بررسی آزمایشگاهی خواص مکانیکی بتن سبک وخوردگی میلگرد آن جهت کاربرد در سازه‌های ساحلی و فراساحلی

محمد جواد کتابداری[۱*]، رضا کوکبی سیوکی[۲]

[۱] دانشیار، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ketabdar@aut.ac.ir
[۲] کارشناس ارشد سازه‌های دریایی، مهندسی عمران،دانشگاه هرمزگان، kokabi1118@gmail.com

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۲۳
تاریخ انتشار مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

کلمات کلیدی:
بتن سبک
لیکا
مقاومت فشاری
خوردگی میلگرد
سازه‌های دریایی

چکیده

در کشورهای مختلف از سبکدانه لیکا برای تولید بتن‌های سبک سازه‌ای و نیمه سازه‌ای استفاده می‌شود. در ایران از این سبکدانه معمولاً برای ساخت بتن‌های سبک پرکننده و تولید بلوک‌ها و دیوارهای سبک ساختمانی استفاده می‌گردد. در این تحقیق جهت ساخت بتن از این نوع لیکا استفاده گردید وسعی شده با بررسی‌های آزمایشگاهی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی، علاوه بر تهیه بتن‌های سبک سازه‌ای، امکان تهیه بتن سبکدانه بامقاومت بالا نیز بررسی شود تا بتوان به کمک این اطلاعات امکان کاربردی کردن این بتن‌ها را در پروژه‌های دریایی فراهم نمود.

بتن‌های نیمه سبکدانه سازه‌ای با عیار زیاد با استفاده ازلیکا، ماسه معمولی، ژل میکروسیلیس (ترکیب دوده سیلیسی و فوق روان‌کننده) و سیمان تیپ دو ساخته شد. سپس ویژگیهای مختلفی مانند، وزن مخصوص مصالح، مقاومت سایشی، مقاومت فشاری، وزن مخصوص بتن تازه و سخت شده، و شدت خوردگی میلگردها با مقایسه پتانسیل خوردگی میلگرد، بین بتن ساخته شده با لیکا و بتن معمولی بدست آمد. نتیجه این بررسی‌ها مشخص کرد که بتن ساخته شده با لیکا درمحدوده تعریف بتن سبک بوده و می‌توان از آن بعنوان بتن مناسب سازه‌ای و نیمه سازه ای استفاده کرد. همچنین مشخص گردید بتن‌های نیمه سبکدانه از نظر دوام در محیطهای خورنده می‌توانند به خوبی بتن‌های معمولی و حتی بهتر از آن باشند و در ساخت سازه‌های دریایی کنار ساحل و فراساحل مورد استفاده قرار گیرند.

Experimental Assessment of Mechanical Properties and Corrosion of Reinforced Steel Bars in Lightweight Concrete for Application in Onshore and Offshore Structures

Mohammad Javad Ketabdari [1*], Reza Koukabi Siuki[2]

[1] Associate Professor, Faculty of Marine Technology, Amirkabir University of Technology
[2] Msc in Marine Structures, Civil Engineering Group, Hormozgan University

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 31 May. 2013
Accepted: 13 Jan. 2015
Available online: 11 Mar. 2015

Keywords:
Lightweight concrete
Leca
Compressive strength
Steel bar corrosion
Marine structures

ABSTRACT

Leca lightweight particles are used for structural and semi structural concrete in different countries. In Iran it is usually used as Mass lightweight concrete, blokes and partitions. In this research an experimental work carried out using Leca concrete to assess its physical and mechanical properties and possibility of constructing high strength lightweight concrete to use as structural element in marine environment.

Using leca, microsilica gel (silica soot plus super plasticizer) and cement type II, structural high cement content semi lightweight concrete was constructed. Then different characteristics such as specific weight, percentage of abrasion strength, compressive strength, specific gravity of fresh and hard concrete and intensity of bare steel bar corrosion by comparing bar corrosion potential in lightweight and ordinary concrete was obtained. The results show that the leca concrete is in the range of lightweight concrete and is suitable as semi structural and structural element. Furthermore it is found that this kind of lightweight concrete in corrosive environment behaves similar to or better than ordinary concrete. Therefore it can be used in onshore and offshore structures.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.1.6]

۱- مقدمه

بتن سبک را با روش‌های مختلفی تولید می‌کنند. برای داشتن بتن سبک سازه‌ای و پرمقاومت، سبکدانه‌ها به عنوان جایگزین بخشی از سنگدانه‌های معمولی یا همه آن به کار می‌رود. از جمله سبکدانه‌های مصنوعی، رس منبسط شده است که اغلب لیکا نامیده می‌شود. در کشورهای مختلف با لیکا، بتن‌های تمام سبکدانه یا نیمه سبکدانه سازه‌ای را می‌سازند. در ایران لیکای سبک تولید می‌شود. لیکای ایران معمولاً برای ساخت بتن‌های تمام سبکدانه یا نیمه سبکدانه سازه‌ای بکار نمی‌رود بلکه برای ساخت بتن‌های پرکننده، شیب‌بندی بام‌ها و نهایتاً ساخت بلوک‌های سبک که کاربرد نیمه سازه‌ای دارد، استفاده می‌شود. انتظار می‌رود بکارگیری بتن‌های سبک سازه‌ای در دنیا گسترش یابد و به تبع با توجه به اینکه از اواخر سال ۸۵ در ایران اقدام به تولید لیکای سازه‌ای شده است در آینده نزدیک بتوانیم شاهد ساخت بتن سبکدانه سازه‌ای باشیم. امروزه ساخت این گونه بتن‌های سبکدانه سازه‌ای و پر مقاومت با بکارگیری دوده سیلیسی و فوق روان‌کننده‌ها مقدور است. از آن جا که گسترش و توسعه کاربرد بتن سبکدانه سازه‌ای حاوی لیکا، در گرو شناخت خواص فیزیکی و مکانیکی و دوام آن‌ها است، نیاز به بررسی و ارزیابی این خواص و ایجاد رابطه بین آن‌ها برای استفاده محققین است. هدف این تحقیق، ساخت بتن‌های نیمه سبکدانه سازه‌ای پر مقاومت با لیکاو ژل میکروسیلیس و سپس بررسی و ارزیابی خواص آن شامل روانی، وزن مخصوص بتن تازه و سخت شده، مقاومت فشاری، وزن مخصوص انبوهی مصالح، جذب آب حجمی، جذب آب موئینه، با بتن معمولی است که قسمتی از نتایج در این مقاله آمده است.

۲- خواص سبک دانه لیکا

برخی از رس‌ها در صورتی که سریعا گرما داده شوند حجم‌شان ۵ تا ۶ برابر افزایش می‌یابد و ساختارشان متخلخل می‌گردد این تغییرات به خاطر تولید وحبس گازها دردمای بالا وناشی از واکنش کربنات‌ها، سولفیدها وتجزیه ترکیبات محتوی آب و ترکیبات عالی است. انبساط عمدتا به خاطر تجزیه یا کاهش اکسیدهای آهن است [۱]. با استفاده از دانه‌های لیکا می‌توان بتن را با جرم حجمی ۱۳۰۰تا $1650\ Kg/m^3$ ومقاومت فشاری ۱۰/۵تا ۲۶MPa ساخت که می‌توان از آن در ساخت قطعات نیمه سازه‌ای وسازه‌ای استفاده کرد. دستیابی به مقاومت‌های قابل قبول سازه‌ای بدون کاربرد افزودنی‌های بتن تنها با مقادیر سیمان بیش از $350\ Kg/m^3$ ممکن می‌شود. با کاربرد دانه لیکایی سنگین که به روش خاصی تولید می‌شود می‌توان بتن‌های با مقاومت بالا بیش از ۴۰MPa با جرم حجمی $1800\ Kg/m^3$ساخت. شکل سبکدانه لیکا می‌تواند از تیزگوشه تا کاملاً گردگوشه باشد. اندازه سبکدانه لیکا معمولاً از صفر تا ۲۵ میلی‌متر است. اندازه دانه‌ها تا حدود زیادی به روش تولید بستگی دارد و به این دلیل می‌توان اندازه ذرات را کنترل نمود. هم چنین با سرند کردن دانه‌ها اندازه‌های مختلف را می‌توان از هم جدا کرد. سپس با اختلاط آن‌ها با سهم دلخواه، می‌توان دانه‌بندی مطلوب را بدست آورد. اندازه ذرات سنکدانه و توزیع اندازه ذرات (دانه‌بندی) بر خواص مخلوط بتن تازه و سخت شده تأثیر می‌گذارد. بنابر این دانه‌بندی سبکدانه از اهمیت زیادی برخوردار است[۲]. حداکثر اندازه سبکدانه در کاربردهای نیمه سازه‌ای و سازه‌ای ۱۹، ۱۲/۵ و ۹/۵ میلی‌متر منظور می‌شود که برای بتن‌های پر مقاومت‌تر به ۱۲/۵ یا ۹/۵ میلی‌متر محدود می‌شود. حداکثر اندازه دانه‌ها بر عواملی نظیر کارآیی، نسبت ریزدانه به درشت دانه، عیار سیمان، درصد بهینه هوا، مقاومت نهایی و جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن بتن سبکدانه اثر می‌گذارد [۳].

در کشورهای مختلف گروه‌بندی اندازه‌ای لیکا متفاوت است [۴]. در ایران لیکا به صورت گروه‌های اندازه‌ای (۳-۰)، (۱۰-۳) و (۲۰-۱۰) یا (۲۵-۱۰) میلی‌متر تولید و عرضه می‌گردد [۵]. با کم کردن حداکثر اندازه سبکدانه و افزایش درصد ریزدانه، گرچه افزایش وزن در بتن ایجاد می‌گردد؛ اما مقاومت بتن نیز بیشتر می‌شود. مثلاً اگر حداکثر اندازه از ۲۵ به ۱۶ میلی‌متر کاهش یابد، مقاومت بتن با سبکدانه لیکا حدود ۳۰ درصد افزایش می‌یابد؛ ضمن این که با اضافه کردن ماسه معمولی کارآیی بتن بیشتر شده و مقاومت آن اضافه می‌شود[۶]. مقاومت سبکدانه نقش مهمی در افزایش مقاومت بتن سبکدانه دارد. وزن مخصوص یا چگالی انبوهی لیکا به صورت غیر متراکم و متراکم اندازه‌گیری می‌شود. در همه دستورالعمل‌ها از وزن مخصوص غیر متراکم استفاده می‌گردد؛ اما در دستورالعمل ACI 211-2 برای تعیین نسبت‌های اختلاط بتن سبکدانه، وزن مخصوص انبوهی خشک متراکم با میله برای سبکدانه درشت بکار می‌رود. در تعیین وزن مخصوص انبوهی یا توده‌ای، فضای خالی بین ذرات سبکدانه منظور می‌شود و وزن خشک سبکدانه به حجم پیمانه یا ظرفی که در آن ریخته شده تقسیم می‌گردد. برای ایجاد سبکی بیشتر، علاقه به تولید لیکای سبک در اروپا با وزن مخصوص ۴۰۰-۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب وجود دارد [۲]. وزن مخصوص (چگالی) انبوهی لیکای ایران بدست آمده از منابع مختلف در جدول ۱ دیده می‌شود. صرف نظر از اختلاف در مورد روش تعیین چگالی‌های مختلف برای سبکدانه‌ها، باید گفت چگالی حجمی خشک سبکدانه ۰/۵ تا ۰/۲۵ سنگدانه‌های معمولی است و طبق DIN 4226 مقدار چگالی حجمی خشک نباید بیش از ۲۰ درصد با مقدار اعلام شده اختلاف داشته باشد [۲]. چگالی حجمی خشک لیکا در منابع مختلف بین ۵۰۰ تا ۱۵۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب ذکر شده است [۷و ۵]. برای

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.1.6]

جدول ۱- وزن مخصوص انبوهی خشک لیکای ایران

منبع	مخلوط (۲۵-۰) mm	(۲۰-۱۰) mm	(۱۰-۳) mm	(۳-۰) mm
[۸]	۳۸۰±۳۰	۳۳۵±۳۰	۳۸۵±۳۰	۴۸۵±۳۰
[۹]		۳۳۸	۳۸۳	

جدول ۲- چگالی حجمی خشک و اشباع با سطح خشک لیکای ایران (طبق ASTM)

		(۰-۴/۷۵) mm	(۴/۷۵-۹/۵) mm	(۹/۵-۱۹) mm	(۱۹-۳۸) mm
چگالی حجمی خشک	Kg/m^3		۶۲۳	۵۴۶	۵۳۳
چگالی اشباع با سطح خشک	Kg/m^3		۷۴۷	۶۶۹	۶۵۸

لیکای ایران چگالی حجمی خشک و اشباع با سطح خشک در جدول ۲ آمده است.

جذب آب در ارتباط با منافذ و پوکی درون ذرات است و بر خواص مخلوط بتن تازه و هم چنین خصوصیات هیدراسیون تأثیر می‌گذارد. سبکدانه شکسته شده بیش از سبکدانه نشکسته آب جذب می‌کند. سبکدانه نشکسته ریز کمتر و آهسته‌تر از سبکدانه درشت آب را جذب می‌نماید [۲]. عمل آوری داخلی در بتن سبکدانه عامل مهمی برای کاهش نفوذپذیری به دلیل ایجاد محصولات اضافی هیدراسیون در منافذ و موئینگی‌های منطقه تماس است. باید گفت نسبت آب به سیمان موثر عملاً همواره کمتر از نسبت آب به سیمان در هنگام تعیین کارآیی و قالب گیری بتن است. شکل ۱ آزمایشهای جذب آب را نشان می‌دهد. در جدول ۳ جذب آب لیکای ایران برای دو زمان ۳۰ دقیقه‌ای و ۷۲ ساعته آمده است[۱۰].

۳- مصالح مصرفی و آزمایشهای روانی، عملکرد و مقاومت بتن

مصالح مصرفی برای ساخت بتن‌ها شامل سنگدانه‌های سبک از نوع لیکا با محدوده اندازه اسمی (۱۰-۳) میلی‌متر و (۳-۰) میلی‌متر، سنگدانه‌های معمولی درشت‌دانه (شن) و ریزدانه (ماسه)، سیمان پرتلند نوع دو، ژل میکروسیلیس (دوده سیلیسی + فوق روان‌کننده) و آب است. سبکدانه لیکا تولید شده توسط شرکت ایرانی لیکا در ساخت بتن‌های نیمه سبکدانه بکار رفت. آزمایش‌های زیر بر روی



شکل ۱: قرار دادن نمونه‌های مکعبی داخل آب جهت تعیین جذب آب مو ئینه

جدول ۳- جذب آب لیکای ایران با روش ASTM

		مخلوط (۲۵-۰) mm	(۲۰-۱۰) mm	(۱۰-۳) mm	(۳-۰) mm
جذب آب (٪)	۳۰ دقیقه	۱۸±۲	۱۹±۲	۱۷±۲	۱۵±۲
	۷۲ ساعته	۳۰±۲	۳۰±۲	۳۰±۲	۳۰±۲

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.1.6]

سنگدانه‌های لیکا انجام شد.این آزمایش‌هاطبق استانداردهای مشخص شده زیر صورت پذیرفت:

آزمایش دانه‌بندی طبق استاندارد ASTM C136، آزمایش وزن مخصوص خشک شل طبق استاندارد ASTM C29، آزمایش وزن مخصوص خشک متراکم با میله (برای درشت دانه) طبق استاندارد ASTM C29، آزمایش چگالی و فاکتور چگالی طبق استانداردهای ACI , 128 , ASTM C127، آزمایش جذب آب طبق استانداردهای ACI , 128 , ASTM C127، آزمایش سایش (لوس آنجلس) طبق استاندارد ASTM C131 با دستگاه لوس آنجلس و با دانه‌بندی روش C.

در این روش از ۸ گلوله به وزن تقریبی ۲۰±۳۳۳۰ گرم استفاده و ۲/۵ کیلوگرم لیکای (۹/۵-۶/۳) و ۲/۵ کیلوگرم لیکای (۶/۳-۴/۷۵) بکار رفت. نتیجه این آزمایش یعنی درصد گذشته از الک ۱/۷۰ میلی‌متر برابر ۳۰/۹ درصد تعیین شد. نتایج دانه‌بندی لیکا (۳-۰) و (۱۰-۳) میلی‌متر در جدول۴ مشاهده می‌شود. این دانه‌بندی به صورت وزنی و حجمی ارائه شده است. برای محاسبه توزیع اندازه ذرات به صورت حجمی از چگالی حجمی خشک ذرات لیکا برای اندازه‌های مختلف استفاده شد. هم چنین محدوده استاندارد دانه‌بندی طبق ASTM C330 برای مقایسه آمده است.

سیمان مصرفی در تمام مراحل تحقیق، سیمان پاکتی نوع ۲ مشهد بود. این سیمان در محل آزمایشگاه نگهداری می‌شد. ترکیبی ازدوده سیلیسی بعلاوه فوق روان‌کننده برای تحقیق از شرکت فراورده‌های شیمیایی ساختمان واقع در تهران تهیه گردید. برای آزمایش با درصدهای مختلف، بین ۷٪ تا ۱۰٪ وزن سیمان مورد آزمایش قرار گرفت. بهترین حالت جهت ساخت نمونه‌های آزمایشی ۱۰٪ وزن سیمان مصرفی در نظر گرفته شد. با توجه به لزوم مصرف ماده افزودنی کاهش دهنده قوی آب بتن، از یک ماده فوق روان‌کننده به نام MS-1 به میزان ۰/۰۶ ٪ وزن سیمان مصرفی در طرح اختلاط آزمایشگاهی استفاده شد مصالح فوق تولید شرکت فرآورده‌های شیمیایی ساختمان است. آب مصرفی و آب عمل آوری بتن‌ها از شبکه آب آشامیدنی شهری مشهد (آب چاه های مشهد) تأمین شد که دارای مشخصات زیر است:

غلظت نیترات بین ۲۰۲ – ۲۰ میلی گرم در لیتر متغیر، غلظت سولفات بین ۱۸۸۶ – ۵۳ میلی گرم در لیتر متغیر، میزان فسفات در محدوده ۲/۷۲ – ۰/۱۶ میلی گرم در لیتر متغیر، غلظت کلراید بین ۴۹۰ -۴۶ متغیر، متوسط ۷/۷ = PH میلی گرم در لیتر و هدایت الکتریکی بین ۵۷۹۰ -۵۷۸ میکروموس بر سانتیمتر مربع متغیر است.

برای آشنایی با خصوصیات اولیه مخلوط‌های بتن سبکدانه، مخلوط‌هایی با نسبت‌های مختلف آب به سیمان، عیار سیمان (مواد چسباننده)، دانه‌بندی‌های مختلف و درصدهای مختلف ژل میکروسیلیس و یا عدم بکارگیری آن، بکارگیری یا عدم استفاده از روان‌کننده ساخته شدتا حدود، روانی و عملکرد این مواد در بتن و برخی ویژگی‌های دیگر محدوده کار روشن شود. در مرحله بعد سبکدانه با مقاومت زیاد، برای مقایسه خواص بتن سبکدانه دارای عیار سیمان زیاد و لیکا و ماسه معمولی با بتن حاوی سنگدانه معمولی و دارای نسبت آب به سیمان کم و عیار سیمان زیاد، ۸ طرح اختلاط و در مجموع ۱۰۴ نمونه در نظر گرفته شد و آزمایش‌های فیزیکی ـ مکانیکی زیر بر روی آن‌ها انجام گردید. مقادیر و نسبت‌های مخلوط‌های بتن در جدول ۵ ملاحظه می‌شود.

۴- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه آزمون‌های مکعبی ۱۰ سانتی متری برای ۱۶ مخلوط نمونه‌های بتن نیمه سبکدانه و بتن معمولی بدست آمد. مقایسه بین مقاومت ۲۸ روز بتن سبک‌دانه بتن معمولی همراه با نمودار در جدول ۶ و شکل ۲ آورده شده بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه در بین بتن‌های سبکدانه مربوط به مخلوط CLW-11,1 است که برای نمونه مکعبی برابر ۳۱۲ kg/cm^2 **و کمترین** مقاومت فشاری ۲۸ روزه مربوط به مخلوط CLW-22,2 است که برای نمونه مکعبی برابر ۲۷۱ kg/cm^2 است. در بتن‌های معمولی بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه مربوط به مخلوط CNW-11,1 است که برای نمونه مکعبی برابر ۵۹۶.۳ kg/cm^2 و کمترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه مربوط به CNW-12(2) است که برای نمونه مکعبی برابر ۵۴۰/۲ kg/cm^2 است. همانگونه که مشاهده می‌شود نتایج مقاومت‌های فشاری ۲۸ روزه عملاً تابع نسبت آب به سیمان است و با کاهش این نسبت مقاومت افزایش می‌یابد. وجود ژل میکروسیلیس (دوده سیلیسی + فوق روان‌کننده) در تمام طرح‌های اختلاط اعم از بتن‌های ساخته شده با مصالح معمولی و بتن‌های نیمه سبکدانه به خوبی مقاومت‌ها را افزایش داده است. در بین بتن‌های نیمه سبکدانه کمترین وزن مخصوص متعلق به بتن‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ است که در حدود ۱۴۹۸ kg/cm^3و مربوط به طرح اختلاط CLW-11 است. و بیشترین وزن مخصوص را بتن CLW-12 به خود اختصاص داده که با نسبت آب به سیمان ۰/۴ که در حدود ۱۵۶۹.۷ kg/cm^3 است.در مخلوط‌های دیگر CLW-21 و CLW-22 با تغییر مقدار مصالح سنگدانه (شن، لیکا و ماسه معمولی) در طرح اختلاط وزن مخصوصآن حدود ۱۵۵۷.۲ kg/cm^3 تا ۱۵۷۵.۲ kg/cm^3 و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آنها نیز نسبت به دو طرح اختلاط قبل کاهش نشان می‌دهد. در مورد بتن‌های معمولی کمترین وزن مخصوص متعلق به بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ است که در حدود ۲۰۱۴.۵ kg/cm^3 و مربوط به طرح اختلاط

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.1.6]

CNW-11است. بیشترین وزن مخصوص مربوط به طرح اختلاط CNW-22 با نسبت آب به سیمان ۰/۴ که در حدود kg/cm^3 ۲۳۴۴ است. دو مخلوط دیگر CNW-12 و CNW-21 به ترتیب دارای وزن مخصوص kg/cm^3 ۲۲۶۶.۹ و kg/cm^3 ۲۳۴۲.۸و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آنها نیز نسبت به هر طرح اختلاط دیگر کاهش نشان می‌دهد. در مورد میزان رشد مقاومت در رابطه با سن بتن، دیده می‌شود در بتن‌های نیمه سبکدانه حاوی ژل میکروسیلیس نسبت مقاومت ۲۸ روزه به ۷ روزه در نمونه‌های مکعبی بطور متوسط حدود ۱/۱۲ است و در بتن‌های معمولی حاوی ژل میکروسیلیس نسبت مقاومت ۲۸ روزه به ۷ روزه در نمونه‌های مکعبی بطور متوسط حدود ۱/۵۴ است. شکل ۳ نمونه ا ی از بتن سبک ساخته شده و بتن معمولی شکسته شده را نشان می‌دهد.

جدول ۴- دانه‌بندی وزنی و حجمی سبکدانه لیکا و محدوده استاندارد ASTM C330

اندازه الک mm	لیکا (۱۰-۳)		محدوده استاندارد درشت دانه وزنی	لیکا (۳-۰)		محدوده استاندارد ریز دانه وزنی
	وزنی	حجمی		وزنی	حجمی	
۱۲/۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰			
۹/۵	۸۲	۸۰	۸۰-۱۰۰			۱۰۰
۶/۳۵	۴۶	۴۲				
۴/۷۵	۲۳	۲۰	۵-۴۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۵-۱۰۰
۲/۳۸	۴	۳	۰-۲۰	۹۲	۸۹	
۱/۱۹	۱	۱	۰-۱۰	۵۳	۴۷	۴۰-۸۰
۰/۶				۱۶	۱۲	
۰/۳				۱۰	۸	۱۰-۳۵
۰/۱۵				۵	۴	۵-۲۵

جدول ۵- مقادیر و نسبت‌های مخلوط‌های بتن

نام طرح	سیمان تیپ ۲ Kg	ژل میکرو سیلیسی Kg	آب آزاد Kg	نسبت آب به مواد سیمانی	سنگدانه درشت (خشک) Kg		سنگدانه ریز (خشک) Kg		روان کننده-MS 1Kg	هوا ٪	آب کل Kg	وزن واحد بین محاسباتی متراکم
					نوع	وزن	نوع	وزن				
CLW-CNW-11	۴۰۰	۴۰	۲۹	۰/۳۵	سبک مخلوط	۶۱۶.۸	معمولی	۴۴۳.۱۲	۲.۴	۱.۵	۲۱۵.۳	۱۴۹۷.۹۳
CLW-CNW-12	۴۰۰	۴۰	۲۸.۷	۰/۴	سبک مخلوط	۵۹۹.۳۷	معمولی	۴۳۰.۵۸	۲.۴	۱.۵	۲۳۳.۲	۱۵۶۹.۶۵
CLW-CNW-21	۵۰۰	۵۰	۳۳.۱	۰/۳۵	سبک مخلوط	۵۵۶.۷۲	معمولی	۳۹۹.۹۴	۳	۱.۵	۲۴۳	۱۵۵۷.۲۴
CLW-CNW-22	۵۰۰	۵۰	۳۲.۸	۰/۴	سبک مخلوط	۵۳۴.۹۷	معمولی	۳۸۴.۳۳	۳	۱.۵	۲۶۵.۳	۱۵۷۵.۱۷
CNW-CNW-11	۴۰۰	۴۰	۵۶.۷	۰/۳۵	شن معمولی	۹۰۲.۴۶	معمولی	۹۰۲.۴۶	۲.۴	۱.۵	۱۸۸.۹	۲۰۱۴.۴۸
CNW-CNW-12	۴۰۰	۴۰	۵۵.۶	۰/۴	شن معمولی	۸۷۷	معمولی	۸۷۷	۲.۴	۱.۵	۲۰۷.۵	۲۲۶۶.۸۹
CNW-CNW-21	۵۰۰	۵۰	۵۸.۱	۰/۳۵	شن معمولی	۸۱۴.۶	معمولی	۸۱۴.۶	۳	۱.۵	۲۱۹.۲	۲۳۴۲.۷۶
CNW-CNW-22	۵۰۰	۵۰	۵۶.۸	۰/۴	شن معمولی	۷۸۲.۸	معمولی	۷۸۲.۸	۳	۱.۵	۲۴۳.۴	۲۳۴۴.۱۴

جدول۶- مقایسه نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های بتن معمولی وبتن سبک

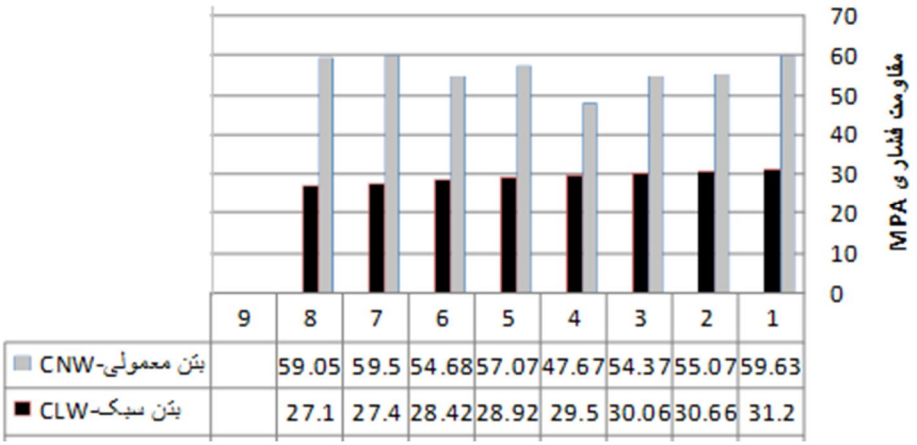
نام طرح	مقدار سیمان	مقدار ژل میکروسیلیس	نسبت آب به سیمان	روان‌کننده MS-1	مقاومت فشاری ۲۸ روزه kg /cm^2	
	kg/m^3	kg/m^3		kg/m3	CLW	CNW
CLW -11(1)-CNW	۴۰۰	۴۰	۰.۳۵	۲.۴	۳۱.۲	۵۹.۶۳
CLW-11,(2)-CNW	۴۰۰	۴۰	۰.۳۵	۲.۴	۳۰.۶۶	۵۹.۰۵
CLW-12,(1)-CNW	۴۰۰	۴۰	۰.۴۰	۲.۴	۳۰.۰۶	۵۴.۳۷
CLW-12,(2)-CNW	۴۰۰	۴۰	۰.۴۰	۲.۴	۲۹.۵	۵۴.۰۲

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.1.6]

جدول۶- مقایسه نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های بتن معمولی وبتن سبک(ادامه)

-CLW-21,(1) CNW	۵۰۰	۵۰	۰.۳۵	۳	۲۸.۹۲	۵۵.۰۷
-CLW-21,(2) CNW	۵۰۰	۵۰	۰.۳۵	۳	۲۸.۴۲	۵۴.۶۸
-CLW-22,(1) CNW	۵۰۰	۵۰	۰.۴۰	۳	۲۷.۴	۵۹.۵۰
-CLW-22,(2) CNW	۵۰۰	۵۰	۰.۴۰	۳	۲۷.۱	۵۷.۰۷



شکل ۲- مقا یسه نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های بتن معمولی وبتن سبک



(ب) (الف)

شکل ۳- الف) نمونه‌های از بتن سبک ساخته شده و ب) نمونه‌های شکسته شده بتن سبک توسط جک

۵- تجزیه و تحلیل آزمایش‌های مقاومت فشاری

مقاومت بتن سبکدانه سازه‌ای در شرایط عادی ۲۱ تا ۲۸ مگا پاسکال ذکر شده است که می‌توان آن را با کاهش نسبت آب به سیمان، افزایش عیار سیمان، کم کردن حداکثر اندازه، جایگزینی ماسه معمولی به جای سبکدانه ریز، مصرف دوده سیلیسی جایگزین سیمان و بکارگیری فوق روان‌کننده افزایش داد. با بکارگیری همه این‌ها و مصرف لیکا با حداکثر اندازه ۱۲.۵ میلی‌متر، مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه مکعبی برابر با ۳۱۲ kg /cm^2 با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵، جایگزینی ۱۰٪ ژل میکروسیلیس، بکارگیری ماسه معمولی گذشت از الک ۴/۷۵ میلی‌متر، به میزان ۲۵٪ حجم کل بتن عیار مواد سیمانی ۴۰۰kg/m^3 و فوق روان‌کننده به میزان خیلی اندک ۰.۰۰۶٪ وزن مواد سیمانی حاصل شده است. در این حالت وزن مخصوص بتن خشک ۱۴۹۰kg/m^3 بدست آمده است.

افزایش بیشتر آن با رعایت نکات اقتصادی و حفظ وزن مخصوص بتن خشک در محدوده بتن‌های سبک امکان پذیر خواهد بود. تحقیقات انجام شده در ایران بر روی لیکای معمولی تأیید کننده این موضوع است. تأثیر حجم اشغال سبکدانه لیکا در بتن نیز به خوبی مشهود است. بافت درشت تر یعنی افزایش سبکدانه درشت

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.1.6]

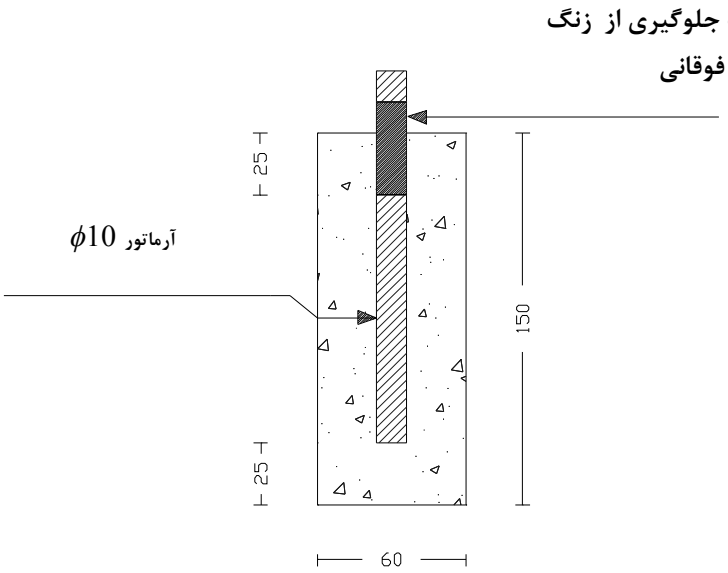
لیکا و کاهش ماسه معمولی دو نتیجه را در بر داشته است که کاهش وزن مخصوص بتن و کاهش مقاومت فشاری است. دلیل این امر نیز روشن است زیرا پوکی و تخلخل در بخش سنگدانه بیشتر شده و ضعف بیشتری عارض گشته است. در مورد کاهش حداکثر اندازه و اثر آن می‌توان گفت چند عامل به افزایش مقاومت منجر شده است. کاهش مقدار سبکدانه با توجه به استفاده از روش طرح مخلوط آمریکایی در بخش تعیین مقدار درشت‌دانه، و افزایش مقدار ماسه معمولی به دلیل کاهش شن سبک و بکارگیری فرمول حجم مطلق باعث افزایش چشمگیر وزن مخصوص بتن می‌شود و مقاومت فشاری بالاتر می‌رود. اما دلیل دیگر را می‌توان در بالا رفتن کیفیت سبکدانه درشت و افزایش چگالی حجمی دانست. هم چنین نباید از تأثیر کاهش حداکثر اندازه به طور مستقل بر افزایش مقاومت فشاری به دلیل افزایش سطح ویژه و بهبود منطقه تماس غافل شد و احتمال می‌رود این تأثیر کاملاً جدی و چشمگیر باشد. با توجه به نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری به نظر می‌رسد مصرف ژل میکرو سیلیس تأثیر خوبی را در مورد بتن‌های نیمه سبکدانه بر جای نهاده است و این تأثیر در مورد بتن معمولی مشهود بوده است. علت این امر را باید در بهبود منطقه تماس توسط ژل میکروسیلیس جستجو کرد. ژل میکروسیلیس اجازه می‌دهد تا این ماده بتواند در نزدیکی سبکدانه مقادیر قابل توجهی از بلورهای هیدروکسید کلسیم را جذب کند و به مصرف رساند و محصولات نفوذ ناپذیرتر و مقاوم‌تری حاصل گردد. وجود رطوبت در سبکدانه و مسئله عمل‌آوری داخلی به این امر کمک می‌کند. هرچند در بتن‌های غرقاب این موضوع کاربرد چندانی را ندارد. برای بتن نیمه سبکدانه حاوی ژل میکروسیلیس می‌توان منحنی مقاومت فشاری ـ نسبت آب به سیمان را در ارتباط با وزن مخصوص بتن سخت شده برای محدوده باریکی از نسبت آب به سیمان و وزن مخصوص به صورت نمودارهایی ارائه داد.

۶- آزمایش پتانسیل خوردگی (نیم پیل)

وقتی که کلر به سطح آرماتور می‌رسد یا پوشش بتنی آرماتور کربناته میشود فرآیند خوردگی آغاز می‌گردد. در چنین مواردی گفته می‌شود آرماتور در حالت فعال قرار دارد و در صورتی که آرماتور فعالیت خوردگی نداشته باشد، در حالت انفعالی یا خنثی خواهد بود. آزمایش پتانسیل خوردگی فعال یا انفعالی بودن آرماتور در بتن را تعیین می‌کند. به عبارت دیگر،آزمایش پتانسیل خوردگی نشان می‌دهد که آرماتور از نظر خوردگی احتمالا در چه وضعیتی قرار دارد. این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM C876-(1999) 91 انجام می‌شود. لازم به ذکر است که پتانسیل خوردگی، شدت یا سرعت خوردگی را نشان نمی‌دهد. برای تعیین شدت خوردگی از دستگاهی به نام پتانسیومتر استفاده می‌شود. ممکن است آزمایش پتانسیل خوردگی نشان دهد که آرماتور در بتن فعال است ولی وقتی که پوشش بتنی از روی آرماتور برداشته شود، هیچگونه آثار زنگ و خوردگی بر روی سطح آرماتور مشاهده نشود. در واقع پتانسیل خوردگی نشانه فعال بودن آرماتور و به عبارت دیگر آلوده بودن پوشش بتنی به کلر و دی اکسید کربن است. ایجاد آثار زنگ بر روی آرماتور ممکن است ماه‌ها به طول انجامد [۱۱]. پتانسیل خوردگی آرماتور به صورت مطلق قابل اندازه‌گیری نیست، بلکه برای اندازه‌گیری آن نیاز به الکترود مرجع است. الکترودهای مرجع انواع مختلف دارند ولی پتانسیل تمام الکترودهای مرجع نسبت به الکترود هیدروژن سنجیده و تعیین می‌گردد. فرض بر این است که پتانسیل الکترود هیدروژن برابر صفر است. برای تعیین پتانسیل خوردگی میلگردموجوددربتن در آزمایشگاه به صورت میکرو پیل یا نیم پیل، روش استاندارد وجود ندارد. بنابر این ضمن استفاده از برخی نکات موجود در ASTM C876 اقدام به تهیه نمونه و آزمایش در شرایط خاص شد. در این نمونه در واقع تشکیل آند و کاتد روی یک میلگرد صورت می گیرد و بدان میکروپیل می‌گوییم. جهت انجام این آزمایش بتن در لوله استوانه‌ای به قطر ۶۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۵۰ میلی‌متر از جنس PVC ریخته و متراکم گردید. قبل از آن میلگردی به قطر اسمی۱۰میلی‌متر از نوع آجدار AII قبل از استفاده توسط اسید زنگ‌زدائی و کاملا تمیز شد. سپس بخش فوقانی آرماتور به وسیله چسب نواری پوشش داده شد ودر وسط نمونه به نحوی قرار داده شد که سر آن از بتن بیرون و انتهای آن در حدود ۲۵میلی‌متر از کف بتن فاصله داشته باشد. برای نگهداشتن میلگرد در قالب قبل از بتن ریزی میلگرد توسط پارافین در وسط محل استقرار استفاده شد (شکل ۴). پس ازساختن بتن، ابتدا شابلون بر روی میز لرزاننده قرار گرفته و تراکم بتن انجام شد. در هر دفعه ساخت بتن، تعداد ۳ آزمونه استوانه‌ای۱۵۰×۶۰ میلیمتر با وضعیتی که توصیف شد تهیه گردید. نمونه‌ها ۷ روز در زیر گونی مرطوب نگهداری شد و سپس تا دو سوم ارتفاع در آب نمک ۵٪ قرار گرفت. آزمونه‌ها پس از ۱ روز از قالب درآورده شد و تا ۷ روز در زیر گونی مرطوب عمل آوری گردید. برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل بین سطح بتن و میلگرد، از یک ولت متر (مولتی متر) با دقت ۰/۱ میلی ولت و یک الکترود کالومل اشباع استفاده شد (در ASTM C876 الکترود مس ـ سولفات مس بکار می‌رود). با قرار دادن الکترود در محلول آب نمک و اتصال آن به ولت متر و هم چنین اتصال سر آزاد میلگرد به قطب دیگر ولت متر، اختلاف پتانسیل بدست آمد. پتانسیل بیشتر از حدود ۲۷۵mv- (در جهت منفی) نشانه فعالیت خوردگی در میلگرد با الکترود کالومل اشباع است در حالی که در رابطه با الکترود مس ـ سولفات مس، این مقدار ۳۵۰mv- است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.1.6]



شکل ۴- روش ساخت نمونه‌های بتنی جهت آزمایش خوردگی میلگرد در سیستم میکروپیل



شکل ۵- نمونه‌های ساخته شده از استوانه‌های ۱۵×۶ سانتیمتر جهت ازمایش خوردگی

۷- نتایج آزمایش پتانسیل خوردگی

آزمونه‌های پتانسیل خوردگی به شکل استوانه ۱۵×۶ سانتیمتر بوده و با قرار دادن آرماتور به قطر ۱۰ میلیمتر در مرکز آنها، مجموعا به تعداد ۲۴ عدد ساخته شدند (۴ طرح اختلاط بتن سبکدانه و ۴ طرح اختلاط بتن معمولی). در هر دفعه ساخت بتن، تعداد ۳ آزمون تهیه شد (شکل ۵) و در زیر نایلون به صورت مرطوب باقی ماند و ۷ روز عمل آوری در شرایط استاندارد آزمایشگاهی انجام شد. سپس نمونه‌ها در حوضچه‌های حاوی آب نمک ۵٪ قرار گرفتند. تلاش شد اختلاف پتانسیل نمونه‌ها از همان روزهای ابتدایی قرار گرفتن در آب نمک، قرائت شود و تا فعال شدن آرماتورها هم آزمون‌ها ادامه پیدا کند. بر این اساس اختلاف پتانسیل آزمونه‌ها حداقل به مدت ۱۰ هفته و حد اکثر تا حدود ۱۸ هفته (پس از اطمینان از شروع خوردگی آرماتورها) ثبت گردید. پس از پایان قرائت‌ها برای هر طرح اختلاط نمودار اختلاف پتانسیل زمان تهیه شد. در این نمودار دو منحنی ترسیم شد که یک منحنی مربوط به نمونه‌های بتن معمولی و منحنی دیگر مربوط به نمونه‌های بتن سبک است که در شرایط استاندارد آزمایشگاهی عمل آوری شده است. با توجه به این که در این تحقیق از الکترود کالومل اشباع استفاده شده است، بر اساس استاندارد ASTMC ۸۷۶ اختلاف پتانسیل‌های بیشتر از ۲۷۶ میلی ولت به معنای آن است که احتمال خوردگی آرماتور بیش از ۹۰ درصد است و این زمان را عملا به عنوان آستانه شروع خوردگی و فعال شدن آرماتور در نظر می‌گیرند.در آزمایش پتانسیل خوردگی بعضا نوسان‌هایی در اختلاف پتانسیل‌های قرائت شده مشاهده میشود که خاصیت ذاتی این آزمایش است. با فعال شدن آرماتور و شروع خوردگی آن می‌توان به قرائت اختلاف پتانسیل‌ها پایان داد و این زمان را بعنوان «سن شروع خوردگی آرماتور» اعلام نمود، نمودارهای مربوط به ۴ طرح از ۸ طرح اختلاطی که در این تحقیق ساخته شده است در شکل‌های ۶ و۷ مشاهده می‌شود. سن شروع خوردگی آرماتورها زمانی است که

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.1.6]

اختلاف پتانسیل بیشتر از حد ۲۷۶ میلی ولت شود. این سن نیز تعیین شده است که در جدول ۷ ملاحظه می‌شود.دیرترین زمان شروع خوردگی به ترتیب در بتن سبکدانه CLW-21 به مدت ۹ روز و در بتن معمولی CNW-12 به مدت ۲۰ روز دیده می‌شود.همانطور که ملاحظه می‌شود در نمونه‌های بتن ساخته شده نسبت آب به سیمان بیشتر، موجب افزایش سرعت خوردگی می‌گردد. از طرفی وجود میکروسیلیس باعث بالا بردن مقاومت در برابر خوردگی می‌شود. لازم به یادآوری است که آرماتور موجود در بتن معمولا توسط محیط قلیایی شدید بتن محاط کننده (PH = ۱۱/۵)در برابر خوردگی محافظت می شود .این پوشش فرایند تجزیه را محدود می کند. این فرایند همچنین توسط کربنات های بتن محاط کننده فلز که خاصیت قلیایی را کاهش می دهد با حضور مقادیر کمی از یون کلراید در بتن اطراف فلز، نیز اتفاق می افتد .عمق نفوذ کلراید تابعی از قابلیت تراوایی رطوبت و میزان اکسیژن نزدیک سطح فلز است .در غیاب هر کدام از این عوامل خوردگی اتفاق می افتد . خوردگی فولاد باعث می شود فلز در مراحل مختلف به اکسید ها و هیدروکسیدهای ترکیبی آهن تبدیل شود. این فرایند باعث افزایش حجم می شود . آسیب های ناشی از خوردگی همچنین می تواند به صورت ترک های موازی با جهت قرار گیری میلگرد در بتن دیده شود ،که در نهایت باعث ترک خوردگی و خرد شدن بتن می شود که در نتیجه آن سرعت خوردگی افزایش می یابد .خوردگی فولاد مسلح کننده بتن از فرایند الکتروشیمیایی همراه با واکنش های آندی و کاتدی نتیجه می شود .اثر فرایند های ناشی از خوردگی ،آهن تبدیل به یون های هیدراته با دو الکترون می شود . این دو الکترون جهت تطبیق با واکنش های کاتدی به ناحیه مثبت انتقال می یابد.

۲۸ روز در بتن معمولی CNW-21 برابر ۴۲ روز است. زودترین شروع به خوردگی به ترتیب در بتن سبکدانه CLW-12 به مدت

سرعت خوردگی با استفاده از مقدار مقاومت قطبشی و استفاده از فرمول stem-Geary محاسبه می شد. Icorr با این فرض اندازه گیری می شود که هر دو ثابت نهایی Bc و Ba دارای مقدار ۱۲۰ mV/10 باشند.

$$Icorr = I\ appl/2.3\ dE\ (BcBa/(Bc+Ba)) \quad (۱)$$

در آزمایش نیم پیل (Half Cell) باید میلگرد ها بصورت متصل تداوم داشته باشد و قطع در آنها باعث اختلال در نتایج می گردد . این آزمایش فقط اختلاف پتانسیل موجود را به دست می دهد که پتانسیل خوردگی نام داردو به هیچ وجه آهنگ خوردگی یا میزان خوردگی را به نمایش نمی گذارد .

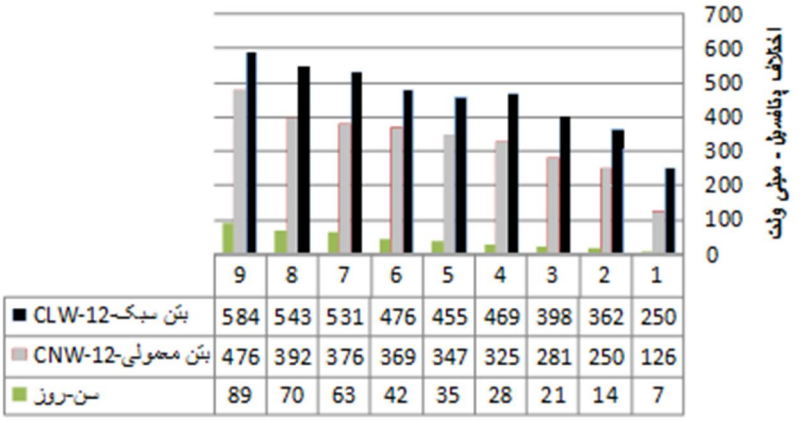
در کارهای آزمایشگاهی معمولا میلگردی را داخل یک استوانه بتنی قرار می دهند و بخش عمدهای از بتن در داخل آب دریا یا آب نمک (باغلظت های متفاوت) قرار می گیرد و یک سر سیم را به میلگرد خارج ازآب متصل و الکترود را داخل آب دریا یا آب نمک قرار می دهند و ولتاژ را قرائت می کنند . این آزمایش مستقیما کیفیت بتن را بدست نمی دهد. فقط می تواند کیفیت بتن را در مقایسه با دیگری ارزیابی کند و نشان دهد کدام نمونه زودتر و کدام یک دیرتر فعالیت خوردگی را آغاز می نماید. آزمایش نیم پیل و ارقام ذکر شده فقط برای میلگردهای بدون پوشش کاربرد و مفهوم دارند و برای میلگردهای پوشش دار و صنعتی متفاوت خواهد بود.

جدول ۷- سن شروع خوردگی آرماتور در بتن‌های معمولی وسبک در آزمایش پتانسیل خوردگی

بتن سبک روز	بتن معمولی روز	نسبت آب به سیمان	عیار سیمان	نام طرح اختلاط	
			Kg/m3	سبک	معمولی
14	26	0.35	400	CLW-11	CNW-11
9	20	0.40		CLW-12	CNW-12
28	42	0.35	500	CLW-21	CNW-21
13	30	0.40		CLW-22	CNW-22

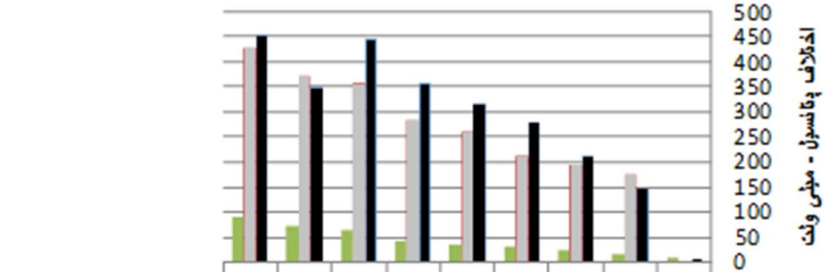
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.1.6]



	9	8	7	6	5	4	3	2	1
بتن سبک-CLW-12	584	543	531	476	455	469	398	362	250
بتن معمولی-CNW-12	476	392	376	369	347	325	281	250	126
سن-روز	89	70	63	42	35	28	21	14	7

شکل ۶- نتایج آزمایشات پتانسیل خوردگی در طرح اختلاط نمونه بتن سبک CLW-12وبتن معمولی CNW-12

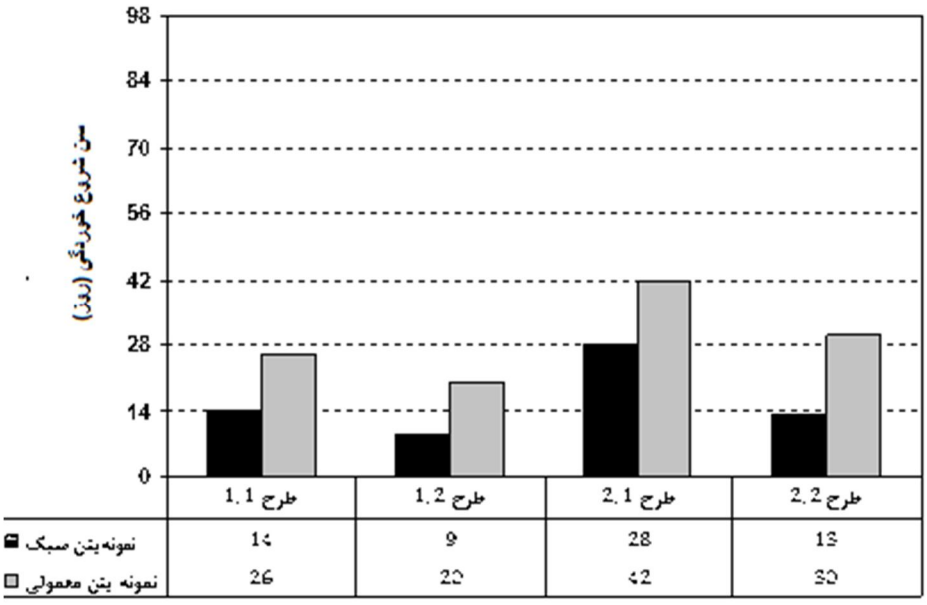


	9	8	7	6	5	4	3	2	1
بتن سبک-CLW-21	450	349	445	356	315	279	212	145	3
بتن معمولی-CNW-21	427	372	356	281	258	213	193	173	1
سن-روز	89	70	63	42	35	28	21	14	7

شکل ۷- نتایج آزمایشات پتانسیل خوردگی در طرح اختلاط نمونه بتن سبکCLW-21 وبتن معمولی CNW-21

۸- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش پتانسیل خوردگی

نتایج پتانسیل خوردگی در قسمت قبل نشان داد که دیرترین زمان شروع خوردگی مربوط به بتن‌های CLW-21 و CNW-21است. زودترین زمان شروع به خوردگی مربوط به CLW-12 و CNW-12 است. کاهش نسبت آب به سیمان که به نوبه خود موجب بهبود کیفیت منطقه تماس و خمیر سیمان می‌گردد نیز تأخیر خوبی را در شروع خوردگی بوجود آورده است. شکل ۸ این نتایج را به صورت نمودار نشان می‌دهد.



	طرح 1,1	طرح 1,2	طرح 2,1	طرح 2,2
نمونه بتن سبک	14	9	28	18
نمونه بتن معمولی	26	20	42	30

شکل ۸- مقایسه سن شروع خوردگی آرماتور در بتن معمولی و سبک

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.1.6]

۹- نتیجه‌گیری

بادر نظر گرفتن آزمایش‌های انجام شده در تحقیق و با توجه به بررسی‌های آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل‌های انجام شده، می‌توان نتیجه‌گیری‌های نهایی زیر را مطرح نمود:

لیکای (سازه‌ای) ایران از نظر خواص مکانیکی، سبکدانه خوبی محسوب می‌شود و با ریزتر شدن خواص مکانیکی آن بهبود می‌یابد. از نظر سایش با توجه به نتایج آزمایش لوس آنجلس،لیکای ایران برای تولید بتن‌های سازه‌ای قابل قبول است. ژل میکروسیلیس تأثیر مطلوبی را بر خواص مکانیکی بتن‌های سبکدانه باقی می‌گذارد. تأثیر دوده سیلیسی بر بتن‌های سبکدانه بیشتر از بتن‌های معمولی است.در مورد بتن‌های نیمه سبکدانه، بکارگیری جذب آب وزنی، نتایج گمراه کننده‌ای را در مقایسه با بتن معمولی ایجاد می‌کند و باید از جذب آب به صورت حجمی استفاده کرد.بتن‌های نیمه سبکدانه حاوی ژل میکرو سیلیس در کوتاه مدت و دراز مدت جذب آب نسبتاً کمی را دارند. با افزایش نسبت آب به سیمان، جذب آب کوتاه مدت و دراز مدت معمولاً افزایش می‌یابد. مصرف ژل میکرو سیلیس در کاهش جذب آب دراز مدت تا حدودی موثر است. با کاهش عیار سیمان، ضریب جذب موئینگی بتن‌های نیمه سبکدانه خشک شده در آون کاهش می‌یابد. هم چنین وجود ژل میکروسیلیس در بتن‌های نیمه سبکدانه و معمولی ضریب جذب را کاهش می‌دهد. برای تعیین ضریب جذب آب موئینه و ثابت جذب، علیرغم توصیه Rilem برای بکارگیری جذر زمان، استفاده از لگاریتم زمان توصیه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که برازش خط در این حالت برای همه انواع بتن‌ها از ضریب همبستگی بیشتری برخوردار است. توصیه شد از رابطه $i = c + s\sqrt{t}$ (i بر حسب میلیمتر) که در آن c ثابت جذب موئینه و s ضریب جذب موئینه است برای این منظور استفاده شود . این مقادیر از برازاندن خطی بر نقاط بدست آمده در صفحه مختصات $(i - \sqrt{t})$ بدست می آید. مسلماً در این حالت اعداد حاصله برای ضریب جذب آب موئینه به مراتب بزرگتر و ملموس‌تر می‌شود و قابل تمیز می‌گردند.کاهش نسبت آب به سیمان و وجودژل میکروسیلیس موجب می‌گردد تا زمان فعالیت خوردگی در آزمایش پتانسیل خوردگی میکروپیل طولانی‌تر گردد. در حالی که کاهش عیار سیمان باعث تسریع در شروع خوردگی می‌شود. فعالیت خوردگی در بتن‌های معمولی دیر آغاز می‌شود در حالی که بتن نیمه سبکدانه، فعالیت خوردگی خود را زودتر آغاز می‌نماید. شدت خوردگی میکروپیل با کاهش نسبت آب به سیمان و وجود ژل میکروسیلیس کمتر مس شود. نسبت آب به سیمان موجب افزایش شدت خوردگی است.شدت خوردگی میکروپیل با کاهش نسبت آب به سیمان و وجود ژل میکروسیلیس کمتر می‌شود. هم چنین بتن نیمه سبکدانه معمولاً بهتر از بتن معمولی مشابه نیست مگر این که حاوی ژل میکرو سیلیس باشند.

بنابراین از بتن سبکدانه به شرط تأمین مقاومت‌های مورد نیاز می‌توان در محیط‌های خورنده سواحل جنوبی کشور استفاده کرد. به ویژه با مصرف ژل میکرو سیلیس در این بتن‌ها ضمن تأمین حداقل مقاومت‌های سازه‌ای می‌توان دوام بتن را از نظر خرابی‌های ناشی از خوردگی برآورده نمود ضمن این که سبکی تا حد قابل توجهی تأمین گردد.

۱۰- تشکر و قدردانی

در اینجا مولفین بر خود لازم میدانند از زحمات مسئولین محترم شرکت لیکا بخاطر در اختیارقرار دادن مصالح مورد نیاز و مدیریت محترم دانشکده فنی و مهندسی (شهید منتظری) مشهد که همکاری لازم را جهت استفاده از امکانات آزمایشگاه بتن فراهم نمودند قدردانی نمایند.

۱۱- مراجع

1- Punkki, J. and Gjorv, O.E.,(1995), *Effect of Water Absorption by Aggregate on Properties of High Strength Lightweight Concrete*, GEB/FIP International Symposium of Structural Lightweight Aggregate concrete, Sandefjord, Norway, p.604 – 616I.

2- Clarke, J.L.,(1993), *Structural Lightweight Aggregate Concrete*, Blackie Academic, Glasgow.

3- European Union-Brite Euram III, (2010) *Lightweight Aggregate*, Eurolight Con, Document BE96-3942/R15.

۴- فامیلی، هرمز، (۱۳۶۶)، *پروژه تحقیقاتی بتن دانه سبک*، گروه عمران جهاد دانشگاهی علم و صنعت، تهران، ایران.

۵- محمدی تهرانی، فریبرز، (۱۳۷۷)، *راهنمای جامع لیکا*، شرکت لیکا، تهران.

6- ACI 211.2, (2008), *Standard Practice for Selecting Proportion for Structural Lightweight Concrete*, ACI 211.2-91.

۷- محبی، محمد جواد، (۱۳۷۹)، *تأثیر کاربرد میکروسیلیس در ارتقاء خواص فیزیکی ـ مکانیکی بتن های ساخته شده با سبکدانه رس منبسط شده*، پایان نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

8- ACI 213R, *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*, ACI 213-R

9- RILEM 60CSC, Edited Schiessl, P., (2012), *Corrosion of Steel in Concrete*, Chapman and Hall, New York.

10- European Union-Brite Euram III,(1998), *Definitions and International Consensus Report*, BE96-3942/R1.

11- ASTM G109, (2011), *Standard Test Method for Determining the Effects of Chemical Admixtures on the Concrete of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environment*, ASTM, Vol. 3. 02.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.1.6]