مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

جلد ۷- شماره ۵- سال ۱۴۰۱

www.ElitesJournal.ir

تاثیر نسبت اختلاط اجزای تشکیل دهنده بتن بر مقاومت الکتریکی آن

علیرضا درویش نارنج بن

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور

Alirezadarvish137122@yahoo.com

ارسال: آبان ماه ۱۴۰۱ پذیرش: آذر ماه ۱۴۰۱

چکیده

مقاومت الکتریکی، یکی از مهمترین پارامترهای موردنیاز به منظور مدل‌سازی رفتار خوردگی در بتن به شمار می رود. تحقیقات زیادی در این زمینه انجام نشده است. این مقاله مطالعه ای تجربی بر روی اثرات نسبت اختلاط اجزای تشکیل دهنده بتن بر مقاومت الکتریکی بتن ارائه می‌کند. مقاومت الکتریکی بتن با استفاده از روش چهار نقطه ای ونر (Wenner) اندازه گیری می شود که آزمایشی سریع و ساده ای به شمار می رود. این آزمایش به ارزیابی مقاومت بتن در برابر ورود یون ها می پردازد. پارامترهای مختلف که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته اند عبارتند از نسبت آب به مصالح چسباننده، مقدار خاکستر بادی، مقدار خمیر سیمان (Y) و شرایط عمل آوری. بر اساس نتایج تجربی، ارتباط مستقیمی بین مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری بتن به دست آمده است. نتایج بدست آمده حاکی از آنست که مقاومت الکتریکی بتن عمدتا تحت تاثیر مقاومت فشاری و میزان خاکستر بادی قرار دارد. از نتایج حاصل از این مطالعه می توان به منظور مدل‌سازی رفتار مقاومت الکتریکی بتن در زمانی که نسبت‌های اختلاط ارائه می‌شود استفاده شود. در عین حال می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای طراحی سیستم حفاظت آندی ارائه نماید.

کلمات کلیدی: مقاومت الکتریکی، بتن، نسبت اختلاط، مقاومت فشاری.

۱- مقدمه

به طور کلی، خوردگی فولادهای مدفون در بتن، یک فرآیند الکتروشیمیایی محسوب می شود. بنابراین، خواص الکتروشیمیایی بتن، همچون مقاومت الکتریکی آن، عامل مهمی جهت کنترل این فرآیند مخرب به شمار می رود. بنابراین از مقاومت بتن به عنوان ابزاری جهت بررسی احتمال خوردگی سازه های بتنی مسلح استفاده می شود. از بررسی مقاومت بتن سطحی به منظور ارزیابی سرعت وقوع خوردگی در بتن و نیز ارزیابی ظرفیت بتن و مستعد بودن آن جهت بروز پدیده مخرب خوردگی استفاده می شود [۱-۲]. معمولا مقاومت الکتریکی بتن بسته به رطوبت بتن، دما و کیفیت آن (ترکیب، نوع سیمان و ...) از ۱ تا ۱۰۰۰۰ کیلو اهم سانتی‌متر متغیر می باشد[۳-۴]. مقاومت بالاتر، باعث کاهش میزان عبور جریان خوردگی بین نواحی آندی و کاتدی آرماتورها می‌گردد[۵]. آزمایشات تعیین مقاومت بتن سطحی، آزمایش های سریع و ساده ای محسوب می شوند که هدف از انجام آنها، ارزیابی مقاومت بتن را در برابر ورود انواع مختلف یون ها می باشد. رایج ترین روش برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن سطحی، آزمایش غیر مخرب چهار نقطه ای ونر می باشد. برای اندازه گیری مقاومت، جریانی به دو میله خارجی اعمال می شود و اختلاف پتانسیل بین دو میله داخلی اندازه گیری می شود (مطابق شکل ۱)[۶]. مقاومت محاسبه شده، تحت تاثیر فاصله میله ها قرار دارد (معادله ۱). هدف این مقاله، معرفی روش اندازه گیری مقاومت الکتریکی بتن و عوامل موثر بر آن می باشد.

$$\rho = \frac{2\pi aV}{I} \quad (۱)$$

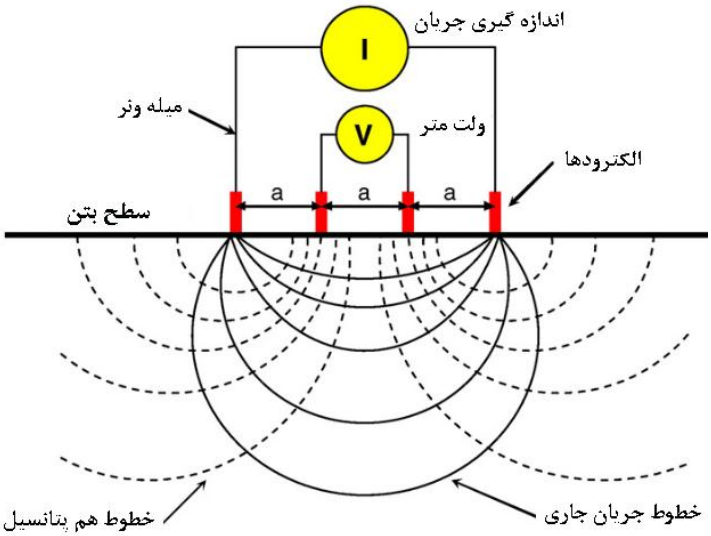
بطوریکه:

ρ: مقاومت بر حسب $(\Omega - cm)$

a: فاصله بین الکترودهای داخلی بر حسب (cm)

I: جریان متناوب بر حسب (A)

V: اختلاف پتانسیل بر حسب (V)



شکل ۱- آزمایش چهار الکترودی سنجش مقاومت الکتریکی بتن (Broomfield , Millard, 2002)

۲- روش تجربی

۲-۱- آماده سازی نمونه ها

در این تحقیق، مقاومت الکتریکی مربوط به ۱۲ نسبت مختلف مخلوط بتن مطابق جدول ۱ اندازه گیری شد. ابعاد نمونه های آزمایشی ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلی متر (نمونه مکعبی) انتخاب گردید. از سیمان پرتلند معمولی (نوع یک) به عنوان ماده چسباننده استفاده شد. بخشی از سیمان مصرفی نیز با خاکستر بادی جایگزین شد. مقدار جایگزینی خاکستر بادی با سیمان برابر 0، 10، 30 و 40 درصد وزنی بوده است. بنابراین، در این تحقیق، تاثیر خاکستر بادی بر مقاومت الکتریکی بتن نیز بررسی شده است. نسبت آب به سیمان نیز برابر 0.35، 0.45 و 0.55 می باشد. مقدار خمیر سیمان (Υ) نیز بین 1.3 الی 1.4 برابر فضای خالی بین سنگدانه ها می باشد. از ماسه طبیعی رودخانه ای به عنوان ریزدانه استفاده شده است. از سنگ آهک شکسته نیز به عنوان درشت دانه، با حداکثر اندازه اسمی 20 mm استفاده شده است. در این آزمایش، از دو روش عمل آوری با استفاده از هوا و آب استفاده گردید.

جدول ۱- نسبت اختلاط بتن

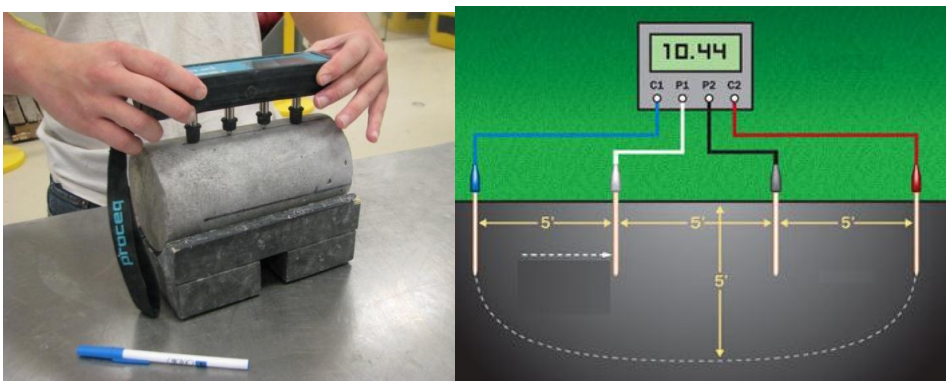
ردیف	نام	w/b	Υ	مقدار واحد (kg/m^3)				
				سیمان پرتلند معمولی (OPC)	خاکستر بادی (FA)	آب	ماسه	شن
1	0.35OPC	0.35	1.3	433	0	149	771	1138
2	0.35FA10	0.35	1.3	385	43	148	771	1138
3	0.35FA30	0.35	1.3	293	126	144	771	1138
4	0.35 FA 40	0.35	1.3	248	166	143	771	1138
5	0.45 OPC	0.45	1.3	377	0	168	771	1138
6	0.55 OPC	0.55	1.3	333	0	183	771	1138
7	0.35 OPC	0.35	1.4	467	0	159	746	1101

1101	746	159	46	416	1.4	0.35	0.35 FA10	8
1101	746	155	136	316	1.4	0.35	0.35 FA 30	9
1101	746	154	179	268	1.4	0.35	0.35 FA 40	10
1101	746	181	0	407	1.4	0.45	0.45 OPC	11
1101	746	198	0	360	1.4	0.55	0.55 OPC	12

تذکر: منظور از w/b، نسبت آب به مصالح چسباننده و γ مقدار خمیر سیمان می باشد.

۲-۲- روش آزمایش

در آزمایش چهار میله ونر، لازم است قبل از شروع اندازه گیری ها در شرایط آزمایشگاهی، بتن مرطوب و یا اشباع شود. علاوه بر این، نوک ها میله های الکترود نیز در آب مرطوب می شوند تا اتصال الکتریکی بهبود یابد. مقاومت الکتریکی هر ۴ روز از روز اول پس از سخت شدن بتن تا ۲۸ روز اندازه گیری می شود. پس از ۲۸ روز، اندازه گیری ها هر هفته تا ۹۱ روز انجام شد. سه نمونه بتن از آب خارج شد و رطوبت اضافی سطح پاک شد. هنگام اندازه گیری، تمام نقاط میله، در تماس با بتن قرار می گیرند و برای ۳ تا ۵ ثانیه یا تا زمانی که یک قرائت پایدار به دست آید، منتظر می مانند. مقاومت متوسط برای مجموعه نمونه ها (از بین سه نمونه) انجام می شود. برای هر نمونه، آزمایش مقاومت بر روی دو سطح متضاد هم و در هر سطح و نیز دو سطح مورب عمود بر هم انجام شد. برای به دست آوردن یک نشانه خوب از مقاومت بتن، پنج اندازه گیری انجام شد و میانگین آنها محاسبه شد. اندازه گیری میله ونر در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

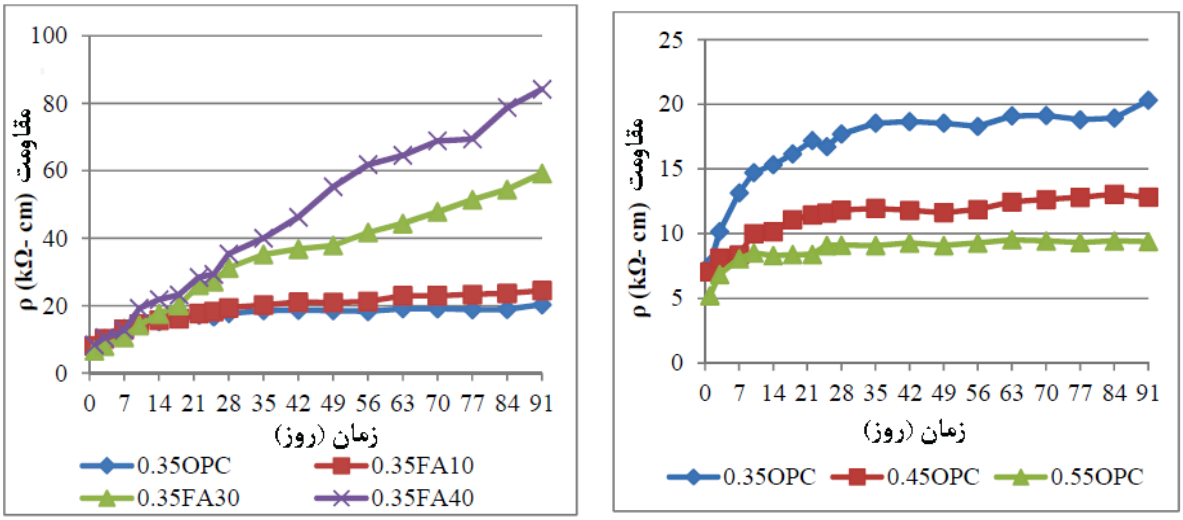


شکل ۲- روش اندازه گیری مقاومت الکتریکی یک نمونه مکعبی با استفاده از چهار میله ونر

۳- نتایج و بحث کلی

۳-۱- تاثیر نسبت آب به مصالح چسباننده (w/b) بر مقاومت الکتریکی بتن

در شکل شماره ۳، تاثیر نسبت آب به مصالح چسباننده بر مقاومت الکتریکی بتن نشان داده شده است. به دلیل هیدراتاسیون سیمان، مقاومت الکتریکی بتن، با گذشت زمان، افزایش می یابد. بر اساس نتایج بدست آمده، بواسطه استفاده از نسبت آب به مصالح چسباننده کمتر، مقاومت بیشتری بدست خواهد آمد. زیرا با کاهش نسبت آب به مصالح چسباننده، مقدار منافذ به هم پیوسته کاهش می یابد[۷].



شکل ۳- تاثیر میزان سیمان پرتلند معمولی بر مقاومت الکتریکی بتن(شکل سمت راست)-
تاثیر تاثیر میزان خاکستر بادی بر مقاومت الکتریکی بتن(شکل سمت چپ)

۳-۲- تاثیرمیزان خاکستر بادی بر مقاومت الکتریکی بتن

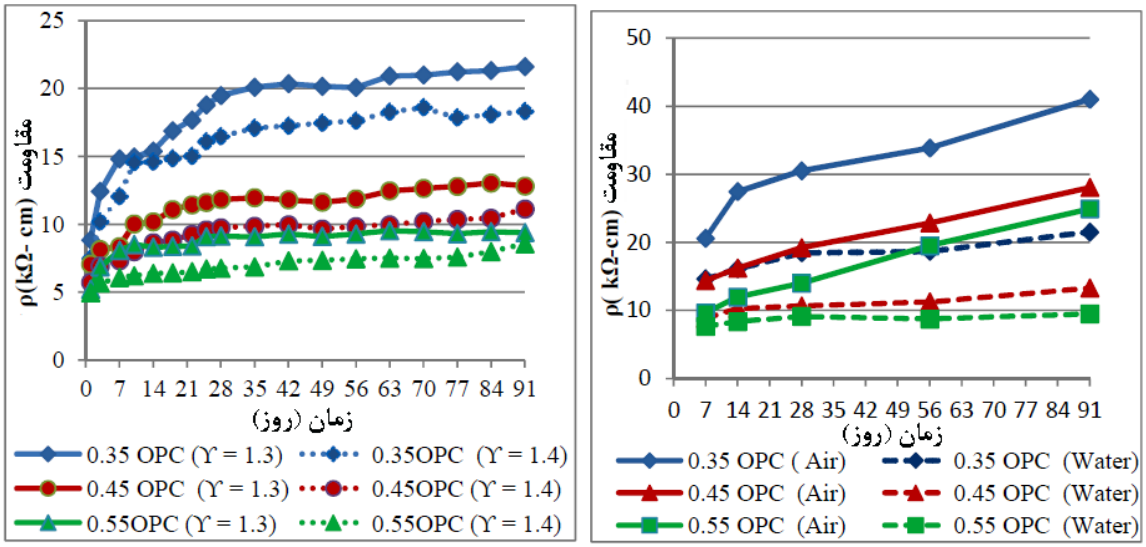
مقدار خاکستر بادی تاثیر قابل توجهی بر مقاومت بتن دارد. همانطور که در شکل فوق (تصویر سمت چپ) مشاهده می کنید، پس از ۱۴ روز مقاومت الکتریکی بتن حاوی مقادیر ۳۰ و ۴۰ درصدی خاکستر بادی، افزایش می یابد. در شرایطی که ۴۰ درصد سیمان با خاکستر بادی جایگزین شود، مقاومت الکتریکی، چهار برابر بیشتر از بتن حاوی سیمان پرتلند معمولی، افزایش خواهد یافت. خاکستر بادی باعث توزیع مناسب منافذ ریزتر و غلظت یونی کمتر می شود که این امر منجر به مقاومت الکتریکی بالاتر نسبت به بتن حاوی سیمان پرتلند معمولی می شود[۸]. به دلیل واکنش پوزولانی خاکستر بادی، مقاومت الکتریکی آن افزایش می یابد.

۳-۳- تاثیر مقدار خمیر سیمان بر مقاومت الکتریکی بتن

مقدار خمیر کم سیمان، در مقایسه با مخلوط های حاوی مقادیر زیاد، مقاومت الکتریکی بالاتری از خود نشان می دهد. زیرا همانطور که در شکل زیر مشاهده می کنید، مقدار سنگدانه موجود در مخلوط بتنی باعث افزایش مقاومت الکتریکی می گردد. نتایج بدست آمده در روز ۹۱ ام، بیانگر اینست که مقاومت الکتریکی مخلوط های بتنی حاوی مقادیر کمتر خمیر سیمان، در مقایسه با مخلوط های با مقادیر بیشتر خمیر سیمان، حدود ۱۵ درصد بیشتر است.

۳-۴- تاثیر شرایط عمل آوری بر مقاومت الکتریکی بتن

به طور کلی، شرایط عمل آوری مخلوط های بتنی، تاثیر قابل توجهی بر مقاومت الکتریکی آن دارد. عمل آوری با هوا، در مقایسه با عمل آوری به کمک آب، نتایج بهتری را منتج می شود. میزان مقاومت الکتریکی بتن، به طور قابل ملاحظه ای تحت تاثیر میزان رطوبت قرار دارد. افزایش مقدار رطوبت، باعث کاهش مقاومت الکتریکی بتن خواهد شد. لذا بین مقدار رطوبت و مقاومت الکتریکی بتن، رابطه عکس وجود دارد. مقادیر مقاومتی بدست آمده به کمک هوا 1.3×10^{15} الی 3.3×10^{15} $(k\Omega - cm)$ و برای شرایط عمل آوری با آب، حدود 2 الی 2×10^{2} $(k\Omega - cm)$ می باشد.



شکل ۴- تاثیر میزان سیمان پرتلند معمولی بر مقاومت الکتریکی بتن(شکل سمت راست)-

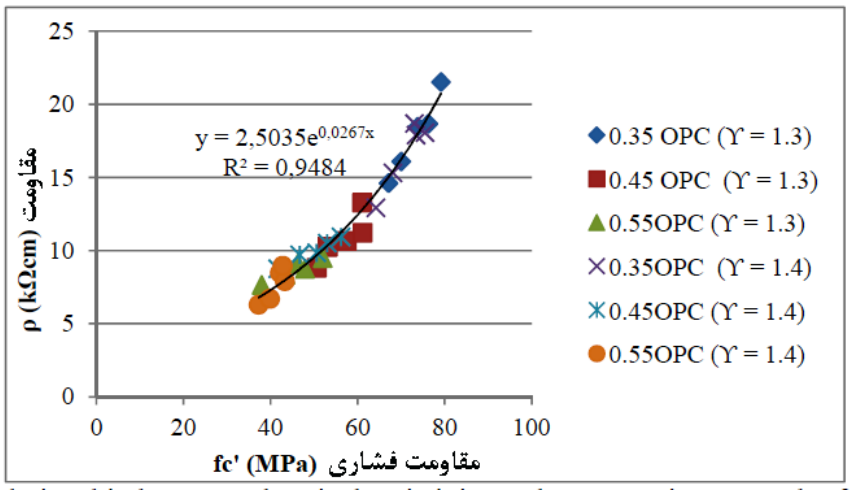
تاثیر شرایط عمل آوری بر مقاومت الکتریکی بتن(شکل سمت چپ)

۳-۵- رابطه بین مقاومت الکتریکی بتن و مقاومت فشاری نمونه های بتنی

مقاومت الکتریکی بتن با گذشت زمان افزایش می یابد که این امر، نشان دهنده کاهش فضای خالی و منافد موجود، و نیز افزایش مقدار محصولات حاصل از هیدراتاسیون سیمان می باشد. منحنی های مربوط به افزایش مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری بتن، از روند مشابهی پیروی می کنند. این امر بیانگر اینست که همبستگی مناسبی بین مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری بتن وجود دارد. رباطه بین مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف، نسبت آب به مصالح چسباننده و مقدار خمیر سیمان، در شکل ۵ نشان داده شده است. علاوه بر این، رابطه بین مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری بتن را می توان به صورت معادله ۲ نشان داد.

$$\rho = 2.5035e^{0.0267 f_c'} \quad (۲)$$

بطوریکه منظور از ρ، مقاومت الکتریکی بتن بر حسب $(k\Omega - cm)$ و f_c' مقاومت فشاری بتن بر حسب مگاپاسکال می باشد.



شکل ۵- رابطه بین مقاومت الکتریکی و مقاومت فشاری بتن

۴- نتیجه گیری

در این مقاله به ارائه یک مطالعه تجربی بر روی تاثیر نسبت اختلاط اجزای تشکیل دهنده بتن بر مقاومت الکتریکی بتن پرداخته شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، استفاده از خاکستر بادی، در شرایط $\frac{w}{b} = 0.55$ در مقایسه با $\frac{w}{b} = 0.35$، تاثیر بیشتری بر مقاومت الکتریکی سطح بتن داشته است. ارتباط مناسبی بین مقاومت الکتریکی و سایر ویژگی های بتن همچون مقاومت فشاری

به دست آمد. از نتایج بدست آمده در این مطالعه می توان به منظور مدل سازی رفتار مقاومت الکتریکی بتن در شرایطی که نسبت اختلاط و شرایط عمل آوری بتن متفاوت است استفاده کرد. با مشخص بودن مقدار مقاومت الکتریکی بتن، می توان مقاومت فشاری آن را تخمین زد.

۵- مراجع

1. C. Alonso, C. Andrade, J.A. Gonzalez, Relation between resistivity and corrosion rate of reinforcement in carbonated mortar made with several cement types, Cement and Concrete Research 18 (1988) 687-698.

2. J.P. Broomfield, Corrosion of steel in concrete – understanding, investigation and repair, second ed., Taylor and Francis,United Kingdom, 2007.

3. B.J.Silva, S.Jalali, R.M.Ferreira, Estimating electrical resistivity based on early age measurements, first ed., RILEM, Madrid, 2007.

4. C. Andrade, The limit of service life of concrete structures, Spain, 2004, 1-25.

5. J.P. Broomfield, Corrosion of steel in concrete, first ed., E & FN Spon, an Imprint of Chapman & Hall, United Kingdom, 1997.

6. B. Addis, Fundamentals of concrete, Cement & Concrete Institute, 2008, 58.

7. K. Hornbostel, C.K. Larsen, M.R. Geiker, Relationship between concrete resistivity and corrosion rate- a literature review, Cement & Concrete Composites 39 (2013) 60-72.

8. D. Whiting, A. Todres, M. Nagi, Synthesis of Current and Projected Concrete Highway Technology, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1993, 286.