیرند و به این ترتیب، منافذ کاهش می‌یابند و از مقدار مورد نیاز خمیر سیمان کاسته می‌شود. به طور نظری می‌توان برای هر حداکثر اندازه سنگدانه، یک منحنی دانه‌بندی با حداقل فضای منافذ را به دست آورد. اما چنین توزیع اندازه نمی‌تواند بتن با کارایی مناسب تولید کند، بنابراین باید بین کارایی و اقتصاد تعادل برقرار نمود.

معمولًاً تولید سلیمانه‌ها به نحوی است که دانه‌بندی آنها کاملاً با دانه‌بندی استاندارد مطابقت ندارند. لذا ضروری است که سنگدانه‌ها با دانه‌بندی‌های مختلف به گونه‌ای اصلاح شوند که در محدوده‌های استاندارد سنگدانه‌های ریز یا درشت و یا مخلوط آنها قرار گیرند.

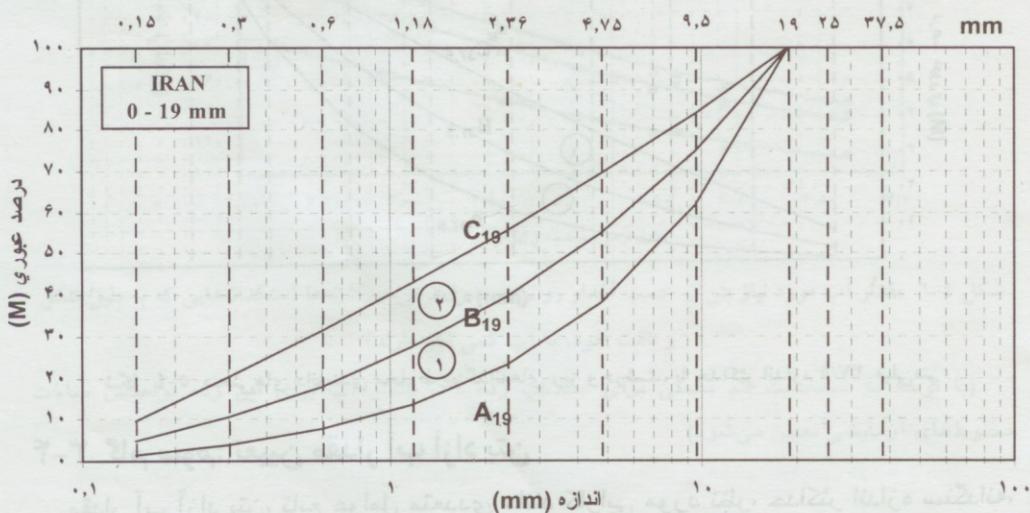
مقاومت بتن‌ها با نسبت یکسان آب به سیمان، بویژه در مقادیر کم آن، با کاهش اندازه حداکثر سنگدانه، معمولًاً افزایش می‌یابد. دلیل این پدیده احتمالاً این است که مقاومت پیوستگی بین خمیر سیمان و ذرات سنگدانه بزرگ، کمتر از سنگدانه کوچک می‌باشد، زیرا مساحت ویژه سنگدانه بزرگ، کمتر از سنگدانه کوچک است. از طرف دیگر، افزایش اندازه حداکثر سنگدانه، مقدار آب مورد نیاز مخلوط را برای کارایی مشخص کاهش می‌دهد. در نتیجه نسبت آب به سیمان کاهش و مقاومت افزایش می‌یابد، بنابراین، افزایش اندازه سنگدانه دو اثر متضاد دارد. بر اساس حداکثر اندازه سنگدانه مصرفی در بتن، می‌توان از شکل‌های ۲-۴ تا ۵-۴ منحنی مورد نظر را انتخاب نمود. در شکل‌های مذکور حروف A، B و C نشان‌دهنده محدوده دانه‌بندی درشت، متوسط و دانه‌بندی ریز است. چنانچه دانه‌بندی



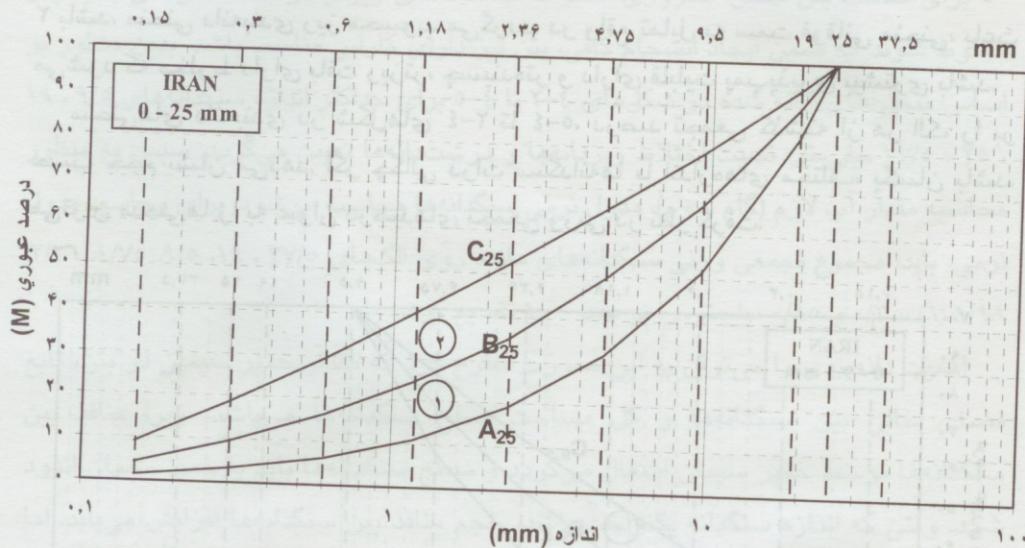
سنگدانه در محدوده ۱ قرار بگیرد، منحنی دانه‌بندی درشت و اگر دانه‌بندی مطابق با محدوده ۲ باشد، منحنی دانه‌بندی ریز محسوب می‌گردد. در واقع تمايل به سمت فوقانی منحنی، باعث می‌شود که مخلوط دارای بافت ریزتر، چسبنده‌تر و دارای قابلیت پمپ‌پذیری بیشتری باشد. منحنی‌های دانه‌بندی در شکل‌های ۲-۴ تا ۵-۴، درصد تجمعی گذشته از هر الک را بر حسب حجم نشان می‌دهد. اگر چگالی ذرات سنگدانه‌ها با اندازه‌های مختلف، یکسان باشد، می‌توان منحنی‌ها را به عنوان درصدهای تجمعی وزنی در نظر گرفت.



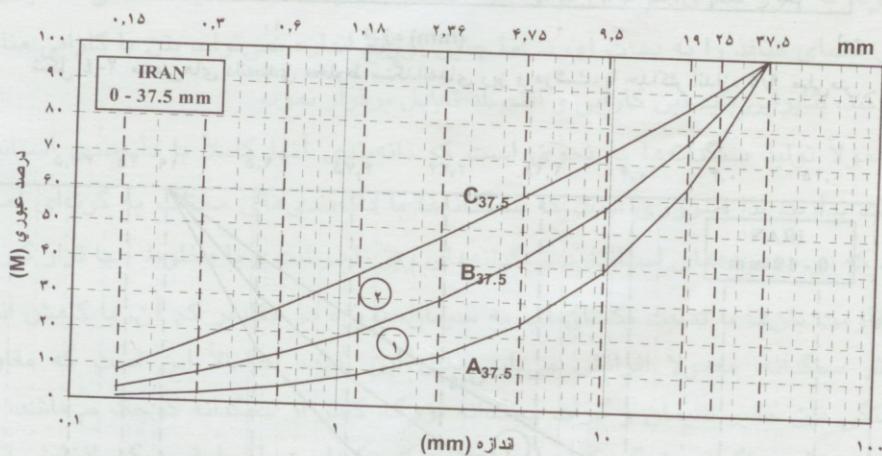
شکل ۲-۴ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداقل اندازه ۹/۵ میلی‌متر



شکل ۳-۴ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداقل اندازه ۱۹ میلی‌متر



شکل ۴-۴ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۲۵ میلی‌متر



شکل ۴-۵ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۳۷.۵ میلی‌متر

### ۳-۴ گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

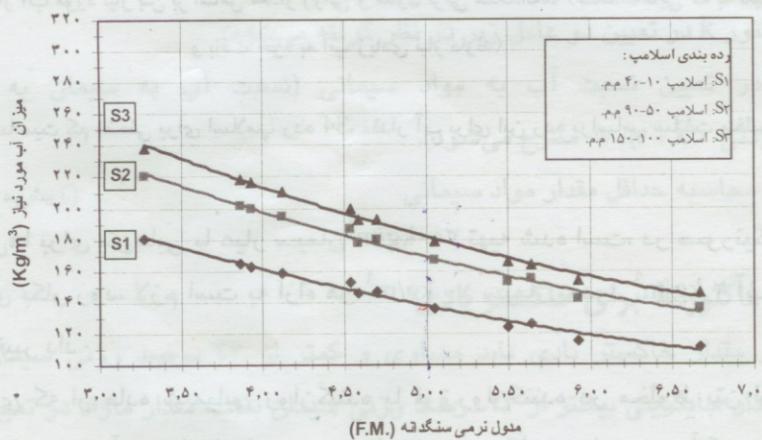
مقدار آب آزاد بتن، تابع عوامل متعددی مانند کارایی مورد نظر، حداکثر اندازه سنگدانه، دانه‌بندی و نوع سنگدانه‌های مصرفی از نظر بافت و شکل است. مقدار آب مهمترین عامل



تأثیرگذار در کارایی بتن می‌باشد. افزایش مقدار آب باعث افزایش سهولت ریختن بتن و تراکم پذیری آن می‌شود. هرچند، افزایش آب، غیر از کاهش مقاومت، منجر به جداسدگی ذرات و آب انداختن می‌گردد.

مقدار آب مخلوط باید در حدی باشد که جذب ذرات سنگانه شود و سپس فضای بین ذرات سنگانه را اشغال کند تا با ایجاد لایه‌ای از دوغاب سیمان بر روی سنگانه‌ها حالت روغنکاری را به وجود آورد. بر همین اساس، ذرات ریزتر نیاز به آب بیشتری دارند. از طرف دیگر، در صورت کمبود ذرات ریز (فیلر یا پرکننده)، بتن نمی‌تواند حالت خمیری نشان دهد، بنابراین نمی‌توان مقدار آب مخلوط را مستقل از دانه‌بندی سنگانه در نظر گرفت.

با استفاده از منحنی‌های شکل‌های ۶-۴ و ۷-۴ و بر اساس روانی مورد نظر و خداکثر اندازه سنگانه می‌توان مقدار آب آزاد بتن را بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب تعیین نمود. شکل ۶-۴ را برای سنگانه‌هایی که به مقدار نسبتاً کمی آب نیاز دارند، می‌توان ملاک قرار داد (سنگانه‌هایی گردگوشش با بافت سطحی کاملاً صیقلی).

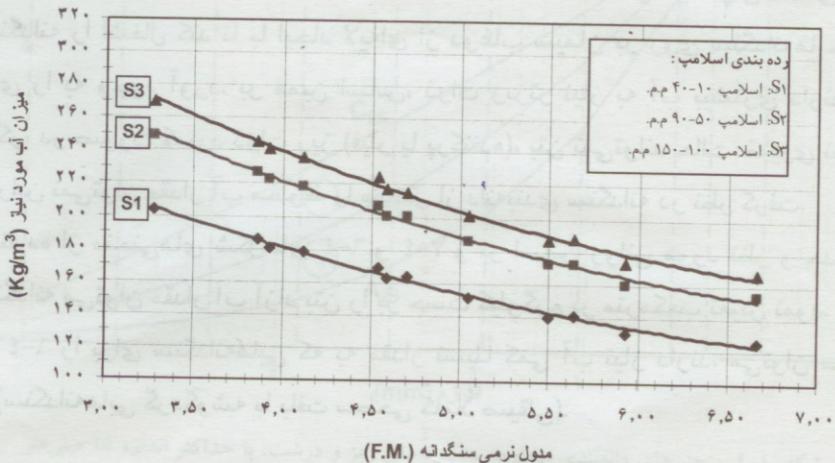


شکل ۶-۴ مقدار آب مورد نیاز بتن بر حسب مقدار روانی و مدول نرمی سنگانه‌ها (سنگانه‌هایی که به دلیل شکل و بافت خود، به آب کمی نیاز دارند)

با توجه به حساسیت کم منحنی برای اسلامی پرده S4، مقدار آب برای این رده براساس ساخت مخلوط‌های آزمایشی تعیین می‌شود)



شکل ۷-۴، در مواردی که سنگدانه‌ها به مقدار نسبتاً زیادی آب نیاز دارد، به کار بردہ می‌شود (سنگدانه‌های شکسته و با بافت سطحی زبر). همان‌گونه که مشاهده می‌شود هرچه مدول نرمی بیشتر شود، مقدار آب کمتری در طرح لازم است.



شکل ۷-۴ مقدار آب مورد نیاز بتن بر اساس مقدار روانی و مدول نرمی سنگدانه‌ها (سنگدانه‌هایی که به دلیل شکل و بافت خود به آب زیادی نیاز دارند)

(با توجه به حساسیت کم منحنی برای اسلامپ رده S4، مقدار آب برای این رده براساس ساخت مخلوطهای

آزمایشی تعیین می‌شود)

این منحنی‌ها برای بتن‌هایی با عیار سیمان  $350 \text{ kg/m}^3$  تهیه شده است، در صورتیکه عیار سیمان دیگری بکار رود، لازم است به ازاء هر  $10 \text{ kg/m}^3$  سیمان حدود  $2 \text{ kg/m}^3$  آب را در همان جهت تغییر داد.

در مواردی که از ماده شیمیایی روان‌کننده یا فوق‌روان‌کننده در مخلوط بتن استفاده می‌شود، می‌توان مقدار آب مخلوط را حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش داد، بدون آنکه در مقدار اسلامپ مورد نظر تغییری حاصل شود.

مقدار آب مورد نیاز برای رساندن رطوبت سنگدانه‌ها از حالت خشک یا مرطوب به حالت اشباع با سطح خشک باید نسبت به آب آزاد اصلاح شود.

در مخلوطهای با عیار کم سیمان ( $300 \text{ kg/m}^3$ )، ممکن است مخلوط طراحی شده به علت کمبود ذرات ریز، خشن گردد. لذا در این موارد توصیه می‌شود از مواد زیر برای جبران کمبود ذرات ریز استفاده شود:



﴿ پوزولان استاندارد (استاندارد ملی ایران ۳۴۳۳)

﴿ پودر سنگ آهک استاندارد

#### ۴-۴ گام چهارم - تعیین مقدار سیمان در بتن

پس از تعیین مقدار آب آزاد و نسبت آب به سیمان می‌توان مقدار سیمان را بر حسب  $kg/m^3$  از فرمول ۱-۴ محاسبه کرد.

$$\text{نسبت آب به سیمان} \div \text{مقدار آب آزاد} = \text{مقدار سیمان} \quad (1-4)$$

مقدار سیمانی که از رابطه ۱-۴ محاسبه می‌گردد، باید با مقدار حداقل اعلام شده در مشخصات فنی و یا الزامات دوام مقایسه گردد. چنانچه مقدار سیمان محاسبه شده بیشتر یا کمتر از مقدار مورد نظر باشد، باید آن مقدار مورد نظر انتخاب گردد. در صورتیکه از مواد افزودنی معدنی جایگزین سیمان (دوده سیلیسی و یا خاکستر بادی) استفاده می‌شود، باید مقدار آب مورد نیاز و مواد سیمانی با در نظر گرفتن فاکتور مؤثر  $k$  محاسبه گردد.

اثر فاکتور  $k$  در تعیین دو عامل زیر در نظر گرفته می‌شود:

الف) در تعیین نسبت آب به مواد سیمانی (نسبت آب به سیمان به صورت مواد افزودنی  $(c + kf) / w$  مطرح می‌شود).

ب) در محاسبه حداقل مقدار مواد سیمانی

#### ۱-۴-۴ فاکتور $k$ برای خاکستر بادی

حداقل مقدار خاکستر بادی باید مساوی و کمتر از ۳۳ درصد وزنی سیمان باشد. چنانچه مقدار جایگزینی بیشتر از ۳۳ درصد وزنی سیمان باشد، مقدار مازاد در تعیین رابطه  $w / (c + kf)$  و محاسبه حداقل مقدار مواد سیمانی منظور نمی‌گردد. در جدول ۱-۴ مقدایر  $k$  بر حسب نوع سیمان مصرفی مشخص گردیده است.

جدول ۱-۴ مقدایر  $k$  بر حسب رده مقاومتی سیمان برای جایگزینی خاکستر بادی به جای سیمان

برای سیمان‌های با رده مقاومتی ۲۲۵	$k = .2$
برای سیمان‌های با رده مقاومتی ۴۲۵ و بیشتر	$k = .4$

در مواردی که حداقل مقدار مواد سیمانی با در نظر داشتن ویژگی‌های دوام تعیین می‌گردد، اجازه داده می‌شود حداکثر به مقدار  $kg/m^3$  [ ]-۲۰۰ حداقل مواد سیمانی)  $\times k$  ، از مقدار سیمان کاسته شود، به شرط اینکه مقدار مواد سیمانی (سیمان + خاکستر بادی) کمتر از حداقل مقدار سیمان تعیین شده بر اساس دوام نباشد.

#### ۲-۴-۴ فاکتور $k$ برای دوده سیلیسی

حداکثر مقدار دوده سیلیسی باید مساوی و کمتر از ۱۱ درصد وزنی سیمان باشد. چنانچه مقدار جایگزینی دوده سیلیسی بیش از ۱۱ درصد باشد، مقدار مازاد در تعیین رابطه  $w = (c + ks)$  / تعیین حداقل مقدار مواد سیمانی منظور نمی‌گردد. در جدول ۲-۴ مقداری فاکتور  $k$  بر حسب نسبت آب به سیمان مشخص گردیده است.

جدول ۲-۴ مقداری  $k$  بر حسب مقدار آب به سیمان برای جایگزینی دوده سیلیسی به جای سیمان

توضیحات	فاکتور $k$	مقدار آب به سیمان
-	۲	کوچکتر یا مساوی ۰/۴۵
در مواردی که احتمال خوردگی ناشی از کربناتاسیون و تهاجم ناشی از یخ‌زدن و آب شدن بدون استفاده از مواد حباب‌ساز وجود داشته باشد، باید مقدار $k$ مساوی ۱ در نظر گرفته شود.	۲	بزرگتر از ۰/۴۵

مقدار (سیمان +  $k \times$  دوده سیلیسی) باید کمتر از حداقل سیمان مورد نیاز برای شرایط دوام باشد. در مواردی که به علت الزامات دوام، مقدار حداقل سیمان، مساوی یا کمتر از  $300 kg/m^3$  در نظر گرفته شود، باید مقدار کاهش سیمان محاسبه شده، در جایگزینی با دوده سیلیسی بیشتر از ۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شود.

#### ۴-۵ گام پنجم - تعیین مقدار سنگدانه در بتون

مقدار سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک آخرين جزء مجھول بتون در اين روش طرح مخلوط می‌باشد که طبق فرمول ۲-۴ تعیین می‌گردد.



$$A_{SSD} = \rho_{ASSD} \left( 1000 - \frac{c}{\rho_c} - \frac{w_f}{\rho_w} - \frac{D}{\rho_D} - V_a \right) \quad (2-4)$$

که در آن:

$A_{SSD}$  = جرم کل سنگانه‌های اشباع با سطح خشک بر حسب  $\text{kg}/\text{m}^3$

$c$  = جرم سیمان بر حسب  $\text{kg}/\text{m}^3$

$w_f$  = جرم آب آزاد بر حسب  $\text{kg}/\text{m}^3$

$D$  = جرم مواد جایگزین سیمان بر حسب  $\text{kg}/\text{m}^3$

$V_a$  = حجم هوای موجود در بتن (عمدی و ناخواسته) بر حسب  $\text{dm}^3$

$\rho_{ASSD}$  = وزن مخصوص متوسط سنگانه‌های اشباع با سطح خشک بر حسب  $\text{g}/\text{cm}^3$

$\rho_c$  = جرم مخصوص سیمان بر حسب  $\text{g}/\text{cm}^3$

$\rho_w$  = جرم مخصوص آب بر حسب  $\text{g}/\text{cm}^3$  که معادل ۱ منظور می‌شود

$\rho_D$  = جرم مخصوص افزودنی معدنی بر حسب  $\text{g}/\text{cm}^3$

در جدول ۴-۳- مقدار هوای موجود در بتن ( $V_a$ ) بر اساس حداکثر اندازه سنگانه به عنوان راهنمای ارائه شده است.

جدول ۴-۳ مقدار هوای ناخواسته در بتن ( $V_a$ )

حداکثر اندازه سنگانه (mm)	درصد هوای ناخواسته	۹/۵	۱۲/۵	۱۹	۲۵	۳۸	۵۱
درصد هوای ناخواسته	۱/۵-۳	۱/۲۵-۲/۵	۱-۲	۰/۷۵-۱/۵	۰/۵-۱	۰/۲۵-۰/۵	

کارایی بتن یکی از پارامترهای مؤثر در مقدار هوای ناخواسته می‌باشد، لذا جهت تعیین درصد هوای با توجه به محدوده‌های ارائه شده در جدول ۴-۳، چنانچه کارایی نسبتاً زیاد باشد از مقادیر کم هوای اگر کارایی در حد کم باشد، باید از مقادیر زیاد هوای استفاده گردد.