

ارزیابی مقاومت مغزه های بتنی با و بدون میلگرد

کمیل مومنی^۱، رحمت مدن دوست^{۲*}، ملک محمد رنجبر^۳

۱- دانشجوی دکترا دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گیلان

۲- دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گیلان

۳- دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گیلان

rmadandoust@guilan.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۲۲/۰۶/۹۶]

تاریخ دریافت: [۲۶/۰۲/۹۶]

چکیده

در صنعت بتن به منظور سنجش مقاومت آن در ساختمان بیشتر از آزمایش مغزه استفاده می شود. این آزمایش در مواردی به ابزاری منحصر به فرد برای سنجش ایمنی ساختارهای بتنی موجود تبدیل می شود. آنچه مسلم است وجود میلگرد در بتن باعث تاثیر روی آزمایش مغزه شده و بر همین مبنا برخی آیین نامه ها تاکید دارند که نمونه های آزمایش باید بدون میلگرد باشند و برخی دیگر وجود میلگرد داخل مغزه را با احتساب ضریب اصلاح مجاز می دانند. در این پژوهش عوامل موثر بر مقاومت مغزه های حاوی میلگرد بررسی شده است. برای این منظور تعداد ۱۱۲ تیر بتنی ساده و مسلح به میلگردهای با قطر ۱۰ و ۱۶ میلی متر و با دو طرح اختلاط ساخته شد. تیرها در شرایط سه روز مرطوب و شرایط محیطی یکسان عمل آوری و نگهداری شده و از آنها ۹۸۸ نمونه مغزه بتنی با قطرهای ۷/۵ و ۱۰ سانتی متر و با نسبت طول به قطر ۲/۱ در سنین مختلف حفاری شده و مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که در بیشتر موارد با کاهش مقدار نسبت آب به سیمان، مقاومت مغزه های حاوی میلگرد نسبت به مغزه های بدون میلگرد کاهش یافته اند. با افزایش قطر و پوشش میلگرد، مقاومت مغزه ها نسبت به مغزه های بدون میلگرد کاهش یافته است. از طرفی با افزایش تعداد میلگردها، کاهش مقاومت بیشتری در مغزه ها مشاهده شد. بیشترین کاهش مقاومت در مغزه های حاوی دو میلگرد ۱۶ بوده که نسبت به مغزه های بدون میلگرد ۲۳ درصد کاهش مقاومت داشته است.

واژگان کلیدی: آزمایش مغزه؛ مقاومت؛ ضریب اصلاح؛ میلگرد فولادی

۱. مقدمه

تهیه شده، عمل آوری و آزمایش می شوند. از طرف دیگر، تعیین مقاومت واقعی بتن در یک سازه آسان نیست، چرا که به سابقه نوع عمل آوری، کیفیت تراکم بتن و شیوه بتن ریزی بستگی دارد. از این رو، سوالی که بطور متداول ذهن طراحان را درگیر کرده آنست که آیا نمونه های آزمایشی می توانند مبین مقاومت بتن در ساختمان باشند؟ پاسخ این سوال هنگامی

مقاومت فشاری بتن یکی از شاخص های مناسب و مهم است که برای اطمینان از کیفیت بتن، نمونه های آزمایشی استاندارد در طول عملیات ساختمانی مورد بررسی قرار می گیرند. این نمونه ها، که نماینده سنجش مقاومت بالقوه بتن است، بر اساس مشخصات و آیین نامه های استاندارد مربوطه

بیشتر مطرح است که مقاومت نمونه های آزمایشی استاندارد پایین تر از مقدار مقاومت مشخصه باشد. در این صورت، مقاومت بتن در سازه پایین تر از مقاومت طراحی شده بوده و یا نمونه ها به واقع نماینده خوبی برای مشخص کردن مقاومت بتن در سازه نیست. در این موارد، یکی از روش ها، حفاری و آزمایش نمونه های مغزه از عضو مشکوک سازه ای است. علاوه بر این، ممکن است نمونه های استاندارد با عمر بالا وجود نداشته باشد و همچنین لازم باشد تا مقاومت کنونی سازه تعیین شود. این شرایط در سازه هایی رخ میدهد که مدتی طولانی از عمر سازه گذشته و بخواهیم میزان مقاومت و دوام و یا قصد استفاده از سازه برای شرایط با سطح تنش بالاتر و یا افزایش عملکرد سازه با بهسازی بررسی کنیم. در این صورت آزمایش مغزه موثرترین و قابل اطمینان ترین راه برای سنجش خواص بتن در سازه است [1-10]. اگر چه این روش شامل عملیات های زمان بر و پرهزینه است، مغزه ها نتایج قابل اطمینان و مفیدی را ارائه می دهند چرا که آنها بطور مکانیکی تا مرحله تخریب آزمایش می شوند [2]. در بخش هایی از بتن مسلح وجود میلگرد در مغزه های حفاری شده شاید غیر قابل اجتناب باشد. مقاومت مغزه تحت تاثیر عوامل متعددی همچون قطر، نسبت طول به قطر مغزه (l/d)، میزان رطوبت نمونه مغزه، برای حفاری، وجود میلگردهای تقویتی، نوع و اندازه سنگدانه، و حتی میزان مقاومت بتن قرار دارد. آیین نامه ها، عوامل مختلفی را روی نتایج آزمایش مغزه موثر دانسته و تنها به بحث پیرامون همان عوامل مذکور بسنده کرده و تاثیر سایر عوامل را نادیده گرفته یا در برابرشان سکوت کرده اند.

این امر باعث تفسیر متفاوتی از آزمایش مغزه از یک آیین نامه نسبت به سایر آیین نامه ها می شود. عوامل مورد ملاحظه در آیین نامه های معتبر مانند [11-12] (B.S)¹، [13-14] (ACI)²، [15-16] (CEN)³، [11] (JSCE)⁴، [17] (C.S)⁵ و

[11] (ESS)⁶ برای تفسیر مقاومت مغزه به مقاومت بتن درجا بررسی شده است.

اثر وجود میلگرد روی مقاومت مغزه ها، در آیین نامه های [11-12] B.S، [15-16] C.S، و آیین نامه مصر بررسی شده است.

با بررسی این آیین نامه ها و استانداردها، ملاحظه می شود که برخی آیین نامه ها اثر میلگرد داخل مغزه را در نظر گرفته و برخی از آن چشم پوشی کرده اند. مقاومت مغزه، زمانی که به مقاومت نمونه استوانه ای و مکعبی استاندارد تبدیل شود در بهترین حالت نشان دهنده مقاومت در جای بتن است. اگر چه این کار، روشی کاملاً ساده برای ارزیابی کیفیت بتن به نظر می رسد، با این حال مشکلاتی در ارتباط با تفسیر مقادیر مقاومت وجود دارد. قطر، نسبت طول به قطر (l/d)، شرایط رطوبت در زمان آزمایش، سن نمونه اصلی، وجود میلگرد داخل مغزه، تراز مقاومت بتن و آسیب دیدن نمونه بر اثر عملیات حفاری از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر مقاومت مغزه محسوب می شوند. اختلاف روش های تراکم و عمل آوری بین مغزه ها و نمونه های استاندارد تبدیل مقاومت مغزه ها به مقاومت نمونه های استاندارد، را دشوارتر می سازد [18]. بنا بر نظر برخی پژوهشگران [18] مغزه هایی که برای سنجش مقاومت بتن استفاده قرار می شوند نباید حاوی فولاد باشند، که البته در همه موارد قابل اجتناب نیست. بنا بر نظر این دسته پژوهشگران [18]، در چنین مغزه هایی (حاوی فولاد) انتظار می رود که کاهش در مقاومت سنجیده شده بوجود آید. به اعتقاد آنها مقدار این کاهش تابع موارد گوناگونی است، و ممکن است از ۰ تا ۲۰ درصد (در صورت وجود قطر زیاد یا میلگردهای چندگانه) متغیر باشد. وقتی فولاد در مغزه وجود داشته باشد، باید ضریبی برای ضرب مقاومت مغزه، یا مقاومت های تخمین زده حقیقی یا بالقوه وجود داشته باشد تا وجود فولاد را تصحیح نماید. به اعتقاد برخی دیگر از پژوهشگران وجود میلگرد در مغزه باعث کاهش مقاومت در مغزه نمی شود [19]. از طرفی در بررسی های انجام شده توسط [19]، نتایج آزمایش هایی را گزارش نموده اند که هیچ گونه

- 1 American Concrete Institute
- 2 British Standard Specification
- 3 European Standard Specification
- 4 Japanese Standard Specification
- 5 Concrete Society

آزمایش‌های مشابهی روی ۱۷۰ استوانه به ابعاد " ۱۵۰ x ۳۰۰ mm " انجام شده که برخی از آنها شامل میلگردهایی به قطر ۱۰ یا ۲۰ میلی‌متر بودند که در عمق‌های مختلف و فاصله‌های متفاوتی از محور قرار داشتند. نمونه‌ها پس از عمل‌آوری به مدت ۲۶ روز در هوا و سپس به مدت ۲ روز در آب آزمایش شدند. در جدول (۲) میانگین درصد کاهش مقاومت ارائه شده است [22].

جدول ۲. میانگین کاهش مقاومت به دلیل وجود میلگرد در موقعیت‌های مختلف [22]

Bar diameter (mm)	Strength reduction percentage at different spaces from the top		
	50mm	150mm	250mm
10	1.5	2.6	3.8
	3.3	1.6	-0.4
	3.5	11.6	-0.1
20	10.4	8.6	5.4

Table 2. Average strength reduction due to different arrangements of rebar [22]

همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، نتایج آزمایش مقاومت استوانه‌های حاوی میلگرد متناقص بوده و در برخی موارد مقاومت استوانه‌ای‌های حاوی میلگرد نسبت به استوانه‌ای بدون میلگرد کاهش و در برخی موارد افزایش داشته است. Loo و همکاران [23] در آزمایش‌های خود گزارش داده‌اند که میلگردهای عرضی مدفون، مقاومت مغزه‌های با نسبت ارتفاع به قطر ۲ را کاهش می‌دهند، اما این اثر در نسبت ارتفاع به قطر کمتر، کمتر است. بطور نمونه در نسبت ارتفاع به قطر برابر ۱، فولاد مدفون هیچ اثری بر مقاومت اندازه‌گیری شده، بدون توجه به محل آن در مغزه ندارد. این اثر به توزیع تنش در استوانه، با مقادیر مختلفی از نسبت ارتفاع به قطر ربط داده شده است [3]. همان‌گونه که در شکل (۱)، الگوی کلی تاثیر نسبت طول به قطر (l/d) بر مقاومت بتن کم مقاومت و با مقاومت متوسط نشان داده شده است، برای مقادیر l/d کمتر از ۱/۵، به علت اثر مهاری

کاهشی در مقاومت را نشان نمی‌دهند. اگرچه اثر فولاد مدفون بر مقاومت مغزه موثر به نظر می‌رسد، اما اطلاعات موجود در این مورد ضد و نقیض است [3]. تعدادی از پژوهشگران آثار برخی از متغیرهای فوق در مقاومت فشاری مغزه را بررسی کرده‌اند. همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده باز هم مشاهده می‌شود که داده‌های منتشر شده، متناقض هستند. برخی پژوهشگران مانند [20] وجود میلگرد را باعث کاهش مقاومت مغزه دانسته‌اند (8-13%) و برخی دیگر [21] کاهش قابل توجهی را برای مقاومت مغزه‌های حاوی میلگرد نسبت به مغزه‌های بدون میلگرد در نظر نگرفته‌اند. به اعتقاد برخی پژوهشگران در صورت امکان، باید تلاش کرد مغزه‌هایی آزمایش شوند که شامل میلگرد نیست. به اعتقاد آنها در مغزه‌هایی که میلگرد در جهت عمود بر محور مغزه است، حتی در صورت کاهش نسبت طول به قطر از مقدار ۲ به مقدار کمتر، حذف میلگرد از طریق برش دادن بخشی از مغزه که حاوی میلگرد است، ترجیح داده می‌شود [20]. مطالعاتی درانجمن بتن C.S [22] صورت گرفته و در آنها اثر میلگرد بر مقاومت مغزه‌ها بررسی شده است. در مجموع ۶۶ استوانه، بتن‌ریزی شد، برخی بدون میلگرد، برخی با میلگرد که بر محور مرکزی عمود بودند. مکان خاص میلگردها تاثیر کمی بر مقاومت استوانه‌ها داشت. در جدول (۱) میانگین کاهش مقاومت ارائه شده است [22].

جدول ۱. میانگین کاهش مقاومت بر اثر وجود میلگرد [22]

Bar diameter (mm)	Number of bars	Strength reduction percentage
12	1	8%
	2	11%
25	1	9%
	2	13%

Table 1. Average strength reduction due to the presence of rebar [22]

شده و در سایر آیین نامه ها به این موضوع و آثار آن پرداخته نشده است. ثانیاً در آیین نامه هایی که این اثر لحاظ شده، عواملی نظیر آرایش میلگردها، فاصله میلگردها از انتهای نمونه، آج دار یا بدون آج بودن میلگرد، آرایش میلگردها، فاصله میلگرد از محور استوانه و ... که به نظر از پارامترهای موثر بر مقاومت مغزه است، لحاظ نشده است. همچنین با بررسی پژوهشها سایر پژوهشگران به این نتیجه می توان رسید که بیشتر آنها از بررسی مقاومت مغزه های حاوی میلگرد اجتناب کرده و یا شرایط خاصی از وجود میلگرد در داخل مغزه را بررسی کرده و عوامل موثر مذکور را در پژوهش های خود لحاظ نکرده و یا به بررسی برخی از آنها پرداخته اند. پس در این پژوهش ضمن مروری بر عوامل موثر بر مقاومت مغزه های حاوی میلگرد، که در مراجع معتبر ذکر شده است، بررسی اثر پارامترهای جدید روی مقاومت چنین مغزه هایی انجام گرفت و با در نظر گرفتن وجود میلگرد در مغزه های بتنی، به بررسی عوامل موثر بر مقاومت فشاری این مغزه ها و مقایسه مقاومت مغزه های با و بدون میلگرد پرداخته شد. با توجه به اجتناب ناپذیر بودن وجود میلگرد در مغزه های استخراج شده در اعضای سازه ای بدلیل تراکم میلگرد و ابعاد مغزه ها، بررسی عوامل موثر بر مقاومت چنین مغزه هایی برای برآورد مقاومت واقعی بتن سازه دارای اهمیت ویژه ای است. به همین خاطر در برخی آیین نامه ها ضریبی را برای تبدیل مقاومت چنین مغزه هایی در نظر گرفته اند. اما نکته ای که حائز اهمیت است، تأثیر متغیرهایی نظیر آرایش میلگردها، برون از محوری میلگردها در نمونه بتنی است که نیاز به بررسی بیشتر دارد.

با بررسی آیین نامه های معتبر مشاهده می شود که در تفسیر نتایج آزمون مغزه های حاوی میلگرد تناقض وجود دارد. همچنین دلایل کاهش یا افزایش مقاومت مغزه های حاوی میلگرد نسبت به مغزه های فاقد میلگرد، بررسی نشده است. در این پژوهش، با توجه به عوامل موثر بر مقاومت مغزه های بدون میلگرد، عوامل موثر بر مقاومت مغزه های حاوی میلگرد بررسی شده و با مقاومت مغزه های بدون میلگرد مقایسه می شود.

سطوح بارگذاری دستگاه آزمایش، مقاومت اندازه گیری شده به سرعت افزایش می یابد. وقتی که l/d بین تقریباً $1/5$ و 4 تغییر می کند، مقاومت، فقط به مقدار کمی تحت تاثیر واقع خواهد شد و برای مقادیر l/d بین $1/5$ و $2/5$ مقاومت اندازه گیری شده در حدود 5 درصد کمتر و یا بیشتر از مقاومت آزمون های استاندارد ($l/d=2$) خواهد شد. برای مقادیر l/d بیش از 5 ، مقاومت با سرعت بیشتری افت پیدا می کند و اثر ضریب لاغری آزمون ظاهر خواهد شد [3].

شکل ۱. الگوی کلی تاثیر نسبت ارتفاع به قطر نمونه بر مقاومت آزمون

های استوانه ای [3]

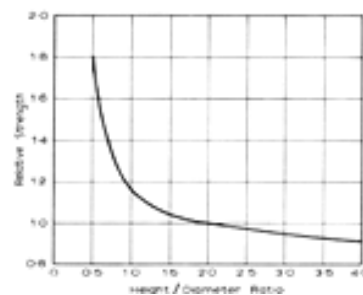


Fig. 1. General trend of the effect of the height-to-diameter ratio on the strength of cylindrical specimens [3]

به اعتقاد Wright، وقتی که نسبت l/d برابر ۱ باشد، هیچ گونه تنش جانبی کششی در آزمون وجود نخواهد داشت و فولاد به خوبی می تواند فشار قائم را تحمل نماید [24]. تدین و همکاران [25] نیز در پژوهشهای خود به بررسی اثر میلگرد در مغزه های بتنی پرداختند و در برخی موارد به افزایش مقاومت در مغزه های حاوی میلگرد نسبت به مغزه های بدون میلگرد اشاره کردند. به اعتقاد برخی دیگر از پژوهشگران [26]، انجام عملیات مغزه گیری برای پیش بینی مقاومت بتن، کاری بسیار سخت و وقت گیر بوده و در خیلی از موارد غیر قابل اعتماد است. با توجه به روابط موجود در آیین نامه های مختلف، مشاهده شد که اولاً در آیین نامه های معتبر روی تفسیر نتایج آزمایش مغزه و بکارگیری آنها در صورت وجود میلگرد در داخل مغزه، اختلاف نظر وجود داشته و در برخی آیین نامه ها مانند ACI، وجود میلگرد در مغزه مجاز نبوده و این تناقض در بین آیین نامه ها وجود دارد. بررسی اثر میلگرد فولادی داخل مغزه روی مقاومت مغزه که موضوع اصلی این پژوهش است، در آیین نامه های C.S.CEN.B.S و ESS بررسی

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

سیمان مصرفی در این پژوهش، سیمان پرتلند تیپ ۲ بوده است. مصالح درشت دانه از نوع شن رودخانه‌ای با بیشینه قطر ۱۹ میلی‌متر با دانه‌بندی پیوسته تهیه شده است. وزن مخصوص مصالح درشت دانه برابر ۲۶۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و میزان جذب آب آن برابر ۱/۰۱ درصد است. مصالح ریزدانه شامل ماسه رودخانه‌ای با مدول نرمی ۲/۸۴ و با دانه‌بندی معمولی است. وزن مخصوص و میزان جذب آب این مصالح به ترتیب ۲۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ۵/۲۸ درصد است. مطابق نظر بیشتر آیین‌نامه‌ها، آب مصرفی در تهیه بتن‌های مورد نظر، آب شرب بوده است.

۲-۲- ساخت نمونه‌ها

در این مطالعه برای ساخت بتن تیرها از دو طرح اختلاط و با نسبت‌های آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۵۵ مطابق آیین‌نامه ASTM C192 [27] پایه‌ریزی شد که جزئیات ترکیب مصالح برای ساخت یک متر مکعب بتن در جدول (۶) آورده شده است. پس از توزین مصالح و با توجه به طرح اختلاط نمونه‌ها، توسط دستگاه بتونیر بتن‌ها ساخته شد. بعد از اختلاط کامل بتن و مطابق آیین‌نامه ASTM C143 [28] آزمایش اسلامپ انجام شده و پس از بررسی نتایج مربوط به این آزمایش، بتن‌های ساخته شده درون قالب‌هایی به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۰۰۰ میلی‌متر ریخته و با دستگاه ویراسیون متراکم شدند. در تیرهای بتن مسلح، میلگردها در ناحیه کششی قرار گرفتند. مخلوط بتن با مقاومت مکعبی ۲۸ روزه بین ۱۵/۴ تا ۴۸/۱ مگاپاسکال ساخته شد. همزمان با بتن‌ریزی تیرها، نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای استاندارد نیز تهیه شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت قالب‌های تیر باز شده و عملیات نگهداری آغاز شد. تیرها در دو شرایط محیطی و سه روز مرطوب عمل آوری شدند. متوسط دمای شش ماهه محیط ۲۳ درجه سانتیگراد و متوسط درصد رطوبت هوا، ۷۷ درصد بوده است. برای حفظ رطوبت تیرهایی که در شرایط محیطی

نگهداری می‌شدند، سطح آنها را با گونی‌های کنافی پوشش داده و در سه روز اول بعد از بتن‌ریزی، گونی‌ها با آب مرطوب شد. نمونه‌های مربوط به شرایط مرطوب در حوضچه آبی، با آب جاری و دمای 24 ± 2 سانتی‌گراد نگهداری شده‌اند. مغزه‌هایی با قطرهای ۱۰۰ و ۷۵ میلی‌متر عمود بر جهت بتن‌ریزی به وسیله حفاری از تیرها استخراج شد. عملیات برش توسط اره با روان‌سازی آب، به منظور به دست آوردن نمونه در ابعاد مورد نظر استفاده شد. به منظور ایجاد سطوح صاف و موازی با محور افقی نمونه، در دو انتهای آن از عملیات کپینگ استفاده شد. مواد کپینگ شامل گوگرد و ماسه سیلیسی بوده که ۷۰٪ ماده کپینگ را گوگرد و ۳۰٪ از آن را ماسه سیلیسی تشکیل داده است. مواد کپینگ در داخل دستگاه ذوب کپینگ ریخته شده و پس از گذشت زمان تغییر شکل داده و به یک ماده روان و عسلی شکل تبدیل می‌شود. سپس در قالب کپینگ ریخته می‌شود و با گذاشتن نمونه روی آن پس از گذشت چند ثانیه به آرامی سرد می‌شود. پس از وزن کردن و اندازه‌گیری ابعاد، نمونه‌ها کلاhek گذاری (کپینگ) می‌شوند. و نسبت طول به قطر مغزه‌ها برابر ۱ و ۲ بدست آمد. حداقل ۹۸۸ مغزه در سنین ۲۸ و ۵۶ روزه و از هر سن بطور متوسط سه نمونه تهیه شد. ساخت مخلوط‌های بتنی، حفاری مغزه‌ها، نگهداری از مغزه‌ها، عملیات کپینگ و آزمایش‌های بتن تازه مطابق آیین‌نامه ASTM [21-18] انجام گرفت. آرایش میلگردهای داخل مغزه‌ها در جدول (۳) آورده شده است. چگونگی قالب‌بندی و قرارگیری میلگردها در تیرها در شکل (۲) و چگونگی قرارگیری میلگردهای دارای انحراف از محور عمودی در داخل مغزه‌ها در شکل (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳. میزان مصالح مصرفی در ساخت بتن در ۱ متر مکعب

	Sand (Kg)	Gravel (Kg)	Cemen (t Kg)	Water (lit)	w/c	Slum p (mm)
Mi x1	905	953	380	152	0.4	70
Mi x2	985	1020	250	137.5	0.55	95

Table 3. Concrete composition per 1 m²

شکل ۳. چگونگی قرارگیری میلگردهای برون محور در داخل مغزه

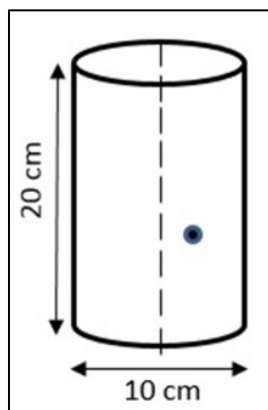


Fig.3. Placement of eccentric bars in the cores of 10-cm diameter

شکل ۲. چگونگی قالب بندی و آرماتوربندی نمونه های با قطر ۱۰ سانتی متر



Fig. 2. Molding and reinforcement placing for the specimen

جدول ۴. آرایش میلگردها در مغزه ها

no	d (cm)	l (cm)	l/d	cover (cm)	Φ(mm)	figure	no	d (cm)	l (cm)	l/d	cover (cm)	Φ(mm)	figure	no	d (cm)	l (cm)	l/d	cover (cm)	Φ(mm)	figure
B10	10	20	2	5	Φ10-N.T-D		B6	10	20	2	5	Φ16		C8	10	10	1	5	2Φ10	
B11	10	20	2	3	Φ16-D		B8	10	20	2	3	Φ10-D		C9	10	10	1	5	2Φ10-N.T	
B12	10	20	2	5	Φ16-D		B9	10	20	2	5	Φ10-D		C10	10	10	1	3	2Φ16	
B13	10	20	2	3	2Φ10		B20	10	20	2	3	2Φ16		C11	10	10	1	5	2Φ16	
B14	10	20	2	5	2Φ10		B21	10	20	2	5	2Φ16		C12	10	10	1	5	2Φ10	
B15	10	20	2	5	2Φ10-N.T		B22	10	20	2	5	2Φ10		C13	10	10	1	5	2Φ10-N.T	
B16	10	20	2	5	2Φ16		B23	10	20	2	5	2Φ10-N.T		C14	10	10	1	3	2Φ16	
B18	10	20	2	5	2Φ10		C0	10	10	1		No bar		C15	10	10	1	5	2Φ16	
B19	10	20	2	5	2Φ10-N.T		C1	10	10	1	3	Φ10		C16	10	10	1	5	2Φ10	
B0	10	20	2		No bar		C2	10	10	1	5	Φ10		C17	10	10	1	5	2Φ10-N.T	
B1	10	20	2	3	Φ10		C3	10	10	1	3	Φ10-N.T		C18	10	10	1	3	2Φ16	
B2	10	20	2	5	Φ10		C4	10	10	1	5	Φ10-N.T		*N.T=No Tread=بدون آج *D=DEVIATION=انحراف از محور						
B3	10	20	2	3	Φ10-N.T		C5	10	10	1	3	Φ16								
B4	10	20	2	5	Φ10-N.T		C6	10	10	1	5	Φ16								
B5	10	20	2	3	Φ16		C7	10	10	1	3	2Φ10								

Table 4. Bar arrangement in the cores

۳- تحلیل و تفسیر نتایج

عوامل متعددی در میزان تغییرات مقاومت مغزه حاوی میلگرد، نسبت به مغزه بدون میلگرد، موثر است که در این پژوهش به عواملی مانند تاثیر قطر میل گرد (ϕ)، نسبت آب به سیمان (w/c)، پوشش میل گرد، تعداد میل گرد، موقعیت میل گرد نسبت به محور عمودی (D)، نسبت طول به قطر (l/d) و آج دار یا آج دار نبودن میل گرد ($N.T$) پرداخته شد. نتایج آزمون مقاومت فشاری نمونه های مکعبی استاندارد در سن ۲۸ و ۵۶ روزگی در جدول (۵) آمده است.

جدول ۵. مقاومت فشاری نمونه های استاندارد در سن ۲۸ و ۵۶ روز

Mix design	w/c	Curing conditions	Cube specimen (Mpa)	
			28 days	56 days
1	0.44	3-day soaked	48.1	51
		Air dried	44.6	48.5
2	0.55	3-day soaked	16.5	19.2
		Air dried	15.4	17

Table 5. Compressive strength of standard specimens at 28- and 56-day ages

۳-۱- تاثیر حضور میلگرد بر مغزه های بتنی با قطر ۱۰ سانتی متر

۳-۱-۱- تاثیر قطر میل گرد و نسبت آب به سیمان

مغزه های گرفته شده با قطر ۱۰ سانتی متر که حاوی تک میلگردهای آجدار با قطرهای ۱۰ و ۱۶ میلی متر و همچنین میلگرد با قطر ۱۰ میلی متر بدون آج بودند، از تیرهای ساخته شده مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند. نتایج این آزمایش ها در شکل (۴) آورده شده است. پوشش میلگردها در این مغزه ها ۵ سانتی متر در نظر گرفته شده است. حضور تک میلگرد ۱۶، در مغزه هایی با $w/c=0.4$ سبب کاهش مقاومت به میزان ۹ درصد نسبت به مغزه بدون میلگرد شده است و در $w/c=0.55$ کاهشی بیشتر از ۲ درصد مشاهده شد. در مغزه های حاوی تک میلگرد ۱۰، در $w/c=0.4$ کاهشی در حدود ۷ درصد و در $w/c=0.55$ کاهشی بیشتر از ۲ درصد نسبت به مغزه بدون میلگرد مشاهده شد (شکل ۴). به نظر می رسد، با کاهش w/c ، مقاومت بتن در برابر برش ناشی از

حفاری بالاتر رفته و این امر سبب ازدیاد ترک در مغزه ها می شود. همچنین توام شدن این امر با افزایش قطر میلگرد و ازدیاد مقاومت میلگرد در برابر برش، سبب تشدید کاهش مقاومت مغزه های حاوی میگرد ۱۶ نسبت به مغزه های حاوی میلگرد ۱۰ شده است. آزمایش ها نشان می دهند که در اطراف میلگردهای داخل مغزه های با $w/c=0.55$ ، نسبت به مغزه های مشابه اما با $w/c=0.4$ ، ترک های کمتری ایجاد شده است. به نظر می رسد همین عامل باعث اختلاف مقاومت کمتر بین مغزه های حاوی میلگرد و بدون میلگرد در مغزه های با $w/c=0.55$ ، نسبت به مغزه های مشابه اما با $w/c=0.4$ است. همچنین نتایج نشان داده اند که، در تمامی حالات، مغزه های حاوی میلگرد ۱۰ فاقد آج، از تمامی مغزه های حاوی میلگرد آج دار، مقاومت کمتری داشته اند. به نظر می رسد این حالت احتمالا بدلیل عدم اصطکاک مناسب بین میلگرد و بتن در اطراف میلگرد می تواند باشد. نتایج بیانگر این مطلب بودند که اثر تغییر شرایط نگهداری از حالت شرایط محیطی (air dried) به حالت سه روز مرطوب (soaked 72h) تاثیر چندانی بر روند کاهش یا افزایش مقاومت مغزه ها نداشته است [11] A. Ghazy و همکاران، در تحقیقات مشابهی که روی مغزه های بتنی حاوی میلگرد انجام دادند، برخی از عوامل موثر بر مقاومت مغزه های مذکور را بررسی نموده و به مقایسه با مغزه های بدون میلگرد پرداختند. شکل (۵) مقایسه ای بین نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش های A. Ghazy [11] را به صورت درصدی نشان می دهد.

۳-۱-۲- تاثیر پوشش میلگرد

آزمایش ها نشان دادند که هنگام حفاری مغزه ها، زمانی که مته به میلگرد می رسد، بیشترین ارتعاش بر اثر مقاومت میلگرد در برابر برش به کل مغزه وارد می شود، بنابراین ترک ها در اطراف میلگرد به سمت بالا و پایین مغزه رشد می کنند. به نظر می رسد هرچه حجم بتن زیرین میلگرد کمتر باشد، میزان ترک ها کمتر و در نتیجه آسیب بتن ناشی از

حفاری کمتر شده و مقاومت مغزه ها بیشتر می شود. شکل (۶) مقایسه اثر پوشش میلگرد روی مقاومت مغزه هایی با قطر ۱۰ سانتی متر که حاوی میلگردهای با قطر ۱۶ و ۱۰ بوده اند را نشان داده است. همان گونه که در شکل (۳) مشاهده می شود در مغزه های با قطر ۱۰ سانتی متر و با افزایش پوشش میلگرد در مغزه های حاوی میلگردهای ۱۰ و ۱۶، مقاومت کاهش می یابد. از دیگر دلایل کاهش مقاومت به دلیل افزایش پوشش میلگرد، می توان به پدیده جمع شدگی اشاره کرد. با ازدیاد پوشش میلگرد تاثیر میلگرد بر کنترل تنش های انقباضی کمتر و با کاهش بیشتر مقاومت روبرو هستیم.

۳-۱-۳- تاثیر تعداد میلگرد

شکل (۷) مربوط به تغییرات درصدی مقاومت ناشی از اثر زوج میلگرد کنار هم در مغزه های با قطر ۱۰ سانتی متر و $l/d=2$ بوده و پوشش میلگردها برابر ۵ سانتی متر است. نتایج نشان دادند که، در مغزه هایی که زوج میلگرد ۱۶ در کنار هم بوده و $w/c=0/4$ است، مقاومت کاهشی در حدود ۲۳ درصد و در مغزه های مشابه و با $w/c=0/55$ کاهشی بیشتر از ۱۳ درصد، نسبت به مغزه های بدون میلگرد مشاهده شد. در مغزه هایی با زوج میلگرد ۱۰ و $w/c=0/4$ ، مقاومت کاهشی در حدود ۱۷ درصد و در $w/c=0/55$ کاهشی بیشتر از ۱۰ درصد نسبت به مغزه های بدون میلگرد مشاهده شد. به نظر می رسد، در مغزه های حاوی جفت میلگرد ۱۶، به دلیل تضعیف بیش از حد ماتریس سیمان در اطراف میلگردها و به ویژه در ناحیه بین دو میلگرد، کاهش مقاومت بسیار زیادی (حدود ۳۲ درصد) نسبت به حالت بدون میلگرد اتفاق افتاده است. این مطلب به همین صورت ولی با شدت کمتری (۲۷ درصد) در مغزه های حاوی زوج میلگرد ۱۰ اتفاق افتاده است. نتایج بیانگر این مطلب بوده اند که در مغزه های مشابه که حاوی زوج میلگردهای ۱۰ بدون آج بوده اند، اختلاف ناچیزی نسبت به حالت مشابه و با میلگردهای با آج مشاهده شد.

۳-۱-۴- تاثیر موقعیت میلگرد

در تمامی مغزه های حاوی میلگرد، که میلگرد در مرکز مغزه قرار نداشته و دارای برون محوری از محور عمودی

است (به اندازه ۲/۵ سانتی متر)، نسبت به مغزه بدون میلگرد، کاهش مقاومت مشاهده شد. در $w/c=0/4$ و شرایط محیطی، در حضور تک میلگرد ۱۶، ۱۸ درصد و در $w/c=0/55$ کاهشی بیشتر از ۱۳ درصد مشاهده شده است. در حضور تک میلگرد ۱۰، در $w/c=0/4$ کاهشی در حدود ۱۴ درصد و در $w/c=0/55$ کاهشی بیشتر از ۱۰ درصد مشاهده شد. در حضور تک میلگرد ۱۰ بدون آج، در $w/c=0/4$ ، ۲۳ درصد کاهش مقاومت نسبت به مغزه بدون میلگرد مشاهده شد. در دیگر سطح مقاومت و شرایط عمل آوری، نتایجی مشابه این نتایج تکرار شده است. در شکل (۸)، درصد تغییرات مقاومت در مغزه های حاوی میلگرد که نسبت به محور عمودی دارای برون محوری بوده اند را نشان داده شده است. آزمایش ها نشان دادند هرچه میلگرد از محور عمودی منحرف شده و به سمت لبه های بیرونی مغزه نزدیک شود، مقاومت مغزه کاهش یافته و علاوه بر رشد ترک های قائم و قطری، ترک های افقی به سمت لبه خارجی نیز افزایش می یابد. این عامل در مغزه های حاوی میلگرد ۱۶ نسبت به مغزه های حاوی میلگرد ۱۰ شدیدتر بوده است. با مقایسه شکل های (۴ و ۸)، مشاهده می شود که میزان کاهش مقاومت در مغزه های حاوی میلگرد با برون محوری، نسبت به مغزه های حاوی میلگرد در موقعیت محور مرکزی، در هر دو قطر میلگرد (10ϕ و 16ϕ)، حدود ۱۰ درصد بوده است. شکل (۹) مربوط به درصد تغییرات مقاومت مغزه ها در اثر وجود دو میلگرد با فاصله ۳ سانتی متر از هم در قطر ۱۰ سانتی متر و $l/d=1$ در کاور ۵ سانتی متر است. ملاحظه می کنیم که در حضور دو میلگرد ۱۰، در $w/c=0/4$ کاهشی در حدود ۱۴ درصد و در $w/c=0/55$ کاهشی بیشتر از ۲۳ درصد و در حضور دو میلگرد ۱۰ بدون آج، در $w/c=0/4$ کاهشی در حدود ۲۱ درصد و در $w/c=0/55$ کاهشی بیشتر از ۲۵ درصد مشاهده شد. در بیشتر موارد در مغزه های حاوی دو میلگرد ۱۰ آج دار، کاهش مقاومت کمتری نسبت به دو میلگرد بدون آج مشاهده شد. همچنین درصد کاهش مقاومت در $w/c=0/55$ کمتر از $w/c=0/4$ بوده است. در پژوهش های مشابهی، تدین و همکارانش [28] آزمایش های مشابهی را روی مغزه های حاوی میلگرد انجام

شکل ۶. مقایسه اثر پوشش میلگرد بر روی مقاومت مغزه هایی با قطر ۱۰ سانتی متر

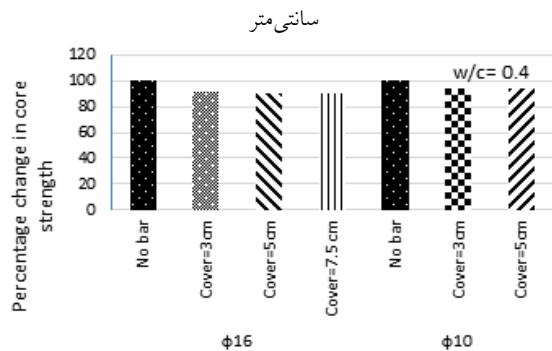


Fig. 6. Comparison of the effect of the rebar on the resistance of cores with a diameter of 10 cm

شکل ۷. اثر جفت میلگرد کنار هم در مغزه های با قطر ۱۰ سانتی متر و

$l/d=2$ با پوشش ۵ سانتی متر

N.T: بدون آج

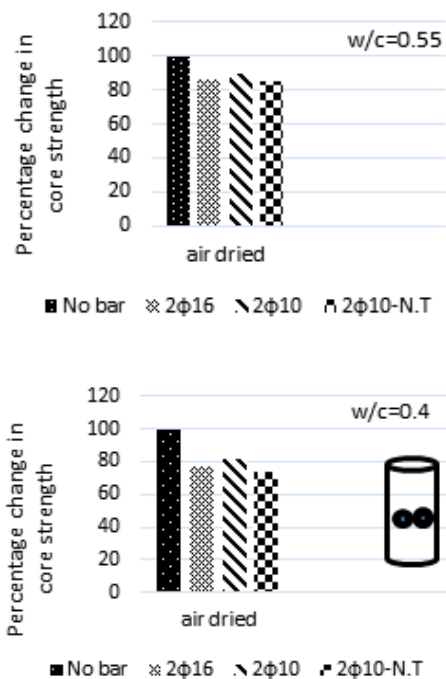


Fig. 7. Effect of the presence of double bars in 10-cm-diameter cores of $l/d=2$ and 5-cm cover (air dried condition) N.T: Not Threaded

۳-۱-۵- تاثیر نسبت طول به قطر (l/d)

در شکل (۱۱)، مقایسه ای بین مقاومت مغزه های با قطر ۱۰ سانتی متر که حاوی تک میلگردی با قطر ۱۶ میلی متر و پوشش بتنی ۵ سانتی متر، در نسبت های $l/d=1$ و $l/d=2$ نشان داده شده است. ملاحظه می کنیم که در مغزه های با

شکل (۱۰)، مقایسه نتایج بخشی از پژوهشهای آنها در خصوص مغزه های حاوی زوج میلگرد با نتایج این پژوهش است.

شکل ۴. اثر تک میلگرد در مغزه های با قطر ۱۰ سانتی متر و $l/d=2$ با

پوششی ۵ سانتی متر

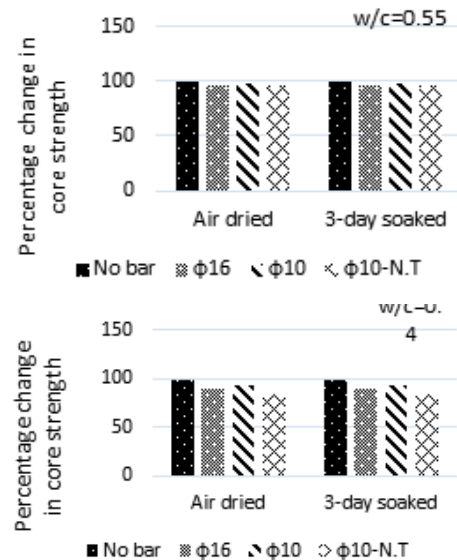


Fig. 4. Effect of the presence of a single bar in 10-mm-diameter specimens of $l/d=2$ and 5-cm cover N.T = without tread

شکل ۵. مقایسه بین نتایج تحقیقات حاضر و تحقیقات A. Ghazy et

al. [11]

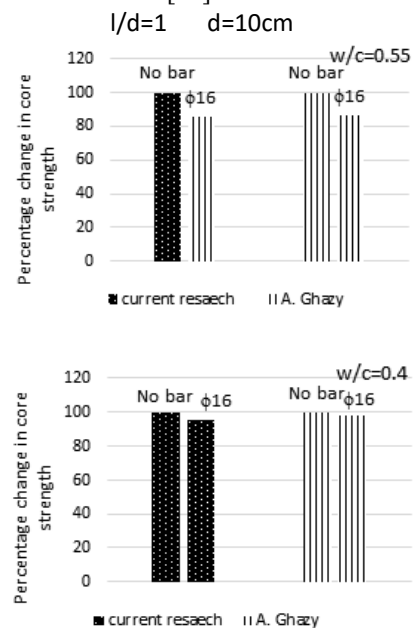


Fig. 5. Comparison between the results of the present research and those of A. Ghazy et al [11]

شکل ۹. اثر دو میلگرد با فاصله ۳ سانتی متر از همدیگر در مغزه های با قطر

۱۰ سانتی متر و $l/d=1$ با پوشش ۵ سانتی متر

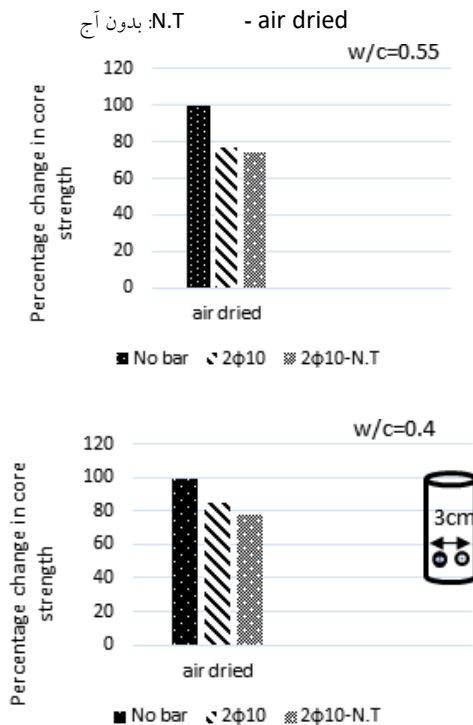


Fig. 9. Effect of the presence of two bars spaced 3 cm apart in the 10-cm cores with $l/d=1$ and 5-cm cover (air-dried conditions) N.T: Not Threaded

شکل ۱۰. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات Tadayon et al.

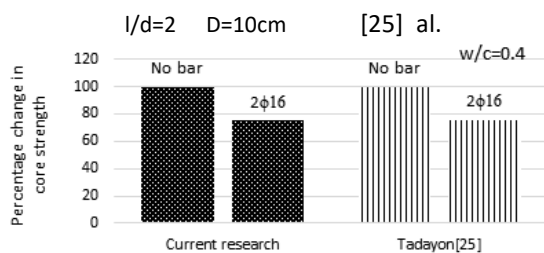
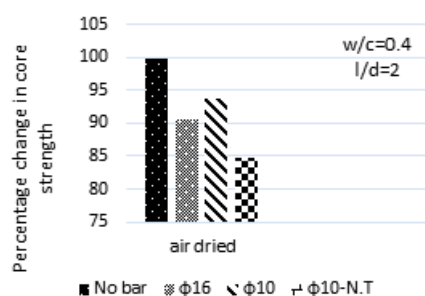


Fig. 10. Comparison of the results of the present study with the results of Tadayon et al. [25]
D = 10cm $l/d = 2$

شکل ۱۱. اثر نسبت l/d در مغزه های با قطر ۱۰ سانتی متر، حاوی

میلگرد و با پوشش بتنی ۵ سانتی متر



$l/d=$ و در حضور تک میلگرد ۱۶، کاهش در حدود ۵ درصد و در حضور تک میلگرد ۱۰، افزایشی در حدود ۲ درصد و در حضور تک میلگرد ۱۰ بدون آج، در $w/c=0.4$ کاهش در حدود ۹ درصد و در $w/c=0.55$ کاهش بیشتر از ۱۸ درصد مشاهده شد. در حضور تک میلگرد، نتایج به صورت پراکنده تغییر کرده و در بعضی شرایط با افزایش مقاومت و در بعضی مواقع کاهش مقاومت مشاهده شد. نتایج نشان می دهند، در حضور تک میلگرد، آهنگ کاهش مقاومت نسبت به همین نمونه در $l/d=2$ کمتر خواهد بود که به نظر می رسد، این به دلیل کاهش زمان مغزه گیری و آسیب های ناشی از آن است.

شکل ۸. اثر موقعیت میلگرد در مغزه های با قطر ۱۰ سانتی متر و $l/d=2$ با

پوشش ۵ سانتی متر

air dried - بدون آج، D: برون محوری میلگرد از محور

عمودی مغزه

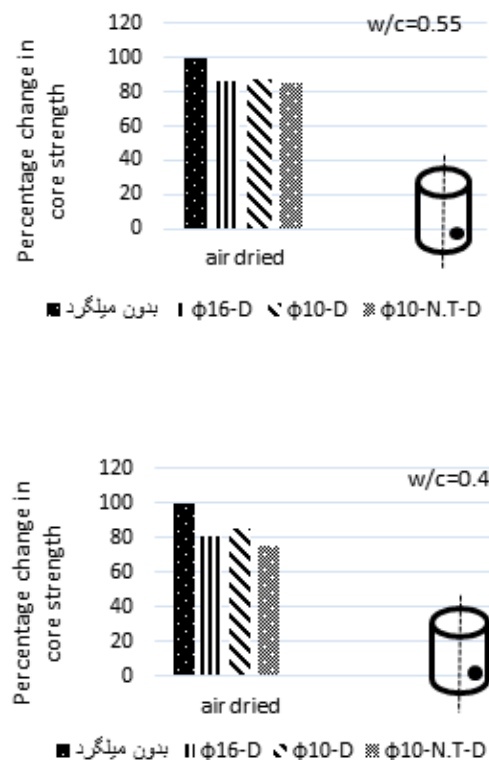


Fig. 8. The effect of the position of the rebar on cores with a diameter of 10 cm and $l/d = 2$ with a coating of 5 cm N.T - air dried: without tread, D: Outside the axis of the rebar from the vertical axis of the core

روشی که در الگوریتم‌های کامپیوتری برای رگرسیون غیرخطی به طور وسیعی بکار برده می‌شود، خطی کردن تابع غیرخطی است که به وسیله روش تکرار برآورد پارامتر گوس- نیوتن صورت می‌پذیرد. خطی کردن از طریق بسط تابع $f(x_i, \theta)$ به سری تیلور و با نگهداشتن جملات خطی صورت می‌گیرد. روش گوس- نیوتن که در مرجع [29] به تفصیل تشریح شده است، گاهی با ضرورت تکرار زیاد و یا کندی همگرایی همراه است. تعدیل در الگوریتم پایه این روش تحت عنوان الگوریتم **Levenberg-Marquardt** شناخته می‌شود و در برنامه‌های کامپیوتری بکار برده می‌شود. این تعدیل باعث غیرحساس شدن روش به انتخاب مقادیر آغازین پارامترها نیز شده است. مدل‌های ریاضی غیرخطی به صورت آزمایشی و تجربی به دست می‌آیند. از سویی، مدل غیرخطی را می‌توان بر مبنای توابع چند جمله‌ای^۷، کسری^۸، نمایی^۹، توانی و یا ترکیبی از آنها در نظر گرفت. همچنین اغلب ممکن است که پیش آگاهی از بهترین ترکیب متغیر یا متغیرهای مستقل به صورت تکی یا گروهی با متغیر پاسخ سودمند باشد، روابط از طریق فرایندهای تکراری سعی و خطایی تا رسیدن به مناسب‌ترین ترکیب متغیرها ادامه می‌یابد. انتخاب نهایی مدل‌ها براساس ارزیابی عملکرد آنها خواهد بود. در این مطالعه بر مبنای روند گفته شده، مناسب ترین روابط غیرخطی پیش‌بینی مقاومت مکعبی بتن برای هر حالت شرایط عمل‌آوری محیطی به صورت رابطه (۲) به دست آمده است.

واحدهای متغیرهای بکار رفته در رابطه (۲) برحسب میلی‌متر و نیوتن بر میلی‌متر مربع است. در این رابطه f_{cube} مقاومت مکعب معادل، f_{core} مقاومت مغزه، L طول مغزه، D قطر مغزه، $Cover$ پوشش میلگرد، $drebar$ قطر میلگرد، $Nrebar$ تعداد میلگردهای موجود در مغزه، $Eccentricity$ برون محوری میلگرد از محور عمودی، همچنین α_i ضرایب رگرسیونی است. پس مهمترین قسمت کار پیدا کردن

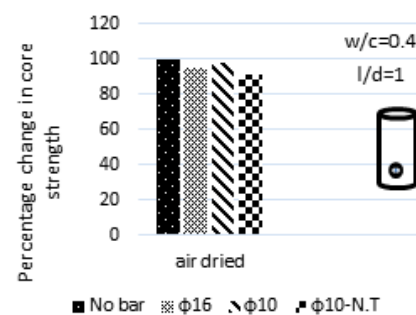


Fig. 11. Effect of l/d ratio in cores with a diameter of 10 cm, containing rebar and concrete casing 5 cm
N.T - air dried: no tread

۳-۴- تحلیل رگرسیون

تحلیل رگرسیون فن و تکنیکی آماری برای بررسی و به مدل درآوردن رابطه بین پارامترهای متعدد است. کاربردهای رگرسیون تقریباً در هر زمینه‌ای از جمله مهندسی، فیزیک، اقتصاد، علوم زیستی و علوم اجتماعی صورت می‌پذیرد. البته روشن است که مدل رگرسیونی یک رابطه علت و معلولی بین متغیرها را نتیجه نمی‌دهد. هرچند که می‌تواند یک رابطه تجربی قوی بین دو یا چند متغیر برقرار سازد. به عبارت دیگر این تحلیل می‌تواند در تصدیق و تایید رابطه علت و معلولی پشتیبان باشد اما نمی‌تواند تنها پایه و بنای چنین ادعایی باشد. مدل‌های رگرسیونی خطی چهارچوب وسیع و غنی را در بر می‌گیرد و نیاز به تحلیل‌های زیادی را نیز برآورده می‌سازد و پاسخ می‌دهد. هرچند این مدل‌های خطی برای همه مسائل نمی‌تواند مناسب باشد، زیرا گاهی اوقات متغیر پاسخ و متغیرهای رگرسیونی با توابع غیرخطی بهم مربوط می‌شوند. یک مدل رگرسیون غیرخطی را می‌توان به صورت رابطه زیر در نظر گرفت:

$$y_i = f(x_i, \theta) + \varepsilon_i \quad (1)$$

که در آن $i = 0, 1, \dots, n$ و ε_i یک خطای تصادفی با $E(\varepsilon_i) = 0$ و $V(\varepsilon_i) = \sigma^2$ است و معمولاً فرض می‌شود که ε_i ها دارای توزیع نرمال هستند. تابع f تابع امید، x_i یک بردار از متغیرهای رگرسیونی و θ یک بردار نامعلوم از پارامترهای مدل است.

7. Polynomial

8. Rational

9. Exponential

محیطی ارائه شده است. قابلیت ارزیابی مدل ها در تخمین متغیر پاسخ بر مبنای شاخص R^2 در جدول (۶) برای شرایط عمل آوری محیطی خلاصه شده است.

تابع غیرخطی مناسب و تنظیم کردن ضرایب آنها یعنی α_i ها است. ضرایب به دست آمده با روش Levenberg-Marquardt در جدول (۶) برای شرایط عمل آوری

رابطه (۲)

$$f_{cube} = \left\{ \alpha_1 \times \left(\frac{1}{1.5 + \frac{\alpha_2}{L/D}} \right) \times (1 + D_{core}^{\alpha_3} \times Cover^{0.1}) \times (1 + \alpha_4 \times d_{rebar} + \alpha_5 \times N_{rebar} + \alpha_6 \times Eccentricity) \right\} \times f_{core}$$

جدول ۶. شرایط عمل آوری محیطی

Parameter Estimates				
Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
α_1	2.719	.080	2.561	2.877
α_2	.664	.063	.539	.788
α_3	-6.100	6632987.332	-13166381.894	13166369.693
α_4	-.004	.002	-.008	-.001
α_5	.190	.013	.164	.217
α_6	.001	.001	-.001	.002

Table 6. Environmental conditions

جدول ۷. شرایط عمل آوری محیطی

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	134308.126	6	22384.688
Residual	395.624	96	4.121
Uncorrected Total	134703.750	102	
Corrected Total	25302.375	101	

Table 7. Environmental treatment requirements

Dependent variable: cube_str_MPa^a

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .984.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y - y'}{y} \right| \times 100 \quad (9)$$

در این روابط p, y', y و n به ترتیب بیانگر مقدار مشاهده شده، مقدار پیش‌بینی، تعداد پارامترهای مدل و تعداد نمونه‌هاست. مقادیر محاسبه شده این شاخص‌ها برای کلیه مدل‌های خطی و غیرخطی در جدول (۸) نشان داده شده است. بر اساس این جدول، دقت مدل‌های ارائه شده به وضوح تایید می‌شود، چراکه بیش از ۹۵٪ تغییرات متغیر پاسخ با مدل‌های برازش شده می‌تواند بیان شود. همچنین روشن است که مدل‌های غیرخطی نتایج دقیق‌تری در مقایسه با مدل‌های خطی ارائه کرده‌اند. شایان ذکر است که اعتبار مدل‌های ارائه شده در این مطالعه برای انواع دیگر بتن و نیز خارج از محدوده‌های بررسی شده نیازمند مطالعات بیشتری است. با توجه به اینکه برای یک سطح مقاومت بتن، مقادیر مختلفی از مقاومت‌های مغزه بر مبنای شرایط مختلف هندسی آن شامل طول و قطر و نیز ویژگی‌های میلگرد موجود در آن وجود دارد تکیه بر شاخص R^2 چندان مناسب نبوده و بهتر است از سایر شاخص‌ها در کنار آن برای بررسی قابلیت مدل‌ها و مقایسه آنها استفاده نمود.

جدول ۸. ارزیابی‌های آماری مدل‌های رگرسیونی

Regression models	R_{adj}^2	RMSE	MAPE	VAF (%)
Linear				
Air dried	0.962	2.96	8.74	96
Nonlinear				
Air dried	0.984	1.97	5.06	98.5

Table 8. Assessment of statistical regression models

۴- نتیجه‌گیری:

بر اساس مطالعه جامع تجربی صورت گرفته، نتیجه‌گیری‌های زیر قابل استنتاج است:

ارزیابی عملکرد مدل‌ها بخش مهمی از تحلیل رگرسیونی چندمتغیره به حساب می‌آید. به طور کلی ضریب تعیین چند متغیره R^2 بین مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شاخص خوبی برای کنترل عملکرد پیش‌بینی مدل است. مقادیر بالاتر R^2 به معنی همبستگی بهتر و بیشتر نتایج پیش‌بینی مدل با نتایج آزمایشگاهی است. وقتی متغیر جدیدی به مدل اضافه می‌شود R^2 افزایش می‌یابد بنابراین این شاخص باید تعدیل شود.

به عنوان ضریب تعیین تعدیل یافته^{۱۰}، تحلیل‌گری را که متغیر غیر ضروری وارد مدل می‌کند، جریمه کرده و در صورت اضافه شدن عبارات غیر ضروری به مدل بیشتر کاهش می‌یابد. باید توجه داشت که اگر R^2 و R_{adj}^2 اختلاف زیادی با هم داشته باشند می‌توان انتظار داشت که عبارت غیر موثر در مدل وجود دارند. یعنی مدل شامل جملاتی است که به طور معنی دار نمی‌توانند در برازش مدل سهم موثری داشته باشند. در کنار این شاخص، برای مقایسه عملکرد پیش‌بینی مدل‌های استخراج شده، از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطی^{۱۱} (RMSE) و مقدار اعتبار^{۱۲} (VAF) و متوسط قدر مطلق خطاهای نسبی^{۱۳} (MAPE) استفاده شده است که در روابط ۳ تا ۶ دیده می‌شود.

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-p} (1 - R^2) \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - y')^2} \quad (7)$$

$$VAF = \left[1 - \frac{\text{var}(y - y')}{\text{var}(y)} \right] \times 100 \quad (8)$$

10. Adjusted

11. Root Mean Square Error

12. Values Account For

13. Mean Absolute Percentage Error

مقاومت این مغزه ها، نسبت به مغزه های مشابه که حاوی میلگرد ولی بدون برون محوری هستند، حدود ۱۰ درصد کاهش مقاومت پیدا کرده اند. با ازدیاد برون محوری میلگردها از محور عمودی، علاوه بر ترک های قائم و قطری، تجمع ترک های افقی به سمت لبه های بیرونی ازدیاد پیدا کرده و با ترکیب ترک های قائم، قطری و افقی، روند کاهش مقاومت این مغزه ها، نسبت به مغزه های حاوی میلگرد و بدون برون محوری، افزایش یافت.

۷- با بررسی تاثیر عوامل مختلف روی مقاومت مغزه های حاوی میلگرد، مدل رگرسیون چند متغیره، بصورت غیر خطی ارائه شده است.

References

۵- مراجع

- [1] Arioiz, O.; Tuncan, M.; Ramyar, K.; Tuncan, A. "Assessing Concrete Strength by Means of Small Diameter Cores"; Construction and Building Material 2008, 22, 981-988.
- [2] Nikbin, I.; Eslami, M.; Rezvani, D. S. M. "An Experimental Comparative Survey on the Interpretation of Concrete Core Strength Results"; Eur. J. Sci. Res. 2009, 37, 445-456.
- [3] Neville, A. M. "Properties of Concrete"; Addison-Wesley, UK, 1995.
- [4] Bungey, J. H. "Determining Concrete Strength by Using Small Diameter Cores"; Mag. Concrete Res. 1979, 107, 91-98.
- [5] Bartlett, F. M.; MacGregor, J. G. "Effect of Core Diameter on Concrete Core Strengths"; ACI Mater. J. 1994, 91, 460-470.
- [6] Bartlett, F. M.; MacGregor, J. G. "Effect of Core Length-to Diameter Ratio on Concrete Core Strengths"; ACI Mater. J. 1994, 91, 339-348.
- [7] Bartlett, F. M.; MacGregor, J. G. "Effect of Moisture Condition on Concrete Core Strengths"; ACI Mater. J. 1993, 90, 227-236.
- [8] Bartlett, F. M. "Precision of In-Place Concrete Strengths Predicted Using Core Strength Correction Factors Obtained by Weighed Regression Analysis"; Struct. Safety 1997, 19, 397-410.
- [9] Bartlett, F. M.; Mac Gregor, J. G. "Cores from High-Performance Concrete Beams"; ACI Mater. J. 1993, 91, 567-576.
- [10] ASTM C 42-90 "Test for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete"; Annual Book of ASTM Standards, 2008.
- [11] Khoury, Sh.; Aliabdo, A.; Ghazy, A. "Reliability of Core Test-Critical Assessment and Proposed New Approach"; Alexandria Eng. J. 2014, 53, 169-184.

۱- حضور میلگرد در مغزه ها، مقاومت مغزه ها را بین ۲ تا ۳۲ درصد کاهش می یابد. کمترین کاهش مربوط به وجود میلگرد ۱۰ در مغزه های با $l/d=2$ و پوشش بتنی ۵ سانتی متر و $w/c=0/$ بوده و بیشترین کاهش مربوط به حضور دو میلگرد ۱۶ در مغزه با $l/d=2$ و پوشش بتنی ۵ سانتی متر و $w/c=0/4$ بوده است.

۲- با کاهش مقدار w/c از مقدار ۰/۵۵ به ۰/۴، درصد کاهش مقاومت مغزه های حاوی میلگرد نسبت به مغزه های بدون میلگرد، افزایش می یابد. در مغزه های حاوی دو میلگرد با قطر ۱۶، با کاهش w/c از ۰/۵۵ به ۰/۴، نرخ تغییرات کاهش مقاومت مغزه ها نسبت به مغزه های بدون میلگرد حدود ۱۰ درصد بوده است.

۳- در مغزه های حاوی میلگرد با افزایش پوشش بتنی، مقاومت مغزه ها کاهش می یابد. بیشترین کاهش مربوط به مغزه هایی با قطر ۱۰ سانتی متر و $l/d=2$ که حاوی میلگرد ۱۶ با پوشش ۷/۵ سانتی متر بوده است. در این مغزه ها، با افزایش پوشش میلگرد، هنگام حفاری، ترک های اطراف میلگرد افزایش پیدا کرده و روند کاهش مقاومت این مغزه ها نسبت به مغزه های بدون میلگرد، افزایش یافته است.

۴- در مغزه های حاوی میلگرد، با افزایش قطر میلگرد، روند کاهش مقاومت مشهود است. بیشترین میزان کاهش مقاومت، با افزایش قطر میلگرد از ۱۰ به ۱۶، در $w/c=0/4$ و برابر ۶ درصد نسبت به مغزه بدون میلگرد بوده است.

۵- با افزایش تعداد میلگردها در مغزه ها، سرعت کاهش مقاومت مغزه ها نسبت به مغزه های بدون میلگرد، افزایش می یابد. بیشترین کاهش مقاومت در مغزه های با قطر ۱۰ سانتی متر مشاهده شد که حاوی دو میلگرد ۱۶ و $w/c=0/4$ و نسبت طول به قطر ۲ بوده اند.

۶- با بوجود آمدن برون محوری در میلگردهای داخل مغزه نسبت به محور مرکزی، مقاومت مغزه نسبت به حالت مشابه و بدون انحراف از محور، کاهش مقاومت بیشتری پیدا می کند. بیشترین کاهش مربوط به مغزه هایی با قطر ۱۰ سانتی متر، $l/d=0/4$ و $w/c=0/4$ بوده که حاوی تک میلگرد ۱۶ بوده اند که از محور مرکزی مغزه ۲/۵ سانتی متر منحرف شده بودند.

- [21] Petersons, N. "Strength of Concrete in Finished Structures"; Transactions No. 232, Royal Institute of Technology, Stockholm, 1994, 189 pp. Also, Reprint No.26, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.
- [22] Concrete Society "Concrete Core Testing for Strength"; Technical Report 1976, 11, 44.
- [23] Loo, Y. H. "Effects of Embedded Reinforcement on Measured Strength of Concrete Cylinders"; Concrete Research Institute 1989, 146, 11-18.
- [24] Wright, P. J. F. "Variations in the Strength of Portland Cement"; Concrete Research Institute 1958, 10, 123-.
- [25] Tadayon, M.; Moghadam, H. T. P.; Tadayon M. H. "Effect of Rebar on Compressive Strength of Concrete Cores"; 3rd International Conference on Concrete & Development
- [26] Madandoust, R.; Bungey, J.; Ghavidel, R. "Prediction of the concrete compressive strength by means of core testing using GMDH-type neural network and ANFIS models"; Computational Materials Science 51 (2012) 261-272.
- [27] ASTM C 192/C 192M – 02 "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory"; Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.
- [28] ASTM C 143/C 143M – 03 "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete"; Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.
- [29] Montgomery, D.C., "Design and Analysis of Experiments"; John Wiley & Sons, Inc., eighth ed., Arizona State University, 2013.
- [12] BS EN 12504-1 "Testing Concrete in Structures, Cored Specimens, Taking, Examining and Testing in Compression"; 2009.
- [13] ACI Committee 228 "Nondestructive Test Methods for the Evaluation of Concrete in Structures 2008", American Concrete Institute, 2008.
- [14] ACI Committee 214.4-03 "Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results"; American Concrete Institute, 2003, 16pp [2013].
- [15] Dolce, M.; Masi, A.; Ferrini, M. "Estimation of the Actual In-Place Concrete Strength in Assessing Existing RC Structures"; The Second International FIB Congress, June 5-8, 2006, Naples, Italy.
- [16] Comité Européen de Normalisation (CEN), Eurocode 8 Design of Structures for Earthquake Resistance Part 3. "Assessment and Retrofitting of Building"; EN 1998-3, 2005, Brussels.
- [17] Concrete Society "Assessment of In-Situ Concrete Strength Using Data Obtained from Core Testing"; Concrete advice 2013, 47.
- [18] Samarin, A.; Malhotra, V. M.; Carino, N. J. "Combined Methods Handbook on Non-Destructive Testing of Concrete"; 2004.
- [19] Malhotra, V. M.; Amer, J. "Contract Strength Requirements-Cores Versus in Situ Evaluation"; Concrete Research Institute 1977, 74, 163-72.
- [20] Gaynor, R. D. "Ready Mixed Concrete. Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials"; ASTM Special Publication 169B, American Society for Testing and Materials 1978, 471-502.

The assessment of concrete core strength with and without rebars

Rahmat Madandoust^{1*}, Malek Mohammad Ranjbar², Komeil momeni³

1- Associate professor Faculty of Engineering University of Guilan,

2- Associate professor Faculty of Engineering University of Guilan,

3- Ph.D. student Faculty of Engineering University of Guilan,

*Rmadandoust@guilan.ac.ir

Abstract

Concrete core test is always regarded as an important issue in the area of concrete industry to evaluate the in-situ concrete strength, and sometimes it becomes the unique tool for safety assessment of existing concrete structures. Core test is, therefore, introduced in most building codes. The presence of rebar in the cores affects the results of testing; accordingly, some codes specify that no bars are allowed to be present in the cores, while others account for the bars by introducing a correction factor. In the present experimental research, the parameters that exert significant effects on the strength of the cores containing rebar are examined. To that end, 112 plain and reinforced concrete beams with the bars of 10- and 16-mm diameter (with different arrangements) and water-to-cement ratios of 0.4 and 0.55 have been created. The beams have been kept and cured under air-dried conditions. In order to perform the compression tests, 988 concrete cores of 7.5- and 10-cm diameters with aspect ratios of 1 and 2 have been drilled at 14, 28, and 56 days of age. In the majority of cases, as the water-to-cement content increases from 0.4 to 0.55, there is a larger amount of strength loss in the cores containing the rebar as compared to those without any rebar. The strength of the cores declines by increasing the concrete cover for the bars. For the cores containing a single bar, the reduction which is resulted in the strength in comparison to that of the plain concrete cores is more dramatic in the cores having a bar of larger diameter. On the other hand, the amount of strength drop increases by increasing the number of bars. The largest drop in the strength values, amounting to 23 percent of the plain-concrete core strength, is observed in the concrete cores having two 16-mm bars. Furthermore, the cores containing eccentric rebar show a greater reduction in comparison to the cores with no eccentric rebar. The analysis of core test data may be difficult, leading to uncertain interpretations and conclusions. This study investigates the reinforcement correction factor of concrete core testing in more detail to prepare appropriate outlines for interpretation of results in order to minimize uncertainties involved. For this purpose, an extensive experimental program was under taken to probe the factors influencing the interpretation of core test results. This program includes different concrete strength level, moisture condition, core size, length-to-diameter (L/D) ratio of core and steel bar size with various configurations. The effect of variation of foregoing parameters on the ratio of average compressive strength of cores containing steel bars to that of corresponding plain specimens was probed. The results obtained do not reveal any simple or consistent pattern. The findings obtained from extensive experiments show that the correction factors are highly dependent on the values of volume percentage of reinforcing bars and steel bar position on the core, which are extremely interrelated. Hence, the experimental results do not show a good agreement with the provisions by the British Guide 6089 and Concrete Society Report No.10.

Keywords: core tests, strength, correction factor, steel bar