

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت مسکن و شهرسازی

# روش ملی طرح مخلوط بتن

نشریه شماره: ض - ۴۷۹

چاپ دوم: ۱۳۸۸

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	: 978-964-9903-54-5
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: پشت جلد به انگلیسی: The national method for concrete mix design.
موضوع	: بتن - - مخلوط کردن.
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
رده‌بندی کنگره	: TA۴۳۹/۹۴ ۱۳۸۶
رده‌بندی دیوبی	: ۶۶۶/۸۹۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۱۴۹۷۱۲

مصوبه شماره ۸۷/۵۶۱ 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 چاپ دوم: ۱۳۸۸

ناشر: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

تنظیم برای چاپ: نسرین مقدس

شمارگان: ۳۰۰۰ 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 ا... نوری، خیابان پاس-فرهنگیان، خیابان ارشاد، خیابان سوم صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir صفحه الکترونیکی: http://www.bhrc.ac.ir

دفتر فروش: نرسیده به میدان ولی عصر، مجتمع اداری - تجاری ولی عصر، واحد ۸۲ تلفن: ۸۸۹۴۰۳۶۰

ISBN: 978-964-9903-54-5

شماره شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۹۹۰۳-۵۴-۵

## پیشگفتار

امروزه بتن در سطح وسیع در جهان، مورد استفاده است و بعنوان ماده ساختمانی قرن مطرح می‌باشد. با توجه به روند توسعه روزافزون و سرمایه‌گذاری‌های عمرانی در کشور نیاز است تا به این ماده مهم توجه ویژه‌ای گردد.

طرح مخلوط بتن، روند تعیین نسبت اجزاء بتن است به نحوی که بتن تا حد امکان مقرون به صرفه شود و الزامات مورد نیاز شامل خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام را برآورده نماید. روش طرح مخلوط بتن منطبق با فناوری و مصالح بومی کشور، روند تصمیم‌گیری در انتخاب نسبت‌های مناسب اجزای بتن را تسریع کرده و باعث ایجاد یک زبان مشترک برای دست‌اندرکاران این صنعت بتن خواهد شد.

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن با توجه به تجربیات ارزشمند در زمینه فناوری بتن، از سالها پیش به این ضرورت پی برد تا روشی منسجم، کاربردی و سازگار با مشخصات مصالح کشور برای طرح مخلوط بتن تدوین نماید. "روش ملی طرح مخلوط بتن"، پس از مطالعات و تحقیقات آزمایشگاهی گسترده در سال ۱۳۸۶ تدوین شد و در اختیار متخصصان این صنعت قرار گرفت. سادگی استفاده از این روش و عدم نیاز به سعی و خطای زیاد در ساخت مخلوط‌های آزمایشگاهی، به علت انطباق آن با مشخصات و ویژگی‌های مصالح موجود در کشور، از مزایای این روش است.

هم‌اینک که این مجموعه مورد استقبال جامعه مهندسی قرار گرفته است، چاپ دوم آن پس از کسب نظرات صاحب‌نظران و متخصصان، با ویرایش و اصلاحات لازم در اختیار علاقه‌مندان قرار می‌گیرد. همچنین این مرکز همواره آماده دریافت نظرات و پیشنهادات در خصوص این روش خواهد بود. امید است این مجموعه بتواند در روند توسعه پایدار این مرز و بوم و استفاده صحیح از منابع ارزشمند آن اثرگذار باشد.

سید محمود فاطمی‌عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

### کمیته تدوین:

دکتر پرویز قدوسی  
دکتر علی اکبر رمضانپور  
دکتر طیبہ پرهیزکار  
دکتر علیرضا باقری  
دکتر محسن تدین  
مهندس امیرمازیار رئیس قاسمی  
مهندس علیرضا پورخورشیدی

### کمیته تهیه متن اولیه:

دکتر پرویز قدوسی  
دکتر محسن تدین  
مهندس امیرمازیار رئیس قاسمی  
مهندس علیرضا پورخورشیدی

### کمیته بازبینی و کنترل:

دکتر علی اکبر رمضانپور  
دکتر پرویز قدوسی  
دکتر طیبہ پرهیزکار  
مهندس امیرمازیار رئیس قاسمی  
دکتر علیرضا باقری  
دکتر هرمز فامیلی  
زنده باد دکتر مهدی قالیبافیان  
دکتر محسن تدین

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
<hr/>	
بخش اول: مقدمه.....	۱
۱-۱ کلیات .....	۱
۲-۱ دامنه کاربرد .....	۲
بخش دوم: مبانی طرح.....	۳
۱-۲ حاشیه ایمنی مقاومت .....	۳
۲-۲ اندازه‌گیری روانی .....	۳
۳-۲ آب آزاد .....	۴
۴-۲ نوع سنگدانه‌ها .....	۴
۵-۲ دانه‌بندی سنگدانه .....	۴
۶-۲ سیمان مصرفی .....	۵
۷-۲ شرایط عمل‌آوری و سن آزمایش .....	۵
۸-۲ دوام .....	۵
بخش سوم: تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم.....	۷
۱-۳ مقاومت فشاری متوسط لازم .....	۷
۲-۳ تعیین انحراف معیار .....	۷
۱-۲-۳ محاسبه انحراف معیار بر اساس نتایج آماری پروژه‌های قبلی .....	۸



۲-۲-۳ تعیین انحراف معیار در صورت عدم دسترسی به اطلاعات آماری..... ۹

بخش چهارم: روش طرح مخلوط..... ۱۱

۱-۴ گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان..... ۱۱

۲-۴ گام دوم: انتخاب منحنی سنگدانه..... ۱۴

۳-۴ گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن..... ۱۶

۴-۴ گام چهارم: تعیین مقدار سیمان در بتن..... ۱۹

۱-۴-۴ فاکتور K برای خاکستر بادی..... ۱۹

۲-۴-۴ فاکتور K برای دوده سیلیسی..... ۲۰

۵-۴ گام پنجم: تعیین مقدار سنگدانه در بتن..... ۲۱

## فهرست جداول

عنوان جدول	صفحه
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

عنوان شکل	صفحه
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	

## بخش اول

### مقدمه

#### ۱-۱ کلیات

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

تعیین نسبت های اجزای بتن بر اساس روابط تجربی انجام می شود. طرح مخلوط به مفهوم فرآیندی است که طی آن ترکیب مناسب اجزای بتن، طبق مشخصات فنی داده شده، تعیین می گردد. 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 می کند. در حقیقت، کارایی خود از دو مؤلفه اصلی تشکیل یافته است، که شامل روانی (آسانی در جاری شدن) و چسبندگی (مقاومت در مقابل جداشدگی ذرات) می باشد که وقتی به مخلوط آب افزوده می شود، 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 نمی توان طرح مخلوط را بر اساس یک سری روابط و محاسبات عددی انجام داد، احساس ناخشنودی می کنند، اما با درک صحیح اصول و با کمی تجربه می توان به هنر طرح مخلوط مسلط شد.

در طرح مخلوط ممکن است معیارهای دیگری مانند کاهش جمع شدگی، خزش و ... در نظر گرفته شود. هر چند تاکنون تلاش زیادی در خصوص جنبه های نظری طرح مخلوط انجام شده است، اما هنوز از روش های تجربی استفاده می شود. به عبارت دیگر، روش های طرح مخلوط برای انتخاب اولیه نسبت ها مفید می باشند، اما برای تعیین نسبت های نهایی نیاز

به ساخت مخلوط‌های آزمایشی و تنظیم نسبت‌ها وجود دارد. روابط تجربی، به طور معمول به عنوان راهنما مورد استفاده قرار می‌گیرند و مخلوط‌های آزمایشی بر اساس این روابط ساخته می‌شوند. در صورت مغایر بودن مشخصه بتن تازه و سخت شده مخلوط‌های آزمایشی با مشخصه مورد نظر، باید در طرح مخلوط تجدید نظر به عمل آید. در روش ارائه شده به عنوان روش ملی طرح مخلوط بتن، تطابق با استاندارد سنگدانه‌های بتن (استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲) و همچنین آیین‌نامه بتن ایران و ویژگی‌های سیمان پرتلند (استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۹)، در نظر گرفته شده است. قابل ذکر است که روش ارائه شده به عنوان راهنمای اولیه طرح مخلوط به کار می‌رود و باید مخلوط‌های آزمایشی در آزمایشگاه و همچنین مطابق با شرایط کارگاه ساخته شوند و پس از بررسی نتایج مقاومت فشاری و دیگر الزامات طرح، نسبت‌های مخلوط، نهایی گردند. همچنین توصیه می‌شود، جهت تولیدات بیشتر و به منظور آشنایی کامل با جزئیات روش، به راهنمای روش ملی طرح مخلوط بتن مراجعه شود.

## ۱-۲ دامنه کاربرد

دامنه کاربرد این روش طرح مخلوط به شرح زیر است:

- ◀ تعیین نسبت‌های اختلاط اجزای بتن‌های معمولی مورد مصرف در ساختمان‌ها و سازه‌های بتنی متعارف
- ◀ دستیابی به مشخصات فنی مورد انتظار از بتن، که این مشخصات فنی مورد نظر معمولاً بر اساس آیین‌نامه‌های معتبر، تعیین و ملاک عمل قرار می‌گیرند. مشخصات فنی می‌توانند شامل مقاومت مشخصه فشاری، پارامترهای دوام، حداکثر اندازه سنگدانه، پوشش روی میلگردها و ... باشند.
- ◀ این روش، برای طرح مخلوط بتن‌های ویژه مانند بتن‌های حجیم، بتن‌های سبک، بتن‌های سنگین و ... مستقیماً قابل کاربرد نمی‌باشد و برای این نوع بتن‌ها، این روش با اعمال تمهیدات خاص و تغییراتی، قابل استفاده است.

## بخش دوم

### مبانی طرح

#### ۱-۲ حاشیه ایمنی مقاومت

به دلیل تغییرات در مقدار مقاومت بتن، ناشی از غیریکنواختی احتمالی در مصالح، اجزای بتن، ساختن، ریختن، تراکم، عمل آوری و ...، مخلوط بتن باید طوری طرح گردد که از مقاومت میانگین بیشتری نسبت به مقاومت مورد نظر برخوردار باشد. بنابراین، مقاومت مشخصه، که در واقع همان مقاومت مورد نظر در طراحی و ساخت سازه می باشد، باید به اندازه حاشیه ایمنی افزایش داده شود (مقاومت فشاری متوسط لازم). حاشیه ایمنی مقاومت بر اساس اطلاعات آماری تعیین می گردد. روش تعیین حاشیه ایمنی در بخش دوم شرح داده شده است.

#### ۲-۲ اندازه گیری روانی

در روش طرح مخلوط ارائه شده برای سنجش روانی بتن، از آزمایش اسلامپ استفاده شده است. طبقه بندی روانی بتن تازه در این روش، طرح مخلوط مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۵۱۹، در نظر گرفته شده است جدول (۱-۲).

جدول ۱-۲ طبقه بندی بتن تازه بر اساس مقدار اسلامپ

طبقه بندی		اسلامپ (میلی متر)
S1	سفت	۱۰ تا ۴۰
S2	خمیری	۵۰ تا ۹۰
S3	روان	۱۰۰ تا ۱۵۰
S4	خیلی روان (سیال)	بزرگتر یا مساوی ۱۶۰

\*در صورتی که اسلامپ بتن تازه کمتر از ۱۰ میلی متر و یا بیشتر از ۲۱۰ میلی متر باشد، آزمایش اسلامپ دقت مناسبی ندارد و باید از روش های مناسب دیگر، برای اندازه گیری روانی استفاده نمود.

## ۲-۳ 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.

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، به‌صورت 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.

## ۲-۴ 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، گردگوشه و گوشه‌دار (تیزگوشه) تقسیم شده است.

به طور کلی، سنگدانه شکسته شامل ذرات غیرمنظم و تیزگوشه است و معمولاً بافت سطحی دانه‌ها نیز زبر می‌باشد. بنابراین کارایی مخلوط کاهش می‌یابد، اما معمولاً مقاومت آن نسبت به مخلوط با سنگدانه گردگوشه 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.

## ۲-۵ دانه‌بندی سنگدانه

دانه‌بندی سنگدانه‌ها نیز 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 حداکثر اندازه سنگدانه‌های ۹/۵، ۱۹، ۲۵ و ۳۷/۵ 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.

## ۲-۶ 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 ۳۲۵، ۴۲۵ 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.

## ۲-۷ شرایط عمل‌آوری و سن آزمایش

معمولاً مقاومت بتن با افزایش سن آن، افزوده می‌شود، اما در بسیاری از مشخصات فنی، مقاومت ۲۸ روزه، به‌عنوان 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 عمل‌آوری شده‌اند (مطابق با آیین‌نامه بتن ایران) در نمودارها و منحنی‌ها در نظر گرفته شده است.

## ۲-۸ دوام

دوام بتن، عملکرد بتن در شرایط محیطی است که در معرض آن قرار می‌گیرد و در افزایش عمر مفید پیش‌بینی شده آن، بسیار حایز 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 حداکثر مقدار سیمان و انتخاب نوع سیمان و یا مواد افزودنی معدنی و شیمیایی، صورت می‌گیرد.



## بخش سوم

### تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم

#### ۳-۱ 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:

$$f_{cm} = f_c + 1.34S + 1.5 \text{ N/mm}^2 \quad (۱-۳)$$

$$f_{cm} = f_c + 2.33 S - 4 \text{ N/mm}^2 \quad (۲-۳)$$

که در آنها:

$f_{cm}$  = مقاومت فشاری متوسط بتن،  $\text{N/mm}^2$

$f_c$  = مقاومت فشاری مشخصه بتن بر اساس آزمونه‌های استوانه‌ای،  $\text{N/mm}^2$

$S$  = انحراف استاندارد مقاومت فشاری آزمونه‌ها،  $\text{N/mm}^2$

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

#### ۳-۲ 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 ۳-۲-۱ 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 تشابه 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  $0.5 \text{ N/mm}^2$  بیشتر نباشد.
- در غیر این صورت برای مواردی که اطلاعات آماری وجود ندارد، از روش ارائه شده در بند ۳-۲-۲ استفاده می‌شود.

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

در این روش باید بر اساس نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌ها که از پرونده 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 آزمونه‌ها

$n$ : تعداد آزمونه‌ها

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 ۳-۴، ضریب اصلاحی برای انحراف معیار محاسبه گردد:

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

که در آن:

$n$  = تعداد آزمونه‌ها

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 ۳-۵ به صورت میانگین آماری محاسبه گردد:



$$S = \left[ \frac{(n_1 - 1) s_1^2 + (n_2 - 1) s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3-5)$$

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.

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

در مواردی که نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌ها از نتایج آماری پروژه‌های قبلی، در دسترس نباشد، می‌توان بر اساس سطح نظارت و کنترل کیفیت کارگاه و مقاومت مشخصه بتن مقدار انحراف معیار (برای مقاومت آزمونه‌های استوانه‌ای) را از جدول ۳-۱ تخمین زد.

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

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

رتبه‌بندی 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 جدول 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
الف	ب	ج	
وزنی	وزنی	حجمی	توزین یا پیماننه کردن سیمان
وزنی	حجمی	حجمی	توزین یا پیماننه کردن سنگدانه
کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل	کنترل دانه‌بندی سنگدانه
کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل	کنترل رطوبت سنگدانه
در سطح عالی	در سطح خوب	در سطح ضعیف	نظارت بر تولید
موجود است	موجود است	در سطح محدود	امکانات آزمایشگاهی
مداوم	گاهی اوقات	در سطح محدود	تداوم در آزمایش
وجود دارد	وجود دارد	در سطح محدود	نیروی متخصص تولید بتن

## بخش چهارم

### روش طرح مخلوط

#### مقدمه

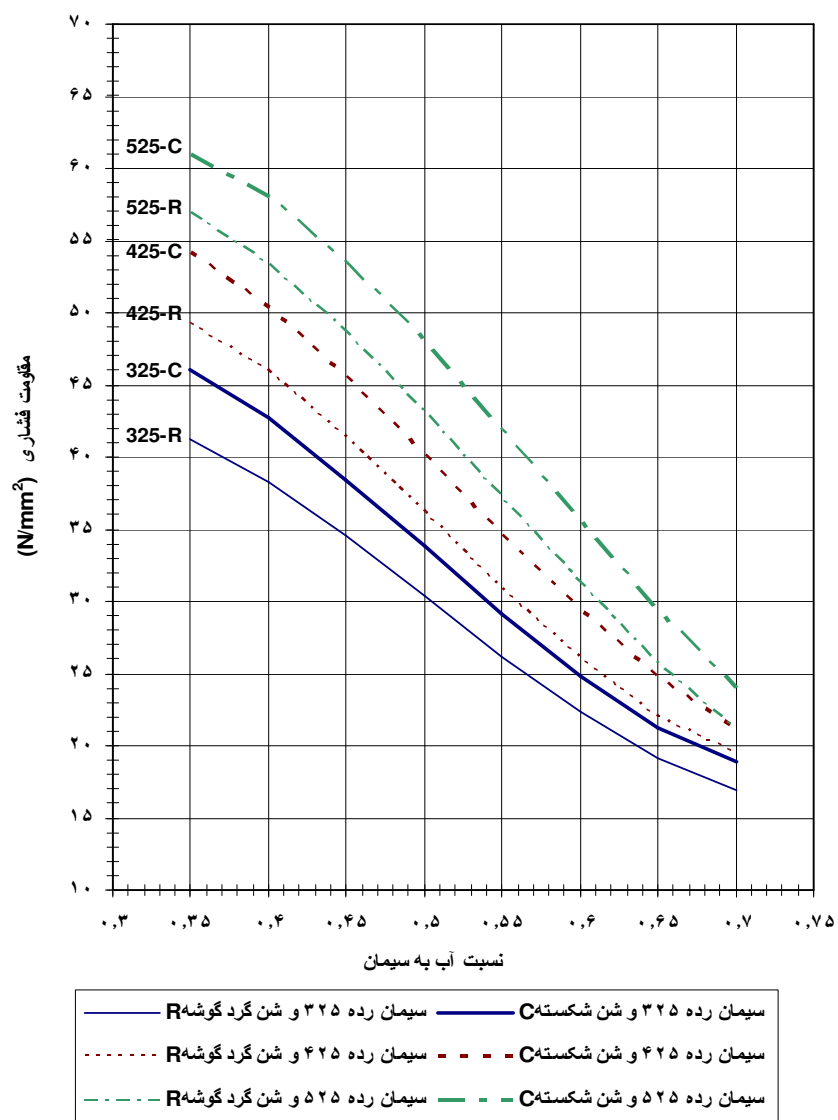
- طرح مخلوط بتن باید بر اساس در نظر گرفتن همه یا تعدادی از عوامل زیر صورت گیرد:
- نسبت آب به سیمان (یا نسبت آب به مواد سیمانی)
- مشخصات و خصوصیات سنگدانه (شکل، بافت و حداکثر اندازه سنگدانه)
- مقاومت
- کارایی
- دوام
- همه این عوامل با در نظر گرفتن مواردی مانند نوع سیمان، مواد افزودنی، مقدار هوای بتن و ... تأثیر می‌پذیرد.

#### ۴-۱ 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 حدی 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 ۴-۱ بر اساس مقاومت ملات استاندارد سیمان (رده مقاومتی سیمان) و مقاومت فشاری متوسط بتن، نسبت آب به سیمان ( $w/c$ ) تعیین می گردد. در منحنی های شکل ۴-۱، 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 عمدی (مازاد بر هوای ناخواسته)، باید ۴ درصد از مقدار نسبت آب به سیمان (تعیین شده از شکل ۴-۱) 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 تیزگوشه یا گردگوشه 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 تیزگوشه و یا گردگوشه چندان تفاوتی ندارد، اما اگر نسبت آب به سیمان به عنوان معیار دوام محدود شده باشد، مخلوط بتن با سنگدانه گردگوشه نیاز به سیمان کمتری دارد.



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 ۹/۵، ۱۹، ۲۵، ۳۷/۵ میلی‌متر، نسبت اختلاط ریزدانه‌ها و درشت‌دانه‌ها تعیین می‌گردد. سپس به منظور محاسبه مقدار آب لازم (گام سوم)، مدول نرمی سنگدانه‌ها محاسبه می‌شود. برای محاسبه مدول نرمی، باید، مجموع تجمعی وزنی سنگدانه‌های مانده روی الک‌های ۳۷/۵، ۱۹، ۹/۵، ۴/۷۵، ۲/۳۶، ۱/۱۸، ۰/۶، ۰/۳ و ۰/۱۵ میلی‌متر، را بر عدد ۱۰۰ 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.

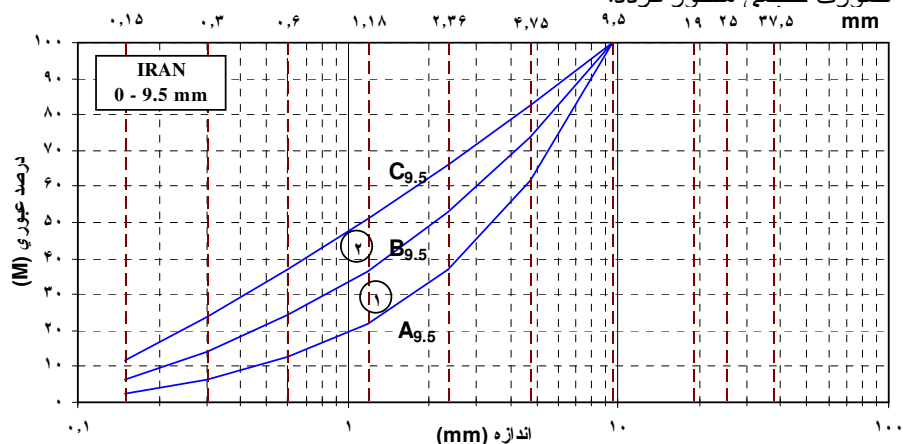
معمولاً تولید سنگدانه‌ها به نحوی است که دانه‌بندی آنها کاملاً با دانه‌بندی استاندارد مطابقت ندارند. لذا ضروری است که سنگدانه‌ها با دانه‌بندی‌های مختلف به گونه‌ای اصلاح شوند که در محدوده‌های استاندارد سنگدانه‌های ریز یا درشت و یا مخلوط آنها قرار گیرند.

مقاومت بتن‌ها با نسبت یکسان آب به سیمان، بویژه در مقادیر کم آن، با کاهش اندازه حداکثر سنگدانه، معمولاً 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

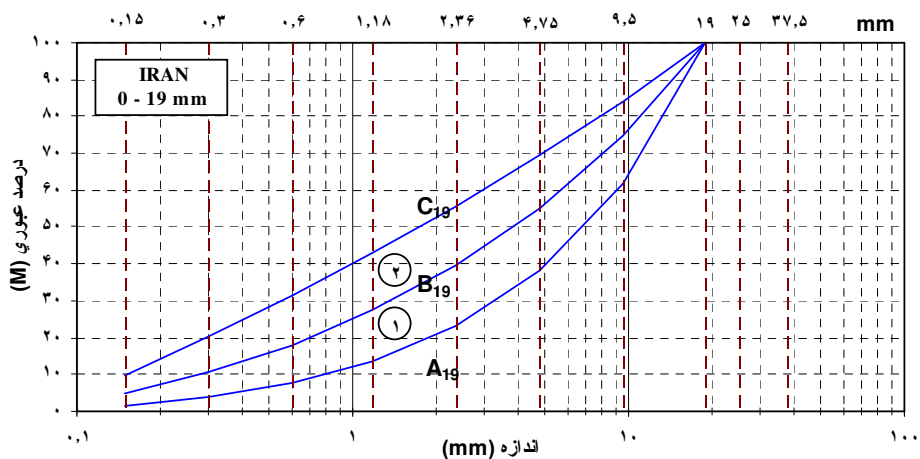


سنگدانه در محدوده ۱ قرار بگیرد، منحنی دانه‌بندی درشت و اگر دانه‌بندی مطابق با محدوده ۲ باشد، منحنی دانه‌بندی ریز محسوب می‌گردد. در واقع تمایل به سمت فوقانی منحنی، باعث می‌شود که مخلوط دارای بافت ریزتر، چسبیده‌تر و دارای قابلیت پمپ‌پذیری بیشتری باشد. منحنی‌های دانه‌بندی در شکل‌های ۲-۴ تا ۵-۴، درصد تجمعی 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. اگر چگالی ذرات سنگدانه با اندازه‌های مختلف، یکسان نباشد، لازم است منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه

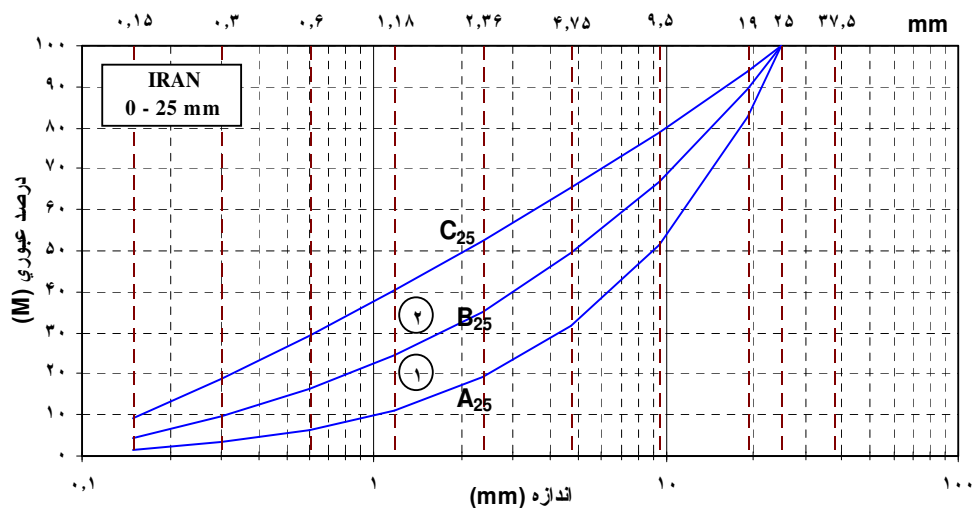
به صورت حجمی منظور گردد.



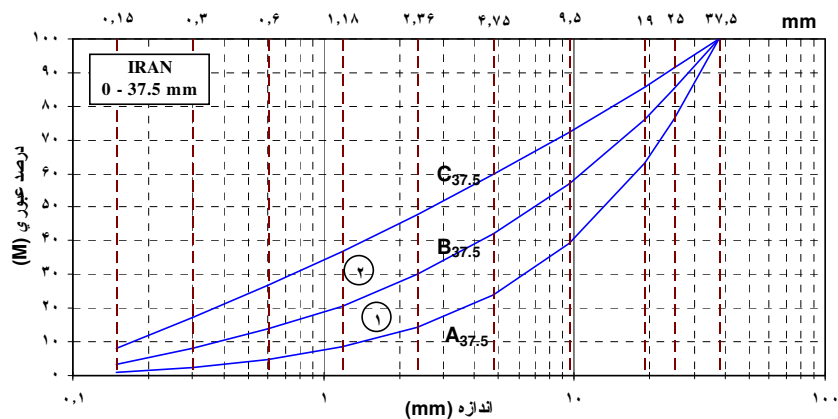
شکل ۲-۲ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۶/۵ میلی‌متر



شکل ۳-۴ منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر 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

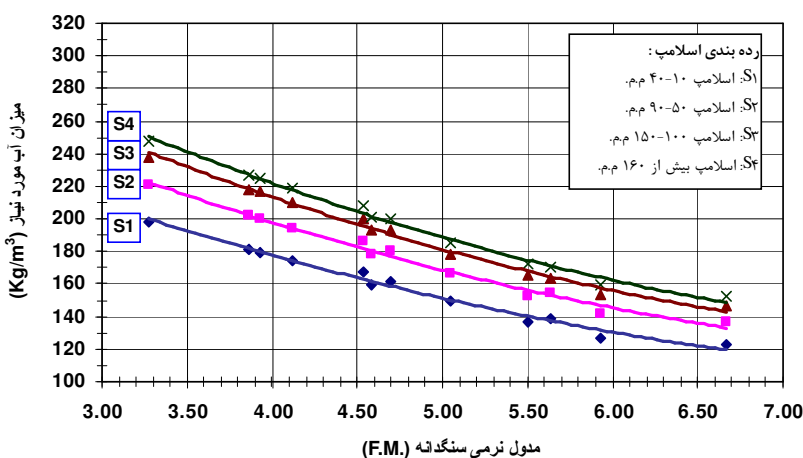
مقدار آب آزاد بتن، تابع عوامل متعددی مانند کارایی مورد نظر، حداکثر اندازه سنگدانه، دانه‌بندی و نوع سنگدانه‌های مصرفی از نظر بافت و شکل است. مقدار آب مهمترین عامل



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.

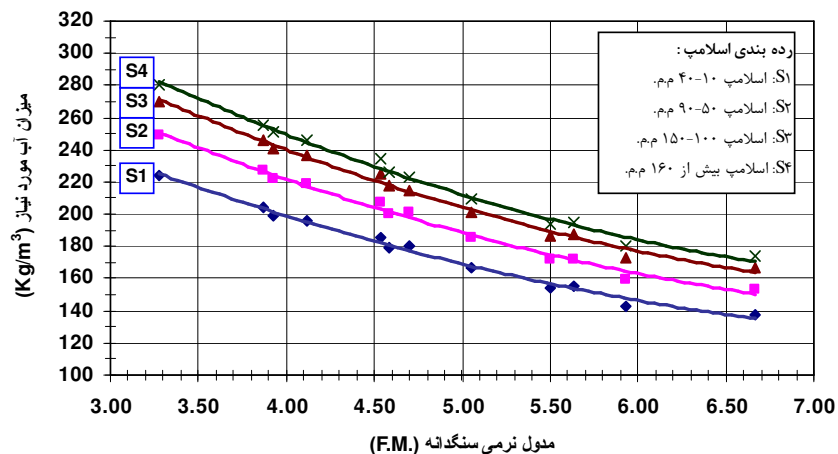
مقدار آب مخلوط باید در حدی باشد که جذب ذرات سنگدانه شود و سپس فضای بین ذرات سنگدانه را اشغال کند تا با ایجاد لایه‌ای از دوغاب سیمان بر روی سنگدانه‌ها حالت روغنکاری را به وجود آورد. بر همین اساس، ذرات ریزتر نیاز به آب بیشتری دارند. از طرف دیگر، در صورت کمبود ذرات ریز (فیلر یا پرکننده)، بتن نمی‌تواند حالت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

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



شکل ۴-۶ 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)

شکل ۴-۷، در مواردی که سنگدانه‌ها به مقدار نسبتاً زیادی آب نیاز دارد، به کار برده می‌شود (سنگدانه‌های شکسته و با بافت سطحی زبر). همان گونه 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)

این منحنی‌ها برای بتن‌هایی با عیار سیمان  $350 \text{ kg/m}^3$  تهیه شده است، در صورتیکه عیار سیمان بیشتری بکار رود، لازم است به ازاء هر  $10 \text{ kg/m}^3$  سیمان حدود  $1-2 \text{ kg/m}^3$  آب را افزایش داد.

در مواردی که از ماده شیمیایی روان‌کننده یا فوق‌روان‌کننده در مخلوط بتن استفاده می‌شود، می‌توان مقدار آب مخلوط را حدود ۵ تا ۳۰ 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.

همچنین به طور کلی حباب هوای عمدی موجود در بتن باعث کاهش آب آزاد برای تأمین کارایی می‌گردد. به ازای هر یک درصد حباب هوای عمدی (مازاد بر هوای ناخواسته)،  $2/5$  درصد از آب آزاد مورد نیاز در مخلوط کاسته می‌شود.



#### 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  $\text{kg/m}^3$  از فرمول ۱-۴ محاسبه کرد.

$$(۱-۴) \quad \text{نسبت آب به سیمان} \div \text{مقدار آب آزاد} = \text{مقدار سیمان}$$

پس از تعیین مقدار سیمان، لازم است تصحیح مقدار آب با توجه به بند ۴-۳ انجام شود و مجدداً مقدار سیمان تعیین گردد. این تصحیح فقط یک بار انجام می‌شود و نیازی به تکرار آن وجود ندارد. مقدار سیمانی که از رابطه ۱-۴ محاسبه می‌گردد، باید با مقدار حداکثر یا 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  $w / (c + k \times$  مطرح می‌شود).

ب) در محاسبه حداقل مقدار مواد سیمانی

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

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

حداکثر 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 مقادیر  $k$  برحسب نوع سیمان مصرفی مشخص گردیده است.

جدول ۴-۱ مقادیر  $k$  برحسب رده مقاومتی سیمان برای جایگزینی خاکستر بادی به جای سیمان

$k = 0.2$	برای سیمان‌های با رده مقاومتی ۳۲۵
$k = 0.4$	برای سیمان‌های با رده مقاومتی ۴۲۵ و بیشتر

در مواردی که حداقل مقدار مواد سیمانی با در نظر داشتن ویژگی‌های دوام تعیین می‌گردد، اجازه داده می‌شود حداکثر به مقدار  $kg/m^3$   $[(200 - \text{حداقل مواد سیمانی}) \times k]$ ، 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.

#### ۴-۴-۲ 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  $w / (c + ks)$  و تعیین حداقل مقدار مواد سیمانی منظور نمی‌گردد. در جدول ۴-۲ مقادیر فاکتور  $k$  بر حسب نسبت آب به سیمان مشخص گردیده است.

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

مقدار آب به سیمان	فاکتور $k$	توضیحات
کوچکتر یا مساوی ۰/۴۵	۲	-
بزرگتر از ۰/۴۵	۲	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.

مقدار (سیمان +  $k \times$  دوده سیلیسی) نباید 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، نباید، 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 بتن

مقدار سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک آخرین جزء مجهول بتن در این روش طرح مخلوط می‌باشد که طبق فرمول ۴-۲ تعیین می‌گردد.

$$V_{A_{SSD}} = 1000 - \left( \frac{c}{\rho_c} + \frac{w_f}{\rho_w} + \frac{D}{\rho_D} + V_a \right) \quad (۴-۲)$$

که در آن:

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

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

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

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

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

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

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

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

پس با توجه به سهم بدست آمده برای سنگدانه‌های ریز و درشت در مخلوط سنگدانه و با در نظر گرفتن حجمی بودن دانه‌بندی‌های ارائه شده در بند ۴-۲، مقدار حجم سنگدانه‌های ریز و درشت به تفکیک بدست می‌آید. با ضرب چگالی ذرات سنگدانه‌های ریز و درشت در حجم سنگدانه‌های متناظر آنها، وزن سنگدانه‌های ریز و درشت به تفکیک در حالت اشباع با سطح خشک تعیین می‌شود. همچنین در جدول ۴-۳ مقدار درصد هوای ناخواسته موجود در بتن ( $V_a$ ) بر اساس حداکثر اندازه سنگدانه به عنوان راهنما، ارائه شده است.

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

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

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



**Building and Housing Research Center**

# **The National Method for Concrete Mix Design**

**BHRC Publication No. S-479  
2008**