

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



# آشنایی با فن آوری ساختمان های بتنی

سازمان نظام کاردانی ساختمان

مدرس: شهرام شیخ زاده

کارشناس اداره کل آموزش فنی و حرفه ای خوزستان





آزمایش بتن

# ضرورت انجام آزمایش های بتن

بتن، برخلاف سایر مصالح ساختمانی که معمولاً به صورت آماده در دسترس است، بایستی قبل از استفاده ساخته شود. بنابراین مصالح تشکیل دهنده ی بتن باید قبل از ساخت به میزان لازم آماده شده و پس از حصول اطمینان از کیفیت مطلوب آن ها با هم مخلوط گردند. جهت کسب اطمینان از کیفیت مطلوب مصالح، انجام آزمایش ضروری است. ضمناً لازم است که قبل از شروع عملیات اجرایی، فرمول ترکیب بتن به طور دقیق در آزمایشگاه تعیین و نمونه ی آن ساخته شود، سپس در هنگام بتن ریزی نیز از طریق نمونه گیری و آزمایش نمونه ها، اطمینان لازم از کیفیت بتن موردنظر حاصل شود. تداوم نمونه گیری و آزمایش های بتن در طول عملیات اجرایی لازم است. با توجه به نکات اشاره شده، آزمایش های بتن و کنترل مواد تشکیل دهنده ی آن از اقدامات اساسی در ساخت و کاربرد فرآورده های بتنی به شمار می آید.

برای آن که بتوان آزمایش ها را در شرایط مشخص و طبق روش های واحدی انجام داد و قاعده ای برای کنترل کیفیت و تفسیر نتایج حاصله در دسترس باشد، کشورهای مختلف استانداردهای خاصی را تدوین نموده اند که از آن جمله می توان به استانداردهای ASTM (آمریکا)، BS (انگلستان)، DIN (آلمان) و ISIRI (مؤسسه ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) اشاره نمود.



## آزمایش بتن چیست و آزمایشگاه بتن کجاست؟

به مجموعه فعالیت‌هایی که برای کنترل، ارزیابی و تایید کیفیت بتن صورت می‌گیرد، آزمایش بتن گفته می‌شود.

آزمایشگاه بتن محلی است که به منظور اجرای آزمایش‌های بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این محل دارای تجهیزات مختلفی است که امکان ارزیابی هر یک از ویژگی‌های بتن تازه یا سخت شده را فراهم می‌کند.

ارزیابی این ویژگی‌های مطابق دستورالعمل‌های مختلف انجام می‌شود.

آزمایش بتن را می‌توان به دو دسته آزمایشگاهی و برجا تقسیم‌بندی کرد:

آزمایشگاهی: آزمایش بتن در محیط آزمایشگاه انجام می‌شود.

برجا: اجرای آزمایش بتن در محل پروژه صورت می‌گیرد.

آزمایش بتن از نظر تاثیر آزمایش بر نمونه به دو نوع آزمایش‌های مخرب و غیر مخرب تقسیم می‌شود:

«آزمایش مخرب» **(Destructive Testing)**: آزمایشی که اجرای آن، باعث شکست نمونه یا آسیب به بخشی از سازه و عضو مورد آزمایش می‌شود.

«آزمایش غیر مخرب» **(Nondestructive Testing)**: آزمایشی که اجرای آن، هیچ آسیبی به سازه، عضو یا نمونه مورد آزمایش وارد نمی‌کند.



# آزمایش های سیمان

الف) آزمایش تعیین جرم حجمی سیمان: جرم حجمی<sup>۱</sup> (چگالی) سیمان یکی از خواص سیمان است که در محاسبات طرح اختلاط و اندازه گیری نرمی سیمان مورد استفاده قرار می گیرد. سیمان به طور کلی دارای سه نوع جرم حجمی به شرح زیر است:

- ۱- جرم حجمی آزاد؛ که عبارت است از جرم حجمی سیمان به صورت آزاد و بدون تراکم.
- ۲- جرم حجمی متراکم؛ که عبارت است از جرم حجمی سیمان به صورت متراکم. این جرم حجمی در انبار کردن سیمان کاربرد دارد.
- ۳- جرم حجمی مطلق؛ که عبارت است از بیشترین جرم حجمی سیمان، و به عنوان جرم واحد حجم ذرات جامد سیمان تعریف می شود.



ب) آزمایش تعیین نرمی سیمان: آخرین گام در تولید سیمان در کارخانه، آسیاب کردن کلینکر مخلوط شده با گچ است. به علت این که، در هنگام مصرف سیمان، هیدراتاسیون از سطح ذرات سیمان آغاز می‌گردد، لذا مساحت کل سطح سیمان معرف میزان ماده‌ی در دسترس برای هیدراتاسیون می‌باشد و از این جاست که تعیین نرمی سیمان اهمیت می‌یابد.

طبق تعریف، نرمی یا سطح مخصوص عبارت است از: سطح ذرات موجود در واحد جرم سیمان، و برحسب  $m^2/kg$  و یا  $cm^2/gr$  بیان می‌شود. سطح مخصوص یا نرمی سیمان با اندازه‌ی ذرات سیمان نسبت معکوس دارد.

سطح مخصوص انواع سیمان‌ها حدوداً بین  $250$  و  $350 m^2/kg$  قرار دارد.



آزمایش **بلین سیمان** همان آزمایش تعیین **درجه نرمی سیمان** به روش بلین (یا در واقع با دستگاه بلین سیمان) انجام می‌شود. نرمی سیمان که در اثر آسیاب سیمان به دست می‌آید، خواص قابل ملاحظه‌ای به رفتار آن در حین عمل هیدراتاسیون سیمان می‌دهد.

هدف از آزمایش تعیین **درجه نرمی سیمان**، تعیین **سطح مخصوص سیمان** می‌باشد.

سطح مخصوص سیمان عبارت است از **سطح جانبی دانه‌های موجود در واحد وزن**، بنابراین **واحد سطح مخصوص سانتی متر مربع بر گرم** می‌باشد.



## ج) آزمایش زمان گیرش سیمان

ج) آزمایش تعیین زمان گیرش سیمان: در ساخت سازه‌های بتنی، زمان باز کردن قالب‌ها تابعی از زمان گیرش بتن می‌باشد که خود نیز به علت گیرش سیمان است. لذا دانستن زمان گیرش سیمان اهمیت زیادی دارد. از طرف دیگر زمان گیرش سیمان پرتلند می‌تواند نشان‌دهنده‌ی میزان کیفیت سیمان باشد.

در طی فرایند هیدراتاسیون ابتدا خمیر سیمان به تدریج شکل‌پذیری خود را از دست می‌دهد تا به گیرش اولیه‌ی خود برسد. در این حالت تقریباً شکل دادن و پرداخت سطح بتن ناممکن می‌گردد با ادامه‌ی فرایند هیدراتاسیون، سیمان کاملاً سخت می‌شود. لحظه‌ای که سخت شدن خمیر سیمان کامل گردیده و صلب شدن آن آغاز می‌گردد، لحظه‌ی گیرش نهایی خواهد بود. برای اندازه‌گیری زمان گیرش سیمان از دستگاه ویکات (Vicat) استفاده می‌شود (شکل ۱-۲).

سیمان به‌طور کلی سه نوع گیرش دارد:

۱- گیرش کاذب<sup>۱</sup>: این نوع گیرش به علت گیرش گچ می‌باشد که در کارخانه به سیمان افزوده می‌شود، با حرارت‌زایی همراه نیست و با ویرهی مجدد از بین خواهد رفت. بتن پس از این گیرش بدون تغییر کیفی می‌تواند به سخت شدن خود ادامه دهد.

۲- گیرش اولیه<sup>۲</sup>: طبق استاندارد ASTM، گیرش اولیه هنگامی خواهد بود که نفوذ سوزن ویکات در خمیری با غلظت نرمال، در مدت ۳۰ ثانیه پس از رها شدن، برابر با ۲۵ میلی‌متر یا کم‌تر باشد. در طول گیرش اولیه، حرارت آزاد می‌شود و این گیرش با ویرهی مجدد از بین نخواهد رفت.

۳- گیرش ثانویه یا نهایی<sup>۱</sup>: طبق استاندارد ASTM، گیرش ثانویه هنگامی خواهد بود که سوزن ویکات به وضوح در داخل خمیر فرو نرود.

طبق استاندارد ASTM، گیرش اولیه نباید کم‌تر از ۴۵ دقیقه و گیرش ثانویه نباید بیش از ۳۷۵ دقیقه باشد.

برای تعیین زمان‌های گیرش اولیه و ثانویه و سلامت سیمان لازم است از خمیر سیمان با روانی متعارف استفاده شود. بنابراین ضرورت دارد که برای هر سیمان معین میزان آب خمیر، که روانی متعارف را به دست می‌دهد مشخص گردد. نسبت این آب به سیمان را که به صورت درصد بیان می‌شود، غلظت نرمال می‌نامند. بر مبنای استاندارد ASTM، غلظت خمیر هنگامی نرمال خواهد بود که میزان نفوذ سوزن ویکات در داخل خمیر در مدت ۳۰ ثانیه و در شرایط استاندارد برابر با  $1 \pm 10$  میلی‌متر باشد.



# آزمایش مقاومت فشاری:





## آزمایش مقاومت فشاری بتن

آزمایش مقاومت فشاری بتن یکی از متداول ترین آزمایش های تعیین مقاومت بتن است که بر روی بتن انجام می شود. در آزمایش مقاومت فشاری بتن ، حداقل سه نمونه برای هر تست در هر مدت زمان مشخص شده، انتخاب می شود. همچنین معمول ترین حالت سن نمونه مقاومت فشاری بتن ، ۷ روز و ۲۸ روز است. این مدت زمان با توجه به میزان آب موجود در نمونه های خشک اضافه می شود.



# فیلم آزمایش مقاومت فشاری بتن





## آزمایش کارایی بتن (اسلامپ)



عموما مقدار اسلامپ مناسب بتن برای به دست آوردن **میزان کارایی** آن نیاز است، که **نشانگر نسبت آب به سیمان** بتن می باشد.

اما چندین عامل دیگر نیز در بتن وجود دارد که در اسلامپ آن تاثیر می گذارد؛ از جمله: نوع مواد مورد استفاده در بتن، روش های مخلوط کردن بتن، میزان مواد مورد استفاده، نوع و میزان سنگدانه ها و غیره.

برای آزمایش اسلامپ از یک قالب که به شکل مخروط ناقص است استفاده می شود. قطر قاعده ی این مخروط ناقص، ۲۰ سانتی متر و ارتفاع آن ۳۰ سانتی متر است. بتن تازه به داخل این قالب ریخته می شود و سپس قالب را بر می دارند. مقدار افت و پایین آمدن بتن را اندازه گیری می کنند و آن را میزان اسلامپ بتن می نامند.



## مراحل آزمایش اسلامپ بتن شرح آزمایش اسلامپ بتن:

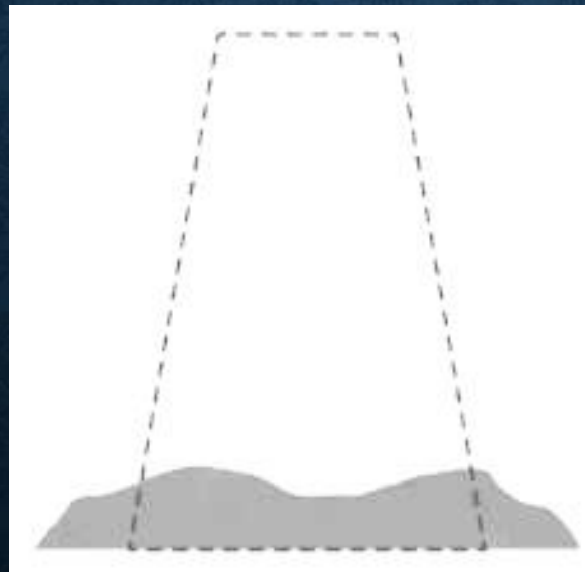
- ۱- مخروط را روی صفحه فولادی از طرف قاعده بزرگتر آن گذاشته.
- ۲- بتن تازه را داخل مخروط و تا حدود  $\frac{1}{4}$  ارتفاع (۷۵ میلی متر) آن ریخته.
- ۳- سپس بوسیله میله فولادی ۲۵ ضربه به بتن وارد و آن را بکوبید.
- ۴- مجدداً تا حدود نصف ارتفاع مخروط ( ۷۵ میلی متر بعدی) را با بتن پر کنید.
- ۵- بار دیگر بتن را توسط ۲۵ ضربه میله فولادی متراکم کنید.
- ۶- بتن بیشتری به داخل مخروط ریخته تا تراز آن به  $\frac{3}{4}$  ارتفاع (۷۵ میلی متر دیگر) مخروط برسد.
- ۷- مجدداً با ۲۵ ضربه میله فولادی بتن را متراکم کنید.
- ۸- مخروط را با بتن پر کرده و با میله فولادی آخرین ۲۵ ضربه را برای تراکم آن وارد کنید.
- ۹- با کمچه کشی یا اضافه کردن مقداری بتن در صورت نیاز سطح بتن را برابر تراز لبه مخروط فلزی نمایید.
- ۱۰- مخروط را با دقت بالا کشیده و به صورت وارونه در کنار بتن بگذارید.
- ۱۱- پس از یک دقیقه یا کمی بیشتر ملاحظه خواهید کرد که بتن تحت اثر وزنش به سمت پایین نشست (اسلامپ) می کند.
- ۱۲- با استفاده از میله فولادی (یا یک قطعه با لبه مستقیم) ارتفاع مخروط وارونه را اندازه بگیرید.
- ۱۳- اختلاف ارتفاع بین مخروط فولادی و مخروط بتنی نشست کرده را اندازه بگیرید.
- ۱۴- به این اختلاف ارتفاع اندازه گیری شده که برحسب میلی متر بیان می شود اسلامپ می گویند.

انواع اسلامپ بتن:

بعد از اجرای سنجش اسلامپ بتن، چهار حالت مختلف برای شکل نمونه مورد آزمایش وجود خواهد داشت. این شکل‌ها عبارت هستند از:

## ۱۰- اسلامپ ریزشی

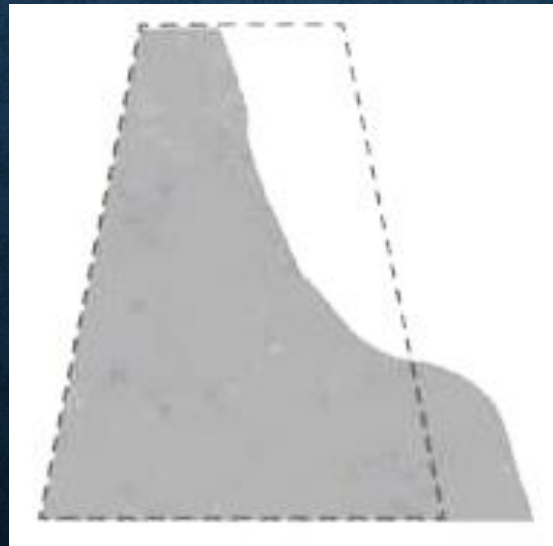
- اسلامپ ریزشی حالتی است که در آن، بتن به طور کامل وا رفته و به روی صفحه می‌ریزد. این اسلامپ نشان‌دهنده نسبت آب به سیمان بالا یا طرح اختلاطی با کارایی بالا است. در صورت بالا بودن نسبت آب به سیمان باید بر روی این موضوع بازنگری‌های لازم صورت گیرد اما در صورت نیاز به بتنی با کارایی بالا، استفاده از سنجش اسلامپ بتن به هیچ عنوان پیشنهاد نمی‌شود.





## ۲-اسلامپ برشی

- اسلامپ برشی حالتی است که در آن، بخش بالایی نمونه روی یک سطح برش می لغزد. این اسلامپ نشان‌دهنده مناسب نبودن بتن و نیاز به آزمایش مجدد است. اگر اسلامپ نمونه‌های بعدی نیز از نوع برشی باشد، به این نتیجه می‌رسیم که مخلوط بتن چسبندگی کافی را ندارد. اسلامپ برشی معمولاً در طرح اختلاط‌هایی با سنگدانه‌های زبر و خشن رخ می‌دهد.



## ۳-اسلامپ صفر

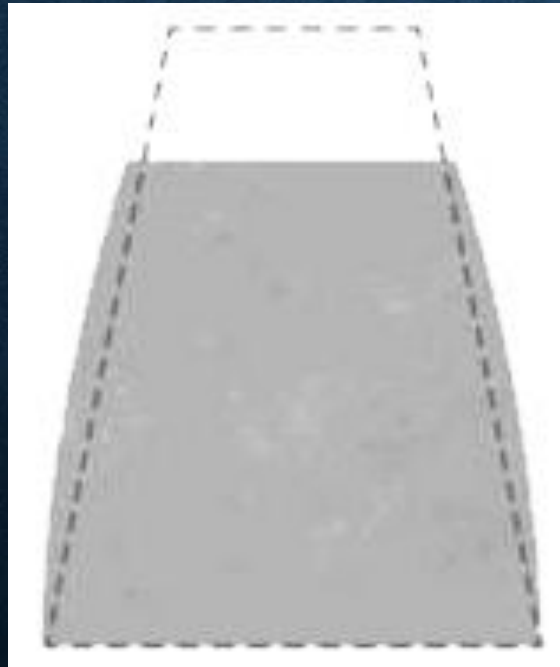
- اسلامپ صفر، حالتی است که نمونه بتن بدون هیچ نشست‌تی در جای خود باقی می‌ماند. این اسلامپ، نشان دهنده نسبت آب به سیمان بسیار پایین (اختلاط خشک) است.





## ۴-اسلامپ واقعی

- اسلامپ واقعی، تنها حالتی است که در سنجش اسلامپ بتن مورد قبول واقع می‌شود. در یک اسلامپ واقعی، بتن مورد آزمایش تنها با نشست همراه بوده و شکل آن کم و بیش مشابه قالب مخروطی است. اگر طرح اختلاط بتن دارای نسبت آب به سیمان پایین باشد (مانند بتن مگر)، نتایج سنجش اسلامپ بتن معتبر نخواهد بود. در این موارد، با یک تغییر کوچک در طرح اختلاط، امکان تغییر اسلامپ واقعی به اسلامپ صفر یا حتی اسلامپ ریزشی وجود دارد.



## عدد اسلامپ چیست؟

عدد اسلامپ (نشست عمودی)، معیاری برای ارزیابی روانی بتن بر حسب میلی‌متر یا اینچ است. هر عدد اسلامپ یک کاربری مخصوص دارد. در جدول زیر، عدد اسلامپ بر حسب کارایی و کاربرد مورد نظر مشخص شده است.

محل مورد استفاده	اسلامپ (بر حسب میلی‌متر)	سطح کارایی
جاده‌سازی و ساخت پیاده‌رو	۵-۲۵	خیلی کم
پی، تیر، دیوار، ستون و لاینیگ با تقویت‌کننده کم	۲۵-۵۰	کم
لارده، تیر، دیوار و ستون با تقویت‌کننده زیاد؛ بتن قابل پمپ	۵۰-۱۰۰	متوسط
بتن‌ریزی با ترمی (قیف و لوله)	۱۰۰-۱۷۵	زیاد



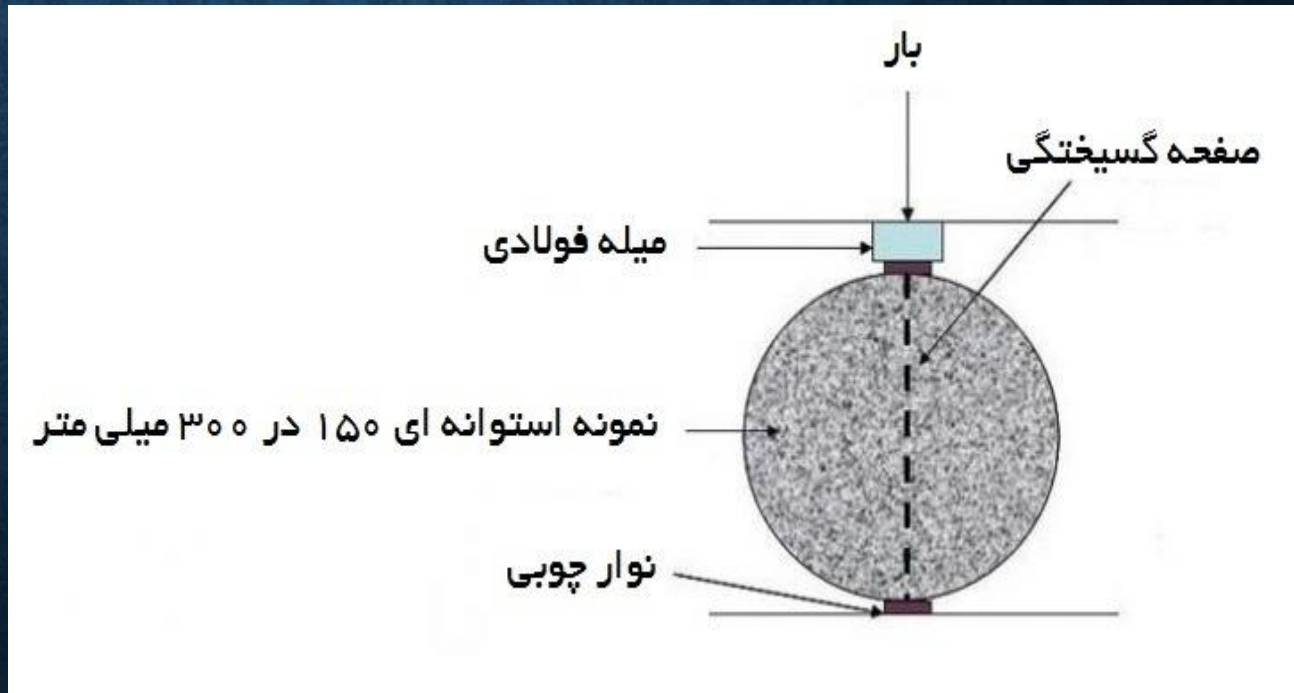






# آزمایش مقاومت کششی بتن یا تست برزیلی

این آزمایش با نام مقاومت کششی بتن به روش دو نیم کردن یا تست برزیلی در استاندارد ملی ایران ۶۰۴۷ و **ASTM C496** و **BS 1881-4** شرح داده شده است.





# آزمایش مغزه گیری



آزمایش و روش تهیه نمونه های مغزه گیری [کرگیری] و تیر های اره شده بتنی

اهداف تهیه نمونه های مغزه گیری یا کرگیری بتن مطابق استاندارد ایران (ISIRI) به شرح زیر می باشد.

تعیین طول نمونه یا مقاومت فشاری بتن یا مقاومت کششی بتن (برای نمونه مغزه گیری شده بتنی)

تعیین مقاومت خمشی بتنی (تیر های اره شده بتنی)

## کاربرد آزمایش مغزه گیری بتن

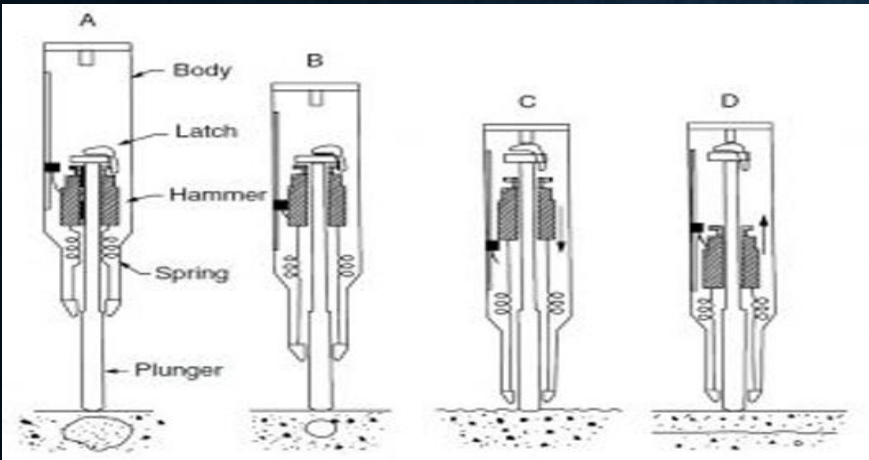
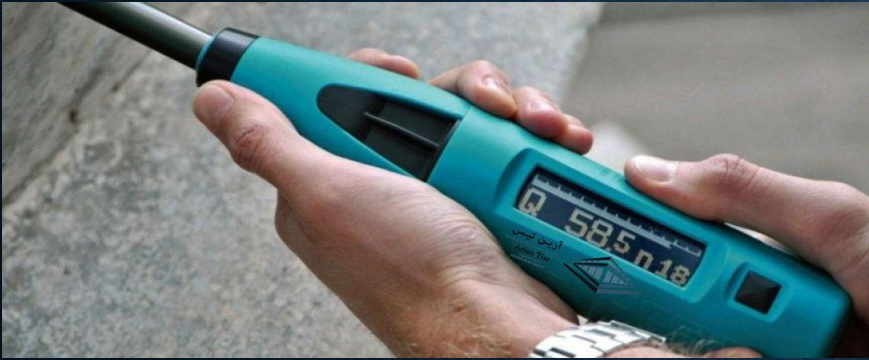
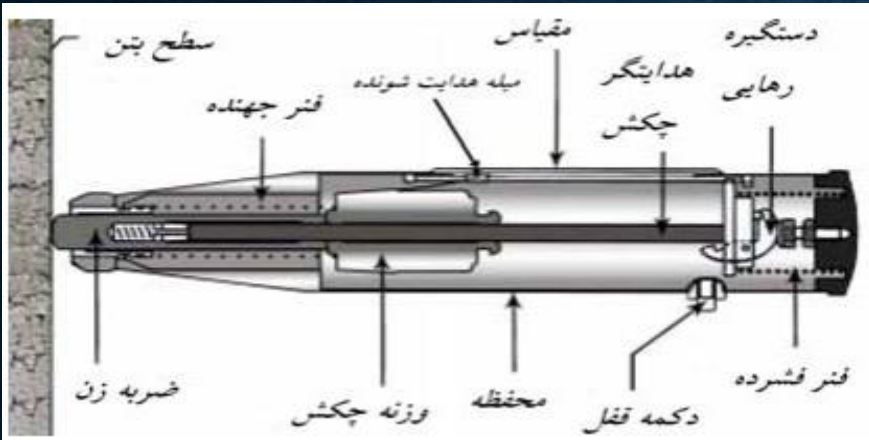
به عنوان کاربرد معمولاً آزمون ها مغزه گیری در این روش زمانی تهیه می شوند که تردیدی در کیفیت بتن در محل به دلیل مقاومت کم نمونه های آزمایش شده در هنگام اجرا یا این که نشانه های خرابی در سازه وجود داشته باشد. از دیگر کاربردهای این روش استفاده از آن جهت جمع آوری اطلاعات مقاومتی برای سازه قدیمی می باشد.





# آزمایش چکش اشمیت

- چکش اشمیت متداول ترین روش تعیین سختی سطح از روش های تست بتن بوده که به صورت غیر مخرب انجام می شود و به منظور اندازه گیری مقاومت فشاری بتن ( $f_c$ ) می باشد. برای تعیین سختی سطح بتن، بتن مورد آزمایش با انرژی ضربه ای مشخص با روش استاندارد ضربه زده شده و بزرگی بازگشت این عمل اندازه گیری می شود. چکش اشمیت روش ساده و سریعی است که توسط آن با هزینه کمی می توان یکنواختی سطح بتن سخت شده را نیز کنترل نمود. آزمایش چکش ارتجاعی برای تعیین یکنواختی بتن درجا می تواند بسیار مناسب باشد زیرا نتایج آزمایش لازم نیست که به دیگر ویژگی های بتن مرتبط شود. قبل از انجام آزمایش باید از کارکرد صحیح دستگاه اطمینان حاصل کرد و به همین منظور باید آن را توسط صفحه یا قطعه مرجع، مورد آزمایش قرار داد. آزمایش حداقل باید با فاصله ۲۰ میلیمتر از لبه عضو انجام شود.







# طرح اختلاط بتن



طرح اختلاط بتن را می توان بدین صورت تعریف کرد:

تعیین اقتصادی ترین و عملی ترین ترکیب از مصالح در دسترس برای تولید بتنی که در حالت تازه دارای کار آیی و چسبندگی قابل قبول و در حالت سخت شده دارای مقاومت و دوام کافی و مناسب باشد.



از معضلات جدی صنعت بتن، نبود روش استاندارد ارائه نتایج طرح اختلاط بتن می باشد که کنترل محاسبات اجرا شده در مراحل مختلف، تعیین نسبت‌های اجرا بتن را دشوار و یا غیر ممکن می سازد. نسبت های بتن باید بگونه ای انتخاب شوند که شرایط بهینه ای را که شامل وزن مخصوص مناسب ، مقاومت و پایداری مورد نیاز برای یک کاربرد خاص فراهم آورند .

-ساختن قطعات و سازه های بتنی به صورت اقتصادی و در عین حال منطبق با الزامات فنی و دوام مورد نظر، بستگی تام به طرح اختلاط مناسب مخلوط بتن دارد .

علاوه بر این هنگامی که طرح اختلاط برای بتن حجیم تعیین می شود باید گرم‌زایی (تولید گرما) بتن در نظر گرفته شود.

-انتخاب نسبت های مخلوط عبارت است از فرایند انتخاب مواد تشکیل دهنده مناسب بتن و تعیین مقادیر نسبی آنها ، با این هدف که بتن تولید شده حتی امکان اقتصادی و دارای برخی از حداقل خواص مورد نیاز ، به ویژه مقاومت مورد نیاز ، دوام و روانی باشد.

- برای تولید بتن مناسب ، اولین گام ، انتخاب مصالح مناسب است . استفاده از مصالح مناسب الزامی است ولی کافی نیست.

بعد از تهیه مواد اولیه مناسب، باید نسبت های اختلاط آنها به نحو صحیح صورت گیرد . در آخر اجرای صحیح ، تضمین کننده کیفیت مناسب بتن می باشد.

- در تعیین نسبت های مخلوط قدم اول تعیین خواص مورد نیاز می باشد . به این خواص اصطلاحاً « مشخصات فنی » گفته می شود .

در استاندارد های قدیم ، نسبت های مخلوط تنها با توجه به مقاومت فشاری لازم تعیین می شد. در حالی که امروزه استانداردها عملکرد بتن را مورد توجه قرار می دهند . بر این اساس سعی می شود نسبت های مخلوط به گونه ای تعیین شود که بتن در طول عمر خود، توانایی مقابله با عوامل مخرب را داشته و از دوام کافی برخوردار باشد . البته در ایران طرح مخلوط بتن همچنان بر اساس مقاومت فشاری اجرا می شود و به دوام بتن توجه کافی نمی گردد.



عوامل عمده که در به حداقل رساندن مقادیر سیمان و آب مورد نیاز موثر هستند:

- ۱-سفت ترین مخلوط ممکن .
- ۲-بزرگترین اندازه ی سنگ دانه ها .
- ۳-بهترین نسبت دانه های ریز به درشت.





# لزوم ساخت مخلوط های آزمایشی

الاساسا طرح مخلوط بتن به معنای دقتیق آن امکان پذیر نیست، زیرا مصالح مورد استفاده از جنبه های مختلف متغیر میباشند و بعضی از خصوصیات آن هارانی توان از نظر کمی و کیفی ارزیابی نمود.

بنا بر این با استفاده از روش های مختلف رایج در طرح اختلاط بتن در واقع کاری بیش از یکحدس هوشمندانه در مورد ترکیب مناسب اجزا البته بر اساس مجموعه ای از جداول و منحنی ها انجام نمی شود.

لذا ضرورت اساسی دارد که به منظور دستیابی به یک مخلوط رضایت بخش برای بتن های سازه ای، نمونه ای از نسبت های به دست آمده را در آزمایشگاه با استفاده از مصالح واقعی مورد مصرف در ساختمان اصلی تهیه کنیم و در صورت لزوم با استفاده از نتایج آزمایش، تغییرات مناسب را در نسبت های اجزا اعمال کنیم.

ساخت مخلوط های آزمایشی باید زیر نظر یک کارشناس یا تکنسین با تجربه به منظور ارزیابی دقیق پارامترهای مختلف انجام شود.

## نمونه برداری و پذیرش بتن

پذیرش بتن در کارگاه براساس نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های برداشته شده از بتن مصرفی صورت می‌پذیرد. دفعات تصادفی نمونه‌برداری 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 نمونه از آن است که آزمایش فشاری آن‌ها در سن ۲۸ روزه یا هر سن مقرر شده دیگری انجام می‌پذیرد و متوسط مقاومت‌های فشاری به دست آمده به عنوان نتیجه نهایی آزمایش منظور می‌شود. برای ارزیابی کیفیت بتن قبل از موعد مقرر می‌توان حداقل یک نمونه دیگر نیز به منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری تهیه کرد.



در صورتی که حجم هر اختلاط بتن بیش تر از یک متر مکعب باشد، تواتر نمونه برداری به ترتیب زیر خواهد بود :

الف - برای دال ها و دیوارها و پی ها، یک نمونه برداری از هر ۳۰ متر مکعب بتن یا ۱۵۰ متر مربع سطح.

ب - برای تیرها و کلاف ها، در صورتی که جدا از قطعات دیگر بتن ریزی می شوند، یک نمونه برداری از هر ۱۰۰ متر طول.

ج - برای ستون ها، یک نمونه برداری از هر ۵۰ متر طول.

در صورتی که حجم هر اختلاط بتن کم تر از یک متر مکعب باشد، می توان مقادیر ذکر شده در بالا را به همان نسبت تقلیل داد.

در صورتی که حجم هر اختلاط بتن کم تر از یک متر مکعب باشد، می توان مقادیر ذکر شده در بالا را به همان نسبت تقلیل داد.

حداقل یک نمونه برداری از هر رده و از هر نوع بتن در هر روز الزامی است.

حداقل ۶ نمونه برداری از هر رده بتن و از هر نوع بتن در کل سازه الزامی است.

در صورتی که حجم بتن مصرفی یک پروژه ساختمانی از ۳۰ متر مکعب کم تر باشد می توان از نمونه برداری و آزمایش مقاومت صرف نظر کرد مشروط بر آن که به تشخیص دستگاه نظارت دلیلی برای رضایت بخش بودن کیفیت بتن موجود باشد.

مشخصات بتن موقعی قابل قبول و منطبق بر رده مورد نظر تلقی می شود که مقاومت نمونه های بتن، مطابق ضوابط مندرج در آیین نامه بتن ایران (آبا) باشد.



# روش طرح اختلاط

در گذشته بتن‌ها را براساس نسبت‌های دستوری مشخص، مانند نسبت‌های حجمی ۴:۲:۱:

(یعنی یک قسمت حجمی سیمان، دو قسمت حجمی ماسه و چهار قسمت حجمی سنگ‌دانه‌ی درشت) تهیه می‌کردند. در این روش به ندرت مقدار آب محدود می‌شد و میزان آن فقط از طریق حداکثر اسلامپ به‌طور غیرمستقیم کنترل می‌گردید. البته چنین مخلوط‌هایی به دلیل سادگی انتخاب مزایایی دارند؛ اما طرح حاصله به هیچ‌وجه اثر عوامل مختلف بر مشخصات بتن را نشان نمی‌دهد. اساسی‌ترین روش جهت طرح مخلوط باید مبتنی بر حجم‌های مطلق مصالح مختلف در مخلوط بتن باشد. روش عملی‌تر، که در این فصل به آن اشاره می‌شود، روشی است که در آن وزن مواد تشکیل‌دهنده‌ی مخلوط براساس تهیه‌ی یک متر مکعب بتن تراکم محاسبه می‌شود. این روش سال‌هاست که در کشورهای مختلف جهان به کار می‌رود.

# عوامل موثر بر طرح مخلوط

الف) مقاومت فشاری:

ب) کارایی:

ج) دوام:



## الف) مقاومت فشاری:

الف) مقاومت فشاری: آنچه که طراح سازه مشخص می‌کند، حداقل مقاومت فشاری لازم برای بتن است. این در حالی است که می‌دانیم مقاومت بتن ساخته شده، با مصالح و نسبت‌های داده شده تحت شرایط مناسب و مطلوب، تا مدت‌ها افزایش می‌یابد. به هر حال در اکثر استانداردها مقاومت ۲۸ روزه را به عنوان مبنای مقاومت لازم برای اهداف سازه‌ای در نظر می‌گیرند. عوامل مختلف مؤثر بر مقاومت فشاری بتن عبارتند از:

- ۱- طبیعت مصالح سنگی (شکل، تخلخل، بافت سطحی)
- ۲- دانه‌بندی مصالح سنگی (اندازه و توزیع سنگ‌دانه‌ها)
- ۳- نوع سیمان
- ۴- نسبت آب به سیمان
- ۵- نحوه‌ی ساخت و تراکم بتن
- ۶- شرایط نگهداری و عمل آوردن بتن
- ۷- سن بتن

باید دانست که در حین اجرای بتن ممکن است تغییرات ناخواسته‌ای در مشخصات مصالح مصرفی به وجود آید. مثلاً کیفیت سیمان تحویلی ممکن است قدری تغییر کند یا دانه‌بندی و شکل دانه‌های سنگی تغییر یابد. همچنین در هر مخلوط بتنی، تغییراتی در نسبت مصالح نیز ایجاد می‌شود که به نوع سیستم پیمانانه کردن و طرز عمل ماشین‌های مربوطه بستگی دارد. روش‌های به‌کار گرفته شده در مراحل مختلف اجرا به طور کامل یکسان نخواهد بود. مجموع تغییرات ذکر شده باعث می‌شود که نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری بر روی نمونه‌گیری‌های حین اجرا، در پاره‌ای از موارد تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر داشته باشند. از آن‌جا که همواره این احتمال وجود دارد که نتایج تعدادی از آزمایش‌ها کم‌تر از مقاومت مورد نظر طراح سازه باشد، لازم است مخلوط بتن به گونه‌ای طرح شود که مقاومت متوسط آن بزرگ‌تر از مقاومت مورد نظر طراح باشد.

اگر مقاومت مورد نظر طراح سازه را «مقاومت مشخصه» نامگذاری کنیم و با  $f_c$  نشان دهیم و  $f_m$  نیز مقاومت متوسط حاصله از مخلوط بتن که مبنای طرح اختلاط قرار می‌گیرد، باشد،



اختلاف آن‌ها، یعنی  $f_m - f_c$ ، حاشیه‌ی مقاومت نامیده می‌شود و با  $f'$  نشان داده می‌شود. حاشیه‌ی مقاومت با توجه به اهمیت سازه و درجه‌ی کنترل کیفیت در کارگاه بتن‌سازی و با رعایت ضوابط آیین‌نامه‌ای توسط کارشناس طراح مخلوط بتن محاسبه می‌گردد. بنابراین طرح اختلاط بتن همواره براساس مقاومت فشاری متوسط ( $f_m$ ) انجام می‌گیرد و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$f_m = f_c + f'$$

قابل ذکر است که عموماً  $f'$  از نظر کمی، مقدار قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت.

## ب) کارایی

ب) کارایی: کارایی به سهولت در ریختن، قابلیت تراکم و پرداخت بتن اطلاق می‌شود. مقدار کارایی لازم به دو عامل مهم بستگی دارد:

- ۱- ابعاد مقطع عضو و فاصله‌ی آرماتورها
- ۲- روش تراکم کردن بتن

واضح است که وقتی مقطع، باریک و پیچیده باشد و یا دارای گوشه‌های متعدد و نقاط با دسترسی مشکل باشد، لازم است که بتن کارایی بالایی داشته باشد، به گونه‌ای که با وسایل موردنظر به‌طور کامل تراکم گردد. همچنین هنگامی که مقاطع فولادی یا آرماتورهای با فاصله‌ی کم، بتن‌ریزی و تراکم را با مشکل مواجه می‌کنند، بتن باید کارایی بالایی داشته باشد. بنابراین برای بتن‌ریزی‌های مختلف، اسلامپ‌های متفاوتی مورد نیاز است. معمولاً میزان اسلامپ لازم، در مشخصات بتن ذکر شده است. زمانی که اسلامپ بتن مشخص نشده باشد، یک مقدار تقریبی مناسب می‌تواند از جداول ۱-۳ و ۲-۳ انتخاب شود.



جدول ۳-۱- درجه‌ی کارآیی و اسلامپ برای بتن‌های با حداکثر قطر سنگ‌دانه‌ی ۱۹ تا ۳۸ میلی‌متر

استفاده در بتن‌های مختلف	اسلامپ (میلی‌متر)	درجه‌ی کارآیی
برای راه‌هایی که با ماشین‌های قوی متراکم می‌شوند. در مخلوط‌های با کارآیی بالای این حد، بتن در شرایط خاصی می‌تواند با ماشین‌های دستی متراکم و لرزانده شود.	۰ - ۲۵	خیلی پایین
برای راه‌هایی که با وسایل دستی متراکم می‌شوند، در محدوده بالای کارآیی این گروه می‌توان دانه‌های گرد یا نامنظم را به کار برد. برای پی‌های با بتن انبوه بدون لرزه و برای مقاطع با فولاد کم که لرزانده می‌شوند.	۲۵ - ۵۰	پایین
در حد پایین کارآیی این گروه برای دال‌های تخت با تراکم دستی با استفاده از سنگ شکسته. همچنین برای بتن مسلح معمولی با تراکم دستی و برای مقاطع با فولاد زیاد که لرزانده می‌شوند.	۵۰ - ۱۰۰	متوسط
برای قطعات با انبوه زیاد آرماتور. معمولاً برای لرزاندن مناسب نیست.	۱۰۰ - ۱۲۵	بالا

### جدول ۳-۲- اسلامپ‌های توصیه شده برای انواع مختلف اعضای ساختمانی

محدوده‌ی اسلامپ*	عضو ساختمانی
میلی‌متر	
۸۰ - ۲۰	دیوارها و پی‌های بتن مسلح
۸۰ - ۲۰	پی‌ها، بندها و دیوارهای غیرمسلح
۱۰۰ - ۲۰	تیرهای بتن مسلح
۱۰۰ - ۲۰	ستون‌های ساختمان
۱۰۰ - ۲۰	روسازی‌ها و دال‌ها
۸۰ - ۲۰	بتن حجیم

\* در حالت تراکم با دست می‌توان محدوده‌ی بالای اسلامپ را ۲۰ میلی‌متر افزایش داد.



## ج) دوام

ج) دوام: منظور از دوام بتن، مقاومت آن در مقابل عوامل جوّی، حملات شیمیایی، سایش، فرسایش و فرآیندهای تخریبی دیگر است. بتن بادوام در شرایط محیطی مورد نظر، شکل، کیفیت و قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ می‌کند. یخ زدن‌ها و آب شدن‌های مکرر بتن در مناطق سردسیر باعث تخریب بتن می‌شود. این تخریب در اثر مواد شیمیایی یخ زدا نیز شدت می‌یابد. در این موارد باید با استفاده از مواد افزودنی حباب‌ساز، سنگ‌دانه‌های مناسب و نسبت آب به سیمان مطلوب، بتنی با نفوذپذیری کم ساخته شود.

بتن با کیفیت خوب در برابر حمله‌ی عوامل شیمیایی مقاومت خوبی دارد. استفاده از سیمان مناسب، نسبت‌های اختلاط صحیح و ساخت بتن با نفوذپذیری کم، مقاومت آن را در برابر املاح و مواد مضر موجود در آب و خاک افزایش می‌دهد.

در برخی موارد، سطح بتن دچار فرسایش می‌شود و این فرسایش به‌ویژه در کف محیط‌های صنعتی، مشکلاتی را به‌وجود می‌آورد. در سازه‌های آبی، دانه‌های شن و ماسه‌ی موجود در آب جاری ممکن است باعث سایش سطوح شود. استفاده از بتن مرغوب و در موارد حادثر استفاده از سنگ‌دانه‌های بسیار سخت و نسبت آب به سیمان بسیار کم، موجب می‌شود که بتن در مقابله با این عوامل، دوام مناسبی داشته باشد.



خوردگی آرماتورها ممکن است باعث پُکیدن و قلوه‌کن شدن سطح بتن شود. در نظر گرفتن پوشش مناسب بتن بر روی آرماتورها و ساخت بتن با نفوذپذیری کم از جمله تمهیدات مناسب برای مقابله با این ضایعات است. محدودیت نسبت آب به سیمان از عواملی است که منظور نمودن آن در طرح اختلاط بتن، می‌تواند تضمین‌کننده‌ی بتنی مقاوم و با نفوذپذیری کم باشد. جدول ۳-۳ الزامات آیین‌نامه‌ی بتن ایران را در خصوص حداکثر نسبت آب به سیمان و حداقل مقاومت مشخصه برای شرایط محیطی ویژه، بیان می‌کند.

جدول ۳-۳- الزامات مربوط به شرایط محیطی ویژه

حداقل مقاومت مشخصه (مگاپاسکال)	حداکثر نسبت آب به سیمان	شرایط محیطی
۲۵	۰/۵ ۰/۴۵	بتن آب بند : الف - در معرض آب شیرین ب - در معرض آب شور یا آب دریا
۳۰	۰/۴۵	بتن در معرض یخ زدن و آب شدن در شرایط مرطوب، تر و خشک شدن مکرر یا مواد شیمیایی یخ زدا
۳۵	۰/۴	برای حفاظت در برابر خوردگی در سازه‌های بتن آرمه‌ای که در معرض کلریدهای ناشی از مواد شیمیایی یخ زدا، نمک، آب شور، آب لب‌شور، آب دریا یا ترشح مواد مزبور قرار دارند.





**مرحله‌ی اول: تعیین مقاومت متوسط هدف:** در این مرحله، همچنان که پیش از این گفتیم، به

مقاومت مشخصه‌ی بتن ( $f_c$ ) که از سوی طراح سازه اعلام شده است، مقداری تحت عنوان حاشیه‌ی مقاومت ( $f'$ ) افزوده و مجموع آن‌ها با نام مقاومت متوسط هدف ( $f_m$ ) مبنای طرح اختلاط بتن قرار می‌گیرد و انتظار می‌رود که بتن‌های ساخته شده نهایتاً دارای مقاومت متوسطی معادل با آن باشند. لذا ابتدا حاشیه‌ی مقاومت با در نظر گرفتن عواملی نظیر اهمیت سازه و درجه‌ی کنترل کیفیت کارگاه بتن‌سازی، که قرار است بتن مصرفی پروژه در آن کارگاه ساخته و اجرا شود، با رعایت ضوابط آیین‌نامه‌ای توسط کارشناس طرح مخلوط بتن، محاسبه و تعیین می‌گردد. سپس از رابطه‌ی زیر، مقاومت متوسط هدف به دست می‌آید:

$$f_m = f_c + f'$$



**مرحله‌ی دوم؛ تعیین نسبت آب به سیمان:** در این مرحله طی گام‌های زیر نسبت آب به سیمان، که اساسی‌ترین پارامتر طرح مخلوط است، تعیین می‌گردد:

**گام (۱):** مقاومت فشاری تقریبی بتن ساخته شده را با نسبت آب به سیمان فرضی معادل  $0/5$  و در سن مورد نظر (که معمولاً ۲۸ روز است)، برای نوع سیمان و شن مصرفی در ساختمان مربوطه، با استفاده از جدول ۳-۴ تعیین می‌کنیم.

**گام (۲):** نقطه‌ی متناظر با نسبت آب به سیمان  $0/5$  و مقاومت فشاری تقریبی فوق را بر روی نمودار شکل ۳-۱ مشخص کرده از آن نقطه یک منحنی مشابه، به موازات سایر منحنی‌های موجود در شکل مذکور، ترسیم می‌نماییم.

**گام (۳):** نقطه‌ی برخورد منحنی فوق را با خط افقی رسم شده از مقدار مقاومت متوسط هدف پیدا می‌کنیم و مقدار نظیر نسبت آب به سیمان را برای آن نقطه، بر روی محور افقی شکل، قرائت می‌نماییم.

**گام (۴):** مقدار آب به سیمان حاصله را با میزان حداکثر نسبت آب به سیمان که در آیین‌نامه‌ی بتن یا مشخصات طرح مقرر شده است، مقایسه می‌کنیم و هر کدام را که کوچک‌تر باشد، به عنوان نسبت آب به سیمان مخلوط انتخاب می‌نماییم (به عنوان نمونه جدول ۳-۳ که توصیه‌ی آیین‌نامه‌ی بتن ایران است).

مرحله‌ی سوم: تعیین مقدار آب آزاد مخلوط: در این مرحله با استفاده از جدول ۳-۵

مقدار تقریبی آب آزاد برحسب کیلوگرم برای یک مترمکعب مخلوط بتن تعیین می‌گردد. عواملی

که در این جدول در نظر گرفته شده‌اند، شامل میزان اسلامپ مورد نظر، حداکثر قطر سنگ‌دانه‌های

مصرفی و نوع سنگ‌دانه (شکسته و نشکسته) می‌باشد.

مرحله‌ی چهارم؛ محاسبه‌ی مقدار سیمان: وزن سیمان لازم برای یک متر مکعب مخلوط

بتن از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{وزن سیمان} = \frac{\text{مقدار آب آزاد}}{\text{نسبت آب آزاد به سیمان}}$$

توضیح لازم: اگر در ضوابط آیین‌نامه‌ای یا مشخصات طرح، برای مقدار سیمان مصرفی

در شرایط خاص پروژه، مقادیر حداکثر یا حداقل مقرر شده باشد، وزن سیمان محاسبه شده در

مرحله‌ی فوق با آن‌ها مقایسه و سپس انتخاب صورت می‌گیرد.



**مرحله‌ی پنجم: محاسبه‌ی وزن کل سنگ‌دانه‌ها:** در این مرحله طی گام‌های زیر وزن کل سنگ‌دانه‌های مورد نیاز برای یک مترمکعب مخلوط بتن محاسبه می‌شود:

**گام (۱):** وزن مخصوص بتن تازه از شکل ۲-۳ براساس توده‌ی ویژه‌ی دانه‌های سنگی در حالت اشباع با سطح خشک و مقدار آب آزاد تعیین شده در مرحله‌ی سوم تخمین زده می‌شود (در صورت در اختیار نداشتن توده‌ی ویژه‌ی سنگ‌دانه‌ها می‌توان به‌طور تقریبی برای مصالح شکسته عدد ۲/۶ و برای مصالح شکسته عدد ۲/۷ را اختیار نمود.)

**گام (۲):** وزن کل سنگ‌دانه‌ها از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

وزن سیمان - وزن آب آزاد - وزن مخصوص بتن تازه = وزن کل سنگ‌دانه‌ها

مرحله‌ی ششم؛ تفکیک سنگ‌دانه‌های ریز و درشت (ماسه و شن): طی گام‌های زیر

سنگ‌دانه‌های ریز و درشت از هم تفکیک می‌شوند:

گام (۱): ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه را با استفاده از شکل ۳-۳ تعیین می‌کنیم که حدود

دانه‌بندی ماسه در نواحی ۱ تا ۴ را براساس استاندارد BS882 نشان می‌دهد.

گام (۲): درصد ماسه‌ی مخلوط (سنگ‌دانه‌ی ریز) را با استفاده از شکل ۳-۴ با داشتن

حداکثر قطر سنگ‌دانه‌ها (بیش‌ترین اندازه‌ی شن)، میزان اسلایمپ، ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه و

نسبت آب آزاد به سیمان به‌دست می‌آوریم. برای هر ناحیه‌ی دانه‌بندی ماسه، دو مقدار درصد

ریزدانه (مقدار بالایی و پایینی ناحیه) به‌دست می‌آید که هر عددی می‌تواند مابین این دو مقدار

انتخاب شود، ولی میانگین آن‌ها به عنوان مقدار متوسط پیشنهاد می‌گردد.

گام (۳): از روابط زیر وزن شن و ماسه در یک مترمکعب مخلوط بتن به‌دست می‌آید:

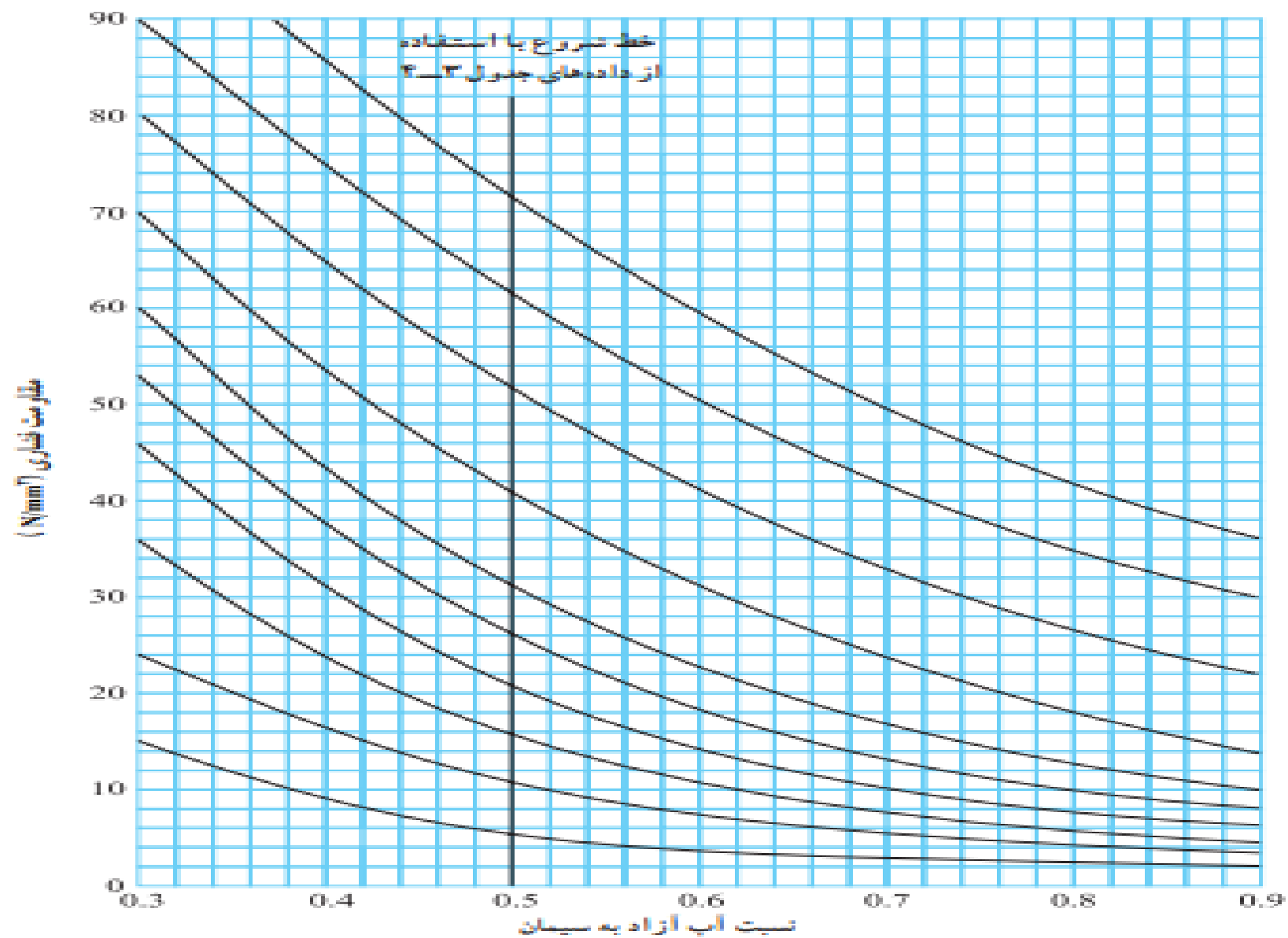
درصد ماسه  $\times$  وزن کل سنگ‌دانه‌ها = وزن ماسه

وزن ماسه - وزن کل سنگ‌دانه‌ها = وزن شن

جدول ۳-۴ - مقاومت فشاری تقریبی ( $N/mm^2$ ) بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵

نوع سیمان	نوع شن	مقاومت فشاری ( $N/mm^2$ )			
		سن (روز)			
		۳	۷	۲۸	۹۱
سیمان معمولی					
یا	نشکسته	۱۸	۲۷	۴۰	۴۸
سیمان	شکسته	۲۳	۳۳	۴۷	۵۵
ضد سولفات					
سیمان	نشکسته	۲۵	۳۴	۴۶	۵۳
زودگیر	شکسته	۳۰	۴۰	۵۳	۶۰

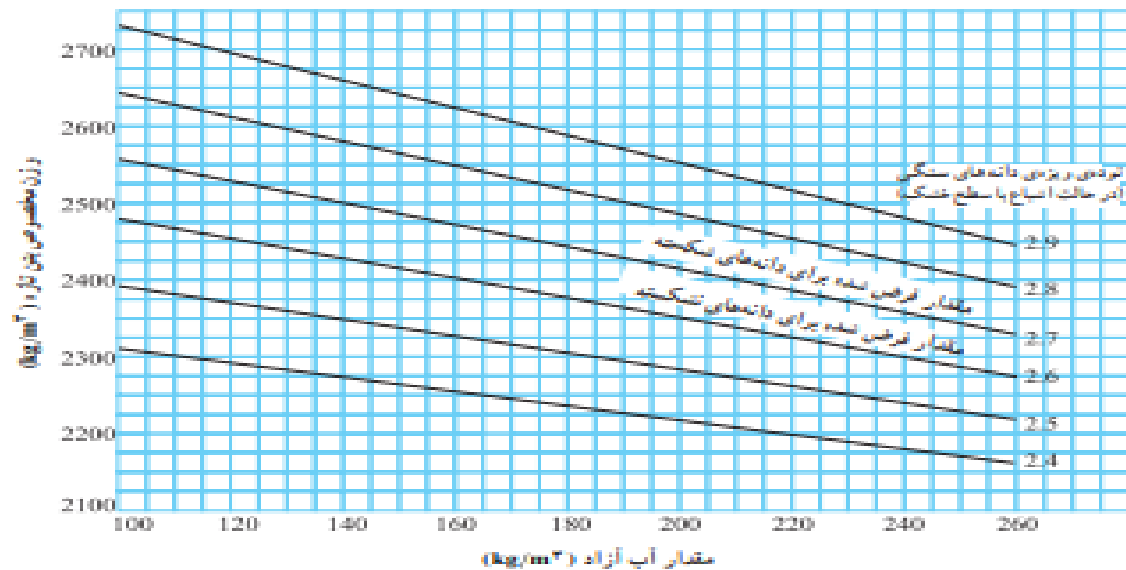




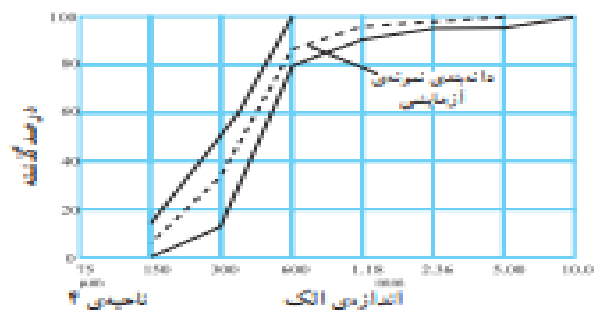
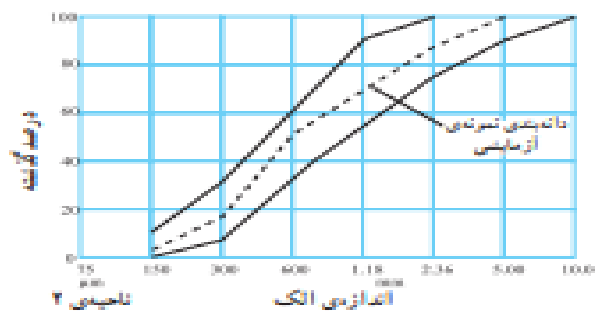
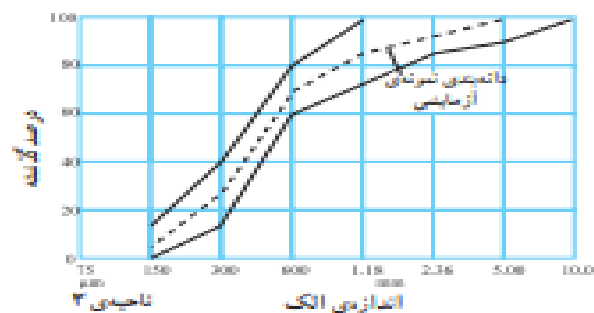
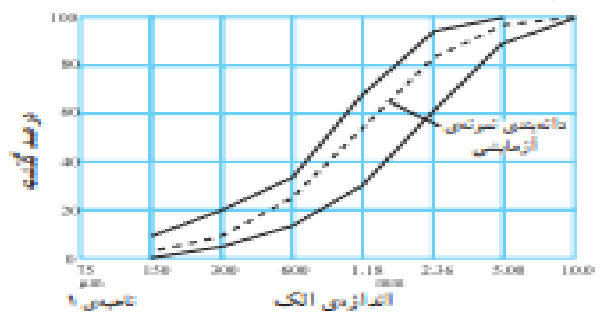
شکل ۳-۱- ارتباط مابین مقاومت فشاری و نسبت آب به سیمان مخلوط  
 جدول ۳-۵- مقدار تقریبی آب آزاد ( $\text{kg/m}^3$ ) برای سطوح مختلف کارایی

جدول ۳-۵- مقدار تقریبی آب آزاد ( $\text{kg/m}^3$ ) برای سطوح مختلف کارایی

اسلامپ (mm)	۰-۱۰	۱۰-۳۰	۳۰-۶۰	۶۰-۱۸۰
	حداکثر قطر دانه	نوع دانه‌ها		
۱۰	تنگسته	۱۵۰	۱۸۰	۲۰۵
	تنگسته	۱۸۰	۲۰۵	۲۳۰
۲۰	تنگسته	۱۳۵	۱۶۰	۱۸۰
	تنگسته	۱۷۰	۱۹۰	۲۱۰
۳۰	تنگسته	۱۱۵	۱۴۰	۱۶۰
	تنگسته	۱۵۵	۱۷۵	۱۹۰

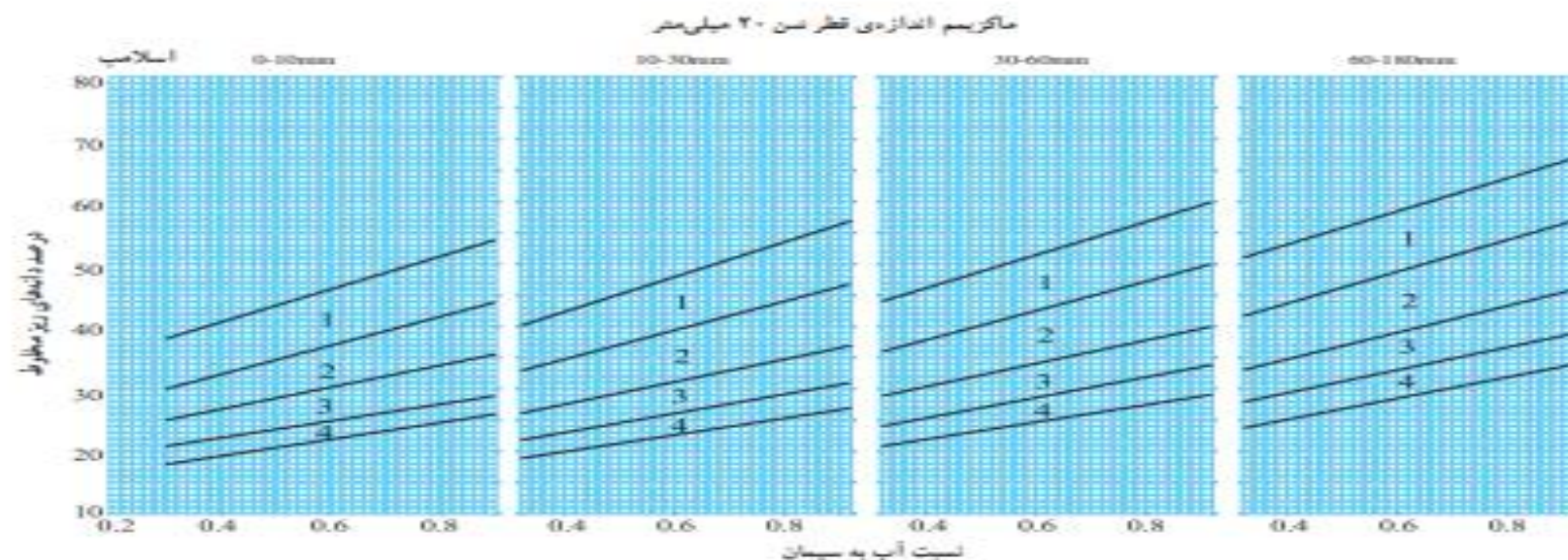
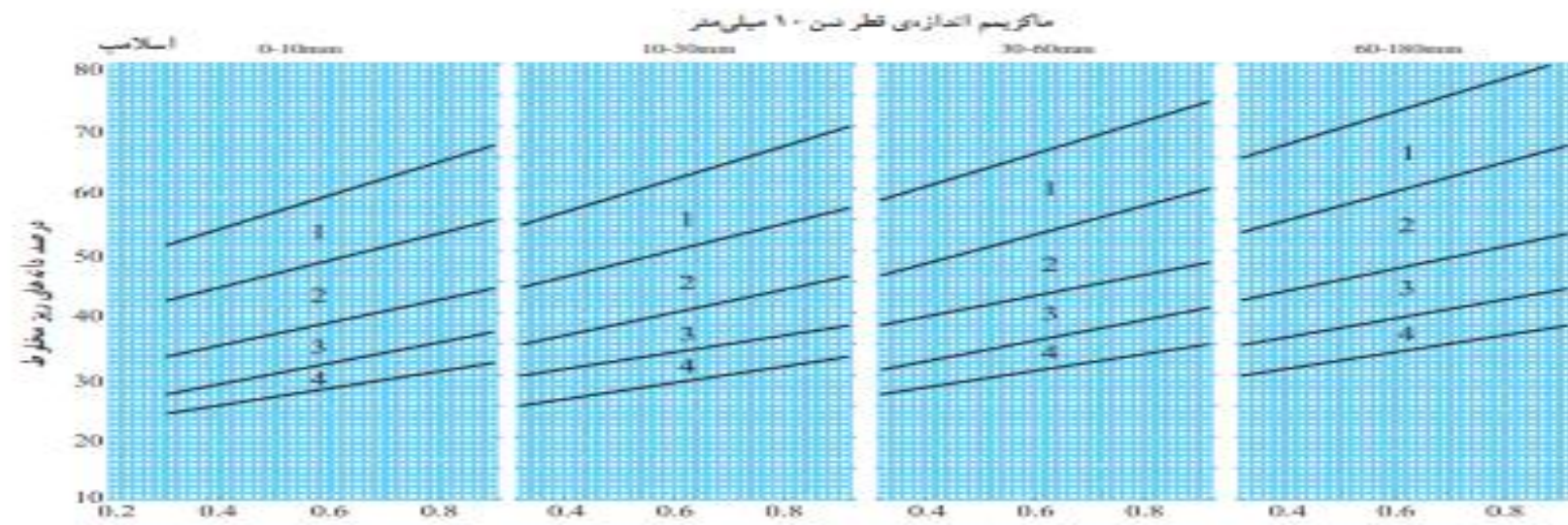


شکل ۳-۲- وزن مخصوص تخمینی بتن با تراکم کامل



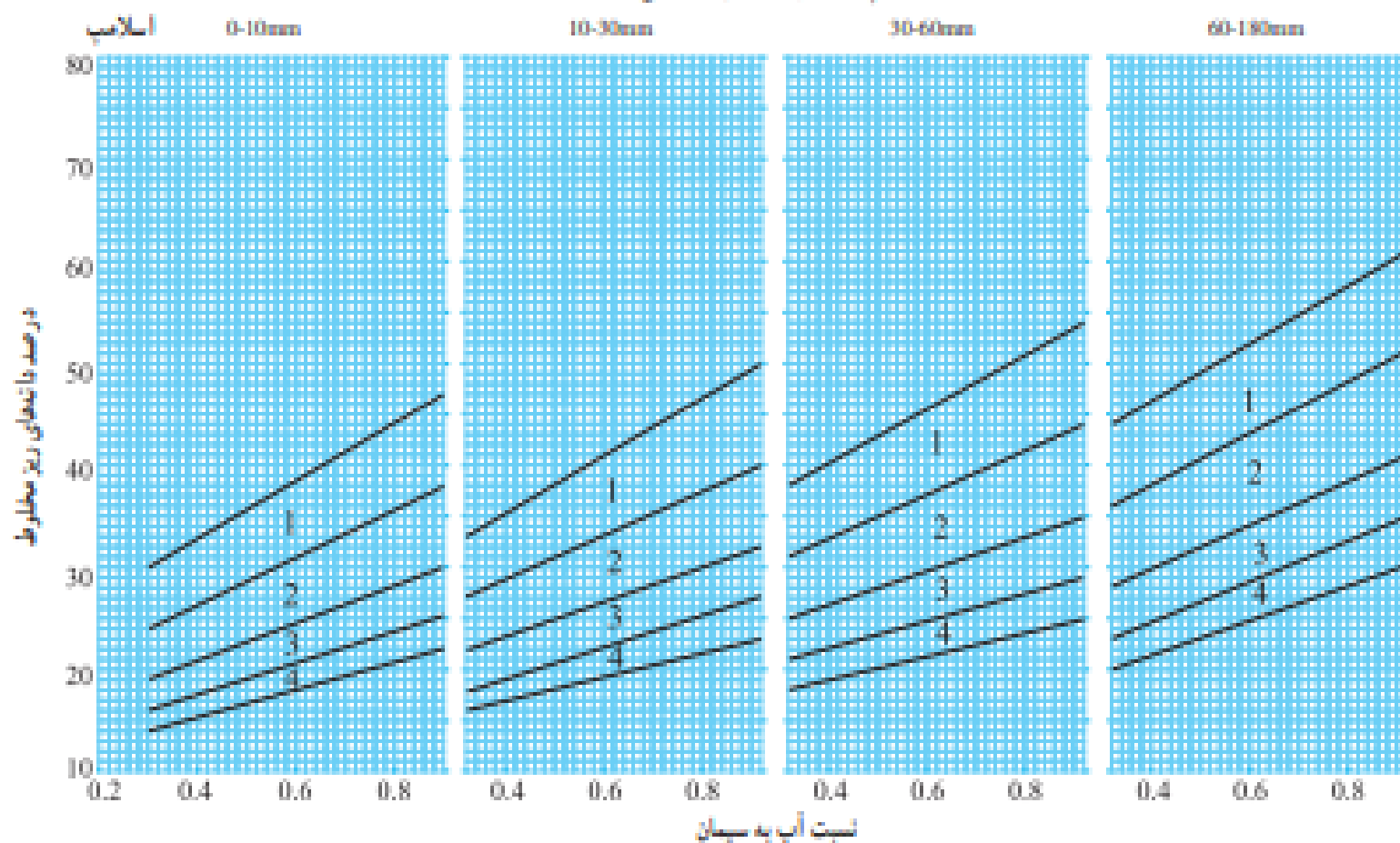
شکل ۳-۳- حدود دانه‌بندی در نواحی ۱ تا ۴ بر اساس BSAAAT





شکل ۳-۴- نسبت‌های پیشنهادی دانه‌های ریز برای نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴ نسبت آب به سیمان

ماکزیمم اندازهی قطر دانه ۴۰ میلی‌متر



ادامه‌ی شکل ۴-۳ - نسبت‌های پیشنهادی دانه‌های ریز برای نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴