بررسی و مطالعه مشخصات مکانیکی یک مصالح جدید "بتن سبک آهکی"

دکتر علیرضا رهایی

استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده :

به منظور کاهش آثار ثقلی و اقتصادی‌تر نمودن مصالح بتنی مشخصات مکانیکی یک مصالح جدید تحت عنوان بتن سبک آهکی مورد بررسی قرار گرفته است. در این ارتباط با جایگزینی بخشی از سیمان مصرفی با آهک و تغییر مقادیر آب، سیمان و مصالح سنگی، نمونه‌های مختلف ساخته شده و با انجام آزمایشهای لازم طرح اختلاط بهینه مشخص گردیده است. سپس در جهت افزایش مقاومت مکانیکی این مصالح، اثر محیط گازکربنیک و انواع مواد مضاف در زمانهای مختلف برآن بررسی شده است. در نهایت منحنی تغییرات مقاومتهای فشاری وکششی برحسب زمان برای حالتهای مختلف ترسیم گردیده و توصیه‌های لازم در مورد ترکیب بتن و مواد مضاف مناسب ارائه شده است.

Investigation into a New Material " Light - Weight Lime Concrete "

Ali Reza Rahai , Ph.D.

Assistant Prof . of Civil Engineering Dept.
Amirkabir University of Technology

ABSTRACT:

For the purpose of acheiving a light-weight concrete and therefore to make it more economic, mechanical properties of a new composite, called light-weight lime concrete was studied.

For this research, a portion of the cementing material was replaced by lime, and then by changing the water-cement ratio and the aggregate quantities, a large number of specimens were made. After testing the specimens in appropriate ways, the optimum mix design was derived.

In order to increase the strength of the new composite,the effect of carbonite oxide (co_2) and different additives were investigated.

مقدمه

بیش از یک و نیم قرن است که استفاده از بتن به‌عنوان یک مصالح بادوام، مقاوم، شکل‌پذیر و اقتصادی در ارتباط با اجرای سازه‌های خاکی، آبی و روزمینی مطرح است و پیدایش آن را می‌توان انقلابی شگرف در صنعت ساختمان نامید. این مصالح با وجود مزایای متعدد و بی‌نظیر دارای نقاط ضعیفی نیز هست که عمده آن را در اثر ثقلی قابل توجه و مقاومت کششی ضعیف

می‌توان خلاصه نمود. در چند دهه اخیر مطالعات و تحقیقات زیادی در جهت رفع این اشکالات بعمل آمده که مهمترین نتایج آن حصول مصالح بتن سبک، بتن پیش تنیده و تکنیک پیش ساختگی می‌باشد. بتن‌های سبک معمولاً با استفاده از مصالح سنگی سبک، ایجاد حباب هوا در بتن و یا حذف مواد ریز دانه و لذا ایجاد فضای خالی در بتن تولید می‌شوند. با عنایت به کاربرد بسیار وسیع بتن سبک در اجرای ساختمانها و پلها، در تحقیقات انجام گرفته که نتایج آن در این مقاله عرضه می‌گردد، مسأله طرح اختلاط و مشخصات مکانیکی یک محصول جدید از بتن سبک هوازا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شرح مقاله

بتن سبک هوازا متشکل از سیمان، آب و مصالح سنگی است. بر این مجموعه غالباً یک نوع مواد شیمیایی مثل پورآلومینیوم می‌افزایند که در حین عمل اختلاط با انجام یک واکنش شیمیایی ایجاد حباب هوا نموده (تا حدود ۷٪ حجم بتن) و بدین ترتیب مجموعه حاصله سبک می‌شود. این بتن دارای وزن مخصوص نسبتاً کم (۰/۵ تا ۱/۸ تن بر متر مکعب)، نفوذپذیری ضعیف و مقاومت مکانیکی مناسب (تابع وزن مخصوص) می‌باشد. یکی از مشکلات عمده بتن‌های سبک هوازا، عدم پخش منظم حبابهای هوا در مخلوط و بعضاً خروج این حبابها در حین عمل آوردن است. لذا در حین انجام این تحقیقات مقرر گردید علاوه بر مواد فوق‌الذکر، یک ماده چسبنده نیز به مخلوط مصالح افزوده شود تا ضمن افزایش چسبندگی (و مقاومت کششی) بتن حاصله و پخش منظم حباب‌ها، از خروج آنها نیز جلوگیری نماید. همچنین یکی از اهداف عمده در مطالعه مشخصات فنی و طرح اختلاط، اقتصادی‌تر نمودن بتن حاصله است. لذا با توجه به منابع وسیع آهک موجود در کشور و خاصیت چسبندگی آهک مقرر گردید این مصالح جایگزین بخشی از سیمان مصرفی گردد. بدین ترتیب صرفه‌جویی عمده‌ای در مصرف سیمان که تنها مواد کارخانه‌ای تشکیل دهنده بتن است به‌عمل آمده و بهای تولید نیز کاهش خواهد یافت. بتن سبک حاصله در ساخت انواع اجزای باربر سبک مثل تیرچه‌های پیش ساخته و بلوک، تیغه‌های پیش ساخته، قطعات پیش دال و غیره کاربرد خواهد داشت.

۱) طرح مخلوط اپتیمم

با توجه به تحقیقات مقدماتی اولیه مقرر گردید اجزای تشکیل دهنده بتن سبک آهکی شامل موارد زیر باشد:

الف) سیمان با درصدی آهک همراه با مقدار کمی از مواد چسبنده

ب) آب همراه با یک ماده شیمیایی تولید کننده حباب هوا

ج) ماسه (و احتمالاً دانه‌های سبک از پوکه معدنی ... و غیره)

برای تعیین طرح مخلوط اپتیمم تعداد زیادی نمونه‌های استوانه‌ای (به قطر ۱۶ و ارتفاع ۳۲ سانتیمتر) برای بررسی زمان گیرش و نمونه‌های مکعب مستطیل ۱۶×۴×۴ سانتیمتر برای تعیین مقاومت مکانیکی ساخته و در زمانهای مختلف مورد آزمایش واقع شدند. در هر حالت وزن مخصوص اندازه‌گیری شده و شرایط مطلوب مربوط به حالتی است که با کمترین وزن مخصوص بالاترین مقاومت فشاری را عرضه کند. پارامترهای متغیر شامل: نوع مواد چسبنده و تولیدکننده حباب، نسبت آب به سیمان، سیمان به آهک و ماسه به سیمان است.

۱-۱) با توجه به بررسی انواع متداول مواد شیمیایی و مشاهده رفتار بتن تازه و سخت شده ماده هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به‌عنوان چسبنده و ماده C.F.P.I.ALD به عنوان تولید کننده حباب هوا انتخاب شدند. از انواع مواد دیگر آزمایش شده می‌توان از متوسل و سیکاائر نام برد. همچنین در ارتباط با مقدار مواد مصرفی نیز آزمایشهای زیادی به‌عمل آمد که در نهایت وزن مواد چسبنده و ایجادکننده حباب هوا به‌ترتیب معادل سه و شش در هزار (نسبت به وزن مخلوط سیمان و آهک) تعیین گردید.

۱-۲) نمونه‌های متعددی با نسبت وزنی آهک به مخلوط سیمان و آهک معادل ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ... نسبت ماسه به مجموعه سیمان و آهک به میزان ۱ و ۲ ساخته و مورد آزمایش واقع شدند. نتایج حاصله در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است. بر طبق مقادیر موجود با افزایش مقدار آهک، مقادیر مقاومت مکانیکی تا حدی کاهش می‌یابد.

۲) کربناتاسیون بتن سبک آهکی

با توجه به وجود درصد قابل ملاحظه‌ای آهک، اثر محیط گاز کربنیک در بالابردن مقاومت مکانیکی مثبت بنظر می‌رسد. لذا برای تعیین این اثر، تعدادی از نمونه‌ها بعد از سه روز نگهداری در هوا و رطوبت طبیعی، به مدت ۷ روز در محیط گازکربنیک قرار گرفته و در نهایت تحت آزمایشهای مقاومت مکانیکی قرارگرفتند. نتایج حاصله در جدول شمارهٔ ۲ ارائه شده است . بر طبق این مقادیر مقاومت مکانیکی متناسب با درصد آهک، نسبت آب به سیمان و میزان مصالح سنگی متغیر بوده و نسبت به نگهداری در هوا تا چند برابر افزایش یافته است.

۳) اثر مواد مضاف زودگیر برگیرش بتن سبک آهکی

با توجه به درصد آب قابل ملاحظه، وجود مواد کلوئیدی، جایگزینی بخشی از سیمان با آهک، زمان گیرش بتن سبک موجود طولانی بوده و لذا در پروسه صنعتی کردن وپیش ساختگی اجزا، اختلال ایجاد می‌شود. برای رفع این اشکال اثر تعداد زیادی از مواد شیمیایی زودگیر بر ترکیب نمونه بررسی گردیده است. در این ترکیب نسبت سیمان به آهک معادل $\frac{۳۰}{۷۰}$ و

نسبت مجموعه سیمان و آهک به ماسه به میزان $\frac{1}{2}$ در نظر گرفته شده است. لازم به تذکر است که اثر مواد زودگیر عمدتاً در جهت حل بخشی از اجزای تشکیل دهنده سیمان بوده و در این مصالح با توجه به کاهش مقدار سیمان مصرفی، این اثر نیز محدود می‌باشد. در این ارتباط تعداد زیادی نمونه بتن آهکی با مواد زودگیر مختلف ساخته شده و بعد از ۴۸ ساعت نگهداری در محیط اشباع (20^{oc} و ۹۵ درصد رطوبت) قالب برداری گردیدند. سپس این نمونه‌ها به مدت ۵ روز در محیط گاز کربنیک (۷۰ درصد CO_2 و 20^{oc}) و در مرحله بعد تا زمان آزمایش در شرایط معمولی (۵۰ درصد رطوبت و 20^{oc}) نگهداری شدند. آزمایشهای مقاومت فشاری و مقاومت کششی انجام شد که نتایج حاصله به‌صورت منحنی‌های شماره ۱ تا ۴ و ۴ تا ۸ ارائه شده است. برطبق این نتایج مقاومتهای مکانیکی در سن دو روزه بسیار ضعیف بوده و بعد از کربناتاسیون به میزان قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته است. در واقع اثر گازکربنیک برآهک و سیلیکاتهای موجود در سیمان به‌صورت تشکیل کربنات کلسیم و برخی مواد دیگر (اکسید سیلیسیم وهیدروکسید آلومینیم و غیره) ظاهر می‌شود. بر طبق نتایج حاصله، فسفوژیپس، دی‌آمونیم هیدروژن فسفات و دی پتاسیم هیدروژن فسفات از مؤثرترین مواد جهت کاهش زمان‌گیرش بتن سبک آهکی بوده و غالباً قالب برداری نمونه‌های استوانه‌ای را بین ۵ تا ۱۵ دقیقه بعد از ساخت امکانپذیر می‌نمایند. در این میان، دی‌آلومینیم هیدروژن فسفات از نظر اقتصادی ارزان بوده اما در حین مصرف بوی نامناسبی تولید می‌کند که تولید صنعتی آن رابا اشکال مواجه می‌سازد. از نظر مقاومت‌های فشاری و کششی، مواد تولویلن و کربنات لیتیم باعث حصول شرایط مطلوب‌تری شده اما نسبت به مواد فوق‌الذکر زمان گیرش طولانی‌تری را حاصل می‌کنند (حدود ۳۰ دقیقه).

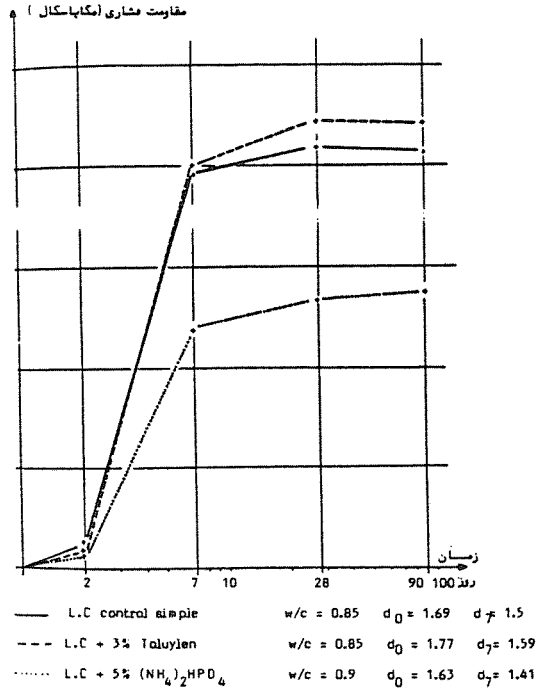
جدول شماره ۱

سیمان و آهک ماسه	درصد آهک	$\frac{W}{L}$	۳ روزهوا(۲۰)			۷ روزهوا(۲۰)		
			d	T	C	d	T	C
۱/۲	۵۰	۰/۸۹	۱/۳۷	۰/۵	۱/۶	۱/۳۰		۲/۰
	۶۰	۰/۹۰	۱/۴۷	۰/۴	۰/۷	۱/۳۲	۰/۷	۱/۷
	۷۰	۱	۱/۶۱	۰/۴	۰/۷	۱/۴۱	۰/۵	۱/۶
۱/۱۰۵	۵۰	۰/۷۶	۱/۴۲	۰/۶	۱/۶	۱/۳۱	۱/۲	۳/۶
	۶۵	۰/۸۹	۱/۵۳	۰/۲	۰/۶	۱/۳۰	۰/۷	۱/۷
	۷۵	۰/۹۵	۱/۵۱	۰/۲	۰/۴	۱/۲۸	۰/۴	۱/۰

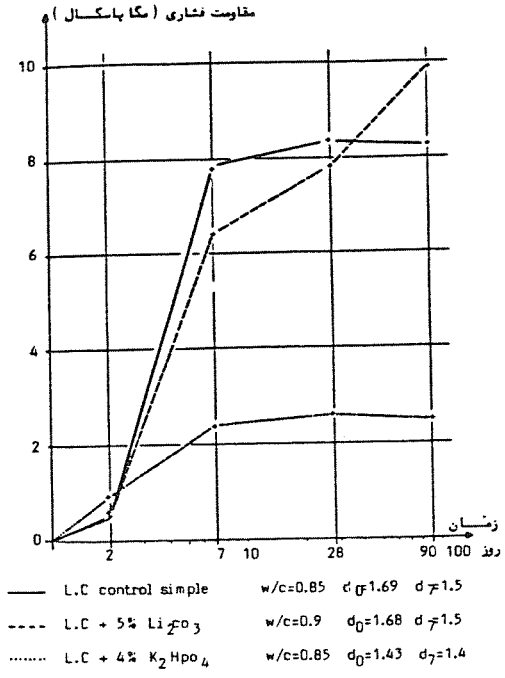
جدول شماره ۲

درصد آهک	نحوه‌نگهداری	هوا(حرارت ۲۰ و رطوبت ۵۰٪)			محیط Co_2	
	زمان (روز)	۲	۷	۲۸	۹	۲۶
نمونه شاهد	d	۱/۱۲	۱/۰۶	۱/۰۶	۱/۱۴	۱/۱۴
	(MPa)T	۱/۳	۱/۹	۲/۰	۳/۲	۳/۳
	(MPa)C	۳/۴	۶/۴	۷/۱	۱۰/۴	۱۱/۰
٪۵۰	d	۱/۵۹	۱/۴۰	۱/۴۰	۱/۵۷	۱/۵۸
	T	۱/۴	۲/۷	۲/۳	۸/۲	۷/۰
	c	۴/۴	۹/۲	۱۰/۴	۲۱/۹	۲۴/۵
٪۶۰	d	۱/۵۳	۱/۲۹	۱/۲۹	۱/۴۵	۱/۴۵
	T	۰/۷۰	۱/۶	۱/۶	۴/۲	۴/۳
	c	۱/۶	۴/۱	۴/۹	۱۳/۷	۱۴/۸
٪۷۰	d	۱/۴۵	۱/۱۴	۱/۱۶	۱/۳۲	۱/۳۲
	T	۰	۰/۷	۰/۹	۳/۲	۳/۰۰
	c	۰/۴	۱/۲	۱/۹	۹/۵	۹/۶
٪۸۰	d	۱/۵۳	۱/۱۲	۱/۱۹	۱/۳۰	۱/۳۴
	T		۰/۶	۰/۵	۳/۴	۳/۱
	c	۰/۴	۰/۶	۰/۹	۹/۸	۱۰/۰

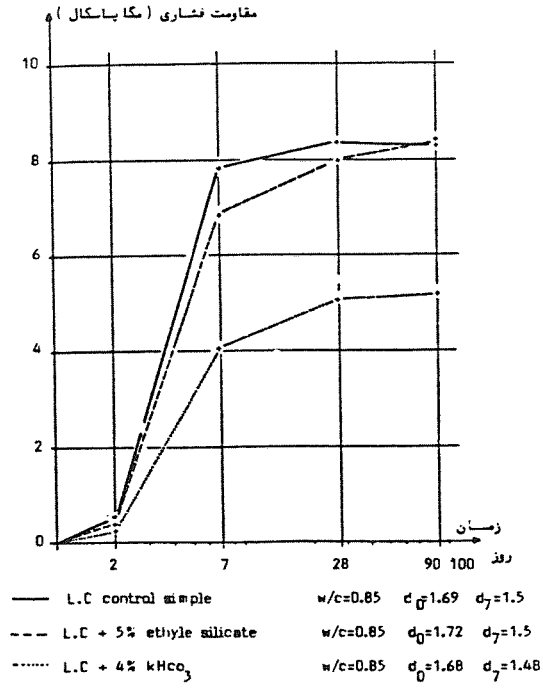
٤) نظر به اینکه یکی از پارامترهای مهم در پیش ساختگی قطعات بتنی کاهش آثار ثقلی است، استفاده از بتن سبک آهکی جهت تولید این قطعات بسیار مفید بوده و در پیشبرد عملیات اجرایی نقش مهمی را ایفا خواهد کرد. در ا ین ارتباط با استفاده از مطالعات فوق‌الذکر می‌توان با کاهش زمان‌گیرش، قالب برداری را سریعاً انجام داد و متناسب با شرایط بهره‌برداری، مقاومتهای مکانیکی لازم را با انتخاب نوع مواد مضاف مناسب کسب نمود.



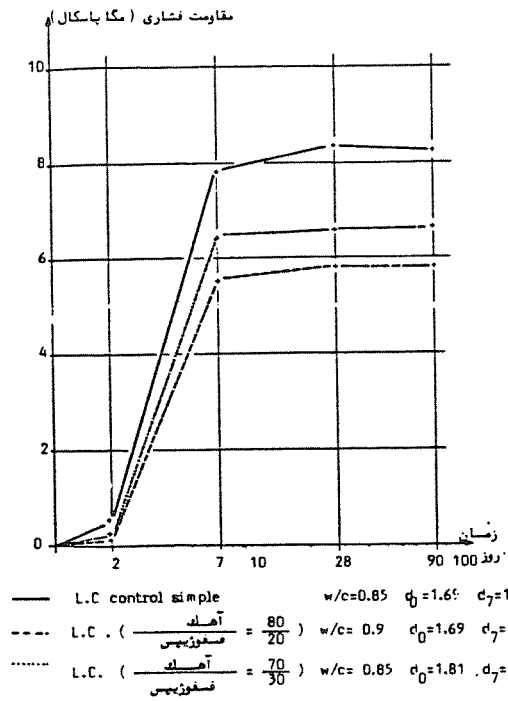
شکل شماره ۱ – اثر مواد مضاف زودگیر بر مقاومت فشاری بتن سبک



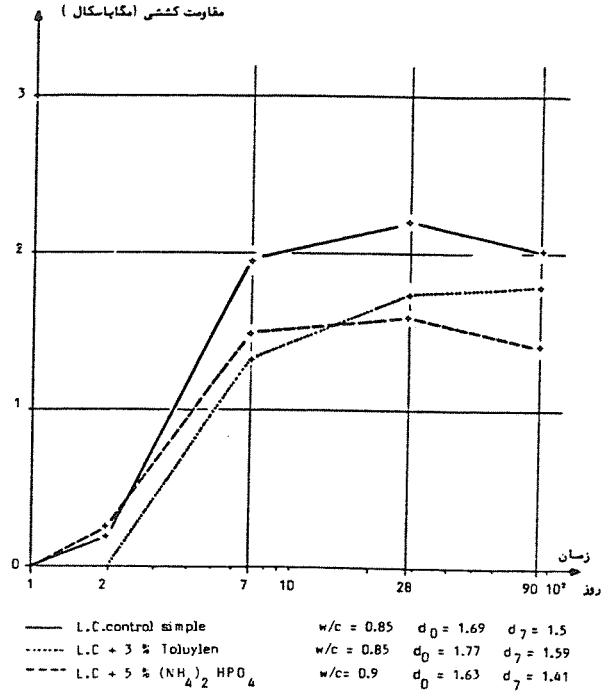
شکل شماره ۲ – اثر مواد مضاف زودگیر بر مقاومت فشاری بتن سبک



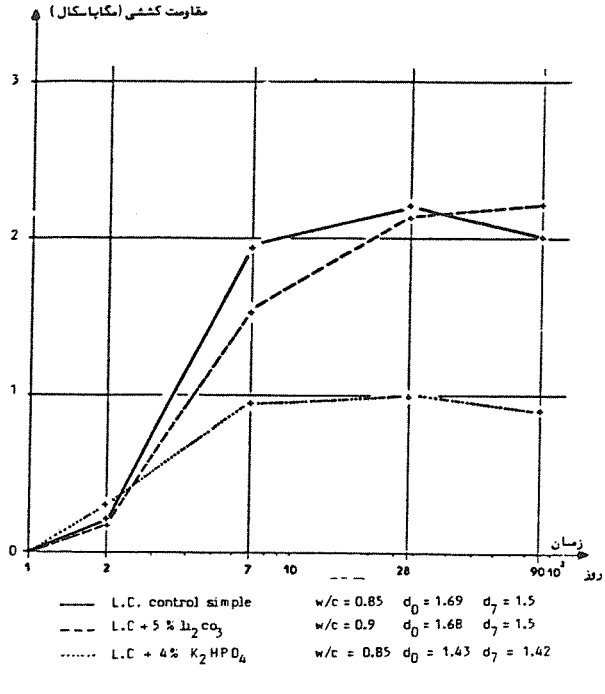
شکل شماره ۳ – اثر مواد مضاف زودگیر بر مقاومت فشاری بتن سبک



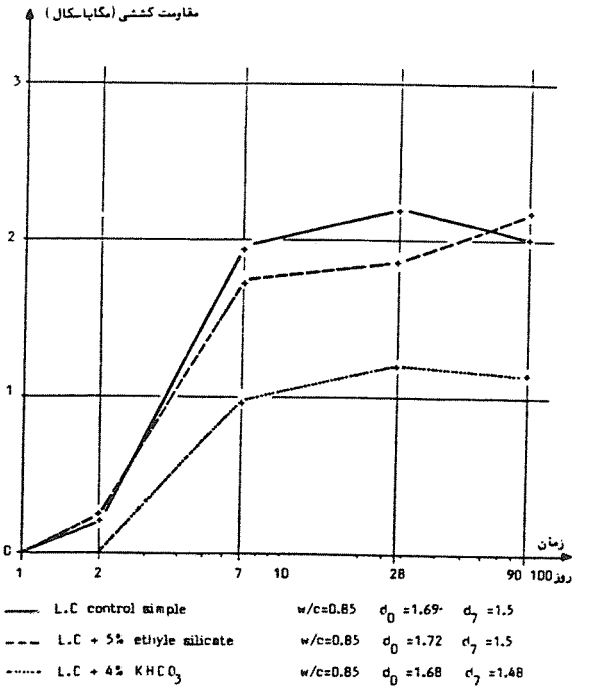
شکل شماره ۴ – اثر مواد مضاف زودگیر بر مقاومت فشاری بتن سبک



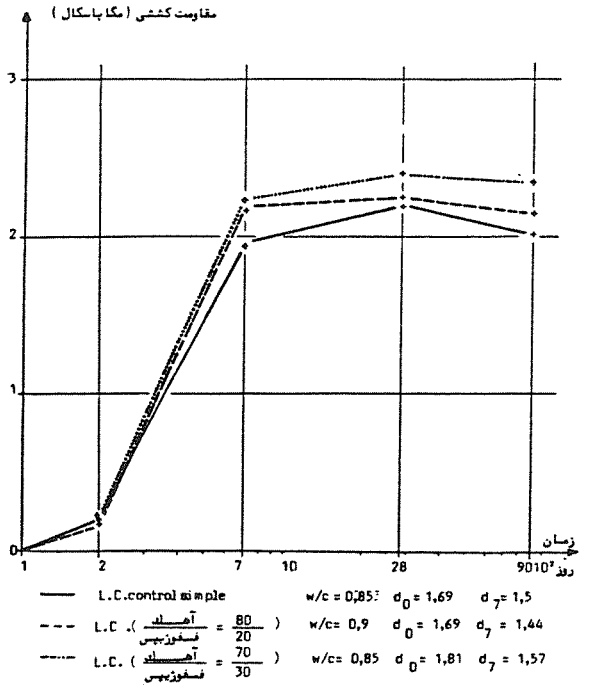
شکل شماره ۵ – اثر مواد مضاف زودگیر بر مقاومت کششی بتن سبک



شکل شماره ٦ – اثر مواد مضاف زودگیر بر مقاومت کششی بتن سبک



شکل شماره ۷ – اثر مواد مضاف زودگیر بر مقاومت کششی بتن سبک



شکل شماره ۸ – اثر مواد مضاف زودگیر بر مقاومت کششی بتن سبک

منابع :

1- *A. M. Neville - Concrete Technology - Willy - New York - 1990.*
2- *A. C. I. -Guide for Structural Light-Weight Concrete A. C. I. Edition - Detroit - 1984.*
3- *A. C. I. - Guide for Structural Light - Weight Concrete A. C. I. Edition - Detroit 1984.*
4- *Ram Achandran - Concrete Admixtures Handbook New Jersey - 1984.*
5- *A. C. I. - Guide for Cellular Concretes - A. C. I. Manual - Detroit 1975.*
6- *CEB/FIP - Light - Weight Aggregate - CEB Edition - London - 1977.*
7- *P. Levy - Les Beton Legers, Ed Eyrolles Paris - 1975.*
8- *M. Venuat - Les Betons Legers, Ed Cerilh - Paris - 1976.*
9- *F. Gorisse - Essais Et Controle Des Betons - Ed Eyrolle Paris 1976.*