

## بررسی واکنش قلیایی ماسه لایروبی شده ساحل جهت ساخت بتن در محیط دریایی و محوطه بنادر: مطالعه موردی ماسه ساحل دریای خزر

محمد حسین حسینجانی میاندهی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

پیام زنگانه رنجبر \*

استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

میراحمد لشت نشایی

دانشیار، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

ملک محمد رنجبر

دانشیار، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

حسین نصیرائی

استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

### چکیده

انبساط و آسیب ناشی از واکنش قلیایی سنگ‌دانه‌ها در سازه‌های مختلف بتنی به‌عنوان یکی از دغدغه‌های مهم در دوام سازه‌های بتنی توجه بسیاری از محققین را به شناسایی و مطالعه این مهم معطوف نموده است. سنگ‌دانه‌های حاوی مواد فعال حتی به مقدار اندک وزنی در بتن، ممکن است باعث انبساط‌های مخرب گردند. این واکنش بین برخی از مواد سنگ‌دانه با هیدروکسید قلیایی موجود در منافذ بتن یک ژل را تشکیل می‌دهند. این ژل بدلیل جذب آب و تورم با ایجاد تغییراتی در مرزهای بین سنگ‌دانه و خمیر سیمان، از طریق ایجاد فشارهای داخلی باعث انبساط و ترک خوردن بتن می‌گردد. از سوی دیگر امروزه به‌دلیل محدودیت منابع قرضه و اهمیت مسایل زیست محیطی در اکثر کشورها، استفاده از مصالح لایروبی و پتانسیل‌های موجود در ساحل دریای خزر، در گام نخست با انجام آزمایش سنگ‌نگاری (مشاهدات میکروسکوپی) مطابق استاندارد ASTM C295 به شناسایی کانی‌های با پتانسیل واکنش قلیایی - سیلیسی و کربناتی پرداخته شد. سپس بررسی واکنش‌زایی مصالح از طریق ساخت منشورهای بتن و ملات حاوی این سنگ‌دانه‌ها در دو حالت کوتاه مدت و بلند مدت مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت با انجام آزمایش شیمیایی تعیین پتانسیل فعالیت قلیایی - کربناتی سنگ‌دانه‌های کربناتی مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج کسب شده از آزمایش‌های مزبور کیفیت مصالح لایروبی شده از دریا جهت ساخت بتن مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ماسه لایروبی شده دریای خزر، سنگ‌نگاری مصالح، واکنش قلیایی - سیلیسی، واکنش قلیایی - کربناتی.

## ۱- مقدمه

پذیری و طول عمر سازه تاثیر منفی داشته و باعث افزایش هزینه های تعمیر و نگهداری گردد [۶]. با توجه به اینکه واکنش قلیایی یکی از نگرانی مهم در بخش دوام سازه های بتنی است لذا مطالعه دقیق واکنش از اهمیت بسزایی برخوردار است [۷] دو خاصیت اصلی ژل واکنش قلیایی انبساط داخلی و خاصیت آبخواهی<sup>۲</sup> که با جذب آب و تمایل به افزایش حجم می تواند ایجاد آسیب و ترک خوردگی بتن به صورت چند ضلعی نقشه ای (موزاییکی)<sup>۴</sup> مطابق شکل ۱ را ایجاد نماید [۸].



(A)



(B)

شکل ۱- ترک خوردگی بتن ناشی از واکنش قلیایی A- دیوار سازه دریایی B- دیوار حایل [۸]

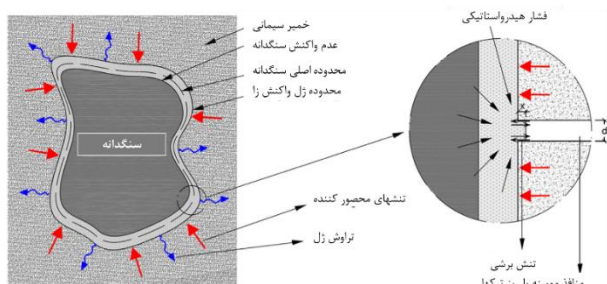
بنابراین شناخت این واکنش، ماهیت شکل گیری آن، ارزیابی مصالح سنگدانه ای و بتنهای ساخته شده، آزمایشهای و راهکارهای کنترل این واکنش در سازه های دریایی از اهمیت زیادی برخوردار است. به طور کلی واکنش قلیایی به دو دسته تقسیم می گردد،

سالانه حجم زیادی از مصالح لایروبی دریا به عنوان مصالح مازاد انباشته می گردد که تا حدود زیادی مشکلات زیست محیطی جدی را ایجاد می کند. با توجه به ضرورت انجام لایروبی در کارهای دریایی و تسهیل در ناوبری و در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی، سالانه در جهان بیش از ۶۰۰ میلیون متر مکعب مصالح حاصل از لایروبی تولید می شود که در حال حاضر تنها کمتر از ۱٪ باریافت و مورد مصرف قرار می گیرد [۱]. از سوی دیگر تقاضا برای استفاده از این مصالح در مصالح ساختمانی، بتن و ملات در جهان رو به افزایش است [۲]. آمار و ارقام اخیر نشان می دهد که تقاضای مصرف مصالح سنگدانه ای از ۴۵ میلیارد تن در سال ۲۰۱۷ به ۶۶ میلیارد تن در پایان سال ۲۰۲۵ افزایش می یابد، لذا تامین مصالح سنگدانه ای در صنعت ساخت و ساز و پروژه ها عمرانی از اهمیت بالایی برخوردار است [۳]. با توجه به ضرورت جایگزینی و استفاده از مصالح لایروبی دریا و همچنین عدم وجود ذخایر کافی منابع قرضه سنگدانه ای رودخانه ای و کوهی در شمال کشور و بدلیل رویکرد استفاده از ماسه دریا انباشته شده در کنار سازه دریایی که عامل اصلی آن جریانات موازی ساحل است، سعی بر آن شده که از مصالح بلااستفاده ناشی از لایروبی محوطه ساحلی سازه های دریایی در دریای خزر در طرح مخلوط بتن سازه های دریایی و یا محوطه بندری استفاده گردد، که این مهم به جهت کاهش اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از دپوی مصالح بلا استفاده ماسه دریا در حاشیه دریای خزر و همچنین کاهش استخراج از معادن قرضه کوهی و رودخانه ای می تواند از اهمیت زیادی برخوردار باشد. با این حال اثرات ماسه دریا بر خواص بلند مدت مکانیکی بتن نسبت به بتن با مصالح رودخانه ای هنوز بصورت کامل مورد مطالعه قرار نگرفته است و بطور کلی وجود مواد آلی و یا صدف دریایی در این مصالح می بایست مورد توجه قرار گیرد [۴]. ارزیابی سنگدانه ها از نقطه نظر پدیده مهم واکنش قلیایی است. تخریب سازه های بتنی در نتیجه واکنش بین یونهای قلیایی درون منافذ و حفرات بتن و برخی از کانی های واکنش زا در سنگدانه ها می باشد [۵]. این خرابی بتن در سازه های با اهمیت زیاد نظیر تاسیسات زیر بنایی، سد و بنادر می تواند بر روی خدمت

3 polygonal Cracks  
4 Map Cracks

1 Dredged marine sand  
2 hydrophilic

در بتن در سازه های دریایی سه ضلع مثلث واکنش قلیایی - سیلیسی تکمیل شده و خطر تخریب بتن ناشی از این واکنش محتمل می باشد، لذا با توجه به شرایط اقلیمی بنادر در شمال کشور (رطوبت بالا) و نیز محیط قلیایی آب دریا بررسی و ارزیابی این واکنش در مصالح سنگدانه ای از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و شناسایی آن می تواند باعث کاهش هزینه های بهره برداری، تعمیر و نگهداری گردد. خاصیت جذب آب و انبساط از جمله خواص اولیه ژل واکنش قلیایی - سیلیسی است که باعث اثرات مخرب بر روی بتن می گردد، اما اینها کافی نیست [۱۳]. علاوه بر این، خواص رئولوژیکی ژل نظیر مقاومت مشخصه تسلیم<sup>۴</sup> و گرانروی<sup>۵</sup> بسیار در آسبهای بتن تعیین کننده است. اگر حفره های بتن به طور کامل پر شده باشد و مقاومت تسلیم و گرانروی ژل کم باشد در صورتی که انبساط در ژل ایجاد گردد، امکان تخریب بتن وجود نداشته که دلیل آن مربوط است به عدم فشار کافی ژل به سطوح خالی می باشد و ژل بدون ایجاد آسیب در داخل شکافها حرکت می کند. بحث مزبور را می توان در شکل شماره ۲ بهتر نشان داد. [۱۴].



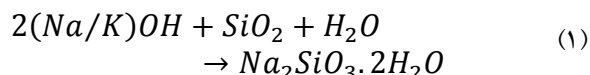
شکل ۲- نمایش نحوه پیشرفت واکنش قلیایی-سیلیسی [۱۴]

پتانسیل جذب آب در ژل واکنش قلیایی - سیلیسی جذب رطوبت، انبساط و تنش های هیدرواستاتیکی در داخل ژل می گردد. این تنشهای در فضای خالی تبدیل به تنشهای برشی می شود. هرچه رطوبت بیشتری توسط ژل جذب شود، تنش برشی بیشتری در سطح مشترک ایجاد می شود. همچنین با ادامه جذب آب، گرانروی ژل کمتر شده و تنش تسلیم آن کاهش می یابد. ژل با افزایش تنش برشی در این مرحله که ناشی از کاهش تنش تسلیم

واکنش قلیایی - سیلیسی (ASR)<sup>۱</sup> و واکنش قلیایی - کربناتی (ACR)<sup>۲</sup> که واکنش قلیایی - سیلیسی تاکنون بیشتر مورد توجه و مطالعات گوناگون قرار گرفته است [۹].

### ۱-۱- واکنش قلیایی - سیلیسی

حمله سولفاتها و واکنش قلیایی - سیلیسی دو مشکل رایج در محیط های دریایی می باشد، لذا با توجه به عدم مطالعات کافی در این حوزه، شناخت و بررسی این واکنش بر روی مصالح سنگدانه ای ضروری است [۱۰]. واکنش قلیایی - سیلیسی با ترکیب هیدروکسیدهای بتن با کانی های سیلیسی موجود در مصالح سنگدانه تشکیل ژل قلیایی - سیلیسی را می دهند، که معادله شیمیایی آن در رابطه شماره ۱ بیان شده است [۸].



عوامل اصلی در تشکیل واکنش قلیایی - سیلیسی منبع قلیایی، وجود سیلیس در سنگدانه و رطوبت کافی برای تولید ژل قابل انبساط است که این سه شرط از مهمترین عوامل ایجاد این واکنش می باشد [۱۱]. انجام واکنش و جذب آب توسط ژل در آزمایشگاه نیز قابل رویت است. اگر منشور بتنی که پتانسیل واکنش قلیایی - سیلیسی را دارد در آزمایشگاه ساخته شود ولی محل نگهداری آن رطوبت کافی را نداشته باشد، می توان از انبساط ایجاد شده صرف نظر کرد ولی اگر همین نمونه وارد محیط مرطوب شود، انبساط سریع در طی چند روز خواهد داشت [۱۲]. منبع اصلی قلیایی در منافذ، مواد سیمانی که حاوی سدیم و پتاسیم می باشد. که قلیایی سیمان معمولاً با معادل اکسید سدیم<sup>۳</sup> که از رابطه شماره ۲ اندازه گیری می شود. [۸].

$$\% Na_2O_{eq} = \% Na_2 + 0.658 \% K_2O \quad (2)$$

باید به این نکته توجه نمود که تنها منبع قلیایی، سیمان و واکنش آن نمی باشد بلکه در سازه های که در محیط های دریایی قرار دارند، نمک دریا و همچنین استفاده از مواد افزودنی می تواند از منابع قلیا در این واکنش باشد [۸]. با توجه به بیان شروط اصلی و مهم واکنش قلیایی - سیلیسی، در صورت وجود مصالح سنگدانه ای واکنش زا

4 - yield stress  
5 - viscosity

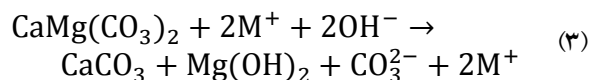
1- Alkali-Silica Reaction ( ASR)  
2 -Alkali-Carbonate Reaction (ACR)

3 - equivalent sodium oxide

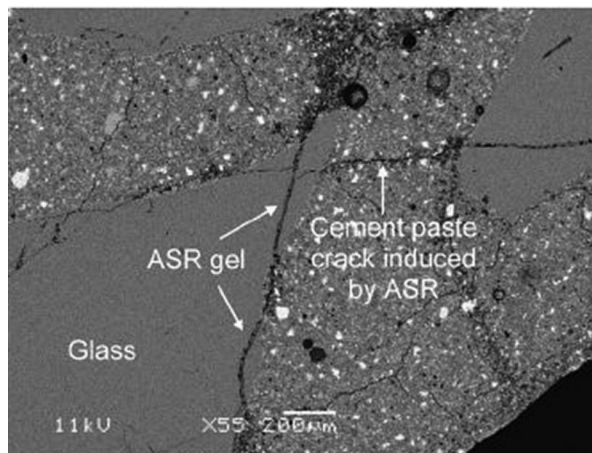
می‌باشد شروع به جریان در فضای خالی می‌کند و باعث ترک می‌گردد (شکل شماره ۳) [۱۵].

ماتریسی از کلسیت ریز و کانی های رسی در واکنش شرکت می‌کنند. هنگامی که یک سنگدانه دولومیتی با محلول قلیایی تماس پیدا می‌کند، واکنش شیمیایی (فرمول ۳) موسوم به تجزیه دولومیتی رخ می‌دهد.

در فرمول ۳ در قسمت M کاتیون قلیایی تک ظرفیتی ( $K^+$ ،  $Li^+$ ،  $Na^+$ ) واکنش می‌دهد [۱۷]:



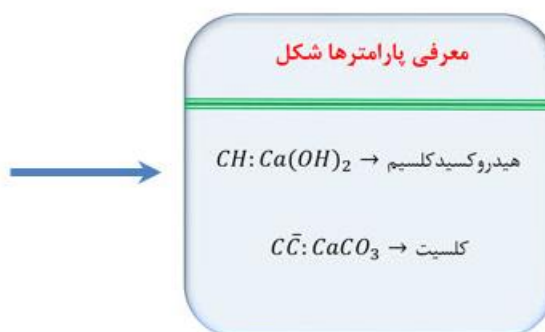
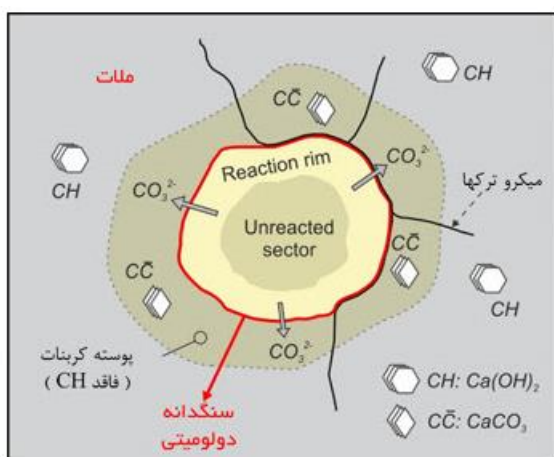
مطالعات انجام شده جهت شناسایی بهتر واکنش قلیایی - کربناتی بر اساس مکانیزم اسمز<sup>۱</sup> بدین گونه می‌باشد که: به محض خروج  $CO_3^{2-}$  (کربنات) از سنگدانه دولومیتی بر اساس انتشار اسمز معکوس و ورود به ناحیه انتقالی سنگدانه (ITZ) با  $Ca(OH)_2$  (هیدروکسید کلسیم) که در روند هیدراتاسیون آب با سیمان تولید شده است ترکیب، در این مرحله کلسیت ( $CaCO_3$ ) یعنی هاله کربناته تولید می‌شود [۱۸]. با توجه به اینکه خمیر سیمان در بتن همانند یک غشاء نیمه تراوا عمل می‌کند [۱۹] تجمع یون کربنات در ناحیه لایه مرزی سنگدانه و خمیر سیمان باعث می‌گردد که طبق پدیده اسمز یون کربنات از مرز سنگدانه عبور کرده و وارد خمیر سیمانی شده و منجر به ایجاد انبساط در بتن گردد. (شکل شماره ۴) [۲۰].



شکل ۳- ایجاد ترک در خمیر سیمانی بدلیل واکنش قلیایی - سیلیسی [۱۶]

### ۲-۱- واکنش قلیایی - کربناتی

واکنش قلیایی - کربناتی در مقایسه با واکنش قلیایی - سیلیسی کمتر مورد بررسی و شناخت قرار گرفته و مطالعات سیستماتیک بر روی این واکنش کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته شده است. این واکنش بیشتر محدود به سنگدانه ای آهکی دولومیتی می‌باشد، بلورهای کوچک دولومیت (۲ میکرومتر تا ۳۰ میکرومتر) با

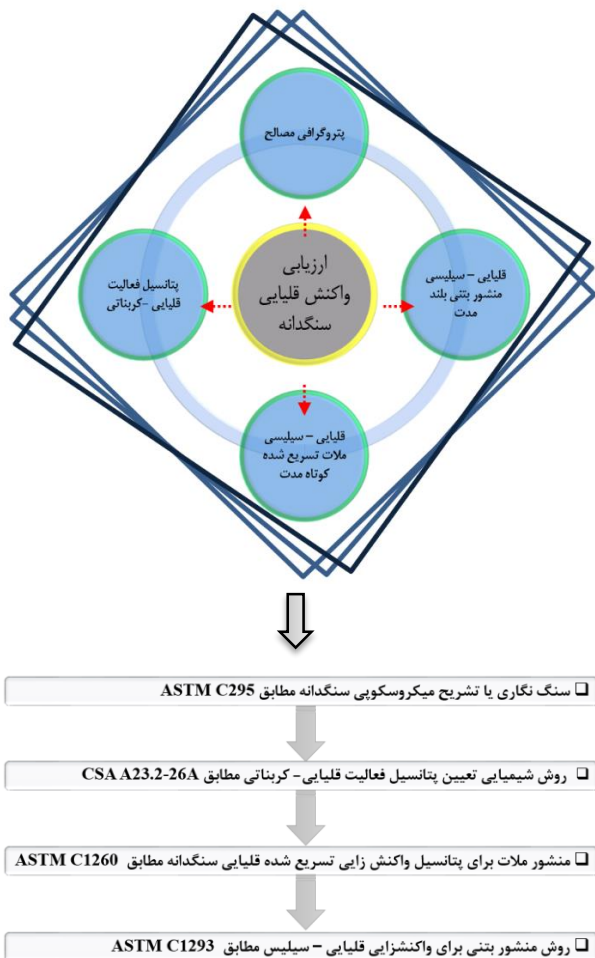


شکل ۴- مکانیزم پدیده اسمزی که در واکنش قلیایی - کربناتی در ملات یا بتن [۲۰]

ارزیابی قرار دهیم. بتن با خواص و طراحی مناسب معمولاً از مقاومت فشاری و کششی مناسب، مدول کسبختگی مطلوب و شکل پذیری قابل قبولی برخوردار است [۲۱]. در ارتباط با واکنش قلیایی سنگدانه

۳-۱- تأثیر واکنش قلیایی سنگدانه بر خواص مهندسی بتن پس از شناسایی و بررسی مکانیزم واکنش قلیایی در بتن و ملات، اکنون باید اثر این واکنش را بر روی خواص مکانیکی بتن‌ها مورد

سیمان خزر بوده که اکسیدهای تشکیل دهنده سیمان در جدول شماره ۱ طبق استاندارد ASTM C150 [۲۸]، نتایج تجزیه شیمیایی با حدود مجاز مشخصات استاندارد ASTM [۲۹] انطباق داشته و ترکیبات اصلی به همراه قلیابیت معادل در جدول شماره ۲ ارائه شده است.



شکل ۵- شماتیک روند ارزیابی واکنش قلیایی مصالح سنگدانه- ای و ترکیب آن با ماسه حاصل از لایروبی دریا

### ۲-۱-۲- مصالح سنگدانه‌ای و ماسه دریا

شن و ماسه مصرفی در این تحقیق از نوع شکسته که از معادن کوهی تالش استخراج و توسط سنگ شکن کوهی کوبیت تولید شده است. همچنین ماسه دریا حاصل از لایروبی سازه دریایی نیروگاه پره سر می باشد (شکل شماره ۶) که ماسه حاصل از لایروبی دریا با اندازه ۰-۲ میلی‌متر، ماسه با اندازه ۰-۵ میلی‌متر و نخودی با اندازه ۵-۱۹ میلی‌متر که همگی از نوع شکسته که توزیع دانه بندی آنها در شکل ۷ ارائه شده است.

ها می‌بایست، به جز انبساط مطالعه و اثرات این واکنش بر سایر خواص مورد بررسی قرار گیرد. زیرا یک بتن با میکرو ترکهای ناشی از واکنش قلیایی باعث تغییراتی در خواص مکانیکی آن می‌گردد که درک درست از این عوامل گام بسیار مهمی در استراتژی طراحی در مخلوط بتن برای سازه‌های بتنی خواهد داشت [۲۲]. از آنجا که آسیب واکنش قلیایی یکی از مشکلات رایج در سازه‌های دریایی می‌باشد [۲۳] لذا چگونگی تاثیر پذیری خواص مکانیکی بتن نظیر مقاومت فشاری، کششی و مدول الاستیسیته بتن از واکنش قلیایی سنگدانه اهمیت خواهد داشت، تحقیقات انجام شده نشان دهنده این موضوع است که با توسعه واکنش قلیایی، کاهش چشمگیر و سریع در مقاومت کششی و مدول الاستیسیته خواهد داشت و این دو ویژگی به طور قابل توجهی بیشتر از مقاومت فشاری تحت تاثیر قرار می‌گیرد [۲۴-۲۵].

### ۲- مشخصات مصالح و معرفی آزمایشهای ارزیابی واکنش قلیایی ملات و بتن ساخته شده با ماسه دریای خزر

انتخاب سنگدانه مناسب و دانه بندی آن برای سازه‌های بتنی دریایی می‌تواند عمر خدمت پذیری و دوام روسازی را بهبود بدهد [۲۶]. با توجه به اینکه از منظر دوام ارزیابی سنگدانه‌ها در پدید آمدن واکنش قلیایی بسیار مهم است [۲۷] و از طرفی با توجه به اینکه ماسه دریا بعنوان مصالح جدید در آینده نزدیک جزء یکی از منابع قرضه مهم در تامین مصالح سنگدانه‌ای بتن می‌گردد، لذا ارزیابی این مصالح از نقطه نظر شیمیایی، انبساط منشور ملات، انبساط منشور بتن و پتروگرافی دارای اهمیت ویژه می‌باشد. که در این تحقیق روند ارزیابی واکنش قلیایی سنگدانه‌ها و ماسه دریا در بتن و ملات طبق شکل شماره ۵ می‌باشد.

### ۱-۲- مشخصات مصالح مصرفی

با توجه به اینکه در آزمایشهای ارزیابی واکنش قلیایی بررسی نوع و میزان قلیایی سیمان اهمیت دارد لذا ابتدا خواص فیزیکی و شیمیایی سیمان ارایه و سپس به بررسی خصوصیات مصالح سنگدانه‌ای بالادست و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ماسه حاصل از لایروبی ساحل دریای خزر خواهیم پرداخت.

### ۱-۱-۲- سیمان مصرفی

در این تحقیق سیمان مصرفی از نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ شرکت

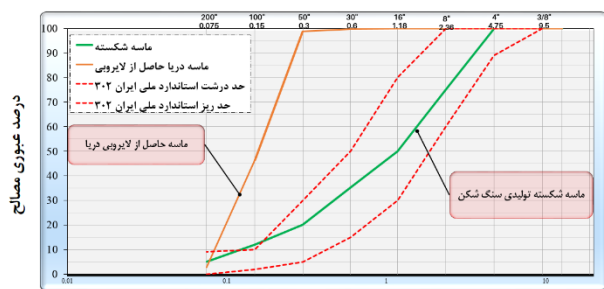
جدول ۱- مشخصات شیمیایی و اکسیدهای سیمان پرتلند تیپ دو خزر

حدود مجاز	% نتایج	اکسیدهای تشکیل دهنده
حداقل ۲۰	22	سیلیس Silicon Dioxide ( SiO <sub>2</sub> )
حداکثر ۶	5.09	اکسید آلومینیوم Aluminium Oxide ( Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
حداکثر ۶	3.31	اکسید آهن Ferric Oxide ( Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
-	63.5	اکسید کلسیم Calcium Oxide ( CaO )
حداکثر ۶	1.85	اکسید منیزیم Magnesium Oxide ( MgO )
حداکثر ۳	2.07	اکسید سولفات Sulfur TriOxide ( SO <sub>3</sub> )
-	0.35	اکسید سدیم Sodium Oxide ( Na <sub>2</sub> O )
-	0.71	اکسید پتاسیم Potassium Oxide ( K <sub>2</sub> O )
حداکثر ۳	1.1	افت وزنی در برابر حرارت Loss on Ignition ( Lo I )
-	0.7	باقیمانده نامحلول Insoluble Residue

جدول ۲- ترکیبات اصلی سیمان پرتلند تیپ دو خزر

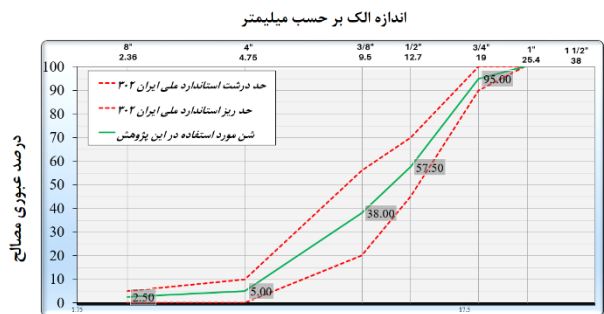
% نتایج	ترکیبات اصلی تشکیل دهنده سیمان
46.48	سه کلسیم سیلیکات ( الیت ) Tricalcium Silicate ( C <sub>3</sub> S )
28.01	دو کلسیم سیلیکات ( بلیت ) Dicalcium Silicate ( C <sub>2</sub> S )
7.89	سه کلسیم آلومینات Tricalcium Aluminate ( C <sub>3</sub> A )
10.07	چهار کلسیم آلومینوفریت Calcium Alumino Ferrite ( C <sub>4</sub> AF )
54.36	- C <sub>3</sub> S + C <sub>3</sub> A
25.85	- C <sub>4</sub> AF + 2(C <sub>3</sub> A) or C <sub>4</sub> AF + 2(C <sub>2</sub> F)
0.82	قلیائیت معادل Alkalies ( Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O )

از حداکثر مجاز استاندارد ملی ۳۰۲ ایران [۳۱] پایین تر بوده و مناسب برای ساخت بتن است.



شکل ۶- A - نمای از تولید مصالح سنگدانه‌ای شکسته کوهی.

B - برداشت ماسه دریا در مجاورت سازه دریایی



شکل ۷- منحنی دانه بندی مصالح سنگدانه‌ای

جهت شناسایی عناصر ماسه دریا و بمنظور بررسی دقیقتر خواص شیمیایی و خواص ذاتی ماسه بادی از منظر کانی شناسی، آزمایشهای شیمی تعیین عناصر و نیز وجود یونهای مضر با سه روش مطابق استاندارد ملی ۱۹۰۳۸-۱ ایران [۳۰] مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۳ ارایه شده است. بر اساس نتایج کسب شده، مواد زیان آور در سنگدانه ریز ماسه دریا

جدول ۳- ترکیبات شیمیایی و عناصر موجود در ماسه دریا

اکسید سدیم کل	اکسید سدیم محلول در آب	اکسید پتاسیم کل	اکسید پتاسیم محلول در آب	اکسید کلسیم	اکسید منیزیم	اکسید آلومینیوم	اکسید آهن
0.47	0.21	0.07	0.02	8.8	1.99	3.3	5.6
یون کلر با روش ولهارد	یون کلر با روش موهر	یون کلر با روش پتانسیومتری	درصد یون سولفات	مواد سبک			
0.009	0.006	0.007	0.002	0.016			

**۲-۲- طرح اختلاط و تعداد آزمون‌های آزمایش‌ها**  
 نسبت مصالح خشک ملات مورد آزمایش برای ساخت ملات منشوری و ارزیابی قابلیت واکنش سنگدانه‌ها با قلیایی‌ها به روش تسریع شده مطابق ASTM C1260 - کوتاه مدت، ۱ قسمت سیمان و ۲/۲۵ قسمت سنگدانه به صورت جرمی برای سنگدانه‌های با چگالی نسبی (وزن مخصوص) ۲/۴۵<sup>۱</sup> و بالاتر می‌باشد، که در [۳۲].

این پژوهش وزن مخصوص مصالح بر این نکته استاندارد منطبق است. مقادیر مصالح خشک برای ساخت سه آزمون ملات به ابعاد (۲۸۵×۲۵×۲۵ میلی‌متر)، ۴۴۰ گرم سیمان و ۹۹۰ گرم مصالح ریزدانه است. ترکیب مصالح سنگدانه ای مطابق جدول شماره ۴ می‌باشد. نسبت آب به سیمان باید برابر ۰/۴۷ در نظر گرفته شود

جدول ۴- مقدار مصالح مطابق استاندارد ASTM C1260

عبوری از الک	مانده روی الک	وزن لازم (%)	وزن مصالح برای هر الک (گرم)
۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴)	۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	10	99
۲/۳۶ میلی‌متر (شماره ۸)	۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	25	248
۱/۱۸ میلی‌متر (شماره ۱۶)	۶۰۰ میکرو متر (شماره ۳۰)	25	248
۶۰۰ میکرو متر (شماره ۳۰)	۳۰۰ میکرو متر (شماره ۵۰)	25	248
۳۰۰ میکرو متر (شماره ۵۰)	۱۵۰ میکرو متر (شماره ۱۰۰)	15	149
مقدار مورد نیاز مصالح ریزدانه برای سه منشور (گرم)			990

در آزمایش بررسی تغییر طول منشورهای بتنی، ناشی از واکنش سنگدانه‌ها با قلیایی‌ها مطابق ASTM C1293 بلند مدت میزان سیمان در مخلوط در هر متر مکعب  $420 \pm 10$  کیلوگرم که به دلیل تسریع در فرآیند انبساط ناشی از واکنش قلیایی، میزان قلیایی معادل را با اضافه کردن محلول سود آبه آب اختلاط بتن به میزان ۱/۲۵ درصد وزنی سیمان افزایش خواهیم داد. مشخصات مصالح سنگدانه‌ای درشت دانه در جدول شماره ۵ و نیز طرح اختلاط مطابق جدول شماره ۶ می‌باشد [۳۳].

جدول ۵- نسبت‌های درشت دانه مطابق استاندارد ASTM C1293

عبوری از	مانده روی	وزن لازم (%)	وزن مصالح برای هر الک (کیلوگرم)
۱۹/۰ میلی‌متر	۱۲/۵ میلی‌متر	33	348
۱۲/۵ میلی‌متر	۹/۵ میلی‌متر	33	348
۹/۵ میلی‌متر	۴/۷۵ میلی‌متر	34	359
مقدار مورد نیاز مصالح درشت دانه برای یک متر مکعب بتن (کیلوگرم)			1056

جدول ۶- نسبت‌های طرح اختلاط منشور بتن مطابق استاندارد ASTM C 1293

مقدار مصالح	وزن (کیلوگرم) و نسبت‌ها (%)
مقدار سیمان (کیلوگرم در مترمکعب)	۴۲۰
نسبت آب به سیمان	۰/۴۴
نسبت درشت دانه به ریز دانه	۶۰ به ۴۰
مقدار درشت دانه ۱۹ تا ۴/۷۵ میلیمتر	۱۰۵۵/۶
مقدار ریز دانه ۴/۷۵ تا ۰ میلیمتر	۷۰۳/۷
مقدار آب	۱۸۴/۸

در این تحقیق با توجه به اینکه اثر استفاده از ماسه دریا در بتن سازه‌های دریایی و واکنش پذیری آن مورد مطالعه قرار گرفته است، لذا ابتدا واکنش پذیری مصالح معدن سنگ کوهی منطقه رضوانشهر در استان گیلان که عدم واکنش پذیری آن قبلاً مورد بررسی قرار گرفته، بعنوان مصالح شاهد به نام طرح SH 0، سپس ماسه دریا بصورت خالص به نام طرح SH 100 و همچنین ترکیب ماسه حاصل از لایروبی دریا و ماسه شکسته به نسبت ۲۰،۱۰ و ۴۰ درصد مورد آزمایش کوتاه مدت و بلند مدت واکنش قلیایی مطابق جدول شماره ۷ قرار گرفته است.

جدول ۷- طرح‌های مختلف اختلاط آزمایش واکنش قلیایی سنگدانه‌ها معدن کوهی و ماسه دریا

شماره طرح	درصد وزنی	تعیین پتانسیل فعالیت	منشور ملات برای پتانسیل	روش منشور بتنی برای واکنش
	ماسه دریا در	قلیایی - کربناتی	واکنش زایی تسریع شده قلیایی	زایی قلیایی - سیلیس
	ترکیب با ماسه شکسته	روش شیمیایی - استاندارد	روش کوتاه مدت - استاندارد	روش بلند مدت - استاندارد
		SA A23.2-26A	ASTM C1260	ASTM C1293
SH 0	0%	۱ آزمون	۳ آزمون	۳ آزمون
SH 10	10%	۱ آزمون	۳ آزمون	۳ آزمون
SH 20	20%	۱ آزمون	۳ آزمون	۳ آزمون
SH 40	40%	۱ آزمون	۳ آزمون	۳ آزمون
SH 100	100%	۱ آزمون	۳ آزمون	۳ آزمون
جمع هر آزمایش		۵ آزمون	۱۵ آزمون	۱۵ آزمون
جمع کل		۳۵ آزمون		

۲-۳- آماده سازی، نحوه ساخت و عمل آوری آزمون‌ها

با توجه به اینکه واکنش قلیایی سنگدانه‌ها در سازه‌ها یک واکنش بلند مدت است و لذا برای بررسی این موضوع استانداردهای روشهای آزمایشگاهی تسریع شده را پیش بینی کرده اند، در این پژوهش بعد از پتروگرافی و آزمایشهای شیمیایی از دو روش معتبر ASTM C1260 و ASTM C1293 به منظور ارزیابی واکنش پذیر بودن سنگدانه‌های حاصل از لایروبی دریا استفاده گردیده است، در ادامه به روش ساخت و عمل آوری آزمون‌ها

۲-۳-۱- ساخت ملات به روش استاندارد ASTM C1260

آزمایش قابلیت تعیین واکنش سنگدانه‌ها با قلیایی‌ها به روش ملات منشوری تسریع شده به تفصیل در استاندارد ASTM C1260 تدوین شده است. این آزمایش بدلیل مدت زمان کوتاه در ارایه نتایج و انطباق مناسب با داده‌های بلند مدت [۳۴] جزء پرکاربردترین آزمایشهای مورد استفاده در بررسی واکنش پذیری



سنگدانه ها بشمار می آید. شرایط انجام آزمایش بدین گونه می- باشد که حداقل سه آزمونه برای هر ترکیب سنگدانه و سیمان ساخته و قالب گیری می گردد. قالب ها در دو لایه تقریباً مساوی پر و هر لایه با استفاده از میله، بخصوص در گوشه ها و اطراف پین ها متراکم می گردد. بلافاصله پس از قالب گیری، داخل اتاق مرطوب قرار داده و پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و قرائت اولیه انجام گردد. پس از آن عمل آوری تمامی آزمونه ها ساخته شده در داخل یک محفظه با مقدار کافی محلول یک نرمال هیدروکسید سدیم (NaOH)، در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و بگونه ای که آزمونه ها کاملاً غرقاب شوند قرار داده می شود. دمای و همچنین



شکل ۸- مراحل آزمایش واکنش پذیری ملات بر اساس استاندارد ASTM C1260

۱: قالب منشور ملات ۲: ظرف سود یک نرمال در داخل آون با دمای ۸۰ به همراه فاصله نگهدارنده آزمونه جهت غرقاب کامل در محلول  
۳: صفر کردن دستگاه با میله مبنا ۴: اندازه گیری طول آزمونه در محفظه مخصوص و مجهز به تهویه هوا

است، با انجام موارد مزبور توانسته اند مدت زمان آزمایش ASTM C1293 را کاهش دهند [۳۵]. در این خصوص افزایش دما در آزمایش بلند مدت واکنش قلیایی از ۳۸ درجه سانتیگراد به ۸۰ درجه سانتیگراد و همچنین استفاده از محلول یک نرمال هیدروکسید سدیم می تواند زمان انجام آزمایش را از یکسال تا ۴ هفته تقلیل دهد [۳۴]. مراحل قالب گیری، عمل آوری و نحوه اندازه گیری استاندارد ASTM C1293 به شرح شکل ۹ می باشد.

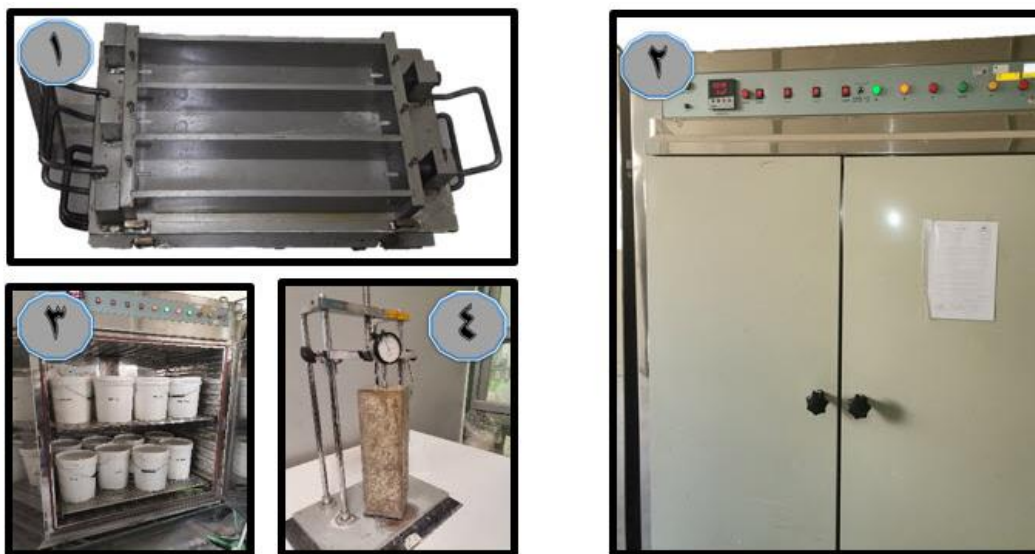
### ۳-۱-۳- ارایه نتایج ارزیابی واکنش قلیایی سنگدانه ای کوهی و مصالح حاصل از لایروبی دریای خزر

۳-۱-۳- سنگ نگاری و مطالعه میکروسکوپی ماسه دریا اولین مرحله برای مطالعه و شناسایی مصالح انجام آزمایش سنگ نگاری می باشد. جهت انجام آزمایش سنگ نگاری مطابق

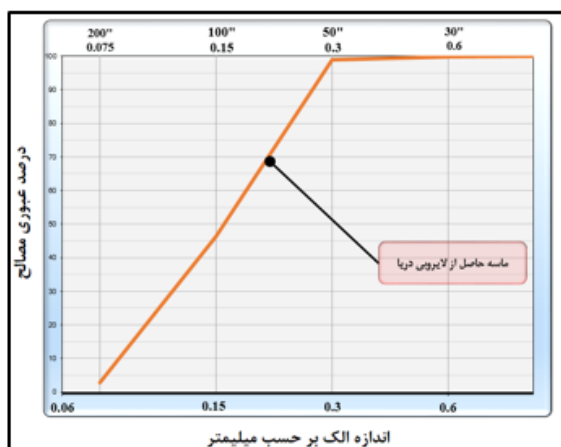
۲-۳-۲- ساخت بتن به روش استاندارد ASTM C1293 آزمایش ساخت بتن و ارزیابی واکنش قلیایی در قالب استاندارد های گوناگون ارایه شده است، که یکی از معتبرترین این استانداردها، روش تعیین قابلیت انبساط پذیری به روش اندازه گیری تغییر طول منشورهای بتنی براساس ASTM C1293 می- باشد. همانگونه که در بخش ۲-۲ بدان اشاره کردیم، با افزودن مقدار قلیایی به منشورهای بتنی برای افزایش قلیائیت معادل سیمان پرتلندبه میزان ۱/۲۵ در صد معادل سدیم برای یک متر مکعب بتن، این آزمایش ارزیابی دقیق تر و قابل اطمینانی از پایداری بتن در یک سازه واقعی را ارایه می دهد.

مشکل اصلی این آزمایش زمان یک تا دو ساله آزمایش می باشد که بسیار طولانی است، که در حال حاضر روشهای تسریع شده این آزمایش نیز که مبتنی بر تغییر شرایط نگهداری، دما و قلیائیت

استاندارد ASTM C295 [۳۶] ابتدا مصالح قرصه ماسه دریا را براساس استاندارد ASTM C117 [۳۷] و ASTM C136 [۳۸] دانه بندی می‌نمایند. محاسبه مقادیر دانه بندی و تعیین درصد هر فراکسیون در شکل شماره ۱۰ مشخص شده است.



شکل ۹- مراحل آزمایش ساخت بتن بر اساس استاندارد ASTM C1293 ۱: قالب منشور بتن ۲: آون و تنظیم دمای ۳۸ درجه سانتیگراد ۳: قراردادن منشورها بصورت قائم داخل ظروف ۴: اندازه گیری طول آزمون



اندازه الک	وزن مانده (گرم)	ورن مانده	درصد مانده	درصد عبوری
۸#	0.00	تجمعی	0.00	100.00
۱۶#	9.10	تجمعی (گرم)	9.10	99.63
۳۰#	15.60		24.70	99.01
۵۰#	40.70		65.40	97.38
۱۰۰#	1197.80		1263.20	49.32
۲۰۰#	1143.50		2406.70	3.44
عبوری ۲۰۰	85.80		2492.50	0.00
مدول نرمی ماسه دریا	0.5			

شکل ۱۰- نتایج دانه بندی ماسه حاصل از لایروبی دریای خزر

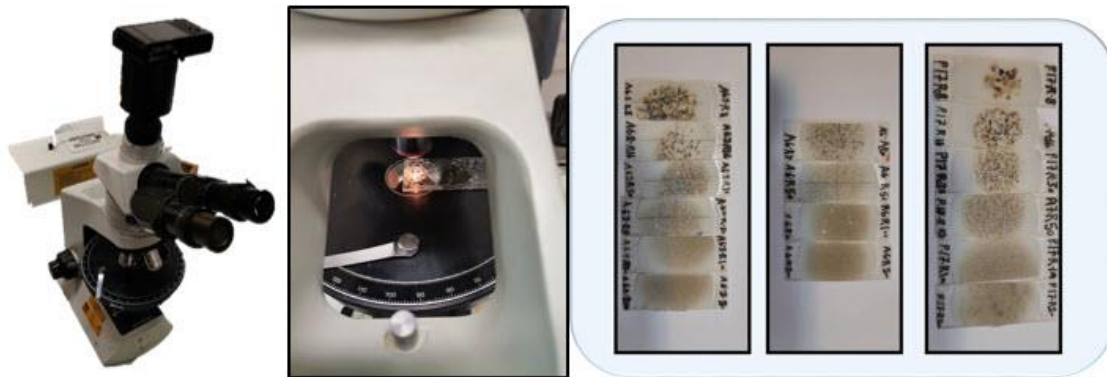
سنگدانه مشاهده شده می‌باشد، (B) سنگ آذرین بیرونی<sup>۴</sup> و پتانسیل بالایی برای ایجاد واکنش قلیایی سیلیسی نخواهد داشت، (C) سنگدانه آذرین درونی، سنگدانه های این گروه فقط درحد بلورهای تشکیل شده است، این گروه پتانسیل ایجاد واکنش قلیایی سیلیسی را دارا نمی باشند، (D) سنگدانه های سیلیسی که درصد اندکی از حجم کل مصالح را تشکیل می‌دهند. این گروه با توجه به اینکه دارای سیلیس های میکرو کریستالین و کریستوتالین هستند، جزء سنگ‌های فعال محسوب می‌شوند.

سپس نمونه بردانی انتخابی (سیستماتیک) از روی هر الک با توجه به نوع سنگ شمارش شده ، با توجه به تغییرات کانی شناسی<sup>۱</sup> تیغه‌های نازک<sup>۲</sup> تهیه شده و مصالح حاصل از لایروبی دریا مورد مطالعه میکروسکوپی قرار می‌گیرد (شکل شماره ۱۱).

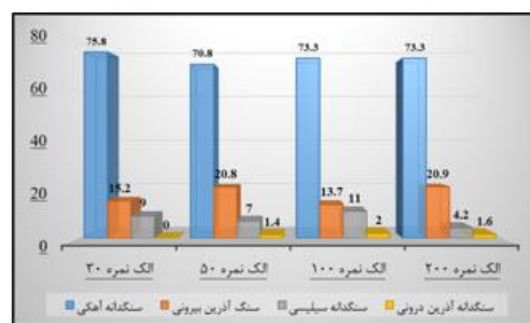
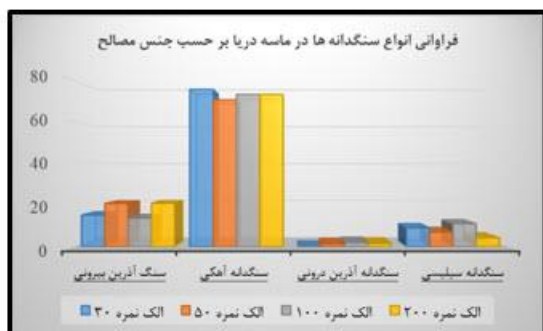
پس از مطالعه میکروسکوپی بر روی ۴۴۲ دانه ماسه دریا خزر، چهار گروه سنگدانه، شامل گروه‌های A تا D شناسایی گردید (شکل شماره ۱۲). گروه (A) سنگدانه های آهکی<sup>۳</sup> از جنس کربنات کلسیم که دارای طیف گسترده‌ای است و فراوانترین

3 -Limestone  
4 -Igneous Rock(Volcanic)

1-Mineralogy  
2- Thin Section



شکل ۱۱- تجهیزات سنگ نگاری و صفحات شیشه‌ای نازک میکروسکوپ (لام) مقاطع ماسه دریا



شکل ۱۲- فراوانی انواع سنگدانه‌ها در ماسه دریا به تفکیک هر الک

### ۳-۲- نتایج شیمیایی CSA A23.2-26A برای ارزیابی

#### پتانسیل فعالیت قلیایی - کربناتی

همانگونه که در مباحث قبلی بدان اشاره گردید واکنش قلیایی - کربناتی بر هم کنش قلیایی های موجود در بتن و گونه های مشخصی از سنگدانه های کربناتی نظیر واکنش کربنات ها با سنگ آهک کلسیتی، آهک دولومیتی و آهک دولومیتی ریز که شامل رس و کلسیت می باشد. با توجه به مطالعات میکروسکوپی ماسه دریا و شناسایی سنگدانه ها با قابلیت واکنش قلیایی - کربناتی، انجام آزمایش شیمیایی این واکنش ضروری می باشد، طبق منابع معتبر یکی از آزمایشهای اصلی و دقیق شیمیایی در این زمینه روش آزمایش CSA A23.2-26A [۳۹] است. در این روش، سنگدانه حاصل از لایروبی از دریای خزر مورد آنالیز شیمیایی جهت تعیین درصد وزنی اکسید کلسیم، اکسید منیزیم و اکسید آلومینیوم (جدول شماره ۹) قرار گرفته که نتایج آن در شکل شماره ۱۳ ارایه شده و بر اساس موقعیت آن واکنش زایی قلیایی - کربناتی ارزیابی می گردد. شایان ذکر است این نمودار بر اساس نتایج بدست آمده از عملکرد واقعی سنگدانه ها در سازه های بتنی، آزمایش منشور بتنی و نیز آزمایش استوانه سنگی تنظیم شده است [۴۰].

در ادامه اشکال ویژه و همچنین تعداد کل دانه های مطالعه شده و نیز درصد و نوع سنگ‌های تشکیل دهنده و درصد کانی‌ها با پتانسیل واکنش زایی - سیلیسی و قلیایی - کربناتی در جدول شماره ۸ ارایه می شود.

براساس سنگ نگاری انجام شده بر روی ماسه لایروبی دریای خزر، اغلب مصالح از قطعات آذرین و رسوبی تشکیل شده است. قطعات صدف نیز به مقدار قابل توجه در مصالح مشاهده می شود. در نمونه مورد مطالعه، چرت، میکا، دولومیت های نوع خاص با قابلیت واکنش پذیری از نوع قلیایی - کربناتی وجود دارد.

درصد چرت آزاد در مصالح حدود ۲/۲۱ درصد است. بجز چرت که از عوامل مضر در استاندارد ASTM C295 می باشد حدود ۹/۰۸ درصد مصالح از قطعات سیلیسی ناپایدار (با پتانسیل واکنش زایی از نوع قلیایی - سیلیسی) تشکیل شده که شامل توف ریولیتی، توف ژئولیتی شده و توف شیشه‌ای می باشد. در نهایت طبق مطالعات انجام شده بر روی ماسه حاصل از لایروبی دریای خزر، درصد مواد با قابلیت واکنش زایی از نوع قلیایی - کربناتی حدود ۲ درصد و درصد مواد با قابلیت واکنش زایی از نوع قلیایی - سیلیسی حدود ۱۱ درصد می باشد.

جدول ۸- شرح و تصاویر ماسه دریا بر اساس الک‌های دانه بندی شده

تصویر	شماره الک / شرح تصویر
	<p>✓ الک شماره ۳۰ (سایز الک ۶۰۰ میکرون)</p> <p>نوع نور : پلاریزه بزرگنمایی : 400X</p> <p>← Si قطعه سنگدانه سیلیسی ← Li قطعه آهکی ← Py کانی پیروکسن</p>
	<p>✓ الک شماره ۵۰ (سایز الک ۳۰۰ میکرون)</p> <p>نوع نور : پلاریزه بزرگنمایی : 400X</p> <p>← Ig سنگدانه آذرین ← Li قطعه آهکی ← Py کانی پیروکسن</p>
	<p>✓ الک شماره ۱۰۰ (سایز الک ۱۵۰ میکرون)</p> <p>نوع نور : پلاریزه بزرگنمایی : 400X</p> <p>← Li قطعه آهکی ← Py کانی پیروکسن ← O بلورهای اپک ← Q تک بلور کوارتز</p>
	<p>✓ الک شماره ۲۰۰ (سایز الک ۷۵ میکرون)</p> <p>نوع نور : پلاریزه بزرگنمایی : 400X</p> <p>سنگدانه های آهکی ریز بلور، خرده‌های پیروکسن رنگی کانی های تیره اپک</p>

بررسی می شود. همچنین مصالح کوهی تحت آزمایش شیمیایی استاندارد CSA A23.2-26A و نیز انبساط مغزه سنگ کوهی طبق استاندارد ASTM C586 [۴۱] به مدت ۱۱۲ روز جهت بررسی آزمایش پتانسیل قلیایی - کربناتی مورد ارزیابی قرار گرفت، که انبساط ۱۱۲ روز صفر و نتایج عناصر جدول شماره ۱۰ و انطباق آن با نمودار آیین نامه کانادا (شکل شماره ۱۴) حاکی از عدم واکنش زایی مصالح شکسته و مغزه سنگ کوهی می باشد.

با توجه به نمودار شماره ۱۳ نتایج آنالیز شیمیایی ماسه دریا نشان دهنده پتانسیل واکنش زایی قلیایی - کربناتی در این مصالح است، در این مرحله و بعد از محرز شدن این واکنش توسط آزمایش شیمیایی، طبق استاندارد می بایست آزمایشهای تکمیلی دراز مدت بر روی نمونه های مشهور بتنی انجام گردد تا قضاوت صحیح در خصوص انبساط پذیری این مصالح انجام شود. این استاندارد تاکید می گردد فقط واکنش قلیایی - کربناتی توسط این آزمایش

جدول ۹- نتایج عناصر شیمیایی آزمایش قلیایی - کربناتی

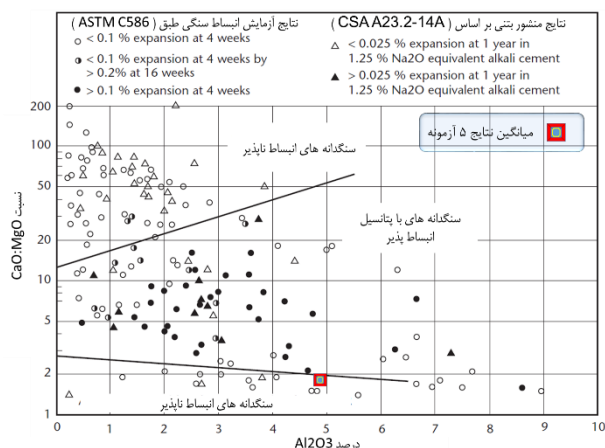
ماسه دریا

شماره نمونه	CaO %	MgO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	نسبت CaO:MgO
1	8.80	1.99	3.30	4.42
2	9.90	1.95	2.86	5.08
3	9.60	1.73	2.36	5.55
4	8.30	1.81	3.02	4.59
5	9.50	1.86	2.66	5.11
میانگین	9.22	1.87	2.84	4.95

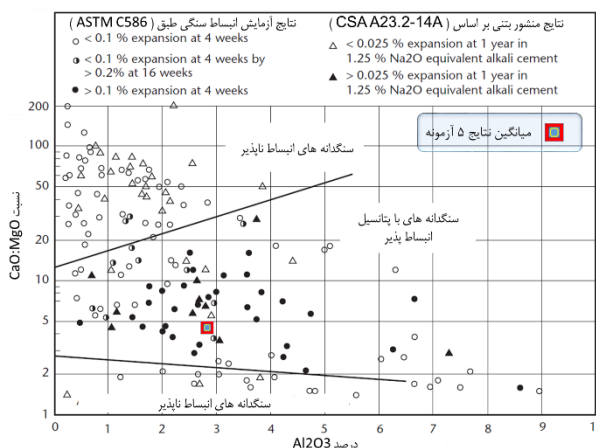
جدول ۱۰- نتایج عناصر شیمیایی آزمایش قلیایی - کربناتی

مصالح کوهی

شماره نمونه	CaO %	MgO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	نسبت CaO:MgO
1	7.78	3.32	4.90	2.34
2	7.58	3.18	5.20	2.38
3	5.65	3.80	4.95	1.49
4	6.80	3.20	4.98	2.13
5	6.15	3.50	4.60	1.76
میانگین	6.79	3.40	4.93	2.02

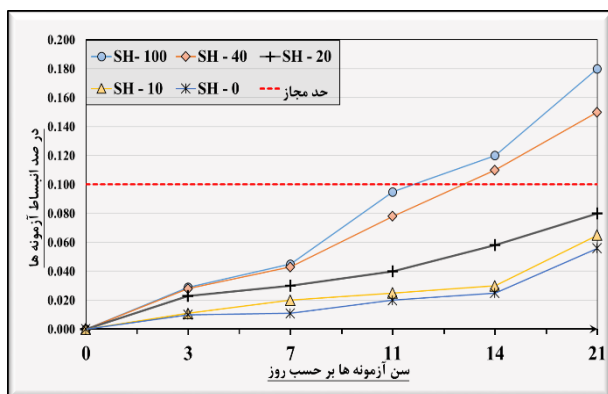


شکل ۱۴- نمودار واکنش قلیایی - کربناتی مصالح کوهی



شکل ۱۳- نمودار واکنش قلیایی - کربناتی ماسه دریا

نمونه ها که بین ۰/۱ تا ۰/۲ درصد می باشد، احتمال واکنش زایی این ترکیب زیاد می باشد. در این ارتباط جهت اظهار نظر قطعی انجام آزمایش دراز مدت استاندارد ASTM C1293 در ادامه انجام و نتایج آن ارایه می شود.



شکل ۱۵- تغییر طول ملات ناشی از واکنش قلیایی سیلیسی براساس استاندارد ASTM C1260 برای ترکیب مختلف

مصالح ریز دانه شکسته + ماسه دریا

### ۳-۳- نتایج روش کوتاه مدت ملات منشوری سریع شده

#### ASTM C1260 جهت بررسی واکنش قلیایی - سیلیسی

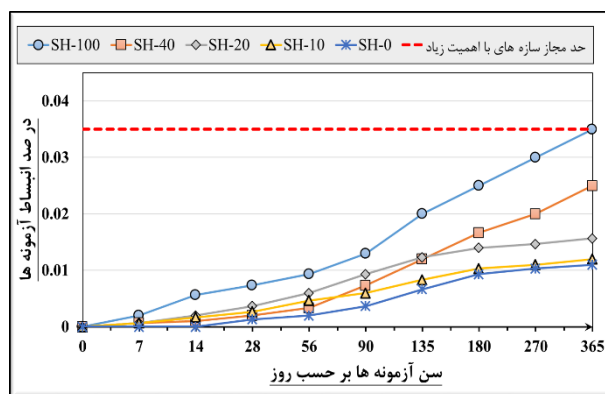
این آزمایش یکی از آزمایشهای سریع و اولیه واکنش پذیری سنگ دانه ها بوده که انبساط ناشی از واکنش قلیایی - سیلیسی را در محیط خاص عمل آوری سود یک نرمال مورد بررسی قرار می دهد. در طرحهای مورد بررسی همانگونه که در شکل شماره ۱۵ ملاحظه می گردد با افزایش ترکیب ماسه دریا انبساط ناشی از واکنش قلیایی سیلیسی افزایش پیدا می کند بگونه ای که در نسبت - های جایگزینی بیش از ۴۰٪ نتایج در محدوده مشکوک به واکنش زایی قرار گرفته است.

از این رو می توان طبق نتایج کسب شده مطابق استاندارد ASTM C 1260 استناد کرد که، استفاده از مصالح جایگزین ماسه دریا تا حدود ۲۵٪ با ماسه شکسته بلامانع بود و در محدوده واکنش ناپذیر یا سالم قرار می گیرد، در صورتی که این نسبت جایگزینی وزنی ماسه دریا با ماسه شکسته بیش از ۳۰٪ باشد با توجه به میزان انبساط

### ۳-۴- نتایج روش بلند مدت منشور بتنی ASTM C1293

#### جهت بررسی تکمیلی واکنش قلیایی - سیلیسی و کربناتی

آزمایش بلند مدت منشور بتنی مطابق با استاندارد ASTM C1293 بر روی ترکیب ماسه دریا و ماسه شکسته انجام شده است. این آزمایش یکی از معتبرترین آزمایشها جهت ارزیابی صحیح و نزدیک به واقعیت در خصوص واکنش قلیایی - سیلیسی و کربناتی می باشد. این آزمایش بدلیل مدت زمان زیاد برای انجام آزمایش و شرایط واقعی تر نتایج معتبری ارائه می نماید، لذا با توجه به اهمیت بالای سازه های دریایی این آزمایش بر روی منابع قرضه بتن ساخته شده با ماسه حاصل از لایروبی دریا صورت پذیرد. نتایج به دست آمده حاکی از انبساط کم آزمون ها با ترکیب ماسه حدود ۰.۲۵٪ و برای نسبتهای جایگزین بالاتر ماسه حاصل از لایروبی دریا روند تغییر طول آزمون ها افزایشی به گونه ای که درصد ازدیاد طول نزدیک به حد مجاز ۰/۰۳۵ درصد در سازه های مهم و با اهمیت زیاد (مطابق استاندارد ASTM C 1293) که این حد کمتر از حد مشخص شده در سازه های معمولی است، نزدیک و در نسبت ۱۰۰ درصد ماسه دریا منطبق باحد مجاز می گردد. لذا بر اساس نتایج بدست آمده بلند مدت احتمال خطر واکنش زایی این مصالح را در صد های بالای ۵۰٪ جایگزینی ماسه دریا را تشخیص داده و در خصوص استفاده این مصالح در نسبتهای بالا و خالص می بایست تمهیدات واکنش زایی را در نظر داشت. نتایج تغییر طول آزمایش منشور بتنی که میزان انبساط نمونه در طول ۵۲ هفته (یکسال) در ۵ حالت اندازه گیری و مورد مطالعه قرار گرفته در شکل شماره ۱۶ ارائه گردیده است.



شکل ۱۶- تغییر طول منشور بتنی ناشی از واکنش قلیایی بر اساس استاندارد ASTM C1293 برای ترکیب مختلف مصالح ریز دانه شکسته + ماسه دریا

### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش با توجه به کمبود منابع قرضه سنگدانه ای در شمال کشور، بررسی امکان استفاده از ماسه دریا بعنوان یک منبع قرضه جدید مورد ارزیابی قرار گرفت، در این ارتباط در گام نخست بررسی کنترل کیفی این مصالح انجام، تا بعنوان یک مصالح طبیعی در جهت کاهش اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از دپوی مصالح بلا استفاده ماسه دریا در حاشیه دریای خزر در سازه های دریایی بتنی مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا نتایج ذیل را می توان از این پژوهش استخراج نمود:

- با توجه به اهمیت ویژه مباحث دوام بتن و اینکه عمر خدمت دهی طولانی سازه مترادف با دوام در نظر گرفته می شود [۴۲] لذا بررسی مناسب دوام اجزای بتن بخصوص مصالح سنگدانه ای که تقریباً ۸۵ درصد حجم بتن را تشکیل می دهد ضروری به نظر می رسد.

- با توجه به مزایای بتن و تولید بتن در آینده و در نظر گرفتن ملاحظات نظیر صرفه جویی در مصرف انرژی، مسایل مالی و اقتصادی، موارد زیست محیطی و استحصال از معادن کوهی در شمال ایران که مستلزم قطع درختان می باشد. ضرورت شناسایی منابع تامین سنگدانه ها بصورتی که کمترین آلودگی و ضرر را داشته باشد از اهمیت بسزایی برخوردار است. که ماسه دریا نه تنها در زمینه محیط زیست و توسعه پایدار از ارجحیت بالایی برخوردار است بلکه طبق مطالعات انجام شده باعث بهبود کیفیت بتن نیز می گردد.

- با توجه به جدید بودن منبع قرضه ماسه دریا، مطالعات جامع به ۴ روش جهت ارزیابی واکنش قلیایی مصالح سنگدانه ای در بتن بر روی ماسه دریا انجام پذیرفت، در اولین گام پتروگرافی بر اساس ASTM C295 جهت شناسایی کانی ها انجام گرفت، سپس با انجام آزمایش شیمیایی CSA A23.2-26A پتانسیل فعالیت قلیایی- کربناتی ارزیابی می شود، در گام سوم، ملات منشوری جهت تعیین پتانسیل فعالیت قلیایی - سیلیسی به روش تسریع شده مطابق ASTM C1260 میبایست در دستور کار قرار گیرد و در نهایت با توجه به اهمیت بالای سازه های دریایی و محیط قرار گیری این نوع سازه ها واکنش قلیایی - سیلیسی و کربناتی با روش بلند مدت ساخت منشور بتنی طبق ASTM C1293 مورد بررسی و ارزیابی قرار گردد.

- نتایج آزمایشهای ۴ گانه در زمینه ارزیابی سنگدانه ها ماسه حاصل

- [2] Achour, R., Zentar, R., Abriak, N.-E., Rivard, P., Gregoire, P., 2019. Durability study of concrete incorporating dredged sediments. *Case Stud. Constr. Mater.* 11, e00244.
- [3] Jorge de Brito and Francisco Agrela. "New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete" Philadelphia: Elsevier (2019)
- [4] Y. Zhao, X. Hu, C. Shi, Z. Zhang and D. Zhu "A review on seawater sea-sand concrete: Mixture proportion, hydration, microstructure and properties" *Construction and Building Materials* 2021 Vol. 295 Pages 123602 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123602>
- [5] B. Fournier, M.A. Bérubé, M.D.A. Thomas, N. Smaoui, K.J. Folliard, Evaluation and Management of Concrete Structures Affected by Alkali-Silica Reaction—A Review. MTL 2004-11 (OP), Nat. Resour. Canada, Ottawa. (2004).
- [6] N.W. Hayes, Q. Gui, A. Abd-Elssamd, Y. Le Pape, A.B. Giorla, S. Le Pape, E.R. Giannini, Z.J. Ma, Monitoring alkali-silica reaction significance in nuclear concrete structural members, *J. Adv. Concr. Technol.* 16 (2018) 179-190, <https://doi.org/10.3151/jact.16.179>.
- [7] Kim Hung Mo, Tung-Chai Ling, Tee How Tan, Geok Wen Leong, Choon Wah Yuen, Syed Nasir Shah Alkali-silica reactivity of lightweight aggregate: A brief overview. *Construction and Building Materials*. Elsevier. 8 February 2021 <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121444>
- [8] Mark G Alexander, 4 - Alkali-aggregate reaction, Editor(s): Sidney Mindess, In *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2019, Pages 87-113, ISBN 9780081026168, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00004-6>.
- [9] L.F.M. Sanchez, B. Fournier, M. Jolin, D. Mitchell, J. Bastien, Overall assessment of Alkali-Aggregate Reaction (AAR) in concretes presenting different strengths and incorporating a wide range of reactive aggregate types and natures, *Cement and Concrete Research*, Volume 93, 2017, Pages 17-31, ISSN 0008-8846, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.12.001>.
- [10] Yifan Zhao, Xiang Hu, Caijun Shi, Zuhua Zhang, Deju Zhu, A review on seawater sea-sand concrete: Mixture proportion, hydration, microstructure and properties, *Construction and Building Materials*, Volume 295, 2021, 123602, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123602>.
- [11] Sidney Mindess, 6 - Resistance of Concrete to

از لایروبی دریا خزر از نقطه نظر پدیده مهم دوامی واکنش قلیایی که هم بصورت کوتاه سریع شده و نیز بلند مدت انجام پذیرفت، نتایج بدست آمده از این آزمایشها موید این مطلب می باشد که در روش کوتاه مدت بدلیل شرایط شدید عمل آوری سریع شده شاهد نتایج انبساط بالاتری نسبت به آزمایش بلند مدت می باشد که این مهم نیز مورد تاکید سایر محققین می باشد. همچنین کیفیت این مصالح و عدم استعداد واکنش زایی قلیایی-سیلیسی و کربناتی در نسبتهای جایگزینی ماسه دریا حداکثر تا ۲۰٪ محرز بوده و مناسب برای ساخت بتن می باشد.

- با توجه به این که شرایط آزمایش منشور بتنی و جایگزینی درصدی از ماسه دریا در بتن شرایط واقعی آزمایش را ایجاد می کند و در آزمایش ملات کوتاه مدت ASTM C1260 سهم بیشتری از ماسه دریا در طرح اختلاط مورد استفاده قرار گرفته و اینکه ابعاد سنگدانه ها ارتباط مستقیمی با شدت واکنش قلیایی-سیلیسی در بتن دارند. لذا در آزمایش مزبور که آزمونهای منشوری بصورت ملات ساخته می شوند از واکنش پذیری بیشتری برخوردار می باشد.

- در آزمایش واکنش قلیایی-کربناتی ماسه حاصل از لایروبی دریای خزر، بر اساس نتایج کسب شده این مصالح را بالقوه انبساط پذیر می باشد، ولی با توجه به درصد وزنی این مصالح و سایر آزمایشها تکمیلی نظیر آزمایش بلند مدت نمی توان منبع قرضه ماسه دریا را رد نمود بلکه با انتخاب نسبت بهینه جایگزینی ماسه حاصل از لایروبی با ماسه شکسته می توان واکنش زایی این مصالح را کنترل نمود.

- از تعداد ۴۴۲ سنگ دانه مورد مطالعه در پتروگرافی، ۸۳ درصد ذرات کروی شکل مشاهده و ۱۷ درصد را تیغه ای می باشد، که این شکل منتظم و کروی تاثیر بسزایی در کاهش فضای خالی مصالح ریز دانه خواهد داشت. که این امر می تواند مورد توجه در پژوهشهای آینده و بررسی خواص مکانیکی بتن ساخته شده با این مصالح قرار گیرد.

## ۵- مراجع

- [1] Chu, S.H. Yao, J.J. strength model for concrete made with marine dredged sediment. *Journal of Cleaner Production* Volume 274, 20 November 2020, Article number 122673

- [19] G.V. Verbeck, C. Gramlich, Osmotic studies and hypothesis concerning alkali aggregate reaction, *ASTM Proc.* 55 (1955) 1110–1113.
- [20] C.A. Milanesi, Evaluacion del mecanismo de expansion de rocas dolomiticas de la zona de Valcheta (provincia de Rio Negro, Argentina) empleadas como agregado en morteros y hormigones de cemento portland, Doctoral Thesis Universidad Nacional del Sur, Argentina, 2018 (294 p. (in Spanish)).
- [21] R.S. Crouch, J.G.M. Wood, Damage evolution in ASR affected concretes, *Eng. Fract. Mech.* 35 (1990) 211–218
- [22] Y. Kubo, M. Nakata, Effect of reactive aggregate on mechanical properties of concrete affected by alkali-silica reaction, *Proceedings of the 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, May 20–25th 2012, Austin (Texas), 2012 (electronic).
- [23] Z.H. Zhang, Z.Q. Sang, L.Y. Zhang, Z.X. Ma, Y. Zhang, Experimental research on durability of concrete made by seawater and sea-sand, *Adv. Mater. Res.* 641–642 (2013) 385–388.
- [24] L.F.M. Sanchez, Contribution to the Assessment of Damage in Aging Concrete Infrastructures Affected by Alkali-Aggregate Reaction (PhD thesis) Department of Geology and Geological Engineering, Université Laval, Québec, 2014
- [25] N. Smaoui, M.A. Bérubé, B. Fournier, B. Bissonnette, Influence of specimen geometry, orientation of casting plane, and mode of concrete consolidation on expansion due to ASR, *Cem. Concr. Aggreg.* 26 (2) (2004) 58–70.
- [26] Portland Cement Association (PCA) 2010 GUIDE FOR ROLLER-COMPACTED CONCRETE PAVEMENTS
- [27] رمضان پور، علی اکبر؛ پیدایش، منصور. شناخت بتن، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، چاپ اول، ۱۳۸۹.
- [28] ASTM C150 / C150M-21, Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [29] ASTM C114-18, Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [30] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۹۰۳۸، سنگدانه - آزمون های خواص شیمیایی - قسمت ۱: تجزیه شیمیایی - روش آزمون
- [31] استاندارد ملی ایران شماره ۳۲۰، سنگدانه مصرفی بتن - ویژگی ها
- Destructive Agencies, Editor(s): Peter C. Hewlett, Martin Liska, *Lea's Chemistry of Cement and Concrete (Fifth Edition)*, Butterworth-Heinemann, 2019, Pages 251-283, ISBN 9780081007730, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100773-0.00006-X>.
- [۱۲] لیثی حامد، شکرچی زاده محمد، بررسی اثر واکنش قلیایی - سیلیسی بر مشخصه های مکانیکی المان های بتنی به کمک آزمایش های متداول و آزمایش های غیر مخرب، پایان نامه دانشگاه تهران، اسفند ماه ۱۳۸۶
- [13] M. Alnagar, G. Cusatis, G. Di Luzio, Lattice Discrete Particle Modeling (LDPM) of Alkali Silica Reaction (ASR) deterioration of concrete structures, *Cem. Concr. Compos.* 41 (2013) 45–59, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.04.015>.
- [14] Afshin Mohammadi, Ebrahim Ghiasvand, Mahmoud Nili, Relation between mechanical properties of concrete and alkali-silica reaction (ASR); a review, *Construction and Building Materials*, Volume 258, 2020, 119567, ISSN 0950 0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119567>.
- [15] Asghar Gholizadeh Vayghan, Farshad Rajabipour, James L. Rosenberger, Composition-rheology relationships in alkali-silica reaction gels and the impact on the gel's deleterious behavior, *Cement and Concrete Research*, Volume 83, 2016, Pages 45-56, ISSN 0008-8846, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.01.011>.
- [16] F. Rajabipour, H. Maraghechi, G. Fischer, Investigating the alkali-silica reaction of recycled glass aggregates in concrete materials, *J. Mater. Civ. Eng.* 22 (2010) 1201–1208, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000126](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000126).
- [17] C.A. Milanesi, S.A. Marfil, F. Locati, D. Benito, Effects of different alkaline solutions on the expansivity of rock prisms of an alkali-reactive dolostone from Valcheta (Rio Negro, Argentina), *Cem. Concr. Res.* 134 (2020) 106092,, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106092>.
- [18] Carlos A. Milanesi, Silvina A. Marfil, Francisco Locati, Expansive behavior of an alkali-carbonate reactive dolostone from Argentina: Proposal of an osmotic theory-based model to explain the expansion caused by the alkali attack, *Cement and Concrete Research*, Volume 138, 2020, 106239, ISSN 0008-8846, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106239>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884620303471>)



[32]ASTM C 1260 “ Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)”2014

[33] ASTM C 1293 “Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali- Silica Reaction”2018

[34]Michael Thomas, Benoit Fournier, Kevin Folliard, Jason Ideker, Medhat Shehata, Test methods for evaluating preventive measures for controlling expansion due to alkali-silica reaction in concrete, Cement and Concrete Research, Volume 36, Issue 10, 2006, Pages 1842-1856, ISSN 0008-8846,

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.01.014>.

[35]Jan Lindgård, Michael D.A. Thomas, Erik J. Sellevold, Bård Pedersen, Özge Andiç-Çakır, Harald Justnes, Terje F. Rønning, Alkali-silica reaction (ASR)—performance testing: Influence of specimen pre-treatment, exposure conditions and prism size on alkali leaching and prism expansion, Cement and Concrete Research, Volume 53, 2013, Pages 68-90, ISSN 0008-8846, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.05.017>.

[36] ASTM C 295 “ Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete”2019

[37] ASTM C117-17, Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, [www.astm.org](http://www.astm.org)

[38] ASTM C136 / C136M-19, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, [www.astm.org](http://www.astm.org)

[39]CAN/CSA A23.2-26A. Determination of potential alkali-carbonate reactivity of quarried carbonate rocks by chemical composition . March 2011

[40] Geoff Blight, Mark Alexander “ Alkali-Aggregate Reaction and Structural Damage to Concrete” ISBN 9781138073036 -Published August 14, 2018 by CRC Press 250 Pages

[41] ASTM C586-19, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, [www.astm.org](http://www.astm.org)

[۴۲] پرفسور مهتا و مونته ئیرو ترجمه: رمضانیانپور، علی اکبر،

قدسی، پرویز و گنجیان، اسماعیل " ریزساختار، خواص و اجزای

بتن " انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر چاپ اول ۱۳۸۳.

## Effect of curing, finishing and loading rate on the bond strength of fiber reinforced SCC layer with normal concrete by pull-off method

Mohammad Hossein Hosseinjani Miyandehi

Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Guilan University Rasht Iran.

Payam Zanganeh Ranjbar \*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

M. Ahmad Lashteh Neshaei

Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

Malek Mohammad Ranjbar Taklymie

Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

Hossein Nassiraei

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

### Abstract

Expansion and damage due to the alkaline reaction of aggregates in various concrete structures as one of the major concerns in the durability of concrete structures have attracted the attention of many researchers to identify and study this importance. Aggregates containing active ingredients can cause destructive expansions even when they are small in weight. This reaction occurs between some materials in aggregates with alkaline hydroxide in the concrete pores resulting in a water-absorbing gel. This phenomenon usually causes the concrete to expand and crack through internal changes by creating changes in the boundaries between the aggregate and the cement paste. On the other hand, due to limited credit resources and the importance of environmental issues in most countries, using recycled and unused materials in the concrete industry has flourished. Therefore, in the present study, with the approach of using dredging materials and potentials in the Caspian Sea coast, in the first step, by performing lithographic experiments (microscopic observations) according to ASTM C295 standard, minerals with alkali-siliceous and carbonate reaction potentials have been identified. Then, the reactivity of the materials was studied by making concrete and mortar prisms containing these aggregates in both short-term and long-term states, and finally, by performing chemical experiments, the potential of alkaline-carbonate activity of carbonate aggregates was evaluated. Based on the results obtained from these experiments, the quality of dredged materials from the sea was suitable for making concrete.

**Keywords:** Caspian Sea dredged sand, petrography of materials, alkaline-siliceous reaction, alkaline-carbonate reaction.

---

\* Corresponding Author: p.zanganeh@guilan.ac.ir