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

علیرضا رحمتی [1]، مهدی ساکی [2*]،مجید لک [3]، محمود نوروزی [4]
1- مدرس دانشگاه شهید بهشتی
2- کارشناسی ارشد شیمی آلی، مدیر فنی آزمایشگاه شرکت سیمان نیزار قم
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 تولید بتن با طول عمر و مقاومت بالا در احداث پروژه هایی نظیر چاه نفت، سد سازی ، رو سازی جاده ها و فرودگاه ها، 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 نمی باشد، 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 لیگنو سولفونات و پلی کربوکسیلات دوام و طول عمر مفید بتن از نظر نفوذ پذیری، جذب آب مویینه، نفوذ یون کلراید و مقاومت الکتریکی با دستگاه ونر مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدي: 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 سولفاتها 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 الزامی بتن در ایران شناخته شود. متاسفانه 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

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

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 کاربرد فراوانی داشته اند ولی در دهه گذشته افزودنی بر پایه لیگنوسولفونات و پلی کربوکسیلات جایگزین آنها شده اند. افزودنی های لیگنو سولفوناتی قادر هست اند 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 قادرانـد تا 35 درصد آب بتن را کاهش داده و با افزایش حجم مفید مصالح، مقاومت فشاری بتن را افزایش داده و همچنین مویینگی 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، زودگیرکننده ها، کندگیرکننده 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 اسیدهای 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 ملاحضه 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 دانسیته 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 شماره1- واکنش های شیمیایی سیمان

نام فاز	علامت اختصاری	فرمول شیمیایی	هیدراتاسیون
دو کلسیم سیلیکات	C2S	$2CaO.SiO_2$	$C3S + 6H_2O \rightarrow 2CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$
سه کلسیم سیلیکات	C3S	$3Cao.SiO_2$	$C2S + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$
دو کلسیم الومینات	C3A	$3Cao.Al_2O_3$	$Cao\ .Al_2O_3\ .\ 3\ (\ CaSO_4\ .\ 2H_2O\ )+26\ H_2O \rightarrow 3CaO\ .\ Al_2O_3\ .\ 3CaSO_4\ .\ 32H_2O$
ترا کلسیم آلومینا فریت	C4AF	$4Cao.Al_2O_3.Fe_2O_3$	$C_4AF + 4Ca(OH)_2 + 22\ H_2O \rightarrow 4CaO.Al_2O_3.13H_2O + 4CaO.Fe_2O_3.13H_2O$

در این تحقیق از سیمان نوع 2 کارخانه سیمان نیزار 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 شماره2- آنالیز فیزیکی سیمان

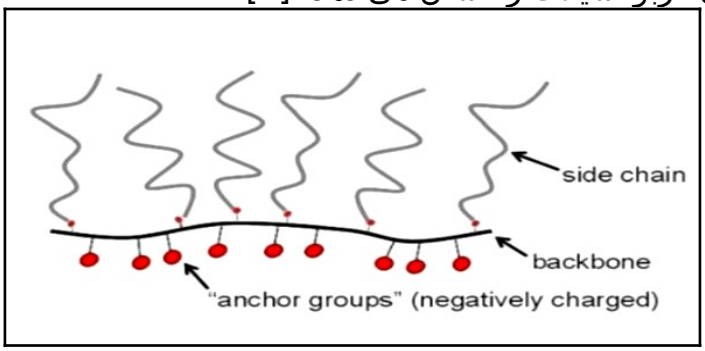
Standard PHYSICAL Requrment	Test Results	TYPE 2	Test Method
Blain Cm_2/gr	3080	Min 2800	ISIRI 390:1944
% Sieve 90 micron	8/0	Max 2	EN 196-6:2010
% Sieve 45 micron	8	Max 10	
Initial Minute Final Minute	165 265	Min45 Max360	ISIRI 392-1996
Normal Consistensy %	1/23	.....	
%Autoclave Expansion	04/0	Max8/0	ISIRI 391-1386
Compressive Kg/cm2 Days3 Days7 Days28	 270 400 515	 Min100 Min175 Min315	ISIRI 393

جدول شماره 3- آنالیز شیمیایی سیمان

Standard Chemical Requrment	Test Results	TYPE 2
% $Si0_2$	66/20	Min20
% Al_2O_3	69/4	Max6
% CaO	8/63	……
% Fe_2O_3	15/4	Max6
mgo %	32/1	Max5
% SO_3	33/2	Max3
% Loos	2/2	Max3
% Free Lime	1/1	…….
% C3S	59	…….
% C2S	15	…….
% C3A	4/5	Max8
% C4AF	13	…….

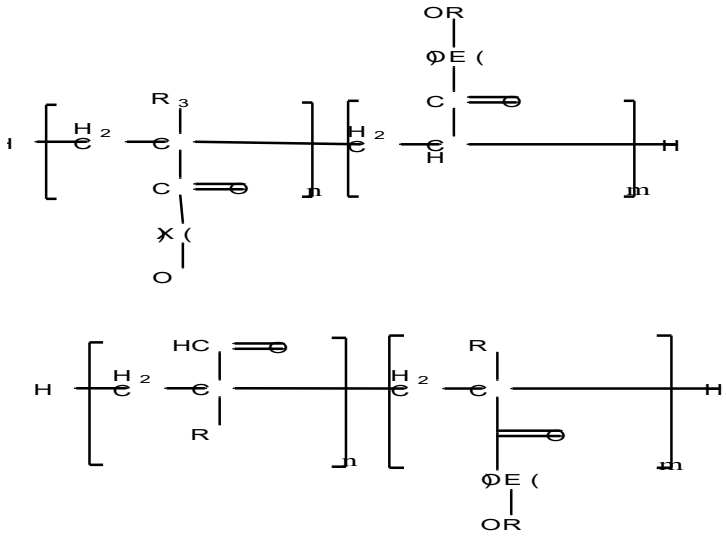
4. معرفی روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات اتر

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. [4]



شکل 1- شماتیک مولکول پلی کربوکسیلات

پلی کربوکسیلات اتر یک کوپلیمر شانه ای شکل است که از یک زنجیر اصلی آنیونی خطی جاذب(عموما پلی آکریلات یا پلی متا آکریلات) که گروه های کربوکسیلیت را نگه می دارد و گروه های اتر غیر جاذب (عموما 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.[5]

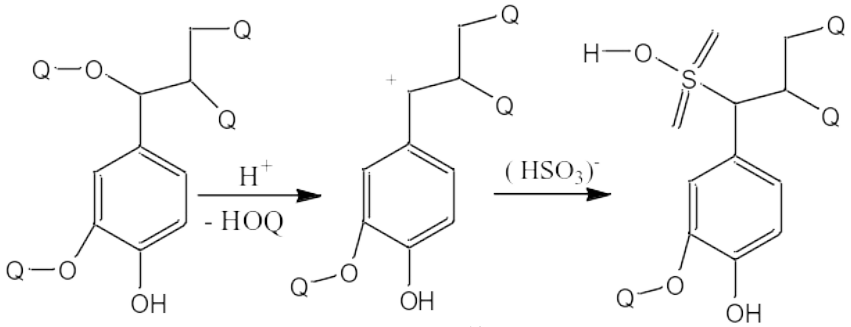


شکل شماره2- ساختار مولکولی نوعی پلیمر بر پایه پلی کربوکسیلات

5. معرفی لیگنوسولفونات ها

در تولیـد کاغذ از چـوب لازم است که این مـاده از سـلولز جـدا شـود و از آنجا که لیگنین حلالیت خـوبی در آب نـدارد در یـک فرآیند شـیمیایی موسـوم به سولفوناسـیون تبدیل به لیگنوسـولفونات می شـود. با قرارگـیری گـروه عـاملی سـولفات بر روی آن طی فرآیند سولفوناسیون حلالیت این مـاده در آب افـزایش داده می شـود. اسـتخراج لینگین از چـوب و سولفوناسیون در یک فرآیند همزمان انجام می شود به این صـورت که خـورده های چـوب در محلول بی سولفیت سدیم یـا کلسـیم تا دمای 130 درجه سـانتیگراد هضم می شـود و گـروه عاملی سولفات بر روی شبکه پلیمری لیگنین پیوند می دهد. در پایان مواد نامحلول سـلولزی و نمکهای باقی مانده با جرم مولی کم از ماده اصلی جدا می شوند، بطوریکه محصـول نهایی با جرم مولی مورد نظر جداسازی شود.

فرایند تولید لیگنو سولفونات با از دست دادن آب در ترکیبـات لیگنین و سـولفوناته شـدن به روی حلقه آروماتیـــک لیگنین به دست می آیـــد. شـــکل شـــماره (3) فرآیند تولیـــد لیگنوسولفونات را نشان می دهد.[6]

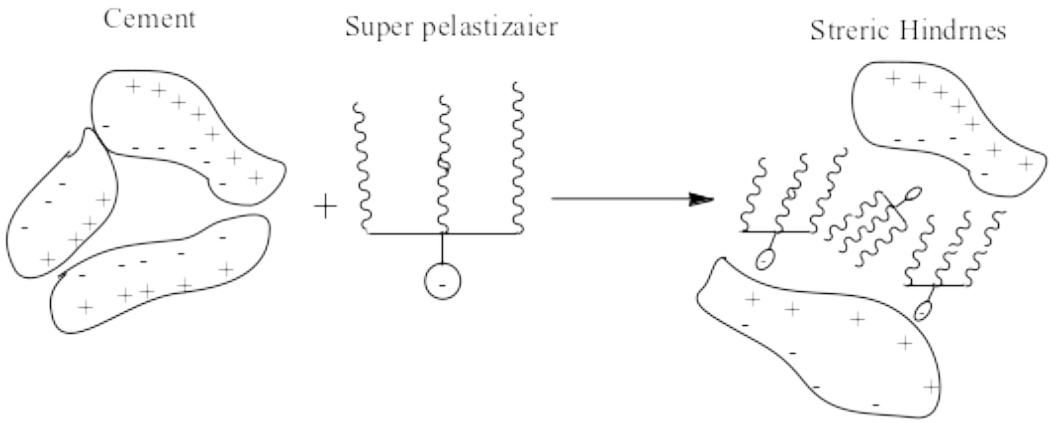


شکل شماره3- فرآیند تولید لیگنوسولفونات

6. عملکرد لیگنوسولفونات و پلی کربوکسیلات بر روی ذرات سیمان

با توجه به سطح ویژه بالای سیمان و میل جذب آب به وسیله فاز های سیمان، ذرات سیمان میل به کلوخه شدن دارند و پدیده آگلومریزاسیون بوجود می آید. هر دو افزودنی ذکر شده با اضافه به خمیر سیمان آگلومره شده باعث جدایش ذرات و دفع آنها از یکدیگر می شود. به صورتی که زنجیر در یک عامل کاهنده آب (روان کننده ها)، 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 می باشد. عامل CH_3 در یک انتهای این زنجیر دافع آب و عامل COOH در انتهای دیگر جاذب آب می باشد. به طور کلی، اتم های H در اتصال مستقیم با کربن دافع آب و اتم های کربن که از طریق اتم اکسیژن با هیدروژن پیوند برقرار کرده اند، جاذب آب می باشند. باندهای اتم کربن عموما کوالانت است، به عبارت دیگر کربن 8 الکترون لازم در آخرین مدار خود را به وسیله قرض کردن الکترون از هیدروژن کامل می نماید. به همین منوال هیدروژن نیز دو الکترون لایه K خود را از طریق اتم کربن تامین می نماید. این موضوع باعث نوعی اینرسی شیمیایی می گردد.

اتصال C-O-H رفتار بعضا یونی دارد. بنیان هیدروکسیل OH با قرض کردن الکترون از کربن، لایه 8 الکترونی خود را کامل می کند. ولی کربن قدرت بیشتری دارد و لذا با در اختیار قرار دادن الکترون خود قدرت بیشتری را اعمال می کند. عدم تقارن این تبادل الکترون نوعی باند جزئا یونی را مشخص می نماید. لذا می توان درک کرد که چرا مولکول های آب به وسیله بنیان های COOH در انتهای زنجیرها جذب می شوند، که بر اساس تعریف به آن ها جاذب می گویند. از طرف دیگر جاذبه بین یک مولکول آب و بنیان CH_2، CH و CH_3 بسیار ضعیف تر از نیروی بین دو مولکول آب می باشد. این ویژگی باعث می شود این گروه ها بر اساس تعریف، دافع آب گردند. شکل شماره (3) عملکرد روان کننده بر روی سیمان را نشان می دهد. [7] [6]

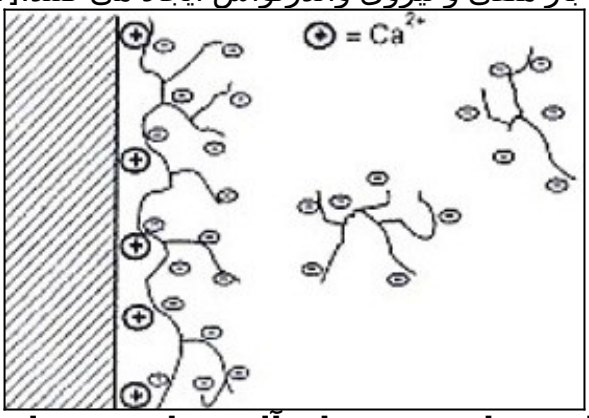


شکل شماره 3- عملکرد روان کننده بر روی ذرات سیمان

7. مکانیسم افزودنی های 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 می کند و آزادی ملکولی بوجود می آورد، بنابراین کاهش موثری در مقاومت در برابر اصطکاک بین ذرات سیمانی وجود دارد و زنجیر اصلی توسط فرایند الکترواستاتیکی جذب سطح سیمان می شود در حالیکه زنجیر جانبی غیر جاذب باعث ممانعت فضایی می شوند. کارایی فوق روان کننده اساسا بدلیل ممانعت فضایی و نیروی الکترواستاتیکی ناشی از زنجیر جانبی است که باعث جدا شدن ذرات سیمان از هم می شود. عملکرد زنجیره جانبی اینگونه است که آب را بر روی خود جذب کرده و یک غشای آبی دور ذرات سیمان ایجاد می کند که باعث ایجاد دافعه فضائی بین ذرات سیمان می شود. [6]

مطـابق شـکل (4) جـذب توسط بارهای منفی پلی کربوکسـیلات به ذرات Ca++ انجـام می شـود و در وزن ملکـولی بزرگـتر جـذب بیشـتر می باشد و پلیمرها بر روی سـطح ذرات سیمان به صورت خمیده، بار منفی و نیروی واندرلواس ایجاد می کنند.[4]

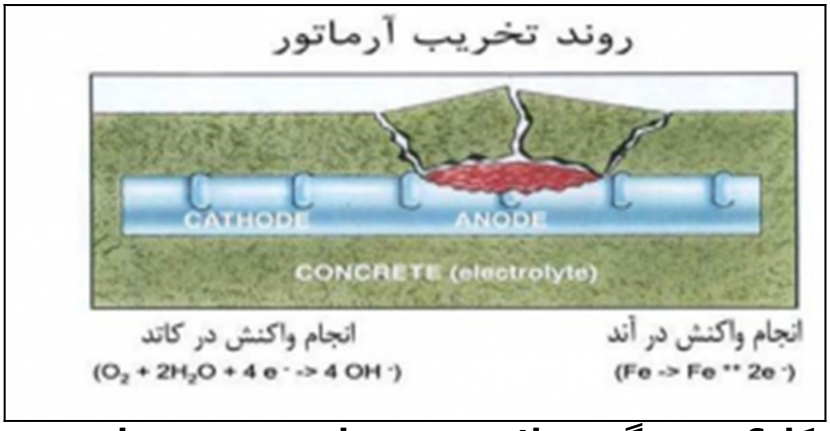


شکل4- مکانیسم افزودنی های آلی و تاثیر بر ذرات سیمان

8. عوامل خرابی های بتن

این خـرابی ها عبارتند از نفـوذ پذیری و سـیکل ذوب و یخبنـدان، مقـاومت در برابر تـرک 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، مقـاومت در برابر حمله ی مواد شیمیایی زیان آور مانند اسیدها، نمک های یخ زدا و سولفاتها و مقـاومت در برابر اثـرات واکنش قلیایی سنگدانه ها و کربناتاسیون می باشند. در این پژوهش عملکـرد افـزودنی های آلی لیگنو سولفونات و پلی کربوکسیلات در برابر نفوذ یـون کلرایـد، جـذب آب مویینگی 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 تهـاجم یـون های خورنـده حومه خلیج فـارس و تصویر (6) مکانیسم خـوردگی فـولاد در بتن را نشـان می دهد

شکل5- خوردگی دریایی بتن بر اثر تهاجم یون های خورنده حومه خلیج فارس



شکل6- 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 INSO 581 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 لیگنوسولفو نات	نمونه با پلی کربوکسیلا ت اتر	نمونه شاهد بدون افزودنی
عیار سیمان(کیلوگرم)	400	400	400
نسبت اب به سیمان(%)	42/0	36/0	53/0
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(%)	5/0	5/0	5/0
جذب آب ریزدانه(%)	3/2	3/2	3/2
جذب آب درشت دانه(%)	7/0	7/0	7/0

وزن شن(کیلوگرم)	1020	1020	1020
وزن درشت دانه(کیلوگرم)	733	733	733
وزن سیمان(کیلوگرم)	400	400	400
آب (کیلوگرم)	182	182	182
افزودنی(%)	8/0	3/0	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 آن ها 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 کاملا 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 آزماش معمولا با نام های مخروط بتن یا روانی اولیه بتن شناخته می شود.

جدول5- مقاومت فشاری بتن

Sample	سن نمونه(روز)	مقاومت فشاری بر حسب Kg/cm2	مقاومت فشاری بر حسب Mpa
نمونه شاهد	3	193	1/15
	7	247	3/19
	28	301	2/25
نمونه لیگنوسولفونات	3	263	4/21
	7 روزه	296	1/24
	28 روزه	369	7/31
نمونه پلی کربوکسیلات اتر	3 روزه	445	5/38
	7 روزه	505	9/44
	28 روزه	540	1/48

جدول6- آزمایشات بتن تازه

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

نمونه لیگنوسولفونات	2375	140	25
نمونه پلی کربوکسیلات اتر	2390	140	25

9 .3. آزمایش RCMT

این آزمایش شبیه سازی حالت غیر پایدار است ومقاومت 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 محلول3/0 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.

جدول7- آزمایش مهاجرت سریع یون کلراید

ضریب مهاجرت یون کلر در شرایط ناپایدار به روش RCMT-Nt BUILD-492 بر حسب پیکومتر مربع بر ثانیه	نمونه شاهد	72/19	درصد کاهش
	نمونه لیگنوسولفونات	45/16	5/16
	نمونه پلی کربوکسیلات اتر	78/9	4/50

9. 4. آزمایش تعین مقاومت الکتریکی

این روش غیر مخرب، سریع و به سادگی قابل استفاده می باشد. در این روش چهار الکترود 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 الکترود داخلی اندازه گیری می شود.

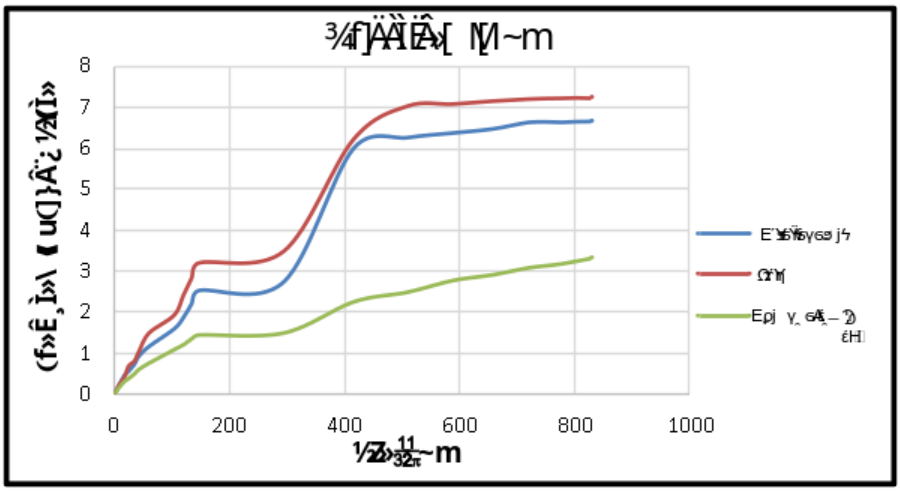
جدول8- نتایج مقاومت الکتریکی

نتایج مقاومت الکتریکی بتن در سن 42 روزه بر حسب کیلو اهم سانتیمتر	نمونه مرجع	3/8
	نمونه لیگنوسولفونات	4/11
	نمونه پلی کربوکسیلات اتر	6/14

* Rapid Chloride Migration Test

9. 5. تعین جذب آب موییننگی

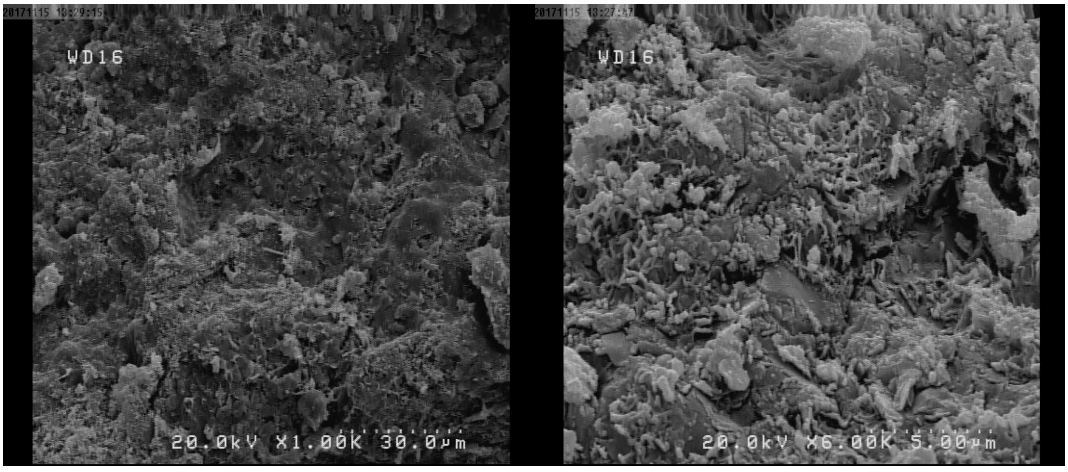
آزمایش جذب آب مویینه بتن از آزمایشات غیر مخرب بتن می باشد که نتایج بسیار خوبی در رابطه با استعداد بتن در برابر خرابی با سیکل ذوب و یخبندان را نشان می دهد. یک سازو کار جذب آب حرکت آب به صورت مویینه رو به بالا می باشد که نیاز به انجام آزمایش خاص و هماهنگ با این ساز و کار احساس می شود. جذب آب مویینه یکی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



شکل 7- نمودار جذب آب مویینه بتن

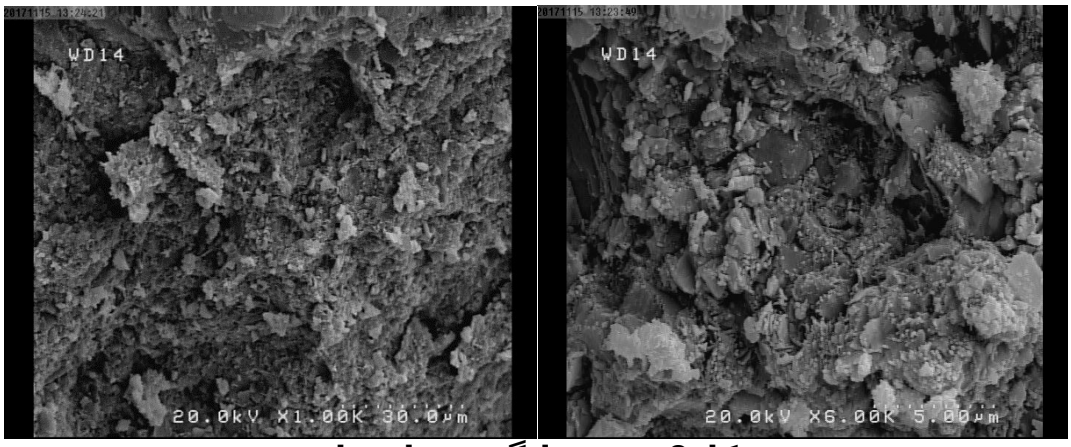
9. 6. آزمایش میکروسکوپ عبوری (SEM)*

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.

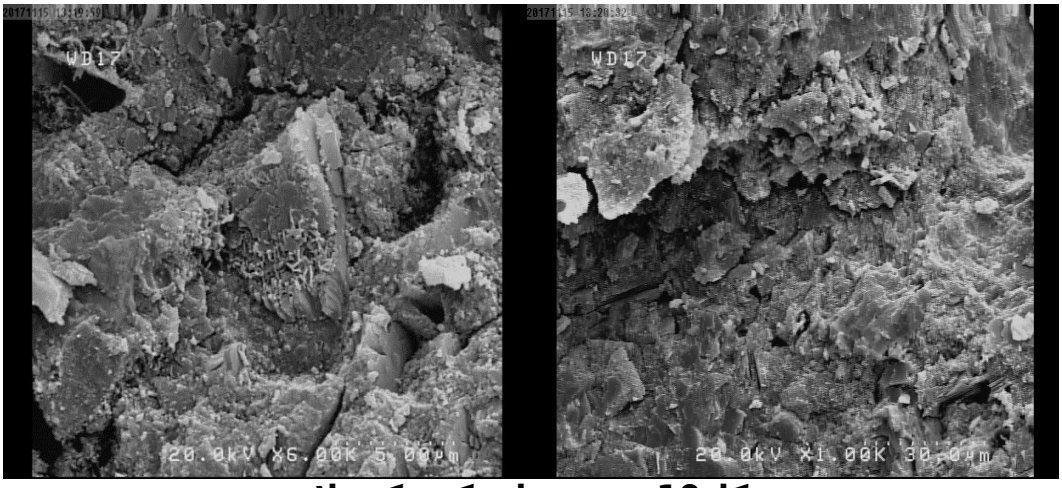


* Scanning Electron Microscope

شکل8- نمونه شاهد



شکل9- نمونه لیگنو سولفونات



شکل10- 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 مویینگی 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 کاملا 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

1. مهندس بکائیان (1384)، "شیمی سیمان و بتن" ، چاپ اول، پاییز
2. جـوانمردی، ف. (1395)، *"سـنتز فـوق روان کننـده ها بر پایه پلی کربوکسـیلات اتر"* پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، یزد
3. مهندس بکائیان (1376)، "هندبوک مهندسی سیمان"، چاپ اول، تابستان
4. ساکی، م.(1398)، *"سنتز فوق روان کننده آلی بر پایه پلی کربوکسیلات جهت بهبود خواص مکانیکی، دوام و پایایی بتن"* پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد قم، قم.

5. Fluidizing Mechanism and Application of Polycarboxylate-Based Superplasticizer" ibidem, by A.Ohta,T.Sugiyama, 1997

6. سمیعی، س. (1374)، "*سنتز لیگنو سولفونات بهینه شده به عنوان فوق روان کننده بتن"* پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران

7. 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