

## رابطه بین مقاومت بتن مغزه و نمونه استاندارد

### چکیده

در بسیاری موارد نیاز به اندازه گیری مقاومت بتن یک عضو سازه ای می باشد. در این موارد مغزه گیری به عنوان یکی از روشهای تخمین مقاومت قسمتهای داخلی یک عضو می تواند به کار رود. با توجه به عوامل مؤثر بر مغزه، مقاومت مغزه با مقاومت نمونه های استوانه ای معمول برابر نیست. لذا یک برنامه آزمایشگاهی جهت بررسی مقاومت مغزه تهیه شد و در دانشگاه صنعتی شریف به اجرا درآمد. هدف از این برنامه تعیین ضرایبی جهت ارتباط بین مقاومت مغزه و مقاومت نمونه استوانه ای می باشد.

در این راستا نمونه هایی به صورت تیر و استوانه برای سه مقاومت مختلف بتن ساخته شد و پس از عمل آوری از تیرها مغزه هایی گرفته شد. مغزه ها همراه با نمونه های استوانه ای استاندارد تحت آزمایش فشاری قرار گرفتند. بر اساس نتایج حاصل از آزمایش ها، روابطی برای تعیین مقاومت بتن بر اساس مقاومت مغزه به دست آمد.

**کلید واژه ها:** آزمایشهای بتن، مغزه، مغزه گیری، مقاومت بتن، نمونه های استوانه ای استاندارد

معمول ترین آزمایش بر روی بتن، آزمایش مقاومت فشاری است زیرا به هر حال بتن یک مصالح سازه ای است و از طرفی آزمایشهای مربوط به اندازه گیری مقاومت ساده هستند. نمونه های این آزمایش از بتن تازه و قبل از ریختن آن در قالب گرفته می شود. درحقیقت این آزمایش، مقاومت موجود در عضو سازه ای را به دست نمی دهد زیرا در آن اثرات انتقال، تراکم و عمل آوری بتن با وضع موجود در سازه متفاوت است. به علاوه از آنجا که تعیین مقاومت نمونه های استاندارد معمولاً در سن ۲۸ روزه انجام می شود، نمی توان از آن برای تعیین مقاومت در سنین کمتر استفاده کرد. گاهی اوقات ممکن است اطلاعات لازم در مورد یک سازه ساخته شده موجود نباشد یا اینکه اطلاعات موجود بنابر دلایلی مورد تردید واقع شوند یا برای بررسی علل خرابی یک ساختمان پس از خرابی آن نیاز به اندازه گیری مقاومت بتن باشد. در همه این موارد آزمایشهای در محل مورد نیاز می باشند.

مغزه گیری به عنوان یکی از دقیق ترین و مهمترین آزمایشهای در محل مطرح می باشد. هر چند مغزه گیری بین آزمایشهای در محل جزء آزمایشهای پر هزینه و با سرعت کند محسوب می گردد اما دقت و قابلیت اعتماد مناسب آن انجام این آزمایش را توجیه می کند. در بسیاری موارد با توجه به عدم دقت سایر آزمایشهای در محل، نیاز به مغزه گیری وجود دارد اگرچه آنها در کاهش تعداد مغزه های مورد نیاز موثر می باشد. شایان ذکر است که بررسی دقیق و هوشمندانه باید همواره همراه آزمایشهای غیر مخرب باشد که مغزه گیری را نیز دربرمی گیرد.

جهت ارزیابی نتایج این آزمایشها باید رابطه بین نتایج در محل و مقاومت بتن تعیین گردد. هدف از این مقاله ارائه ضرایبی برای ارتباط دادن مقاومت مغزه و مقاومت نمونه استوانه ای استاندارد برای مقاومت های کمتر از  $450 \text{ Kg/cm}^2$  بر اساس مطالعات آزمایشگاهی می باشد.

#### تاریخچه :

در اوایل دهه ۶۰ میلادی و در اوایل شروع تحقیقات بر روی مقاومت مغزه در مقاله ای توسط آقایان Tynes و Mather بیان شد که برای افزایش دقت نمونه های مغزه گیری علاوه بر افزایش تعداد مغزه ها باید ابعاد آنها را نیز بزرگ تر در نظر گرفت [۴]. در همان دهه افراد مختلف کارهای آزمایشگاهی و تجربی زیادی در این زمینه انجام دادند. آنها نیز به این نتیجه رسیدند که نتایج آزمایش مقاومت فشاری مغزه ها دارای انحراف معیار بیشتری نسبت به نمونه های استاندارد می باشند [۴]. آقای Bloem در سال ۱۹۶۸ به این نتیجه رسید که در صورت عمل آوری خوب و ایده آل مقاومت فشاری مغزه ها به طور متوسط ۱۰٪ کمتر از مقاومت نمونه های استوانه ای استاندارد عمل آوری شده تحت شرایط میدانی می باشد در حالی که برای عمل آوری ضعیف این مقدار ممکن است به ۲۰٪ برسد [۴]. در همان سال Petersons نیز اعلام کرد که نسبت مقاومت مغزه به مقاومت استوانه استاندارد (در عمر یکسان) همواره از یک کمتر است و این نسبت با افزایش سطح مقاومت استوانه کاهش می یابد. او مقادیر تقریبی این نسبت را قدری کمتر از یک برای وقتی که مقاومت استوانه استاندارد حدود  $20 \text{ MPa}$  باشد و ۰/۷ برای وقتی که مقاومت نمونه استوانه ای استاندارد  $60 \text{ Mpa}$  باشد به دست آورد. او همچنین نشان داد با افزایش عمق زیر سطح فوقانی، مقاومت مغزه افزایش می یابد [۱].

در سال ۱۹۷۱، Petersons پیشنهاد کرد که برای شرایط معمولی افزایش در مقاومت پس از سه ماه در مقایسه با مقاومت ۲۸ روزه حدود ۱۰٪ و برای عمر ۶ ماه ۱۵٪ در نظر گرفته شود هر چند سه سال بعد توسط Plowman و همکارانش شواهدی به دست آمد که نشان می دهند بتن در جا ریخته شده در کارگاه پس از ۲۸ روز افزایش کمی در مقاومت حاصل می نماید [۱]. در سال ۱۹۷۷ Bungey و Bentur به این نتیجه رسیدند که در مورد سگدانه هایی با حداکثر اندازه  $20 \text{ mm}$ ، مغزه های با قطر  $50 \text{ mm}$  دارای مقاومتی حدود ۱۰٪ کمتر از مغزه های با قطر  $100 \text{ mm}$  می باشد [۱]. گزارشهای مختلف در سال ۱۹۷۷ توسط Murphy و Malhotra پیشنهاد می کنند که حتی در شرایط ایده آل در قالب ریختن و به عمل آوردن بتن غیر محتمل است که مقاومت مغزه ها بیش از ۷۰٪ تا ۸۵٪ مقاومت نمونه های آزمایشهای استاندارد باشد [۱]. در سال ۱۹۷۹، Bungey

رابطه بین تغییرات مقاومت مغزه با تغییرات  $l/d$  را به دست آورد و همچنین ضرایبی جهت تعیین مقاومت مکعبی بتن از مقاومت مغزه های کوچک (با قطر ۴۴mm) ارائه داد [۳]. آزمایشهای ژاپنی ها در سال ۱۹۷۹ نشان داد که آزمایش در حالت خشک نتایجی را که حدود ۱۰٪ بیش از نتایج آزمایش در حالتی که مغزه مرطوب باشد به دست می دهد [۱]. در سال ۱۹۸۴، آقایان Dhir و Munday اثر  $l/d$  را بر مقاومت بررسی نمودند. آنها همچنین روابطی تجربی برای به دست آوردن مقاومت مکعبی بتن از مقاومت مغزه پیشنهاد نمودند [۳]. در سال ۱۹۹۲ Lee et al پیشنهاد کرد که از مقاومت مغزه های استاندارد به عنوان پایین ترین حدمقاومت واقعی بتن در ساختمان استفاده گردد.

از آزمایشهای جدیدی که در مورد بررسی رفتار مغزه ها انجام شده است می توان به آزمایشهای آقایان Bartlett و MacGregor در دانشگاه آلبرتا اشاره نمود. در یکی از این آزمایشها با استفاده از ۷۵۸ مغزه اثر نسبت طول نمونه به قطر آن را بر مقدار و دقت مقاومت فشاری آنها بررسی کرده اند. آنها ضرایب اصلاح مختلفی به دست آورده اند تا مقاومت مغزه با  $\frac{l}{d}$  بین ۱ تا ۲ نسبت به مقاومت نمونه استاندارد با  $\frac{l}{d}=2$  را به دست دهد. اطلاعات ایشان بیان می کند که رطوبت مغزه و مقاومت آن به شدت بر ضرایب اصلاح فوق تاثیر می گذارند [۸].

در مقاله دیگری Bartlett و MacGregor نشان دادند که مقاومت بتن در محل و ظرفیت عضو سازه ای می تواند با دقت مناسب از مقاومت مغزه به دست آید به شرطی که آثار خرابی مربوط به حفاری و شرایط رطوبت مغزه ها مدنظر قرار گیرند [۹]. در حال حاضر با وجود انحراف معیار زیاد در آزمایشهای مربوط به مغزه ها، این آزمایش به عنوان یکی از دقیق ترین و مهمترین انواع آزمایشهای غیرمخرب مطرح می باشد. مطالعات گسترده انجام شده، مخصوصاً مطالعات تجربی و آزمایشگاهی به نوبه خود نشان از اهمیت این آزمایش دارد. با این وجود هنوز اطلاعات بسیاری در مورد مغزه ها، در پرده ابهام وجود دارد. به عنوان مثال هنوز تفاوت بین مقاومت مغزه های استاندارد و بتن واقعی موجود در کارگاه به طور کامل بررسی نشده است [۱۰]. از طرفی گسترش روزافزون استفاده از این آزمایش در کارهای ساختمانی و روسازی های بتنی، لزوم انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه را می رساند.

## برنامه آزمایش ها

با توجه به حساسیت زیاد مقاومت مغزه به شرایط نمونه گیری، شرایط رطوبت و فرآیند آزمایشگاهی از ابتدای آزمایش، داشتن یک برنامه منظم که تحت شرایط یکسان صورت گیرد مد نظر بوده است. به طور کلی برنامه بدین صورت بود که برای سه مقاومت مختلف بتن (پایین، متوسط و بالا)، تیرهایایی با مقطع  $20\text{ cm} \times 18\text{ cm}$  و به طول  $1/2\text{ m}$  همراه با ۹ نمونه استوانه ای استاندارد  $30 \times 15$  ساخته شد. پس از عمل آوری مغزه هایی به قطر حدود  $10\text{ cm}$  گرفته شد. تعداد مغزه ها در هر مرحله ۳ عدد بوده است که همزمان با ۳ نمونه استوانه ای استاندارد تحت آزمایش فشاری قرار داده شدند. پس از اتمام آزمایش ها مقاومت مغزه ها با نمونه های استوانه ای استاندارد مقایسه گردید و نمودارهای مورد نظر به دست آمد.

## مصالح مصرفی

مصالح سنگی شامل شن و ماسه طبیعی رودخانه ای، با نسبتهای اختلاط مختلف همراه سیمان و آب و گاهی روان ساز استفاده شدند. چگالی میله خورده شن  $1/649$  و مدول نرمی ماسه  $3/2$  اندازه گیری شد. حداکثر اندازه دانه شن نیز  $12/5\text{ mm}$  بوده است. سیمان مصرفی از نوع تیپ I محصول کارخانه سیمان تهران و آب مصرفی آب شرب بوده است.

در انتخاب مقطع مناسب برای تیرمعیارهای (۱) قطر مغزه طبق استانداردهای موجود حتی الامکان بزرگتر یا مساوی  $10\text{ cm}$  و (۲) با توجه به پیشنهادات استاندارد ASTM نسبت طول به قطر ۲ در نظر گرفته شده است. بنابراین نمونه بتنی،

تیرهای بتنی با ابعاد مقطع ۱۸×۲۰ cm انتخاب شد. عرض تیرها نیز ۲۰ cm بود. ابعاد مغزه ها ۱۰×۲۰ cm و نمونه های استوانه ای استاندارد نیز ۱۵×۳۰ cm می باشد.

### بتن ریزی و عمل آوری

بتن ریزی برای سه مقاومت به طور جداگانه صورت گرفت. بتن ریزی نمونه های استوانه ای استاندارد مطابق استاندارد ACI - C39 در انجام شد. مسئله قابل ذکر در مورد بتن ریزی تیرها، ویبره کردن بتن می باشد که به وسیله میله زدن تیر انجام شد. به طوری که فاصله هر دو نقطه میله خورده حدود ۲/۵ cm بود.

تیرها تا سه روز به وسیله پلاستیک و گونی مرطوب نگه داشته شده، پس از انجام اولین مغزه گیری درون آب قرار می گرفتند. هر قطعه تیر ۲۴ ساعت قبل از مغزه گیری از آب خارج می شد و پس از مغزه گیری در صورت نیاز دوباره در آب قرار می گرفت. نمونه های استوانه ای روز بعد از بتن ریزی از قالب خارج شده و در آب قرار می گرفتند و تا قبل از کلاhek گذاری و آزمایش در آب عمل آوری شدند.

جدول ۱- طرح اختلاط بتن های با مقاومت پایین، متوسط و بالا

| طرح اختلاط   | f'(c)<br>Kg/cm <sup>2</sup> | شن<br>Kg/m <sup>3</sup> | ماسه<br>Kg/m <sup>3</sup> | آب<br>Kg/m <sup>3</sup> | سیمان<br>Kg/m <sup>3</sup> | w/c  | روان ساز<br>Kg/m <sup>3</sup> |
|--------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|------|-------------------------------|
| مقاومت پایین | ۲۵۰                         | ۸۶۰                     | ۸۷۵                       | ۲۱۵                     | ۳۶۰                        | ۰/۶  | -                             |
| مقاومت متوسط | ۳۵۰                         | ۸۶۰                     | ۷۷۵                       | ۲۱۵                     | ۴۶۰                        | ۰/۴۷ | -                             |
| مقاومت بالا  | ۴۵۰                         | ۱۱۰۰                    | ۶۵۰                       | ۱۷۰                     | ۵۱۰                        | ۰/۳۳ | ۷/۷                           |

### دستگاه آزمایش و مغزه گیری

دستگاهی که این آزمایش به وسیله آن انجام شد یک مغزه گیر از سری 501 - 35 - EL می باشد. مته های دستگاه به صورت استوانه ای و دارای سر الماسه می باشند که برای خنک کردن آنها حین کار از آب استفاده می شود. طبق راهنمای استفاده از این دستگاه سرعت آب مورد نیاز ۳ لیتر بر ثانیه می باشد [ ۶ ]، هر چند در عمل به صورت تجربی می توان مقدار آب لازم را تنظیم کرد. در این آزمایش با توجه به زمان بر بودن تهیه کف قوی و نبودن امکانات مهار محور از بالا، دستگاه با قرار دادن باری نزدیک به ۲۰۰ kg بر روی پایه آن مهار شد که در حد این آزمایشها کارایی لازم را داشت.

مغزه گیری از قسمت میانی عرض تیر انجام شد و جهت مغزه گیری هم جهت با بتن ریزی بود. هر سه مغزه مربوط به یک سن به طور متوالی و در یک بازه یک ساعته گرفته شده اند و به طور معمول هر مغزه گیری ۸ تا ۱۲ دقیق طول کشیده است.

### شکستن نمونه ها

برای شکستن نمونه ها نمونه های استوانه ای فقط از یک طرف کپینگ شدند ولی مغزه ها در دو انتها کلاhek گذاری شدند. طبق استاندارد ACI ضخامت لایه کپینگ باید در کمترین مقدار ممکن باشد ( در حدود ۲ میلیمتر) ولی متأسفانه به دلیل وجود مقدار زیادی ناخالصی ماسه در پودر کپینگ این ضخامت گاهی به ۵ mm می رسیده که ممکن است در نتایج آزمایشها تاثیر گذار باشد. نمونه ها پس از خشک شدن در هوای آزاد مطابق تمهیدات ASTM C42 - 90 شکسته شدند. جهت شکستن نمونه های استوانه ای در راستای بتن ریزی و در مورد مغزه ها در جهت مغزه گیری بوده است. از آنجا که نمونه های استوانه ای و تیرهای بتنی هر دو در آب عمل آوری شدند. همزمان با مغزه گیری نمونه های استوانه ای نیز از آب بیرون

آورده شده و در هوای آزاد قرار می گرفتند. مغزه ها پس از جدا شدن ازسازه بتن در هوای آزاد خشک شده در روز بعد همزمان با نمونه های استاندارد شکسته شدند.

## نتایج آزمایش ها و بحث درباره آنها

### گزارش نتایج آزمایشها

خلاصه نتایج آزمایشها در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول نتایج مربوط به میانگین مقاومت نمونه های استاندارد و مغزه نشان داده شده است. حروف L,M,H به ترتیب برای مقاومت های بالا، متوسط و پایین به کار رفته اند. حروف SC برای نمونه های استاندارد و حروف CC نیز برای مغزه ها به کار رفته اند. اعداد به کار رفته نیز از چپ به راست نمایانگر سن (۱،۲) به ترتیب نشان گر ۳،۷ و ۲۸ روز) و شماره نمونه (۱ تا ۳) می باشند.

داده هایی که با علامت «\*» مشخص شده اند داده هایی هستند که بررسی ها بدون آنها انجام شده است. این حذف در بررسی ها بنا به مشاهداتی نظیر کج بودن کپینگ و عدم تقارن در بارگذاری، کنده شدن قسمتی از گوشه نمونه (به گونه ای که سطح مقطع به طور کامل و یکنواخت تحت بارگذاری قرار نگیرد) و... بوده است.

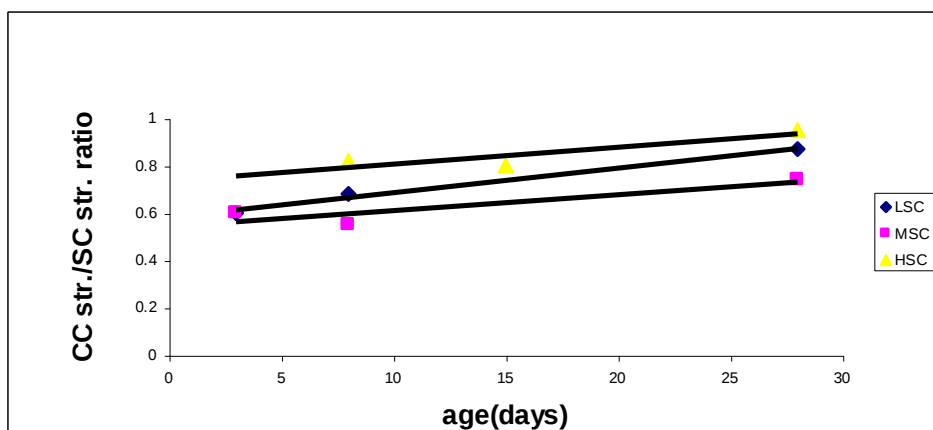
جدول ۲- خلاصه نتایج آزمایشها

| Specimens     | f (ave) | Ratio | Specimens     | f (ave) | Ratio |
|---------------|---------|-------|---------------|---------|-------|
| LSC11-LSC13   | 113.36  |       | HSC11-HSC13 * | 339.95  |       |
| LCC11-LCC13   | 68.33   | 0.6   | HCC11-HCC13   | 249.95  | 0.73  |
| LSC21-LSC23   | 188.75  |       | HSC21-HSC23   | 365.25  |       |
| LCC21-LCC23   | 129.48  | 0.68  | HCC21-HCC23 * | 336.05  | 0.92  |
| LSC31-LSC33   | 241.62  |       | HSC31-HSC32 * | 447.84  |       |
| LCC31-LCC33   | 211.97  | 0.87  | HCC31-HCC32   | 384.69  | 0.85  |
| MSC11-MSC13   | 146.61  |       |               |         |       |
| MCC11-MCC13   | 88.86   | 0.6   |               |         |       |
| MSC21-MSC23   | 232.69  |       |               |         |       |
| MCC21-MCC23   | 128.07  | 0.55  |               |         |       |
| MSC31-MSC33   | 296.49  |       |               |         |       |
| MCC31-MCC33 * | 233.57  | 0.78  |               |         |       |

### منحنی های R (نسبت مقاومت مغزه به مقاومت نمونه استوانه ای استاندارد) بر حسب سن

این منحنی ها برای مقاومت های مختلف در شکل ۱ رسم شده است. بررسی منحنی نشان می دهد در مورد مقاومت های LSC و MSC افزایش مقاومت موجب کاهش نسبت R شده است. در حالی که در مورد مقاومت MSC این افزایش مقاومت منجر به افزایش نسبت R شده است باتوجه به اینکه مقاومت در طرح اختلاط LSC و MSC باهم اختلاف کمتری نسبت به اختلاط MSC دارند به نظر می رسد این تناقض ناشی از تعداد کم داده های آماری می باشد و چنانچه نمونه های بیشتری در مقاومت های LSC و MSC وجود داشت این رابطه شفاف تر می شد. اگر نمونه های دو مقاومت LSC و MSC از یک جامعه

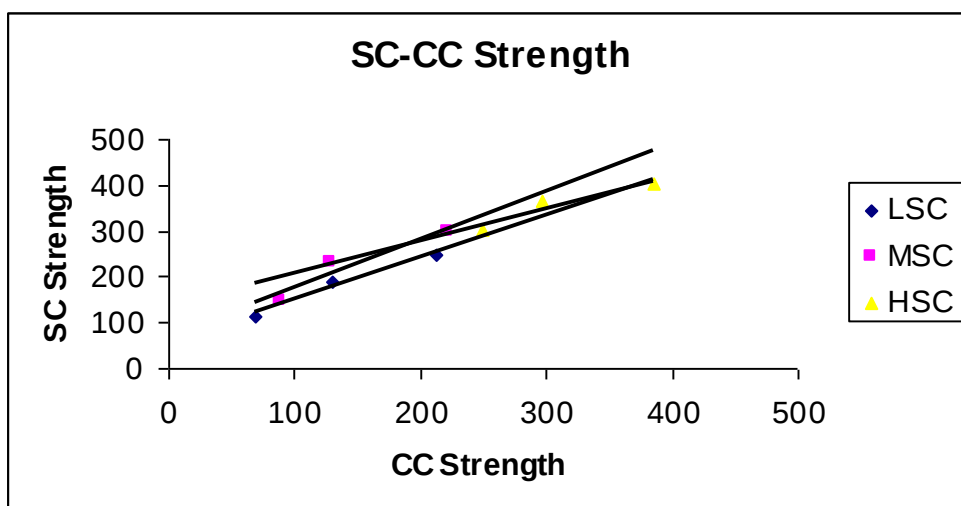
آماري در نظر گرفته شود (باتوجه به اختلاف کم مقاومت آنها) وبانمونه های مقاومت HSC مقايسه شوند، می توان به اين نتیجه رسید که افزايش مقاومت (در محدوده زیر  $450 \text{ kg/cm}^2$ ) موجب افزايش نسبت R خواهد شد



شکل ۱- منحنی های R بر حسب سن (رگرسیون خطی)

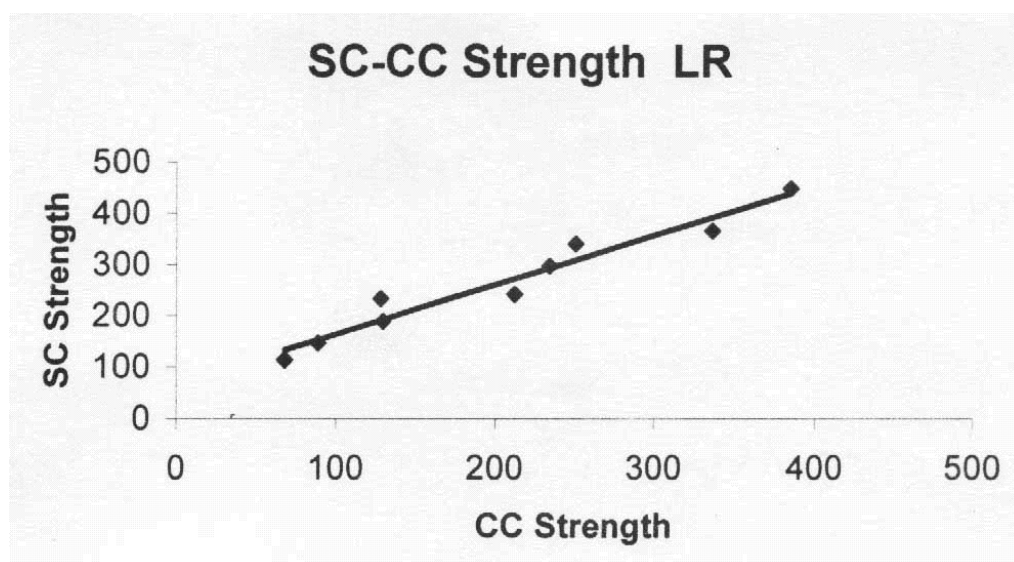
#### نمودار مقاومت نمونه های استاندارد بر حسب مقاومت مغزه ها

برای رسم نمودار ارتباط دهنده مقاومت مغزه ها به مقاومت نمونه های استاندارد در ابتدا به نظر می رسد برای سنين مختلف باید نمودارهای متفاوتی رسم کرد . چنین نموداری در شکل ۲ به وسیله رگرسیون خطی به دست آمده است . همان طور که مشاهده می شود ، این سه خط بسیار به هم نزدیک می باشند به گونه ای که به نظر می رسد بتوان برای تمام نقاط موجود یک خط واحد با تقریب مناسب رسم کرد .

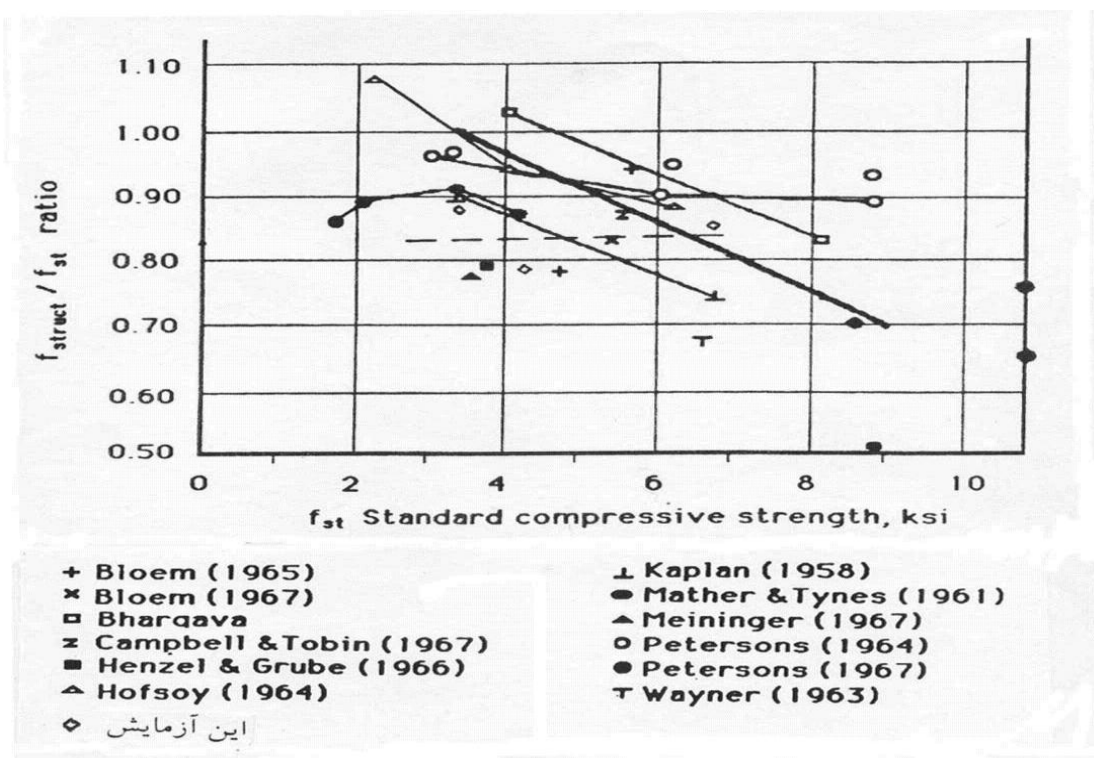


شکل ۲- نمودار مقاومت نمونه های استاندارد بر حسب مقاومت مغزه ها (رگرسیون خطی)

در شکل ۳ این خط بر روی همه نقاط برازش داده شده است. ممکن است به نظر آید ملات بتن سه روزه از نظر میزان گیرش باملات بتن ۲۸ روزه متفاوت است و این تفاوت در مقدار نسبت  $R$  مؤثر است و در نتیجه باید برای سنین مختلف نمودارهای مختلف ارائه کرد. اما نمودارهای این قسمت نشان می دهد، نسبت  $R$  به مقاومت بتن بیش از سن آن وابسته است. به عنوان مثال نسبت  $R$  برای بتن ۲۸ روزه با مقاومت حدود  $240 \text{ kg/cm}^2$  نزدیک به مقدار  $R$  برای بتن ۷ روزه با همان مقاومت می باشد. علت این پدیده رامی توان بدین صورت بیان کرد که مقدار  $R$  تابعی از میزان زیان وارده به مغزه در حین مغزه گیری می باشد و این زیان به مقاومت و چسبندگی بتن در حین مغزه گیری وابسته است.



شکل ۳- نمودار مقاومت نمونه های استاندارد بر حسب مقاومت مغزه ها (رگرسیون خطی)



شکل ۴-مقایسه با نتایج سایر محققین

## مقایسه با نتایج سایر محققین

شکل ۴ نتایج آزمایشهای محققین ذکر شده در ذیل خود را دربر دارد. خط رگرسیون بدست آمده از این آزمایش ها نیز پس از تبدیل واحد به صورت نقطه چین رسم شده است. مقایسه نتایج نشان می دهد که نسبت  $R$  به دست آمده از این آزمایش ها از متوسط نتایج سایر آزمایش ها کمی پایین تر است. اما آنچه که تفاوت بیشتری را نشان می دهد آن است که در سایر آزمایش ها با افزایش مقاومت  $R$  کاهش یافته است در حالی که در خط مربوط به این آزمایش، چنین افزایشی دیده نمی شود. درحقیقت این نتیجه با نتیجه ای که در مرجع [۱۰] وجود دارد همخوانی بیشتری دارد. در آن مرجع ذکر شده است: ”گزارش شده است که نسبت مقاومت در محل به آزمایش نمونه استاندارد در سن یکسان با افزایش مقاومت کاهش می یابد. درحالی که این آزمایش چنین وابستگی را نشان نمی دهد.“

## نتیجه گیری

- ۱- در مقاومت های بتن زیر  $450 \text{ Kg/cm}^2$ ، با افزایش مقاومت نسبت  $R$  (مقاومت مغزه به مقاومت نمونه های استاندارد) افزایش می یابد.
- ۲- نسبت مقاومت مغزه به مقاومت نمونه های استاندارد به سن مغزه در لحظه شکستن وابستگی ندارد به گونه ای که می توان تنها با داشتن مقاومت مغزه و بدون نیاز به سن آن مقاومت نمونه های استاندارد را به دست آورد.
- ۳- با توجه به حساسیت زیاد مغزه و وجود عوامل متفاوت مؤثر بر مقاومت آن در تمام مراحل مغزه گیری، باید مغزه گیری با دقت انجام گیرد.

## قدردانی

این مقاله نتیجه پروژه کارشناسی انجام شده توسط نویسنده با راهنمایی استاد ارجمند دکتر خالو می باشد. جای دارد در اینجا از زحمات ایشان صمیمانه قدردانی گردد.

## مراجع

- [۱] فامیلی، هرمز، بتن شناسی (خواص بتن)، تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ اول، ۱۳۶۸.
- [۲] طسوجی، محمدابراهیم، طرح و کنترل مخلوطهای بتن، تهران، انتشارات میقات، چاپ دوم، ۱۳۶۸.
- [3] Bungey J.H. and Millaud S. G. , “Testing of Concrete in Structures”, 3rd ed., Blackie Academic & Professional, Combridge, 1996.
- [4] Popovics Sandor, “Strength and Related Properties of Concrete”, John Wiley, New York , 1998.
- [5] American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol, 04.02, 1998.
- [6] Concrete Core Drills, Electric, Air or Pefrol Driven, operating instructions.
- [7] ACI Committee 228, “In Place Methods to Estimate Conerete Strength”, ACI Standard, ACI 228.R – 95 , 1996.
- [8] Bartlett , F.M. and MacGregor, J.G. “Effect of Core Length to Diameter Ratio on Concrete Core Strengths”, ACI Materials Journal, 91, No 4 , July-Aug. 1994, 339-348.
- [9] Bartlett , F.M. and MacGregor, J.G. “Statistical Analysis of the Compressive Strength of Concrete in Structures”, ACI Materials Journal, Vol. 93, No 2 , Mar-Apr 1996, PP.158-168
- [10] Bartlett , F.M. and MacGregor, J.G. “Core from High Performance Concrete Beams” , ACI Materials Journal, Vol. , No , Nov-Dec.1994