



خصوصیات مکانیکی بتن با پودر سنگ آهک

علیرضا حبیبی، دانشجوی دوره دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

تلفن: ۰۳۱۱-۳۹۱۲۶۳۹، پست الکترونیکی: alireza_habib@yahoo.com

چکیده

در این مقاله اثرات اضافه کردن پودر سنگ آهک بر خصوصیات مکانیکی بتن بررسی می شود. هدف از این تحقیق، بررسی اثرات تداخلی نسبت آب به سیمان و نسبت پودر سنگ آهک به سیمان بر روی مقاومت فشاری و کششی ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بتن بوده است. نمونه های مورد استفاده در آزمایش، با مقادیر مختلف پودر و سیمان ساخته شدند. آزمایشهای مقدماتی انجام شده در این تحقیق، نشان داد که جایگزینی پودر سنگ آهک بجای شن و ماسه، بطور همزمان در بتن، بیشترین بهبود را بر خصوصیات مکانیکی بتن دارد. نتایج آزمایشها نشان داد که اضافه کردن پودر سنگ آهک به بتن، اثرات منفیری بر خصوصیات مکانیکی بتن دارد و در نسبت های آب به سیمان بالا، با اضافه نمودن پودر به بتن می توان افزایش مقاومت فشاری را انتظار داشت.

کلید واژه ها: بتن، پودر سنگ آهک، خصوصیات مکانیکی، سیمان.

۱- مقدمه

از پودر سنگ آهک اخیراً، به عنوان یک پودر معدنی در جهت بهبود خواص مکانیکی و دوام بتن استفاده شده است. پودرهای معدنی مثل پودر سنگ آهک در بتن، به عنوان پر کننده حفره ها عمل کرده و موجب کاهش تخلخل می شود و از جدایی مواد جلوگیری می کند؛ در نتیجه می توان از آنها در جهت بهبود مقاومت بتن استفاده نمود. چنانچه از پودر سنگ آهک در بتن بتوان خواص مناسبی را بدست آورد، با توجه به فراوانی پودر سنگ آهک در ایران به عنوان زائدات، مزایای اقتصادی مهمی به دنبال خواهد داشت.

مقاومت فشاری ۳ تا ۹۱ روزه بتن با جایگزینی ۳۶ درصد ریزدانه با پودر سنگ آهک و نسبت آب به سیمان برابر با ۰/۵۹، در سال ۱۹۹۶ توسط یوچیکاوا و همکارانش مورد تحقیق قرار گرفت [۱]. مطالعاتی در مورد تاثیرات تداخلی پودر سنگ آهک و نسبت آب به سیمان بر دوام، مقاومت فشاری و جذب آب ۲۸ روزه بتن، در سال ۱۹۹۶

توسط ساويز و هنگ بررسی گردید [۲]. در این مطالعات، معادلاتی برای تعیین مقاومت فشاری و جذب آب ۲۸ روزه بتن با پودر سنگ آهک، بر حسب نسبت‌های آب به سیمان و پودر به سیمان ارائه شد. کوبایشی و همکارانش در سال ۱۹۹۷ اثرات پودر سنگ آهک بر هیدراسیون سیمان، در سنین پایین را بررسی کردند [۳]. نتیجه این تحقیقات در مورد مقاومت فشاری ۳، ۷ و ۲۸ روزه ملات و خمیر سیمان، افزایش مقاومت فشاری در اضافه کردن پودر و کاهش آن در جایگزینی پودر بجای سیمان، بود. تاثیر افزودنیهای معدنی از جمله پودر سنگ آهک، بر آب مورد نیاز خمیر سیمان، در سال ۲۰۰۰ توسط آقای گالیاس و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت [۴]. نتایج آزمایشات آنها، تعیین مقدار آب مورد نیاز بتن بدون استفاده از روان کننده، بود.

هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثرات تداخلی نسبت آب به سیمان و نسبت پودر سنگ آهک به سیمان بر روی مقاومت فشاری و کششی ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بتن بوده است. نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش که از نوع استوانه ای $100 \times 200 \text{ mm}$ انتخاب شده است، با مقادیر مختلف نسبت آب و پودر سنگ آهک $(\frac{LP}{C} = 0, 0.2, 0.4, 0.6 ; \frac{W}{C} = 0.4, 0.5, 0.6, 0.7)$ ساخته شدند. بدین ترتیب در مجموع ۲۸ نمونه استوانه ای ساخته شده و تحت آزمایش قرار گرفتند.

۲- مواد و طرح اختلاط اجزاء بتن

اجزاء مخلوط بتنی شامل سیمان پرتلند تیپ ۱، شن شکسته کوهی با دانه بندی $5-10 \text{ mm}$ ، ماسه رودخانه ای با دانه بندی $0-5 \text{ mm}$ و آب بود. به عنوان یک پوزولان معدنی، پودر سنگ آهک در بتن استفاده شد که از کارخانه تولیدات معدنی اصفهان (توما)، تهیه شده بود. نرمی این پودر، بیش از سه برابر نرمی سیمان بود و در حدود $99/5$ درصد کربنات کلسیم داشت [۵]. طرح اختلاط اجزاء بتن، مطابق روش حجمی آئین نامه ACI-211 و با نسبتهای آب به سیمان $0/4$ ، $0/5$ ، $0/6$ و $0/7$ انجام شد که نهایتاً مقادیر محاسبه شده برای دانه ها، با توجه به رطوبت طبیعی اصلاح شدند [۶]. در تمامی نسبتهای آب به سیمان، مقدار سیمان به صورت ثابت برابر با $C = 400 \text{ kg/m}^3$ در نظر گرفته شد و سپس وزن سایر اجزاء محاسبه گردید.

۳- آزمایشات مقدماتی

در طرح اختلاط انجام شده، بایستی مقدار پودر سنگ آهک اضافه شده به بتن را با یک یا چند جزء اصلی جایگزین نمود؛ به نحوی که بهترین اثر را روی خصوصیات بتن داشته باشد. به این منظور، در حالت $\frac{W}{C} = 0.6$ و $\frac{LP}{C} = 0.2$ شش نوع بتن با نمونه های استوانه ای $150 \times 300 \text{ mm}$ (از هر نوع به تعداد سه نمونه) با جایگزینی پودر سنگ آهک به جای اجزاء مختلف بتن، ساخته شد و آزمایش مقاومت فشاری در سن ۷ روز بر روی آنها انجام شد. انواع جایگزینی انجام شده شامل بتن بدون LP یا بتن شاهد (R0)، جایگزینی سیمان با LP (R1)، جایگزینی شن با LP (R2)، جایگزینی ماسه با LP (R3)، جایگزینی شن و ماسه با LP بصورت مساوی (R4) و

جایگزینی سیمان و آب با LP با حفظ نسبت آب به سیمان $\frac{W}{C}=0.6$ (R5) بودند. طرح اختلاط اجزاء بتن و نتایج آزمایش در جدول (۱) خلاصه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، R2، R3، R4 و R5 به عنوان جایگزینی های خوب اجزای اصلی بتن با LP

شناخته می شود که در این تحقیق، از بین انواع جایگزینی ها از نوع R4 استفاده شده است.

جدول ۱: طرح مخلوط بتنی در حالت $\frac{W}{C}=0.6$ و $\frac{LP}{C}=0.2$ بر حسب kg/m^3 و نتایج آزمایشهای مقدماتی

نوع جایگزینی	سیمان	شن	ماسه	آب	پودر سنگ آهک	مقاومت فشاری میانگین نمونه ها (مگاپاسکال)
R0	۴۰۰	۷۶۰/۴	۸۴۶/۳	۲۴۸/۵	۰	۱۵/۶
R1	۳۲۰	۷۶۰/۴	۸۴۶/۳	۲۴۸/۵	۸۰	۱۳/۷
R2	۴۰۰	۶۸۰/۴	۸۴۶/۳	۲۴۸/۵	۸۰	۱۸/۸
R3	۴۰۰	۷۶۰/۴	۷۶۶/۳	۲۴۸/۵	۸۰	۱۸/۳
R4	۴۰۰	۷۲۰/۴	۸۰۶/۶	۲۴۸/۵	۸۰	۱۸/۵
R5	۳۵۵/۳	۷۶۰/۴	۸۴۶/۳	۲۱۳/۲	۸۰	۱۸/۵

۴- انجام آزمایشهای اصلی

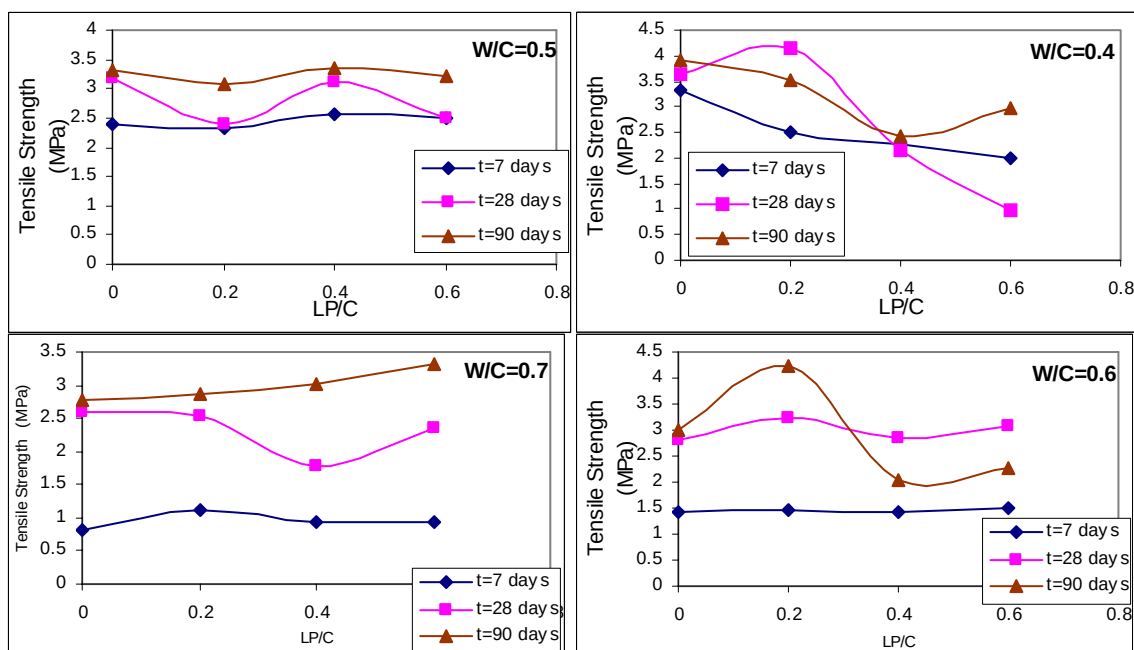
به تعداد ۲۸۸ نمونه بتنی $100 \times 200 \text{ mm}$ با جایگزینی شن و ماسه با LP بصورت مساوی، ساخته شد که در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز، مورد آزمایش قرار گرفتند. نیمی از این نمونه ها، برای اندازه گیری مقاومت فشاری و بقیه برای اندازه گیری مقاومت کششی به کار رفتند. در تعیین مقاومت کششی از آزمایش شکافت استفاده شد. طرح اختلاط بتن، بر اساس جایگزینی شن و ماسه با LP بصورت مساوی و نسبت های مختلف آب به سیمان و پودر سنگ آهک به سیمان، در جدول (۲) موجود است. پارامترهای مورد استفاده در این جدول، شامل مقادیر آب (W)، سیمان (C)، شن (CA)، ماسه (FA)، پودر سنگ آهک (LP) بر حسب کیلوگرم در یک متر مکعب بتن و نسبت های آب به سیمان ($\frac{W}{C}$) و پودر به سیمان ($\frac{LP}{C}$) می باشد.

۵- نتایج آزمایش ها

در شکل (۱) منحنی مقاومت کششی نمونه های بتنی در سنین مختلف، به ازای نسبت های آب به سیمان ثابت، بر حسب نسبت پودر سنگ آهک به سیمان ترسیم شده است. این منحنی ها نشان می دهند که در نسبت آب به سیمان ۰/۴، افزایش LP باعث کاهش مقاومت کششی ۷ روزه می شود؛ ولی در سایر نسبت های آب به سیمان، اثر چندانی بر آن ندارد. اضافه کردن LP به بتن، اثرات متغیری بر مقاومت کششی ۲۸ و ۹۰ روزه دارد؛ بطوریکه به ازای بعضی از مقادیر نسبت پودر به سیمان، آن را کاهش می دهد؛ به ازای بعضی از مقادیر، تقریباً بر آن بی تاثیر است و در موارد اندکی آن را افزایش می دهد.

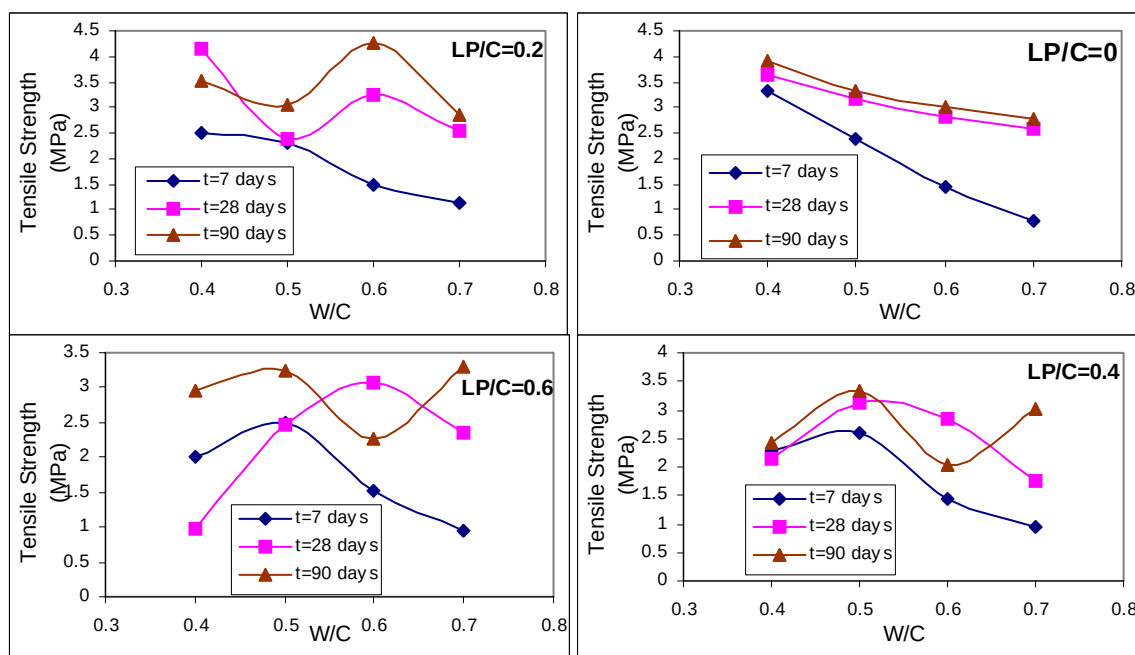
جدول ۲: طرح مخلوط بتنی در نسبتهای مختلف آب به سیمان و پودر سنگ آهک به سیمان (kg/m^3)

شماره طرح	$\frac{W}{C}$	C	W	$\frac{LP}{C}$	LP	FA	CA
۱	۰/۴	۴۰۰	۱۶۹/۸	۰	۰	۱۰۵۷/۷	۷۶۰/۴
۲				۰/۲	۸۰	۱۰۱۷/۷	۷۲۰/۴
۳				۰/۴	۱۶۰	۹۷۷/۷	۶۸۰/۴
۴				۰/۶	۲۴۰	۹۳۷/۷	۶۴۰/۴
۵	۰/۵	۴۰۰	۲۰۹/۱	۰	۰	۹۵۲	۷۶۰/۴
۶				۰/۲	۸۰	۹۱۲	۷۲۰/۴
۷				۰/۴	۱۶۰	۸۷۲	۶۸۰/۴
۸				۰/۶	۲۴۰	۸۳۲	۶۴۰/۴
۹	۰/۶	۴۰۰	۲۴۸/۵	۰	۰	۸۴۶/۳	۷۶۰/۴
۱۰				۰/۲	۸۰	۸۰۶/۳	۷۲۰/۴
۱۱				۰/۴	۱۶۰	۷۶۶/۳	۶۸۰/۴
۱۲				۰/۶	۲۴۰	۷۲۶/۳	۶۴۰/۴
۱۳	۰/۷	۴۰۰	۲۸۷/۹	۰	۰	۷۴۰/۶	۷۶۰/۴
۱۴				۰/۲	۸۰	۷۰۰/۶	۷۲۰/۴
۱۵				۰/۴	۱۶۰	۶۶۰/۶	۶۸۰/۴
۱۶				۰/۶	۲۴۰	۶۲۰/۶	۶۴۰/۴



شکل ۱: مقاومت کششی نمونه های بتنی بر حسب تغییرات نسبت LP/C به ازای مقادیر ثابت W/C

در شکل (۲) منحنی تغییرات مقاومت کششی سنین مختلف، در نسبت های پودر سنگ آهک به سیمان ثابت، بر حسب نسبت آب به سیمان ترسیم شده است. این منحنی ها، نشان می دهد که مقاومت کششی ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بتن شاهد، با افزایش نسبت آب به سیمان کاهش یافته است؛ ولی در بتن با پودر سنگ آهک، افزایش نسبت آب به سیمان در بعضی از محدوده های آب به سیمان، موجب افزایش مقاومت کششی ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه شده است. این پدیده را می توان به این صورت توجیه نمود که در بتن با LP، بلافاصله پس از اختلاط، مقداری از آب جذب LP می شود؛ در نتیجه آب بیشتری برای ایجاد چسبندگی و پیوند قوی بین اجزاء اصلی بتن و رسیدن به یک مقاومت مشخص، مورد نیاز است.

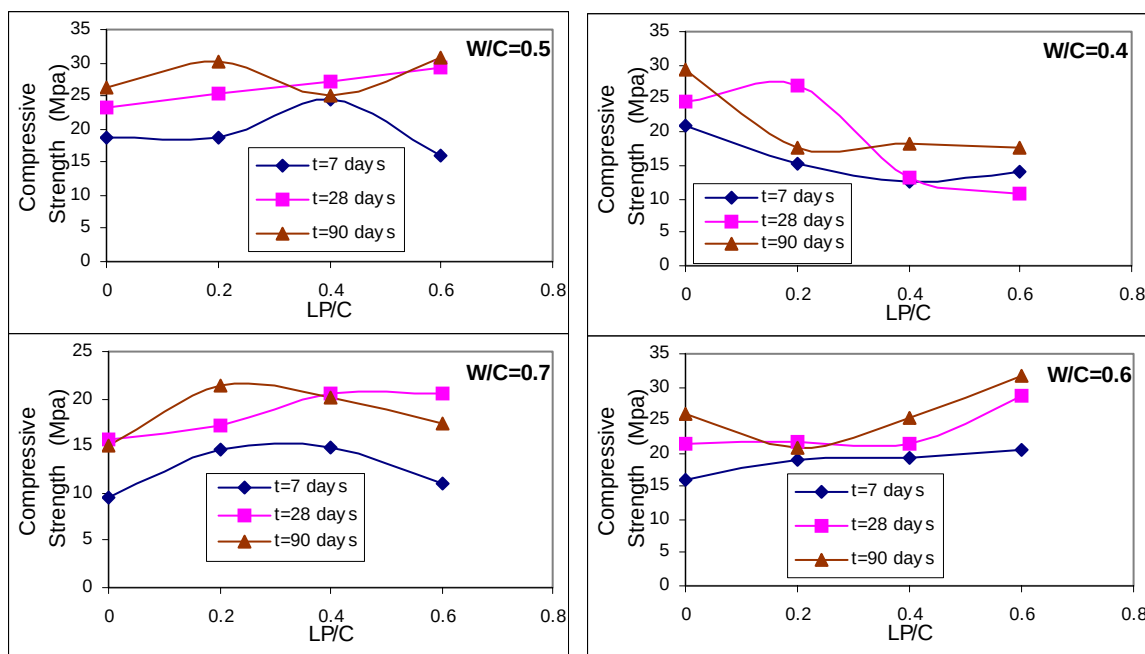


شکل ۲: مقاومت کششی نمونه های بتنی بر حسب تغییرات W/C، به ازای مقادیر ثابت LP/C

منحنی تغییرات مقاومت فشاری بر حسب نسبت $\frac{LP}{C}$ در نسبت های ثابت آب به سیمان، در شکل (۳) و منحنی تغییرات مقاومت فشاری بر حسب نسبت $\frac{W}{C}$ در نسبت های پودر سنگ آهک به سیمان ثابت، در شکل (۴) ترسیم شده است. از منحنی های ترسیم شده برای مقاومت فشاری در نسبت آب به سیمان ثابت، نتیجه گرفته می شود که در نسبت آب به سیمان ۰/۴، افزایش LP باعث کاهش مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه می شود؛ به استثنای نسبت پودر به سیمان ۰/۲ که مقاومت فشاری ۲۸ روزه کمی افزایش یافته است. در نسبت های آب به سیمان بالاتر، مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه در بعضی از محدوده های نسبت پودر به سیمان، افزایش یافته و در بقیه محدوده ها، تغییرات محسوسی مشاهده نمی شود؛ به استثنای نسبت آب به سیمان ۰/۶ و نسبت پودر به سیمان ۰/۲ که مقاومت فشاری ۹۰ روزه مقداری کاهش یافته است (این مورد می تواند ناشی از خطاهای آزمایش باشد). در نسبت های آب به سیمان بالا، مقاومت فشاری ۲۸ روزه، در نسبت پودر به سیمان ۰/۶ دارای افزایش قابل توجهی می باشد که

بیشترین افزایش مقاومت برابر ۳۷ درصد، در نسبت آب به سیمان ۰/۷ بوده است. دلیل افزایش مقاومت، این است که پودر بخاطر نرمی زیادش، خلل و فرج را در بتن با نسبت آب به سیمان بالا، می‌کاهد و ساختار بتن را متراکم‌تر می‌کند.

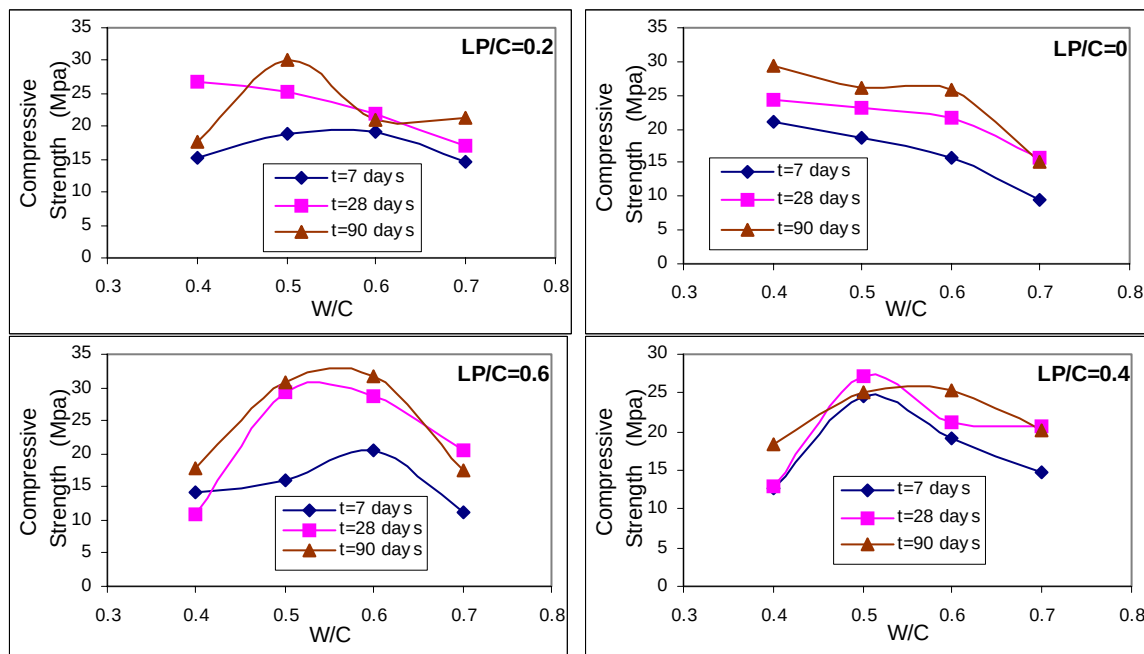
از منحنی‌های ترسیم شده در حالت نسبت پودر سنگ آهک به سیمان ثابت، نتیجه گرفته می‌شود که در بتن شاهد، با افزایش نسبت‌های آب به سیمان، مقاومت فشاری همانگونه که انتظار می‌رفت، کاهش یافته است. با این وجود، در بتن با پودر سنگ آهک، در بعضی از محدوده‌های نسبت آب به سیمان، افزایش نسبت آب به سیمان، باعث افزایش مقاومت فشاری شده است که توجیه این پدیده را نیز می‌توان به جذب مقداری از آب، توسط LP، بلافاصله پس از اختلاط، نسبت داد.



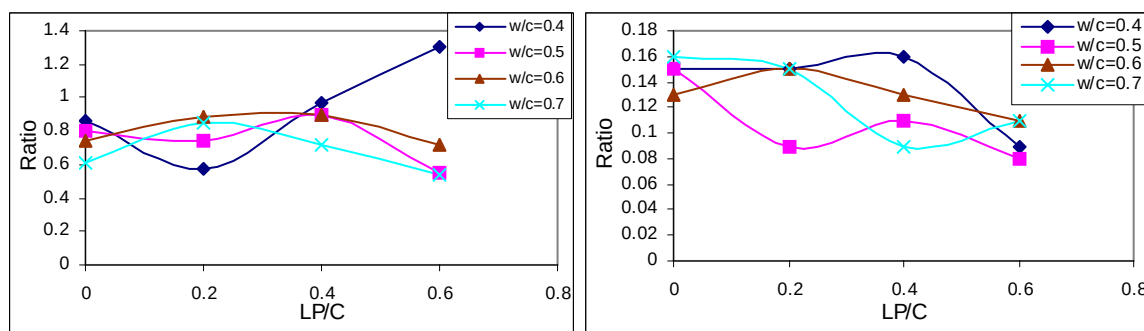
شکل ۳: مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی بر حسب تغییرات نسبت LP/C، به ازای مقادیر ثابت W/C

منحنی نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری ۲۸ روزه در نسبت آب به سیمان ثابت، در شکل (۵) ترسیم شده است. این منحنی نشان می‌دهد که اضافه کردن پودر به بتن، در نسبت‌های آب به سیمان بالا، نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری ۲۸ روزه را کاهش می‌دهد؛ به استثنای نسبت آب به سیمان ۰/۶، که به ازای نسبت پودر به سیمان ۰/۲، نسبت مقاومت کششی به فشاری افزایش یافته است. به نظر می‌رسد که اضافه کردن پودر به بتن، به دلیل تفاوت انبساط حرارتی آن با سایر اجزاء، ریزترکها را در بتن افزایش داده و ناحیه انتقال را ضعیف‌تر می‌کند و در نتیجه، بتن را از لحاظ کششی ضعیف نموده و نسبت مقاومت کششی به فشاری را کاهش می‌دهد.

شکل (۶) منحنی تغییرات نسبت مقاومت فشاری ۷ روزه به مقاومت فشاری ۲۸ روزه را در نسبت آب به سیمان ثابت نشان می‌دهد. از این منحنی می‌توان نتیجه گرفت که در بتن با پودر سنگ آهک، نسبت مقاومت فشاری ۷ به ۲۸ روزه، به ازای بعضی از مقادیر نسبت پودر به سیمان افزایش یافته و به ازای بقیه مقادیر، کاهش می‌یابد. این رفتار متغیر، ناشی از آن است که در یک نسبت پودر به سیمان مشخص، درصد افزایش و یا کاهش مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه، یکسان نیست.



شکل ۴: مقاومت فشاری نمونه های بتنی بر حسب تغییرات W/C ، به ازای مقادیر ثابت LP/C



شکل ۶: نسبت مقاومت فشاری ۷ به ۲۸ روزه

شکل ۵: نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری ۲۸ روزه

۶- نتیجه گیری

آزمایشات مقدماتی در این تحقیق، نشان داد که یکی از بهترین نوع جایگزینی های پودر سنگ آهک در بتن، جایگزینی آن با شن و ماسه بطور مساوی می‌باشد، نمونه های بتنی که بر این اساس ساخته شدند، مورد آزمایش (مقاومت فشاری و کششی) قرار گرفتند.

با توجه به نتایج حاصله از آزمایشهای انجام شده در مورد مقاومت فشاری و کششی بتن با پودر سنگ آهک، نتیجه گرفته می شود که اضافه کردن پودر سنگ آهک به بتن، در بیشتر موارد اثر چندانی بر مقاومت کششی ۷ روزه ندارد، ولی مقاومت کششی ۲۸ و ۹۰ روزه را کاهش می دهد. در نسبت آب به سیمان ۰/۴، افزودن پودر سنگ آهک تاثیر منفی بر مقاومت فشاری دارد. در نسبت های بالای آب به سیمان، افزایش نسبت پودر به سیمان، اثرات متغیری بر مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه دارد؛ بطوریکه در بعضی از نسبت های پودر به سیمان، مقاومت فشاری افزایش یافته و در بقیه موارد تغییرات قابل توجهی مشاهده نمی شود. در نسبت های بالای آب به سیمان، افزایش پودر سنگ آهک به ازای نسبت پودر به سیمان ۰/۶، مقاومت فشاری ۲۸ روزه را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد که این مقدار افزایش، با نسبت آب به سیمان، نسبت مستقیم دارد. در بتن با پودر سنگ آهک، افزایش نسبت آب به سیمان، لزوماً مقاومت کششی و فشاری را کاهش نمی دهد که این پدیده بدلیل جذب مقداری از آب، توسط پودر، بلافاصله پس از اختلاط می باشد. در بتن با نسبت آب به سیمان بالا، افزایش پودر، نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری ۲۸ روزه را کاهش می دهد که طبق بحث های انجام شده، این پدیده به دلیل ضعیف شدن ناحیه انتقال در بتن، می باشد.

با صرف نظر از اثرات منفی پودر بر مقاومت کششی (با توجه به اهمیت کم مقاومت کششی در محاسبات عملی)، استفاده از پودر سنگ آهک در بتن با نسبت آب به سیمان بالا، بخاطر بهبود آن بر مقاومت فشاری و دوام، توصیه می گردد.

۷- تقدیر و تشکر

بدینوسیله از جناب آقای دکتر مستوفی نژاد بخاطر راهنماییهای ارزشمندشان در این تحقیق و از سرکار خانم مهندس آزاده صابریان بخاطر همکاری در تنظیم مقاله، تشکر و قدردانی می گردد. همچنین از مدیریت محترم کارخانه توما بخاطر در اختیار قرار دادن مصالح مورد نیاز تقدیر و تشکر بعمل می آید.

۸- مراجع

- [1] Uchikawa, H., Henehara, S., and Hirao, H., "Influence of Microstructure on the Physical Properties of Concrete by Substituting Mineral Powder for Part of Fine Aggregate," Cement and Concrete Research, V. 26, No. 1, Jan 1996, pp. 101-111.
- [2] Sawicz, Z., and Heng, S.S., "Durability of Concrete with Addition of Limestone Powder," Magazine of Concrete Research, V. 48, No. 175, June 1996, pp. 131-137.
- [3] Kobayashi, K., Hattori, A., Miyagawa, T., and Fujii, M., "Effects of Limestone Powder as Additive on Hydration of Cement in Early Age," Internal Conference on Engineering Materials, 1997, pp. 811-815.
- [4] Gallias, J. L., Kara-Ali, R., and Bigas, J. P., 'The Effect of Fine Mineral Admixtures on Water Requirement of Cement Pastes', Cement and Concrete Research, 2000, pp. 1543-1549.
- [5] مستوفی نژاد، داود، "تکنولوژی و طرح اختلاط بتن"، انتشارات ارکان، چاپ چهارم، ۱۳۸۰.
- [6] دفترچه مشخصات فنی تولیدات معدنی، کارخانه تولیدات معدنی، توما، ۱۳۸۱.