

تأثیر هندسه آزمون و روش انجام آزمایش بر نتایج مقاومت الکتریکی بتن

(کد مقاله D)

محمد شکرچی زاده^۱، محمد حسین افتخار^۲، مرتضی لشگری^۳، علی امین الشرعی^۴

۱- دانشیار دانشکده فنی دانشگاه تهران و سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۲- مدیر فنی انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۳- کارشناس انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۴- کارشناس انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

Es.lashgari@ut.ac.ir

چکیده

مقاومت الکتریکی به عنوان یکی از مشخصه‌های بتن نشان دهنده‌ی برخی از خواص مهم آن از جمله نفوذ پذیری و میزان نفوذ یون کلر در آن می‌باشد. با افزایش مقدار مقاومت الکتریکی شاهد کاهش نفوذپذیری خواهیم بود. آزمایش اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بتن در زمره آزمایش‌های غیر مخرب قرار می‌گیرد لذا بدون تخریب بتن انجام متوالی آزمایش‌ها بر روی یک نمونه‌ی خاص بتنی امکان‌پذیر می‌گردد. دو روش عمده برای تعیین مقاومت الکتریکی وجود دارد: روش دو نقطه‌ای که بیشتر در آزمایشگاه کاربرد دارد و روش چهار نقطه‌ای که در محل مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش مورد استفاده برای تعیین مقاومت الکتریکی و هندسه نمونه مورد آزمایش بر نتایج بدست آمده تأثیرگذار است. در این پژوهش علاوه بر تأثیر شکل و ابعاد آزمون‌ها بر مقاومت الکتریکی نتایج بدست آمده از روش‌های ۲ نقطه‌ای و ۴ نقطه‌ای نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی، روش ۲ نقطه‌ای، روش ۴ نقطه‌ای

۱- مقدمه

بتن جز مصالحی است که به دلیل قیمت مناسب و در دسترس بودن مصالح امروزه در اکثر کشورهای جهان برای ساخت پل‌ها، سدها، خطوط حمل و نقل، سازه‌های دریایی و بسیاری موارد دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این شرایط دوام بتن از پارامترهای قابل توجه است. یکی از ساده‌ترین روش‌های پیش بینی میزان دوام بتن در محیط‌های گزند بار اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن می‌باشد [1]. از مزایای این روش می‌توان به غیر مخرب بودن، سهولت انجام آزمایش، قابلیت استفاده در محل اجرای پروژه، سنجش‌های متوالی یک نمونه و آزمایش روی سازه‌های احداث شده برای مطالعه روند تغییرات حاصل بعد از اجرای پروژه عمرانی اشاره کرد [2].

میزان مقاومت الکتریکی بتن به پارامترهای متعددی وابسته است که از آن جمله می‌توان به نفوذپذیری و حرکت یون‌ها در منافذ بتن به ویژه منافذ مویینه اشاره کرد. این منافذ در بتن به طور تصادفی پخش می‌شوند و اندازه‌های متفاوتی دارند و به طور نا منظم با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. مقاومت الکتریکی بتن به حجم تخلخل‌ها و ارتباط این منافذ با یکدیگر ارتباط دارد [3]. لذا می‌توان با اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن به صورت نسبی کیفیت و میزان تخلخل بتن را مشخص نمود و همچنین به اطلاعات خوبی در خصوص سرعت خوردگی آرماتور موجود مدفون بتن در محیط‌های گزند بار دست پیدا کرد.

پارامترهایی چون نسبت آب به سیمان، مقدار سیمان، نوع سیمان، مواد پوزولانی، تراکم، دوره‌ی عمل آوری، سن بتن، یون‌های موجود در منافذ مویینه و محل اجرای پروژه می‌توانند بر میزان مقاومت الکتریکی بتن تأثیر می‌گذارند [4].

برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن عمدتاً از دو روش دو نقطه‌ای و چهار نقطه‌ای استفاده می‌شود. روش دو نقطه‌ای غالباً در فعالیت‌های تحقیقاتی و پژوهشی در آزمایشگاه و روش چهار نقطه‌ای برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی در محلی که سازه بتنی احداث شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. انجمن بتن آمریکا مقادیری برای مقدار مقاومت الکتریکی و ارتباط آن با احتمال خوردگی بتن پیشنهاد نموده است که در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱- رابطه‌ی مقاومت الکتریکی بتن و احتمال خوردگی [5]

مقاومت الکتریکی بتن	احتمال خوردگی
بیشتر از ۲۰ کیلو اهم سانتی متر	خیلی کم
بین ۱۰ تا ۲۰ کیلو اهم سانتی متر	کم تا متوسط
بین ۵ تا ۱۰ کیلو اهم سانتی متر	زیاد
کمتر از ۵ کیلو اهم سانتی متر	بسیار زیاد

قابل ذکر است در این مقاله برای سهولت در امر نوشتن روش تعیین مقاومت الکتریکی به روش چهار نقطه‌ای به اختصار ۴ نقطه‌ای و روش تعیین مقاومت الکتریکی به روش دو نقطه‌ای به اختصار ۲ نقطه‌ای نامیده خواهد شد.

از آنجا که نحوه عملکرد روش ۴ نقطه‌ای و ۲ نقطه‌ای با یکدیگر متفاوت می‌باشد از این رو انتظار می‌رود مقادیر بدست آمده از آن‌ها با یکدیگر متفاوت باشد. از طرفی بر اساس مطالعات صورت گرفته شکل و ابعاد آزمونه بر میزان مقاومت الکتریکی تأثیر می‌گذارد. در تحقیق حاضر سعی شده است تفاوت‌های اندازه گیری به روش ۴ نقطه‌ای و ۲ نقطه‌ای و همچنین تأثیر شکل نمونه مورد آزمایش بر نتایج حاصل را مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مشخصات مصالح مورد استفاده

در این تحقیق در مجموع ۳ سری طرح اختلاط با نسبت های آب به سیمان ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ ساخته و مورد آزمایش قرار گرفته است. خلاصه طرح اختلاطها و همچنین سنین انجام هر آزمایش در جدول شماره ۲ آورده شده است برای ساخت نمونه های بتنی، از سیمان پرتلند تیپ ۲ تولید کارخانه فیروزکوه و از سنگدانه درشت شکسته شده با حداکثر اندازه ۱۹ میلی متر (ترکیب ۱ به ۳ شن نخودی به بادامی) و سنگدانه ریز طبیعی استفاده گردید. دانه بندی مصالح سنگی در جدول شماره ۳ ارائه شده است. برای رسیدن به کارایی مطلوب از فوق روان کننده با پایه ی نفتالینی در حد نیاز و برای ساخت و عمل آوری نمونه های بتنی از آب شرب شهر تهران استفاده شد. محل انجام آزمایش ها، آزمایشگاه مصالح ساختمانی دانشکده ی فنی دانشگاه تهران می باشد.

جدول شماره ۲: طرح اختلاط های مورد استفاده

کد طرح اختلاط	مقدار سیمان (Kg/m ³)	نسبت آب به سیمان	ماسه (Kg/m ³)	شن (Kg/m ³)	فوق روان کننده (Kg/m ³)
۱	۴۰۰	۰/۵	۱۰۶۹	۶۹۴	۲/۴
۲	۴۰۰	۰/۴	۱۰۹۳	۷۱۰	۴
۳	۴۰۰	۰/۶	۱۰۴۴	۶۷۸	۰

جدول ۳: دانه بندی مصالح سنگی، درصدهای ذیل، مربوط به درصد تجمعی عبوری از الک ها می باشند

میلیمتر	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۶	۱/۱۸	۰/۶	۰/۳	۰/۱۵۰	۰/۰۷۵
میلیمتر	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۶	۵۶	۳۵	۲۵	۱۴/۳	۳/۴	۱/۷
میلیمتر	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۶	۱۵/۵	۴/۶	۰	۰	۰	۰	۰
میلیمتر	۱۰۰	۹۶	۳۳	۴	۰/۱	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰

شرایط نگهداری

پس از قالب برداری برای عمل آوری آزمون‌ها در مخازن آب اشباع از آهک قرار داده شده و تا زمان انجام آزمایش در مخازن نگهداری شدند. آزمایش‌ها در آزمایشگاه مصالح ساختمانی دانشکده عمران دانشگاه تهران انجام گرفت.

۳- جزئیات و نحوه انجام آزمایش

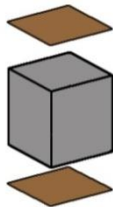
در این تحقیق برای بررسی تأثیر ابعاد و شکل بر میزان مقاومت الکتریکی از آزمون‌هایی با شکل و ابعاد مختلف استفاده شده است. در جدول شماره ۴ شکل و ابعاد قالب‌های مورد استفاده مشاهده می‌شود.

جدول ۴- شکل و ابعاد نمونه‌های مورد آزمایش

ابعاد (cm)	نوع شکل آزمون
۱۰×۱۰×۱۰	مکعبی
۲۰×۲۰×۲۰	مکعبی
۱۰×۲۰×۲۵	مکعب مستطیل
۱۰×۱۰×۵۰	خمشی
۱۰×۲۰	استوانه‌ای
۱۵×۲۰	استوانه‌ای
۱۵×۳۰	استوانه‌ای

۳-۱ آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی به روش دو نقطه‌ای

در روش دو نقطه‌ای آزمون بین دو صفحه مسی قرار می‌گیرد و پس از آن جریان میان این دو صفحه مسی جریان داده می‌شود. مزیت این روش آن است که کل سطح مقطع مورد آزمایش قرار می‌گیرد و از معایب آن می‌توان به این مسأله اشاره نمود که با افزایش سطح مقطع نیاز به صفحات مسی بزرگ‌تر است. همچنین از آنجا که غالباً در بررسی سازه‌های احداث شده دسترسی به دو سمت سازه امکان پذیر نیست این روش در محل اجرای سازه چندان قابل کاربرد نمی‌باشد.



برای بررسی شکل و ابعاد آزمون برای نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی ۲ نقطه‌ای از قالب‌های مکعبی با ابعاد ۱۰×۱۰، استوانه‌ای با طول و قطر ۱۰×۲۰ و مکعب مستطیل با ابعاد ۱۰×۱۰×۵۰ استفاده گردیده است. پس از تعیین مقاومت الکتریکی با دستگاه ۲ نقطه‌ای مقاومت الکتریکی ویژه از فرمول ۳-۱ بدست می‌آید [6].

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

فرمول شماره ۳-۱

۳-۲ آزمایش مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای

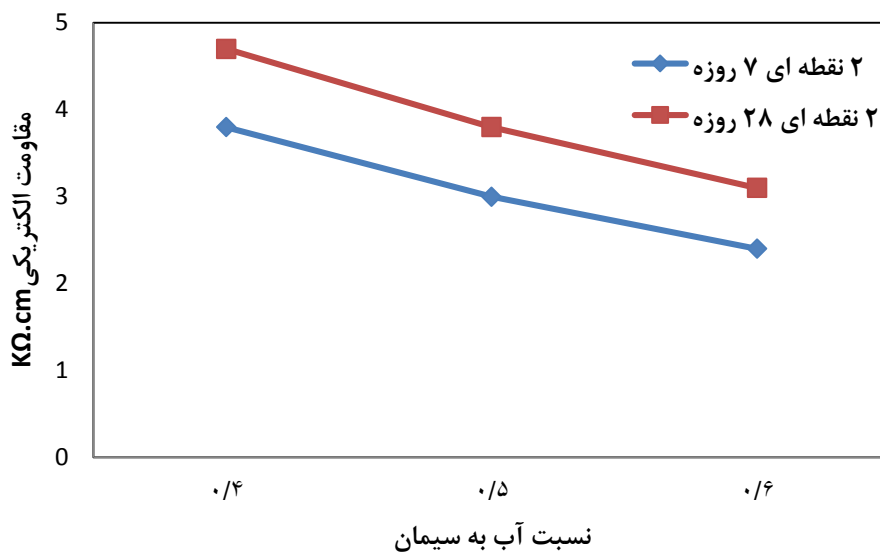
آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی به روش ۴ نقطه‌ای با استفاده از دستگاهی انجام می‌شود که دارای ۴ الکتروود است و این ۴ الکتروود روی سطح نمونه بتنی قرار گرفته و مقاومت نمونه تا عمق خاصی تعیین می‌گردد.



شکل ۱- دستگاه اندازه گیری مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای

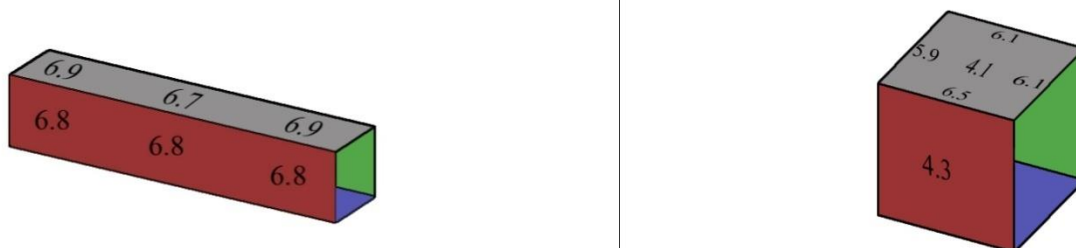
۴- نتایج بدست آمده

بر اساس نتایج به دست آمده همان‌طور که در تحقیقات گذشته نیز مشاهده شده است با افزایش نسبت آب به سیمان مقاومت الکتریکی کاهش و با افزایش سن نمونه مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد. در شکل شماره ۱ کاهش مقاومت الکتریکی با افزایش نسبت آب به سیمان برای آزمونه $50 \times 10 \times 10$ نشان داده شده است. این نتایج برای تمامی آزمونه‌ها در اشکال گوناگون یکسان می‌باشد.



نمودار ۱ - مقایسه مقاومت ۲ نقطه‌ای ۷ روزه و ۲۸ روزه

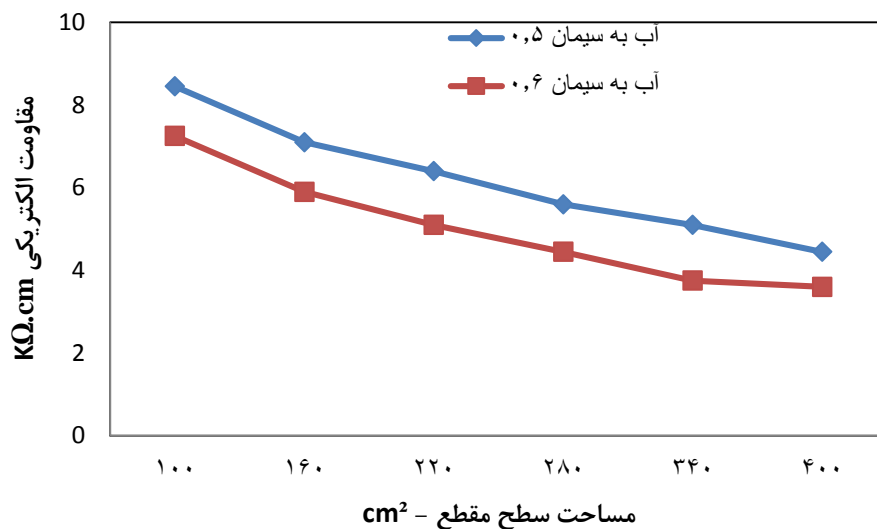
با بررسی نتایج مشخص می‌شود در آزمایش مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای با تغییر شکل نمونه مورد آزمایش، مقاومت ویژه الکتریکی نیز تغییر می‌کند. مطابق با نمودار شماره ۱ در نسبت آب به سیمان ۰/۵ مشاهده می‌شود، مقاومت ویژه الکتریکی برای آزمون مکعبی با ابعاد ۲۰×۲۰ و آزمون مکعب مستطیل با ابعاد ۱۰×۱۰×۵۰ تا ۵۰٪ با یکدیگر اختلاف دارند. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد میزان مقاومت الکتریکی بدست آمده در ۴ نقطه‌ای در جهات مختلف با یکدیگر اختلاف چندانی ندارد. نتایج مربوط به آن برای تعدادی از آزمون‌ها در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.



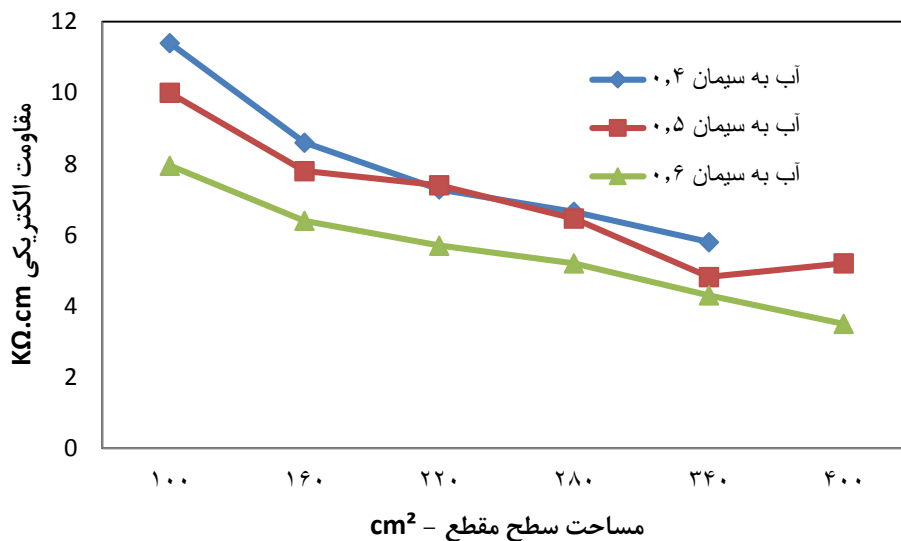
شکل ۲- تصویر سه بعدی نمونه‌های مورد آزمایش

همچنین با توجه به نتایج به دست آمده مشخص می‌باشد که برای دو آزمون با شکل یکسان طول آزمون تغییر بر میزان مقاومت الکتریکی به وجود نمی‌آورد.

بر اساس نمودارهای ۳ و ۴ داده‌های بدست آمده حاکی از آن است که در آزمایش مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای با افزایش مساحت سطح مقطع عمود بر جریان خروجی از الکترودهای دستگاه مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای مقدار مقاومت الکتریکی کاهش پیدا می‌کند این کاهش در نتایج هفت روزه مشخص‌تر می‌باشد.



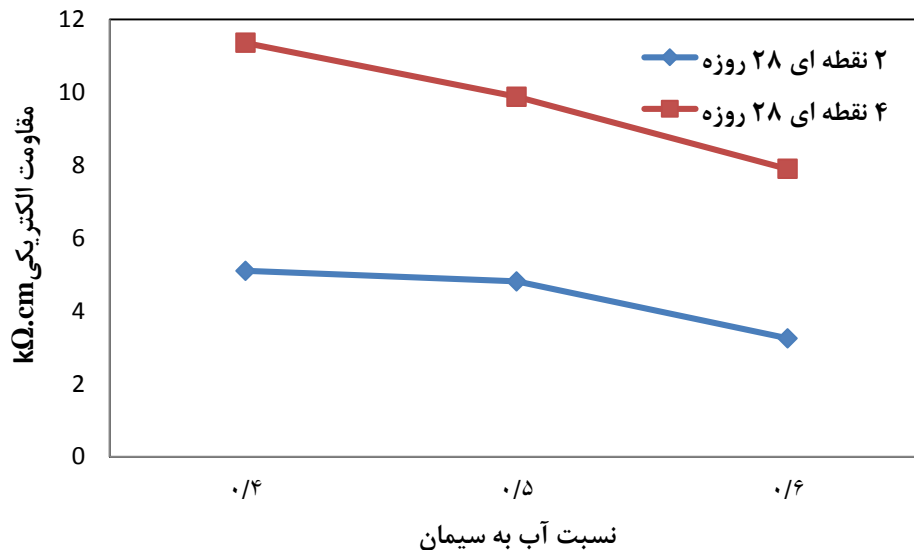
نمودار ۳- مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای ۷ روزه



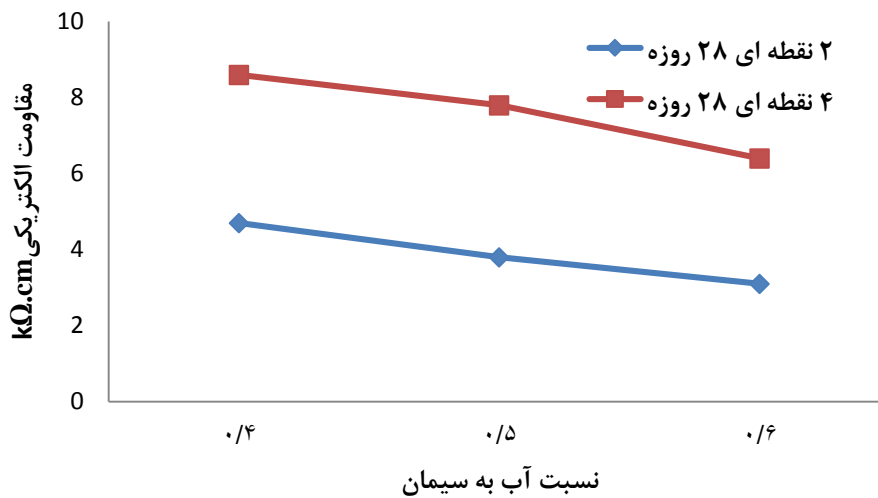
نمودار ۴- مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای ۲۸ روزه

در آزمایش ۲ نقطه‌ای با تغییر شکل نمونه مقدار مقاومت ویژه تغییر محسوس نمی‌کند و غالباً ثابت است. در تحقیق حاضر تأثیر جهت بتن ریزی بر مقاومت الکتریکی با روش ۴ نقطه‌ای مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس آن جهت بتن‌ریزی تأثیری بر میزان مقاومت الکتریکی ندارد.

بر اساس نمودارهای شماره ۵ و ۶ مقایسه مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای و ۲ نقطه‌ای تنها در نمونه‌های مکعب مستطیل با ابعاد ۱۰×۱۰×۵۰ و استوانه‌ای با طول و قطر ۱۰×۲۰ امکان پذیر است که نتایج حاصله نشان می‌دهد مقادیر مقاومت الکتریکی بدست آمده در روش ۴ نقطه‌ای حدوداً ۲ برابر بیشتر از مقادیر مقاومت الکتریکی ۲ نقطه‌ای است.



نمودار ۵-مقایسه مقاومت ۲ نقطه‌ای و ۴ نقطه‌ای ۲۸ روزه نمونه ۱۰×۱۰



نمودار ۶ - نمونه مکعب مستطیل با ابعاد ۱۰×۱۰×۵۰

۴- نتیجه گیری

با توجه به آزمایش‌های انجام شده و بررسی داده‌ها نتایج زیر حاصل گردید.

- با افزایش نسبت آب به سیمان مقاومت الکتریکی کاهش می‌یابد.
- جهت قالب گیری تأثیر چندانی بر مقاومت الکتریکی نمونه ندارد.
- میزان مقاومت الکتریکی در روش ۲ نقطه‌ای به شکل آزمون ارتباطی ندارد.
- طول نمونه تأثیری بر مقاومت الکتریکی ندارد.
- میزان مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای با مساحت سطح مقطع عمود بر جریان عبوری توسط الکترودهای دستگاه مرتبط می‌باشد و با افزایش مساحت این مقدار کاهش می‌یابد.
- میزان مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای در شرایط برابر بیشتر از مقاومت الکتریکی ۲ نقطه‌ای است و این مقدار تقریباً دو برابر است.

۵- مراجع

- [1] Bungey JH, Millard SG. Testing of concrete in structures. New York: Chapman & Hall; 1996.
- [2] Uemoto T. Maintenance of concrete structures and application of non-destructive inspection in Japan. NDT Civil Engng 2000;1-11.
- [3] Andrade C, Alonso C, Arteaga A, Tanner P. Methodology based on the electrical resistivity for calculation of reinforcement service life. Fifth CANMET/ACI International Conference 2000;899 – 915.
- [4] Bertolini L, Polder RB. Concrete resistivity and reinforcement corrosion rate as a function of temperature and humidity of the environment. TNO report, 97-BT-R0574; 1997. 85 pp.
- [5] Protection of Metals in Concrete Against Corrosion Reported by ACI Committee 222/ACI-222R01
- [6] COST 509, Corrosion and Protection of Metals in Contact with Concrete, Final report, R. N. Cox, R. Cigna, O. Vennesland, T. Valente (Eds.), European Commission, Directorate General Science, Research and Development, Brussels, EUR 17608 EN, 1997.