

بسمه تعالی

طرح اختلاط بتن

محسن تدین، عضو هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا

مدرس دانشگاه علم و صنعت و انجمن بتن ایران

تلفن: ۰۹۱۲-۱۲۷۲۹۹۳ ، نمابر: ۰۲۱-۲۲۹۰۱۳۵۵ ، پست الکترونیکی: tadayonmoh@yahoo.com

- هدف طرح اختلاط بتن
 - چندی و چونی اجزاء بتن - اغلب تعیین کمیت (چندی) اجزاء مد نظر است
- روش طرح اختلاط
 - دلخواه - اغلب روش ها جنبه راهنمایی دارد
- اطلاعات اولیه مورد نیاز
 - خواسته های مورد نیاز بتن
 - ویژگی های سنگدانه
 - ترجیحاً ویژگی های سیمان ، آب و افزودنی
- محل تهیه طرح و نیازمندی ها
 - آزمایشگاه و ابزار سنجش اجزاء، رطوبت سنجی، برای ساخت مخلوط آزمون و اختلاط و آزمایش های لازم برای بتن بر روی مخلوط مربوطه و تعدیل طرح با توجه به نتایج

پیش نویس

روش تعیین نسبت اجزاء مخلوط بتن

بخش بتن

پیش نویس

روش تعیین نسبت اجزاء مخلوط بتن

بخش بتن

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

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

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 علیرضا باقري
دکتر هرمز فاميلي
دکتر مهدي قاليباڤيان
دکتر محسن تدين

روش تعیین نسبت اجزاء مخلوط بتن

بخش اول : مقدمه

۱-۱- کلیات

طرح مخلوط بتن فرآیند تعیین نسبت اجزاء 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 بصورت 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 مولفه اصلی تشکیل یافته است که شامل روانی (آسانی در جاری شدن) و چسبندگی (مقاومت در مقابل جداسازی 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 مهندسين از اینکه نمی توان طرح مخلوط را بر اساس يك سري روابط و محاسبات عددی انجام داد، احساس ناخشنودی می کنند، اما با درك صحيح 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 مخلوط های آزمایشی و تنظیم نسبت ها است. روابط تجربی، بطور معمول به عنوان راهنما مورد استفاده قرار می گیرند و مخلوط های آزمایشی بر اساس این روابط ساخته می شوند. در صورت مغایر بودن مشخصه بتن تازه و سخت شده مخلوط های 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 سنگدانه های بتن (استاندارد ملی ایران ۳۰۲) و همچنین آیین نامه بتن ایران و ویژگی های سیمان پرتلند (استاندارد ملی ایران ۲۸۹) در نظر گرفته شده است.

لازم بذکر است که روش ارائه شده بعنوان راهنمای اولیه طرح مخلوط به کار می رود و باید مخلوط های آزمایشی در آزمایشگاه و همچنین مطابق با شرایط کارگاه ساخته شوند و پس از بررسی نتایج مقاومت فشاری و دیگر الزامات طرح، نسبت های مخلوط نهایی گردند.

۱-۲- دامنه کاربرد

دامنه کاربرد این روش طرح مخلوط به شرح زیر می‌باشد:

- 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 آئین نامه‌های 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 نظیر: بتن‌های حجیم، بتن‌های با مقاومت زیاد، بتن‌های سبک و سنگین، بتن‌های حاوی مواد پوزولانی و یا حباب هواساز تدوین نشده است.

بخش دوم : مبانی طرح

۲-۱- حاشیه ایمنی مقاومت

به دلیل تغییرات در مقدار مقاومت بتن، ناشی از غیریکنواختی احتمالی در مصالح، اجزای بتن، ساختن، ریختن، تراکم، عمل‌آوری 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 می‌باشد، باید به اندازه حاشیه ایمنی افزایش داده شود (مقاومت فشاری متوسط لازم).

حاشیه ایمنی مقاومت بر اساس اطلاعات آماری تعیین می‌گردد. روش تعیین حاشیه ایمنی در بخش دوم شرح داده شده است.

۲-۲- اندازه‌گیری روانی

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

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

طبقه‌بندی		اسلامپ (میلیمتر)
S۱	سفت	۴۰ تا ۱۰
S۲	خمیری	۵۰ تا ۹۰
S۳	روان	۱۰۰ تا ۱۵۰
S۴	خیلی روان (سیال)	بزرگتر یا مساوی ۱۶۰

در صورتیکه اسلامپ بتن تازه کمتر از ۱۰ میلیمتر و یا بیشتر از ۲۱۰ میلیمتر باشد آزمایش اسلامپ دقت مناسبی ندارد و باید از روشهای مناسب دیگر برای اندازه‌گیری 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 هیدراتاسیون سیمان و تامین کارائی 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 صورتیکه 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 است 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 می‌باشند و در مشخصه‌های بتن اثر می‌گذارند، شکل ذرات و بافت سطحی سنگدانه است. شکل ذرات عامل مهمی در کارایی مخلوط است و بافت سطحی بر 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.

بطور کلی سنگدانه شکسته شامل ذرات غیر منظم 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 اصلح است که از سنگدانه‌های شکسته استفاده شود. شایان ذکر است، تاثیر شکل و بافت درشت‌دانه‌ها در این خصوص بیشتر از ریزدانه‌ها می‌باشد.

۵-۲- دانه‌بندی سنگدانه

دانه‌بندی سنگدانه‌ها نیز عامل مهمی در خواص بتن می‌باشد. 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 بدست 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، بگونه‌ای 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 ۳۲۵، ۴۲۵ و ۵۲۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (طبق استاندارد ایران) در نظر گرفته شده است. در صورتیکه از انواع دیگر سیمان پرتلند استفاده شود باید روند کسب مقاومت و مقدار مقاومت آن بر اساس آزمایشهای مربوطه تعیین و با رده‌بندی انتخاب شده در این طرح مطابقت داده شود.

۷-۲- شرایط عمل آوری و سن آزمایش

معمولاً 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 این روش طرح مخلوط، مقاومت آزمونه‌های 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.

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 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 بدست آمده از هر یک از دو رابطه زیر در نظر گرفته شود :

$$f_{cm} = f_c + 1,34 s + N/mm^2 \quad (1-3)$$

۱,۵

$$f_{cm} = f_c + 2,33 s \quad N/mm^2 \quad (2-3)$$

- ۴

که در آنها :

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

f_c = مقاومت فشاری مشخصه بتن ، بر اساس آزمونه‌های استوانه‌ای، N/mm^2

S = انحراف استاندارد مقاومت فشاری آزمونه‌ها، N/mm^2

(هر 1 N/mm^2 تقریباً معادل 10 kg/cm^2 می باشد)

۳-۲ تعیین انحراف معیار

برای تعیین انحراف معیار می توان از دو روش استفاده کرد. اگر از نتایج آماری پروژه های مشابه قبلی استفاده می گردد، باید طبق بند ۱-۲-۳ انحراف معیار محاسبه گردد.

منظور از پروژه های مشابه پروژه هایی است که:

- مصالح مصرفی بکار 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 7 N/mm^2 بیشتر نباشد.

در غیر این صورت برای مواردی که اطلاعات آماری وجود ندارد، از روش ارائه شده در بند ۲-۲-۳ استفاده می شود.

۱-۲-۳ محاسبه انحراف معیار بر اساس نتایج آماری پروژه های قبلی

در این روش باید بر اساس نتایج مقاومت فشاری آزمون ها که از پرونده آزمایش های پروژه های مشابه بدست آمده است، انحراف معیار را با استفاده از رابطه ۳-۳ محاسبه کرد.

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

انحراف معیار

که در آن :

x : مقاومت فشاری آزمون

m : میانگین مقاومت فشاری آزمون ها

n = تعداد آزمون ها

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 ۲-۴، ضریب اصلاحی برای انحراف معیار محاسبه گردد :

$$R = \left[0.75 + \left(\frac{2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (4-3) \quad \text{، ضریب اصلاحی}$$

انحراف معیار

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:

(۵-۳)

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

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 شوند:

- 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 کمتر از 3 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 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 را از جدول ۱-۳ تخمین زد.

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

رتبه‌بندی کارگاه	مقاومت مشخصه بتن (N/mm^2)				
	۱۰ و کمتر	۱۱ تا ۲۰	۲۱ تا ۳۰	۳۱ تا ۴۰	۴۱ و بیشتر
الف	۴	۴/۵	۵	۵/۵	۶
ب	۵	۵/۵	۶/۵	۷	۷
ج	۵/۵	۶	۷/۵	۸	۸

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 رتبه بندی 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 پیمانہ کردن سیمان
وزنی	حجمی	حجمی	توزین یا پیمانہ کردن سنگدانه
کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل	کنترل دانمبندی 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

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.

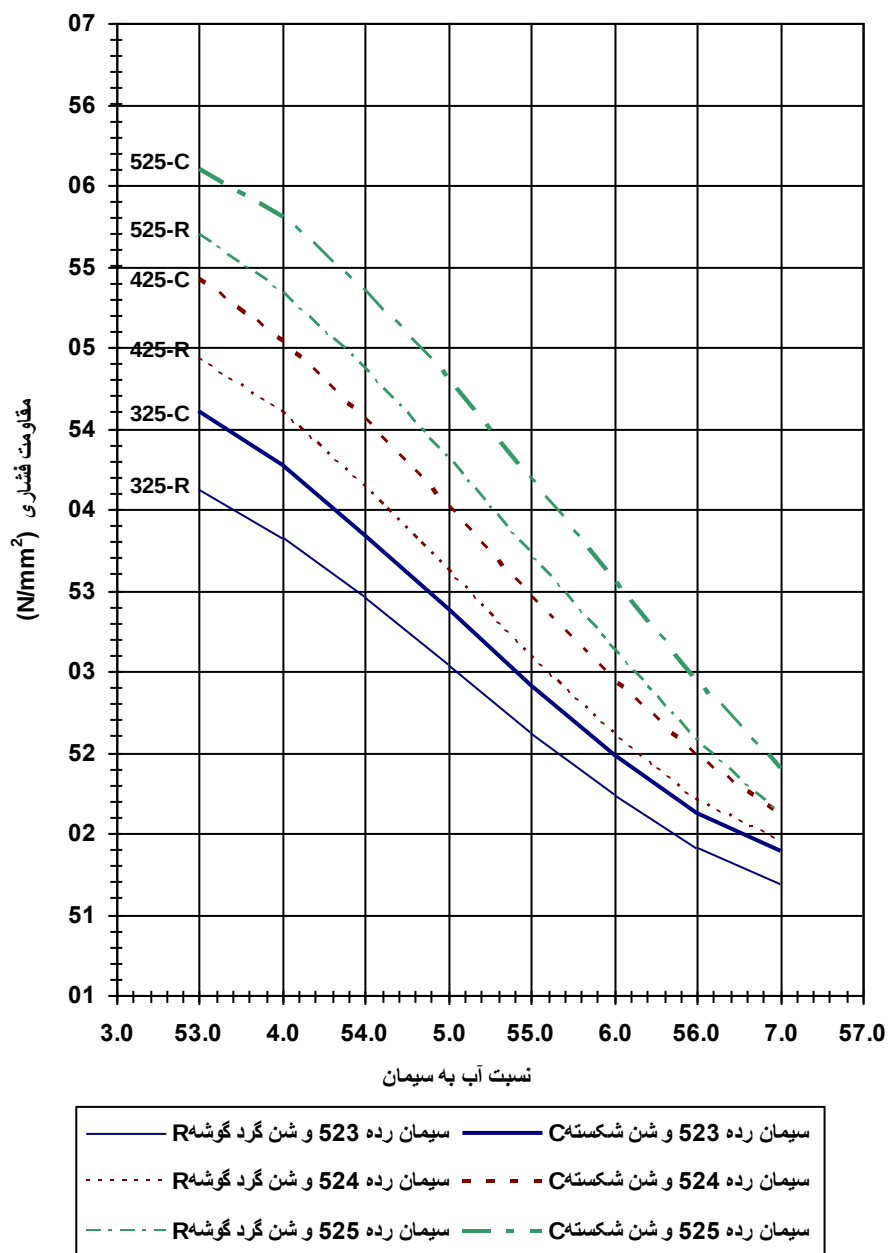
۴-۱- گام اول : تعیین نسبت آب به سیمان

نسبت موثر 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 وقتی که مقدار سیمان تغییر داده می‌شود و مقدار آب ثابت نگه داشته می‌شود، روانی بتن به همان نسبت تغییر نمی‌کند. به عبارت دیگر افزایش مقدار سیمان تا حد معینی، مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد زیرا از نسبت آب به سیمان کاسته می‌شود، اما روانی تقریباً بدون تغییر می‌ماند. از طرف دیگر وقتی که مقدار سیمان ثابت نگه داشته می‌شود و مقدار آب تغییر می‌کند، روانی بتن در حدی قابل توجه تغییر می‌کند. اگر روانی بتن در حد سفت باشد، امکان دارد به دلیل عدم تراکم مطلوب، مقاومت فشاری کاهش یابد.

با استفاده از شکل ۱-۴ براساس مقاومت ملات استاندارد سیمان (رده مقاومتی سیمان) و مقاومت فشاری متوسط بتن، نسبت آب به سیمان (w/c) تعیین می‌گردد. در منحنی های شکل ۱-۴، مقدار هوای ناخواسته در بتن ۱ تا ۲ درصد فرض شده است. همچنین در ارائه منحنی‌ها، حداکثر اندازه سنگدانه‌ها ۱۹ تا ۲۵ میلیمتر فرض شده و در یک نسبت آب به سیمان برابر، با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد. 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 منحنی‌ها رده‌بندی سیمانها بر اساس مقاومت استاندارد آنها و همچنین شکل سنگدانه‌های درشت از نظر تیزگوشه یا گردگوشه بودن در نظر گرفته شده است. به این نکته باید دقت کرد که در طرح مخلوط بتن‌هایی که تنها، معیار مقاومت و روانی باید کنترل شوند، استفاده از درشت‌دانه‌های تیزگوشه و یا گردگوشه چندان تفاوتی ندارد، اما اگر نسبت آب به سیمان بعنوان معیار دوام محدود شده باشد، مخلوط بتن با سنگدانه گردگوشه نیاز به سیمان کمتری دارد.

همچنین به طور کلی حباب هوای عمده موجود در بتن باعث کاهش آب آزاد برای تأمین کارایی می‌گردد. به ازاء هر یک درصد حباب هوای عمده (مازاد بر هوای ناخواسته)، ۲/۵ درصد از آب آزاد مورد نیاز در مخلوط کاسته می‌شود.



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

۴-۲- گام دوم : انتخاب منحنی سنگدانه

برای ساخت بتن منسجم 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 الی ۵-۴ برای حداکثر اندازه سنگدانه‌های ۹/۵، ۱۹، ۲۵، ۳۷/۵ میلیمتر نسبت اختلاط ریزدانه‌ها و درشت‌دانه‌ها تعیین می‌گردد. سپس بمنظور محاسبه مقدار آب لازم (گام سوم)، مدول نرمی

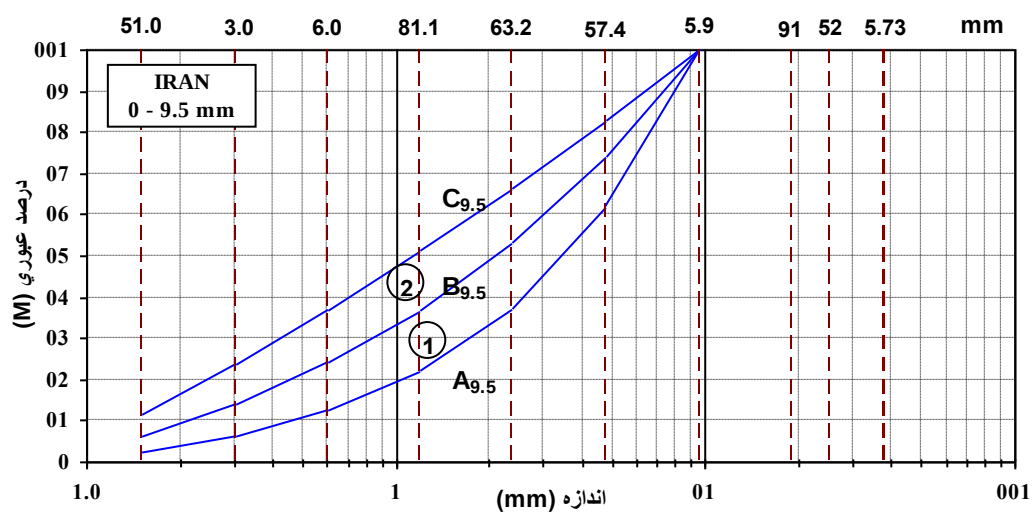
سنگدانه‌ها محاسبه می‌شود. برای محاسبه مدول نرمی باید، مجموع تجمعی وزنی مانده روی الک‌های ۳۷/۵ ، ۱۹ ، ۹/۵ ، ۴/۷۵ ، ۲/۳۶ ، ۱/۱۸ ، ۰/۶ ، ۰/۳ و ۰/۱۵ میلیمتر سنگدانه‌ها بر عدد ۱۰۰ تقسیم کرد.

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

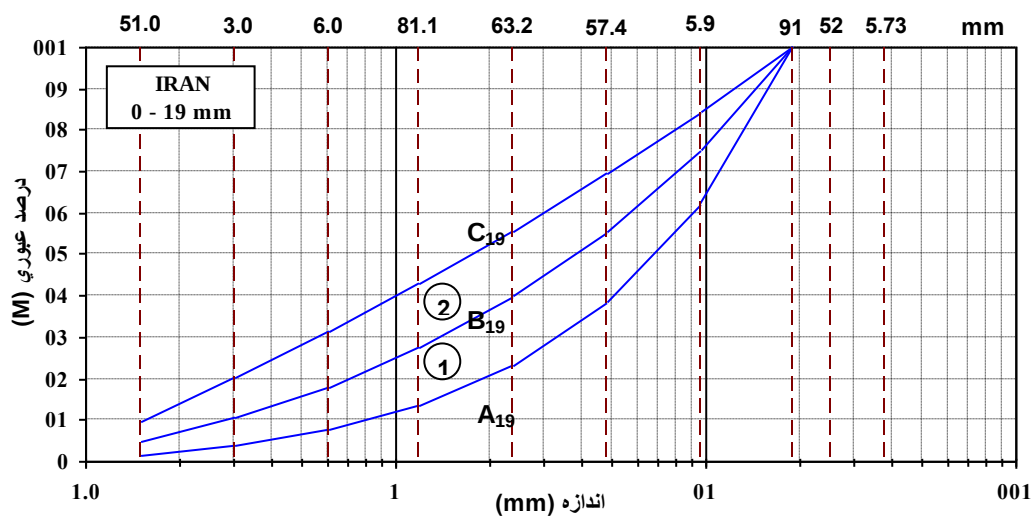
معمولاً تولید سنگدانه‌ها به نحوی است که دانه‌بندی آنها کاملاً با دانه‌بندی استاندارد مطابقت ندارند. بنابراین ضروري است که سنگدانه‌ها با دانه‌بندی‌های مختلف بگونه‌ای اصلاح شوند که در محدوده‌های استاندارد سنگدانه‌های ریز یا درشت یا مخلوط آنها قرار گیرند. برای تعیین نسبت‌های سنگدانه‌ها با دانه‌بندی مختلف می‌توان از روشهای متداول محاسباتی و یا ترسیمی استفاده کرد (پیوست الف).

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 بين 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، مقدار آب مورد نیاز مخلوط را برای کارآئی 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 نشان دهنده محدوده دانه‌بندی درشت، متوسط و دانه‌بندی ریز می‌باشند. چنانچه دانه‌بندی سنگدانه در محدوده ۱ قرار بگیرد، منحنی دانه‌بندی درشت و اگر دانه بندی مطابق با محدوده ۲ باشد، منحنی دانه‌بندی ریز محسوب می‌گردد. در واقع تمایل به سمت فوقانی منحنی، باعث می‌شود که مخلوط دارای بافت ریزتر، چسبنده‌تر و دارای قابلیت پمپ‌پذیری بیشتری باشد.

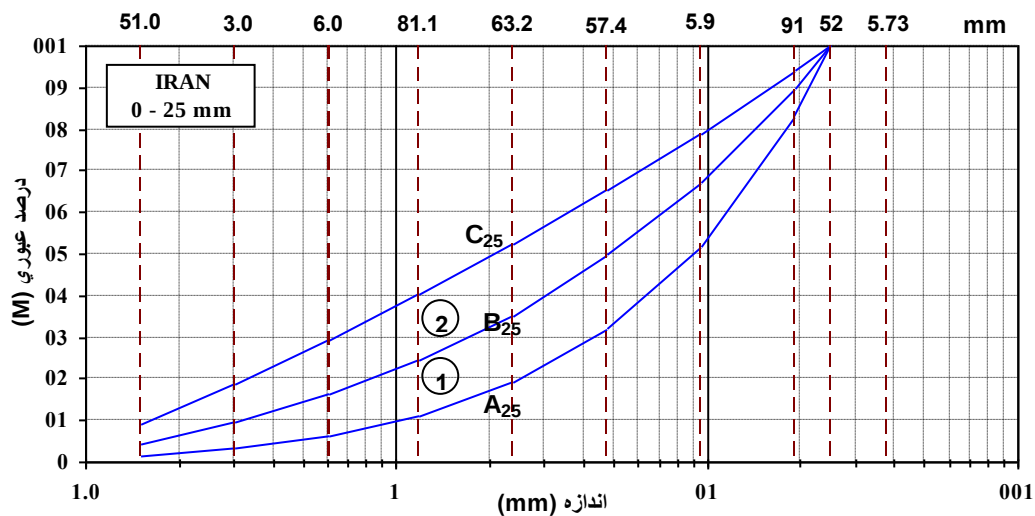
منحنی‌های دانه‌بندی در شکل‌های ۲-۴ تا ۵-۴ درصد تجمعی گذشته از هر الک را بر حسب حجم نشان می‌دهد. اگر چگالی ذرات سنگدانه‌ها با اندازه‌های مختلف، یکسان باشد، می‌توان منحنی‌ها را به عنوان درصدی تجمعی وزنی در نظر گرفت.



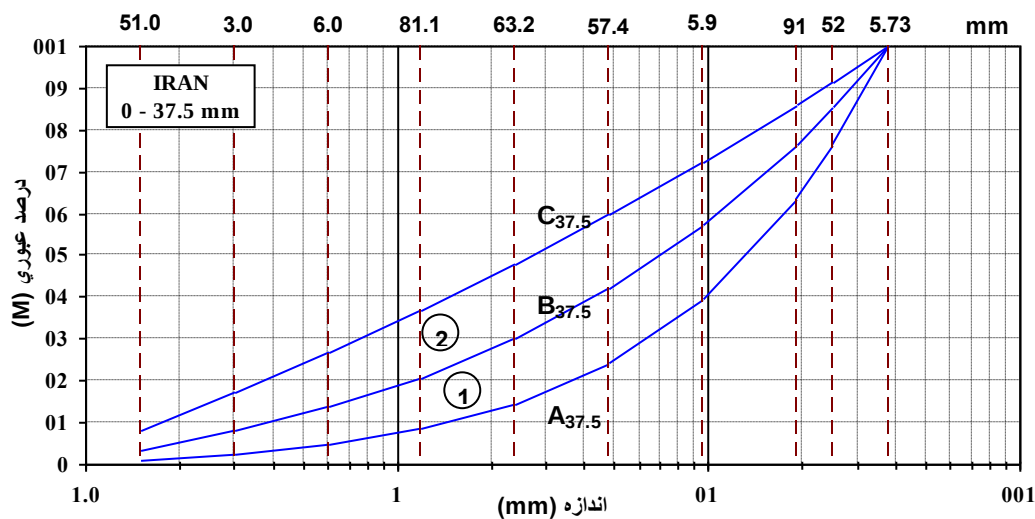
شکل ۴-۲- منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۹/۵ میلیمتر



شکل ۴-۳- 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 ۵-۴- منحنی‌های دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌های ریز و درشت، با حداکثر اندازه ۳۷/۵ میلیمتر

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

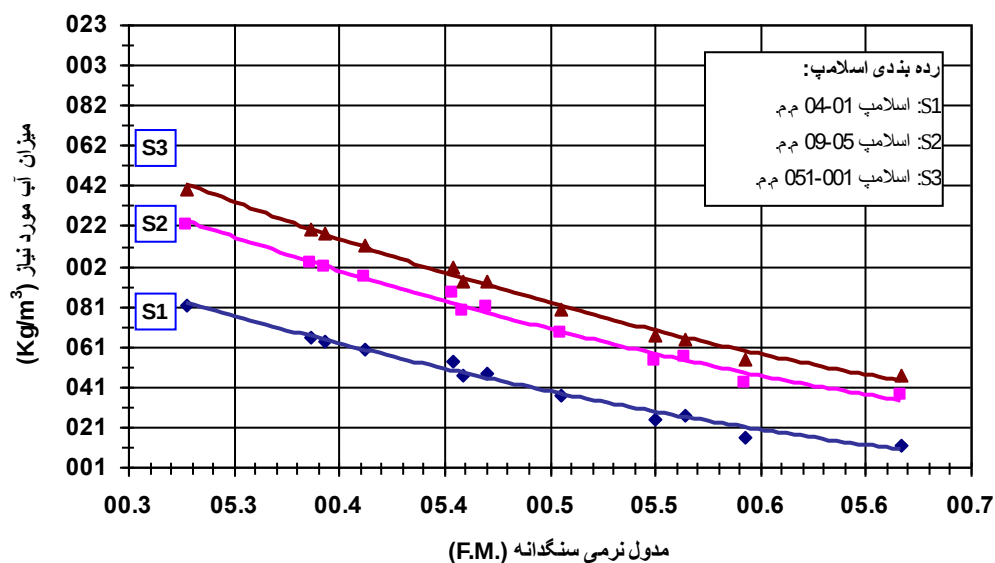
مقدار آب آزاد بتن تابع عوامل متعددی مانند کارایی مورد نظر، حداکثر اندازه سنگدانه، دانه‌بندی و نوع سنگدانه‌های مصرفی از نظر بافت و شکل است. مقدار آب مهمترین عامل تأثیرگذار بر کارایی بتن می‌باشد. افزایش مقدار آب باعث افزایش سهولت ریختن بتن و تراکم پذیری آن می‌شود. هرچند، افزایش آب غیر از کاهش مقاومت، منجر به جداشدگی ذرات و آب انداختن می‌گردد.

مقدار آب مخلوط باید در حدي باشد که جذب ذرات سنگدانه شود و سپس فضاي بين ذرات سنگدانه را اشغال کند تا با ایجاد لایه‌ای از دوغاب سیمان بر روي سنگدانه ها حالت روغنکاری را بوجود آورد. بر همین اساس ذرات ریزتر نیاز به آب بیشتری دارند. از طرف دیگر در صورت کمبود ذرات ریز (فیلر، پرکننده)، بتن نمی‌تواند حالت خمیری نشان دهد. بنابراین نمی‌توان مقدار آب مخلوط را مستقل از دانه بندی سنگدانه در نظر گرفت.

با استفاده از منحنی‌های شکل‌های ۴-۶ و ۴-۷ و بر اساس روانی مورد نظر و حداکثر اندازه سنگدانه می‌توان مقدار آب آزاد بتن را بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب تعیین نمود.

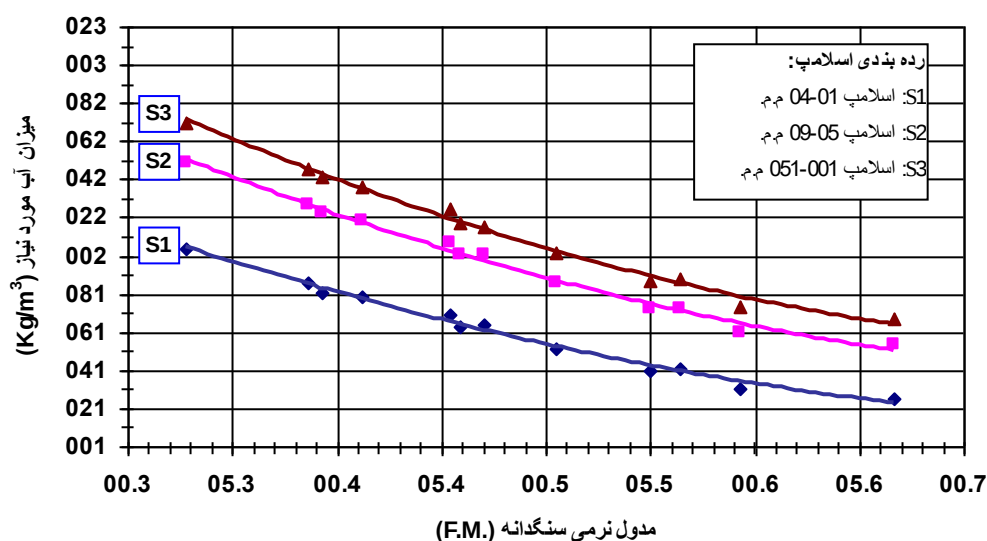
شکل ۴-۶ را برای سنگدانه‌هایی که به مقدار نسبتاً کمی آب نیاز دارند، می‌توان ملاک قرار داد (سنگدانه‌هایی گردگوشه با بافت سطحی کاملاً صیقلی).

شکل ۴-۷ در مواردی که سنگدانه‌ها به مقدار نسبتاً زیادی آب نیاز دارند، بکار برده 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 ۴-۶- مقدار آب مورد نیاز بتن بر حسب مقدار روانی و مدول نرمی سنگدانه‌ها (سنگدانه‌هایی که بدلیل شکل و بافت خود، به آب کمی نیاز دارند)

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



شکل ۴-۷- مقدار آب مورد نیاز بتن بر اساس مقدار روانی و مدول نرمی سنگدانه‌ها (سنگدانه‌هایی که بدلیل 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 kg/m^3 تهیه شده است در صورتیکه عیار سیمان دیگری بکار رود لازم است به ازاء هر 10 kg/m^3 سیمان 3 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 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. در مخلوط‌های با عیار کم سیمان (300 kg/m^3)، ممکن است مخلوط طراحی شده بعلت 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 ۴-۱ محاسبه کرد.

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

مقدار سیمان

مقدار سیمانی که از رابطه ۴-۱ 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 بصورت $((\text{مواد افزودنی} \times k + c) / w$ طرح می‌شود).

ب) در محاسبه حداقل مقدار مواد سیمانی

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

۳۳ درصد وزنی سیمان باشد، مقدار مازاد در تعیین رابطه $w / (c + kf)$ و محاسبه حداقل مقدار مواد سیمانی منظور نمی‌گردد. در جدول ۴-۱ مقادیر k برحسب نوع سیمان مصرفی مشخص گردیده است.

جدول ۴-۱- مقادیر k برحسب رده مقاومتی سیمان برای جایگزینی خاکستر بادی بجای سیمان

$k = ۰/۲$	برای سیمان‌های با رده مقاومتی ۳۲۵
$k = ۰/۴$	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 [(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 سیلیس بیش از ۱۱ درصد باشد، مقدار مازاد در تعیین رابطه $w / (c + ks)$ و تعیین حداقل مقدار مواد سیمانی منظور نمی‌گردد. در جدول ۲-۴ مقادیر فاکتور k بر حسب نسبت آب به سیمان مشخص گردیده است.

جدول ۲-۴- مقادیر k بر حسب مقدار آب به سیمان برای جایگزینی دوده سیلیسی بجای 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 حباب ساز وجود داشته باشد باید مقدار k مساوی ۱ در نظر گرفته شود.

مقدار (سیمان + k × دوده سیلیس) 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 سیلیس بیشتر از ۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شود.

۵-۴- 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 ۲-۴ تعیین می‌گردد.

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

که در آن :

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

c = جرم سیمان بر حسب kg/m^3

W_f = جرم آب آزاد بر حسب kg/m^3

D = جرم مواد افزودنی معدنی بر حسب kg/m^3

V_a = حجم هوای موجود در بتن (عمدی و ناخواسته) بر حسب dm^3

ρ_{ASSD} = وزن مخصوص متوسط سنگدانه‌های اشباع با سطح خشك بر حسب g/cm^3

ρ_c = جرم مخصوص سیمان بر حسب g/cm^3

ρ_w = جرم مخصوص آب بر حسب g/cm^3 که معادل ۱ منظور می‌شود

ρ_D = جرم مخصوص افزودنی معدنی بر حسب g/cm^3

در جدول ۳-۴ مقدار هوای موجود در بتن (V_a) بر اساس حداکثر اندازه سنگدانه بعنوان راهنما، ارائه شده است.

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

حداکثر اندازه سنگدانه (mm)	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 موثر بر مقدار هوای ناخواسته می‌باشد، لذا جهت تعیین درصد هوا با توجه به محدوده‌های ارائه شده در جدول ۳-۴، چنانچه کارایی نسبتاً زیاد باشد از مقادیر کم هوا و اگر کارایی در حد کم باشد، باید از مقادیر زیاد هوا استفاده گردد.

برگ طرح مخلوط بتن

گام	مرحله	شرح	مرجع محاسبه	مقدار
۱	۱-۱	تعیین مقاومت مشخصه	طبق الزامات	در سن روز N/mm^2
	۱-۲	تعیین انحراف معیار	۳-۲-۱ یا ۳-۲-۲	N/mm^2 N/mm^2
	۱-۳	تعیین مقاومت فشاری متوسط لازم	۳-۱	یا $f_{cm} = f_c + 1/34 s + 1/5$ $f_{cm} = f_c + 2/33 s - 4$
	۱-۴	تعیین رده مقاومتی سیمان	طبق الزامات	kg/cm^3 ۳۲۵ / ۴۲۵ / ۵۲۵
	۱-۵	تعیین نوع سنگدانه ریزدانه درشت دانه		تیز گوشه / گرد گوشه تیز گوشه / گرد گوشه
	۱-۶	تعیین نسبت آب به سیمان	شکل ۱-۴	

	۱-۷	حداکثر مجاز نسبت آب به سیمان	طبق الزامات	
۲	۲-۱	حداکثر اندازه سنگدانه	طبق الزامات	میلیمتر
	۲-۲	انتخاب منحنی مخلوط سنگدانه	شکلهای ۱-۲-۴ تا ۴-۲-۴	درصد ریزدانهدرصد درشت دانه
	۲-۳	تعیین مدول نرمی	بند ۲-۴	
۳	۳-۱	تعیین اسلامپ	طبق الزامات	رده
	۳-۲	تعیین مقدار آب آزاد	شکل ۴-۶ و ۴-۷	سنگدانه با نیاز به مقدار کم آب سنگدانه با نیاز به مقدار زیاد آب
	۴-۱	تعیین مقدار سیمان	بند ۴-۴	kg/m ^۳
۴	۴-۲	حداکثر مقدار سیمان	طبق الزامات	kg/m ^۳
	۴-۳	حداقل مقدار سیمان	طبق الزامات	kg/m ^۳
			مقدار ۱-۴ اختیار شود اگر بزرگتر یا مساوی ۲-۴ است مقدار ۳-۴ اختیار شود اگر بزرگتر از ۱-۴ است	
	۴-۴	تصحیح مقدار سیمان (در صورت استفاده از مواد افزودنی معدنی)	بند ۴-۴	مقدار سیمان: kg مقدار مواد افزودنی kg معدنی:
	۴-۵	تصحیح نسبت آب به سیمان	بند ۴-۴	
	۵-۱	جرم مخصوص سیمان جرم مخصوص مواد افزودنی معدنی جرم مخصوص سنگدانه	محاسباتی/فرض شده محاسباتی / فرض شده محاسباتی / فرض شده	
۵	۵-۲	مقدار هوای موجود در بتن	جدول ۳-۴	درصد
	۵-۳	تعیین مقدار سنگدانه در بتن	شکلهای ۱-۲-۴ تا ۴-۲-۴	درصد ریزدانهدرصد درشت دانه
	۶-۱	تعیین وزن ریزدانه	گام ۲ مرحله ۲-۲	kg/m ^۳
۶	۱-۶	تعیین وزن درشت دانه	گام ۲ مرحله ۲-۲	kg/m ^۳
	مقادیر مصالح مخلوط بتن (kg)			
	سیمان	مواد افزودنی معدنی	آب	ریزدانه
				درشت دانه
	در هر m ^۳ بتن			
	برای ... m ^۳ بتن			