



# بتن‌های پر مقاومت (High-Strength Concrete)

محل ضرب مهرهای تحت کنترل - منسوخ							۰۳
							۰۲
							۰۱
				امیر ساعدی	وحید پاچیده	بتن‌های پر مقاومت ( High-Strength ) (Concrete)	۰۰
	تاریخ انتشار	تصویب	تأیید	بررسی	تهیه	شرح	REV

<b>بتن های پر مقاومت (High-Strength Concrete)</b>										
صفحه: ۲		<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>	<i>REV</i>		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		

## فهرست مطالب

- ۱- مقدمه ..... ۳
- ۲- تفاوت های بتن پر مقاومت با بتن معمولی ..... ۴
- ۳- مشخصات مکانیکی بتن پر مقاومت ..... ۵
  - ۱-۲- رفتار تنش-کرنشی در فشار ..... ۵
  - ۲-۲- مقاومت فشاری ..... ۷
  - ۳-۲- مدول الاستیسیته ..... ۹
  - ۴-۲- نسبت پواسون ..... ۱۰
  - ۵-۲- مقاومت کششی ..... ۱۰
  - ۱-۵-۲- مدول شکست ..... ۱۱
  - ۲-۵-۲- آزمایش برش استوانه ..... ۱۱
- ۴- طرح اختلاط بتن پر مقاومت ..... ۱۱
- ۵- نگاه ویژه به ستون های با بتن پر مقاومت ..... ۱۲
- ۶- کاربردهای بتن پر مقاومت ..... ۱۳

<b>بتن های پرمقاومت (High-Strength Concrete)</b>										
صفحه: ۳		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		


## ۱- مقدمه

اسکلت بتنی به دلیل داشتن ویژگی های متعددی مانند هزینه تمام شده کمتر، خرج کرد اهسته تر سرمایه به نسبت اسکلت فولادی، مواد اولیه در دسترس و ... در ایران از استقبال بالایی در بین سازندگان برخوردار است. در سطح جهانی نیز به دلیل محیط زیست دوستی مصالح بتنی استفاده از آن بسیار مرسوم می باشد. علاوه بر آنکه در بسیاری از سازه ها فراهم نمودن سختی لازم برای سازه جز از طریق استفاده از بتن مسلح از طریق دیگری اقتصادی و مناسب نبوده و چاره ای جز استفاده از بتن نمی باشد. (مانند هسته داخلی ساختمان های بسیار بلند و یا سازه های پناهگاهی زیر زمینی ضد انفجار و ...)

از جمله موارد منفی موجود در اسکلت های بتنی ابعاد بزرگ اعضا بالاخص ستون ها به نسبت سیستم فولادی است. این مشکل یکی از دغدغه های همیشگی مهندسان معمار در طراحی سازه های بتنی می باشد چرا که این سازه ها دارای المان های برابر بزرگی به نسبت اسکلت فولادی می باشند که امکان فعالیت معمار را محدود می نماید. با افزایش قیمت زمین و نیاز به استفاده حداکثری از فضا ها، سازندگان نیز در بسیاری موارد پیشنهاد ساخت اسکلت بتنی را صرفا به دلیل ابعاد بزرگ ستون ها در این سازه ها رد نموده و ساخت اسکلت فولادی را پیشنهاد می دهند.

یکی از مواردی که در حال حاضر در سطح جهانی بسیار مورد توجه قرار گرفته است بحث استفاده از بتن فوق مقاوم در ساخت اسکلت بتنی و کاهش مصرف فولاد و همچنین کاهش ابعاد اسکلت در آن و بخصوص در المان های ستون می باشد. در این روش به جای استفاده از بتن با مقاومت معمول ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در ستون ها که به طور عادی در سازه های بتنی مورد استفاده قرار می گیرد از بتن با مقاومت ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم در ستون های سازه استفاده می شود. این تغییر موجب می شود که هزینه خریداری بتن ۷۰ درصد افزایش یابد ولیکن از آن سوی دیگر در بخش طراحی سازه ابعاد ستون ها تا حدود ۳۵ درصد مساحت سطح مقطع ستون کاهش می یابد و میزان مصرف میلگرد در ستون ها نیز بیش از ۵۰ درصد کاهش می یابد.

با در نظر گرفتن افزایش قیمت بتن خریداری شده از یک سو و کاهش مصرف بتن (به دلیل کاهش ابعاد مقاطع ستون ها) و کاهش مصرف میلگرد از سوی دیگر استفاده از این روش نهایتا موجب می شود هزینه تمام شده ساخت و اجرای ستون ها نسبت به حالت قبل تا ۳۵ درصد کاهش یابد.


بتن های پرمقاومت (High-Strength Concrete)										
صفحه: ۴		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		

لازم به ذکر است خوشبختانه در حال حاضر بیش از ۵ کارخانه تولید بتن آماده (بر اساس اطلاعات نویسنده و تجربه کاری با این شرکت ها) در تهران به صورت کاملا اجرایی و اثبات شده به همراه مجوز های لازمه امکان ساخت و تحویل چنین بتنی را در محل پروژه دارند.

با عنایت به جمیع موارد فوق به نظر می رسد در صورتی که طراح سازه اشراف کاملی بر انجام طراحی ساختمان بتنی با بتن فوق مقاوم با مدول الاستیسیته بالا را داشته باشد و بتواند کاهش انعطاف پذیری و شکل پذیری سازه ناشی از افزایش مقاومت بتن آن را به خوبی توسط راه کار های دقیق طراحی و تسلط عمیق بر مفاهیم اساسی علم مهندسی عمران داشته باشد این سیستم بسیار بسیار اقتصادی و راه گشا می باشد.

## ۲- تفاوت های بتن پرمقاومت با بتن معمولی

- مهمترین تفاوت های بتن پرمقاومت و بتن معمولی را به طور خلاصه می توان به صورت زیر برشمرد:
- در بتن های با مقاومت معمولی، ترک های ریز با رسیدن تنش به حدود ۴۰٪ مقاومت، تشکیل می شوند (شکل). این ترک ها با رسیدن تنش به ۸۰-۹۰٪ مقاومت، به هم متصل می شوند.
  - برای بتن HSC، تحقیقات نشان داده است که نمودار تنش- کرنش در ۶۵ تا ۷۰، ۷۵ تا ۸۰ و بالاتر از ۸۵٪ نقطه پیک برای بتن با مقاومت فشاری ۶۵، ۹۵ و ۱۰۵ مگاپاسکال به صورت خطی است.
  - سطح شکست در بتن معمولی زبر است. شکست از میان ناحیه ی انتقالی بین ماتریس و سنگدانه تشکیل می شود. تعداد کمی از ذرات نیز در این بین شکسته می شوند. در حالی که سطح شکست در بتن HSC صیقلی است و ترک ها به صورت پیوسته بین ماتریس و سنگدانه ها تشکیل می شوند.

بتن های پرمقاومت (High-Strength Concrete)										
صفحه: ۵		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		




شکل ۱: شروع تشکیل ترک های ریز در ستون با بتن پرمقاومت تحت آزمایش فشاری

### ۳- مشخصات مکانیکی بتن پر مقاومت

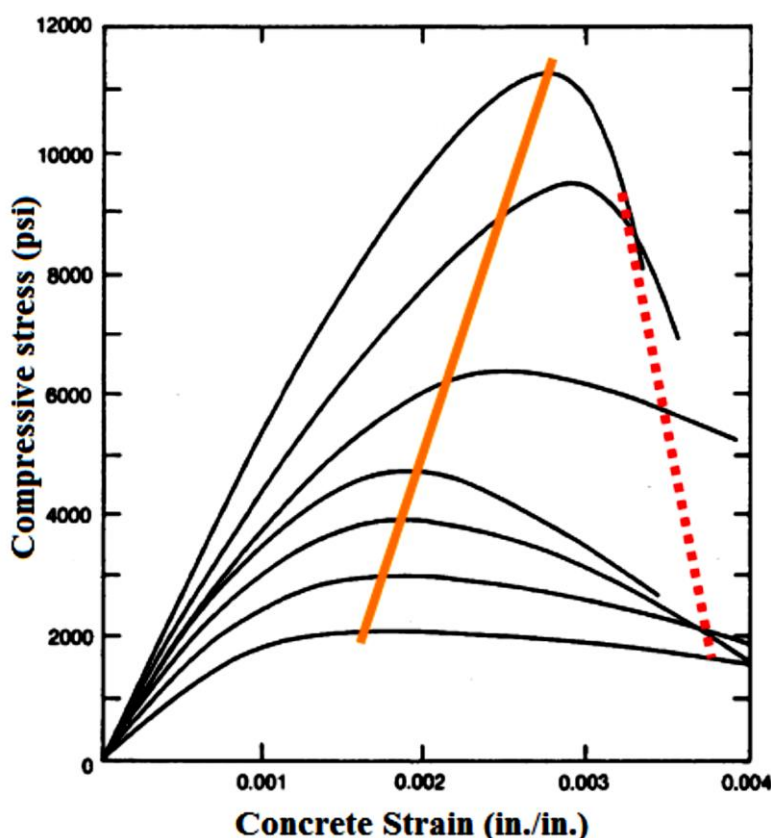
مشخصات مکانیکی بتن پرمقاومت (HSC) را می توان به دو بخش مشخصات مکانیکی کوتاه مدت و بلند مدت تقسیم کرد. در این بخش به مشخصات کوتاه مدت این نوع بتن ها مانند مقاومت فشاری، رفتار تنش-کرنشی، مدول الاستیسیته، نسبت پواسون، مقاومت کششی و مدول شکست پرداخته خواهد شد. معادلات و روابط مربوط به بتن های معمولی (NSC) را نمیتوان همیشه برای بتن های پرمقاومت بکار برد و نیاز به تجدید نظر دارد. پارامترهای مهمی که بر این مشخصات اثر می گذارد و روابط ریاضیاتی که تا حدود زیادی رفتار این بتن ها را نشان می دهد، از تحقیقات گذشته به طور خلاصه ارائه می گردد.

#### ۲-۱- رفتار تنش-کرنشی در فشار

در شکل رفتار تنش-کرنشی بتن برای مقادیر مختلف مقاومت فشاری نشان داده شده است. شاخه صعودی منحنی برای بتن های پرمقاومت (HSC) خطی تر و تندتر است. کرنش در حداکثر مقاومت بزرگتر و شیب شاخه نزولی منحنی نسبت به بتن معمولی (NSC) تیزتر می باشد.

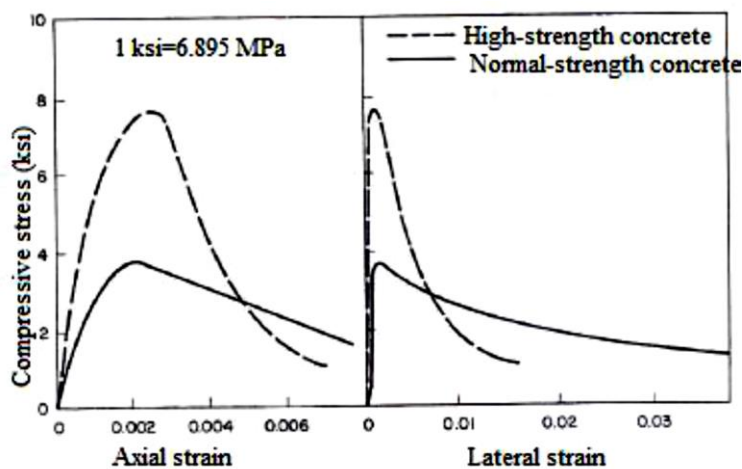
<b>بتن های پرمقاومت (High-Strength Concrete)</b>										
صفحه: ۶		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		

رفتار تنش-کرنشی بتن های *HSC* به پارمترهای مصالح مانند نوع دانه ها و پارامترهای آزمایشگاهی مانند زمان، نرخ کرنش و اندرکنش بین نمونه و دستگاه آزمایشگاهی بستگی دارد. مدل تنش-کرنشی که برای بتن *NSC* به کار برده می شود را نمی توان برای *HSC* استفاده کرد، زیرا ماهیت منحنی بارگذاری کاملاً متفاوت است. شیب صعودی زیاد و افت سریع در مقاومت بعد از مقدار حداکثر، نشان دهنده ی سخت بودن مدلسازی عددی رفتار تنش-کرنشی بتن *HSC* است. *Aitcin (1998)* پیشنهاد کرده است که *HSC* مشابه یک مصالح کامپوزیت واقعی رفتار می کند و منحنی رفتار تنش-کرنشی آن را می توان موازی منحنی های موجود در مکانیک سنگ رسم کرد. *Carrasquillo et al. (1981)* ترک های داخلی کمتری را در نمونه های *HSC* نسبت به *NSC* تحت کرنش محوری مشابه مشاهده نموده است (شکل ۲). این همچنین حاکی از آن است که بتن *HSC* کرنش جانبی کمتری را نشان می دهد و در نتیجه اثر محصورشدگی در مقاومت فشاری آن در مقایسه با *NSC* غالباً محدودتر است.



شکل ۲: منحنی های تنش-کرنش متداول در بتن

<b>بتن های پر مقاومت (High-Strength Concrete)</b>								 گروه مهندسين IRIDC	
صفحه: ۷	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
دی ماه ۹۴							۰۱		



شکل ۳: تنش محوری در مقابل کرنش محوری و کرنش جانبی برای بتن

## ۲-۲- مقاومت فشاری

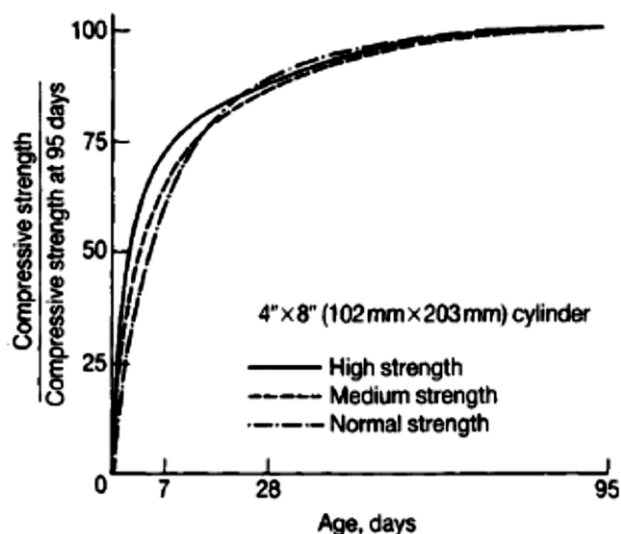
کاهش نسبت آب به سیمان، افزایش مقاومت بتن را در پی خواهد داشت. با این حال این موضوع زمانی قابل طرح است که مقاومت سیمان هیدراته شده از مقاومت سنگدانه‌ها کمتر باشد. زمانی که این دو مقاومت در یک سطح باشند، کاهش نسبت آب به سیمان موجب افزایش قابل توجه مقاومت نخواهد شد و برای افزایش مقاومت بتن *HSC*، علاوه بر سایر عوامل، مقاومت و کیفیت سنگدانه‌ها نیز باید افزایش یابد. معمولاً نسبت آب به سیمان در بتن‌های پر مقاومت، بین ۰٫۲ تا ۰٫۳ در نظر گرفته می‌شود. کم بودن این نسبت باعث کاهش کارپذیری بتن می‌شود. برای افزایش کارپذیری بتن‌های *HSC* از افزودنی‌های فوق‌روان‌ساز استفاده می‌شود.

شن‌های صیقلی رودخانه‌ای، بتن‌های ضعیف‌تری را نتیجه می‌دهند. هرچه اندازه‌ی سنگدانه‌ها در بتن کمتر باشد، به دلیل افزایش سطح ویژه‌ی آن‌ها، بتن‌های مقاوم‌تری را ایجاد می‌کنند. با افزودن فوم سیلیکایی، نیاز به کاهش نسبت آب به سیمان جهت افزایش مقاومت، کمتر خواهد شد. *Iravani (1996)* در تحقیقات خود به این نکته اشاره کرده است که اثر فوم سیلیکایی در افزایش مقاومت بتن *HSC*، در زمان بین ۷ الی ۲۸ روز پس از اختلاط برجسته‌تر خواهد شد.

مقاومت فشاری اندازه‌گیری شده‌ی *HSC* به متغیرهای آزمایش، یعنی نوع قالب، اندازه نمونه، شرایط انتهایی و نرخ کرنش بستگی دارد. یک نمونه استوانه‌ای  $4 \times 8 \text{ in.}$  ( $102 \times 204 \text{ mm}$ ) که برای انجام آزمایش مقاومت نمونه‌های *HSC* توصیه شده است (*ACI, 2010*)، مقاومت فشاری بالاتری نسبت به یک نمونه استوانه‌ای  $6 \times 12 \text{ in.}$  ( $152 \times 305 \text{ mm}$ ) نشان می‌دهد.


بتن های پرمقاومت (High-Strength Concrete)									گروه مهندسين SIRI	
صفحه: ۸		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		

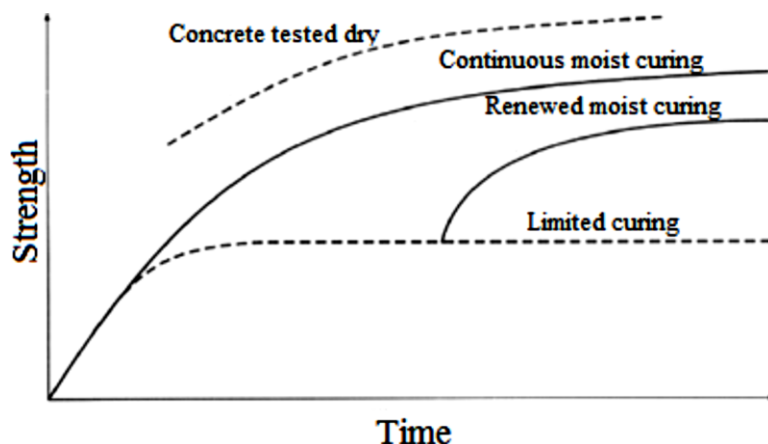
همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده است، در گام‌های اولیه نرخ افزایش مقاومت در بتن *HSC* در مقایسه با بتن *NSC* بیشتر است. مقاومت فشاری بتن *HSC* پس از ۲۸ روز، به مقدار قابل توجهی می‌رسد. پس از ۵۶ و ۹۵ روز ۱۰-۱۵ درصد نسبت به مقاومت ۲۸ روزه، افزایش مقاومت بدست می‌آید. عمل آوری بتن *HSC* به دلیل پایین بودن نسبت آب به سیمان آن، بر افزایش مقاومت اثر شدیدی دارد. (*Iravani (1996)* در خصوص اثر شرایط عمل آوری بر روی مقاومت *HSC* در مراحل پایانی مطالعاتی انجام داد و به این نتیجه رسید که عمل آوری در شرایط خشک و تر مقاومت ۱۴۷ روزهی بیشتری را نسبت به عمل آوری در شرایط کاملاً تر در نمونه‌های بتنی که به صورت مرطوب آزمایش شده‌اند، بدست می‌دهد. او همچنین براساس نتایج آزمایش خود ادعا کرده است که ۳ هفته دوره عمل آوری مرطوب، کافی است. آزمایش عمر در نمونه‌های *HSC* به ملزومات اجرایی بستگی دارد؛ با این حال با در نظر گرفتن مقاومت قابل توجه در مراحل پایانی، غالباً آزمایش عمر در روزهای ۵۶ یا ۹۰ توصیه می‌شود (*ACI, 2010*).



شکل ۴: مقاومت نرمالایز شده نسبت به زمان برای بتن سنگ‌آهکی که در تا قبل از آزمایش در شرایط مرطوب عمل آوری شده است



<b>بتن های پر مقاومت (High-Strength Concrete)</b>									
صفحه: ۹	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
دی ماه ۹۴							۰۱		



شکل ۵: اثر عمل‌آوری بر مقاومت بتن


## ۲-۳- مدول الاستیسیته

ACI-318 (ACI, 2011) مدول سکانتی الاستیسیته را به صورت نسبت تنش و کرنش در ۴۰٪ مقاومت فشاری تعریف کرده است. با افزایش مقاومت بتن، این مدول الاستیسیته نیز افزایش می‌یابد. همان عواملی که بر مقاومت فشاری بتن مؤثر است، بر مدول الاستیسیته نیز اثر می‌گذارد. بر این اساس بسیاری از روابط تجربی، مدول الاستیسیته را به عنوان تابعی از مقاومت فشاری بیان می‌کنند. معادله‌ی ارائه شده در ACI-318 تخمین دست‌بالایی از مدول الاستیسیته HSC دارد و ACI-316 (ACI, 2010) معادله‌ی دیگری را براساس مطالعات Carrasquillo et al. (1981) ارائه کرده است که برای بتن‌های با تراکم معمولی مقادیر محافظه کارانه‌ای را می‌دهد:

$$E_c = 3.32\sqrt{f'_c} + 6.9 \text{ (in GPa)}$$

معادلات متعددی جهت تخمین مدول الاستیسیته بتن HSC ارائه شده است. با این وجود به دلیل متغیرهای زیاد، بسیاری از معادلات تنها مختص به همان مطالعات انجام شده‌ی بخصوص هستند. علاوه بر این، ACI-363 (ACI, 2010) توصیه می‌نماید که مهندس طراح باید مدول الاستیسیته را با داده‌های درجا یا اسناد دیگر، صحت-سنجی کنند.

همچنین روابط تحلیلی برای محاسبه‌ی مدول الاستیسیته نیز وجود دارد که مدل‌های دوفازی شامل سنگدانه و خمیر سیمان را مورد استفاده قرار داده‌اند. مدل‌های ساده‌تر این روابط تنش و کرنش را در هر دو فاز ثابت فرض کرده‌اند. برای استفاده از این روابط، نیاز به دانستن مدول الاستیسیته سنگدانه‌ها و خمیر هیدراته سیمان است که موجب می‌شود این روابط چندان مورد توجه قرار نگیرد.

<b>بتن های پر مقاومت (High-Strength Concrete)</b>										
صفحه: ۱۰		<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>	<i>REV</i>		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		

## ۲-۴- نسبت پواسون

داده‌های موجود در مورد نسبت پواسون بتن، مخصوصاً برای بتن *HSC* بسیار محدود است. نسبت پواسون بتن *HSC* در محدوده‌ی خطی، ثابت است، اما در محدوده‌ی غیرخطی به صورت تابع از کرنش محوری افزایش می‌یابد. در محدوده‌ی خطی، نسبت پواسون از مقاومت فشاری، روش عمل‌آوری و عمر بتن اثر نمی‌پذیرد (Logan et al., 2009). نسبت پواسون بتن *HSC* در محدوده‌ی خطی متناظر با ۰.۴۰٪ تنش نهایی، در جدول (۱) براساس مطالعات مختلف ارائه شده است.

جدول ۱: نسبت پواسون بتن *HSC* توسط مطالعات مختلف


انحراف استاندارد	نسبت پواسون	محدوده‌ی مقاومت (MPa)	مرجع مطالعه
ناموجود	۰,۲۲	ناموجود	<i>Perenchio and Klieger (1978)</i> و <i>Iravani (1996)</i>
۰,۱۶	۰,۲۱	۳۴-۷۳	<i>Carrasquillo et al. (1981)</i>
ناموجود	۰,۱۸	۷۳-۹۹	<i>Ibrahim and MacGregor (1994)</i>
۰,۲۳	۰,۱۷	۶۴-۱۲۵	<i>Iravani (1996)</i>
۰,۰۷	۰,۱۷	۳۴-۱۲۰	<i>Logan et al. (2009)</i>

محدوده‌ی نسبت پواسون بتن *HSC* در محدوده‌ی خطی تقریباً ۰,۲ است که از این جهت با محدوده‌ی آن برای بتن *NSC* مشابه است (۰,۱۵-۰,۲۵). همانگونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، بتن *HSC* در محدوده‌ی غیرخطی به دلیل ریزترک‌های کمتر، کرنش جانبی کمتری از خود نشان می‌دهد، لذا انتظار می‌رود که در مقایسه با بتن *NSC* نسبت پواسون کمتری داشته باشد.

## ۲-۵- مقاومت کششی

مقاومت کششی بتن با استفاده از آزمایش‌های کششی مستقیم و غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شود. انجام آزمایش‌های کششی مستقیم که آزمایش نمونه *HSC* تحت کشش خالص است، به دلیل محدودیت‌های آزمایش مشکل است. آزمایش‌های غیرمستقیم شامل آزمایش‌های خمشی و آزمایش برش استوانه<sup>۱</sup> می‌باشد که برای اندازه‌گیری مقاومت کششی بتن پرکاربرد تر است.

<sup>۱</sup> split-cylinder test

<b>بتن های پرمقاومت (High-Strength Concrete)</b>								 گروه مهندسين دانشگاه گیلان	
صفحه: ۱۱		<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>		پروژه:
دی ماه ۹۴									۰۱

## ۲-۵-۱- مدول شکست

مدول شکست با استفاده از آزمایش خمشی به عنوان تابعی از مقاومت فشاری بدست می آید. شکل کلی مدول شکست به صورت زیر می باشد:

$$f_r = c\sqrt{f'_c}$$

که  $C$  ثابتی است که مقادیری بین ۷,۵ تا ۱۲ دارد، اگر  $f_r$  در واحد  $psi$  باشد و بین ۰,۶۲ تا ۰,۹۹، اگر  $f_r$  در واحد  $MPa$  باشد (ACI,2010). این رابطه انطباق خوبی با داده های آزمایشگاهی تا حداکثر مقاومت  $100MPa$  دارد، اما غالباً برای مقاومت های بالاتر، مقادیر کمتر از واقعیت را می دهد.

## ۲-۵-۲- آزمایش برش استوانه

$ACI-363R-10$  (ACI,2010) گزارشی از مطالعات Dewar (1964) ارائه کرده است که ادعا نمود که برای بتن کم مقاومت، مقدار مقاومت کششی می تواند تا ۱۰٪ مقاومت فشاری باشد؛ با این حال برای مقاومت های بالاتر این مقدار به ۵٪ کاهش می یابد. معادلات مورد استفاده برای محاسبه ی مقاومت کششی برش استوانه به صورت زیر است:

$$f_{ct} = 0.56\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

ACI 318-11

$$f_{sp} = 0.59\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

Carrasquillo et al. (1981)

Iravani (1996) مدول های شکست و آزمایش مقاومت کششی برش استوانه برای بتن  $HSC$  را تا حداکثر مقاومت  $125MPa$  بدست آورد و نشان داد که معادلات پیشنهادی Carrasquillo et al. (1981) تطابق خوبی با خطای حداکثر ۱۰٪ با نتایج آزمایشگاهی دارد.

## ۴- طرح اختلاط بتن پرمقاومت

طرح اختلاط بهینه بتن از انتخاب مصالح موجود در دسترس که موجب اجرایی بودن و کارپذیری بتن شده و اطمینان از رسیدن به مقاومت و سایر ویژگی های مورد انتظار از یک بتن سفت شده که مورد نظر طراح بوده است را فراهم می کند، بدست می آید. برخی از اصول اساسی که باید برای بتن های پرمقاومت مورد توجه قرار گیرد، عبارتند از:

صفحه: ۱۲		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱	

۱- سنگدانه‌ها باید مقاوم و بادوام باشند. البته نیاز نیست که بیش از مقاوم باشند بلکه باید نسبت به خمیر سیمان از نظر سختی و مقاومت انطباق داشته باشند. معمولاً سنگدانه‌های با حداکثر اندازه کوچکتر برای بتن‌های مقاوم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. ماسه می‌تواند نسبت به آنچه که در *ASTM C 33* الزام کرده است (مدول ریزدانگی بزرگتر از ۳,۲)، درشت تر باشد تا درصد مقدار ریزدانه در سیمان بیشتر شود.

۲- مخلوط‌های بتن *HSC* میزان سیمان بیشتری دارند که موجب افزایش گرمای هیدراتسیون و انقباض بیشتر که پتانسیل ترک خوردگی را افزایش می‌دهد، خواهد شد. در بسیاری از مخلوط‌ها یک یا چند افزودنی سیمانی مانند خاکستر کوره (کلاس *C* یا *F*)، سرباره کوره بلند<sup>۱</sup>، فوم سیلیکا، متاکائولین یا مواد پوزولانی طبیعی استفاده می‌شود.

۳- مخلوط‌های بتن *HSC* معمولاً نسبت آب به سیمان کمتری دارند. این نسبت می‌تواند در محدوده  $۰,۲۳$  تا  $۰,۳۵$  باشد. این نسبت تنها در صورت استفاده از مقدار زیاد افزودنی‌های کاهنده‌ی آب (یا فوق روانسازها) از نوع *F* یا *G* طبق *ASTM C 494* قابل دستیابی خواهد بود.

۴- میزان کل سیمان موجود در بتن پرمقاومت معمولاً در حدود  $۴۱۵ \text{ kg/m}^3$  و کمتر از  $۶۵۰ \text{ kg/m}^3$  می‌باشد.

۵- استفاده از حباب ساز در بتن پرمقاومت موجب کاهش شدید مقاومت آن می‌شود.

## ۵- نگاه ویژه به ستون‌های با بتن پرمقاومت

یکی از پرکاربردترین المان‌های سازه‌ای در استفاده از بتن پرمقاومت، ستون است که می‌تواند ستون یک پل یا ستون‌های ساختمان باشد. در این بخش به طور ویژه به مواردی در خصوص ستون‌های با بتن پرمقاومت پرداخته می‌شود.

۱- مقاومت و شکل‌پذیری بتن محصور با افزایش نسبت حجمی فولاد محصورکننده، افزایش می‌یابد. این مسئله هم برای بتن‌های معمولی و هم برای بتن‌های پرمقاومت صادق است. با این حال جهت دستیابی به شکل‌پذیری مشابه، نسبت حجمی فولاد محصورکننده مورد نیاز در بتن پرمقاومت بیشتر از ستون‌های با بتن معمولی است.

<sup>۱</sup> سرباره کوره بلند ترکیبی غیرفلزی است که دارای سیلیکات‌ها و آلومینوسیلیکات‌های کلسیم و سایر عناصر بازی است و در کوره بلند به همراه آهن به صورت مذاب تولید می‌شود.

بتن های پرمقاومت (High-Strength Concrete)								گروه مهندسين D.E.A
صفحه: ۱۳	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
دی ماه ۹۴							۰۱	

- ۲- ستون های مستطیلی با تنگ های با فاصله ی برابر با اندازه بعد ستون، اثر محصور شدگی نشان نمی دهند.
- ۳- قلوه کن شدن پوشش بتن در ستون های با بتن پرمقاومت (شکل) و خاموت های نزدیک به هم در کمتر از ۸۵٪ مقاومت بتن محصور نشده، اتفاق می افتد.
- ۴- استفاده از میلگردهای طولی بزرگتر، اثر کمی بر شکل پذیری ستون خواهد داشت.
- ۵- تنگ های مارپیچی نسبت به بسیاری تنگ های مستطیلی، مؤثرتر هستند.




شکل ۶: قلوه کن شدن پوشش بتن در یک ستون با بتن پرمقاومت تحت آزمایش فشاری

## ۶- کاربردهای بتن پرمقاومت

مزیت های فنی و اقتصادی استثنایی موجب استفاده از بتن پرمقاومت شده است. به دلیل این مزایا، امروزه بتن پرمقاوت به طور معمول در بسیاری از کاربردها شامل ساختمان سازی، سازه های فراساحلی، اجزای پل ها و روسازی راه ها مورد استفاده قرار می گیرد.

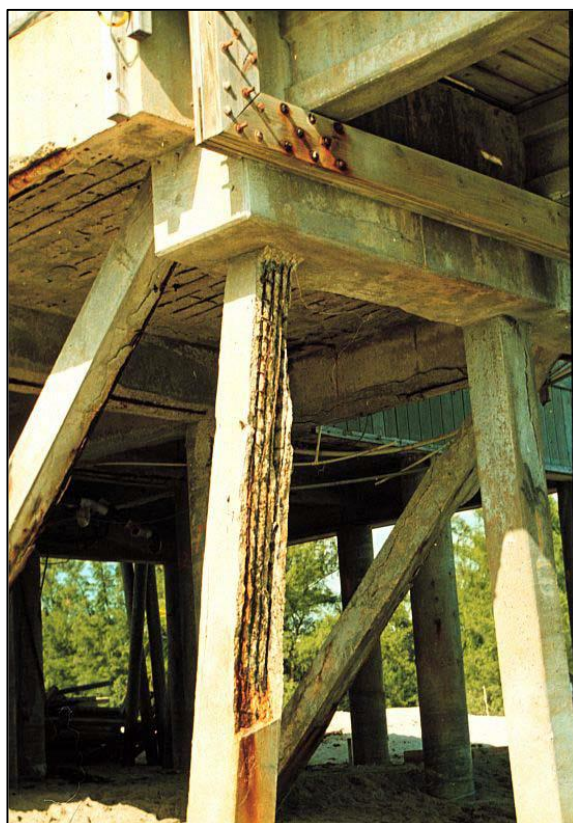
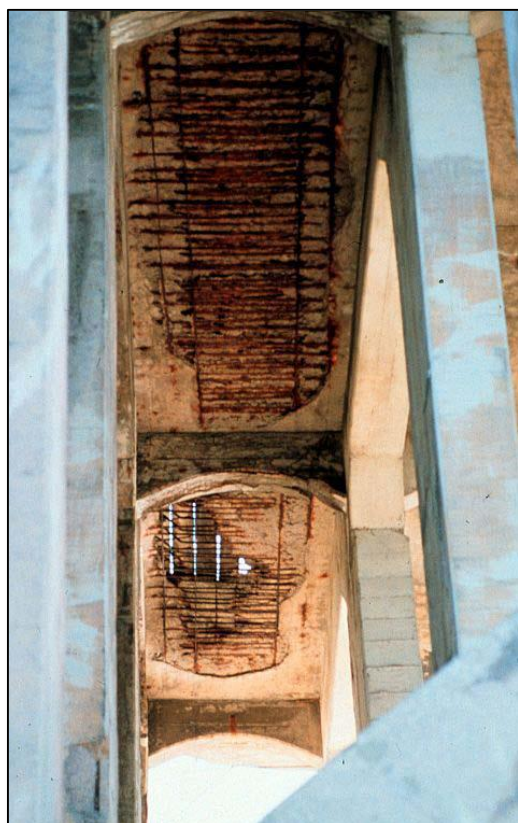
استفاده از بتن پرمقاومت در سازه ها، نه به خاطر مقاومت آن بلکه به خاطر سایر ویژگی های مهندسی مانند بیشتر بودن مدول الاستیسیته (سختی)، کاهش نفوذپذیری در برابر مواد مضر (که موجب آسیب زدن به بتن می شود،



بتن های پرمقاومت (High-Strength Concrete)										
صفحه: ۱۴		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
دی ماه ۹۴								۰۱		

شکل ۵) یا بیشتر بودن مقاومت سایش، که از بیشتر بودن مقاومت نتیجه می شود، می باشد. به طور کلی مهمترین دلایل استفاده از بتن پرمقاومت را می توان به صورت زیر برشمرد:

- ۱- در مواقعی که بهره برداری سریع از بتن مورد نظر باشد؛ به عنوان مثال روسازی در سه روز.
- ۲- جهت ساخت ساختمان های بلندمرتبه با کاهش اندازه ستون ها و افزایش فضاهای در دسترس (شکل ۶).
- ۳- ساخت بخش روسازه ی پل های با دهانه های بزرگ و بهبود دوام عرشه پل ها؛ پروفیسور ضیا نشان داد برای دهانه های ۲۵ متری با افزایش مقاومت بتن از ۴۰ به ۷۰ مگاپاسکال می توان پل هایی با دهانه های تا ۱۷٪ بزرگتر احداث کرد. پایه های پل کلرودو نمونه ای از این نوع است (شکل ۷).
- ۴- ارضای ملزومات خاص مانند دوام، مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی، در کاربردهای ویژه ای مانند سدها، سقف ورزشگاه ها، پی های دریایی، پارکینگ ها و کف های صنعتی پر تردد. (البته باید توجه داشت که بتن پرمقاومت ضمانت بتن پردوام را نمی کند)



شکل ۷: نمونه هایی از آسیب دیدگی و خوردگی بتن معمولی در برابر مواد مضر

بتن های پرمقاومت (*High-Strength Concrete*)



گروه مهندسين  
۱۳۸۵

صفحه: ۱۵

DEP

PRJ

CAT

DIS

TYP

SEQ

REV

پروژه:

دی ماه ۹۴

۰۱



شکل ۸: برج های پتروناس در مالزی؛ به ارتفاع ۴۵۰ متر ، با بتن ۴۰-۸۰مگاپاسکال.

مزیت های استفاده از بتن *HSC* در این پروژه: اقتصادی شدن سازه، ساده شدن درزهای اجرایی، کاهش لرزش در اثر بادهای شدید.



شکل ۹: پل کلرادو