

تأثیر دانه بندی ذرات شن بر روی پارامترهای مقاومتی بتن پیش آکنده و مقایسه آن با بتن معمولی

علی محمد رجیبی^۱، فرزاد امیددی معاف^۲

۱- عضو هیأت علمی گروه زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، دانشگاه تهران

۲- کارشناس ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه قم

Farzam1313@yahoo.com

چکیده

بتن پیش آکنده^۳ نوع خاصی از بتن می باشد که روش ساخت و اجرای آن با بتن معمولی متفاوت می باشد. در بتن پیش آکنده ابتدا دانه های شن درون قالب قرار می گیرند و سپس فضاهای خالی بین سنگدانه های شن توسط ملات مخصوص ماسه و سیمان پر می شوند. این نوع بتن در پروژه های فراوانی از جمله سازه های بتنی زیر آب، سدهای بتنی حجیم، سازه های بتن آرمه و تعمیرات سازه های بتنی با موفقیت به کار رفته است. بتن پیش آکنده از چند جنبه با بتن معمولی متفاوت است. اولین تفاوت در روش اجرا و ساخت می باشد که در بتن معمولی تمامی مصالح با یکدیگر مخلوط شده و سپس درون قالب قرار می گیرند، ولی در بتن پیش آکنده ملات درون شن تزریق می شود. تفاوت دیگر این است که در بتن پیش آکنده ذرات شن با یکدیگر در تماس مستقیم می باشند و به عبارتی با یکدیگر تماس نوک به نوک دارند، که این عامل باعث می شود ملات در بین ذرات شن قرار گیرد، در حالی که در بتن معمولی ذرات شن در بین ملات قرار می گیرند. به همین دلیل در بتن پیش آکنده به علت تماس مستقیم ذرات شن با یکدیگر تنش ها از طریق ذرات شن توزیع می شوند. حدود ۶۰٪ از حجم بتن پیش آکنده از ذرات شن تشکیل می شود، در حالی که در بتن معمولی حدود ۴۰٪ از حجم بتن از ذرات شن تشکیل می شود. در این پژوهش بررسی تاثیر دانه بندی ذرات شن بر روی پارامترهای مقاومتی بتن پیش آکنده و مقایسه آن با بتن معمولی، با انجام آزمایش های مقاومت فشاری تک محوره و مقاومت کششی به روش برزلی صورت پذیرفت. بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش های انجام گرفته در این پژوهش، بتن پیش آکنده با دانه بندی شن ریزتر دارای مقاومت فشاری بیشتر، مقاومت کششی بیشتر، ضریب الاستیسیته بیشتر و ضریب پواسون کمتری نسبت به بتن معمولی می باشد.

کلمات کلیدی: بتن پیش آکنده، بتن معمولی، دانه بندی شن، پارامترهای مقاومتی

۱. مقدمه

بتن پیش آکنده با قرار دادن شن درون قالب و سپس پر کردن فضاهای خالی بین شن ها توسط ملات ماسه و سیمان ساخته می شود. معمولاً، عملیات پر کردن فضاهای خالی بین شن ها به دو روش وزنی و تزریق انجام می پذیرد. در روش وزنی ملات از بالا بر روی قالب پر شده از شن ریخته می شود و به کمک تراکم و یا ویبره ملات فضاهای خالی را پر می کند. این

^۳ PREPLACED AGGREGATE CONCRETE

روش در بتن های با ارتفاع حداکثر 300mm قابل استفاده می باشد. در روش تزریق با قرار دادن لوله های تزریق درون قالب، ملات به وسیله ی پمپ به درون قالب تزریق می شود و لوله های تزریق به تدریج بالا کشیده می شوند[1].

بتن پیش آکنده از چند جنبه با بتن معمولی متفاوت می باشد. اولین تفاوت در روش اجرا و ساخت می باشد که در بتن معمولی تمامی مصالح با یکدیگر مخلوط شده و سپس درون قالب ریخته می شوند، ولی در بتن پیش آکنده ملات درون شن تزریق می شود. دومین تفاوت این است که در بتن پیش آکنده ذرات شن با یکدیگر در تماس مستقیم می باشند و به عبارتی با یکدیگر تماس نوک به نوک دارند، که این عامل باعث می شود ملات در بین ذرات شن قرار گیرد، در حالی که در بتن معمولی ذرات شن در بین ملات قرار می گیرند. به همین دلیل در بتن پیش آکنده به علت تماس مستقیم ذرات شن با یکدیگر تنش ها از طریق ذرات شن توزیع می شوند. حدود ۶۰٪ از حجم بتن پیش آکنده از ذرات شن تشکیل می شود، در حالی که در بتن معمولی حدود ۴۰٪ از حجم بتن از ذرات شن تشکیل می شود[2].

عبدالقادار در سال ۱۹۹۹ الگوریتم طراحی مخلوط بتن پیش آکنده را ارائه نمود. وی به این نتیجه رسید که بهترین زمان مخلوط کردن ملات، ۴ دقیقه می باشد. همچنین با استفاده از شن گرد گوشه، شکسته و مخلوط آن ها، به این نتیجه رسید که استفاده از مخلوط شن شکسته و گرد گوشه، بهترین عملکرد را در بهبود خواص مکانیکی بتن پیش آکنده دارد[3].

نجار در سال ۲۰۱۴ به بررسی خواص و کاربرد های بتن پیش آکنده پرداخت. وی در این پژوهش به بررسی تمام تحقیقات انجام شده در زمینه بتن پیش آکنده پرداخت و به این نتیجه رسید که بتن پیش آکنده از لحاظ اقتصادی نسبت به بتن معمولی مناسب تر می باشد. همچنین به علت نسبت شن به سیمان بالاتر در بتن پیش آکنده، این بتن مقاومت فشاری بالاتری نسبت به بتن معمولی دارا می باشد. وی به این نتیجه نیز دست یافت که خواص مکانیکی بتن پیش آکنده وابسته به انتخاب دانه های شن می باشد[2].

با توجه به این که بیشتر حجم بتن پیش آکنده از ذرات شن تشکیل شده است، دانه بندی ذرات شن می تواند تاثیرات مهمی بر روی خواص مکانیکی بتن داشته باشد. همچنین مقایسه خواص مکانیکی بتن پیش آکنده و بتن معمولی می تواند مزایا و معایب این نوع خاص از بتن را در مقابل بتن معمولی نشان دهد. به همین دلیل در این پژوهش دو نوع بتن پیش آکنده و یک نوع بتن معمولی ساخته شد و مورد آزمایش های ۲۸ روزه ی مقاومت فشاری تک محوره و مقاومت کششی برزیلی قرار گرفتند.

۲. مواد و روش ها

در این پژوهش برای بررسی تاثیر اندازه ی ذرات درشت دانه بر روی پارامترهای مقاومتی بتن پیش آکنده و مقایسه آن با بتن معمولی دو نوع بتن پیش آکنده و یک نوع بتن معمولی که به ترتیب PA1، PA2 و CC نام گذاری شدند، ساخته شدند. در مجموع برای انجام آزمایش های مختلف مورد نیاز در این پژوهش ۷۵ نمونه استوانه ای 150×300 mm ساخته شدند.

برای انجام آزمایش تعیین مدول الاستیسیته و ضریب پواسون از نمونه های ساخته شده مغزه گیری بعمل آمد و نمونه های 50×100 mm مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل ۱ مغزه گیری از نمونه استوانه ای استاندارد را نشان می دهد.



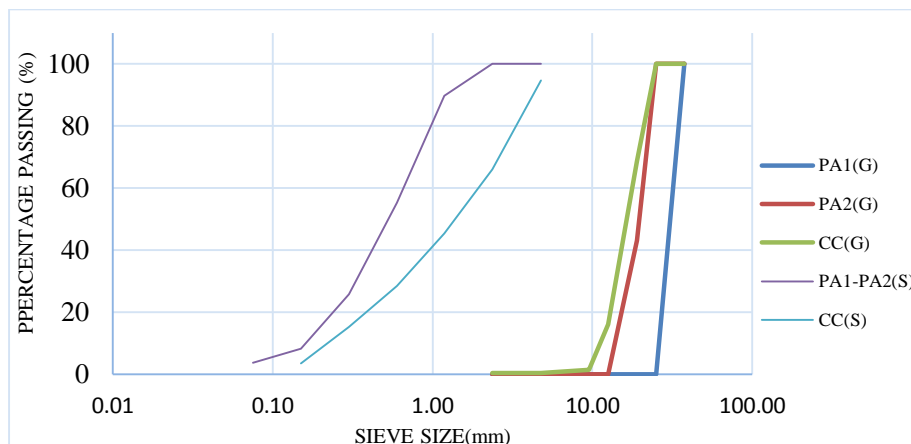
شکل ۱- مغزه گیری از آزمون ی استوانه ای

در ساخت آزمون‌های بتن پیش‌آکنده از سنگدانه‌های درشت‌دانه، سنگدانه‌های ریزدانه، سیمان، آب و افزودنی منبسط‌کننده استفاده شده است. در ساخت آزمون‌های بتن معمولی نیز از سنگدانه‌های درشت‌دانه، سنگدانه‌های ریزدانه، سیمان و آب استفاده شده است.

موضوع مورد مطالعه در این پژوهش اثر دانه بندی ذرات درشت‌دانه بر روی پارامترهای مقاومتی بتن پیش‌آکنده و مقایسه آن با بتن معمولی می‌باشد. لذا در ساخت آزمون‌های بتن پیش‌آکنده از دو نوع دانه بندی شن استفاده گردید. در ساخت بتن معمولی نیز از دانه بندی شن مرسوم در ساخت بتن‌های معمولی استفاده گردید. شن‌های مورد استفاده در ساخت آزمون‌های بتن پیش‌آکنده و بتن معمولی از یک معدن تهیه و کلیه خواص شیمیایی و مکانیکی آن‌ها در ساخت تمامی آزمون‌ها یکسان می‌باشند و از شن‌های اشباع با سطح خشک در ساخت نمونه‌های استفاده شده است. تنها تفاوت ذرات درشت‌دانه در ساخت آزمون‌ها، دانه بندی متفاوت آن‌ها می‌باشد.

چگالی ذرات شن به ترتیب $\frac{1}{55} \frac{ton}{m^3}$ و $\frac{1}{6} \frac{ton}{m^3}$ ، همچنین پوکی ذرات شن مورد استفاده به ترتیب ۰/۴۲ و ۰/۳۸ برای بتن‌های PA1 و PA2 بدست آمدند.

ویژگی‌های ماسه مصرفی در آزمون‌های ساخته شده یکسان می‌باشد و برای ساخت تمام آزمون‌ها از یک نوع ماسه استفاده گردید. البته با توجه به تفاوت‌های نحوه ساخت بتن پیش‌آکنده و بتن معمولی تفاوت‌هایی در دانه بندی ماسه مصرفی وجود دارد. شکل ۲ منحنی دانه بندی شن و ماسه مصرفی در بتن پیش‌آکنده و بتن معمولی ساخته شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲- منحنی دانه بندی ذرات شن و ماسه

مدول نرمی ماسه مصرفی در ساخت بتن پیش آکنده ۲/۲۱ و مدول نرمی ماسه مصرفی در ساخت بتن معمولی ۳/۴۷ می باشند.

جدول ۱ پارامترهای منحنی دانه بندی شن و ماسه، شامل ضریب یکنواختی (C_u)، ضریب انحاء (C_c) و میانگین اندازه دانه ها (D_{50}) را نشان می دهد.

جدول ۱- پارامترهای منحنی دانه بندی مصالح

ماسه (mm)			شن (mm)			
CC	PA2	PA1	CC	PA2	PA1	
۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۱۷	۱۲	۱۵	۲۷	D_{10}
۰/۶۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۱۵	۱۷	۲۹	D_{30}
۱/۴	۰/۵۳	۰/۵۳	۱۷	۲۰	۳۰	D_{50}
۱/۹	۰/۶۶	۰/۶۶	۱۸	۲۱	۳۲	D_{60}
۸/۶۴	۳/۸۸	۳/۸۸	۱/۵	۱/۴	۱/۱۹	C_u
۱/۰۵	۱/۰۳	۱/۰۳	۰/۹۶	۱/۰۹	۱/۰۳	C_c

برای ساخت آزمون ها از آب شرب استفاده شد و سیمان مصرفی در همه ی آزمون ها، سیمان پرتلند نوع دو شاهرود می باشند. برای ساختن ملات آزمون های بتن پیش آکنده از افزودنی منبسط کننده E.M.GROUT_500 ساخت شرکت آبادگران استفاده گردید. این افزودنی دارای رنگ خاکستری و حالت پودری دارد و وزن مخصوص فله آن ۰/۶۲ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد.

در ساخت آزمون‌های بتن پیش‌آکنده PA1 و PA2 تمامی نسبت‌ها و مقادیر یکسان می‌باشند و تنها دانه بندی ذرات شن است که باعث اختلاف این دو نوع بتن می‌شود. در ساخت بتن معمولی نیز نسبت‌های مخلوط، نسبت‌های معمول مخلوط در ساخت بتن با عیار سیمان ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشند.

برای ساخت بتن‌های نوع PA1 و PA2 ابتدا به اندازه‌ی حجم قالب‌ها (۰/۰۰۵۳ مترمکعب) شن درون قالب‌های استوانه‌ای ریخته شدند. سپس ملات ساخته شده، از بالا درون قالب ریخته شد و توسط میز و بیره فضاهای خالی موجود میان سنگدانه‌ها توسط ملات پر شد. میزان ملات مصرفی در بتن پیش‌آکنده برابر با نسبت پوکی می‌باشد و در این پژوهش در هر متر مکعب بتن ۰/۴۲ مترمکعب ملات در بتن PA1 و ۰/۳۸ مترمکعب ملات در بتن PA2 استفاده شد. شکل ۳ قالب‌های بتن پیش‌آکنده که توسط شن پر شده اند را نشان می‌دهد.



شکل ۳- قرار دادن ذرات شن درون قالب‌ها جهت ساخت بتن پیش‌آکنده

جدول ۲ نسبت‌های مخلوط مصالح در ۱ متر مکعب ملات بتن پیش‌آکنده را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نسبت‌های مخلوط در ۱ مترمکعب ملات آزمون‌های بتن پیش‌آکنده

نوع بتن	نسبت آب به سیمان (w/c)	نسبت ماسه به سیمان (s/c)	مقدار سیمان (kg)	مقدار ماسه (kg)	مقدار آب (kg)	درصد منبسط کننده به سیمان (/.)
PA1	۰/۵	۱	۸۰۰	۸۰۰	۴۰۰	۰,۸
PA2	۰/۵	۱	۸۰۰	۸۰۰	۴۰۰	۰,۸

شکل ۴ آزمون‌های بتن پیش‌آکنده را بعد از اضافه شدن ملات به قالب نشان می‌دهد.



شکل ۴- بتن پیش آکنده نوع بعد از اضافه شدن ملات

طرح مخلوط بتن معمولی در این پژوهش مقادیر معمول مورد استفاده در بتن معمولی با عیار سیمان ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب می باشد. مقادیر مصالح مصرفی در ۱ متر مکعب بتن پیش آکنده، بر اساس پوکوی و طرح مخلوط ملات بدست می آید. جدول ۳ نسبت های مخلوط مصالح را در ۱ مترمکعب بتن نشان می دهد.

جدول ۳- طرح مخلوط آزمون های بتنی

نوع بتن	نسبت آب به سیمان (w/c)	مقدار شن (kg)	مقدار سیمان (kg)	مقدار ماسه (kg)	مقدار (kg)
PA1	۰/۵	۱۵۱۰	۳۳۶	۳۳۶	۱۶۸
PA2	۰/۵	۱۶۱۰	۳۰۴	۳۰۴	۱۵۲
CC	۰/۵۷	۱۲۲۵	۳۰۰	۶۳۰	۱۷۰

۳. نتایج آزمایش ها

در این پژوهش جهت بررسی تاثیر دانه بندی ذرات درشت دانه بر روی پارامترهای مقاومتی بتن پیش آکنده و مقایسه آن با بتن معمولی آزمایش های مقاومت فشاری تک محوره و مقاومت کششی برزیلی بر روی آزمون های ساخته شده انجام پذیرفت.

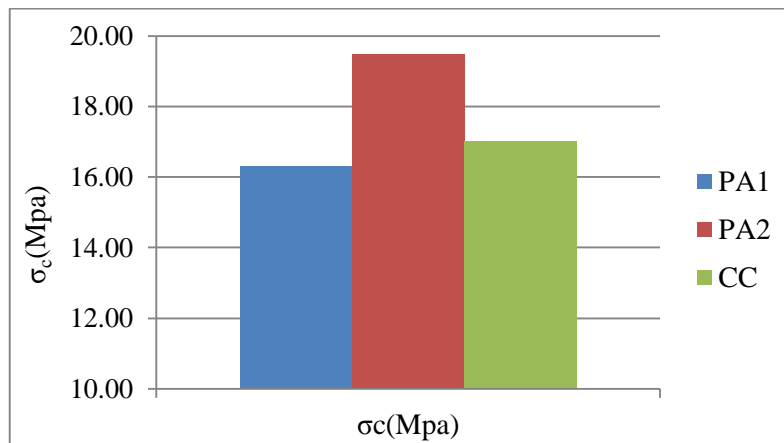
۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری تک محوره

آزمایش مقاومت فشاری تک محوره بر روی ۳۰ آزمون ی استوانه ای استاندارد 150×300 mm، شامل ۱۰ آزمون از هر نوع از بتن ها صورت پذیرفت و مقادیر مقاومت فشاری تک محوره (σ_c) برای آزمون ها محاسبه گردید. همچنین با مغزه گیری از آزمون های استوانه ای تعداد ۱۰ آزمون ی 50×100 mm از هر نوع آزمون تهیه شد و با نصب کرنش سنج و انجام آزمایش مقاومت فشاری تک محوره مقادیر مقاومت فشاری (q_u)، مدول الاستیسیته (E) و ضریب پواسون (v) نیز برای آزمون ها بدست آمدند. شکل ۵ دستگاه آزمایش را نشان می دهد. شکل ۶ میانگین مقادیر مقاومت فشاری تک محوره آزمون های

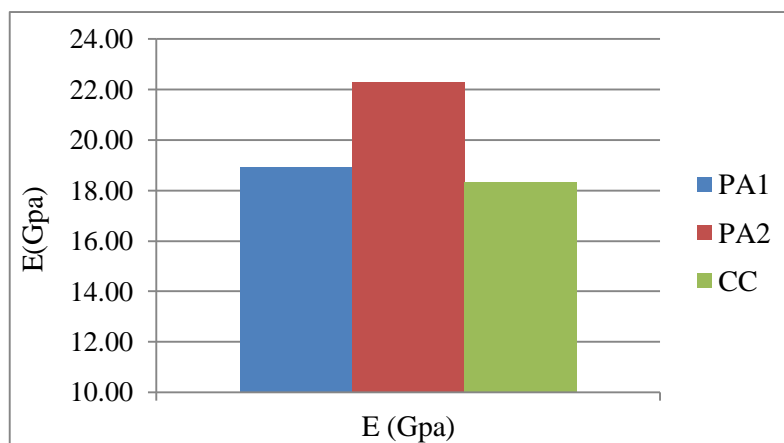
بتنی را با یکدیگر مقایسه می کند. شکل ۷ میانگین مقادیر مدول الاستیسیته آزمون‌های بتنی را با یکدیگر مقایسه می کند. شکل ۸ نیز میانگین مقادیر ضریب پواسون آزمون‌های بتنی ساخته در این پژوهش را نشان می دهد.



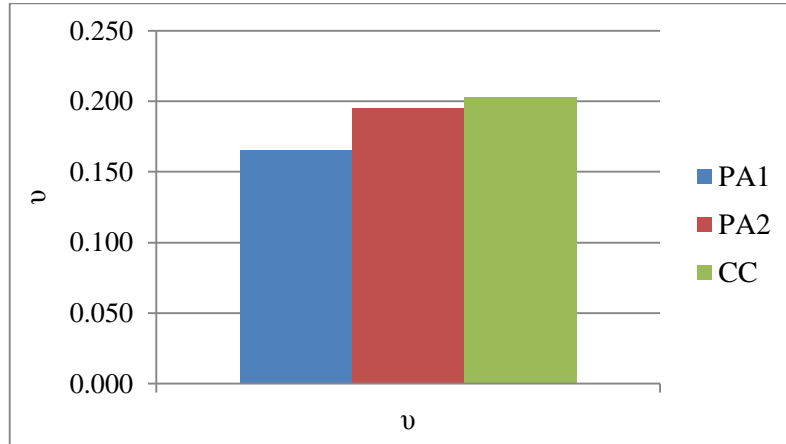
شکل ۵-آزمایش مقاومت فشاری تک محوره بر روی آزمون‌های استاندارد



شکل ۶-نمودار مقایسه مقاومت فشاری تک محوره آزمون‌های استاندارد



شکل ۷- نمودار مقایسه مقادیر مدول الاستیسیته آزمون ها



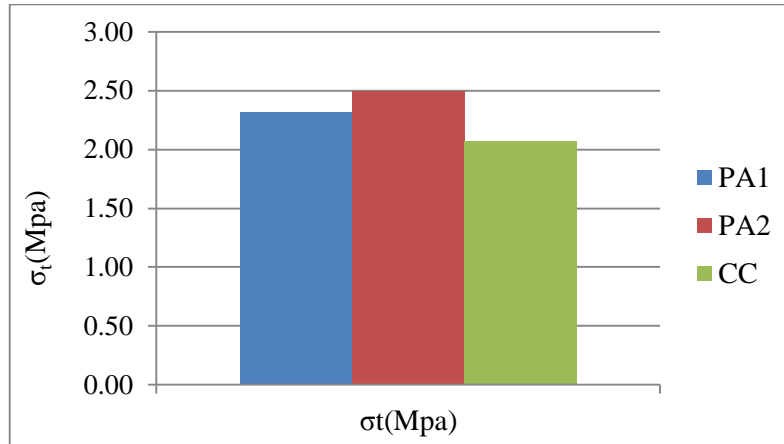
شکل ۸- نمودار مقایسه مقادیر ضریب پواسون آزمون ها

۳-۲- آزمایش مقاومت کششی به روش برزیلی

آزمایش مقاومت کششی به روش برزیلی بر روی ۱۰ آزمون ی استوانه ای استاندارد 150×300 mm از هر نوع از بتن ها صورت پذیرفت و مقادیر مقاومت کششی آزمون ها محاسبه گردیدند. شکل ۹ دستگاه مورد استفاده در این آزمایش را نشان می دهد. همچنین شکل ۱۰ مقایسه ی مقادیر مقاومت کششی را برای آزمون های مختلف نشان می دهد.



شکل ۹- آزمایش برزیلی بر روی آزمون های استوانه ای استاندارد



شکل ۱۰- نمودار مقایسه مقادیر مقاومت کششی آزمونه ها

۳-۳- رابطه مقاومت فشاری و مقاومت کششی

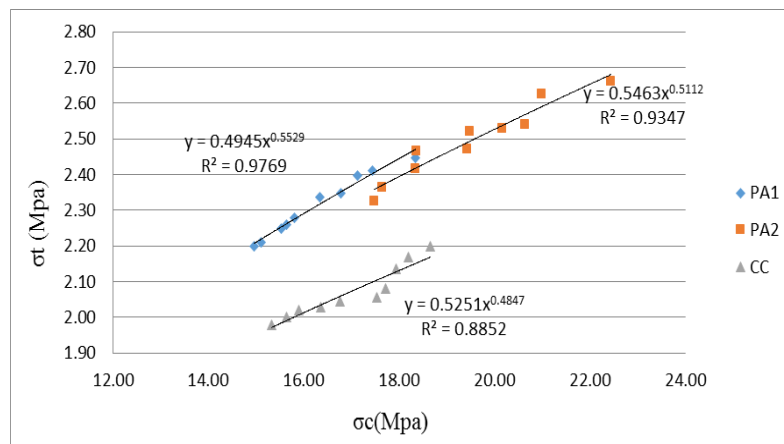
بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش ها و رسم منحنی مقاومت کششی بر اساس مقاومت فشاری، روابط ۱ الی ۳ به ترتیب برای آزمونه های PA1، PA2، و CC بدست آمدند. همچنین شکل ۱۱ رابطه ی بین مقاومت کششی و مقاومت فشاری را در این پژوهش نشان می دهد.

$$\sigma_t = 0.4945\sigma_c^{0.5529} \quad (۱)$$

$$\sigma_t = 0.5463\sigma_c^{0.5112} \quad (۲)$$

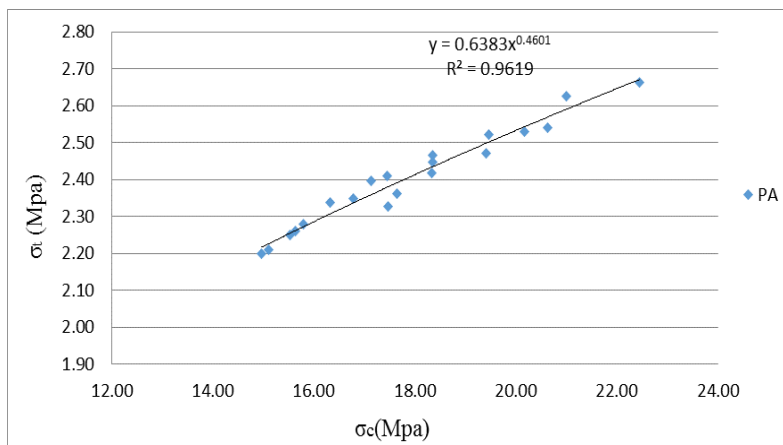
$$\sigma_t = 0.5251\sigma_c^{0.4847} \quad (۳)$$

σ_c و σ_t به ترتیب مقاومت کششی و مقاومت فشاری بتن می باشند.



شکل ۱۱- رابطه مقاومت کششی و مقاومت فشاری آزمونه ها

با تجمیع نتایج مربوط به آزمون‌های PA1 و PA2 و رسم منحنی مقاومت کششی و مقاومت فشاری، رابطه‌ی مقاومت فشاری و کششی در بتن پیش‌آکنده مطابق رابطه ۴ بدست آمد. شکل ۱۲ نشان دهنده منحنی رابطه مقاومت فشاری و کششی در بتن پیش‌آکنده می‌باشد.



شکل ۱۲- رابطه مقاومت فشاری و کششی در بتن پیش‌آکنده

$$\sigma_t = 0.6383\sigma_c^{0.4601} \quad (1)$$

σ_c و σ_t به ترتیب مقاومت کششی و مقاومت فشاری بتن می‌باشند.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که دانه بندی شن نقش بسیار مهمی در پارامترهای مقاومتی بتن پیش‌آکنده دارد. استفاده از شن با دانه بندی ریزتر باعث افزایش مقاومت فشاری، افزایش مقاومت کششی، افزایش مدول الاستیسیته و کاهش ضریب پواسون بتن پیش‌آکنده می‌شود. با استفاده از شن‌های ریزتر، مقاومت فشاری بتن پیش‌آکنده ۱/۱۵ برابر بتن معمولی بدست آمد. مدول الاستیسیته بتن پیش‌آکنده ی نوع PA2، ۱/۲۲ برابر بتن معمولی بدست آمد. مقاومت کششی بتن پیش‌آکنده با دانه بندی ریزتر نیز، ۱/۲ برابر بتن معمولی بدست آمد. ضریب پواسون بتن پیش‌آکنده نوع دوم، ۰/۹۶ برابر بتن معمولی بدست آمد. با توجه به نتایج بدست آمده، بتن پیش‌آکنده با انتخاب مناسب طرح مخلوط، دارای پارامترهای مقاومتی بالاتری نسبت به بتن معمولی می‌باشد و می‌تواند مقاومت‌های فشاری و کششی بالاتری نسبت به بتن معمولی تحمل نماید.

با توجه به گسترش روز افزون استفاده از بتن و با توجه به این که بتن پیش‌آکنده می‌تواند از لحاظ فنی و اقتصادی بسیار بهتر از بتن معمولی باشد انجام پژوهش‌های کاربردی در این حوزه پیشنهاد می‌گردد.

۵. قدردانی

نویسندگان مقاله از شرکت پاکدشت بتن، مهندس علیرضا رحمتی، مهندس بهمن پیرهادی، مهندس مهدی سلیمانی و شرکت باند و راه آبادگران کوشاچم که در مراحل مختلف این پژوهش همکاری داشته‌اند تقدیر و تشکر می‌نمایند.

۶. مراجع

- [1] ACI 304.1. Guide for the use of preplaced aggregate concrete for structural and mass concrete applications. American Concrete Institute, ACI Committee 304.1; 2005. p. 19
- [2] Najjar MF, Soliman AM, Nehdi ML. Critical overview of two-stage concrete: properties and applications. Constr Build Mater 2014;62:47–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.021>.
- [3] Abdelgader HS. How to design concrete produced by a two-stage concreting method. Cem Concr Res 1999;29(3):331–7. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00215-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00215-4).
- [4] Abdelgader HS. Effect of the quantity of sand on the compressive strength of two-stage concrete. Mag Concr Res 1996;48(177):353–60. <http://dx.doi.org/10.1680/mac.1996.48.177.353>.
- [5] ASTM C953-10, Standard Test Method for Time of Setting of Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory, ASTM International, West Conshohocken, PA; 2010, <<http://www.astm.org>>
- [6] ASTM C942-10, Standard Test Method for Compressive Strength of Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory, ASTM International, West Conshohocken, PA; 2010, <www.astm.org> doi:10.1520/C0942-10.
- [7] ASTM C943-10, Standard Practice for Making Test Cylinders and Prisms for Determining Strength and Density of Preplaced-Aggregate Concrete in the Berkeley, CA; 2000.
- [8] Abdul Awal AS. Manufacture and properties of pre-packed aggregate concrete. Master thesis. University of Melbourne, Australia; 1984. p. 121.
- [9] Abdelgader HS, Górski J. Stress-strain relations and modulus of elasticity of two-stage concrete. J Mater Civ Eng, ASCE 2003; 15(4):329–34.
- [10] Rajabi AM, Omidimoaf F, Simple empirical formula to estimate the main geomechanical parameters of preplaced aggregate concrete and conventional concrete. Constr Build Mater 2017; 146:485–492. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.089>.