

## فصل اول

۷ ..... تفاوت‌های بتن معمولی و مقاومت بالا

## فصل دوم

۱۳ ..... سیمان و مواد سیمانی

## فصل سوم

۲۳ ..... سنگ‌دانه‌ها

## فصل چهارم

۳۵ ..... افزودنی‌های روان‌کننده و فوق‌روان‌کننده

## فصل پنجم

۴۷ ..... مروری بر طرح اختلاط بتن معمولی

## فصل ششم

۵۵ ..... طرح اختلاط بتن مقاومت بالا

## فصل هفتم

۶۵ ..... فرآیند تولید صنعتی بتن مقاومت بالا

## فصل هشتم

۷۵ ..... مصرف، نگهداری و آزمایشات بتن مقاومت بالا

# پیتر گفتار نویسنده...

بتن ماده‌ای است مرکب که از ترکیب شن (Gravel)، ماسه (Sand)، سیمان (Cement)، آب و انواع افزودنی‌ها (Concrete admixtures) تولید می‌شود. سخت شدن این ترکیب در واقع حاصل فعالیت شیمیایی سیمان است که در ترکیب با آب باعث بوجود آمدن خمیری می‌شود که در نهایت پس از گیرش، سنگدانه‌ها و سایر اجزا را به یکدیگر چسبانیده جسم سخت سنگ ماندی را بوجود می‌آورد.

استفاده از بتن به عنوان ماده اصلی در ساخت ساختمانها امروزه افزایش چشمگیری داشته است. از آنجایی که با افزایش مصرف بتن طبیعتا مصرف سیمان هم افزایش می‌یابد، تولیدات سیمان در جهان و همچنین کشورمان ایران در سال‌های اخیر به شدت افزایش یافته است. لازم است به این نکته مهم توجه شود که تولید یک تن سیمان باعث تولید یک تن گازکربنیک می‌گردد که این مطلب در واقع سیمان را به سمی تبدیل کرده است که ما مجبور به استفاده از آن هستیم. از طرفی صنعت فولاد هم یکی از آلاینده‌ترین صنایع به شمار می‌رود پس چه باید کرد؟ چگونه می‌توانیم خطری که نسل آینده را تهدید می‌کند از خود دور کنیم؟

تنها یک راه وجود دارد و آن استفاده بهینه از سیمان است. در واقع اگر مشخصات مکانیکی بتن مورد استفاده را بهبود دهیم باعث صرفه جویی در مصرف فولاد و سیمان می‌شویم. پس وقت آن رسیده که به هوش آییم و به دنبال کسب تکنولوژی روز ساختمان در جهان برویم. یکی از فن آوریهای برتر صنعت ساختمان در جهان امروز تکنولوژی بتن مقاومت بالا یا همان (High Performance Concrete) است که در این کتاب سعی خواهیم کرد روند تولید آزمایشگاهی و صنعتی آنرا به خوبی توضیح دهیم.

از آنجا که اینجانب شخصا در واحد تحقیق و توسعه یک شرکت تولید بتن آماده مشغول فعالیت و پژوهش می‌باشم و این فرآیند را به طور کامل تجربه کرده و موفق به تولید بتن‌های مقاومت بالا در ایران هم در مقیاس آزمایشگاهی و هم در مقیاس صنعتی شده‌ام و انجام این کار با مطالعه و تحقیق فراوان و مشاوره با مشاوران مجرب داخلی و خارجی در زمینه‌های مختلف میسر شده است سعی نمودم کلیه تجربیات عملی و تئوری خود را به صورت کاملاً مختصر و مفید در این کتاب در اختیار همگان قرار دهم؛ شاید که به این طریق کمکی کوچک به پیشرفت کشور عزیزم ایران کرده باشم.

در اینجا لازم می‌دانم از همسر عزیز و فداکارم بخاطر همه تشویق‌ها و حمایت‌هایش، از پدر و مادرم بخاطر زحمات بی دریغشان و همچنین از مدیریت محترم شرکت ساختمانی بکار بخاطر فراهم آوردن فضای مناسب تحقیقاتی و حمایت همه جانبه تشکر و قدردانی نمایم.

کامبیز جانمیان

زمستان ۱۳۹۰ شمسی

# پی‌تگفتارنا... انتشار

انتشار کتابهای کاربردی و بروز در حوزه مهندسی عمران از اهداف اصلی انتشارات علم عمران است. انتشار این کتابها در دهه اخیر، بی‌شک سهمی در تحول و تغییر بینش مهندسان و دانشجویان و افزایش کیفیت ساخت و ساز در کشور چه به لحاظ طراحی سازه‌ها و چه به لحاظ اجرا داشته است.

انتشار کتاب تولید صنعتی بتن مقاومت بالا یکی از گامهای اولیه برای افزایش مقاومت بتن در سطح اجرایی و کارگاهی است. مطمئناً امروز ارائه دانش افزایش مقاومت بتن در سطح وسیع و نه در مقیاس آزمایشگاهی باعث خواهد شد تا در آینده‌ای نه چندان دور، بتوانیم بتن‌هایی با مقاومتی بالاتر از آنچه امروز استفاده می‌کنیم را به صورت عمومی در دسترس سازندگان قرار دهیم.

نشر علم عمران به عنوان مرکزی برای ارائه اندیشه و فکرهای نو در صنعت مهندسی عمران، از کلیه اساتید و مهندسان که دارای آثار و تالیفات می‌باشند دعوت به همکاری می‌نماید. علاقمندان در این زمینه می‌توانند از طریق پست الکترونیک [info@elme-omran.com](mailto:info@elme-omran.com) یا آدرس پستی ناشر تماس بگیرند.

# فصل اول

تفاوت‌های بتن معمولی و مقاومت بالا

## ۱-۱ مقدمه:

مسئله تفاوت‌های بسیار زیادی میان بتن مقاومت بالا و بتن معمولی وجود دارد که این تفاوتها هم در بتن تازه و هم در بتن سخت شده قابل مشاهده است. دانستن این تفاوتها شاید گام اول در شناخت بتن مقاومت بالا باشد. نکته اول آنکه منظور ما در این کتاب از بتن مقاومت بالا در واقع هم بتن‌های با عملکرد بالا (High Performance Concrete) و هم بتن‌هایی که مقاومت فشاری بالایی دارند (High Strength Concrete) است. ضمن آنکه تفاوت‌های ذکر شده در ادامه این مبحث برای آشنایی بیشتر با بتن مقاومت بالا به صورت کارگاهی می‌باشد. لذا ممکن است برخی از تفاوت‌های ارائه شده پایه علمی نداشته و کاملا ظاهری و کارگاهی باشد.

## ۱-۲ بتن تازه (Fresh concrete):

### ۱-۲-۱ اسلامپ (Slump):

معمولا بتن‌های مقاومت بالا به دلیل استفاده از افزودنی‌های فوق روان کننده که جزء اجتناب ناپذیری از این بتن‌ها هستند اسلامپ بالایی دارند. چون روانی این نوع بتن بجای آب با فوق روان کننده (Super-plasticizer) تامین می‌شود. در واقع می‌توان گفت اگر در یک بتن معمولی بدون استفاده از افزودنی و با استفاده از آب اسلامپ بالای ۱۰ داشته باشیم این بتن، بتن مرغوب و با کیفیتی نخواهد بود ولی این مطلب در مورد بتن‌های مقاومت بالا صدق نمی‌کند زیرا با استفاده از افزودنی‌های بسیار قوی کاهنده آب (Water reducer) حتی می‌توان بتنی بدون اسلامپ و با پخش شدگی کامل داشت. در حالیکه کیفیت و دوام (Durability) آن نیز به خوبی حفظ شود. بنابراین همانطور که مشاهده می‌کنید، تفاوت‌های اولیه بتن‌های معمولی و مقاومت بالا نشان می‌دهد که این بتن‌ها تفاوت‌هایی اساسی در مفاهیم تکنولوژی بتن سنتی ایجاد می‌کنند.

### ۱-۲-۲ اندازه دانه‌ها و دانه بندی:

در کشور ما در بسیاری از مواقع به دلیل نامناسب بودن دانه بندی شن و ماسه، کل دانه بندی بتن درون منحنی قرار نمی‌گیرد. در واقع می‌توان گفت عموم بتن‌های معمولی تولیدی از دانه بندی مناسبی برخوردار نیستند؛ ولی اگر بخواهیم بتن مقاومت بالا داشته باشیم لازم است حتما دانه بندی مناسبی برای آن پیدا کنیم. در واقع منحنی دانه بندی مصالح بتن مقاومت بالا باید درون منحنی‌های استاندارد باشد این دانه بندی به بتن ظاهری کاملا متفاوت از بتن‌های سنتی می‌بخشد.

نکته بسیار مهم دیگر آنکه معمولا در تولید بتن مقاومت بالا از حداکثر اندازه دانه‌های کوچکتری نسبت به بتن‌های معمولی استفاده می‌شود. به نظر می‌رسد استفاده از دانه‌های با اندازه بزرگتر از 19 mm برای تولید بتن‌های مقاومت بالا هرگز مناسب نمی‌باشد.

### ۱-۲-۳ چسبندگی:

علی‌رغم اینکه اسلامپ بتن‌های مقاومت بالا معمولا بالای 12 cm است، ولی این بتن‌ها چسبندگی خاصی دارند. در واقع به نظر می‌رسد که هنگام بتن ریزی، این بتن‌ها به لوازم و وسایل می‌چسبند. بنابراین شاید در ظاهر تشخیص اسلامپ بالای این بتن‌ها در برخی از مواقع کمی مشکل باشد. ضمن آنکه به دلیل چسبندگی زیاد، کار با یک بتن اسلامپ ۱۲ مقاومت بالا مشکل‌تر از کار با یک بتن معمولی با اسلامپ ۱۲ است.

## ۱-۳- بتن سخت شده (Hardened concrete):

### ۱-۳-۱ مقاومت فشاری:

از نظر دسته بندی مقاومت فشاری، متخصصین بتن در دنیا نظرات متفاوتی دارند. ما نیز در اینجا به یک دسته بندی خاص اشاره می‌کنیم. صرفاً مهم است که در این کتاب بتوانیم از مفاهیم مشترک مربوط به خودمان استفاده کنیم. مثلاً در اروپا بتن معمولی را بتنی با مقاومت فشاری زیر  $60 \text{ Mpa}$  می‌دانند در حالی که در کشور ما با توجه به اینکه در حال حاضر بیشتر از بتن‌های رده مقاومتی  $20 \text{ c}$  استفاده می‌شود مقاومت  $60 \text{ Mpa}$  مقاومت بسیار بالایی محسوب می‌شود. بنابراین شاید در ایران کسی بتن  $30 \text{ Mpa}$  را نیز یک بتن مقاومت بالا بداند. با توجه به توضیحات فوق در این کتاب دسته‌بندی زیر را خواهیم داشت:

■ **دسته اول – بتن غیر سازه‌ای:** بتن غیر سازه‌ای بتنی است که مقاومت فشاری  $28$  روزه استوانه‌ای استاندارد آن کمتر از  $20 \text{ Mpa}$  یا  $200 \text{ kg/cm}^2$  باشد. همانطور که می‌دانید استفاده از این بتن در اعضای سازه‌ای غیر مجاز می‌باشد. از آن می‌توان به عنوان ملات بنایی یا بتن مگر یا بطور کلی برای ایجاد سطوح صاف و صیقلی استفاده کرد.

■ **دسته دوم – بتن معمولی سازه‌ای:** این نوع بتن مقاومت فشاری  $28$  روزه استوانه‌ای استاندارد بین  $20 \text{ Mpa}$  تا  $40 \text{ Mpa}$  یا  $200 \text{ kg/cm}^2$  تا  $400 \text{ kg/cm}^2$  را داراست. هرچند که تولید بتن با مقاومت بالای  $250 \text{ kg/cm}^2$  نیازمند تجربه و تلاش خاص است ولی به هر حال مقاومت زیر  $400 \text{ kg/cm}^2$  را بتن معمولی می‌نامیم. شایان توجه است که تا به امروز حداقل بتن سازه‌ای قابل قبول، بتنی با مقاومت  $210 \text{ kg/cm}^2$  می‌باشد در حالی که به نظر می‌رسد چنین بتنی بسیار کم دوام و ضعیف است. در اکثر کشورهای جهان، حداقل بتن آیین نامه‌ای قابل قبول برای سازه‌ها، بتن با مقاومت  $25 \text{ Mpa}$  و در برخی شرایط  $30 \text{ Mpa}$  است که با این وجود طراحان سازه‌ها به این حداقل‌ها بسنده نمی‌کنند و از مقاومت‌های خیلی بالاتر استفاده می‌کنند. در واقع اگر برای کشور ما بتن  $35 \text{ Mpa}$  بتنی معمولی باشد شاید، مقداری زیاده روی کرده باشیم در حالی که در اروپا چنین بتنی واقعا معمولی است.

■ **دسته سوم – بتن مقاومت بالای نوع I:** این نوع بتن مقاومت فشاری  $28$  روزه استوانه‌ای استاندارد بین  $40 \text{ Mpa}$  تا  $60 \text{ Mpa}$  یا  $400 \text{ kg/cm}^2$  تا  $600 \text{ kg/cm}^2$  را دارد. تولید این نوع بتن بسیار پیچیده‌تر از بتن معمولی است ولی در واقع نسل اول بتن‌های مقاومت بالا به حساب می‌آید. می‌توان گفت در بسیاری از کشورهای پیشرفته جهان حتی در خاورمیانه این بتن امروزه بتن معمول مورد استفاده در اکثر سازه‌ها است.

■ **دسته چهارم – بتن مقاومت بالای نوع II:** این نوع بتن مقاومت فشاری  $28$  روزه استوانه‌ای استاندارد بین  $60 \text{ Mpa}$  تا  $80 \text{ Mpa}$  یا  $600 \text{ kg/cm}^2$  تا  $800 \text{ kg/cm}^2$  را شامل می‌شود. با یک نگاه کوتاه در سازه‌های مهندسی مثل پلها و برجها در جهان امروز متوجه می‌شویم که پرمصرفترین نوع بتن در سازه‌های مهندسی، این نوع بتن است؛ که البته تولید آن پیچیدگی‌های خاص خود را دارد و نیازمند یک سیستم کنترل کیفی (Quality control) بسیار منظم است.

■ **دسته پنجم – بتن مقاومت بالای نوع III:** بتنی با مقاومت فشاری  $28$  روزه استوانه‌ای استاندارد بین  $80 \text{ Mpa}$  تا  $120 \text{ Mpa}$  یا  $800 \text{ kg/cm}^2$  تا  $1200 \text{ kg/cm}^2$  را بتن مقاومت بالای نوع III می‌نامیم. تولید این نوع بتن مستلزم داشتن افزودنی‌های مناسب و با کیفیت بالا و همچنین سنگدانه‌های مقاوم است. لازم است بدانید امروزه از این نوع بتن در جهان به راحتی استفاده می‌شود. بنابراین تکنولوژی تولید آن انحصاری نیست و می‌توان این بتن را عملاً تولید و استفاده کرد.