

بررسی دوام بتن و ملات های دارای پودر سنگ آهک و سرباره در مناطق جنوب کشور

محمدرضا احسان دوست^۱، جواد راستی^۲

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کازرون، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، کازرون، ایران

^۲ کارشناس ارسدمهندسی عمران-سازه

نام نویسنده مسئول:

محمدرضا احسان دوست

چکیده

پدیده خوردگی مشکلات مخربی را برای انسان ایجاد می نماید. این اثرات نامطلوب را می توان در تخریب ساختمان ها، پل ها، تاسیسات بندری و شهری و نیز واحدهای صنعتی مشاهده نمود. در تعریف خوردگی می توان از دو جمله زیر استفاده نمود. ۱- انهدام و زوال یک ماده در اثر واکنش با محیط اطراف ۲- از بین رفتن مواد در اثر عواملی که صد در صد مکانیکی نیستند. استفاده از پودر سنگ آهک به جای بخشی از سیمان در بتن از دو دهه پیش در جهان شروع شده است و هر روز بر میزان استفاده از آن افزوده می شود. در ایران نیز به دلیل وجود ضایعات نسبتاً زیاد پودر سنگ آهک و منجمله در سنگ بری ها، استفاده از این مصالح در ساخت بتن بسیار مفید خواهد بود؛ زیرا هم باعث جلوگیری از آلودگی محیط زیست می شود و هم باعث ارزان تر شدن قیمت نهائی بتن می گردد. در این مقاله دوام بتنهای حاوی سرباره و پودر سنگ آهک، در محیط های سولفات منیزیم ۵ درصد، سولفات سدیم ۵ درصد و آب خالص مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور ۱۸ طرح اختلاط، شامل بتنهای حاوی ۱۵ و ۳۰ درصد پودر سنگ جایگزین سیمان در ۳ حالت بدون سرباره، ۱۰ درصد سرباره جایگزین سیمان و ۲۰ درصد سرباره جایگزین سیمان در نظر گرفته شد. برای ساخت این بتن ها از سه نسبت آب به سیمان ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ استفاده شد. نتایج نشان می دهد که استفاده از ترکیب ۱۰٪ سرباره و ۱۵٪ پودر سنگ آهک جایگزین سیمان، ضمن اقتصادی کردن طرح مخلوط، سبب افزایش دوام بتن ها می شود.

واژگان کلیدی: بتن، دوام، سنگ آهک، سرباره، مناطق جنوب.

مقدمه

با وجود آن که بیش از یک قرن است که بتن در صنعت ساخت و ساز استفاده می شود، اما مطالعه درباره دوام بتن توسط محققان به یک دهه نمی رسد. سیمان پرتلند آهکی یکی از انواع این سیمان ها می باشد که تولید آن از چند دهه پیش شروع شده و امروزه یکی از پرمصرف ترین سیمان ها می باشد. میزان استفاده از پودر سنگ آهک بعنوان جایگزین کلینکر سیمان، در استانداردهای مختلف یکسان نمی باشد. بعنوان مثال در استاندارد اروپا مشخصات ۴ نوع از این سیمان ها تعریف شده که در آنها استفاده از ۵ تا ۳۵ درصد پودر سنگ آهک مجاز می باشد. هنگامی که پودر سنگ آهک به عنوان جایگزین کلینکر استفاده می شود بدلیل وقوع پدیده هایی چون رقیق سازی کلینکر، اثر فیلر و اثر هسته زایی غیر همگن، تغییراتی در منافذ موئینه رخ می دهد. نتایج تحقیقات اخیر نشان می دهد در سیمان های پرتلند آهکی واکنشی بین C3S و کربنات کلسیم رخ می دهد که منجر به افزایش سرعت هیدراتاسیون C3S می گردد و نسبت کلسیم به سیلیس را در $C/S/H$ اصلاح می نماید. تخریب بتن و شکست زود هنگام ساختاری سازه و روبه زوال رفتن آن در محیط هایی مانند مناطق ساحلی توجه محققان را به استفاده از راههایی برای بهبود دوام بتن در محیط هایی که در معرض تهاجم هایی مانند یون کلرید و سولفاتی جلب کرده. از آنجا که یکی از مشکلات اساسی سازه های بتن آرمه، خوردگی شیمیایی ناشی از یون های سولفات موجود در خاک و آب مجاور اعضاء بتنی است، سعی می شود دوام بتنهای در مجاورت محیط های خورنده با استفاده از مواد افزودنی، بهبود یابد. با توجه به این که غلظت یون سولفات در خاک و یا آب کم است و خوردگی ناشی از آن نیاز به زمان زیادی دارد، جهت بررسی اثر یون سولفات بر بتن در مدت زمانی بسیار کوتاه تر در محیط آزمایشگاه، باید از آزمایش های تسریع شده استفاده کرد که این عمل با افزایش غلظت یون سولفات انجام می شود. سازه های بتنی که روی زوال هستند توسط یون سولفات روی بتن با اجزایی آن واکنش می دهد. سنگ گچ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) از طریق واکنش SO_4^{2-} که با سیمان محصولات هیدراتاسیون تولید می شود به عنوان مثال $Ca(OH)_2$ همان گونه که فرایند تشکیل سولفات کلسیم در بالا توضیح داده شد پس از آن می تواند با C_3A واکنش نشان دهد. علاوه بر این، ممکن است یون سولفات با کلسیم هیدراته شده آلومینات واکنش نشان دهد (C-A-H) و منجر به تشکیل اترینگایت شود. تشکیل سازنده گچ و اترینگایت گسترده تر شده و در نتیجه با عث ترک خوردگی در بتن می شوند. در سیمان با پودر سنگ آهک، کربنات مونیو باعث تشکیل اترینگایت نمی شود و باعث می شود بتن مقاوم تر در برابر حمله سولفات تشکیل شود. توجه داشته باشید که در دمای پایین تر از 15° می توان تاووماستیک تشکیل شود.

علاوه بر این استفاده از ۵٪ سنگ آهک باعث افزایش مقاومت فشاری پس از ۲۸ روز می شود. بسیاری از تخریب ها می تواند تخریب بتن در معرض سولفات، غلظت سولفات، نسبت آب به سیمان، کاتیون های شرکت کننده، درجه حرارت و pH تاثیر گذارند. برخی از عواملی که در حمله سولفات اثر گذارند گزارش داده شد. اندازه نمونه نیز به عنوان یکی دیگر از فاکتور های که در حمله سولفات موثر است. تحقیقات نشان داده است که محیطی که آغشته سولفات منیزیم باعث افزایش وخامت درمقایسه با سولفات سدیم است به خصوص در کاهش جرم و کاهش استحکام. غلظت یون سولفات در محلول تاثیر مهمی در گسترش آسیب در نمونه های بتنی می گذارد. با افزایش غلظت یون سولفات، این آسیب دیده گی افزایش می یابد.

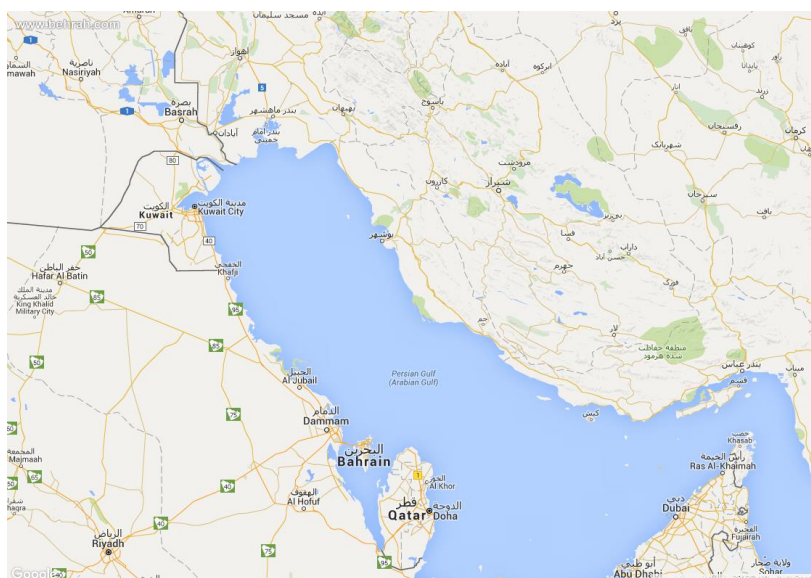
مطالعات صورت گرفته

پژوهشگرانی همچون بونن و کوهن اعتقاد دارند با افزایش غلظت یون سولفات، روند خوردگی افزایش نمی یابد؛ ولی عده ای دیگر مانند سانتانام و همکاران معتقد بر افزایش روند خوردگی در اثر افزایش غلظت یون سولفات هستند. یانگ و همکاران در سال ۱۹۹۹ به بررسی کاهش وزن و مقاومت فشاری نمونه های واقع در محیط های سولفات سدیم با غلظت ۱۰٪ و سولفات منیزیم با غلظت ۱۰٪ پرداختند. نتایج آنها نشان می داد که هر دو محیط سولفات منیزیم و سدیم، باعث کاهش مقاومت نمونه ها می شوند، اما نمونه های قرار گرفته در سولفات منیزیم کاهش مقاومت بیشتری دارند. همچنین تغییر وزن نمونه های قرار گرفته در آب خالص و سولفات سدیم، پس از ۹۰ روز ناچیز بود؛ اما نمونه های واقع در سولفات منیزیم دارای تغییر وزن مشهود بودند. مستوفی نژاد و رئیس به بررسی دوام بتن حاوی پودر سنگ آهک در محیط سولفات پراختند و به این نتیجه رسیدند که بهترین دوام مربوط به بتن حاوی ۱۵٪ پودر سنگ آهک است.

منطقه خلیج فارس

در مناطق ساحلی خلیج فارس آلودگی آب، خاک و اتمسفر به عناصر شیمیایی مضر برای بتن، رطوبت بالا، دما و تشعشعات خورشیدی در حدی است که به روند تخریب سازه ها کمک می کند و سرعت آسیب دیدگی را افزایش میدهد. مطالعات و بررسی های آزمایشگاهی نشان داده است که املاح موجود در آب خلیج فارس از اغلب آبهای جهان بیشتر است. زیاد بودن مقدار کلرید در این آب باعث تخریب انواع سازه های ساحلی و دریایی در این منطقه شده است. مقدار کلرید موجود در

علاوه بر این آب های زیر زمینی PPM3700-3000 و میزان سولفات در آن حدود PPM 2000-2400 آب در حدود در این منطقه شدیداً به یونهای کلرید و سولفات آلوده می باشند دمای هوای منطقه خلیج فارس به علت نزدیکی به خط استوا، در گرمترین ماههای سال حداکثر بین ۳۷ تا ۴۱ درجه سانتیگراد متغیر باشد. البته دمای سطح بتن زیر نور مستقیم خورشید به ۷۰ تا ۷۵ درجه سانتیگراد میرسد. رطوبت نسبی هوا نیز بین ۴۸ تا ۸۱٪ تغییر میکند شکل ۱



شکل ۱: نمایی از خلیج فارس

بنابر آنچه گفته شد میتوان به روشنی دریافت که از دیدگاه دوام سازههای بتنی، شرایط محیطی خلیج فارس به خصوص سواحل آن نسبت به نقاط دیگر دنیا بسیار مهاجم و خورنده بوده و سازه های بتنی زیادی در این منطقه در زمانی نه چندان طولانی دچار خرابی گشته اند، که همین امر اهمیت توجه به پدیده خوردگی و انتخاب روشهای بهینه مقابله با آن را مشخص می نماید. یادآور می شود در صورت استفاده از مصالح مناسب و نیز طرح بتن با مشخصات فنی ویژه این مناطق، اجرای بتن توسط افراد کارداران و سرانجام عمل آوری مناسب و کافی، بسیاری از مسائل بتن بر طرف خواهد گشت بر همین اساس آیین نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان در سال ۱۳۸۴ توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن برای ساخت و کنترل بتن در این مناطق تدوین و پیشنهاد شده است.

آزمون جذب آب موئینه بتن

در سال ۱۳۸۳، در طرح توسعه اسکله شهید رجایی بندرعباس که توسط مؤسسه مکیان انجام گرفته، آزمایش جذب آب موئینه بتن به عنوان شاخص اصلی دوام بتن ساخته شده در این پروژه ملی استفاده شده است براساس این آزمون، نتایج بر روی یک آزمون ۷ روزه در عرض ۲۴ الی ۴۸ ساعت به دست می آید. این آزمون به دلیل سرعت بالا و کم هزینه بودن، برای کنترل سازه های دریایی گسترش زیادی یافته است. هم اکنون در کشورهای عربی حاشیه خلیج فارس نیز این آزمون برای کنترل پایایی بتن استفاده می شود.

کنترل دوام بر اساس آیین نامه ملی پایایی بتن

بر اساس آیین نامه ملی پایایی بتن، شرایط محیطی در سه حالت کلی متوسط، شدید و فوق العاده شدید تقسیم بندی شده است (جدول ۱). در این آیین نامه مقادیر مجاز برای سه آزمون جذب آب، نفوذ آب تحت فشار و نفوذ تسریع شده یون کلرید به صورت زیر ارائه شده است. جدول ۲

جدول ۱: دسته بندی شرایط محیطی سازه بتنی

طبقه بندی	دسته بندی	شرایط
متوسط	A	سازه های روزمینی که در معرض خطر نفوذ یون کلرید بر اثر وزش باد های دارای یونهای نمک نیستند
شدید	B	سازه های روزمینی در نواحی نزدیک به ساحل و در معرض باد های دارای یونهای کلرید

C	قسمت هایی از سازه که در تماس با خاک است و بالای ناحیه موئینگی خاک واقع شده است. و یا قسمت هایی که دائماً در زیر آب دریا واقع هستند	فوق العاده شدید
D	قسمت هایی از سازه که در تماس با خاک مهاجم است و در زیر سطح آب زیرزمینی واقع شده است	
E	سازه های دریایی (دارای قسمتهایی در ناحیه جزر و مدی و ناحیه پاشش)	
F	سازه های نگهدارنده آب و تصفیه خانه فاضلاب	

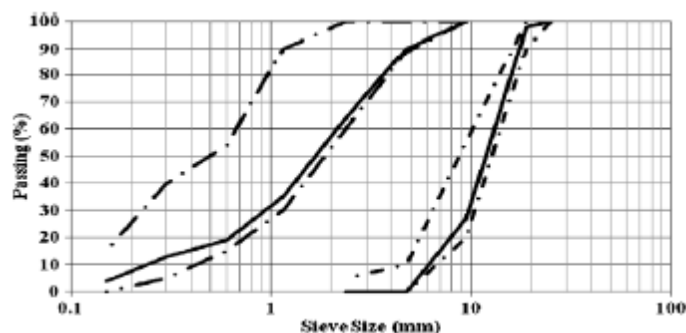
جدول ۲: مقادیر مجاز برای سه آزمون جذب آب، نفوذ آب تحت فشار و نفوذ تسریع شده یون کلرید

شرایط D,E,F	شرایط B,C	شرایط A	نام آزمون
حداکثر ۲٪	حداکثر ۳٪	حداکثر ۴٪	آزمون جذب آب نیم ساعته (BS1881,part122,1983)
حداکثر ۱۰ میلیمتر	حداکثر ۳۰ میلیمتر	حداکثر ۵۰ میلیمتر	نفوذ آب در بتن (EN BS 12930-8:2000)
حداکثر ۲۰۰۰ کولمب	حداکثر ۳۰۰۰ کولمب	حداکثر ۳۰۰۰ کولمب	نفوذ یون تسریع شده کلرید در بتن (ASTM C1202 ,1994)

روش انجام کار

مصالح مصرفی:

۱-سنگدانه مورد استفاده در این پروژه آزمایشگاهی ماسه مصرفی، ماسه طبیعی شسته با میزان جذب آب ۲,۷۵ درصد وزنی و شن مصرفی، شن شکسته با حداکثر قطر سنگدانه ۲۵ میلیمتر با میزان جذب آب ۱,۹ درصد وزنی می باشد. همچنین وزن مخصوص در حالت اشباع با سطح خشک شن و ماسه به ترتیب برابر 2570 Kg/m^3 و 2510 Kg/m^3 است. دانه بندی سنگدانه های مورد استفاده در ساخت نمونه های بتنی، در ناحیه مورد قبول استاندارد ایران برای دانه بندی با حداکثر قطر سنگدانه ۲۰ میلیمتر قرار دارد که در نمودار (۱) قابل مشاهده است.



نمودار ۱: منحنی دانه بندی سنگدانه

۲-سیمان و پودر سنگ آهک

سیمان استفاده شده، سیمان تیپ ۴۲۵-۱ می باشد. سنگ آهک نیز از معدن کارخانه می شود. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این مصالح در جدول (۳) قابل مشاهده می باشد. پودر سنگ آهک مصرفی در این تحقیق، ملاحظات قید شده در استاندارد سیمان پرتلند آهکی ایران را برآورده می نماید.

جدول ۳: مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان و پودر سنگ آهک مصرفی

مشخصات	سیمان	پودر سنگ آهک
CaO(%)	61/5	54/77
SiO ₂ (%)	21/5	1/47
MgO(%)	4/8	0/3
Al ₂ O ₃ (%)	3/68	0/22
Fe ₂ O ₃ (%)	2/76	0/29
SO ₃ (%)	2/5	0/06
K ₂ O(%)	0/95	0/08
Na ₂ O(%)	0/12	0/05
TiO ₂ (%)	0/04	0/05
P ₂ O ₅ (%)	0/23	0/01
LOI(%)	1/35	42/23
C ₃ S(%)	51	-
C ₂ S(%)	23	-
C ₃ A(%)	5	-
C ₄ AF(%)	8	-
خلوص سنگ آهک (%)	-	97/8
مقدار کربن آلی (%)	-	0/05
مقدار رس با استفاده از روش آزمون جذب متیلن بلو (%)	-	-
بلین (نرمی) (m ² /kg)	320	330
وزن مخصوص (t/m ³)	3/21	2/69

۳- طرح اختلاط

در این برنامه آزمایشگاهی به منظور مطالعه دوام بتن‌ها در برابر حمله سولفاتی استفاده می‌شود. نسبت آب به سیمان را 0/3 تا 0/4 و در نظر می‌گیریم. از آنجا که بتن‌های با نسبت آب به سیمان 0/4 و کمتر، جزء بتن‌های با مقاومت زیاد به شمار می‌روند و از طرفی آیین نامه خاصی برای طرح اختلاط بتن با مقاومت زیاد وجود ندارد، در ساخت نمونه‌ها از توصیه‌های ACI 363R و aci2114r-93 و همچنین روش‌های ارائه شده توسط اکامورا استفاده می‌کنیم.

ساخت نمونه‌ها

در طرح‌های اختلاط، از مواد فوق روان‌کننده تا اندازه‌ای استفاده شده که اسلامپ در حد ۸۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر باشد. در ساخت نمونه‌ها از پودر سرباره و پودر سنگ آهک با نرمی در حدود سیمان تیپ I (220 Kg/m²) در جدول (۴) مقدار مصالح استفاده شده در طرح‌های اختلاط نشان داده شده است. در این جدول متغیرهای FA, CA, LP, SL, C, W/CM و S_{liquid} به ترتیب بیانگر نسبت آب به مواد سیمان، وزن سیمان، سرباره، پودر سنگ آهک، وزن درشت دانه، ریزدانه و فوق روان‌کننده مایع هستند. همچنین نماد W_{modified} بیانگر مقدار آب اضافه شده به مخلوط و با منظور کردن حالت تقریباً خشک دانه هاست. در جدول (۴) همچنین مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن با F_c نشان داده شده و به ازای هر طرح اختلاط بیان شده است.

جدول ۴: درصد تغییر وزن نمونه‌ها پس از ۷۰ و ۱۴۰ روز نسبت به روز اول

طرح اختلاط	W/CM	C	SL	LP	CA	FA	W _{modified}	S _{liquid}	f _c (MPa)
H1	0/3	530	0	0	1107	614	159	15/60	79
H2	0/3	450/5	0	80	1108	601	159	12	77/3
H3	0/3	371	0	159/0	1108	588	161	11/62	77/8

77/21	15/21	158/4	606/4	1107	0	53	477	0/3	H4
76/2	13/55	157/7	599/54	1107/31	0	106	424	0/3	H5
73/1	10/47	159/2	588/5	1107/61	79/7	106	344/5	0/3	H6
71/3	11/00	162/3	718	1106/7	0	0	400	0/4	H7
68/7	9/12	162/6	708	1106/9	61/3	0	340	0/4	H8
65/6	8/42	163/3	699/1	1107/2	121/4	0	280	0/4	H9
63/7	7/80	163/0	707/9	1106/6	0	80	320	0/4	H10
61/6	8/55	162/5	699/2	1106/9	60	80	320	0/4	H11
63/8	8/32	162/7	703/7	1107/2	60	40	300	0/4	H12
53/7	8/70	164/3	775/8	1107/3	48/4	0	272	0/5	H13
49/7	7/60	163/2	773/2	1107/3	48	32	240	0/5	H14
46/9	7/22	163/7	768/2	1107/2	96	32	192	0/5	H15
52/10	7/32	164/7	774/8	1107/2	0	64	256	0/5	H16
48/1	6/82	164/1	768/2	1107/3	47	64	208	0/5	H17
40/8	6/32	165/1	762/3	1107/6	92	64	160	0/5	H18

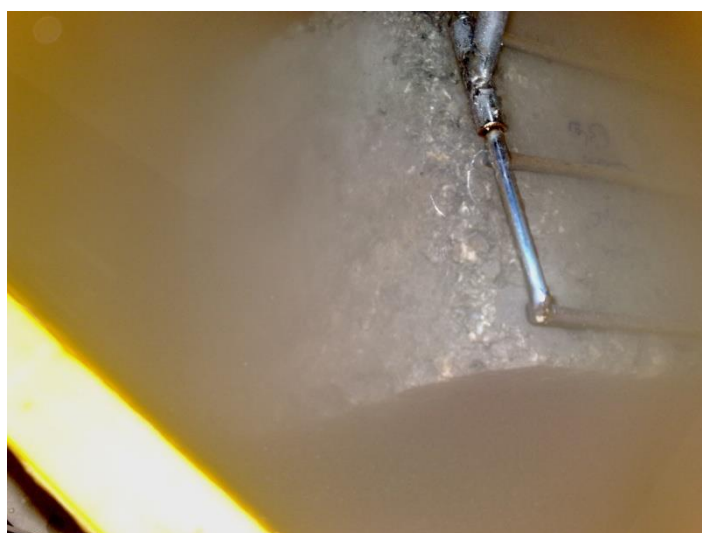
آزمایش ها

به منظور بررسی اثرات یون سولفات بر بتن به صورت تشدید شده در آزمایشگاه و در زمان کوتاه، از محلول سولفات منیزیم با غلظت ۵٪ و نیز محلول سولفات سدیم ۵٪ استفاده شد.

نتایج آزمایش

خوردگی نمونه ها

خوردگی نمونه های بتنی غوطه ور در منیزیم در ابتدا با تشکیل برخی ترک در لبه های مکعب که منجر به فرو ریختن سطح بتن در طول زمان، می شود. هر چند هیچ ترک قبل از ۷۰ روز قرار گرفتن در معرض سولفات دیده نمی شد. اما در مدت ۱۴۰ روز قرارگیری نمونه در معرض سولفات ترک از خود نشان می دهد. فضای کافی بین نمونه ها با استفاده از شبکه پلاستیکی مناسب که باعث می شود هوا بتواند وارد شود. این شبکه پلاستیکی باعث می شود آب و هوا در محلول حرکت کنند و مانع به هم چسبندگی نمونه ها می شود. شکل ۲



شکل ۲: شبکه های پلاستیکی به عنوان جدا کننده بین نمونه ها استفاده می شود

برخی از تورم بر روی نمونه ها که با توجه به نسبت آب به سیمان (W/C) و در تعداد متفاوت آب به سیمان است، پوزولانی هامواد افزودنی به نسبت سیمان ها تولید می شود. تعداد و اندازه تورم در طول زمان در چنین مرحله ای است که تشدید شده و باعث افزایش فرو ریختن بتن می شود شکل ۳.



شکل ۳: نمونه غوطه ور ۷۰ روزه در محلول سولفات منیزیم

یک نمونه در مدت ۱۴۰ و ۷۰ روز از قرار گرفتن در معرض محلول سولفات منیزیم ۵٪ نشان می دهد. به طور کلی، در برابر خوردگی بیشتر در مرحله ای با غلظت سولفات منیزیم بالاتر آشکار می شود. شکل ۴



شکل ۴: نمونه با طرح اختلاط پس از ۱۴۰ روز قرار گرفتن در معرض سولفات منیزیم

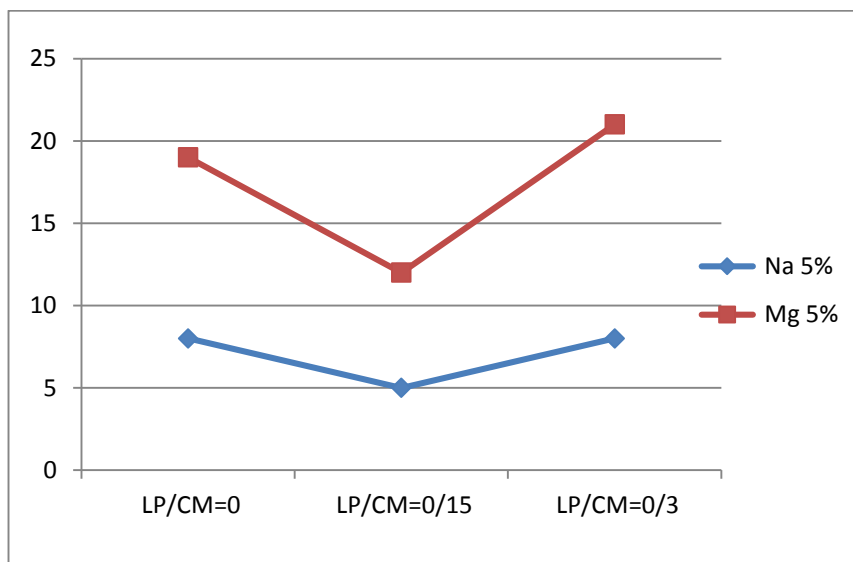
با دقت در نمودارهای ۲ و ۳ برای نمونه های قرار گرفته در سولفات سدیم ۵٪، مشاهده می شود که با افزایش نسبت سرباره به مواد سیمانی، درصد کاهش مقاومت فشاری افزایش می یابد. این عملکرد نامناسب سرباره در مقاومت فشاری نمونه های واقع در سولفات سدیم را می توان ناشی از کاهش مقدار سیمان و در نتیجه تولید ژل سیمان کمتر دانست. اما در نمونه های واقع در محیط های سولفات منیزیم، بیشترین درصد کاهش مقاومت فشاری به ترتیب متعلق به بتن بدون سرباره، بتن با ۲۰٪ سرباره جایگزین سیمان و بتن با ۱۰٪ سرباره جایگزین سیمان است که نشان دهنده عملکرد مناسب سرباره در نمونه های قرار گرفته در سولفات منیزیم است. این امر به علت واکنش سرباره با هیدروکسید کلسیم و در نتیجه کاهش مقدار آن در بتن است، زیرا سولفات منیزیم میل ترکیبی به مراتب بیشتری با هیدروکسید کلسیم موجود در بتن داشته و تولید سولفات کلسیم می کند که واکنش انبساطی آن منجر به تخریب بتن می شود.

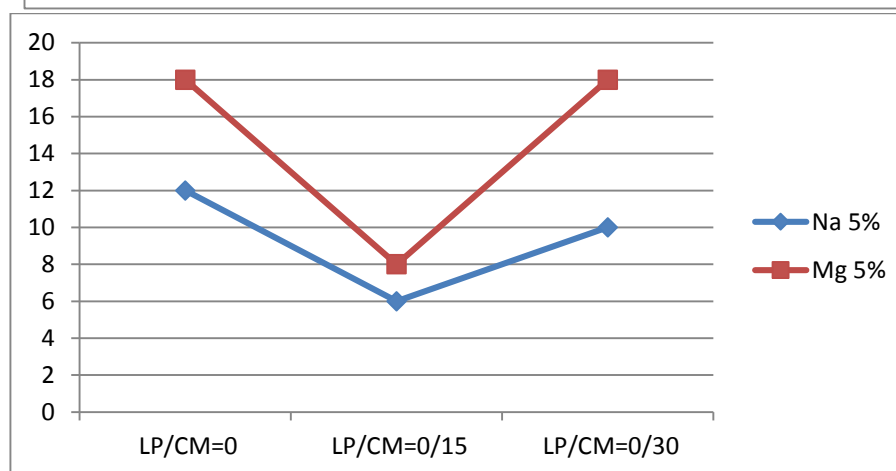
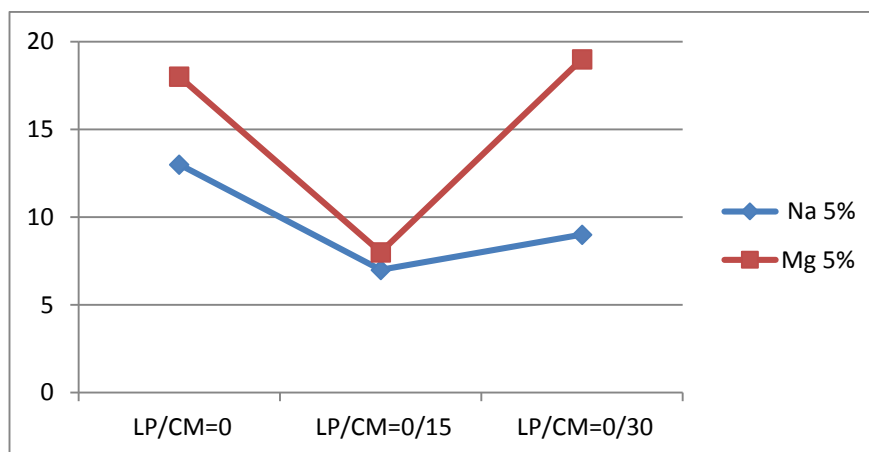
پارامترهای دیگری که جهت بررسی دوام نمونه ها استفاده شد، میزان تغییر وزن نمونه های بتنی است. در جدول (۵) درصد تغییر وزن تمامی بتن های قرار گرفته در محیط های سولفات سدیم ۵٪ سولفات منیزیم ۵٪ و آب خالص پس از ۷۰ و ۱۴۰ روز، آورده شده است. با دقت در جدول (۵) میتوان مشاهده کرد که کلیه نمونه های قرار گرفته در تمامی محیط ها، در ۱۴۰ روز اول افزایش وزن یافته اند. این امر می تواند به دلیل انجام واکنش های هیدراتاسیون در طی این مدت باشد. برای نمونه های واقع در محیط های حاوی سولفات، بیشترین افزایش وزن متعلق به بتن های با ۲۰٪ سرباره، بتن های بدون سرباره و بتن های با ۱۰٪ سرباره است. جهت بررسی اثر سولفات در کاهش وزن نمونه ها، درصد افزایش وزن نمونه های قرار گرفته در آب خالص از درصد افزایش وزن نمونه های قرار گرفته در محیط های سولفات کم شد. نتایج نشان می داد که تمامی نمونه های قرار گرفته در محیط سولفات منیزیم ۵٪ در دو زمان ۷۰ و ۱۴۰ روز، نسبت به نمونه های

مشابه قرار گرفته در آب خالص دارای کاهش وزن بودند که نشان دهنده انجام واکنش های خورنده است. اما نمونه های قرار گرفته در محیط سولفات سدیم تا ۷۰ روز اول، نسبت به نمونه های مشابه قرار گرفته در آب خالص دارای افزایش وزن بوده، و پس از ۱۴۰ روز نیز کاهش وزن کمتری نسبت به نمونه های قرار گرفته در محیط سولفات منیزیم داشته اند. این امر نشان می دهد از نظر کاهش وزن نیز محیط سولفات منیزیم، خورنده تر از سولفات سدیم است. بیشترین میزان کاهش وزن برابر ۲/۱۸ درصد و متعلق به نمونه بتنی H_{26} است.

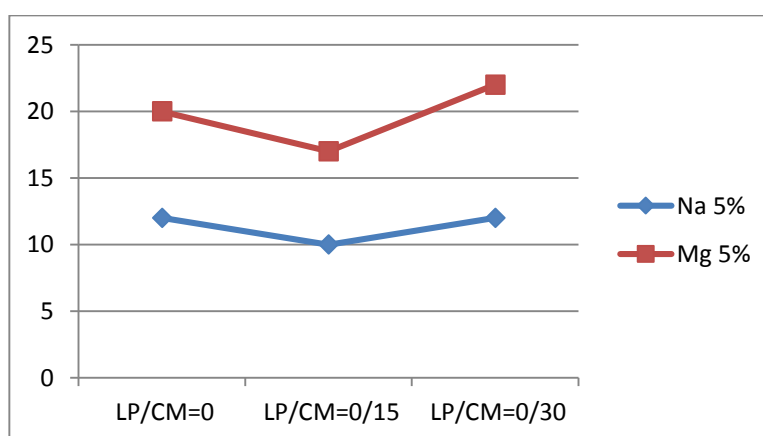
جدول ۵. مصالح مورد استفاده در طرح های اختلاط (kg/m^3) و مقاومت فشاری ۲۸ روزه

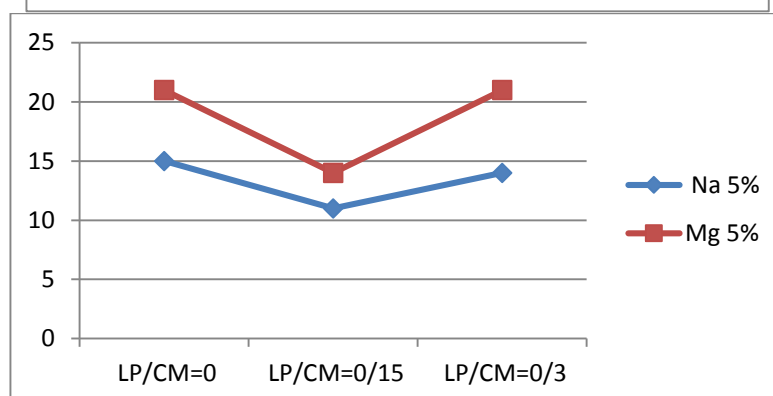
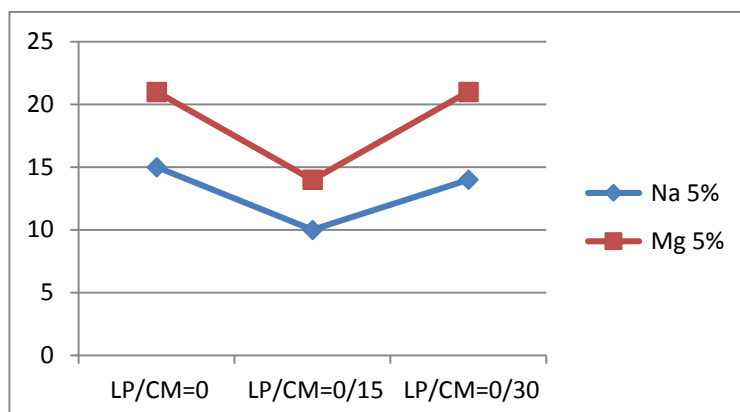
محیط آب خالص		سولفات سدیم ۵%		سولفات منیزیم ۵%		طرح اختلاط
140 day	70 day	140 day	70 day	140 day	70 day	
1/42	0/37	1/98	0/37	0/59	0/27	H1
1/98	0/46	2/07	0/42	0/67	0/34	H2
2/07	0/54	2/28	0/53	0/78	0/37	H3
1/23	0/34	1/94	0/36	0/54	0/26	H4
1/81	0/65	2/19	0/64	0/67	0/41	H5
2/61	0/82	2/32	0/74	0/71	0/47	H6
2/43	0/58	2/53	0/82	0/98	0/47	H7
1/95	0/47	2/41	0/70	0/95	0/42	H8
2/78	0/76	2/44	0/75	1/12	0/73	H9
2/43	0/55	2/96	1/67	1/19	0/68	H10
2/92	0/89	2/67	0/86	1/24	0/78	H11
2/61	0/74	3/34	1/62	1/41	0/73	H12
2/81	0/98	3/31	1/67	1/52	0/84	H13
2/32	0/69	3/11	1/47	1/23	0/84	H14
2/58	0/87	3/19	1/61	1/41	0/94	H15
3/42	0/91	3/05	1/79	1/35	0/96	H16
3/57	0/97	3/23	1/94	1/42	1/12	H17
3/61	1/12	3/37	2/12	1/58	1/34	H18



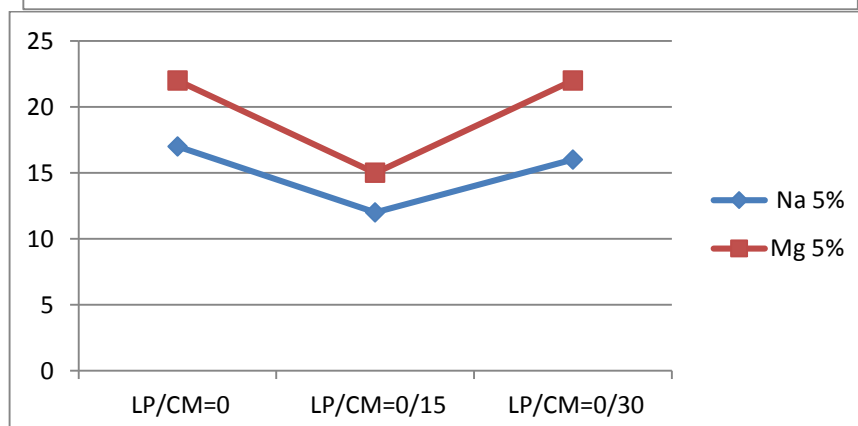
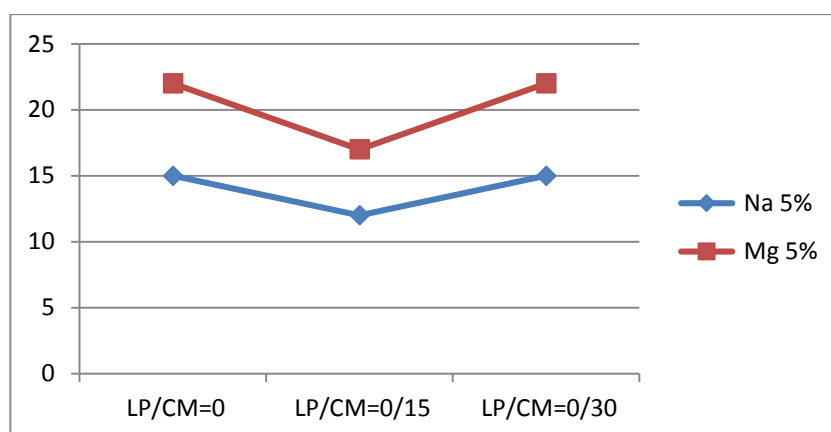


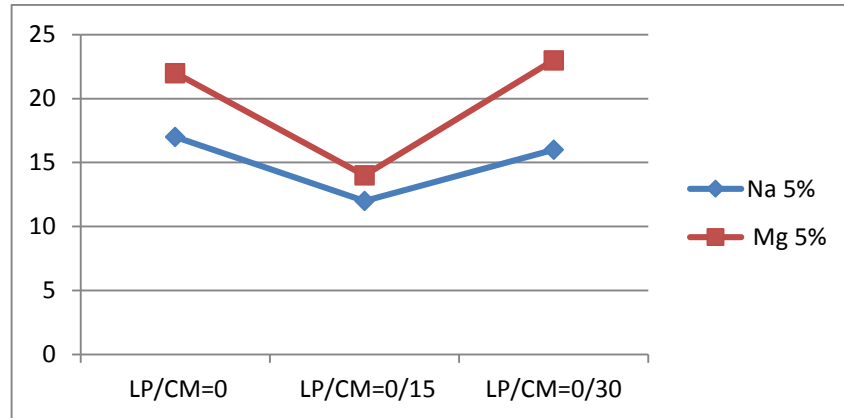
نمودار ۲: درصد کاهش مقاومت فشاری بتن های با نسبت های مختلف LP/C و SL/C برای حالت (نسبت آب به سیمان) = 0.30
 W/C قرار گرفته در محیطهای سولفات سدیم و منیزیم بعد از 140 day





نمودار ۳: درصد کاهش مقاومت فشاری بتن های با نسبت های مختلف LP/C و SL/C برای حالت (نسبت آب به سیمان) $W/C=0.4$ قرار گرفته در محیطهای سولفات سدیم و منیزیم بعد از 140 day





نمودار ۴: درصد کاهش مقاومت فشاری بت نهایی با نسبت های مختلف LP/C و SL/C برای حالت (نسبت آب به سیمان) $W/C=0.5$ قرار گرفته در محی طهای سولفات سدیم و منیزیم بعد از 140 day

نتیجه گیری

در این مقاله، تاثیر غلظت سولفات منیزیم و سولفات سدیم بر دوام بتن های حاوی میکرو سیلیس، سرباره و پودر سنگ آهک به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مصرفی و افزایش بیشتر دوام بتن در این محیط ها (سولفات منیزیم و سولفات سدیم) از ۱۸ طرح اختلاط استفاده شد.

نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر می باشد:

- ۱- از نظر کاهش مقاومت در محیط سولفات سدیم ، اضافه کردن سرباره باعث کاهش دوام بتن می شود. اما در محیط سولفات منیزیم، افزایش ۱۰ درصدی سرباره سبب بهبود دوام نمونه ها می شود.
- ۲- از نظر تغییر وزن ، استفاده از ۱۰ درصد سرباره به تخریب و کاهش وزن کمتر نمونه ها منجر شده و سبب بهبود دوام نمونه ها شد.
- ۳- از نظر کاهش مقاومت و تغییر وزن ، سولفات منیزیم مخرب تراز سولفات سدیم است.
- ۴- سیمان های آمیخته آهکی حاوی ۱۰ پودر سنگ آهک خصوصیات قابل رقابتی را در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی دارا می باشند.

قدردانی

بدین وسیله از اساتید محترم رشته ی مهندسی عمران دانشگاه خلیج فارس بوشهر که در طول انجام این پروژه همکاری های لازم را به عمل آورده اند تشکر به عمل می آید.

منابع و مراجع

- [۱] مستوفی نژاد، داود و رئیسی، محمد " بررسی دوام بتن حاویپودر سنگ آهک در محی طهای سولفاتی و کلروری "ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، جلد دوم، دانشگاه صنعتی اصفهان، اردیبهشت ۱۳۸۲، ص ۳۵۱-۳۸۵.
- [2] Bonavetti, V. Donza, H. Rahhal, V. Irassar, EF.; "High strength concrete with limestone filler cements", In: Malhotra VM et al., editors. High performance concrete and performance and quality of concrete structures, vol. 186. Farmington Hill (MI USA): ACI Special Publication; p. 567-80, 1999.
- [3] Bonavetti, V. Donza, HA. Menendez, G. Cabrera, OA. Irassar, EF.; "Limestone filler cement in low w/c concrete a rational use of Energy", Cem Concr Res; 33(6): p. 865-71, 2003.
- [4] Cyr, M. Lawrence, P. Ringot, E.; "Efficiency of mineral admixtures in mortars: quantification of the physical and chemical effects of fine admixtures in relation with compressive strength", Cem Concr Res; 36(2): p.264-77, 2006.
- [5] O. Rasheeduzzafar, S. Al-Amoudi, M. Abduljauwad, Maslehuddin, plain and blended cements, J. Mater. Civ. Eng. 6 (2) (1994) 201-222.
- [6] A. Neville, The confused world of sulfate attack on concrete, Cem. Concr. Res34 (8) (2004) 1275-1296.
- [7] M. Collepardi, Ettringite formation and sulfate attack on concrete, in: Proceeding of Fifth CANMET/ACI International Symposium on Recent Advances in Concrete Technology Singapore, SP 200, 2001, pp. 21-38 (29 July-1 August).
- [8] E. Rozière, A. Loukili, R. El Hachem, F. Grondin, Durability of concrete exposed to leaching and external sulphate attacks, Cem. Concr. Res. 39 (12) (2009) 1188-1198.
- [9] B. Tian, M.D. Cohen, Does gypsum formation during sulfate attack on concrete lead to expansion?, Cem Concr. Res. 30 (1) (2000) 117-123.
- [10] J. Bensted, J. Munn, A discussion of the paper "Durability of the hydrated limestone-silica fume Portland cement mortars under sulphate attack" by J. Zeliæ, R. Krstuloviæ, E. Tkalc'ec and P. Krolo1, Cem. Concr. Res. 30 (8) (2000) 1333-1334.
- [11] A. Skaropoulou, K. Sotiriadis, G. Kakali, S. Tsvilis, Use of mineral admixtures to improve the resistance of limestone cement concrete against thaumasite form of sulfate attack, Cement Concr. Compos. 37 (2013) 267-275.
- [12] A. Schöler, B. Lothenbach, F. Winnefeld, M. Zajac, Hydration of quaternary Portland cement blends containing blast-furnace slag, siliceous fly ash and limestone powder, Cement Concr. Compos. 55 (2015) 374-382.
- [13] J.-K. Chen, M.-Q. Jiang, Long-term evolution of delayed ettringite and gypsum in Portland cement mortars under sulfate erosion, Constr. Build. Mater. 23 (2) (2009) 812-816.
- [14] M. Sahmaran, O. Kasap, K. Duru, I.O. Yaman, Effects of mix composition and water-cement ratio on the sulfate resistance of blended cements, Cement Concr. Compos. 29 (3) (2007) 159-167.
- [15] E.E. Hekal, E. Kishar, H. Mostafa, Magnesium sulfate attack on hardened blended cement pastes under different circumstances, Cem. Concr. Res. 32 (9) (2002) 1421-1427.
- [16] O.S. Baghabra Al-Amoudi, Attack on plain and blended cements exposed to aggressive sulfate environments, Cem. Concr. Compos. 24 (3-4) (2002) 305-316.
- [17] Y.-S. Park, J.-K. Suh, J.-H. Lee, Y.-S. Shin, Strength deterioration of high strength concrete in sulfate environment, Cem. Concr. Res. 29 (9) (1999) 1397-1402.
- [18] M. Heidari-Rarani, M.R.M. Aliha, M.M. Shokrieh, M.R. Ayatollahi, Mechanical durability of an optimized polymer concrete under various thermal cyclic loadings – an experimental study, Constr. Build. Mater. 64 (2014) 308-315.
- [19] Q. Zhou, J. Hill, E.A. Byars, J.C. Cripps, C.J. Lynsdale, J.H. Sharp, The role of pH in thaumasite sulfate attack, Cem. Concr. Res. 36 (1) (2006) 160-170.

- [20] X. Brunetaud, M.-R. Khelifa, M. Al-Mukhtar, Size effect of concrete samples on the kinetics of external sulfate attack, *Cement Concr. Compos.* 34 (3) (2012) 370–376.
- [21] S.M.S. Hashemi, Experimental study on mechanical properties of different lightweight aggregate concretes, *Eng. Solid Mech.* 2 (3) (2014) 201–208.
- [22] M. Zhang, J. Chen, Y. Lv, D. Wang, J. Ye, Study on the expansion of concrete under attack of sulfate and sulfate–chloride ions, *Constr. Build. Mater.* 39 (2013) 26–32.
- [23] Bonen, D., and Cohen, M. D. (1992) "Magnesium sulfate attack on Portland cement paste – I. Microstructure analysis", *Cement and Concrete Research*, Vol. 22, pp. 169-180.
- [24] Santhanam, M., Cohen, M. and Olek, J. (2002) "Modeling the effect of solution temperature and concentration during sulfate attack on cement mortars", *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 585-592.
- [25] Young-Shik, P., Jin-kook, S., Jae-Hoon, L. and Young-Shik, P. (2002) "Strength deterioration of high strength concrete in sulfate environment", *Cement and Concrete Research*, Vol. 24, pp. 305-316.
- [26] ACI Committee 211 (1998) "Guide for selecting proportion for high-strength concrete with Portland cement and fly ash", ACI 211.4R.93, American Concrete Institute, 13 pp.
- [27] Okamura, H. (1996) "Self - compacting high-performance concrete", *Concrete International*, November, pp. 50-54.
- [28] BHRC NO. S-428, (2005), National code of Practice for Concrete Durability in the Persian Gulf and Omman Sea, "In persian".
- [29] BHRC NO. R-434, (2006), Assessing Concrete Durability with Different Cements and Pozzolans in Persian Gulf and Environment, "In persian".
- [30] Gholami, A. and Mohammadi Pour M., (2011), Evaluate the effective factors on concrete capillary as indicators of the durability in coastal areas, 3th National Conference of Concrete, Tehran, Iran, "In persian".
- [31] Fuggerlund, G., (1982), On the capillarity of concrete, *Journal of Nordic concrete Research*, No. 1.