

ارزیابی و پذیرش بتن



ارزیابی

- سازه‌های بتنی بر مبنای حداقل خصوصیات مورد نظر برای بتن مانند مقاومت فشاری مشخصه طرح می‌شوند.
- اما مقاومت بتن ساخته شده در کارگاه یا آزمایشگاه یک کمیت متغیر می‌باشد.
- تغییرات در اجزاء بتن (اعم از کیفیت یا کمیت مصالح مصرفی)، تغییرات در روش ساخت و اجرای بتن و همچنین از جنبه آزمایشگاهی، تغییرات در روند نمونه‌گیری و حتی روش آزمایش، از دلایل اساسی تغییرات مقاومت می‌باشند.

ارزیابی

- حداقل نمودن این تغییرپذیری با سنجش‌های کنترل کیفیت از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.
- به علاوه برای اینکه بتوانیم مقادیر مقاومت حاصله را بطور صحیح تفسیر کنیم، یا به عبارت دیگر تغییرات مهم آماری را از نوسانات اتفاقی تشخیص دهیم، آشنایی با علم تغییرات ضروری است.
- دانش تغییرات، مبنای ارائه نمودن طرح تطابق با مشخصات برای مقاومت مخلوط‌های طرح شده می‌باشد.

یادآوری مفاهیم آماری

- $\bar{X}$ (مقاومت متوسط): میانگین مقاومت کلیه نمونه‌های مورد نظر (حداقل ۳۰ نمونه):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- S (انحراف معیار): جذر میانگین مربعات انحراف هر مقاومت از مقاومت متوسط:

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2}{n-1}}$$

یادآوری مفاهیم آماری

- V (ضریب پراکندگی انحراف معیار):

$$V = \frac{s}{\bar{X}} * 100$$

- R (دامنه مقاومت‌ها): اختلاف عددی بین بالاترین و پایین‌ترین مقاومت آزمایش‌های مورد بررسی
- f_c : مقاومت فشاری مشخصه
- f_{cm} یا f_{cr} (مقاومت متوسط لازم) : مقاومت متوسطی که مورد نیاز می‌باشد (و با روش‌های آماری تعیین می‌گردد) تا تعداد نمونه‌هایی که نتیجه آنها پایین‌تر از مقاومت مشخصه است، بیش از یک مقدار مشخص نگردد.

یادآوری مفاهیم آماری

- آزمایش: دسته‌ای از نمونه‌های آزمایشی (معمولاً دو یا سه) که همگی از یک نمونه ساخته و در سن یکسانی آزمایش شده‌اند.

- $\bar{R}$: دامنه نمونه های یک آزمایش

- s_1 (انحراف معیار هر آزمایش): انحراف معیار نمونه‌ها در یک آزمایش معین که ترجیحاً براساس نتیجه حداقل ۱۰ سری نمونه محاسبه می‌شود:

$$s_1 = 1/d_2 * \bar{R}$$

که در آن d_2 عدد ثابتی است که به تعداد نمونه ها بستگی دارد.

- V_1 : ضریب پراکندگی هر آزمایش $V_1 = \frac{s_1}{\bar{X}} * 100$

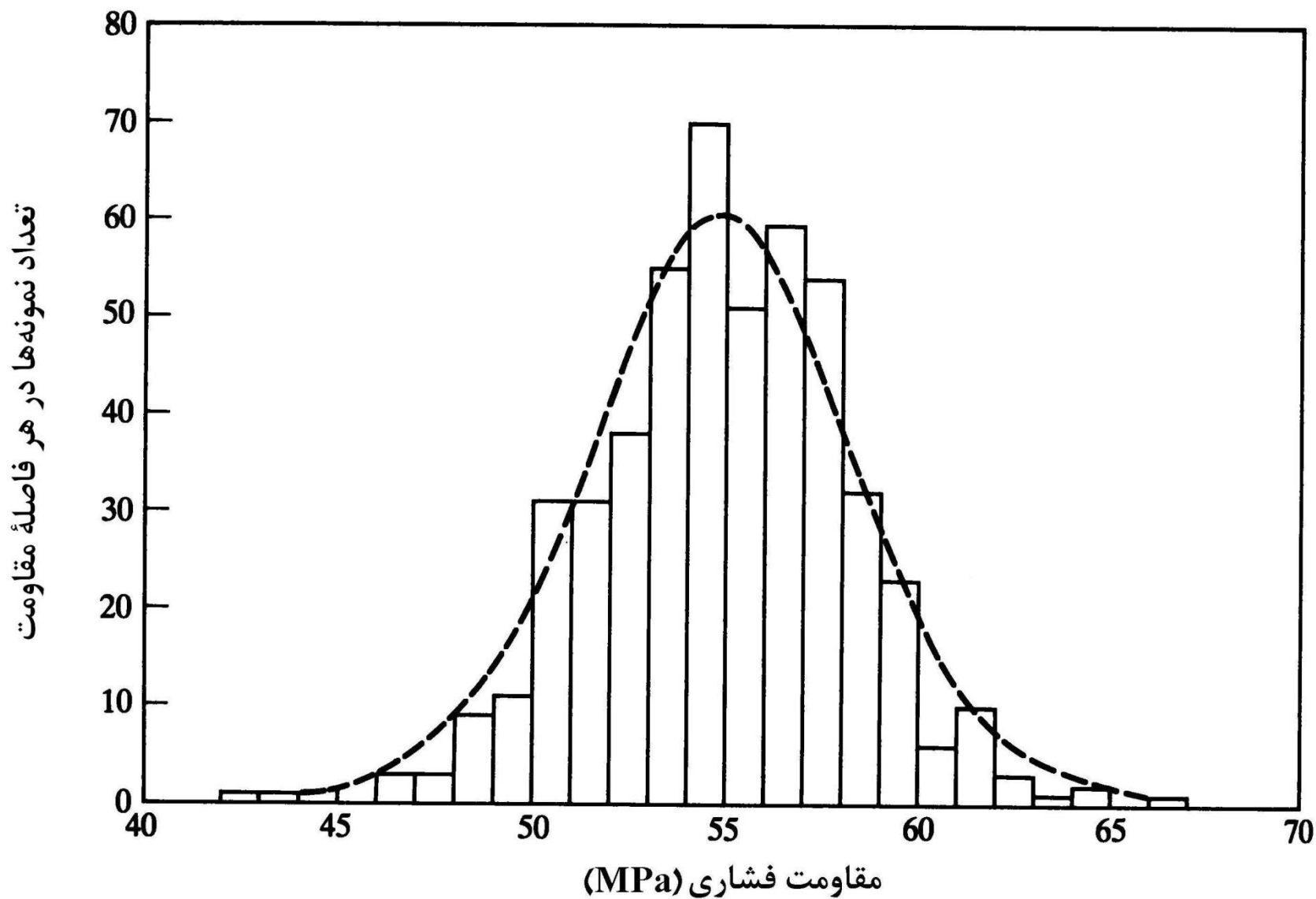
یادآوری مفاهیم آماری

تعداد نمونه‌ها	d_2	$1/d_2$
۲	۱/۱۲۸	۰/۸۸۶۵
۳	۱/۶۹۳	۰/۵۹۰۷
۴	۲/۰۵۹	۰/۴۸۵۷
۵	۲/۳۲۶	۰/۴۲۹۹
۶	۲/۵۳۴	۰/۳۹۴۶
۷	۲/۷۰۴	۰/۳۶۹۸
۸	۲/۸۴۷	۰/۳۵۱۲
۹	۲/۹۷	۰/۳۳۶۷
۱۰	۳/۰۷۸	۰/۳۲۴۹

مقاومت بتن

- از آنجا که مقاومت یک کمیت متغیر می‌باشد، هنگام طرح یک مخلوط بتن باید مقاومت متوسطی بالاتر از حداقل مقاومت لازم از نظر سازه‌ای را در نظر بگیریم تا هر نقطه سازه مقاومت کافی داشته باشد.
- با داشتن تعداد زیادی از نمونه‌های آزمایشی مشابه می‌توان پراکندگی یا توزیعی را حول مقاومت متوسط نشان خواهند داد.
- این را می‌توان توسط یک هیستوگرام نشان داد که در آن تعداد نمونه‌هایی که مقاومت آنها در یک محدوده مقاومت (فرکانس) قرار گرفته در مقابل محدوده مقاومت رسم می‌شود.

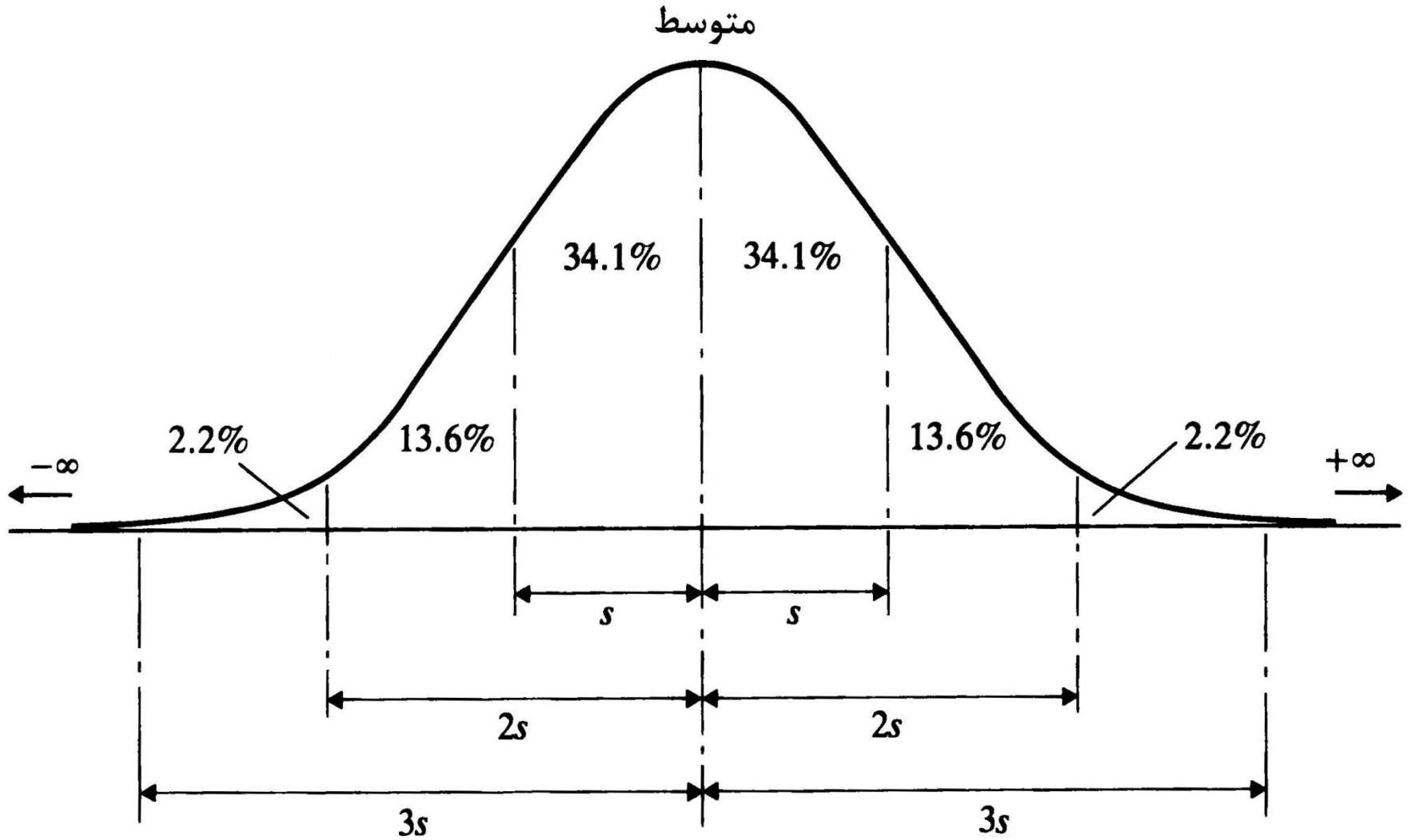
مقاومت بتن



مقاومت بتن

- برای مقاومت بتن می‌توان فرض کرد که منحنی توزیع فرکانس از منحنی توزیع نرمال یا گوسی تبعیت می‌کند.
- این منحنی برحسب مقاومت متوسط f_c و انحراف معیار S بیان می‌گردد که انحراف معیار بیانگر پراکندگی مقاومت حول مقاومت متوسط می‌باشد.
- منحنی توزیع نرمال حول مقدار متوسط متقارن است و تا بی‌نهایت مثبت و منفی گسترده است.

مقاومت بتن



مقاومت بتن

- از آنجا که در عمل مقاومت‌های خیلی کم و خیلی زیاد در بتن بوجود نمی‌آیند، می‌توان از این بی‌نهایت‌ها صرف‌نظر کرد.
- بنابراین چون بیشتر سطح منحنی ($99/8\%$) بین $\pm 3S$ واقع می‌شود، می‌توان این محدوده را به عنوان نمایانگر تمام مقادیر مقاومت بتن در نظر گرفت.
- به عبارت دیگر می‌توان گفت که احتمال قرار گرفتن یک نتیجه مقاومت در محدوده‌ای با فواصل $\pm 3S$ از مقاومت متوسط، $99/8\%$ می‌باشد.

مقاومت بتن

- به همین ترتیب احتمال قرار گرفتن یک نتیجه مقاومت بین هر محدوده‌ای حول مقاومت متوسط $(kS \pm f_{cm})$ را می‌توان با توجه به ضریب احتمال k بیان نمود.
- اولین قدم در طرح اختلاط بتن آن است که مقاومت متوسط (f_{cm}) بر مبنای مقاومت مشخصه (f_c) با اضافه کردن حاشیه مقاومت لازم (kS) تعیین گردد.
- ضریب احتمال k بر مبنای ریسک قابل پذیرش یعنی حداکثر مجاز تعداد نتایج دارای مقادیر مقاومت کمتر از مقاومت مشخصه تعیین می‌گردد.

مقاومت بتن

k	احتمال مقاومت کمتر از $f_{cm} - ks$	احتمال مقاومت در محدوده $f_{cm} \pm ks$
۰/۵۲	٪۳۰	٪۴۰
۰/۶۷	٪۲۵	٪۵۰
۰/۸۴	٪۲۰	٪۶۰
۱	٪۱۵/۹ (۱ در ۶ نمونه)	٪۶۸/۳
۱/۰۴	٪۱۵	٪۷۰
۱/۲۸	٪۱۰	٪۸۰
۱/۶۴	٪۵ (۱ در ۲۰ نمونه)	٪۹۰
۱/۹۶	٪۲/۵	٪۹۵
۲	٪۲/۲۵ (۱ در ۴۰ نمونه)	٪۹۵/۵
۲/۳۳	٪۱ (۱ در ۱۰۰ نمونه)	٪۹۸
۲/۵۸	٪۰/۵	٪۹۹
۳	٪۰/۱۵ (۱ در ۷۰۰ نمونه)	٪۹۹/۷

مقاومت بتن

- در استاندارد BS مقاومت متوسط طرح f_{cm} از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$f_{cm} = f_c + ks$$

که در آن s از نتایج مخلوط‌های قبلی تعیین می‌گردد و k توسط آیین‌نامه مشخص می‌شود که معمولاً برابر $۱/۶۴$ یا $۲/۳۳$ است.

- آیین‌نامه ACI 318 مقاومت متوسط را بعنوان بزرگترین مقدار حاصله از روابط زیر بیان می‌دارد:

$$f_{cr} = f_c + 1.34s$$

$$f_{cr} = f_c + 2.33s - 3.5$$

مقاومت بتن

- آیین‌نامه بتن ایران مقاومت فشاری طرح را بعنوان بزرگترین مقدار حاصله از روابط زیر بیان می‌دارد:

$$f_{cm} = f_c + 1.34s + 1.5$$

$$f_{cm} = f_c + 2.33s$$

ارزیابی و پذیرش بتن بر اساس مقررات ملی ساختمان

الف) تواتر نمونه برداری:

– دفعات تصادفی نمونه برداری از بتن باید به نحوی یکنواخت در طول مدت تهیه و مصرف بتن توزیع شوند. نمونه‌ها باید قبل از ریختن در محل نهایی مصرف برداشته شوند.

– مقصود از هر نمونه‌برداری از بتن، تهیه حداقل دو آزمون از آن است که آزمایش فشاری آنها در سن ۲۸ روزه یا هر سن مقرر شده دیگری انجام می‌پذیرد. برای ارزیابی کیفیت بتن قبل از موعد مقرر می‌توان حداقل یک آزمون دیگر نیز به منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری تهیه کرد.

ارزیابی و پذیرش بتن بر اساس مقررات ملی ساختمان

(ب) ضوابط پذیرش:

– در آزمایش سه نمونه برداری متوالی، مقاومت هیچکدام کمتر از مقاومت مشخصه

$$X_{1,2,3} \geq f_c \quad \text{نباشد.}$$

– متوسط مقاومت‌های سه نمونه برداری متوالی حداقل $1/5$ مگاپاسکال بیشتر از

مقاومت مشخصه باشد و کوچکترین مقاومت نمونه‌ها از مقاومت مشخصه منهای

۴ مگاپاسکال کمتر نباشد:

$$\bar{X} \geq f_c + 1.5$$

$$X_{\min} \geq f_c - 4$$

ارزیابی و پذیرش بتن بر اساس مقررات ملی ساختمان

(ج) بتنهای با مقاومت کم یا دوام کم (غیر قابل قبول): در صورتی که بر اساس آزمایش‌های مقاومت آزمونه‌های عمل آمده در آزمایشگاه، مطابق ضوابط بند (ب) معلوم شود که بتن بر رده موردنظر منطبق نیست و غیر قابل قبول است، باید تدابیری به شرح زیر برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه اتخاذ شود:

– در صورتی که با استفاده از تحلیل سازه موجود و بازبینی طراحی، بتوان ثابت کرد که ظرفیت باربری سازه به ازای مقاومت بتن کمتر از مقدار پیش‌بینی شده هم قابل قبول است، نوع بتن از نظر تأمین مقاومت سازه قابل قبول تلقی می‌شود.

ارزیابی و پذیرش بتن بر اساس مقررات ملی ساختمان

– در صورتی که شرط بند قبل برآورده نشود ولی با انجام تحلیل و طراحی مجدد بتوان ثابت کرد که ظرفیت باربری تمامی قسمت‌های سازه با فرض وجود بتن با مقاومت کمتر در قسمت‌های احتمالی، قابل قبول خواهد بود، نوع بتن از نظر تأمین مقاومت سازه قابل قبول تلقی می‌شود.

– در صورتی که شرایط بندهای قبل برآورد نشوند لازم است روی مغزه‌های گرفته شده از بتن در قسمت‌هایی که احتمال وجود بتن با مقاومت کمتر داده می‌شود آزمایش به عمل آید. در صورتی بتن از نظر تأمین مقاومت قابل قبول تلقی می‌شود که متوسط مقاومت‌های فشاری سه مغزه حداقل برابر $0/85$ مقاومت مشخصه باشد و بعلاوه مقاومت هیچ یک از مغزه‌ها از $0/75$ مقاومت مشخصه کمتر نباشد.

ارزیابی و پذیرش بتن بر اساس مقررات ملی ساختمان

– صورتی که شرایط بندهای قبل نیز برآورد نشوند و ظرفیت باربری سازه مورد تردید باقی بماند، باید آزمایش بارگذاری مطابق ضوابط آیین‌نامه بتن ایران بر روی قسمت‌های مشکوک به عمل آید یا اقدامات مقتضی دیگری از جمله تقویت قطعه بتنی صورت گیرند.

– در صورتی که هیچکدام از موارد فوق برای پذیرش و یا اقداماتی که منجر به پذیرش بتن می‌شود عملی نگردد، تخریب بتن فوق‌الزامی است.

ارزیابی و پذیرش بتن بر اساس مقررات ملی ساختمان

(د) ضوابط کنترل روش عمل آوری و محافظت بتن

– دستگاه نظارت می‌تواند برای کنترل کیفیت عمل آوردن و مراقبت بتن در سازه، انجام آزمایش‌های مقاومت روی آزمون‌های عمل آمده و مراقبت شده در شرایط کارگاهی را در خواست کند. عمل آوردن آزمون‌ها در کارگاه باید مطابق استانداردهای معتبر بین‌المللی با عنوان "روش ساختن و عمل آوردن آزمون‌های بتنی در کارگاه" باشد.

– در صورتی روش عمل آوردن و مراقبت بتن رضایت بخش تلقی می‌شود که مقاومت فشاری آزمون‌های کارگاهی در سن مشخص شده برای مقاومت مشخصه، حداقل معادل 0.85 مقاومت نظیر آزمون‌های عمل آمده در آزمایشگاه یا به اندازه 4 مگاپاسکال بیشتر از مقاومت مشخصه باشد. در غیر این صورت باید اقداماتی برای بهبود روش‌های مذکور صورت گیرد.

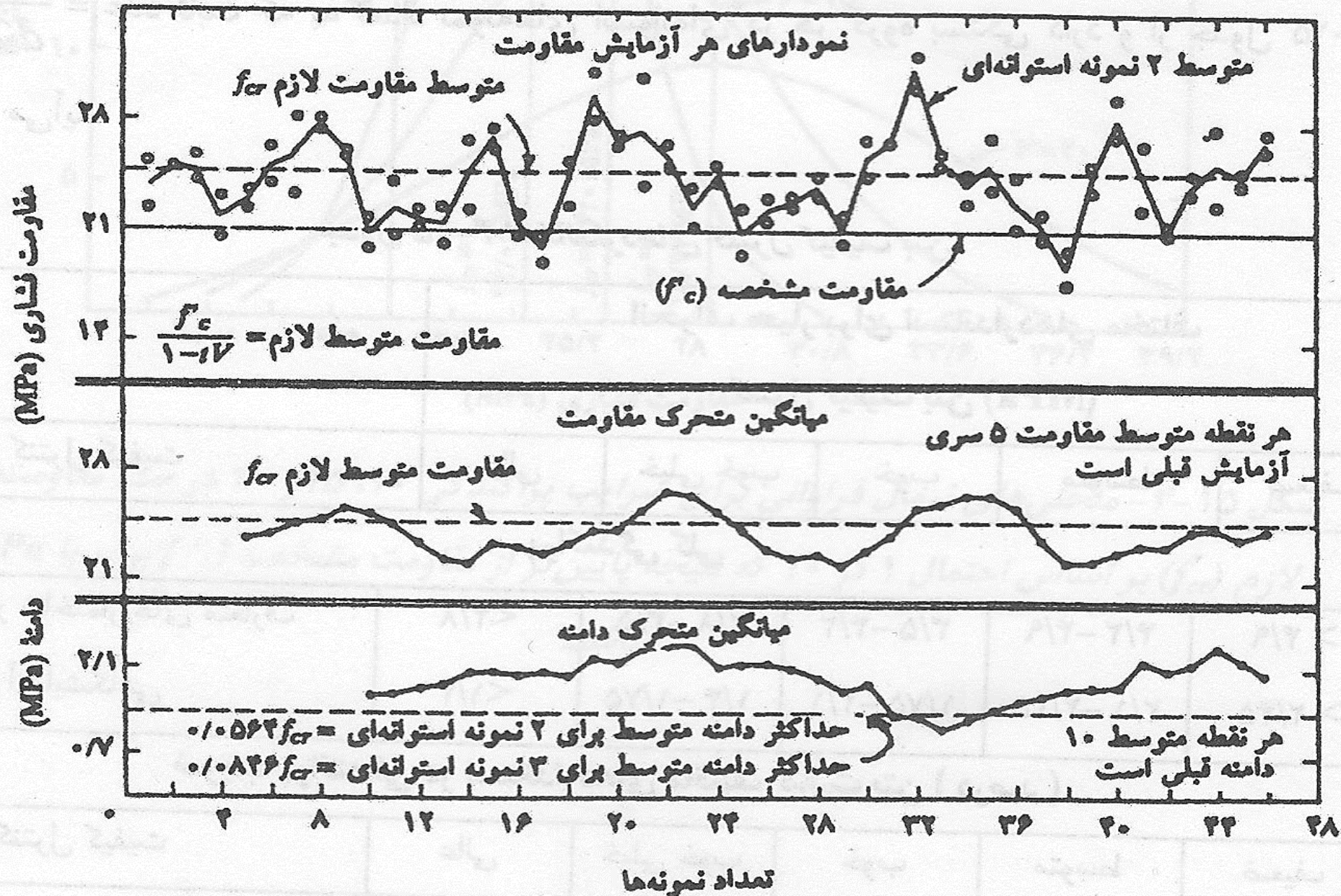
معیارهای دیگر پذیرش بتن

- **سیمان:** حداقل مقدار مصرفی بیش از ۹۵٪ حداقل لازم و کمتر از ۱۰۵٪ حداکثر ممکن باشد.
- **آب به سیمان:** از ۱۱۰٪ آب به سیمان مجاز برای روانی مورد نظر بیشتر نباشد.
- **اسلامپ:** اسلامپ بتن با مقدار مجاز اسلامپ حداکثر ± 2 میلیمتر اختلاف داشته باشد.
- **هوا:** برای بتن حبابدار، اختلاف مقدار هوا با هوای حداکثر مجاز در محدوده ± 0.5 درصد باشد.
- **دما:** دمای بتن 2°C از مقدار حداکثر بیشتر نبوده و 2°C از مقدار حداقل کمتر نباشد.

کنترل کیفیت بتن

- یک روش مناسب و مطمئن برای تحلیل روند تغییر مقاومت بتن به صورت ترسیمی، استفاده از **منحنی‌های کنترل** می‌باشد.
- این منحنی نشان می‌دهد که چه تعداد نمونه استوانه‌ای زیر مقاومت مشخصه است و اینکه آیا شرایط پذیرش بتن را برآورده می‌سازد.
- ترسیم این منحنی به صورت روزانه به نحو مؤثری نشان می‌دهد که آیا روند نا مطلوب مقاومت رخ داده است. در این صورت، باید با اقداماتی چون تغییر طرح اختلاط، مصالح، نحوه اختلاط و غیره اقدام به تصحیح فوری کرد.

کنترل کیفیت بتن



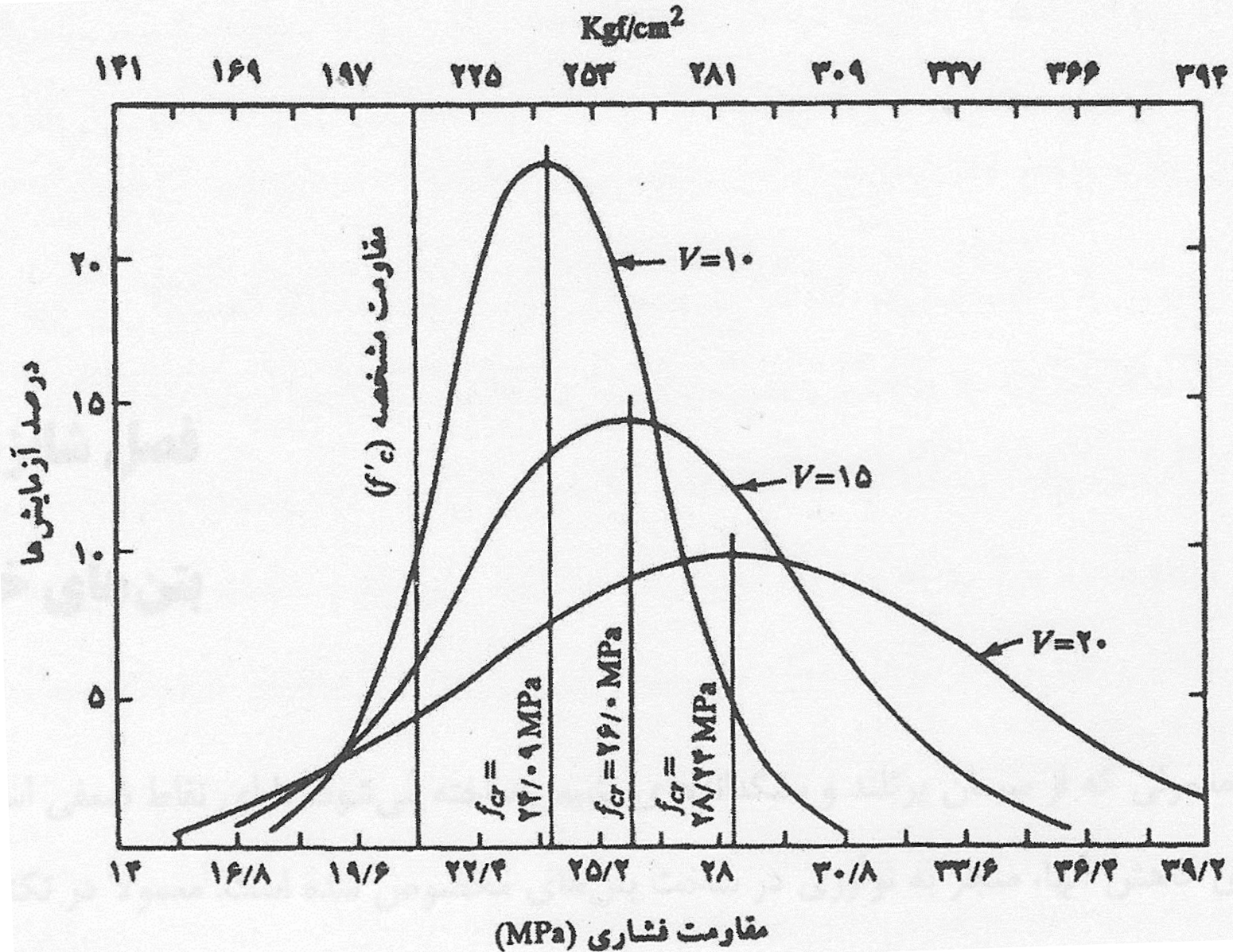
کنترل کیفیت بتن

- منحنی دیگری که در این روش تحلیل مفید است، منحنی میانگین متحرک می باشد
- میانگین متحرک مقاومت برای پنج سری نمونه های استوانه ای قبلی رسم می شود که طبق مشخصات حد پایین آن مقاومت مشخصه f_c می باشد.
- به جهت انجام کنترل کیفیت مناسب، پراکندگی هر آزمایش (V_1) باید حداکثر ۵ درصد باشد. لذا برای کنترل، حداکثر دامنه متوسط برابر است با

$$\bar{R} = (0.05 * 1.128) f_{cm} = 0.0564 f_{cm} \quad (\text{برای دو نمونه استوانه ای})$$

$$\bar{R} = (0.05 * 1.693) f_{cm} = 0.0847 f_{cm} \quad (\text{برای سه نمونه استوانه ای})$$

کنترل کیفیت بتن



ارزیابی آماری

- علاوه بر استفاده از روابط آماری برای ترسیم نمودارهای کنترل، روش‌های آماری توصیه شده نیز برای انحراف معیار و ضریب پراکندگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- در اینجا مفاهیم اصلی آماری برای کل نمونه‌ها و همچنین برای هر آزمایش محاسبه می‌شود.
- علاوه بر ارزیابی آماری مقاومت بتن، لازم است که یکنواختی نمونه‌های آزمایش نیز تعیین شود که راندمان ساخت، عمل‌آوردن و آزمایش کردن بتن را نشان می‌دهد.

ارزیابی آماری

انحراف معیار برای استانداردهای مختلف کنترل کیفیت بتن (MPa)					
ضعیف	متوسط	خوب	خیلی خوب	عالی	رده انجام کنترل کیفیت
پراکندگی کلی					
$> 4/9$	$4/9 - 4/2$	$4/2 - 3/5$	$3/5 - 2/8$	$< 2/8$	آزمایش در ساختمان‌های متعارف
$> 2/45$	$2/45 - 2/1$	$2/1 - 1/75$	$1/75 - 1/4$	$< 1/4$	نمونه‌های آزمایشگاهی
ضریب پراکندگی در استانداردهای مختلف کیفیت بتن (درصد)					
ضعیف	متوسط	خوب	خیلی خوب	عالی	رده انجام کنترل کیفیت
پراکندگی هر آزمایش					
> 6	$6 - 5$	$5 - 4$	$4 - 3$	< 3	آزمایش کنترل کارگاهی
> 5	$5 - 4$	$4 - 3$	$3 - 2$	< 2	مخلوط‌های آزمایشی آزمایشگاهی