



عملکرد افزودنی های پلی کربوکسیلات اتر و لیگنوسولفونات به عنوان روان کننده و تاثیر بر ذرات سیمان و بهبود مقاومت فشاری، دوام و پایایی بتن

علیرضا رحمتی¹، مهدی ساکی^{2*}، مجید لک³، محمود نوروزی⁴

1- رییس کمیته فنی کانون سراسری انجمن های صنفی تولیدکنندگان بتن کشور و مدرس دانشگاه شهید بهشتی

2- کارشناسی ارشد شیمی آلی، مدیر فنی آزمایشگاه شرکت سیمان نیزار قم، مسئول اجرای استاندارد 17025 ISO

3- مهندسی بهره برداری سیمان، کارشناس آزمایشگاه بتن شرکت سیمان نیزار قم

4- کارشناس ارشد شیمی آلی، سرپرست آزمایشگاه شیمی سیمان نیزار قم

چکیده

امروزه جهت تولید بتن با طول عمر و مقاومت بالا در احداث پروژه هایی نظیر چاه نفت، سد سازی، رو سازی جاده ها و فرودگاهها، پل ها و دیگر سازه های بتنی بدون استفاده از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات، لیگنوسولفونات و ... به عنوان ماده آلی امکان پذیر نیست که اهمیت استفاده از این ماده را نشان می دهد. با سنتز این ماده می توان کمک بسیار مهمی به محیط زیست نمود زیرا می توان مقاومت بتن را با استفاده از درشت ملکول های پلی کربوکسیلات، با مکانیسم کاهش آب به دست آورد و از افزایش سیمان در بتن جلوگیری نمود زیرا به ازای هر یک تن سیمان حدودا یک تن منوکسید کربن وارد هوا می گردد. همچنین می توان دوام و طول عمر بتن را افزایش داد که گامی در جهت توسعه پایدار می باشد. در این پژوهش با استفاده از افزودنی های لیگنوسولفونات و پلی کربوکسیلات دوام و طول عمر مفید بتن از نظر نفوذ پذیری، جذب آب موئینه، نفوذ یون کلراید و مقاومت الکتریکی با دستگاه وئر مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: دوام، ذرات سیمان، مقاومت الکتریکی، جذب آب، یون کلراید

1. مقدمه

امروزه طول عمر مفید بتن در درجه اهمیت بسیار بالایی قرار گرفته است و تحقیقات بسیار زیادی در زمینه دوام و طول عمر مفید بتن انجام شده است. دوام عبارت است از، توانایی بتن به پایداری در مقابله با هر نوع شرایط محیطی که با آنها مواجه می شود. جهت رسیدن به پایداری و طول عمر بسیار بالای بتن ابتدا باید خرابی و عوامل مخرب بتن را شناسایی کرد. یکی از این خرابی ها نفوذ پذیری بتن در برابر حمله ی مواد شیمیایی زیان آور مانند اسیدها، نمک های یخ زدا، کلرایدها و سولفات ها و مقاومت در برابر اثرات واکنش قلیایی سنگدانه ها و کربناتاسیون می باشد.

مقاومت فشاری بتن یک پارامتر بسیار مهم و دارای اهمیت می باشد، با این وجود امروزه در اروپا دوام بتن به مراتب از مقاومت فشاری دارای اهمیت بیشتری است و در ایران نیز در این موارد تحقیقات بسیاری انجام شده است و در بعضی پروژه ها این پارامتر مهم در نظر گرفته شده است و امیدواریم که در آینده پارامتر دوام بتن نیز جز استاندارد های

* Corresponding author: Mehdi Saki
Email: mehdisaki8@gmail.com



الزامی بتن در ایران شناخته شود. متأسفانه در ایران به دلیل مصالح سنگدانه ای نامناسب و عدم استفاده از افزودنی های کاهنده آب نسبت آب به سیمان در بتن بسیار بالا است و این امر می تواند تا حد زیادی نفوذپذیری بتن را افزایش و همچنین مقاومت در برابر عوامل خورنده را کاهش دهد از این رو طول عمر مفید بتن بسیار کاهش می یابد. امروزه در اکثر شهر های ایران به دلیل عدم رعایت طول عمر بتن مشاهده می شود که انبوهی از زباله های ساختمانی در طبیعت رها می شود و دستورالعملی جهت استفاده مجدد آنان وجود ندارد. افزودنی های آلی در بتن به عنوان جزء پنجم بتن و جدایی ناپذیر این محصول شناخته شده اند و به جرات می توان گفت که توسعه پایدار بتن بدون استفاده از این افزودنی ها امکان پذیر نمی باشد. افزودنی های پلی ملامین و پلی نفتالین در ایران در گذشته نزدیک کار برد فراوانی داشته اند ولی در دهه گذشته افزودنی بر پایه لیگنو سولفونات و پلی کربوکسیلات جایگزین آنها شده اند. افزودنی های لیگنو سولفوناتی قادرند تا 10-15 درصد آب بتن را کاهش داده و در رتبه افزودنی های کاهنده معمولی آب قرار گیرند. و افزودنی های آلی پلی کربوکسیلات قادرند تا 35 درصد آب بتن را کاهش داده و با افزایش حجم مفید مصالح، مقاومت فشاری بتن را افزایش داده و همچنین موینه گی بتن را کاهش داده و باعث افزایش طول عمر مفید بتن شوند.[1]

2. تاریخچه افزودنی های آلی

پس از انقلاب صنعتی با پیشرفت سریع سازه ها، مطالعات جدیدی در مورد افزودنی ها آغاز گردید. اندیشه تحقیق و مطالعه در مورد افزودنی ها بعد از تولید صنعتی سیمان در نیمه دوم قرن نوزدهم و شناخت ترکیبات و فرایند هیدراتاسیون فازهای سیمان، ابتدا در مراکز علمی و آکادمیک مورد بررسی قرار گرفت و به تدریج کاربرد آنها در صنعت رواج پیدا کرد. روان کننده ها، زودگیر کننده ها، کند گیر کننده ها، و حباب سازها به عنوان افزودنی های آلی متداول در نخستین سالهای دهه سوم قرن بیستم اختراع شدند. قدیمی ترین مستند علمی و فنی معتبر حکایت از آن دارد که روان کننده بر پایه نفتالین فرمالدهید سولفونات اولین ترکیب آلی است که در سال 1932 توسط یک شرکت آمریکایی اختراع و ثبت گردید. سپس در طول دهه های 1930 تا 1940 مصرف روان کننده های دیگر بر اساس لیگنوسولفونات رواج پیدا کرد. پس از آن در اوایل دهه 1950 مشتقات آلی دیگری مثل هیدروکسی کربوکسیلیک، ترکیبات پلیمری، و اسید های چرب رواج پیدا کردند. در ایران تا اوایل دهه 1370 کاربرد این نوع روان کننده ها چشمگیر نبود ولی از این زمان به بعد این نوع افزودنی ها در بتن به طور قابل ملاحظه ای استفاده می شدند. در حال حاضر پروژه های بزرگی مانند سد سازی، سیمان کاری چاه نفت، پل ها، رویه های بتنی و بتن هایی که بالا تر از 35 مگاپاسکال مقاومت فشاری نیاز دارند این نوع مواد آلی را در جهت بهبود بتن و افزایش طول عمر آن استفاده می کنند. بدون شک امروزه در ایران پیشرفت در صنعت ساخت و ساز و طرح های بتنی و بتن ریزی های حجیم مدیون پیشرفت افزودنی های آلی می باشد و بدون این مواد نمی توان به کارایی بالا در بتن و خواص مطلوب دسترسی پیدا کرد. همچنین این مواد باعث سهولت و ایمنی نیروی انسانی در پروژه می گردد. [2]

3. ترکیبات شیمیایی سیمان

ترکیبات یا فازهای اصلی سیمان، حاصل هم جوشی مواد خام در کوره هستند. بعد از ترکیب شدن این فازها با آب واکنش های هیدراتاسیون سیمان شروع می شوند. واکنش هیدراتاسیون یک واکنش گرمازا می باشد. گرمای هیدراتاسیون یک گرمای ویژه ای است که سیمان و بتن تحت شرایط ایزوترم، بر حسب ژول بر گرم آزاد می نماید. در بتن سرعت و میزان گرمای آزاد شده اهمیت فراوانی دارد فازهای دو کلسیم آلومینات و سه کلسیم سیلیکات بیشترین نقش را در ایجاد گرمای تولید شده دارد. نتیجه همه واکنش های هیدراتاسیون یک محصول سخت شده با مقاومت بالا می باشد که این مقاومت به ساختمان داخلی خمیر سیمان و به وسیله اندازه و شکل محصولات هیدراتاسیون و ترکیب فضای آنها و



دانسیتته تراکم (تخلخل) تعیین می شود. ترکیب فازهای سیمان با آب باعث انجام واکنش های شیمیایی می شود که در جدول شماره (1) آمده است. [3]

جدول شماره 1- واکنش های شیمیایی سیمان

نام فاز	علامت اختصاری	فرمول شیمیایی	هیدراتاسیون
دو کلسیم سیلیکات	C2S	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C3S} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$
سه کلسیم سیلیکات	C3S	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C2S} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$
دو کلسیم آلومینات	C3A	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Cao} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 (\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 26 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$
تترا کلسیم آلومینا فریت	C4AF	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF} + 4\text{Ca}(\text{OH})_2 + 22 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O} + 4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$

در این تحقیق از سیمان نوع 2 کارخانه سیمان نزار قم استفاده شد. جدول شماره (2) و (3) به ترتیب نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی این سیمان می باشد. آنالیز تجزیه شیمیایی سیمان به روش تر با استاندارد ملی ایران با شماره ISIRI 1692 انجام شد.

جدول شماره 2- آنالیز فیزیکی سیمان

Standard PHYSICAL Requirment	Test Results	TYPE 2	Test Method
Blain Cm2/gr	3080	min 2800	ISIRI 390:1994
% Sieve 90 micron	0.8	max 2	EN 196-6:2010
% Sieve 45 micron	8	max 10	
Initial Minute Final Minute	165 265	min 45 max 360	ISIRI 392-1996
Normal Consistency %	23.1		
%Autoclave Expansion	0.04	max 0.8	ISIRI 391-1386
Compressive Kg/cm2 3Days 7days 28Days	270 400 515	min 100 min 175 min 315	ISIRI 393

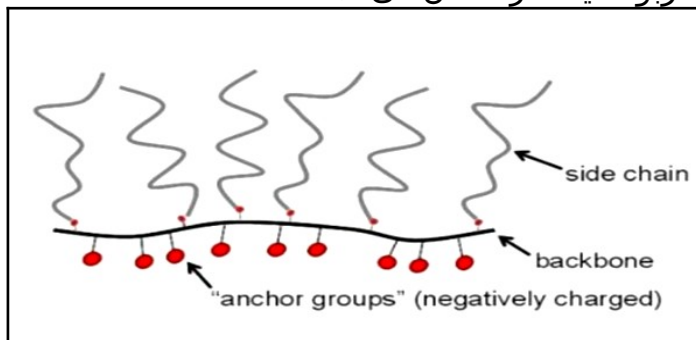


جدول شماره 3- آنالیز شیمیایی سیمان

Standard Chemical Requirment	Test Results	TYPE 2
% SiO ₂	20.66	min 20
% Al ₂ O ₃	4.69	max 6
% CaO	63.8	
% Fe ₂ O ₃	4.15	max 6
mgo %	1.32	max 5
% SO ₃	2.33	max 3
% Loos	2.2	max 3
% Free Lime	1.1	
% C3S	59	
% C2S	15	
% C3A	5.4	max 8
% C4AF	13	

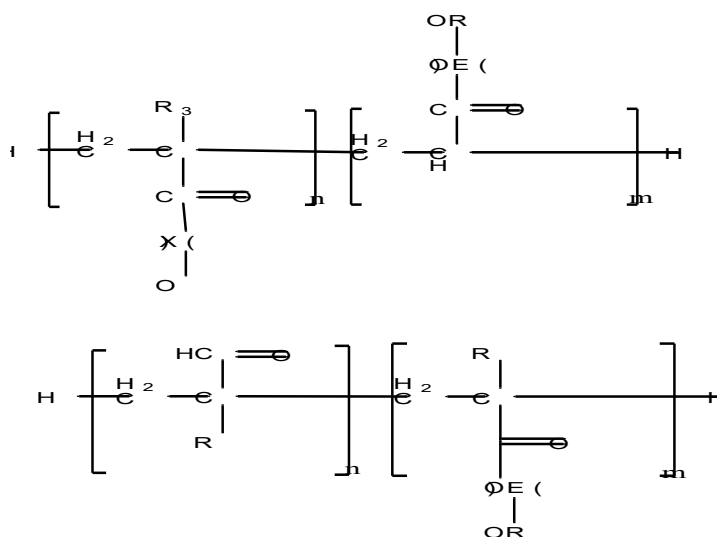
4. معرفی روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات اتر

پلی کربوکسیلات ها پلیمرهای آکریلیک بر پایه آب، موسوم به رزین های پلی کربوکسیلات می باشند، ساختار مولکولی این ترکیبات شامل یک زنجیر اصلی بوده که مثل یک ستون فقرات می باشد که بر روی آن زنجیرهای جانبی متصل شده اند. شکل شماره (1) شماتیک مولکول پلی کربوکسیلات را نشان می دهد.



شکل 1- شماتیک مولکول پلی کربوکسیلات

پلی کربوکسیلات اتر یک کوپلیمر شانه ای شکل است که از یک زنجیر اصلی آنیونی خطی جاذب (عموماً پلی آکریلات یا پلی متا آکریلات) که گروه های کربوکسیلیت را نگه می دارد و گروه های اتر غیر جاذب (عموماً پلی اتیلن اکساید) که به صورت زنجیر جانبی به این زنجیر اصلی متصل هستند و گروه های متوکسی را نگه می دارند، تشکیل شده است. شکل شماره (2) ساختار مولکولی چند نوع پلی کربوکسیلات اتر را نشان می دهد.[4]

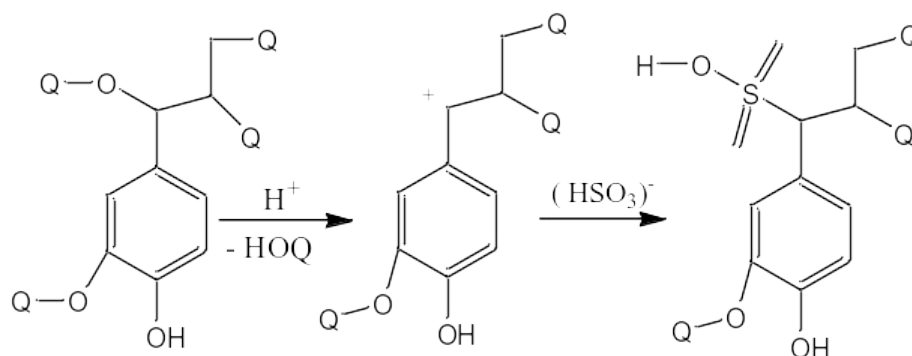


شکل شماره 2- ساختار مولکولی نوعی پلیمر بر پایه پلی کربوکسیلات

5. معرفی لیگنوسولفونات ها

در تولید کاغذ از چوب لازم است که این ماده از سلولز جدا شود و از آنجا که لیگنین حلالیت خوبی در آب ندارد در یک فرآیند شیمیایی موسوم به سولفوناسیون تبدیل به لیگنوسولفونات می شود. با قرارگیری گروه عاملی سولفات بر روی آن طی فرآیند سولفوناسیون حلالیت این ماده در آب افزایش داده می شود. استخراج لیگنین از چوب و سولفوناسیون در یک فرآیند همزمان انجام می شود به این صورت که خورده های چوب در محلول بی سولفیت سدیم یا کلسیم تا دمای 130 درجه سانتیگراد حضم می شود و گروه عاملی سولفات بر روی شبکه پلیمری لیگنین پیوند می دهد. در پایان مواد نامحلول سلولزی و نمکهای باقی مانده با جرم مولی کم از ماده اصلی جدا می شوند، بطوریکه محصول نهایی با جرم مولی مورد نظر جداسازی شود.

فرآیند تولید لیگنوسولفونات با از دست دادن آب در ترکیبات لیگنین و سولفوناته شدن به روی حلقه آروماتیک لیگنین به دست می آید. شکل شماره (3) فرآیند تولید لیگنوسولفونات را نشان می دهد. [5]



شکل شماره 3- فرآیند تولید لیگنوسولفونات

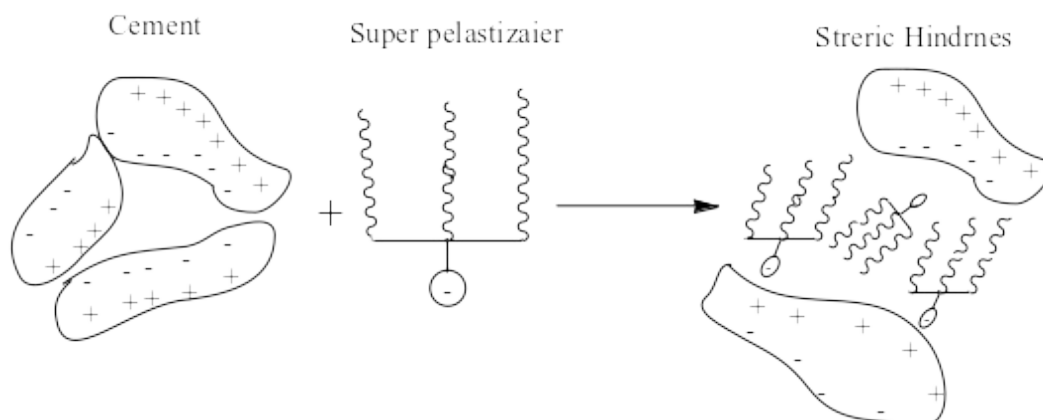
6. عملکرد لیگنوسولفونات و پلی کربوکسیلات بر روی ذرات سیمان



سبزوار

با توجه به سطح ویژه بالای سیمان و میل جذب آب به وسیله فازهای سیمان، ذرات سیمان میل به کلوخه شدن دارند و پدیده آگلومریزاسیون بوجود می‌آید. هر دو افزودنی ذکر شده با اضافه به خمیر سیمان آگلومره شده باعث جدایش ذرات و دفع آنها از یکدیگر می‌شود. به صورتی که زنجیر در یک عامل کاهنده آب (روان کننده‌ها)، از دو طرف تمایل به پیوند دارد. به عبارت دیگر از یک انتها تمایل به پیوند با آب را دارد و از انتهای دیگر دافع آب می‌باشد. عامل CH_3 در یک انتهای این زنجیر دافع آب و عامل COOH در انتهای دیگر جذب آب می‌باشد. به طور کلی، اتم‌های H در اتصال مستقیم با کربن دافع آب و اتم‌های کربن که از طریق اتم اکسیژن با هیدروژن پیوند برقرار کرده‌اند، جذب آب می‌باشند. باندهای اتم کربن عموماً کووالانت است، به عبارت دیگر کربن 8 الکترون لازم در آخرین مدار خود را به وسیله قرض کردن الکترون از هیدروژن کامل می‌نماید. به همین منوال هیدروژن نیز دو الکترون لایه K خود را از طریق اتم کربن تامین می‌نماید. این موضوع باعث نوعی اینرسی شیمیایی می‌گردد.

اتصال C-O-H رفتار بعضاً یونی دارد. بنیان هیدروکسیل OH با قرض کردن الکترون از کربن، لایه 8 الکترونی خود را کامل می‌کند. ولی کربن قدرت بیشتری دارد و لذا با در اختیار قرار دادن الکترون خود قدرت بیشتری را اعمال می‌کند. عدم تقارن این تبادل الکترون نوعی باند جزئاً یونی را مشخص می‌نماید. لذا می‌توان درک کرد که چرا مولکول‌های آب به وسیله بنیان‌های COOH در انتهای زنجیرها جذب می‌شوند، که بر اساس تعریف به آن‌ها جذب می‌گویند. از طرف دیگر جاذبه بین یک مولکول آب و بنیان CH_2 ، CH و CH_3 بسیار ضعیف‌تر از نیروی بین دو مولکول آب می‌باشد. این ویژگی باعث می‌شود این گروه‌ها بر اساس تعریف، دافع آب گردند. شکل شماره (3) عملکرد روان کننده بر روی سیمان را نشان می‌دهد. [5] [6]



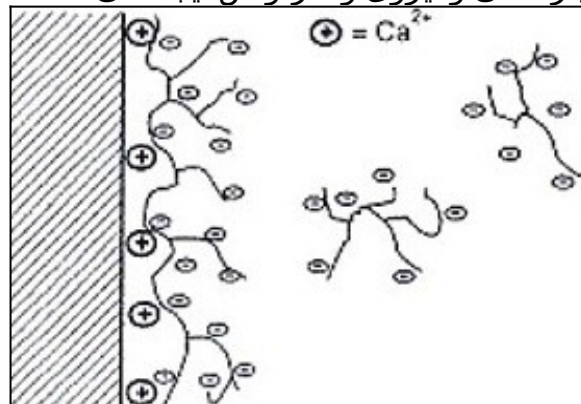
شکل شماره 3- عملکرد روان کننده بر روی ذرات سیمان

7. مکانیسم افزودنی‌های آلی و تاثیر بر ذرات سیمان

مکانیسم کار این است که پلی کربوکسیلات و لیگنو سولفونات با طول زنجیره جانبی کوتاه یک فیلم نازک بر روی سطح ذرات سیمانی ایجاد می‌کند و آزادی ملکولی بوجود می‌آورد، بنابراین کاهش موثری در مقاومت در برابر اصطکاک بین ذرات سیمانی وجود دارد و زنجیر اصلی توسط فرایند الکترواستاتیکی جذب سطح سیمان می‌شود در حالیکه زنجیر جانبی غیر جاذب باعث ممانعت فضایی می‌شوند. کارایی فوق روان کننده اساساً بدلیل ممانعت فضایی و نیروی الکترواستاتیکی ناشی از زنجیر جانبی است که باعث جدا شدن ذرات سیمان از هم می‌شود. عملکرد زنجیره جانبی اینگونه است که آب را بر روی خود جذب کرده و یک غشای آبی دور ذرات سیمان ایجاد می‌کند که باعث ایجاد دافعه فضائی بین ذرات سیمان می‌شود. [6]



مطابق شکل (4) جذب توسط بارهای منفی پلی کربوکسیلات به ذرات Ca^{++} انجام می شود و در وزن ملکولی بزرگتر جذب بیشتر می باشد و پلیمرها بر روی سطح ذرات سیمان به صورت خمیده، بار منفی و نیروی واندربولاس ایجاد می کنند.



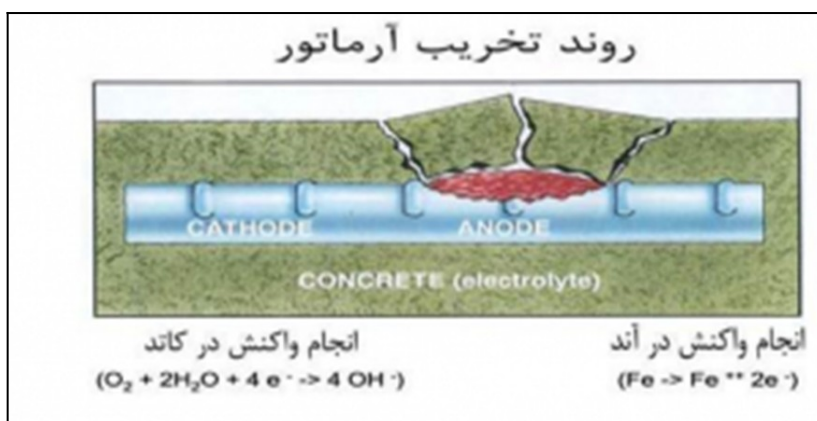
شکل 4- مکانیسم افزودنی های آلی و تاثیر بر ذرات سیمان

8. عوامل خرابی های بتن

این خرابی ها عبارتند از نفوذ پذیری و سیکل ذوب و یخبندان، مقاومت در برابر ترک خوردگی داخلی و خارجی، خرابی ناشی از آب انداختگی، مقاومت در برابر تنشهای حرارتی و خستگی، مقاومت در برابر تخریب ناشی از چرخه های ذوب و یخ، مقاومت در برابر حمله ی مواد شیمیایی زیان آور مانند اسیدها، نمک های یخ زدا و سولفات ها و مقاومت در برابر اثرات واکنش قلیایی سنگدانه ها و کربناتاسیون می باشند. در این پژوهش عملکرد افزودنی های آلی لیگنو سولفونات و پلی کربوکسیلات در برابر نفوذ یون کلراید، جذب آب موئینگی بتن و میزان نفوذپذیری در بتن بررسی شده است که از مهمترین عوامل خرابی در ایران بخصوص در حومه خلیج فارس مشاهده شده است. تصویر (5) خوردگی دریایی بتن بر اثر تهاجم یون های خورنده حومه خلیج فارس و تصویر (6) مکانیسم خوردگی فولاد در بتن را نشان می دهد



شکل 5- خوردگی دریایی بتن بر اثر تهاجم یون های خورنده حومه خلیج فارس



شکل 6- خوردگی فولاد در بتن بر اثر نفوذ یون های مخرب

9. آزمایشات انجام شده

9.1. طرح اختلاط بتن به روش ملی مخلوط بتن ایران

طرح مخلوط به روش حجم مطلق مطابق روش ملی طرح مخلوط بتن ایران انجام گردید. انجام آزمایش طرح اختلاط و عمل آوری به روش استاندارد ملی ایران 581 INSO انجام شد. مشخصات طرح اختلاط مطابق جدول شماره (4) می باشد.

4- مشخصات مصالح و طرح اختلاط در یک مترمکعب

مشخصات مصالح در یک متر مکعب			
ویژگی ها	نمونه با لیگنوسولفونات	نمونه با پلی کربوکسیلات اثر	نمونه شاهد بدون افزودنی
عیار سیمان (کیلوگرم)	400	400	400
نسبت آب به سیمان (%)	0.42	0.36	0.53
درصد سنگدانه درشت (%)	40	40	40
درصد سنگدانه ریز (%)	60	60	60
وزن مخصوص سنگدانه ریز (مترمکعب/کیلوگرم)	2650	2650	2650
وزن مخصوص سنگدانه درشت (مترمکعب/کیلوگرم)	2700	2700	2700
وزن مخصوص سیمان (مترمکعب/کیلوگرم)	3100	3100	3100
درصد رطوبت ریزدانه (%)	1.1	1.1	1.1
درصد رطوبت درشت دانه (%)	0.5	0.5	0.5
جذب آب ریزدانه (%)	2.3	2.3	2.3
جذب آب درشت دانه (%)	0.7	0.7	0.7



وزن شن (کیلوگرم)	1020	1127	1020
وزن درشت دانه (کیلوگرم)	733	759	686
وزن سیمان (کیلوگرم)	400	400	400
آب (کیلوگرم)	182	159	225
افزودنی (%)	0.8	0.3	0

9. 2. آزمایشات بتن تازه و سخت شده

در جدول شماره 5 نتایج مقاومت فشاری هر سه نمونه بتن در سنین 3، 7 و 28 روزه آمده است، برای هر نمونه دو عدد آزمونه در نظر گرفته شد که میانگین آن‌ها در جدول وارد شده است و در جدول شماره 6 نتایج بتن تازه اعم از اسلامپ و وزن مخصوص آمده، هر سه نمونه در شرایط کاملاً یکسان و در دمای ثابت ساخته شده اند. اسلامپ آزمایشی است که در آن مقدار روان بودن بتن (شل بودن یا سفت بودن آن) تعیین می شود این سنجش از سری سنجش های بتن تازه در مقابل سنجش بتن خشک می باشد. این آزمایش معمولاً با نام های مخروط بتن یا روانی اولیه بتن شناخته می شود.

جدول 5- مقاومت فشاری بتن

مقاومت فشاری بر حسب Mpa	مقاومت فشاری بر حسب Kg/cm ²	سن نمونه (روز)	Sample
15.1	193	3	نمونه شاهد
19.3	247	7	
25.2	301	28	
21.4	263	3	نمونه لیگنوسولفونات
24.1	296	7 روزه	
31.7	369	28 روزه	
38.5	445	3 روزه	نمونه پلی کربوکسیلات اتر
44.9	505	7 روزه	
48.1	540	28 روزه	

جدول 6- آزمایشات بتن تازه

دمای بتن °C	اسلامپ mm	وزن مخصوص ص KG/CM ³	Sample
25	140	2353	نمونه شاهد
25	140	2375	نمونه لیگنوسولفونات



25	140	2390	نمونه پلی کربوکسیلات اتر
----	-----	------	-----------------------------

9.3. آزمایش RCMT

این آزمایش شبیه سازی حالت غیر پایدار است و مقاومت بتن را در مقابل نفوذ کلرید اندازه گیری می کند. نمونه های استوانه ای در تست RCMT* در مخزن محلول 10 درصد نمک طعام به عنوان محلول کاتولیت قرار داده می شوند و محلول 3/0 مول سدیم هیدروکسید به عنوان آنولیت بر روی نمونه ها ریخته می شود. سپس 30 ولت پتانسیل بین الکترودها وارد می شود. البته جریان اندازه گیری می شود و اگر ضروری باشد پتانسیل اعمال شده باید تنظیم شود. مدت آزمایش بستگی به پتانسیل اعمال شده دارد. برای مثال اگر جریان اولیه حدود 35 میلی آمپر باشد نشان می دهد که پتانسیل 30 ولت مناسب است، بنابراین مدت 24 ساعت کافی می باشد.

جدول 7- آزمایش مهاجرت سریع یون کلراید

درصد کاهش	19.72	نمونه شاهد	ضریب مهاجرت یون کلر در شرایط ناپایدار به روش RCMT-Nt BUILD-492 بر حسب پیکومتر مربع بر ثانیه
16.5	16.45	نمونه لیگنوسولفونات	
50.4	9.78	نمونه پلی کربوکسیلات اتر	

9.4. آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی

این روش غیر مخرب، سریع و به سادگی قابل استفاده می باشد. در این روش چهار الکترودها با فاصله مساوی با سطح بتن در تماس قرار می گیرد. توسط الکترودهای خارجی، جریان متناوبی از نمونه عبور داده می شود و افت پتانسیل مابین دو الکترودها داخلی اندازه گیری می شود.

جدول 8- نتایج مقاومت الکتریکی

8.3	نمونه مرجع	نتایج مقاومت الکتریکی بتن در سن 42 روزه بر حسب کیلو اهم سانتیمتر
11.4	نمونه لیگنوسولفونات	
14.6	نمونه پلی کربوکسیلات اتر	

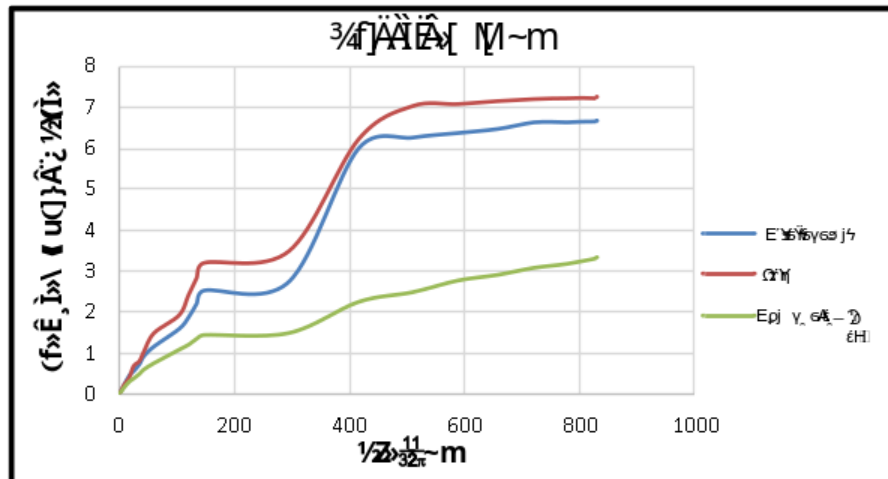
9.5. تعیین جذب آب موئینگی

* Rapid Chloride Migration Test



سبزواری

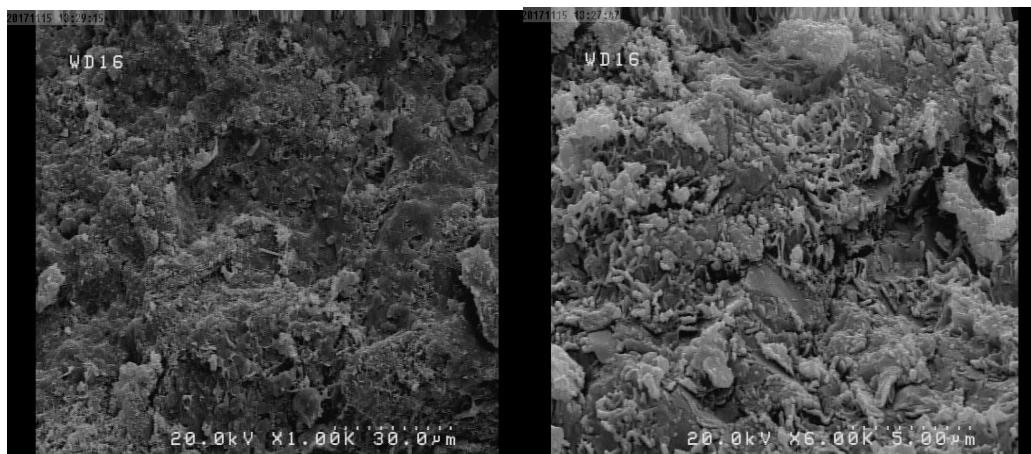
آزمایش جذب آب موینه بتن از آزمایشات غیر مخرب بتن می باشد که نتایج بسیار خوبی در رابطه با استعداد بتن در برابر خرابی با سیکل ذوب و یخبندان را نشان می دهد. یک سازو کار جذب آب حرکت آب به صورت موینه رو به بالا می باشد که نیاز به انجام آزمایش خاص و هماهنگ با این ساز و کار احساس می شود. جذب آب موینه یکی از پدیده های فیزیکی ناشی از نیروهای چسبندگی سطحی است.



شکل 7- نمودار جذب آب موینه بتن

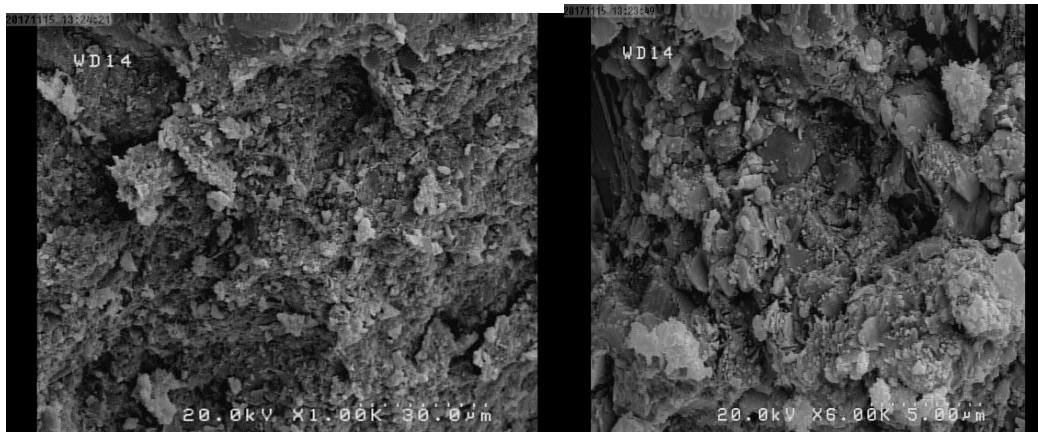
9. 6. آزمایش میکروسکوپ عبوری* (SEM)

بر روی سه نمونه بتن آزمایش میکروسکوپ الکترون عبوری انجام شد. نکته قابل توجه در این آزمایشات تراکم و چگالی محصولات هیدراتاسیون نمونه های روان کننده با نمونه بدون روان کننده بود. این نکته در تصاویر شکل 10 بخوبی مشخص است و چگالی بالای محصولات هیدراتاسیون را در سن 28 روزه بتن نسبت به نمونه شاهد (شکل 8) و نمونه با افزودنی لیگنوسولفونات (شکل 9) را بخوبی نشان می دهد. [7]

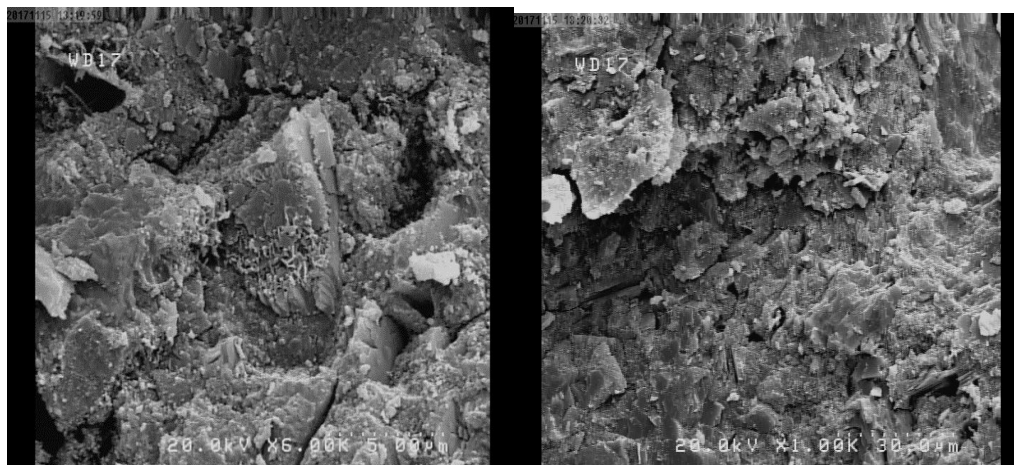


شکل 8- نمونه شاهد

* Scanning Electron Microscope



شکل 9- نمونه لیگنو سولفونات



شکل 10- نمونه پلی کربوکسیلات

10. نتیجه گیری

1. تصاویر میکروسکوپی نشان می دهد که با استفاده از افزودنی های پلی کربوکسیلات و لیگنو سولفونات پخش شدگی ذرات سیمان بهبود می یابد و چگالی محصولات هیدراتاسیون در ریز ساختار بتن افزایش می یابد.
2. جذب آب بتن به علت کاهش موینگی در خمیر سیمان به طور قابل توجهی با استفاده از افزودنی شیمیایی کاهش می یابد و طول عمر مفید بتن در برابر چرخه ذوب و یخ افزایش می یابد.
3. مقاومت الکتریکی که بیانگر نفوذ پذیری بتن است نشان می دهد که نفوذ پذیری کاهش می یابد این مسئله در بتن با افزودنی پلی کربوکسیلات کاملاً مشهود است.
4. نفوذ یون کلراید در بتن به روش تست مهاجرت سریع یون کلراید در شرایط ناپایدار با دستگاه RCMT نشان می دهد که بتن با افزودنی پلی کربوکسیلات 50 درصد و لیگنو سولفونات 16 درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش پیدا می کند.

11. مراجع



سبزواری

1. تکنولوژی پخت سیمان، (1385)، مهندس عزیزیان، چاپ اول، ویرایش سوم شهرپور
2. جوانمردی، ف. (1395)، "سنتز فوق روان کننده ها بر پایه پلی کربوکسیلات اتر" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، یزد
3. هندبوک مهندسی سیمان (1376)، مهندس بکائیان، چاپ اول تابستان
4. Fluidizing Mechanism and Application of Polycarboxylate-Based Superplasticizer" ibidem, by A.Ohta,T.Sugiyama, 1997
5. سمیعی، س. (1374)، "سنتز لیگنو سولفونات بهینه شده به عنوان فوق روان کننده بتن" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران
6. Z.J. Jiang, Y.H Fang, Q.R Wen, X.Q Guo, Preparation of a new type of amphoteric polycarboxylate superplasticizer, New Building Materials, 8(2011) 47-49