

# بررسی تأثیر شکل و اندازه بر مقاومت نمونه‌های بتنی

شادی اکنونی<sup>۱</sup>، علی اکبر میرنامی<sup>۲</sup>، محمد رضا توکلی‌زاده<sup>۳</sup>

دانشگاه فردوسی مشهد

alimirnami@gmail.com

## خلاصه

مقاومت فشاری بتن به عنوان اساسی ترین مشخصه ویژگی ماده در طراحی سازه‌های بتن آرمه بکار می‌رود. در این پژوهش آزمایشگاهی، تأثیر اندازه و شکل نمونه بر مقاومت فشاری آن بتن به صورت تجربی آماری مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمایشات برای بررسی اثر شکل نمونه‌های استوانه‌ای و مکعبی تهیه شد و همچنین برای مطالعه اثر اندازه چهار ابعاد مختلف بررسی شد. در مجموع تعداد ۱۱۶ نمونه برای سه طرح اختلاط با مقاومت‌های متفاوت آزمایش گردید. پس از بررسی و تحلیل داده‌ها اثر شکل و اندازه و مقاومت بتن تعیین و با مقادیر رایج مقایسه گردید.

کلمات کلیدی: مقاومت فشاری، اندازه، شکل، ترک، تئوری احتمال

## مقدمه

تمامی مواد دارای ویژگی ذاتی ماده می‌باشند. برای هر ماده ویژگی‌ها بصورت منحصر به فرد در نظر گرفته می‌شوند هنگامی که مستقل از شکل و اندازه نمونه باشد. برای طراحی مقاومت فشاری استاندارد (150×300mm) بعنوان اصلی‌ترین و مهمترین مشخصه ماده پذیرفته شده است. گرچه این عقیده رایج که مقاومت فشاری بتن یک ویژگی منحصر به فرد ماده می‌باشد یک اشتباه می‌باشد چرا که مقاومت فشاری بتن بسته به اندازه نمونه‌ها و شکل آن‌ها بعلاوه ویژگی‌های شکست آن متفاوت می‌باشد.

تمامی مصالح دارای ویژگی ذاتی مکانیکی می‌باشند. ویژگی‌های هر ماده را می‌توان بصورت منحصر به فرد در نظر گرفت اگر مستقل از شکل و اندازه نمونه باشد. در مورد بتن و برای طراحی مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد یک استوانه 150×300 میلیمتر به‌عنوان مهمترین ویژگی آن پذیرفته شده است [۱]. از آنجائیکه مقاومت فشاری بتن بسته به نوع نمونه‌های آزمایشگاهی متفاوت است، اثر اندازه و شکل و مقاومت بعلاوه ویژگی‌های شکست آن متفاوت می‌باشد.

در این زمینه تحقیقات مختلفی توسط محققان مختلف صورت گرفته است. (Murdock and Kesler (1957) اظهار داشتند که تغییرات مقاومت بر اثر شکل و اندازه در بتن‌های با مقاومت بالا کمتر از تغییرات برای بتن با مقاومت بالا می‌باشد. (Mansur and Islam(2002) و همچنین Burtcher and Kolleger (2004) نیز اظهار داشتند که با افزایش اندازه نمونه مقاومت آن کاهش می‌یابد. [۳و۵]

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی

<sup>۳</sup> دکترای سازه

برای تحقیق اثر شکل و اندازه برای مقاومت های گوناگون نمونه های بتنی و بررسی صحت تحقیقات پیشین و بررسی ضرایب تبدیل به مقاومت نمونه استوانه ای استاندارد موجود، تعداد ۱۱۶ نمونه آزمایش گردیدند .

#### برنامه آزمایشات

تهیه مخلوط های بتنی برای رسیدن به سه مقاومت هدف ۲۵، ۴۵ و ۶۵ مگاپاسکال صورت گرفت. از هر شکل مکعبی و استوانه ای در چهار اندازه استفاده گردید. نمونه های مکعبی در ابعاد ۵۰mm، ۷۵mm، ۱۰۰mm و ۱۵۰mm و نمونه های استوانه ای در ابعاد ۶۰×۱۲۰، ۸۷×۱۷۴، ۱۱۸×۲۳۶ و ۱۵۰×۳۰۰ ساخته شدند.



شکل ۱- شمای کلی از نمونه های آزمایش شده

#### مصالح مورد استفاده

سنگدانه های مورد استفاده در این آزمایشات شن و ماسه شکسته با بزرگترین اندازه درشت دانه به قطر ۹/۵ میلی متر محدود شده بود. سیمان مورد استفاده سیمان مشهد تیپ II بوده و برای ساختن مخلوط دوم با مقاومت ۴۵ مگاپاسکال از فوق روان کننده و برای ساختن مخلوط سوم با مقاومت ۶۵ مگا پاسکال از فوق روان کننده به همراه میکروسیلیس استفاده گردید.

#### ساخت و آزمایش نمونه ها

اختلاط نمونه ها در یک میکسر آزمایشگاهی و بر اساس طرح اختلاط و با اضافه کردن تدریجی آب صورت گرفت. نمونه ها مطابق استاندارد در سه لایه ریخته شده و در هر لایه ۲۵ ضربه توسط میله مخصوص کوبیده شد. ضمناً از یک میز لرزه با فرکانس ثابت برای تمامی آزمایشات استفاده گردید. نمونه ها تا یک روز پس از ریختن آن ها درون قالب های پوشیده شده با نایلون نگهداری گردید و پس از آن به مدت ۲۷ روز در حمام آب با دمای ثابت نگهداری گردید.

نمونه های استوانه ای				طرح اختلاط
۱۵۰×۳۰۰	۱۱۸×۲۳۶	۸۷×۱۷۴	۶۰×۱۲۰	
۵	۵	۵	۵	۱
۵	۴	۴	۵	۲

۵	۴	۵	۵	۳
نمونه‌های مکعبی				طرح اختلاط
۱۵۰×۱۵۰×۱	۱۰۰×۱۰۰×۱	۷۵×۷۵×	۵۰×۵۰×	
۵	۵	۵	۵	۱
۵	۴	۵	۵	۲
۵	۵	۵	۵	۳

جدول ۱- تعداد نمونه‌های آزمایش شده برای هر اندازه و طرح اختلاط مشخص



شکل ۲- قالب‌های استوانه‌ای و مکعبی به کار رفته در آزمایش

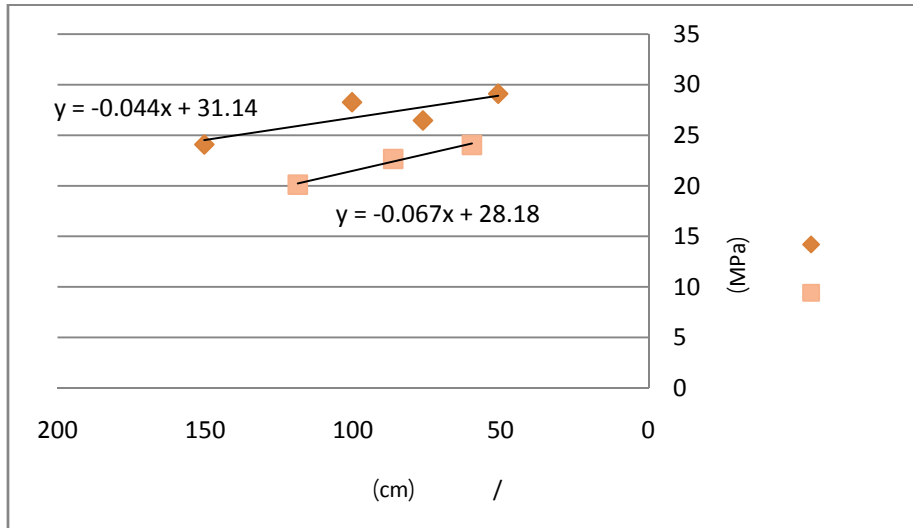
برای جلوگیری از تمرکز تنش و صاف بودن نمونه‌ها در بین صفحه‌های دستگاه بارگذاری نمونه‌های استوانه‌ای توسط گوگرد کلاهدک گذاری شدند. همچنین جهت بارگذاری از دستگاه بارگذاری دیجیتال ELE با ظرفیت ۲۸۰۰kg و مجهز به رکاب مفصل کروی برای آزمایش نمونه‌ها استفاده گردید. سرعت بارگذاری برابر ۰/۲Mpa/sec اختیار گردید. [۶]



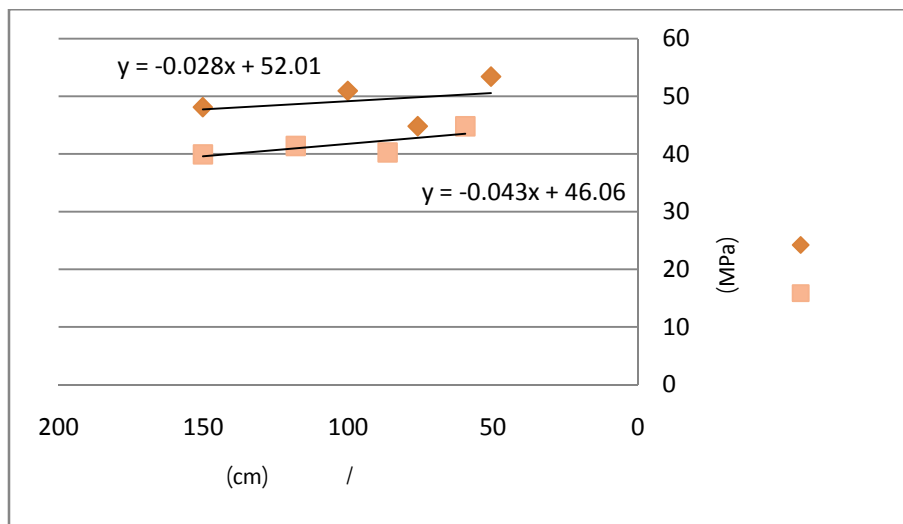
شکل ۳- دستگاه بارگذاری دیجیتال

## نتایج آزمایشات:

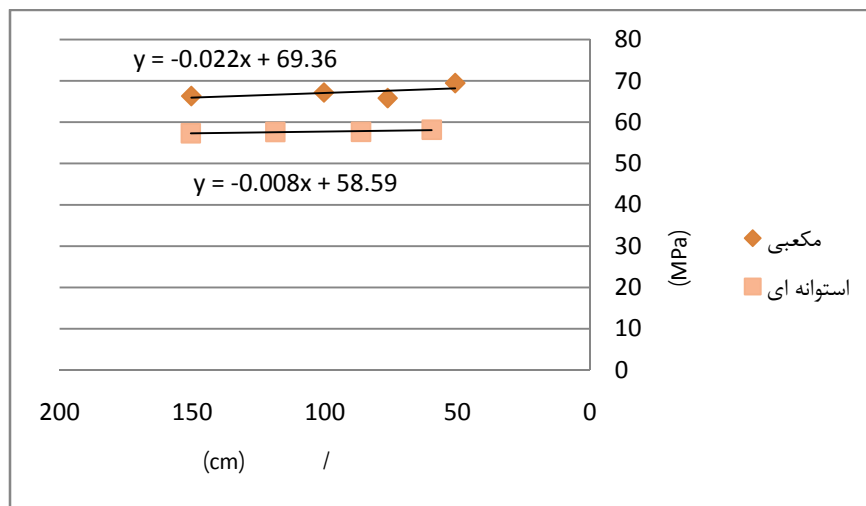
در ذیل نتایج آزمایشات برای هر محدوده مقاومتی در نمودارهای مربوطه آمده است. در هر جدول نتایج مربوط به نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای مرتبط با یک طرح اختلاط در کنار هم آورده شده است. لازم به ذکر است که عدد مربوط به نتایج نمونه استوانه‌ای  $150 \times 150 \text{ mm}$  به علت مشکلات بارگذاری از نتایج حذف گردید.



شکل ۴- تغییرات مقاومت نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای مخلوط اول (25MPa) بر اساس تغییر ابعاد



شکل ۵- تغییرات مقاومت نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای مخلوط دوم (45MPa) بر اساس تغییر ابعاد

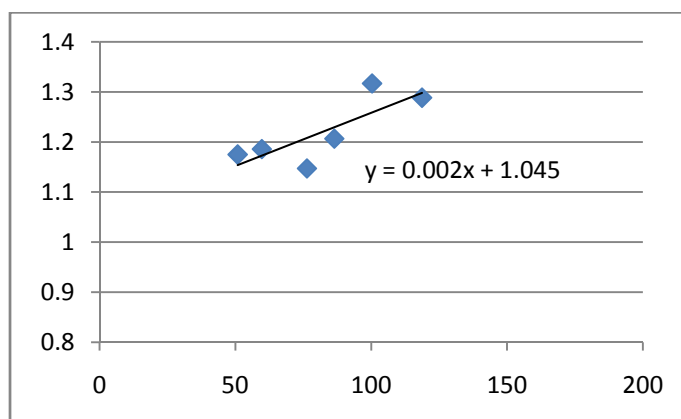


شکل ۶- تغییرات مقاومت نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای مخلوط سوم (۶۵MPa) بر اساس تغییر ابعاد

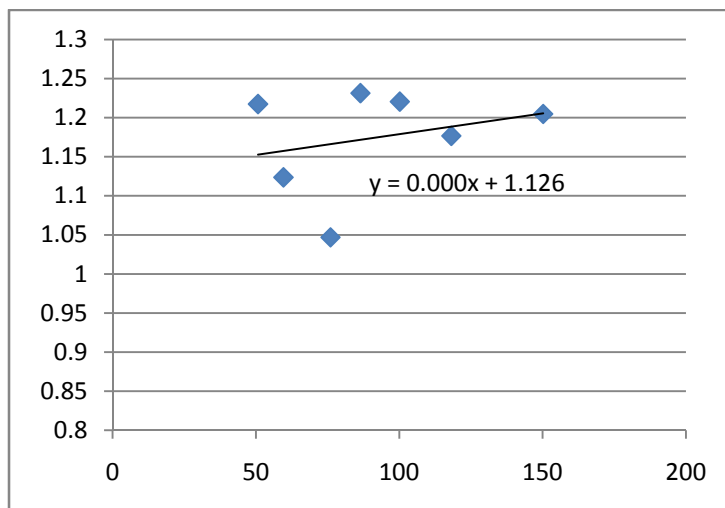
در مجموع با توجه به روند موجود در نمودارها مشاهده می‌گردد که مقاومت نمونه‌های مکعبی از مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای نظیر آن بیشتر می‌باشد. همچنین با افزایش اندازه نمونه‌ها در مجموع از مقاومت فشاری بتن کاسته شده است. برای هر حالت برازش داده‌ها به صورت خطی رسم گردیده و معادله خط نیز بر روی نمودار آورده شده است. مشاهده می‌گردد که با افزایش مقاومت از شیب این خط کاسته شده است. یعنی نرخ کاهش مقاومت با افزایش ابعاد نمونه با افزایش مقاومت مخلوط، کاهش یافته است و خط برازش کننده داده‌ها به سمت خط مستقیم میل می‌کند (شکل ۶-۳).

در توجیه مقاومت بیشتر نمونه‌های مکعبی می‌توان اظهار داشت که به علت وجود اصطکاک میان صفحه فولادی بارگذاری و سطح بارگذاری شده بتن و همچنین متفاوت بودن مشخصات این دو ماده نظیر ضریب پواسون آن‌ها، تنش برشی در سطح تماس نمونه با صفحات بارگذاری ایجاد می‌گردد که ثابت گردیده این تنش برشی با بیشینه زاویه  $60^\circ$  در نمونه گسترش می‌یابد. در نمونه‌های مکعبی گسترش تنش برشی در بتن، از بالا و پایین نمونه، در وسط نمونه با یکدیگر تلاقی می‌نمایند اما در نمونه‌های استوانه‌ای مشاهده می‌گردد که ناحیه‌ای در مرکز بتن وجود دارد که عاری از تنش‌های برشی می‌باشد. این عامل سبب آن می‌گردد که نمونه‌های استوانه‌ای مقاومت کمتری نشان دهند. [۲۱]

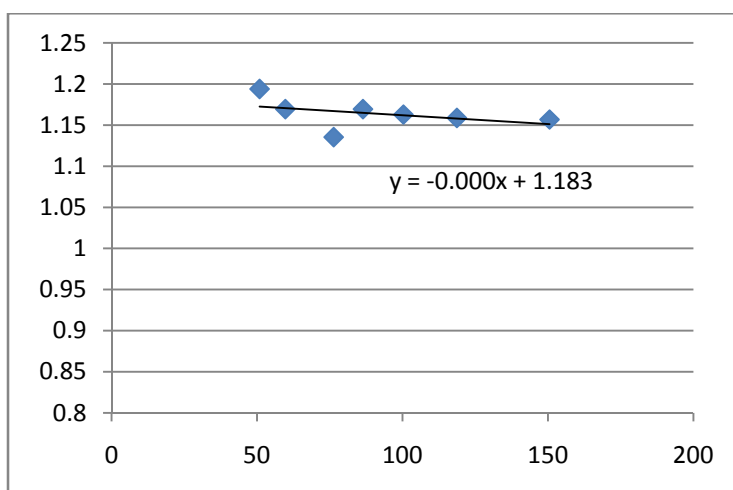
همچنین بر اساس تئوری احتمال با افزایش ابعاد نمونه احتمال وجود ترک در بتن بالا می‌رود؛ با وجودی که بتن تحت فشار قرار دارد ولی گسیختگی آن در اثر کشش ایجاد شده و گسترش ترک‌ها در بتن می‌باشد، به همین علت با افزایش احتمال وجود ترک‌ها با افزایش ابعاد نمونه احتمال شکست بتن در مقاومت‌های پایین‌تر بالا می‌رود. [۴] نسبت مقاومت نمونه‌های مکعبی به مقاومت نمونه استوانه‌ای نظیر آن محاسبه گردیده و در نمودارهای ذیل آورده شد.



شکل ۷- نسبت مقاومت نمونه مکعبی به مقاومت نمونه استوانه‌ای نظیر برای مخلوط اول



شکل ۸- نسبت مقاومت نمونه مکعبی به مقاومت نمونه استوانه‌ای نظیر برای مخلوط دوم



شکل ۹- نسبت مقاومت نمونه مکعبی به مقاومت نمونه استوانه‌ای نظیر برای مخلوط سوم

همانطور که در اشکال ۷ و ۸ مشاهده می‌گردد مقاومت نمونه مکعبی از نمونه استوانه‌ای بیشتر می‌باشد که ضرایب آن با استفاده از معادله خطوط رسم شده بدست خواهد آمد؛ ضمناً مشاهده می‌گردد که شیب خط برای مخلوط ۲ از شیب خط برای مخلوط ۱ کمتر است. در شکل ۹ مشاهده می‌گردد که این روند جهت عکس پیدا نموده است اما دیده می‌شود که خط به دست آمده دارای شیب ناچیز می‌باشد. پس می‌توان به طور کلی نتیجه گرفت که با افزایش مقاومت، از تأثیر شکل در مقاومت بدست آمده نمونه کاسته می‌شود. مشاهده می‌گردد که ضریب رایج ۱/۲۵ برای تبدیل مقاومت نمونه استوانه‌ای ۱۵۰×۱۵۰×۳۰۰ به نمونه مکعبی ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ بیشتر برای مقادیر مقاومتی مصارف ساختمانی (تقریباً ۳۵MPa) صحیح می‌باشد و برای مقاومت‌های کمتر و بیشتر از آن مقادیر به ترتیب کوچکتر و بزرگتری صادقند.

## نتیجه‌گیری:

با توجه به آزمایشات انجام شده نتیجه گردید که عامل شکل و اندازه در مقاومت نمونه‌های بتنی موثر بوده بدین صورت که نمونه‌های مکعبی مقاومت بیشتری از نمونه‌های استوانه‌ای دارند و نیز با افزایش اندازه در مجموع از مقاومت نمونه‌ها کاسته می‌شود. همچنین مشاهده گردید که با افزایش مقاومت بتن این روند همچنان ادامه دارد ولی تأثیر آن به تدریج کم می‌گردد.

## منابع:

- ۱- سازه‌های بتن آرمه، داوود مستوفی نژاد ۱۳۸۳
- ۲- طراحی ساختمان‌های بتن مسلح، شاپور طاحونی ۱۳۷۵
- 3- Bazant, Z.P., Xiang, Y., 1997. Size effect in compression fracture: splitting crack band propagation, J.Eng. Mech ASCE 123(2), 162-172
- 4- Benjamin, J.R., Cornell, C.A., 1970. Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers. McGraw-Hill Publishing Company, New York(Section 4.3).
- 5- Bazant, Z.P., and Oh, B.H., (1983), "Crack Band Theory for Fracture of Concrete", Materials and Structures, Vol.16, No.93, pp.155-177.
- 6- ASTM Standards 2001