

# رابطه بین نتایج آزمایشهای غیرمخرب و مغزه گیری با مقاومت فشاری آزمونه‌های استوانه‌ای استاندارد در بتن پاشیده (شاتکریت) به کار رفته در سازه‌های پانلی

محمد زمان کبیر

استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

محمد رضا رهبر

کارشناس ارشد سازه - شرکت سازه‌های پیش ساخته سبک (سپ)

(تاریخ دریافت ۸۱/۱۱/۳۰، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۲/۹/۲۴، تاریخ تصویب ۸۲/۱۲/۴)

## چکیده

در بسیاری موارد مقاومت فشاری ۲۸ روزه آزمونه‌های مکعبی یا استوانه‌ای را نمایانگر بتنی در نظر می‌گیرند که در کارگاه برای ساخت قطعات به کار رفته است. ولی واقعیت این است که این آزمونه‌ها نمیتوانند نماینده بتن بکار رفته در ساخت و اجرا باشند. این مساله می‌تواند بدلائل مختلف از جمله تفاوت اجرای کارگاهی و آزمایشگاهی، اختلاف در انتقال و عمل آوری بتن و از همه مهمتر در نحوه اجرای سیستم سازه‌های پانلی نیمه پیش ساخته سبک باشد که به صورت بتن پاشی بوده و اصولاً با بتن ریزی و متراکم کردن آن در سیستمهای معمولی متفاوت است. مساله دیگر ضخامت کم لایه بتنی در این سیستم می‌باشد که لازم است مغزه‌ها با حداقل قطر تهیه شوند که تحقیقات نشان می‌دهد مقاومت این مغزه‌ها انحراف معیار بیشتری نسبت به مغزه‌های با قطر بزرگتر دارند. برای ارزیابی مقاومت فشاری بتن پاشیده ضروری است که از چندین روش آزمایش استفاده شود، زیرا بعضی آزمایشها مانند مغزه گیری که قابلیت اعتماد بیشتری دارند، هزینه زیاد داشته و برخی دیگر مانند چکش بتن قابلیت اعتماد و در عین حال هزینه کمتری دارند. از طرفی بعضی از آزمایشها آسیب بیشتری به سازه وارد می‌کنند (مانند مغزه گیری) و بعضی دیگر غیر مخربند و سبب آسیب به سازه نمی‌شوند (مانند چکش بتن). با توجه به موارد ذکر شده در این مقاله سعی شده است که روابطی بین مقاومت آزمونه‌های مکعبی استاندارد و مغزه‌های تهیه شده از بتن پاشیده و سایر آزمایشهای مخرب و غیر مخرب بدست آورده شود.

**واژه‌های کلیدی:** مغزه بتن پاشیدنی، سازه‌های پانلی، دیوارهای باربر، آزمایشات غیرمخرب

## مقدمه

یکی از سیستمهای نوین ساخت وساز در کشور که برای کاهش هزینه و مدت زمان اجرا و افزایش ایمنی و بهره‌وری ساختمان متداول گشته است، نظام صفحات ساندویچی به عنوان اعضای باربر در ساختمان است. هر پانل از دو لایه شبکه جوش شده فولادی و یک لایه عایق تشکیل شده است که توسط تعدادی مفتول مورب به یکدیگر وصل شده‌اند (شکل ۱). دو طرف پانل بعد از نصب، به ضخامت حدود ۴ سانتیمتر بتن پاشی می‌شوند که مشخصات آن با بتن معمولی متفاوت است و در اکثر مواقع از مغزه گیری برای تعیین مقاومت آن استفاده می‌شود.



شکل ۱: پانل پیش ساخته.

افراد مختلف (Petersons) در سال ۱۹۶۸، Bungey در سال ۱۹۷۹، neville در سال ۱۹۸۱) اذعان کرده‌اند که نتایج آزمایش مقاومت فشاری مغزه‌ها دارای انحراف معیار بیشتری نسبت به آزمونه‌های استوانه‌ای استاندارد می‌باشند.

در سال ۱۹۶۸ Petersons اعلام کرد که نسبت مقاومت مغزه به مقاومت استوانه استاندارد در عمر یکسان، همواره

بسیاری در مورد مغزه ها، در پرده ابهام است. به عنوان مثال هنوز علت اختلاف موجود بین مقاومت مغزه‌های استاندارد و بتن واقعی موجود در کارگاه بطور کامل بررسی نشده است. از طرفی گسترش روز افزون استفاده از این آزمایش در کارهای ساختمانی و روسازی‌های بتنی، لزوم انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه را می‌رساند.

آزمایش چکش بازگشتی در حقیقت سختی سطح بتن را می‌سنجد و اگر چه هیچگونه رابطه منطقی بین سختی و مقاومت بتن وجود ندارد و لیکن برای بتن‌های مشابه می‌توان روابط تجربی را بدست آورد، به شرط آنکه عمل آوردن بتن بنحوی باشد که سطوح مورد آزمایش به وسیله چکش و نواحی مرکزی بتن که مقاومت آنجا مورد نظر می‌باشد دارای مقاومت یکسانی باشند. این آزمایش اساساً فقط یک وسیله مقایسه ای می‌باشد و ادعاهای تولید کنندگان این دستگاه که نمره برجهنگی می‌تواند مستقیماً به مقاومت فشاری تبدیل گردد، مورد تأیید قرار نگرفته است. به خصوص اینکه سختی بتن بستگی به خواص الاستیکی سنگدانه‌های مصرف شده در آن دارد و همچنین تحت تاثیر تغییرات زیاد در نسبت‌های مخلوط بتن قرار می‌گیرد. به هر صورت این آزمایش سنجش مفیدی را درباره یکنواخت بودن جنس بتن بدست می‌دهد و از لحاظ کنترل کیفیت مصالح و در تولید تعداد زیادی از محصولات مانند قطعات پیش ساخته بتنی بسیار با ارزش می‌باشد.

هدف از تحقیق حاضر به دست آوردن رابطه ای بین مقاومت فشاری مغزه ها و نمونه های استوانه ای استاندارد در سازه های ساخته شده از بتن پاششی به منظور کاهش هزینه های اجرایی ناشی از تهیه نمونه های مغزه می‌باشد. با توجه به رشد چشمگیر ساخت سازه های پیش ساخته به روش نظام صفحات ساندویچی ضرورت این بررسی از اهمیت ویژه ای برای مهندسين ناظر بر این سیستم نوین برخوردار می‌باشد که بتوانند ضرایب تصحیح برای تخمین مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای استاندارد داشته باشند.

### برنامه آزمایشها

برای انجام این مطالعات ۱۰ سری آزمایش انجام شد

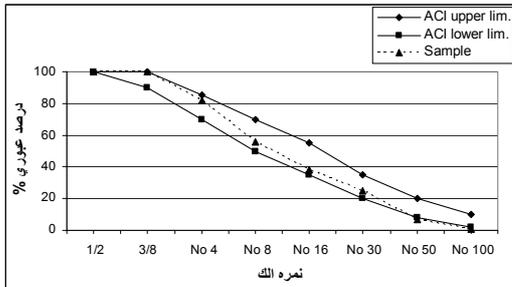
از عدد یک کمتر است و این نسبت با افزایش مقاومت استوانه کاهش می‌یابد. در مورد عوامل موثر جانبی، در سال ۱۹۶۹ Graham نشان داد که امتداد مغزه گیری نیز بر مقاومت آن تاثیر می‌گذارد بطوریکه مقاومت مغزه‌های افقی در حدود ۸ درصد کمتر از مغزه های قائم می‌باشد. همچنین آزمایشهای Yamane و همکاران در ۱۹۷۹ نشان دادند که نتایج آزمایش در حالت خشک ۱۰ درصد بیشتر از آزمایش مغزه های مرطوب می‌باشد.

Bentur در سال ۱۹۷۷ و Bungey در سال ۱۹۷۹ در دو مطالعه جداگانه به این نتیجه رسیدند که در مورد بتن با سنگدانه‌های حداکثر ۲۰ mm، مغزه های با قطر ۵۰ mm دارای مقاومتی حدود ۱۰ درصد کمتر از مغزه های با قطر ۱۰۰ mm می‌باشند. گزارشهای مختلف Murphy و Malhotra در آن سال نشان می‌دهد احتمال آنکه مقاومت مغزه ها بیش از ۷۰ تا ۸۵ درصد مقاومت نمونه‌های آزمایشهای استاندارد باشد، بسیار کم است. این نظر در ACI 301 نیز تایید شده است. Malhotra که در این زمینه تحقیقات فراوان داشته است، در سال ۱۹۷۷ پیشنهاد کرد که از آزمایش مغزه گیری صرف نظر گردد زیرا به نظر او شرایط عمل آوری و ساخت نمونه های استاندارد نسبت به شرایط مربوط به دوره اجرا اساساً با هم تفاوت دارند و با هیچ مقدار عددی نمی‌توان آنها را به هم مرتبط کرد.

در سال ۱۹۹۶ Bartlett و Macgregor نشان دادند که مقاومت بتن در محل را می‌توان با دقت مناسب از مقاومت مغزه بدست آورد به شرطی که آثار خرابی مربوط به مغزه گیری و شرایط رطوبت مغزه ها مد نظر قرار گیرد. در سال ۱۳۸۰ شمسی، خالو و امیری علاوه بر ارائه روابطی بین مقاومت بتن مغزه و استوانه استاندارد، نشان دادند نسبت مقاومت فشاری مغزه به مقاومت نمونه استوانه استاندارد، به سن مغزه در لحظه شکستن بستگی ندارد و همچنین با افزایش مقاومت این نسبت افزایش می‌یابد. در حال حاضر با وجود انحراف معیار زیاد در آزمایشهای مربوط به مغزه ها، این آزمایش به عنوان یکی از دقیقترین و مهمترین انواع آزمایشهای مخرب مطرح می‌باشد. مطالعات گسترده انجام شده در این بخش، مخصوصاً مطالعات تجربی و آزمایشگاهی به نوبه خود نشان از اهمیت این آزمایش دارد. با این وجود هنوز اطلاعات

### مصالح مصرفی

مصالح سنگی شامل سنگدانه شسته طبیعی با حداکثر اندازه دانه ۸ mm بوده است که دانه بندی آن در محدوده شماره ۲ سنگدانه ها در ACI506 قرار گرفته است (نمودار ۱).



نمودار ۱: منحنی دانه بندی مصالح سنگی.

علت مصرف این نوع سنگدانه، قابلیت انتقال با پمپ آن نسبت به سنگدانه شکسته و همچنین نیاز به آب کمتر برای بدست آوردن کارایی مطلوب بوده است. درصد جذب آب مصالح فوق الذکر ۳/۸ درصد در حالت اشباع با سطح خشک و مدول نرمی آن ۲/۸ می باشد. سیمان مصرفی نوع تیپ II محصول کارخانه سیمان تهران و آب مصرفی نیز آب قابل شرب بوده است. طرح اختلاط نمونه‌ها بر اساس جدول (۱) انجام شده است. اگرچه این آزمایشها بر اساس مقایسه مغزه و آزمایش های استاندارد در یک روز مشخص برنامه ریزی شده اند.

جدول ۱: طرح اختلاط بتن پاشیده.

آب	سیمان	سنگدانه	مصالح
~۲۲۰	۴۰۰	۱۷۵۰	وزن واحد حجم $kg/m^3$
۱۹۰			

### بتن پاشی و عمل آوری

بتن پاشی توسط دستگاه بتن پاش دستی<sup>۱</sup> (شکل ۳) که ظرفیت ۵ لیتر دارد انجام گردیده است. یک پمپ باد به قدرت ۸ bar به این دستگاه متصل می باشد که فشار لازم برای پاشش بتن به جعبه های آزمایشی و پانل را تامین می کند. با توجه به حساسیت

که به نامهای cal1 تا cal10 مشخص گردیده اند. از آنجا که ضخامت لایه بتن پاشیده روی پانل حدود ۴ سانتیمتر می باشد، مغزه گیری و استنتاجات آن ممکن نیست زیرا نسبت طول به قطر مغزه نباید کمتر از یک باشد. بر این اساس و طبق توصیه ACI 506، یک جعبه آزمایش (جعبه A) به ابعاد ۵۰×۵۰×۱۰ سانتیمتر تهیه گردید تا از آن مغزه گیری شود. (شکل شماره ۲)



شکل ۲: نمونه های جعبه ای به منظور مغزه گیری از بتن پاشیده.

در هر سری آزمایش موارد زیر تهیه گردید:

- ۱- آزمون مکعب استاندارد ۱۵×۱۵×۱۵ cm (۶ عدد)
- ۲- بتن پاشی در جعبه آزمایشی ۵۰×۵۰×۱۰ cm (A) در تمامی موارد آزمایش روانی بتن (اسلامپ) بر اساس استاندارد ASTM C145 و همچنین تعیین وزن مخصوص انجام گردیده است.

آزمایشهای مقاومت فشاری همگی در سن ۲۸ روزه انجام گردید. ۲۴ ساعت قبل از روز آزمایش، از نمونه های جعبه A حداقل ۶ عدد مغزه گیری انجام شد. به منظور آماده سازی سطوح انتهایی مغزه از ساب زدن که بهترین روش صاف کردن سطوح می باشد، استفاده شده است.

پس از خشک شدن در هوای آزاد، مغزه ها همزمان با آزمونهای مکعب استاندارد طبق ASTM C42-90 شکسته شدند. جهت شکستن مغزه ها در راستای مغزه گیری بوده است. همچنین آزمایش چکش بتن روی نمونه جعبه A انجام گردید. پس از اتمام آزمایشها، مقاومت مغزه ها با آزمون مکعب استاندارد و همچنین آزمایش چکش بتن مقایسه و روابط بین آنها استخراج گردید.

مقاومت مغزه های cal7 بدلیل تخلخل زیاد بتن پاشیده بسیار کم بوده و این سری آزمونه ها از دایره نتایج حذف گردیدند. علت این امر عدم دقت اپراتور بتن پاش و ریزش قابل ملاحظه مصالح بوده است.

جدول ۲: خلاصه نتایج آزمایشها.

نمونه گیری	مقاومت مغزه $kg/cm^2$	مقاومت معادل $f'c$ $kg/cm^2$	چکش بازگشتی
cal 1	150.3	285.6	23.5
cal 2	121.6	246.5	25.5
cal 3	122.5	243.6	24.7
cal 4	135.4	219.3	27.1
cal 5	157.5	271.4	24.2
cal 6	132.4	252.4	23.1
cal 7	66.1	305.8	18.2
cal 8	137.7	262.2	25.5
cal 9	163.3	296.6	28
cal 10	160.2	289.4	26.3

مغزه بر اساس ACI 506-2 با شماره ۱ تا ۵ رده بندی کیفی شدند. این رده بندی بر اساس بزرگی و تعداد حفرات موجود در سطح مغزه می باشد. نتایج آزمایشها نشان دادند که در هر بار نمونه گیری، مقاومت مغزه هایی که دارای رده های ۳ و پائین تر بوده اند، بطوری قابل ملاحظه نسبت به سایر موارد کاهش یافته و انحراف معیار بیشتری را بوجود آورده اند (شکل های ۴ و ۵). در نتایج آزمایشها، از جمله در مغزه های cal4 این نوع موارد حذف شده اند.



شکل ۴: نمونه مغزه با درجه ۴.



شکل ۵: نمونه مغزه با درجه ۱.

کیفیت بتن پاشیده به مهارت پاشنده، از یک نفر بتن پاش ماهر برای ساخت کلیه پانلها استفاده گردید. فاصله نازل بتن پاشی تا پانل در حدود ۳۰ سانتی متر بود. عمل آوری آزمونه های مکعبی در تمام مدت زیر آب و مطابق با شرایط استاندارد ASTM C72 انجام شده است.



شکل ۳: دستگاه بتن پاش دستی.

## دستگاه های مورد استفاده

دستگاهی که آزمایش مغزه گیری توسط آن انجام شد، یک مغزه گیر از سری GDB1600 WE است که حداکثر قطر اندازه گیری آن ۱۳۲ mm می باشد. مته های مورد استفاده بصورت استوانه ای و دارای ســـر الماسه به طول ۵۰۰ mm می باشد که برای خنک کردن آنها در حین کار از آب استفاده می شود. به علت کم بودن قطر مغزه و نیاز به دقت زیاد به طور متوسط هر مغزه گیری در حدود ۱۰ دقیقه طول کشیده است. همچنین دستگاه آزمایش غیر مخرب بتن از نوع چکش SCHMIDT-proceq-N34 بوده است.

## نتایج آزمایشها

### گزارش نتایج آزمایشها

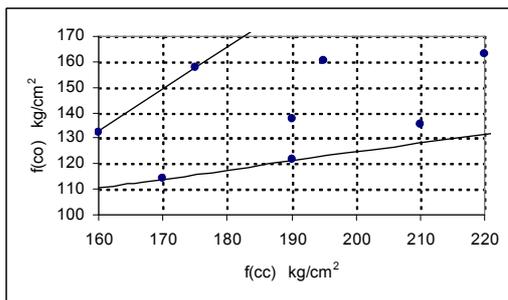
هر یک از سری آزمایشهای cal1 تا cal10 با طرح اختلاط ارائه شده در جدول (۱)، شامل ۶ آزمونه مکعبی و ۶ مغزه میباشد که خلاصه نتایج آنها در جدول شماره ۲ ارائه شده است. نتایج این جدول مربوط به میانگین مقاومت آزمونه های مکعب استاندارد و مغزه ها و همچنین متوسط نتایج چکش بازگشتی می باشد. در محاسبه مقاومت مغزه ها، در مواردی که نسبت طول به قطر مغزه کوچکتر از ۲ بوده، ضرایب تصحیح اعمال شده است.

**رابطه مقاومت چکش بتن و مقاومت مغزه**

نمودار (۴) مقاومت مغزه ها را بر حسب مقاومت آزمونه استوانه ای بتن نشان می دهد. این مقادیر با استفاده از روابط موجود در دستگاه چکش بتن بدست آمده است. برای این آزمون روی پانل بتن پاشی شده (A)، در ۳۰ نقطه پراکنده چکش بتن زده شده است. همچنین در این نمودار خطوطی که محدوده نقاط را مشخص می کند، آورده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد، انحرافی قابل توجه در نمودار فوق الذکر وجود دارد.

این انحراف می تواند ناشی از موارد زیر باشد:

- کاربرد چکش بتن که غالباً برای تعیین سختی لایه سطحی بتن به کار می رود و تخمین مقاومت بتن فقط بر اساس منحنی رابطه همبستگی امکان پذیر نمیباشد.
- خاصیت بتن پاشیده که عموماً تخلخل بیشتری نسبت به بتن های متعارف دارد.
- بتن پاشیده دارای قالب نمی باشد. در حالیکه ارجح است آزمایش چکش بر روی سطح قالب بندی شده انجام گردد.
- ولی نکته قابل توجه در آزمایشها این بود که در ۲ مورد، در محلی از پانل که اعداد برچهندگی آنها بطور قابل ملاحظه ای (حدود ۳۰٪ تا ۴۰٪) کمتر از سایر مناطق بود مغزه هایی گرفته شد که این مغزه ها دارای تخلخل قابل توجه و درجه بندی کیفی ۳ و ۴ بودند که پس از شکست این آزمونه ها، اعداد کمتری نسبت به سایر مغزه ها اخذ گردید.



نمودار ۴: نسبت مقاومت مغزه به ضربه چکش بتن.

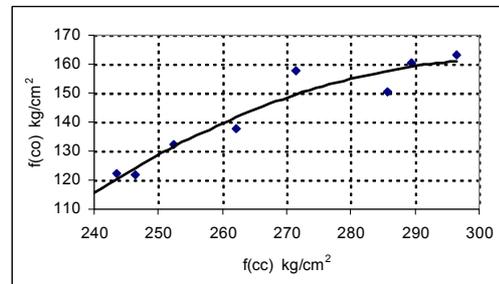
با توجه به مطالب فوق مشخص می گردد که چکش بتن می تواند به عنوان یک آزمایش ارزان و سریع و نسبتاً مناسب برای تخمین مقاومت مغزه ها مورد استفاده قرار گیرد و همچنین یک راهکار مناسب برای تشخیص

**رابطه مقاومت فشاری مغزه و مقاومت فشاری آزمونه استوانه ای استاندارد**

در روابط زیر مقاومت فشاری استوانه ای بتن با  $f_{cc}$  ، و مقاومت فشاری مغزه های نظیر با  $f_{co}$  آورده شده است. همچنین نسبت مقاومت مغزه به مقاومت آزمونه استوانه ای با R نشان داده شده است. نمودار (۲) رابطه مقاومت مغزه را بر حسب مقاومت آزمونه استوانه ای استاندارد نمایش میدهد. منحنی که در این نمودار برازش داده شده است دارای ضریب همبستگی  $r^2=0.92$  می باشد.

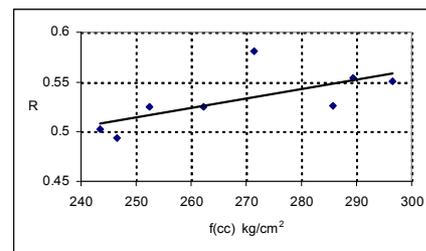
$$f_{co} = -0.011f_{cc}^2 + 6.5f_{cc} - 846.6$$

(۱)



نمودار ۲: رابطه مقاومت مغزه به مقاومت آزمونه استوانه ای.

در نمودار (۳)، مقدار R بر حسب مقاومت استوانه آورده شده است. بر این اساس مشخص گردید که این نسبت برای مغزه های بتن پاشیده بین ۰/۴۸ و ۰/۵۷ می باشد.  $0.48 \leq R \leq 0.57 \rightarrow 240 \leq f_{cc} \leq 300$  همچنین مشخص می گردد که با افزایش مقاومت فشاری بتن ، نسبت R عموماً افزایش می یابد. برخی از محققین مثل Bartlett (۱۹۹۴) و خالو و امیری (۱۳۸۰ ش) به این نتیجه رسیده اند که با افزایش مقاومت فشاری نسبت افزایش می یابد و برخی مثل Popovics (۱۹۹۸) عقیده دارند که این نسبت کاهش می یابد .



نمودار ۳: رابطه R بر حسب مقاومت آزمونه های استوانه ای.

- درجه بندی کیفی بر اساس ACI 506.2 باید برای مغزه ها انجام گردد. این درجه بندی معیار مناسبی برای تخلخل آزمون ها و کیفیت پاشکار می باشد.

- برای استفاده از چکش بتن به عنوان ابزار معیار مقاومت بتن پاشیده باید بر اساس نوع پاشش و طرح اختلاط، منحنی رابطه همبستگی بین مقاومت وعدد برجهنگی را بدست آورد (مانند نمودار ۴) که البته این منحنی ها اصولاً دارای انحراف معیار بالایی هستند. همچنین این آزمایش برای کنترل یکنواختی بتن در اعضای بتن پاشی شده و تعیین محل های با کیفیت متفاوت کاملاً مناسب می باشد.

### قدردانی

نویسندگان این مقاله از شرکت سازه های پیش ساخته سبک (سپ) و بخصوص آزمایشگاه بتن و مقاومت مصالح این شرکت بخاطر در اختیار قرار دادن امکانات مالی و آزمایشگاهی برای انجام این تحقیق کمال تشکر را دارند.

یکنواختی کیفیت بتن پاشیده و تعیین محل های از سازه که دارای کیفیت متفاوت هستند مورد استفاده قرار گیرد.

### نتیجه گیری

- آزمایش مغزه از پانل بتن پاشی شده می تواند آزمایش مناسبی برای بررسی مقاومت بتن پاشیده باشد. مقدار ضریب R (نسبت مقاومت مغزه به مقاومت استوانه ای استاندارد) در این حالت در محدوده ۰/۴۹ تا ۰/۵۸ می باشد. معادله شماره ۱ با ضریب همبستگی قابل قبولی، رابطه مقاومت مغزه بتن پاشی شده و مقاومت استوانه ای بتن را بدست می دهد.

- با توجه به وضعیت خاص بتن پاشیده و وجود انحرافات بیشتر آن نسبت به خواص مکانیکی بتن معمولی و همچنین قطر کم مغزه ها، لازم است مغزه گیری در تعداد حداقل ۸ عدد و با دقت فراوان صورت پذیرد.

- با افزایش مقاومت بتن پاشیده، مقدار ضریب R افزایش می یابد.

### مراجع

- 1 - ACI committee 301, (1996). "Specifications for structural concrete for buildings." *ACI Standard, ACI 301.R-95*.
- 2 - ACI committee 506, (1995). "Guide to Shotcrete." *ACI Standard, ACI 506.R-95*.
- 3 - American Society for Testing and Materials, "Annual Book ASTM Standards", Section 4, Vol, 04.02, 1998.
- 4 - Bartlett, F.M. and Macgregor, J. G. (1994). "Core from high performance concrete beams." *ACI Materials Journal*, Nov-Dec.
- 5 - Bartlett, F. M. and Macgregor, J. G. (1996). "Statistical Analysis of the Compressive Strength of Concrete in Structures." *ACI Materials Journal*, Vol. 93, No. 2, Mar-Apr. PP. 158-168.
- 6 - Bentur, A. and Jagermann, C. (1977). "Development of destructive and non-destructive testing methods for quality control of hardened concrete on building sites and precast factories." *Research Report No.017-196 (Israel Institute of Technology Building Research Station, Haifa, July)*.
- 7 - Bungey, H. (1979). "Determining concrete strength by using small - diameter cores." *Mag. Concrete Res.* Vol. 31, No. 107, PP.91-98.
- 8 - Bungey, J. H. and Millard, S. G. (1996). *Testing of Concrete in Structures*, 3rd., Blackie Academic & Professional, Cambridge.
- 9 - Graham, J. R. (1969). *Concrete performance in yellowtail dam*, Montana, Laboratory report No. C-1321 (U.S Bureau of Reclamation, Denver).
- 10 - Malhotra, V. M. (1977). "Contract strength requirements - cores versus in situ evaluation." *ACI Materials Journal*, Vol. 74, No. 4, PP. 163-172.

- 11 - Murphy, W E. (1977). "Discussion of reference ." *ACI Materials Journal*, Vol. 74, No. 10, PP.523-525.
- 12 - Petersons, N. (1968). "Should standard cube test specimens be replaced by test specimens taken from structures." *Materials and structures Journal*, Vol. 1, No. 5, PP.425-435.
- 13 - Popovics, S. (1998). *Strength and related properties of concrete*. John Wiley, New York.
- 14 - Yamane, S., Kasami, Sakamoto, O. and Okuno. (1979). "Concrete in finished structures." *Takenaka Tach. Res. Rept.*, No. 22.
- ۱۵ - استاندارد آزمایش های تعیین مقاومت بتن در سازه (آزمایش های غیرمخرب و نیمه مخرب بتن)، استاندارد پیشنهادی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، نشریه ۳۱۶.
- ۱۶ - خالو، ع. و امیری، ح. "رابطه بین مقاومت بتن مغزه و نمونه استوانه‌ای." اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، اردیبهشت (۱۳۸۰).
- ۱۷ - رضانیانپور، ع. ا. "آزمایشهای غیر مخرب بتن." مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه ۲۰۷.
- ۱۸ - کبیر، م. ز.، حجازی، س. و رهبر، م. ر. "استفاده از میکروسیلیس به منظور افزایش مقاومت بتن پاششی (شاتکریت) به کار رفته در سازه های پانلی پیش ساخته سبک." اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، اردیبهشت (۱۳۸۰).
- ۱۹ - گزارش کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، مشخصات فنی تیپ برای بتن پاشیدنی و راهنمای ارزیابی کیفی آن.
- ۲۰ - نویل، ا. "بتن شناسی (خواص بتن)." ترجمه فامیلی، ه. مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت، (۱۳۷۵).

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Hopper Gun