

# High Strength Concrete

بتن پر مقاومت

سهند مردی

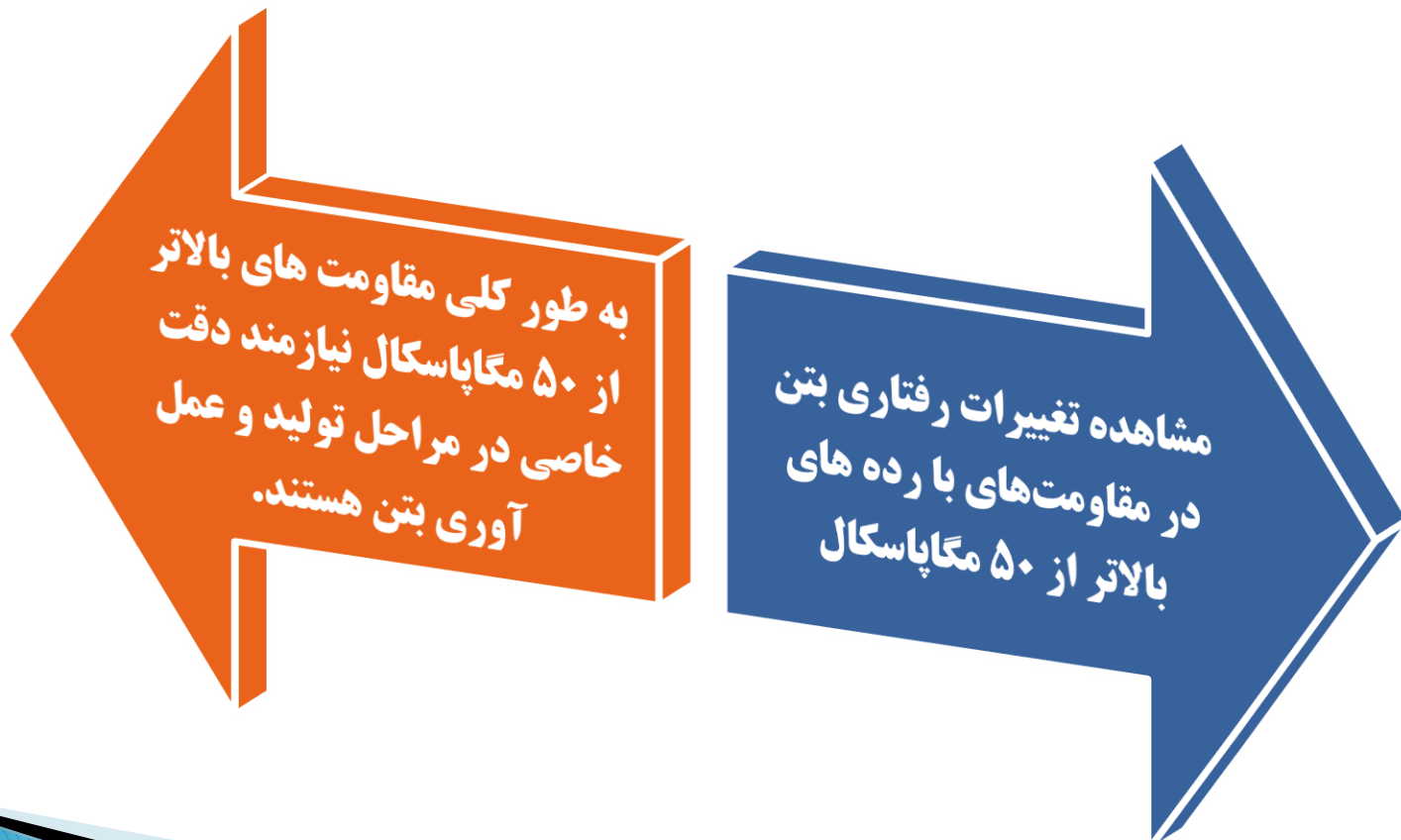


# بتن پرمقاومت چیست ؟

- ▶ تعریف بتن پرمقاومت همواره در طول سال های متمادی دچار تغییر است.
- ▶ در دهه ۱۹۵۰ بتن با رده مقاومت ۳۴ مگاپاسکال به عنوان بتن پرمقاومت تلقی می - گردید و این در حالی است که امروزه بتن هایی با مقاومت بالای ۸۰۰ مگاپاسکال نیز تولید می شود
- ▶ کمیته ۳۶۳ انجمن بتن آمریکا در سال ۱۹۹۲ تعریف جدیدی برای بتن های پرمقاومت ارائه کرد که رده بتن ۴۱ مگاپاسکال به عنوان مرز میان بتن معمولی و بتن پرمقاومت انتخاب شد.
- ▶ در آخرین گزارش این کمیته در سال ۲۰۱۰ مقاومت ۵۵ مگاپاسکال برای بتن پرمقاومت انتخاب شد که تا به الان پابرجا است.

# علت انتخاب مرز برای بتن پر مقاومت

▶ نحوه این انتخاب شامل دو علت عمده می باشد :



# بتن پر مقاومت طبق آیین نامه های معتبر دنیا

مقاومت فشاری (مگاپاسکال) :	نام آیین نامه :
۵۵ - استوانه استاندارد	کمیته ۳۶۳ انجمن بتن آمریکا
۵۰ - استوانه استاندارد	مبحث نهم مقررات ملی ساختمان
۵۰ الی ۶۰ - مکعب استاندارد	آیین نامه انگلستان
۵۰ - مکعب استاندارد	آیین نامه اروپا
۶۰ - مکعب استاندارد	آیین نامه سنگاپور
۶۰ الی ۱۰۰ - مکعب استاندارد	آیین نامه هنگ کنگ چین

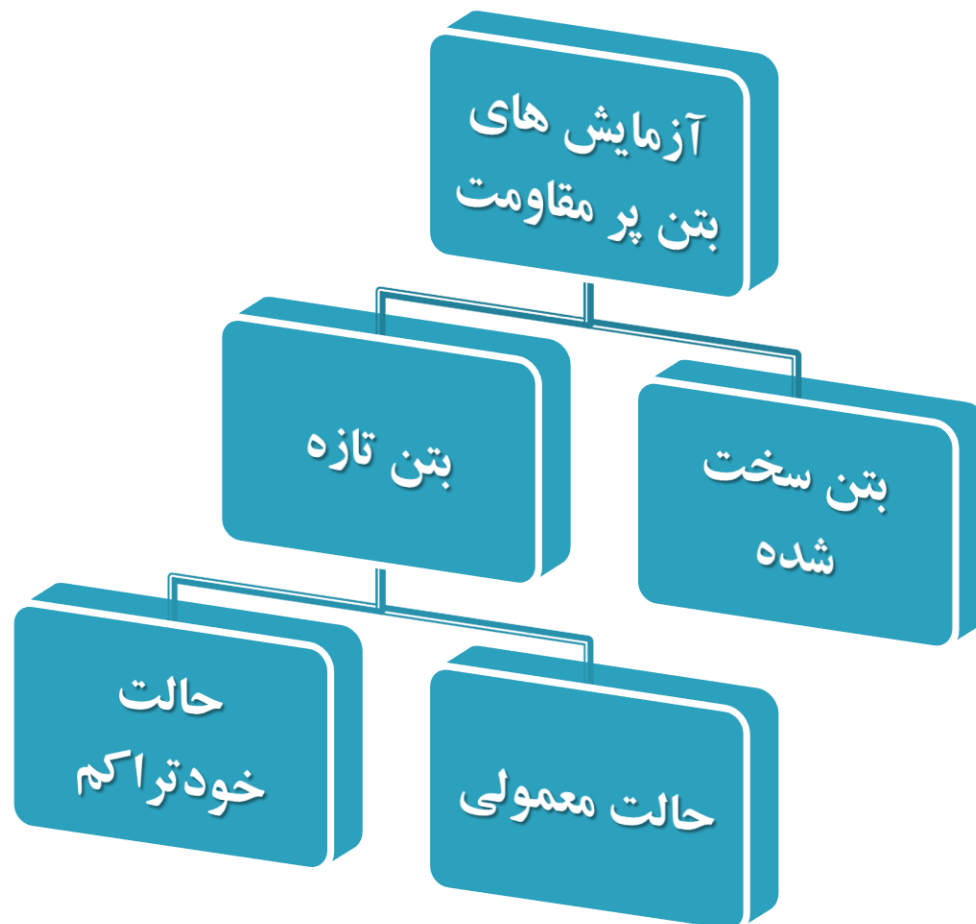
# در نهایت چه مرزی را میتوان به عنوان حداقل برای بتن پرمقاومت در نظر گرفت؟

- ▶ همانطور که مشاهده گردید تعاریف متفاوتی برای بتن پرمقاومت در دنیا ارائه شده است. به طور کلی تعریف بتن پرمقاومت به صورت عددی مشخص برای تمام دنیا امکان پذیر نمی باشد.
- ▶ مقاومت بالا از عوامل زیادی همچون کیفیت مصالح مصرفی محل ساخت بتن و نوع روشهای ساخت تاثیر پذیر است.
- ▶ کمیته ۳۶۳ انجمن بتن آمریکا نیز در گزارش سال ۲۰۱۰ خود اعلام کرده است که تعاریف مختلف از بتن پرمقاومت را براساس مناطق مختلف جغرافیایی محل ساخت به رسمیت می شناسد و تعریف بتن پرمقاومت، بستگی به گستره مقاومتی مرسوم بتن های معمولی مورد استفاده در آن محل دارد. بنابراین این تعریف بسیار وابسته به محل انجام پروژه و مصالح در دسترس است.
- ▶ به طور کلی در حدود مقاومت بالای ۴۵ الی ۵۰ مگاپاسکال، رفتار متفاوت با بتن های معمولی را می توان تضمین شده دانست.

## سایر مشخصات پیشنهادی و روشهای آزمایش برای بتن پرمقاومت

<b>Property</b>	<b>Test Method</b>	<b>Criteria that may be specified</b>
High Strength	ASTM C 39	55-140 MPa @ 28 to 91 days
H-E Comp. Strength	ASTM C 39	20-30 MPa @ 3-12 hrs or 1-3 days
H-E Flex. Strength	ASTM C 78	2-4 MPa @ 3-12 hrs or 1-3 days
Abrasion Resistance	ASTM C 944	0-1 mm depth of wear
Low Permeability	ASTM C 1202	500 to 2000 coulombs
Chloride Penetration	AASHTO T 259/260	Less than 0.07% Cl at 6 months
Low Absorption	ASTM C 642	2% to 5%
High Mod.of Elast.	ASTM C 469	More than 40 GPa

آزمایش های بتن سخت شده پر مقاومت مشابه بتن های معمولی است.  
آزمایش های بتن تازه پر مقاومت بستگی به نوع اجرای آن دارد.



# نحوه ساخت بتن پر مقاومت

- ▶ ساخت بتن پر مقاومت بسیار مشابه بتن های معمولی بوده و معیار رسیدن به آن مقدار مقاومت فشاری است.
- ▶ ساده ترین روش دستیابی به بتن پر مقاومت کاهش نسبت آب به مواد سیمانی است.
- ▶ به علت پایین بودن نسبت آب به سیمان در این نوع بتن ها، از درصدهای بالای فوق روان کننده و ابر روان کننده ها استفاده می شود.
- ▶ استفاده از مواد پوزلانی همچون میکروسیلیس و پودر شیشه سیلیسی تاثیر بسزایی در رسیدن به بتن پر مقاومت دارد.
- ▶ استفاده از سنگدانه های سخت و سیلیسی مانند کوارتز و ماسه های سیلیسی باعث افزایش مقاومت می گردد.



# نحوه ساخت بتن پر مقاومت

- ▶ با افزایش عیار سیمان می توان مقاومت را نیز افزایش داد به شرطی که بالا رفتن دمای واکنش منجر به ایجاد ریزترک ها و جمع شدگی نشود.
- ▶ با کاهش بزرگترین بعد سنگدانه ها می توان به مخلوط همگن تری رسید و تخلخل را کاهش داد که این خود منجر به رسیدن بتنی با مقاومت بالاتر می گردد.
- ▶ استفاده از دانه بندی مناسب باید مورد توجه قرار گیرد تا توزیع سنگدانه ها به صورت مناسب انجام شده و فضای خالی میان آنها حداقل شود.
- ▶ یکی از مهمترین عوامل رسیدن به بتن های با مقاومت بالا، عمل آوری مناسب تحت شرایط کنترل شده است.

# تأثیر عمل آوری بر فرآیند ساخت بتن های پر مقاومت



# چند نمونه طرح اختلاط بتن های پر مقاومت

مقاومت فشاری نهایی	نوع عمل آوری	نوع سنگدانه	درصد درشت دانه	درصد ریز دانه	فوق روان کننده	میکروسیلیس	عیار	آب به سیمان
۹۰.۷	آب معمولی	کوارتز	%۳۰	%۷۰	%۱.۵	%۱۰	۷۵۵	۰.۲۷
۹۸.۸	آب گرم و بخار	کوارتز	%۳۰	%۷۰	%۱.۵	%۱۰	۷۵۵	۰.۲۷
۹۸.۲	آب معمولی	کوارتز	%۳۰	%۷۰	%۲.۵	%۱۰	۸۰۰	۰.۲
۱۱۶.۳	آب گرم و بخار	کوارتز	%۳۰	%۷۰	%۲.۵	%۱۰	۸۰۰	۰.۲

# چند نمونه طرح اختلاط بتن های پر مقاومت

مقاومت فشاری نهایی	نوع عمل آوری	نوع سنگدانه	درصد درشت دانه	درصد ریز دانه	فوق روان کننده	میکروسیلیس	عیار	آب به سیمان
۸۰.۴	آب معمولی	کوارتز	%۳۰	%۷۰	%۱.۵	%۰	۷۵۵	۰.۲۷
۸۷.۳۵	آب معمولی	کوارتز	%۳۰	%۷۰	%۱.۵	%۰.۵	۷۵۵	۰.۲۷
۹۰.۷	آب معمولی	کوارتز	%۳۰	%۷۰	%۱.۵	%۱۰	۷۵۵	۰.۲۷
۹۴	آب معمولی	کوارتز	%۳۰	%۷۰	%۱.۵	%۱۵	۷۵۵	۰.۲۷

# مزایای استفاده از میکروسیلیس در فرآیند ساخت بتن پرمقاومت

افزایش مقاومت و دوام سازه

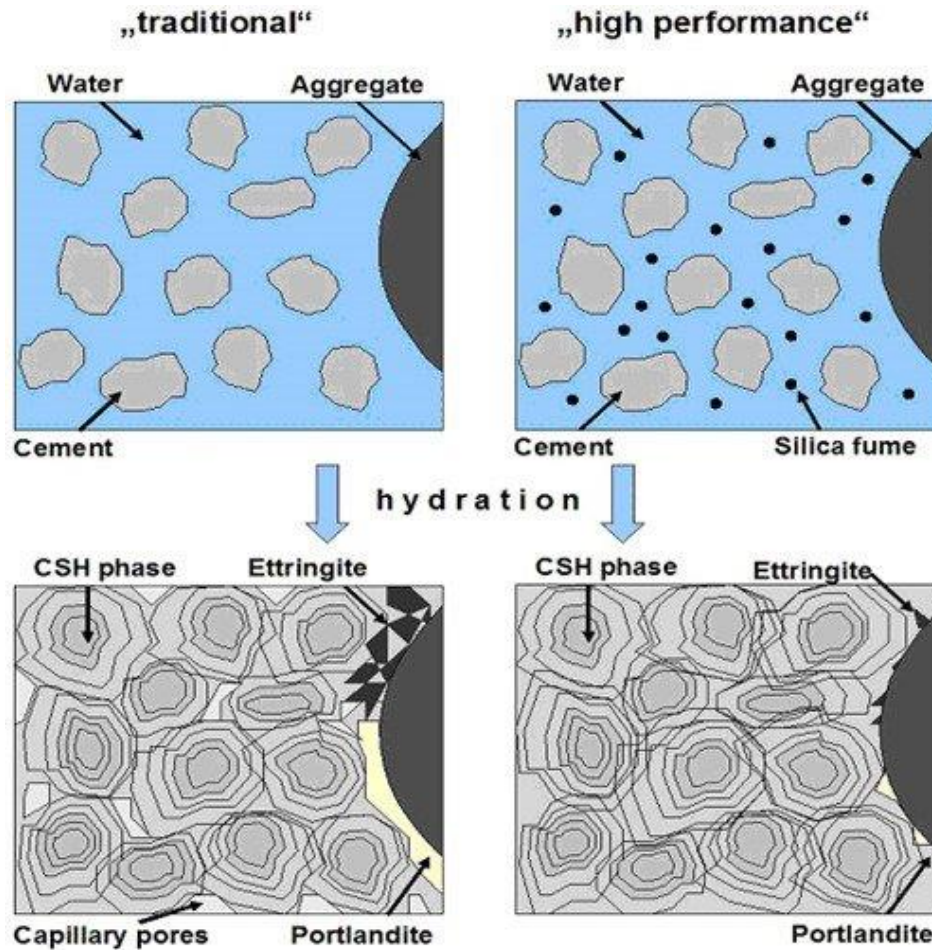
کاهش دمای حرارت زایی با کاهش عیار سیمان و مقاومت ثابت

خاصیت پرکنندگی و افزایش تراکم خمیر سیمان

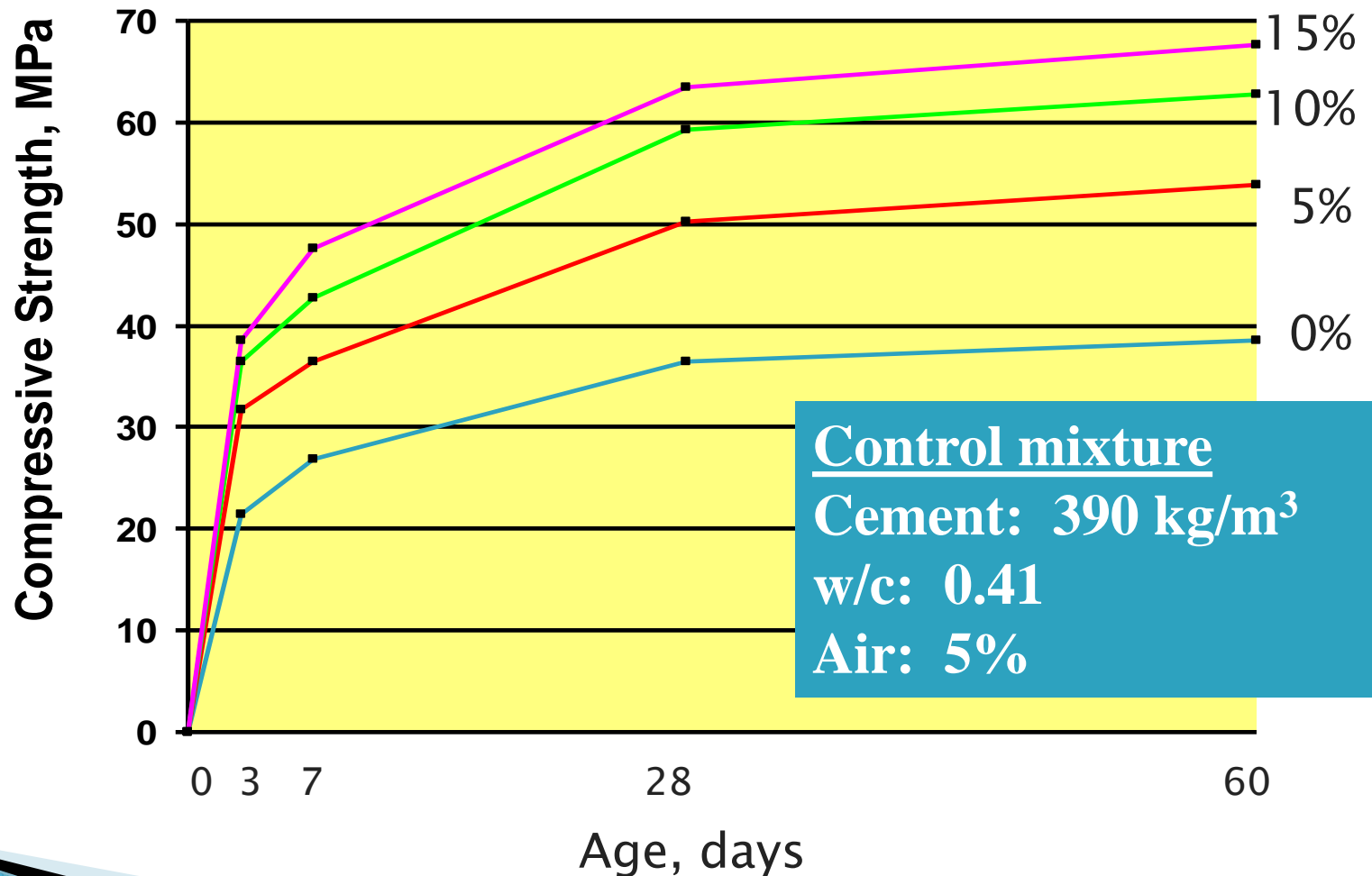
باعث پایین آمدن جنبش و عمق نفوذی یون کلر در بتن

بهبود ناحیه انتقال با افزایش چسبندگی میان ملات و درشت دانه

# شرکت میکروسیلیس در فرآیند هیدراسیون



# روند تاثیر میکروسیلیس بر مقاومت بتن



# یک نمونه بتن پر مقاومت خودمتراکم





# کاربردهای اصلی بتن پرمقاومت



و در هر سازه  
دیگری که نیاز به  
مقاومت بیشتر در  
حجمی کمتر باشد



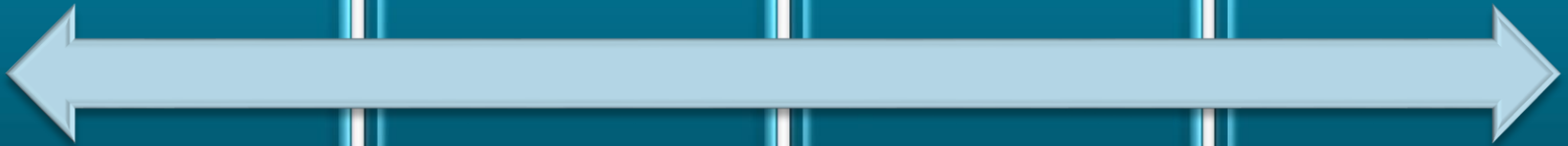
انواع پل ها



ساختمان های  
بلند مرتبه



سازه های  
ساحلی



# مزایای کاربردی استفاده از بتن پرمقاومت

- ▶ برای رسیدن به مقاومت دلخواه کمتر از مقاومت نهایی در زمان های کوتاه تر برای مثال در پروژه هایی که در زمان کوتاهی به سرعت انجام می شوند و زمان تعیین کننده است.
- ▶ برای ساخت ساختمان های بلند مرتبه که با کاهش اندازه و ابعاد المان ها و افزایش فضای خالی قابل استفاده از جمله مزایای بتن پرمقاومت است
- ▶ بر خلاف تصور عمومی از سنگین بودن این نوع بتن ها، در نتیجه کاهش اندازه و ابعاد المان ها، وزن نهایی ساختمان سبکتر از سازه مشابه با بتن معمولی خواهد شد.
- ▶ برای ساخت ابر سازه های با دهانه های بزرگ مانند پلهای عظیمی که دهانه های بزرگی دارند و برای بهبود دوام عرشه های پل استفاده می شود.

# مزایای کاربردی استفاده از بتن پرمقاومت

▶ برای ساخت سازه هایی خاص که نیازهای خاصی را قرار است برطرف کند. برای مثال برای رسیدن به مدول الاستیسیته، دوام و مقاومت خمشی خاصی که با بتن های معمولی میسر نیست، می توان از بتن پرمقاومت بهره جست. این موارد در کارهای عملی مانند ساخت سدها، سقف هایی که جمعیت زیادی بر روی آن قرار میگیرند (استادیوم ها) ، سازه های دریایی، پارکینگهای بزرگ طبقاتی و کف سنگین های صنعتی نمود پیدا می کند

▶ افزایش عمر ساختمان ها

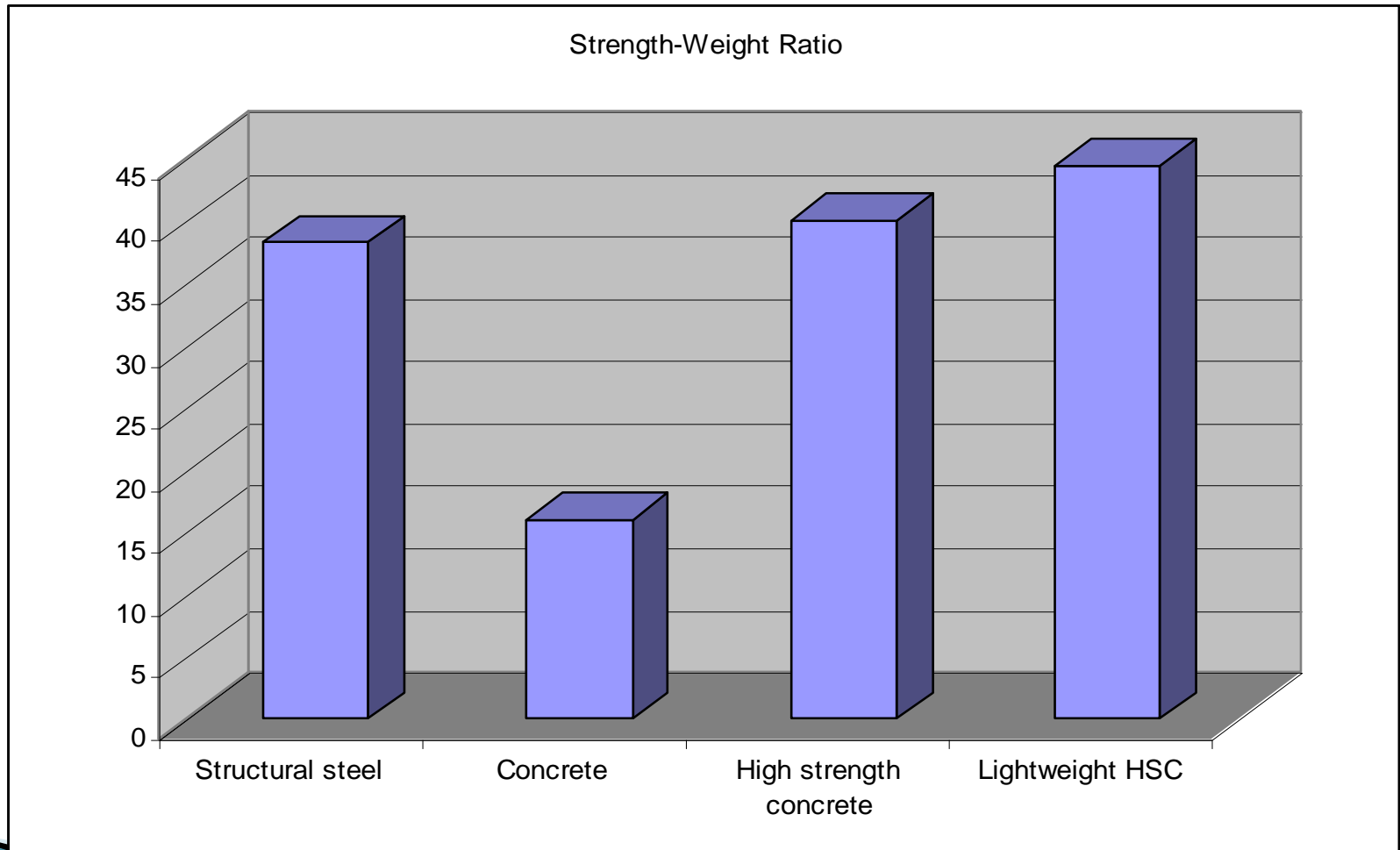
▶ نفوذ پذیری کم و بهبود دوام دراز مدت

▶ صرفه جویی در مصالح مصرفی و هزینه در دراز مدت

# مزایای کاربردی استفاده از بتن پرمقاومت

- ▶ افزایش سختی و مدول الاستیسیته
- ▶ بهبود عملکرد درازمدت تحت بارگذاری های استاتیکی، دینامیک و خستگی
- ▶ کاهش هزینه های نگهداری و تعمیر سازه
- ▶ کاهش مصرف سیمان و کمک به حفظ محیط زیست
- ▶ کاهش قیمت ساخت قطعات پیش تنیده (پیش کشیده و پس کشیده)
- ▶ افزایش دوام در شرایط سخت مانند سیکلهای یخ زدن و آب شدن و حمله مواد شیمیایی
- ▶ کاهش خزش و جمع شدگی

# مقایسه نسبت مقاومت به وزن



# برتری اقتصادی بتن پرمقاومت

▶ بررسی های انجام شده در کشور نشان می دهد که اگرچه بهای بتنهای بسیار پرمقاومت نسل جدید نسبت به بتن های معمولی حدود ۳۵٪ افزایش قیمت دارد، ولی مقاومت فشاری آن در حدود ۱۷۰٪ افزایش می یابد.

▶ همچنین در مقایسه با بتن های پرمقاومت رایج به رغم افزایش مقاومت فشاری حدود ۳۶٪، هزینه ساخت حدود ۵٪ کاهش می یابد و اگر همین مقایسه در بتن های با مقاومت یکسان انجام گردد، کاهش قیمت بسیار بیشتر خواهد بود

# برتری اقتصادی بتن پرمقاومت

▶ بر اساس بررسی های انجام شده به منظور کاربرد این بتن ها در ساختمان های مسکن مهر مشخص شد که کاربرد آن برای ساختمان های بتنی (تا پنج طبقه)، در حالت قاب خمشی و در حالت قاب با دیوار برشی می تواند بین ۵۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ ریال به ازای هر متر مربع صرفه جویی اقتصادی به همراه داشته باشد. باید توجه گردد که در این محاسبات منافع حاصل از افزایش سرعت اجرا و افزایش دوام و طول عمر ساختمان لحاظ نشده است.

▶ طبق گزارش مرکز تحقیقات، راه، مسکن و شهرسازی اگر طی یک برنامه کوتاه مدت ۱۵٪ و در میان مدت ۳۰٪ از ساختمان های بتنی کشور به جای استفاده از بتن معمولی از بتن های پرمقاومت نسل جدید استفاده شود، می تواند هر سال حدود  $10^{12} \times 1.1$  ریال صرفه جویی اقتصادی به همراه داشته باشد.

# برتری اقتصادی بتن پر مقاومت

مقاومت فشاری MPa	ابعاد ستون meter	آرماتور مورد نیاز	وضعیت
۴۰	۱.۲ × ۱.۲	۳۶ تا ۵۶ نمره	حالت ابتدایی
۵۵	۱.۲ × ۱.۲	۲۴ تا ۲۸ نمره	صرفه جویی در فولاد
۸۵	۰.۷۵ × ۱.۲	۲۲ تا ۲۴ نمره	صرفه جویی در فولاد صرفه جویی در فضا
۸۵	۰.۹۵ × ۰.۹۵	۲۲ تا ۲۴ نمره	صرفه جویی در فولاد صرفه جویی در فضا

نیروی طراحی ستون : 50 MN





## »» ساختمان سات واکر ۳۱۱ در شیکاگو با ارتفاع ۲۹۳ متر

در ستون های آن از بتن پر مقاومت با مقاومت فشاری ۸۳ مگاپاسکال استفاده شده است



## ساختمان میدان یونیون شماره دو در سیاتل >>

طی دو سال ساخته شد، دارای رکورد بیشترین مقاومت فشاری استفاده شده در ساختمان بتنی است که مقاومت بتن در این ساختمان برابر ۱۳۱ مگاپاسکال است



## ساختمان تایپه ۱۰۱ در سال ۲۰۰۴ با ارتفاع ۵۰۹ متر >>

ساختمان ترکیبی از المان های فولادی و بتنی است که مقاومت مشخصه بتن استفاده شده در این سازه برابر ۶۹ مگاپاسکال می باشد



## برج های دوقلوی پتروناس در مالزی در سال ۱۹۹۸ >>

دارای مقاومت مشخصه فشاری ۸۰ مگاپاسکال در مکعب استاندارد می باشد



»» برج جهانی ترامپ در نیویورک با ارتفاع ۲۶۲ متر در سال ۲۰۰۱

ستون های آن دارای بتنی با مقاومت فشاری ۸۳ مگاپاسکال می باشد



## برج خلیفه امارات با ارتفاع ۸۲۸ متر بلندترین ساختمان دنیا >>

سیستمی کاملاً بتنی داشته و مقاومت مشخصه بتن مورد استفاده در این سازه دارای مقاومت فشاری ۸۰ مگاپاسکال می باشد

# معایب بتن پر مقاومت

- ▶ با افزایش مقاومت بتن، رفتار آن به سمت رفتاری نیرو-کنترل حرکت می کند که موجب کاهش ناحیه پلاستیک می شود
- ▶ کاهش ناحیه پسا ارتجاعی و پلاستیک باعث می شود رفتار بتن خطی تر شود و مشارکت کمتری در اتلاف انرژی داشته باشد.
- ▶ افزایش کرنش الاستیک نسبت به کرنش پلاستیک منجر به کاهش شکل پذیری المان های بتنی ساخته شده از بتن پر مقاومت می گردد

# معایب بتن پرمقاومت

▶ ضعف اصلی بتن پرمقاومت شکل پذیری پایین است که استفاده از این نوع بتن را در المان های شکل پذیر و خمشی همچون تیر با محدودیت مواجه می کند

▶ شکل پذیری پایین و رفتار نیرو-کنترل شدیدتر بتن های پرمقاومت نسبت به بتن های معمولی منجر به ایجاد انفجار و پرتاب قطعات خورد شده از بتن هنگام گسیختگی می شود که ممکن است خطراتی را هنگام زلزله ایجاد کند



پایان

باتشکر از توجه شما

سهند مردی