

# ویژگی های مکانیکی کوتاه مدت در بتن های با مقاومت زیاد دارای میکروسیلیس

موسی مظلوم

دانشکده عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران  
[moospoon@yahoo.com](mailto:moospoon@yahoo.com)

## چکیده

در این مقاله اثر میکروسیلیس روی ویژگی های مکانیکی کوتاه مدت بتن های با مقاومت زیاد مورد بحث قرار می گیرد. امروزه با توجه به اینکه استفاده از میکروسیلیس در بتن های با مقاومت زیاد بسیار رایج گشته است، دانستن اثر این ماده روی ویژگی های متفاوت بتن بسیار حائز اهمیت است. ارتباط بین مقاومت، مدول الاستیسیته سکانتی و مدول الاستیسیته بازگشتی یکی از این مورهاست که در این تحقیق به آن پرداخته شده است. مورد دیگر تاثیر طول دوره نگهداری مرطوب روی مقاومت دراز مدت این بتن ها بوده است. در کارهای آزمایشگاهی انجام شده در این پژوهش نسبت آب به مصالح سیمانی و مقدار کل مصالح سیمانی به ترتیب برابر ۰/۳۵ و ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شده اند. درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان برابر ۰، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۵ درصد بوده است. مقاومت ۲۸ روزه بتن های مورد بحث نیز بین ۵۸ تا ۷۰ مگاپاسکال بوده اند. برای مطالعه اثر شرایط نگهداری روی میزان مقاومت دراز مدت این نوع بتن ها، مقاومت ۴۰۰ روزه نمونه های نگهداری شده در شرایط اشباع تا زمان آزمایش با نمونه های نگهداری شده در این شرایط به مدت ۷ روز مقایسه گشته اند. نتیجه به دست آمده در این خصوص آن است که عمل آوری طولانی تاثیر چندانی بر روی مقاومت دراز مدت بتن های دارای میکروسیلیس ندارد. این موضوع در مورد بتن های بدون میکروسیلیس این تحقیق درست نیست. تحقیقات انجام شده در خصوص یافتن ارتباط بین مقاومت و مشخصه های مدول الاستیسیته و مدول الاستیسیته بازگشتی نیز نشان دهنده ی این موضوع است که مدل پیشنهاد شده به وسیله ی آیین نامه *ACI 318* به خوبی این رابطه ها را در بتن های با مقاومت زیاد مشابه این تحقیق پیش بینی می کند.

## کلیده واژه ها

بتن، میکروسیلیس، مقاومت، مدول الاستیسیته، مدول الاستیسیته بازگشتی.

**۱- مقدمه**

بدان معنی نیست که کنترل سایر ویژگی های بتن الزامی نیستند.

مقاومت بتن به عواملی از قبیل ویژگی های مواد تشکیل دهنده ی آن، نسبت های اختلاط، درجه ی آبدار شدن، نرخ بارگذاری، روش آزمایش و هندسه نمونه بستگی دارد. آن دسته از ویژگی های مواد تشکیل دهنده ی بتن که روی مقاومت آن تاثیر می گذارند شامل کیفیت سنگدانه ها، خمیر و ناحیه انتقال می شوند. ویژگی های خمیر به میزان کل خلل و فرج، اندازه و شکل و نحوه پخش آنها، شکل فرآورده های آبدار شدن و میزان پیوستگی بین ذره های جامد آن مربوط می شوند. شرایط آزمایش که شامل سن نمونه، نرخ بارگذاری، روش آزمایش و هندسه نمونه می شود، به مقدار قابل توجهی روی مقاومت اندازه گیری شده موثر است. برای مثال، مقاومت در نمونه های اشباع بین ۱۵ تا ۲۰ درصد کمتر از نمونه های خشک می باشد و مقاومت در برابر بارهای ضربه ای نیز ۲۵ تا ۳۵ درصد بیشتر از مقاومت در هنگام بارگذاری با سرعت معمولی است [۱]. بیشتر بودن مقاومت نمونه های مکعبی از استوانه ای و کاهش مقاومت بتن با افزایش ابعاد نمونه از دیگر موردهایی هستند که می توان به آنها اشاره کرد.

تحقیقات انجام شده در زمینه نوع قالب نشان می دهند که قالب های استوانه ای پلاستیکی  $150 \times 300$  میلیمتری در مقایسه با قالب های فولادی باعث کاهش مقاومت می شوند [۲]. البته در صورت استفاده از قالب های استوانه ای پلاستیکی  $100 \times 200$  میلیمتری کاهش مقاومت چندانی در این تحقیق مشاهده نشده است.

تحقیقات انجام شده در دانشگاه کارولینا نشان می دهد که نمونه های استوانه ای  $100 \times 200$  میلیمتری نسبت به نمونه های  $150 \times 300$  میلیمتری حدود ۵ درصد قویترند [۳]. البته گزارش متناقضی نیز در این زمینه وجود دارد که در آن مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای کوچکتر اندکی کمتر از نمونه های بزرگتر عنوان شده است [۴]. یکی دیگر از محققین پس از انجام ۲۹ آزمایش به این نتیجه رسیده است که تاثیر ابعاد نمونه روی مقاومت فشاری بتن های با مقاومت زیاد قابل نظر کردن است [۵]. نتایج مطالعات دیگری نشان می دهد که نسبت مقاومت نمونه های استوانه ای  $150 \times 300$  میلیمتری به نمونه های  $100 \times 200$  میلیمتری در مقاومت های بین ۲۱ تا ۷۶ مگاپاسکال نزدیک به ۰/۹ است [۶]. بنابراین، متأسفانه

مقاومت فشاری به هیچ وجه تنها مشخصه اصلی بتن سخت شده نیست و موردهایی از قبیل پایداری در برابر تغییر شکل و نفوذ ناپذیری نیز بسیار مهم هستند. اگرچه در حالت کلی پذیرفته شده است که با توجه به مقاومت فشاری بتن می توان در مورد سایر ویژگی های آن نیز قضاوت کرد. به عبارت دیگر می توان عنوان کرد که به طور عمومی افزایش مقاومت فشاری بتن سایر ویژگی های آنرا نیز بهبود می بخشد، اما استثناهای زیادی در این زمینه وجود دارند. برای مثال، افزایش مقدار سیمان مخلوط ممکن است باعث افزایش مقاومت فشاری آن گردد، ولی این مسأله می تواند مقدار جمع شدگی و حتی میزان حساسیت در برابر خرابی های شیمیایی بتن را بیشتر نماید. بنابراین، در نظر گرفتن مقاومت فشاری به عنوان تنها عامل تصمیم گیری برای تعیین نسبت های اختلاط بتن مربوط به یک سازه با کاربری مشخص، درست نیست. در واقع می توان گفت که ویژگی های سیمان هیدراته شده مخلوط به همراه کیفیت و کمیت سنگدانه های موجود در آن عوامل اصلی تعیین کننده ویژگی های بتن هستند. در این مقاله مدول الاستیسیته سکانتی، که یکی از ویژگی های سازه ای بسیار مهم بتن است، در بتن های با مقاومت زیاد دارای میکروسیلیس مورد بحث قرار می گیرد و ارتباط آن با مقاومت فشاری این نوع بتن ها تعیین می شود.

**۲- مقاومت****۲-۱ کلیات**

مقاومت بتن به طور عمومی مهمترین عامل نشان دهنده کیفیت آن است. این موضوع به این دلیل است که میزان مقاومت به طور مستقیم به کیفیت خمیر سیمان سخت شده مربوط می شود. برای مثال، اگر چه مقاومت به طور مستقیم نشان دهنده ی میزان دوام بتن و یا ایستادگی آن در برابر تغییر شکل نیست، اما به شدت به نسبت آب به سیمان بستگی دارد. این نسبت نیز با کنترل میزان تخلخل بتن روی دوام و مقاومت در برابر تغییر شکل آن تاثیر می گذارد. بنابراین، مقاومت بتن می تواند به طور وسیعی در کنترل کیفیت آن مورد استفاده قرار گیرد. البته این موضوع

نویل و بروکس ۲۵٪ عنوان شده است که با نتیجه به دست آمده از این پژوهش به طور کامل هماهنگ است [۸]. نکته جالب توجه این است که در سن ۴۰۰ روزه، مقاومت بتن کنترل این تحقیق و بتن های دارای درصد های متفاوت میکروسیلیس به تقریب با هم برابر شده اند. مورد بالا در سن ۲۸ روزه به هیچ وجه درست نیست و برای مثال، مقاومت بتن دارای ۱۵٪ میکروسیلیس حدود ۲۱٪ بیشتر از بتن کنترل بوده است. بنابراین، به نظر می رسد که اضافه کردن میکروسیلیس، بر خلاف آنچه که در کوتاه مدت مشاهده می شود، تاثیری روی مقاومت بتن در دراز مدت نداشته باشد. اما آزمایش های مقاومت فشاری بر اساس BS 1881: 1983 Part 111 روی نمونه هایی که تا قبل از قرار گرفتن در زیر جک، داخل آب نگهداری شده بودند، انجام شده اند. پس در سازه های واقعی که به طور معمول در حدود یک هفته عمل آوری مرطوب می گردند، ممکن است نتیجه ی بالا درست نباشد. خوشبختانه در این تحقیق سه نمونه مکعبی از هر مخلوط پس از رسیدن به سن ۷ روزه از آب خارج و تا سن ۴۰۰ روزه در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند. در جدول ۲ نتیجه های مقاومت ۴۰۰ روزه نمونه های فوق و نمونه های عمل آمده در آب با یکدیگر مقایسه شده اند. همان طور که ملاحظه می شود، عمل آوری در آب مقاومت بتن کنترل را در این سن حدود ۱۰٪ افزایش داده است ولی به بتن های دارای میکروسیلیس چندان کمکی نکرده است. نکته قابل ذکر دیگر از این مقایسه آن است که بتن های میکروسیلیسی نگهداری شده در محیط آزمایشگاه نسبت به بتن کنترل حدود ۹٪ افزایش مقاومت داشته اند. بنابراین، می توان گفت که میکروسیلیس مقاومت بلند مدت نمونه های در معرض خشک شدن را بالا می برد ولی تاثیری روی مقاومت بلند مدت نمونه های نگهداری شده در آب ندارد. این نکته را نیز نباید از نظر دور داشت که بتن های دارای میکروسیلیس را باید حداقل تا رسیدن به سن ۷ روزه نگهداری مرطوب کرد [۹].

### ۳- مدول الاستیسیته

#### ۳-۱ کلیات

مدول الاستیسیته در حالت کلی به مقاومت فشاری بتن وابسته است. این ارتباط به نوع سنگدانه، نسبت های

در این زمینه اتفاق نظر کاملی وجود ندارد ولی نظریه غالب این است که با افزایش ابعاد نمونه مقاومت فشاری کاهش می یابد.

توسط محققین مختلف گزارش شده است که در محدوده مقاومتی بین ۱۴ تا ۴۹ مگاپاسکال، با افزایش سرعت بارگذاری مقاومت فشاری اندازه گیری شده زیاد می شود [۱]. آقایان احمد و شاه [۷] رابطه زیر را برای تخمین مقاومت تحت اثر بارگذاری خیلی سریع پیشنهاد کرده اند:

$$(f_c)_i = f_c [0.95 + 0.27 \log(\epsilon / f_c)]. \alpha \quad (1)$$

که در آن  $\epsilon$  و  $f_c$  به ترتیب نرخ کرنش بر حسب میکروکرنش بر ثانیه و میزان مقاومت فشاری بر حسب  $psi$  می باشد. ضریب شکل  $\alpha$  برای نمونه های با ابعاد متفاوت از رابطه زیر به دست می آید:

$$\alpha = 0.85 + 0.95(d) - 0.02(h) \quad (2)$$

برای  $h/d \leq 5$

که در آن  $h$  ارتفاع و  $d$  قطر یا حد اقل بعد جانبی نمونه بر حسب اینچ می باشد.

#### ۲-۲ نتیجه های آزمایشگاهی

این بخش به بررسی مقاومت فشاری بتن های دارای درصد های متفاوت میکروسیلیس می پردازد. سنین مورد نظر ۷ و ۱۴ و ۲۸ و ۴۲ و ۹۰ و ۳۶۵ و ۴۰۰ روزه بوده اند. البته همانطور که پیش بینی می شد، مقاومت های ۳۶۵ و ۴۰۰ روزه چندان تفاوتی با یکدیگر نداشتند.

در جدول ۱ نتیجه های مقاومت فشاری نمونه های مکعبی  $100 \times 100 \times 100$  میلیمتر مکعبی در سنین متفاوت آمده اند. همان طور که ملاحظه می شود، افزایش مقاومت بتن های دارای میکروسیلیس پس از رسیدن به سن ۹۰ روزه قابل صرف نظر کردن است. موضوع بالا در مورد بتن بدون میکروسیلیس (بتن کنترل) این تحقیق درست نیست و برای، مثال مقاومت یک ساله آن به ترتیب حدود ۲۶٪ و ۱۴٪ نسبت به مقاومت سنین ۲۸ و ۹۰ روزه رشد داشته است. مقدار رشد مقاومت یک ساله نسبت به ۲۸ روزه بتن بدون میکروسیلیس در کتاب معروف تکنولوژی بتن نوشته

کردن تنش وارد بر نمونه به کرنش اولیه آن مدول الاستیسیته سکانتی را به دست آورد. این مدول در صورت متناسب بودن سرعت بارگذاری و مقدار تنش وارد بر نمونه، به مدول الاستیسیته استاتیکی به طور کامل نزدیک است.

اختلاف، شرایط عمل آوری، نرخ بارگذاری و روش اندازه گیری بستگی دارد. بیشتر اطلاعات موجود مربوط به مدول الاستیسیته استاتیکی است، چرا که اندازه گیری آن نسبت به اندازه گیری مدول الاستیسیته دینامیکی به مراتب ساده تر است. بر طبق آیین نامه ACI 318 مدول الاستیسیته استاتیکی برابر با نسبت تنش در ۴۵ درصد مقاومت بتن به کرنش آن است [۱۰]. البته ASTM C 469 مدول بالا را برابر با نسبت تفاوت تنش بین ۴۰ درصد مقاومت نهایی و تنش مربوط به کرنش ۵۰ میلیونیم به تفاوت بین کرنش مربوط به دو تنش مذکور می داند [۱۱]. در هنگام بارگذاری نمونه های خزش نیز می توان از تقسیم

جدول ۱ مقاومت فشاری نمونه های مکعبی بر حسب مگاپاسکال

نوع بتن	سن بتن در زمان آزمایش						
	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸ روزه	۴۲ روزه	۹۰ روزه	۳۶۵ روزه	۴۰۰ روزه
بدون میکروسیلیس	۴۶	۵۲	۵۸	۶۲	۶۴	۷۳	۷۴
دارای ۶٪ میکروسیلیس	۵۰/۵	۵۸	۶۵	۶۹	۷۱	۷۳	۷۳
دارای ۸٪ میکروسیلیس	۵۲	۶۲	۶۸	۷۱	۷۳	۷۲	۷۳
دارای ۱۰٪ میکروسیلیس	۵۲	۶۱	۶۸	۷۱	۷۴	۷۴	۷۳
دارای ۱۵٪ میکروسیلیس	۵۳	۶۳	۷۰	۷۳	۷۶	۷۵	۷۶

جدول ۲ مقایسه مقاومت ۴۰۰ روزه نمونه های نگهداری شده در شرایط مرطوب و خشک بر حسب مگاپاسکال

شرایط نگهداری	نوع بتن				
	بدون میکروسیلیس	دارای ۶٪ میکروسیلیس	دارای ۸٪ میکروسیلیس	دارای ۱۰٪ میکروسیلیس	دارای ۱۵٪ میکروسیلیس
مرطوب	۷۴	۷۳	۷۳	۷۳	۷۶
خشک	۶۷	۷۲	۷۲	۷۳	۷۴

## ۲-۳ نتایج آزمایشگاهی

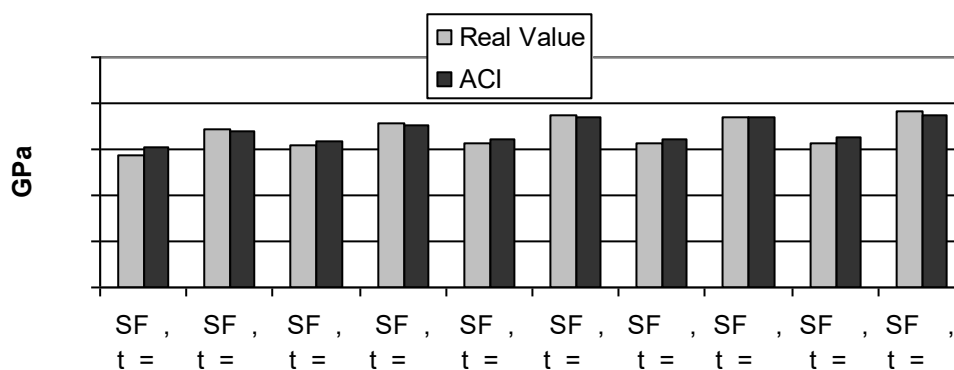
(۳)

$$E_c = 4.7(f_c)^{0.5}$$

که در آن  $f_c$  مقاومت فشاری بر حسب مگاپاسکال نمونه استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ و ارتفاع ۳۰۰ میلیمتر می‌باشد و  $E_c$  مدول الاستیسیته استاتیکی بر حسب گیگاپاسکال است. برای تبدیل مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی به استوانه‌ای با توجه به تحقیقات انجام شده در این زمینه روی بتن توانمند، از ضریب ۰/۹ استفاده شده است [۱۲]. البته محققین در صورت تمایل به استفاده از نمونه های استوانه ای برای تعیین مقاومت فشاری بتن های با مقاومت زیاد، به طور عمومی از نمونه های به قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتیمتر استفاده می کنند [۱۳]. همان طور که در شکل ۱ مشهود است، رابطه ی ۳ با تقریب بسیار خوبی مقدار مدول الاستیسیته بتن‌های دارای میکروسیلیس را پیش‌بینی می‌کند. لازم به ذکر است که یکی دیگر از محققین نیز به این نتیجه رسیده است که فرمول بالا در بتن‌های دارای میکروسیلیس نیز کاربرد دارد [۱۴]

در این تحقیق مدول الاستیسیته سکانتی کلیه نمونه‌های مربوط به آزمایش خزش اندازه‌گیری شده‌اند. این مقدار به طور معمول در محدوده تنش‌های بین ۰/۱۵ تا ۰/۵۰٪ مقاومت بتن اندازه گیری می‌شود [۸]. از آنجا که مدول سکانتی به مقدار تنش و سرعت اعمال آن بستگی دارد، در این پژوهش مقدار تنش برای کلیه نمونه‌ها برابر ۱۰ مگاپاسکال و مدت زمان صرف شده برای اعمال آن به وسیله دستگاه خزش نیز حدود ۱۰ دقیقه بوده است.

در جدول ۳ مدول الاستیسیته سکانتی ۷ و ۲۸ روزه نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۸ و ارتفاع ۲۷ سانتیمتر به همراه مدول الاستیسیته پیشنهادی آیین نامه *ACI 318* [۱۰] و مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی ۱۰۰ میلیمتری آمده‌اند. لازم به ذکر است که آبنند کردن نمونه‌ها تاثیر قابل توجهی روی مدول الاستیسیته آنها نداشته است. همانطور که ملاحظه می‌شود، مدول الاستیسیته و مقاومت با بیشتر شدن میکروسیلیس افزایش می‌یابند. رابطه پیشنهادی آیین نامه بالا برای تعیین مدول الاستیسیته عبارت است از:



شکل ۱ پیش بینی مدول الاستیسیته ۷ و ۲۸ روزه بتن های مورد بحث

پیشنهادی آیین نامه *ACI 318* [۱۰] و مقاومت فشاری آنها آمده است. همان طور که ملاحظه می شود، سن بارگذاری و درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان تاثیر چندانی بر روی مدول الاستیسیته بازگشتی بتن ندارند. در ضمن در این سن آیین نامه *ACI 318* [۱۰] با تقریب بسیار خوبی مدول الاستیسیته بازگشتی بتن های دارای میکروسیلیس را از روی مقاومت فشاری آنها پیش بینی کرده است.

مدول الاستیسیته بازگشتی نیز در کلیه نمونه ها اندازه گیری شده است. لازم به یادآوری است که نمونه های بارگذاری شده در سنین ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب به مدت ۳۹۶ و ۳۷۶ روز تحت اثر بار بوده اند و در سنین ۴۰۳ و ۴۰۴ روزه باربرداری شده اند. مقاومت این بتن ها در سنین ۴۰۳ و ۴۰۴ روزه برابر مقاومت اندازه گیری شده آنها در سن ۴۰۰ روزه در نظر گرفته شده است. در جدول ۳ مدول الاستیسیته بازگشتی نمونه های بالا به همراه مدول الاستیسیته

جدول ۳ مقاومت و مدول الاستیسیته بازگشتی ۴۰۰ روزه بتن های مورد بحث

نوع بتن و سن بارگذاری		مدول اندازه گیری شده (GPa)	مقاومت ۴۰۰ روزه نمونه مکعبی (MPa)	مدول پیشنهادی <i>ACI 318</i> (GPa)
بتن بدون میکروسیلیس	۷ روزه	۳۸	۷۴	۳۸/۳۶
	۲۸ روزه	۳۸/۱۲		
بتن دارای ۰.۶٪ میکروسیلیس	۷ روزه	۳۸/۲۳	۷۳	۳۸/۱
	۲۸ روزه	۳۸/۱		
بتن دارای ۰.۸٪ میکروسیلیس	۷ روزه	۳۸/۱	۷۳	۳۸/۱
	۲۸ روزه	۳۸/۲۵		
بتن دارای ۰.۱۰٪ میکروسیلیس	۷ روزه	۳۸/۲۱	۷۳	۳۸/۱
	۲۸ روزه	۳۸/۳		
بتن دارای ۰.۱۵٪ میکروسیلیس	۷ روزه	۳۸/۶۴	۷۶	۳۸/۸۷
	۲۸ روزه	۳۸/۷۵		

#### ۴- نتیجه گیری

کارهای آزمایشگاهی انجام شده در این تحقیق نشانگر آن است که افزایش مقاومت بتن های دارای میکروسیلیس پس از رسیدن به سن ۹۰ روزه قابل صرف نظر کردن است. همچنین افزایش میکروسیلیس مقاومت کوتاه مدت (۲۸ روزه) نمونه های نگهداری شده در آب را افزایش می دهد ولی تاثیری روی مقاومت بلند مدت (۴۰۰ روزه) آنها ندارد. البته میکروسیلیس مقاومت دراز مدت نمونه هایی که صرفاً در سنین اولیه نگهداری مرطوب شده اند را در مقایسه با بتن کنترل افزایش می دهد. به عبارت دیگر عمل آوری مرطوب

طولانی، مقاومت بتن های بدون میکروسیلیس را بالا می برد ولی کمک چندانی به افزایش مقاومت نمونه های دارای میکروسیلیس نمی کند.

آب بند کردن نمونه ها تاثیر قابل توجهی روی مقدار مدول الاستیسیته آنها ندارد. همچنین آیین نامه ACI 318 به خوبی مدول الاستیسیته بتن های دارای میکروسیلیس را با توجه به مقاومت فشاری آنها پیش بینی می کند. سن بارگذاری و درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان نیز تاثیر چندانی بر روی مدول الاستیسیته بازگشتی بتن ندارند.

#### ۵- مراجع

- [1] Shah, S.P. and Ahmad, S.H., High performance concrete and applications, Edvard Arnold, London, (1994).
- [2] Carrasquillo, P.M. and Carrasquillo, R.L. "Effect of using unbounded capping systems on the compressive strength of concrete cylinders," ACI Materials Journal, May-June, 141-147 (1988).
- [3] Leming, M.L. "Properties of high strength concrete: an investigation of high strength concrete characteristics using materials in North Carolina," Research report FHWA/NC/88-006, Department of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh, N.C., July (1988).
- [4] Carrasquillo, P.M. and Carrasquillo, R.L. "Evaluation of the use of current concrete practice in the production of high-strength concrete," ACI Materials Journal, 85, 1, January-February, 49-54 (1988).
- [5] Moreno, J. "The state of the art of high-strength concrete in Chicago: 225 W. Wacker Drive," Concrete International, January, 35-39 (1990).
- [6] Carrasquillo, R.L., Nilson, A.H. and Slate, F.O. "Properties of high strength concrete subject to short-term loads," ACI Journal, May-June 1981, 171-178.
- [7] Ahmad, S.H. and Shah, S.P. "Behavior of hoop confined concrete under high strain rates," ACI Journal, 82, 5, September-October, 634-647 (1985).
- [8] Neville, A.M. and Brooks J.J., Concrete technology, Longman, London, (1990).
- [9] Concrete Society, "Microsilica in Concrete," Technical Report No. 41, TR.041, The Concrete Society, Wexham, Slough, (1993).
- [10] ACI Committee 318, Building code requirements for reinforced concrete, American Concrete Institute, (1995).
- [11] American Society for Testing and Materials. ASTM C 469. "Standard test method for static modulus of elasticity and poisson's ratio of concrete in compression," Vol. 0402, Philadelphia, 238-241 (1994).
- [12] Imam, M., Vandewalle, L. and Mortelmans, F. "Are current concrete strength tests suitable for high strength concrete?" Materials and Structures, 28, 384-391 (1995).
- [13] Vincent, E.C. "Compressive creep of a lightweight, high strength concrete mixture," M.Sc. thesis, Department of Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 2003.
- [14] Brooks, J.J. "How admixtures affect shrinkage and creep," Magazine of the American Concrete Institute-an international technical society, 35-38 (1999).