

# بررسی مشخصات مقاومتی و الاستیکی بتن غلتکی

علی اکبر رضانیاپور  
استاد

حسن رحیمی  
دانشیار

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

فرزاد خدیوپور  
کارشناسی ارشد

تأسیسات آبیاری

## چکیده

در تحقیق حاضر روند تغییرات مقاومت های فشاری و کششی و مدول الاستیسیته نمونه های بتن غلتکی با تغییر در مقدار آب و سیمان مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور مخلوط هایی با مقدار سیمان ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در متر مکعب ساخته شد که در هر کدام از این مخلوط ها آب از مقدار خیلی کم که نمونه ها پس از خارج شدن از قالب ریزش می نمودند، تا مقدار زیاد که برای تراکم نمونه ها از ویبراتور بتن استفاده گردید، تغییر می نمود. مخلوط در سه لایه در قالب های استوانه ای ۱۲ × ۶ اینچ متراکم و پس از ۲۸ روز نگهداری در شرایط استاندارد مورد آزمایش مقاومت فشاری و کششی قرار گرفتند. برای هر مقدار آب و سیمان سه نمونه مقاومت فشاری و سه نمونه مقاومت کششی ساخت شد. با اندازه گیری کرنش در آزمایش مقاومت فشاری منحنی تنش تغییر شکل و در نتیجه مدل الاستیسیته نمونه ها به دست آمد. نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری و کششی، نشان دهنده وجود حداکثر مقاومت در مقدار آب ۱۱۰ کیلوگرم در متر مکعب می باشد. همچنین نسبت مقاومت کششی به فشاری با افزایش مقدار سیمان و در نتیجه افزایش مقاومت کاهش می یابد. نتیجه بررسی های انجام شده روی منحنی های تنش تغییر شکل نشان دهنده کاهش مدول الاستیسیته با افزایش مقدار آب می باشد.

## *Investigation on Strength and Elastic Properties of RCC*

A. A. Ramezaniapour  
Professor

H. Rahimi  
Assist. Professor

Amirkabir Univ. of Tech.

Tehran Univ.

F. Khadivpour  
Graduate Student,

Tehran Univ.

## Abstract

Roller compacted concrete is a concrete of no - slump consistency in its unhardened state and is transported, placed and compacted using earth and rock-fill construction equipments. Searching for a new type of dam that would combine the safety advantages of concrete and the efficiencies of embankment dam construction, led to the development of roller-compacted concrete dam.

In this research, effects of different levels of water and cement content on technical properties of RCC was studied in the laboratory conditions. The cement contents used were 100, 200 and 300 kilogram per cubic meter of the mix and the water content varied from very low to high. For compaction and casting of RCC specimens, 6" 12" cylindrical steel moulds were used.

For every RCC mixture, six specimens were determined. By measurement of strain in compressive strength test, the elasticity modulus of specimens were calculated. It was found that maximum compressive and tensile strengths are achieved in the water content of 110 kilogram per cubic meter. With increasing cement content, tensile to compressive strength ratios were decreased. The modulus of elasticity of all specimens decreased with increasing of water content.

## ۱- مقدمه

بتن غلتکی، بتنی است با اسلامپ صفر که عملیات حمل، پخش و تراکم آن توسط ماشین آلات عملیات خاکی صورت میگیرد. نتیجه جستجو و تحقیق در جهت دست یابی به نوع جدیدی از سدها که دارای ایمنی سدهای بتنی و راندمان و سرعت بیشتر عملیات اجرایی سدهای خاکی باشند، منجر به ابداع و توسعه روش احداث سدهای بتنی غلتکی گردید. در تحقیق حاضر اثر تغییر مقدار آب بر روی مشخصات مقاومتی و همچنین الاستیکی بتن غلتکی در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- تاریخچه

از تمامی سدهای ساخته شده در دنیا تا سال ۱۹۵۰ (به جز سدهای کشور چین)، ۳۸ درصد از آنها که ارتفاع ۱۵ متر یا بیشتر داشتند، از بتن ساخته شده بودند. در سال های ۱۹۵۱ تا ۱۹۷۷ درصد سدهای بتنی ساخته شده به ۲۵ درصد از کل سقوط نمود. طی سال های ۱۹۷۸ تا ۱۹۸۲ این رقم کاهش بیشتری یافته و به ۱۶/۵ درصد رسید [۴].

این روند کاهش عمومی و مداوم ساخت سدهای بتنی، طی دوره ای رخ می دهد که اجرای سدهای بتنی قوسی در دره های باریک رو به فزونی می باشد. بنابراین بیشتر کاهش در دره های عریض رخ داد، در

جایی که سدهای بتنی وزنی توسط سدهای خاکی با سنگریز ارزان قیمت جایگزین می شدند.

علاقه برای کاهش سدهای بتنی منجر به تشکیل دو جلسه مهم کارشناسان جامعه سدسازی در ایالات متحده در کنار کنفرانس آسیلومار در کالیفرنیا گردید. اولین جلسه در سال ۱۹۷۰ تحت عنوان «احداث سدهای بتنی» و دومی در سال ۱۹۷۲ تحت عنوان «اجرای اقتصادی سدهای بتنی» برگزار شد. در جلسه اول جروم رافائل در مقاله خود تحت عنوان «سدهای وزنی بهینه» نظریات جدیدی را مطرح نمود که اساس آنها از تئوری و کاربرد خاک سیمان منشاء می گردید. رابرت کانن با مقاله خود تحت عنوان «اجرای سدهای بتنی با استفاده از روش های تراکم خاک» که در سال ۱۹۷۲ در دومین جلسه کنفرانس آسیلومار ارائه نمود، نظریات رافائل را یک قدم جلوتر برد. استفاده از بتن غلتکی در سال ۱۹۷۴ تا ۱۹۸۶ برای مرمت سد تارپلا در پاکستان اثر قابل ملاحظه ای بر توسعه سدهای بتن غلتکی گذاشت.

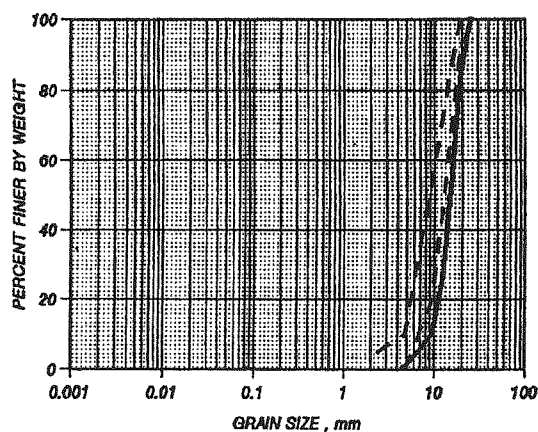
اولین استفاده مؤثر بتن غلتکی در ایالات متحده در سال ۱۹۷۶ برای احداث نیروگاه هسته ای بلی فونت بود که از بتن غلتکی برای بالا آوردن تکیه گاه ها در زیر ساختمان توربین استفاده شد. در سال ۱۹۸۰ ساخت سد وزنی بتنی در ژاپن با استفاده از تکنیک بتن غلتکی با احداث سد شیماجی گاوا آغاز شد. در سال ۱۹۸۲ سد

برای تعیین مقاومت های فشاری و کششی از یک دستگاه پرس هیدرولیکی به ظرفیت ۳۰۰ تن استفاده گردید. در آزمایش های مقاومت فشاری، کرنش توسط گیج کرنش با دقت ۰/۰۰۲ میلیمتر اندازه گیری شد.

### ۳-۳- روش آزمایش

در این تحقیق پس از انجام آزمایش های شناسایی روی مصالح مورد استفاده نمونه های بتن غلتکی تهیه و مقاومت های فشاری، کششی و مدول الاستیسیته نمونه ها با تغییر مقدار آب و سیمان و تحت شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. آب از مقادیر خیلی کم که نمونه ها پس از خارج شدن از قالب ریزش می کردند تا مقادیر زیاد که وارد محدوده بتن معمولی می گردید، تغییر می نمود. سیمان نیز با سه مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در متر مکعب برای بررسی اثر تغییر مقدار سیمان انتخاب شد.

روند انجام آزمایش ها در جهت تعیین رطوبت بهینه که در آن حداکثر مقاومت حاصل می گردد، می باشد. پس از ساخت و نگهداری نمونه های بتن غلتکی به مدت ۲۸ روز در مخازن آب و تحت شرایط استاندارد، مقاومت های فشاری و کششی آنها تعیین گردید. همچنین در آزمایش مقاومت فشاری کرنش نمونه ها تحت تأثیر افزایش بار اندازه گیری و باتوجه به منحنی های تنش تغییر شکل مدول الاستیسیته تعیین شد. از هر مخلوط شش نمونه ساخته شده که سه نمونه برای انجام آزمایش مقاومت فشاری و سه نمونه برای تعیین آزمایش مقاومت کششی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل (۱) منحنی دانه بندی شن بادامی

ویلوکریک در اورگن امریکا به ارتفاع ۵۲ متر در مدت کمتر از ۵ ماه ساخته شد. در سال ۱۹۸۴، بتن غلتکی با طراحی و ساخت سد کوپر فیلد به ارتفاع ۴۰ متر در استرالیا به نیمکره جنوبی زمین راه یافت. ساخت این سد فقط ۱۰ ماه به طول انجامید [۴]. از سال ۱۹۸۰ به بعد ساخت سدهای بتن غلتکی افزایش یافت و تاکنون در حدود ۱۷۲ سد در دنیا از بتن غلتکی ساخته شده است.

### ۳- مواد و روش ها

#### ۳-۱- مصالح

مصالح مورد استفاده در تهیه نمونه های بتن غلتکی عبارت بودند از: شن نخودی، شن بادامی، ماسه، سیمان و آب که مصالح سنگی از معادن شهریار کرج تهیه گردیدند. ماسه مصرفی، ماسه رودخانه با مدول نرمی ۲/۵۳ است و شن بادامی و نخودی باتوجه به حدود دانه بندی ASTM با نسبت ۴ به ۱ با هم مخلوط گردیدند که منحنی دانه بندی شن نخودی و بادامی و ماسه و مخلوط شن نخودی و بادامی در شکل های ۱ تا ۴ نشان داده شده است. سیمان مورد استفاده، سیمان پرتلند تیپ I شرکت سهامی عام سیمان فارس - خوزستان، مجتمع صنعتی سیمان آبیگ و آب مصرفی آب آشامیدنی شهرستان کرج می باشد.

#### ۳-۲- لوازم مورد استفاده

ابزار و وسایل مورد استفاده در این تحقیق، شامل وسایل ساخت نمونه های بتن غلتکی و انجام آزمایش مقاومت های فشاری و کششی و اندازه گیری کرنش می باشد.

برای ساخت نمونه ها از قالب های استوانه ای ۱۲×۶ اینچ فولادی استفاده گردید. داخل قالبها قبل از عمل تراکم با یک لایه نازک روغن برای جلوگیری از چسبیدن بتن به جداره پوشانده شد و بتن در سه لایه در داخل قالب ریخته و متراکم گردید. برای تراکم لایه آخر از یک طوقه استفاده شد که شبیه به طوقه قالب های تراکم استاندارد خاک می باشد.

پس از ریختن هر لایه، مخلوط توسط چکش و بیره که یک چکش الکتریکی معروف به چکش کانگو مدل ۶۳۸ می باشد، با فرکانس ۵۰ هرتز به مدت ۴۵ ثانیه متراکم گردید. زمان ۴۵ ثانیه طبق برآورد کائن، زمان لازم جهت پوشیده شدن تمام سطح نمونه آزمایشی استوانه ای از شیره بتن می باشد [۶].

فشاری و کششی براساس میانگین‌گیری از مقاومت سه نمونه استوانه‌ای انجام شد. نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های بتن غلتکی در شکل ۵ ارائه گردیده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌گردد حداکثر مقاومت فشاری برای مخلوط‌های حاوی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در متر مکعب سیمان در رطوبت بهینه برابر با ۱۱۰ کیلوگرم در مترمکعب آب بدست آمده است. مقاومت با کاهش مقدار آب تا مقدار بهینه که در آن حداکثر مقاومت فشاری به دست می‌آید، افزایش می‌یابد. با توجه به ثابت بودن انرژی تراکمی، مقاومت فشاری فقط به مقدار سیمان بستگی پیدا می‌کند که در نتیجه با افزایش مقدار سیمان این مقاومت نیز افزایش یافته است. استفاده از آب کمتر از مقدار بهینه باعث کاهش مقاومت می‌گردد که دلیل آن وجود خلل و فرج زیاد و تراکم پایین در مخلوط می‌باشد. با توجه به شیب منحنی می‌توان نتیجه گرفت که اثر منفی وجود خلل و فرج در مخلوط بیشتر از اثر منفی افزایش مقدار آب می‌باشد.

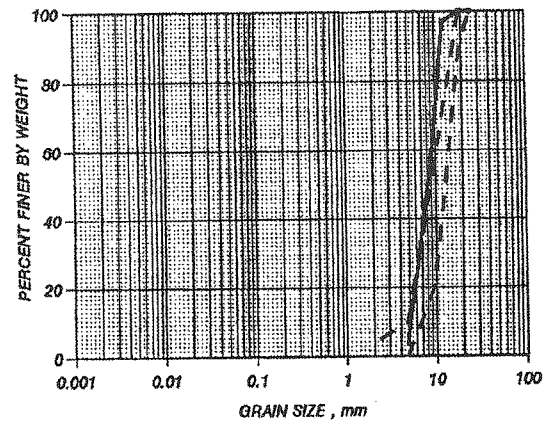
نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های مقاومت کششی ۲۸ روزه نمونه‌های بتن غلتکی در شکل ۶ ارائه گردیده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد حداکثر مقاومت کششی همانند مقاومت فشاری در رطوبت بهینه برابر با ۱۱۰ کیلوگرم در متر مکعب آب به دست آمده است. روند تغییرات مقاومت کششی نیز همانند مقاومت فشاری بوده و با توجه به شیب منحنی‌ها می‌توان نتیجه گرفت که اثر منفی وجود خلل و فرج در مخلوط بیشتر از اثر منفی افزایش مقدار آب می‌باشد.

موضوع قابل توجه در مورد مقاومت کششی رابطه آن با مقاومت فشاری است که در شکل ۷ نشان داده شده است. در این تحقیق رابطه (۱) بین مقاومت کششی و فشاری نمونه‌های بتن غلتکی به دست آمده است.

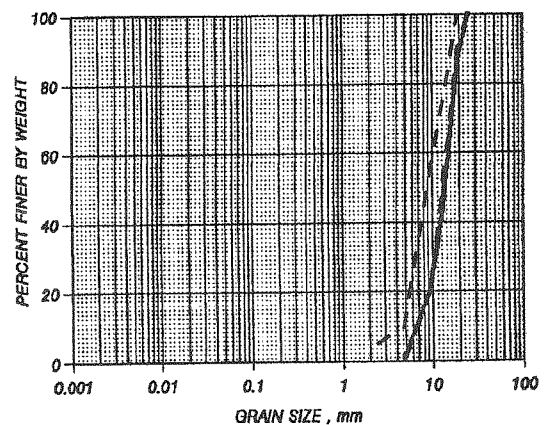
$$f_{st} = 0.176 f_c^{0.892} \quad (1)$$

که در این رابطه  $f_c$ ،  $f_{st}$  به ترتیب مقاومت‌های فشاری و کششی ۲۸ روزه نمونه‌ها بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می‌باشد. در استاندارد ACI رابطه بین مقاومت فشاری و کششی نمونه‌های بتن معمولی به صورت رابطه (۲) توصیه شده است [۷].

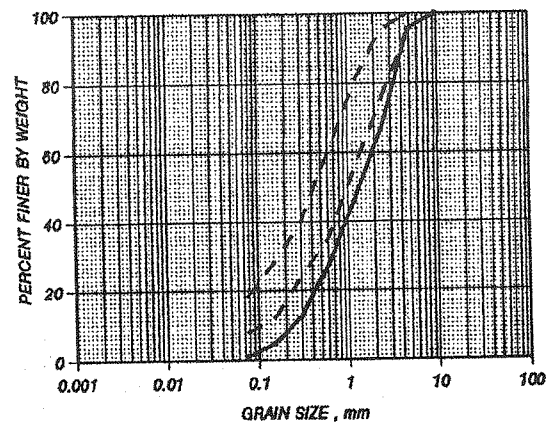
$$f_{st} = 1/78 f_c^{0.5} \quad (2)$$



شکل (۲) منحنی دانه بندی شن نخودی



شکل (۳) منحنی دانه بندی شن



شکل (۴) منحنی دانه بندی ماسه با حدود دانه بندی بتن غلتکی

## ۴ - ارائه نتایج و بحث

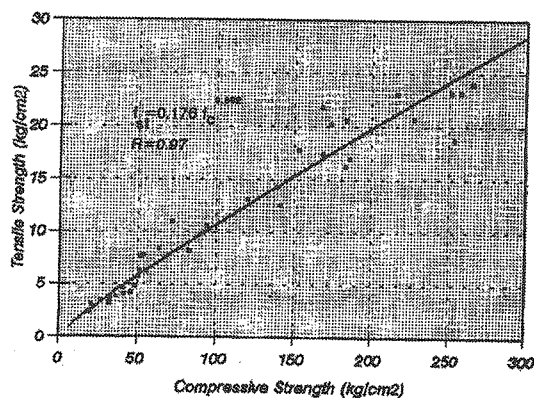
برای هر مقدار آب و سیمان تعیین مقاومت‌های

نشان می‌دهند و بعد از آن روند کاهشی دارند، تغییرات مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته در مترمکعب و دیگری بعد از آن مورد بررسی قرار گرفته که روابط نمایی میان آنها به صورت زیر به دست آمده است.

$$E = 898 f_c^{0.708} \quad W < 110 \text{ kg/m}^3 \quad (3)$$

$$E = 2992 f_c^{0.408} \quad W > 110 \text{ kg/m}^3 \quad (4)$$

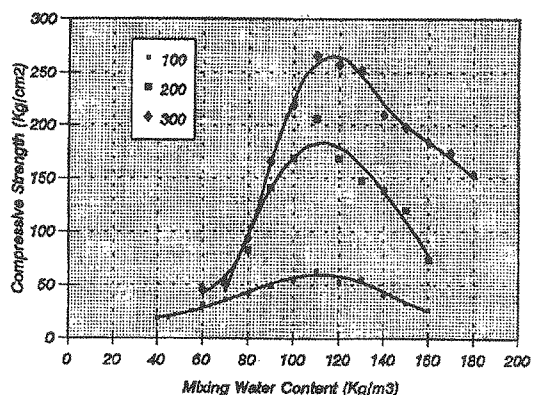
در این رابطه E مدول الاستیسیته و  $f_c$  مقاومت فشاری نمونه های بتن غلتکی و هر دو بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشند. شکل های ۹ و ۱۰ برآزش این معادلات را بر نقاط به دست آمده نشان می دهند. با مقایسه روابط به دست آمده و منحنی های مربوطه ملاحظه می گردد که بازاء هر مقدار از مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته برای مقدار آب اختلاف کمتر از ۱۱۰ کیلوگرم در مترمکعب بزرگتر از مدول الاستیسیته با افزایش مقدار آب اختلاط کاهش می یابد که علت آن بارزتر شدن رفتار خمیری بتن به علت افزایش مقدار ملات می باشد.



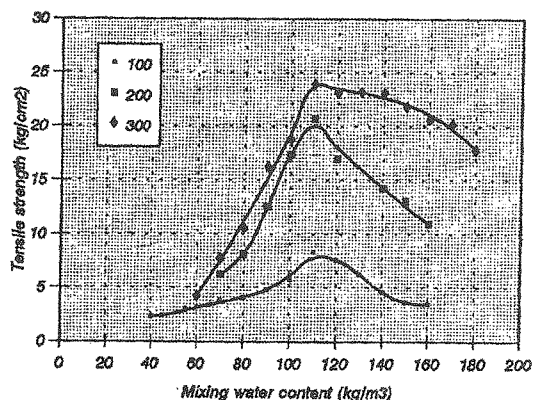
شکل (۷) رابطه بین مقاومت فشاری و کششی برای نمونه های بتن غلتکی

## ۵- نتیجه گیری

مجموعه نتایج حاصل در این تحقیق نشان می دهد که مقاومت با کاهش مقدار آب در مخلوط بتن غلتکی به شرط ایجاد تراکم کامل افزایش می یابد. حداکثر مقاومت برای مخلوط معین در رطوبت بهینه مطابق با انرژی تراکمی مشخص شده برای مصالح به دست می آید. آب اختلاط کمتر از این مقدار بهینه مقاومت کمتری ایجاد می کند و



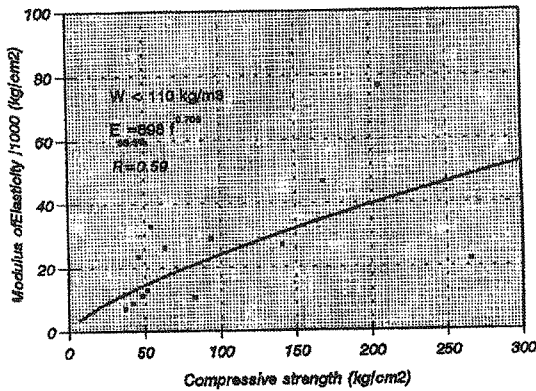
شکل (۵) منحنی های تغییرات مقاومت فشاری برای مخلوط های حاوی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در مترمکعب سیمان با تغییر مقدار آب



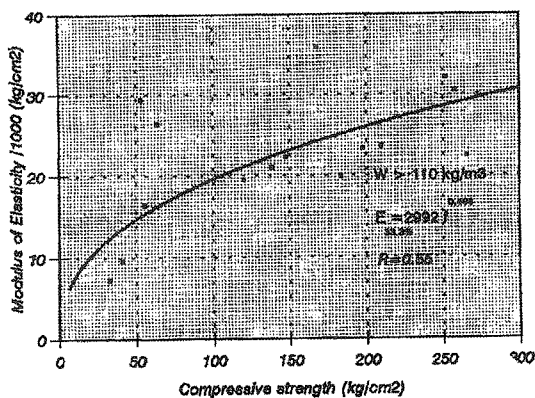
شکل (۶) منحنی های تغییرات مقاومت کششی برای مخلوط های حاوی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در متر مکعب سیمان با تغییر مقدار آب

که در این رابطه نیز  $f_c$  و  $f_{st}$  مقاومت کششی و فشاری برحسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشد. مقایسه این دو رابطه در شکل ۸ صورت گرفته است. همانطور که در این شکل مشاهده می گردد، منحنی حاصل برای بتن غلتکی در زیر منحنی بتن معمولی قرار گرفته که در نتیجه بازاء یک مقدار معین مقاومت فشاری، مقاومت کششی بتن غلتکی کمتر از بتن معمولی به دست خواهد آمد و از طرف دیگر با توجه به مقاومت فشاری بالاتر بتن غلتکی، نسبت مقاومت کششی به فشاری بتن غلتکی کمتر از بتن معمولی می باشد.

براساس منحنی های تنش - کرنش مدول الاستیسیته طبق استاندارد BS در یک سوم مقاومت نهایی تعیین گردید [۵ و ۷]. با توجه به اینکه مقاومت فشاری مخلوط حاوی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در مترمکعب سیمان تا مقدار آب ۱۱۰ کیلوگرم در متر مکعب روند افزایشی را



شکل (۹) رابطه بین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته در یک سوم مقاومت نهایی برای مقدار آب کمتر از ۱۱۰ کیلوگرم در متر مکعب



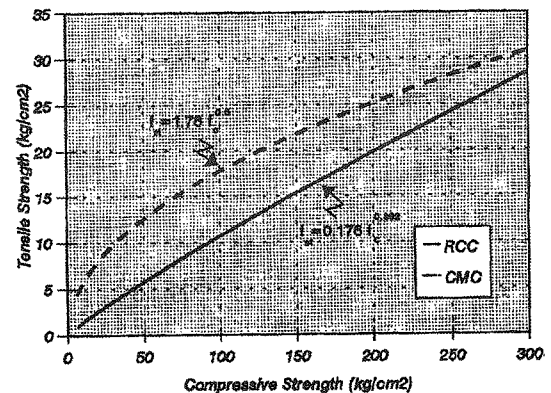
شکل (۱۰) رابطه بین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته در یک سوم مقاومت نهایی برای مقدار آب بیشتر از ۱۱۰ کیلوگرم در متر مکعب

این امر دلیلی است بر این که وجود خلل و فرج در مخلوط اثر منفی بیشتری نسبت به اثر منفی افزایش آب در مقاومت دارد. با ثابت شدن مقدار آب و انرژی تراکمی، مقاومت به مقدار سیمان موجود بستگی پیدا می کند. مقاومت با افزایش سن و مقدار مصالح سیمانی در مخلوط نیز افزایش می یابد.

مدول الاستیسیته با افزایش مقدار آب در مخلوط بتن غلتکی کاهش می یابد، که علت آن بارزتر شدن رفتار خمیری بتن به علت افزایش مقدار ملات می باشد.

## تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته شده از یک طرح تحقیقاتی است که اعتبارات آن توسط معاونت پژوهشی دانشگاه تهران تأمین گردیده است. مؤلفین بدینوسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت مذکور و نیز معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی اعلام می دارند.



شکل (۸) مقایسه رابطه مقاومت های فشاری و کششی در بتن غلتکی (RCC) و بتن معمولی (NC)

## مراجع

- Roller Compacted Concrete Dams.", McGraw-Hill Book Co. New York, P298.
- [5] LA Londe, W.J.R. and Janes, M.F. (1961). "Concrete Engineering Handbook, McGraw-Hill Book Co. New York, P 1-48.
- [6] Rahimi, H. (1987). "Laboratory Investigation on Concrete For Roller Compacion", Research Project, P 64.
- [7] Wang, C. K. and Salmon C.G. (1979). "Reinforced Concrete Design", Harper and Row Publishers, P 918.
- [۱] رضانیانپور، علی اکبر، م. شاه نظری ۱۳۶۹، تکنولوژی بتن، انتشارات علم و صنعت، ۴۶۵ صفحه.
- [2] ACI Committee 207. (1988). "Roller compacted Mass Concrete." Report 207. 5R.
- [3] American Society of Civil Engineers. (1994). "Roller Compacted Concrete." Technical Engineering and Designing Guides as Adupted From The US ARMY CORPS OF ENGINEERS, No. 5.
- [4] Hansen, K. D. and Reinhard, W.G. (1991)."