Journal of Structural and Construction Engineering, 9(8), 2022, pp. 221-234

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Laboratory Study on Pozzolanic Concrete Oriented to Durability Approach of RC Barriers (New Jersey)

Atiye Farahani[1]*, Hosein Zanjirani Farahani[1]

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran.

ABSTRACT

Todays, use of concrete barriers has increased due to its advantages over the steel guardrails, including high impact resistance, greater safety and useful service life of about 50 years with minimal repair and maintenance costs. However, in our country, concrete barriers have a shorter service life, and therefore, more costs are imposed annually on highways for the production and replacement of old barriers In most cases, the destruction of concrete barriers is caused by changes in the volume of concrete at an early age. Improper method of execution, such as early opening of the molds, insufficient compaction and lack of wet processing of concrete are the reasons for the spread of damage. Damage caused to concrete barriers includes spalling, surface delamination, horizontal cracks, corrosion, salinization, vertical cracks, surface cracks, and concrete destruction. In this research, after experimental studies on used materials, a suitable mixture design of concrete containing zeolite pozzolan, air entraining additive and superplasticizer with a durability approach has been prepared to increase the service life of New Jersey concrete barriers; In addition to economic justification, it will also prevent the destruction of the environment. In experimental studies, the slump, temperature and air content of fresh concrete, and compressive strength, water penetration depth and resistance to freezing and thawing cycles of hardened concrete have been investigated and their results have been presented. Also, for cores of existing New Jersey concrete barrier, prepared from concrete mixture design containing zeolite, the compressive strength, deterioration of cores of New Jersey exposed to freezing and thawing cycles, and water penetration depth, have been measured.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 24 November 2021
Revise Date: 22 December 2021
Accept Date: 08 February 2022

Keywords:
New Jersey Barriers
Pozzolanic Concrete
Freezing and Thawing Cycles
Durability
Water Penetration Depth

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2022.316266.2653

*Corresponding author: Atiye Farahani.
Email address: afarahani@tafreshu.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

مطالعه آزمایشگاهی روی بتن پوزولانی با رویکرد دوام حفاظ‌های بتنی (نیوجرسی)

عطیه فراهانی[1*]، حسین زنجیرانی فراهانی[2]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تفرش، مرکزی، ایران.
۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تفرش، مرکزی، ایران.

چکیده

امروزه استفاده از حفاظ‌های بتنی به دلیل داشتن مزایایی نسبت به سیستم حفاظ‌های فلزی (گاردریل) از جمله قدرت مهار بالا در برابر ضربات وارده، ایمنی بیشتر و طول عمرمفید در حدود ۵۰ سال با حداقل هزینه‌های ترمیم و نگهداری افزایش یافته است. این در حالی است که در کشور ما، موانع بتنی عمر کوتاهی دارند و از این رو، سالیانه هزینه‌های گزافی جهت تولید و جایگزینی قطعات قدیمی به راهداری‌ها، شهرداری‌ها و سایر دستگاه‌های اجرایی تحمیل می‌شود. در اکثر موارد، تخریب‌های موانع بتنی در اثر تغییر حجم بتن در سنین اولیه ایجاد می‌شود. روش اجرای ناصحیح از جمله باز کردن زودهنگام قالب‌ها، تراکم ناکافی و عدم عمل‌آوری مرطوب بتن از دلایل آغاز و گسترش تخریب‌ها می‌باشد. از انواع آسیب‌های به وجود آمده در حفاظ‌های بتنی می‌توان به قلوه‌کن شدن، لایه لایه شدن سطح، ترک‌های افقی، خوردگی، شوره‌زدگی، ترک‌های قائم، ترک‌های ریز سطحی و بیرون‌پریدگی بتن اشاره نمود. در این تحقیق، پس از انجام مطالعات آزمایشگاهی روی مصالح مصرفی، طرح مخلوط مناسبی از بتن حاوی پوزولان زئولیت، افزودنی حباب‌ساز و فوق روان‌کننده با رویکرد دوام به منظور افزایش طول عمر حفاظ‌های بتنی نیوجرسی تهیه شده است؛ که علاوه بر توجیه اقتصادی، مانع تخریب محیط‌زیست نیز خواهد شد. در مطالعات آزمایشگاهی، روانی، دما و درصد هوای بتن تازه، و مقاومت فشاری، عمق نفوذ آب و مقاومت در برابر سیکل‌های ذوب و یخ بتن سخت شده مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است و نتایج آن‌ها ارائه شده است. همچنین، برای مغزه‌هایی از حفاظ بتنی نیوجرسی موجود، تهیه شده از طرح مخلوط بتن حاوی زئولیت، مقاومت فشاری، زوال و میزان پوسته‌شدگی مغزه‌ها در معرض مواد شیمیایی یخ‌زدا در چرخه‌های ذوب و یخ، و عمق نفوذ آب، اندازه‌گیری شده است.

کلمات کلیدی: حفاظ بتنی نیوجرسی، بتن پوزولانی، دوام، چرخه‌های ذوب و یخ، عمق نفوذ آب.

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۴۰۰/۰۹/۰۳	۱۴۰۰/۱۰/۰۱	۱۴۰۰/۱۱/۱۹	۱۴۰۰/۱۱/۱۹	۱۴۰۱/۰۸/۳۱	doi: 10.22065/jsce.2022.316266.2653
					https://doi.org/10.22065/jsce.2022.316266.2653

*نویسنده مسئول: عطیه فراهانی
پست الکترونیکی: afarahani@tafreshu.ac.ir

۱- مقدمه

دوام و پایایی سازه‌های بتن‌آرمه مانند فونداسیون و عرشه پل‌ها، اسکله‌های دریایی، روسازی‌ها و ... به دلیل حجم بار ترافیکی و قرار گرفتن در معرض عوامل محیطی، توجه زیادی را در تکنولوژی بتن به خود جلب کرده است. در این راستا تلاش های زیادی برای بهبود مقاومت و دوام بتن با استفاده از مواد افزودنی صورت گرفته است.

حفاظ‌های بتنی نیوجرسی اجزای پیش‌ساخته بتنی هستند که به عنوان حفاظ‌های بتنی برای مصارف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند که باید در برابر چرخه‌های ذوب و یخ، و در برابر یون های مهاجم مانند کلریدها و سولفات‌ها دوام کافی داشته باشند. در واقع، نیوجرسی‌ها بلوک‌های سیمانی با ابعاد بزرگ هستند که وزن بالایی دارند و توسط هیچ عامل خارجی (مانند اتومبیل) به راحتی تکان نخواهند خورد. مصالح تشکیل دهنده بتن نیوجرسی شامل اجزای بتن مانند سیمان، آب و سنگدانه‌ها می‌باشد. بطوریکه، استفاده از پوزولان به عنوان جایگزین سیمان پرتلند می‌تواند دوام و طول عمر حفاظ‌های بتنی نیوجرسی را افزایش دهد.

فراهانی و همکاران [۱]، دوام و عمرمفید بتن حاوی پوزولان دوده سیلیس را در برابر شرایط محیطی خورنده کلریدی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد با کاهش نسبت آب به مواد سیمانی به نسبت ۰/۳۵ و استفاده از ۱۰ درصد دوده سیلیس به عنوان پوزولان جایگزین سیمان پرتلند، ضریب انتشار یون کلرید به داخل بتن کاهش می‌یابد.

ولی‌پور و همکاران [۲] اثر جایگزینی سیمان با درصد زئولیت، متاکائولن و دوده‌سیلیس را روی دوام بتن مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها در این مطالعه نشان‌دهنده افزایش مقاومت در صورت استفاده از زئولیت، متاکائولن و دوده‌سیلیس به عنوان جایگزینی برای سیمان است. همچنین، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که استفاده از این پوزولان‌ها باعث افزایش مقاومت الکتریکی نمونه‌ها نسبت به بتن شاهد می‌شود. بر اساس آزمایش جذب آب نمونه‌ها به این نتیجه رسیدند که با استفاده از این پوزولان‌ها می‌توان میزان جذب آب بتن را کاهش داد.

احمدی و همکاران [۳] اثر جایگزینی سیمان با درصد زئولیت و دوده سیلیس را روی مشخصات بتن مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با استفاده از زئولیت و دوده‌سیلیس، مقاومت فشاری و مقاومت الکتریکی نمونه‌ها افزایش می‌یابد، همچنین ضریب جذب آب و ضریب انتشار ویژه اکسیژن در نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

فراهانی و همکاران [۴]، دوام چهار نوع بتن حاوی پوزولان متاکائولن، دوده سیلیس، زئولیت و بدون پوزولان را در برابر حمله کلریدی در شرایط محیطی خورنده دریایی جزیره قشم مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن است که بتن حاوی زئولیت بیشترین ضریب انتشار یون کلرید در بتن و بتن حاوی دوده سیلیس کمترین ضریب اتشار یون کلرید در بتن را نشان می‌دهد. همچنین، ضریب انتشار یون کلرید در بتن با گذشت زمان، کاهش، با افزایش نسبت آب به سیمان و افزایش دما، افزایش و با استفاده از پوزولان جایگزین سیمان پرتلند، کاهش می‌یابد.

رحمتی و همکاران [۵]، دوام و عمرمفید حفاظ‌های بتنی نیوجرسی با استفاده از بتن خودمتراکم هوازایی شده را مورد مطالعه قرار دادند. در طرح اختلاط بتن تهیه شده در این تحقیق، از ۱۰ درصد دوده سیلیس جایگزین سیمان با مقدار کل مواد سیمانی ۴۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب بتن و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۴ استفاده شده است. دمای بتن تازه ۲۶ درجه سانتیگراد و درصد هوای بتن تازه ۵/۵ درصد حجمی بتن گزارش شده است که هر دو در محدوده مجاز قرار دارند. به منظور بررسی دوام بتن تهیه شده، میزان جذب آب نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتیمتری، ۱/۳۱ درصد محاسبه شده است. همچنین، مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای بتن برای نمونه‌های ۲۸ روزه بتن انجام شده است. بطوریکه، میانگین مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای برابر ۳۳/۵ کیلواهم سانتیمتر اندازه‌گیری شده است که نشان‌دهنده مقدار کم نفوذ یون کلرید به داخل بتن می‌باشد.

غفاری و کوربو[1] [۶]، ویژگی‌های بتن تازه و سخت شده حفاظ بتنی نیوجرسی تهیه شده با بتن خودمتراکم حاوی دوده سیلیس را مورد بررسی قرار دادند. به دلیل روانی بالای بتن تازه خودمتراکم، نیازی به متراکم کردن بتن نمی‌باشد و درنتیجه موجب کاهش هزینه اجرا و تهیه قطعات پیش‌ساخته نیوجرسی در کارخانه خواهد شد. نتایج آزمایش تعیین مقاومت در برابر سیکل‌های ذوب و یخ نشان می‌دهد که با کاهش درصد حباب هوا ایجاد شده توسط مواد حباب‌ساز، افت وزنی نمونه افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتن خودمتراکم حاوی دوده سیلیس، نفوذ یون کلرید به داخل بتن کاهش یافته است.

در ساخت و تولید حفاظ‌های بتنی نیوجرسی علاوه بر مقاومت بتن، دوام و زیبایی نیز باید در نظر گرفته شود. متأسفانه در گذشته، به دوام حفاظ‌های بتنی نیوجرسی توجه کمتری شده است، زیرا این حفاظ‌های نیوجرسی تحت بار مکانیکی قرار نمی‌گیرند و همین امر باعث شده است که پس از تخریب به راحتی با حفاظ‌های جدید جایگزین شوند. یکی از عواملی که عمرمفید بتن را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد، سیکل‌های ذوب و یخ است که می‌تواند هر ساله باعث از بین رفتن حفاظ‌های بتنی نیوجرسی شود. عواملی مانند عدم استفاده از مصالح مناسب و تناسب دقیق طراحی مخلوط بتن، عدم استفاده از حباب هوا، رعایت نکردن نسبت آب به سیمان و مواد پوزولانی جایگزین سیمان، باعث کاهش دوام و عمرمفید حفاظ‌های بتنی نیوجرسی شده است. لذا، در این تحقیق تمامی این عوامل مهم برای تولید بتن هوازایی شده حاوی زئولیت با رویکرد افزایش دوام و عمرمفید حفاظ‌های بتنی نیوجرسی با هدف جلوگیری از تخریب محیط‌زیست و داشتن توجیه اقتصادی مورد توجه قرار گرفته است.

۲- مطالعات آزمایشگاهی

هدف از طراحی مخلوط بتن، انتخاب اجزای مناسب برای بتن با ویژگی‌های خاص مانند کارایی، مقاومت، دوام و پایایی مناسب می‌باشد. بنابراین، در این قسمت اجزای طرح مخلوط بتن مورد استفاده در تهیه حفاظ‌های بتنی پیش‌ساخته نیوجرسی و آزمایش‌های مربوط به هر جزء مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- مصالح مصرفی

۲-۱-۱- سنگدانه

نمونه‌گیری از سنگدانه‌ها

نمونه‌گیری از مصالح سنگی مطابق با استاندارد ASTM D75 [۷] انجام شده است. لذا، مصالح شن بادامی، شن نخودی و ماسه با استفاده از مصالح نمونه‌برداری شده مطابق با دستورالعمل‌های فوق برداشت گردید و جهت انجام آزمایش‌های موردنیاز به آزمایشگاه منتقل گردید.

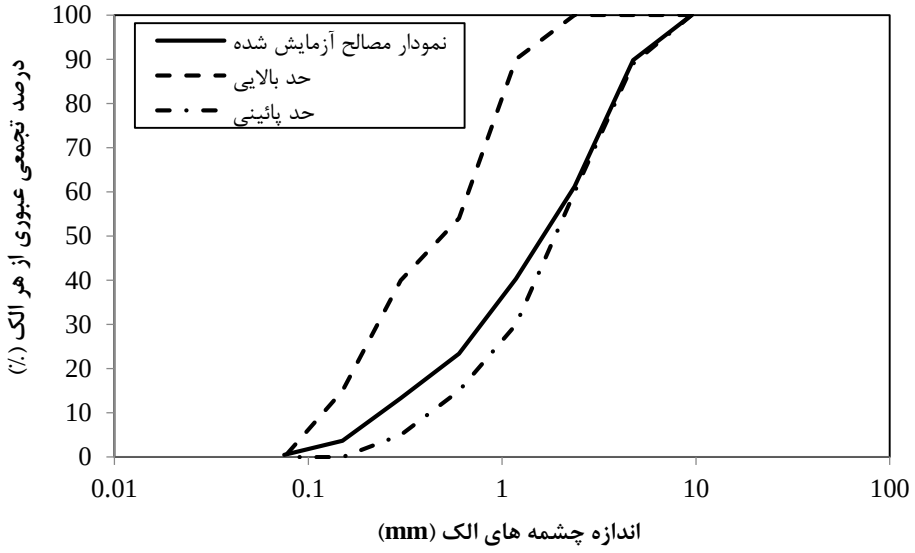
آزمایش دانه‌بندی سنگدانه‌ها

دانه‌بندی مصالح سنگی بر اساس استاندارد ASTM C136 [۸] بر روی نمونه‌های گرفته شده از معدن انجام شد که به منظور دستیابی به بتن با کیفیت مناسب لازم است مصالح سنگی در حدود مشخصات پیشنهادی طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ [۹] قرار گیرند. نتایج حاصل از آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی ریزدانه یا ماسه در جدول ۱ و شکل ۱ و نتایج حاصل از آزمایش دانه‌بندی مصالح سنگی درشت‌دانه در جدول ۲ و شکل ۲ ارائه شده است.

[1] Corbu

جدول ۱: نتایج آزمایش دانه‌بندی ماسه و آزمایش تعیین ذرات ریزتر از الک شماره ۲۰۰

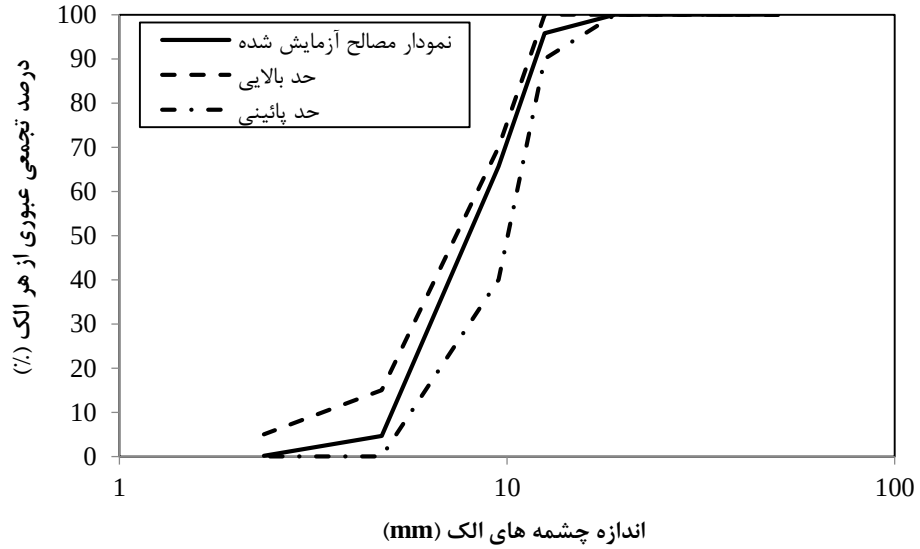
مشخصات الک (شماره الک)	اندازه چشمه‌های الک (mm)	وزن مانده روی هر الک (gr)	وزن عبوری تجمعی از هر الک (gr)	درصد مانده روی هر الک	درصد تجمعی مانده روی هر الک	درصد تجمعی عبوری از هر الک	حداقل و حداکثر مجاز درصد تجمعی عبوری، مطابق با جدول ۹-۱۰-۱۱ ردیف ۵ مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان	
							حداقل	حداکثر
۳/۸	۹/۵	۰/۰	۴۹۹/۹	۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
۴	۴/۷۵	۵۱/۲	۴۴۸/۸	۱۰/۲	۱۰/۲	۸۹/۸	۸۹/۰	۱۰۰/۰
۸	۲/۳۶	۱۴۲/۹	۳۰۵/۹	۲۸/۶	۳۸/۸	۶۱/۲	۶۰/۰	۱۰۰/۰
۱۶	۱/۱۸	۱۰۴/۵	۲۰۱/۵	۲۰/۹	۵۹/۷	۴۰/۳	۳۰/۰	۹۰/۰
۳۰	۰/۶۰	۸۴/۵	۱۱۷/۰	۱۶/۹	۷۶/۶	۲۳/۴	۱۵/۰	۵۴/۰
۵۰	۰/۳۰	۵۰/۷	۶۶/۳	۱۰/۱	۸۶/۷	۱۳/۳	۵/۰	۴۰/۰
۱۰۰	۰/۱۵	۴۸/۰	۱۸/۳	۹/۶	۹۶/۳	۳/۷	۰/۰	۱۵/۰
۲۰۰	۰/۰۷۵	۱۵/۶	۲/۷	۳/۱	۹۹/۵	۰/۵	۰/۰	۰/۰
زیرالکی		۲/۷	۰/۰	۰/۵	۱۰۰/۰	۰/۰	-	-
مجموع		۴۹۹/۹۰						
وزن نمونه خشک قبل از شستشو روی الک شماره ۲۰۰ (gr)		۵۰۰/۰	وزن نمونه خشک بعد از شستشو روی الک شماره ۲۰۰ (gr)		۴۹۷/۶	درصد ذرات ریزتر از الک شماره ۲۰۰		۰/۵



شکل ۱: نمودار دانه‌بندی ماسه

جدول ۲: نتایج آزمایش دانه‌بندی شن نخودی و آزمایش تعیین ذرات ریزتر از الک شماره ۲۰۰

مشخصات الک (شماره الک)	اندازه چشمه‌های الک (mm)	وزن مانده روی هر الک (gr)	وزن عبوری تجمعی از هر الک (gr)	درصد مانده روی هر الک	درصد تجمعی مانده روی هر الک	درصد تجمعی عبوری از هر الک	حداقل و حداکثر مجاز درصد تجمعی عبوری، مطابق با جدول ۹-۱۰-۱۱ ردیف ۵ مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان	
							حداقل	حداکثر
۲	۵۰/۰	۰/۰	۲۴۹۹/۸	۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
۱/۵	۳۷/۵	۰/۰	۲۴۹۹/۸	۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
۱	۲۵/۰۰	۰/۰	۲۴۹۹/۸	۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
۳/۴	۱۹/۰۰	۰/۰	۲۴۹۹/۸	۰/۰	۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
۱/۲	۱۲/۵۰	۱۰۴/۲	۲۳۹۵/۶	۴/۲	۴/۲	۹۵/۸	۹۰/۰	۱۰۰/۰
۳/۸	۹/۵۰	۷۵۳/۳	۱۶۴۲/۳	۳۰/۱	۳۴/۳	۶۵/۷	۴۰/۰	۷۰/۰
۴	۴/۷۵	۱۵۲۵/۹	۱۱۶/۴	۶۱/۰	۹۵/۳	۴/۷	۰/۰	۱۵/۰
۸	۲/۳۶	۱۱۱/۸	۴/۶	۴/۵	۹۹/۸	۰/۲	۰/۰	۵/۰
زیرالکی		۴/۶	۰/۰	۰/۲	۱۰۰/۰	۰/۰	-	-
مجموع		۲۴۹۹/۸						
وزن نمونه خشک قبل از شستشو روی الک شماره ۲۰۰ (gr)		۲۵۰۰/۰	وزن نمونه خشک بعد از شستشو روی الک شماره ۲۰۰ (gr)		۲۴۹۹/۸	درصد ذرات ریزتر از الک شماره ۲۰۰		۰/۰۱



شکل ۲: نمودار دانه‌بندی شن نخودی

مطابق با نتایج بدست آمده، نتایج آزمایش دانه‌بندی شن نخودی و ماسه در محدوده مجاز قرار دارد ولی نتایج آزمایش دانه‌بندی شن بادامی اندکی درشت‌تر از محدوده مجاز می‌باشد که با استفاده از آن همراه با شن نخودی به صورت ترکیبی، می‌توان به محدوده مجاز رسید.

آزمایش تعیین ضریب نرمی ماسه

مطابق با بند ۴-۲ استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ [۹]، ضریب نرمی ماسه نباید کمتر از ۲/۳ و بیشتر از ۳/۸ باشد. ضریب نرمی طبق استاندارد ASTM C33 [۱۰]، از آنچه در آغاز عمایات بتن‌ریزی و از منبع و معدن مشخص برای یک نمونه معرف اندازه‌گیری شده است، نباید در حین اجرای کار بیش از ۰/۲ ± تغییر کند. با توجه به آزمایش‌های انجام شده، مدول نرمی ماسه نمونه‌گیری شده در آزمایشگاه ۳/۶ محاسبه شد. که با توجه به حدود استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲، در محدوده مجاز قرار دارد.

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه درشت

مطابق با آئین‌نامه بتن ایران (آبا) [۱۱]، به کار بردن سنگدانه‌های درشت‌تر از ۳۸ میلیمتر در ساخت بتن‌آرمه توصیه نمی‌شود. نتایج اندازه‌گیری‌های انجام گرفته بر روی مصالح سنگی، بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه برابر ۱۹ میلیمتر می‌باشد؛ که با توجه به حدود مشخص شده در محدوده مجاز قرار دارد.

آزمایش تعیین درصد جذب آب سنگدانه‌ها

مطابق با آئین‌نامه بتن ایران (آبا) [۱۱]، حداکثر جذب آب سنگدانه‌های مصرفی در بتن در سنگدانه درشت به ۲/۵ درصد و در سنگدانه ریز به ۳/۰ درصد محدود می‌شود. نتایج آزمایش جذب آب مصالح سنگی نشان می‌دهد، ماسه، شن نخودی و شن بادامی به ترتیب دارای جذب آب برابر ۲/۹۶، ۱/۹۱ و ۱/۹۸ درصد می‌باشند. با توجه به این نتایج مقادیر درصد جذب آب سنگدانه‌های درشت و ریز در محدوده مجاز می‌باشد. لازم به ذکر است، مصالح سنگی مورد استفاده برای تهیه بتن بایستی در حالت اشباع با سطح خشک (SSD) قرار داشته باشند.

آزمایش تعیین مقاومت سایش سنگدانه درشت

حداکثر میزان سایش لس‌آنجلس در درشت‌دانه مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۴۸ [۱۲] به مقدار ۴۰ درصد محدود می‌شود.

با توجه به آزمایش سایش لس‌آنجلس انجام شده روی مصالح سنگی درشت‌دانه، مقدار سایش ۱۰/۲ درصد اندازه‌گیری شده است که با توجه به استاندارد در محدوده مجاز قرار دارد.

۲-۱-۲- مصالح سیمانی

سیمان مصرفی در طرح اختلاط بتن، تیپ ۲ تولید شده در کارخانه سیمان واقع در اردستان و پوزولان مصرفی از نوع زئولیت استخراج شده از معادن استان سمنان می‌باشد. لازم به ذکر است که سیمان و پوزولان مصرفی باید کاملا سالم باشند و خصوصیات فیزیکی

و شیمیایی آن‌ها مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹ (ویژگی‌های سیمان پرتلند معمولی) [۱۳] و استاندارد ملی ایران به شماره ۳۴۳۲ (ویژگی‌های سیمان پرتلند پوزولانی) [۱۴] باشد.

مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۲ [۱۵] و استاندارد ASTM C191 [۱۶]، میانگین زمان گیرش اولیه خمیر سیمان مصرفی ۱۵۵ دقیقه محاسبه شد.

مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۳ [۱۷] و استاندارد ASTM C348 [۱۸]، میانگین مقاومت خمشی ۳ روزه ملات سیمان مصرفی ۵/۵ مگاپاسکال و میانگین مقاومت خمشی ۷ روزه ملات سیمان مصرفی ۶/۵ مگاپاسکال محاسبه شد.

مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۳ [۱۷] و استاندارد ASTM C348 [۱۸]، میانگین مقاومت فشاری ۳ روزه ملات سیمان مصرفی ۱۴/۹ مگاپاسکال و میانگین مقاومت فشاری ۷ روزه ملات سیمان مصرفی ۲۳/۲ مگاپاسکال محاسبه شد.

طبق نتایج این آزمایش‌ها، سیمان مصرفی الزامات لازم را دارا می‌باشد.

۲-۱-۳- آب

طبق آئین‌نامه بتن ایران (آبا) [۱۱]، آب مصرفی در ساخت بتن باید تمیز و صاف باشد. باید از مصرف آب‌های حاوی موادی که قادر به صدمه زدن به بتن یا میلگرد ازقبیل روغن‌ها، اسیدها، قلیایی‌ها، املاح و مواد آلی باشند، خودداری گردد. به طور کلی، آب آشامیدنی برای ساخت بتن رضایت‌بخش تلقی می‌شود که در این تحقیق از آب آشامیدنی برای تهیه بتن استفاده شده است.

۲-۲- طرح مخلوط بتن

در تهیه طرح مخلوط بتن مناسب برای حفاظ‌های بتنی پیش‌ساخته نیوجرسی، با توجه به دسته‌بندی شرایط محیطی، در شرایط محیطی که چرخه یخ زدن و آب شدن در آن‌ها محتمل است، بایستی حداقل مقدار مواد سیمانی، ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب (بهتر است حداکثر مقدار مواد سیمانی به ۴۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب محدود شود)، حداقل مقاومت مشخصه بتن (براساس نمونه استوانه‌ای ۲۸ روزه)، ۳۰ مگاپاسکال، حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی به ۰/۴۰ و درصد هوای بتن تازه ۱/۰±۶/۵ درصد حجم بتن با استفاده از افزودنی حباب‌ساز، در نظر گرفته شود [۱۹].

با رعایت ضوابط مذکور، جدول ۳، طرح اختلاط یک مترمکعب بتن هوازایی شده حاوی پوزولان زئولیت را نشان می‌دهد.

جدول ۳: طرح اختلاط یک مترمکعب بتن هوازایی شده حاوی پوزولان زئولیت

مصالح	ماسه	شن نخودی	شن بادامی	سیمان	زئولیت	آب	نسبت آب به مواد سیمانی	روان‌کننده	حباب‌ساز
مقدار (kg)	۱۰۵۰	۲۶۰	۴۴۰	۴۰۰	۲۰	۱۶۰	۰/۳۸	۲/۷	۰/۴۲

لازم به ذکر است، روان‌کننده و حباب‌ساز مورد استفاده در طرح اختلاط از شرکت شیمی ساختمان تهیه شده است.

۳- تجزیه و تحلیل نتایج

۳-۱- آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های بتن تازه

۳-۱-۱- آزمایش تعیین اسلامپ

مطابق با آئین‌نامه بتن ایران، مخلوط بتن تازه می‌تواند بسته به مشخصات قالب و هندسه حفاظ بتنی، از نوع بتن معمولی با اسلامپ های مختلف باشد. بهتر است اسلامپ بتن معمولی بین ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر باشد (شکل ۳). استفاده از اسلامپ‌های کمتر یا بیشتر، در صورتیکه اطمینان حاصل شود که بتن به صورت کامل، متراکم می‌گردد و همچنین دچار جداشدگی نمی‌شود، مجاز است. مطابق با جدول ۴، میانگین اسلامپ نمونه‌های بتن تازه مطابق با استاندارد ASTM C143 [۲۰]، ۱۵ سانتیمتر اندازه‌گیری شده است که در محدوده مجاز قرار دارد.

شکل ۳: آزمایش تعیین اسلامپ بتن تازه

۳-۱-۲- آزمایش تعیین درصد هوا

مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۹۰۴ [۲۱]، درصد هوای بتن تازه بایستی در حدود ۱/۰±۶/۵ درصد حجم بتن با استفاده از افزودنی حباب‌ساز قرارگیرد. میانگین درصد هوای نمونه‌های بتن تازه تهیه شده، مطابق با جدول ۴، ۵/۶ درصد می‌باشد که با ماده افزودنی حباب‌ساز تامین شده است و در محدوده مجاز قرار دارد.

۳-۱-۳- آزمایش تعیین دما

مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۲۶۸ [۲۲]، دمای بتن تازه بایستی حداقل ۱۳ درجه سانتی‌گراد در شرایط هوای سرد و حداکثر ۳۲ درجه سانتی‌گراد در شرایط هوای گرم باشد. مطابق با جدول ۴، میانگین دمای نمونه‌های بتن تازه تهیه شده، ۲۰/۱ درجه سانتی‌گراد بدست آمده است که در محدوده مجاز قرار دارد.

جدول ٤: نتایج آزمایش‌های تعیین دما، درصد هوا و اسلامپ روی نمونه‌های بتن تازه

پارامتر اندازه‌گیری شده	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	میانگین نتایج	مقدار مجاز [۱۹]
دمای بتن تازه (C)	۱۷/۳	۲۱/۲	۲۱/۹	۲۰/۱	حداقل ۱۳ درجه سانتی‌گراد در شرایط هوای سرد و حداکثر ۳۲ درجه سانتی‌گراد در شرایط هوای گرم
درصد هوای بتن تازه (٪ حجم بتن)	٦/۰	۵/۵	۵/۵	۵/٦	حدود ۱/۰±٦/۵ درصد حجم بتن
اسلامپ بتن تازه (mm)	١٦/۰	۱۲/۵	١٦/۰	۱۵/۰	بین ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر برای بتن معمولی

۳-۲- آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های بتن سخت‌شده

۳-۲-۱- آزمایش تعیین مقاومت فشاری

آزمایش تعیین مقاومت فشاری روی نمونه‌های استوانه‌ای با قطر ۱۵ سانتیمتر و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر از بتن سخت شده، مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۶۰۴۸ [۲۳] انجام شده است. مطابق با جدول ۵، نتایج نشان می‌دهد میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد، ۴۴ مگاپاسکال خواهد بود که بیش از ۳۰ مگاپاسکال بوده و در محدوده مجاز قرار دارد.

۳-۲-۲- آزمایش تعیین عمق نفوذ آب

آزمایش تعیین عمق نفوذ آب تحت فشار، طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۵-۳۲۰۱ [۲۴] انجام می‌شود. حداکثر عمق نفوذ آب مطابق با این استاندارد، ۲۰ میلیمتر می‌باشد. مطابق با جدول ۵، میانگین حداکثر عمق نفوذ آب در نمونه بتنی، ۱۱ میلیمتر بدست آمده است که در محدوده مجاز قرار دارد.

۳-۲-۳- آزمایش تعیین مقاومت در برابر سیکل‌های ذوب و یخ

تعیین میزان پوسته شدگی در چرخه‌های یخ زدن و آب شدن پس از ۲۸ روز، طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۷۲۸ [۲۵] انجام می‌پذیرد. حداکثر میزان پوسته‌شدگی در اثر نمک‌های یخ‌زدا یا به عبارتی افت وزنی نمونه بر واحد سطح آن به مقدار حداکثر ۳۵۰ گرم بر مترمربع، شرایط محیطی که چرخه یخ زدن و آب شدن در آن‌ها محتمل است، محدود می‌شود. مطابق با جدول ۵، میانگین پوسته‌شدگی در اثر نمک‌های یخ‌زدا، ۷۱ گرم بر مترمربع می‌باشد که در محدوده مجاز قرار دارد.

جدول ۵: نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری، عمق نفوذ آب و میزان پوسته‌شدگی در برابر نمک‌های یخ‌زدا، روی نمونه‌های بتن سخت شده

پارامتر اندازه‌گیری شده	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	میانگین نتایج	مقدار مجاز [۱۹]
مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه استوانه‌ای (MPa)	٤٤/٢	٤٥/٢	٤٢/٦	٤٤/٠	حداقل ۳۰/۰
عمق نفوذ آب (mm)	۱۱/۰	۹/۰	۱۳/۰	۱۱/۰	حداکثر ۲۰/۰
میزان پوسته‌شدگی در اثر نمک‌های یخ‌زدا (gr/m^2)	۷۰/۰	٦۹/۰	۷٤/۰	۷۱/۰	حداکثر ۳۵۰/۰

۳-۳- آزمایش‌های انجام شده روی مغزه‌های گرفته شده از نیوجرسی موجود

۳-۳-۱- آزمایش تعیین مقاومت فشاری

برای تعیین مقاومت فشاری (مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۶۰۴۸ [۲۳]) مغزه‌های گرفته شده از نیوجرسی موجود، ۶ مغزه با قطر حدود ۱۰ سانتیمتر از ۶ حفاظ بتنی (که به صورت تصادفی از میان ۳۰ حفاظ انتخاب شده‌اند)، تهیه می‌شود. مطابق با نتایج جدول ۶، میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای مغزه‌های گرفته شده از قطعه حفاظ بتنی نیوجرسی موجود (شکل ۴)، ۳۲/۵ مگاپاسکال محاسبه شده است که بیش از ۲۵/۵ مگاپاسکال بوده و در محدوده مجاز قرار دارد.

شکل ٤: مغزه‌گیری از نیوجرسی موجود

۳-۳-۲- آزمایش تعیین عمق نفوذ آب

برای تعیین عمق نفوذ آب تحت فشار (طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۵-۳۲۰۱ [۲۴]) مغزه‌های گرفته شده از نیوجرسی موجود، ۳ مغزه (یک مغزه از هر یک از حفاظ‌های انتخاب شده بین ۶ حفاظ) با قطر حدود ۱۵ سانتیمتر از ۳ حفاظ بتنی تهیه می‌شود.

مطابق با نتایج جدول ۶، حداکثر عمق نفوذ آب مطابق با استاندارد، ۲۴ میلیمتر می‌باشد. در این تحقیق، میانگین حداکثر عمق نفوذ آب برای مغزه‌های گرفته شده از قطعه حفاظ بتنی نیوجرسی موجود، ۱۴/۳ میلیمتر بدست آمده است که در محدوده مجاز قرار دارد.

۳-۳-۳- آزمایش تعیین مقاومت بتن در برابر سیکل‌های ذوب و یخ

برای تعیین مقاومت بتن در برابر سیکل‌های ذوب و یخ (طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۷۲۸ [۲۵]) مغزه‌های گرفته شده از نیوجرسی موجود، ۳ مغزه (یک مغزه از هر یک از حفاظ‌های انتخاب شده بین ۶ حفاظ) با قطر حدود ۱۵ سانتیمتر از ۳ حفاظ بتنی تهیه می‌شود. مطابق با نتایج جدول ۶، حداکثر میزان پوسته‌شدگی در اثر نمک‌های یخ‌زدا یا به عبارتی افت وزنی نمونه بر واحد سطح آن به مقدار حداکثر ۴۲۰ گرم بر مترمربع، شرایط محیطی که چرخه یخ زدن و آب شدن در آن‌ها محتمل است، محدود می‌شود. در این تحقیق، مقدار محاسبه شده میانگین پوسته‌شدگی در اثر نمک‌های یخ‌زدا برای مغزه‌های گرفته شده از قطعه حفاظ بتنی نیوجرسی موجود، ۷۷/۳ گرم بر مترمربع می‌باشد که در محدوده مجاز قرار دارد.

جدول ٦: نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری، عمق نفوذ آب و میزان پوسته‌شدگی در برابر نمک‌های یخ‌زدا، روی مغزه‌های گرفته شده از نیوجرسی موجود

پارامتر اندازه‌گیری شده	مغزه ۱	مغزه ۲	مغزه ۳	مغزه ٤	مغزه ٥	مغزه ٦	میانگین نتایج	مقدار مجاز [۱۹]
مقاومت فشاری ۲۸ روزه مغزه (MPa)	۲۸/۷	۳۲/٦	۳۸/۸	۲٦/۰	۳٦/۲	۳۲/٥	۳۲/٥	حداقل ۲٥/٥
عمق نفوذ آب (mm)	۱۱/۰	–	۸/۰	–	۲٤/۰	–	۱٤/۳	حداکثر ۲٤/۰
میزان پوسته‌شدگی در اثر نمک‌های یخ‌زدا (gr/m^2)	٥۱/۰	–	۷٤/۰	–	۱۰۷/۰	–	۷۷/۳	حداکثر ٤۲۰/۰

۴- نتیجه‌گیری

طراحی مناسب مخلوط بتن می‌تواند طول عمر حفاظ‌های بتنی نیوجرسی را افزایش دهد و تخریب تدریجی بتن در اثر سیکل‌های ذوب و یخ، و نفوذ یون‌های مهاجم مانند یون‌های کلرید و سولفات به داخل بتن حفاظ‌های بتنی نیوجرسی را کاهش دهد.

در تهیه طرح مخلوط بتن مناسب برای حفاظ‌های بتنی پیش‌ساخته نیوجرسی، با توجه به دسته‌بندی شرایط محیطی، در شرایط محیطی که چرخه یخ زدن و آب شدن در آن‌ها محتمل است، بایستی حداقل مقدار مواد سیمانی، ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب (بهتر است حداکثر مقدار مواد سیمانی به ۴۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب محدود شود)، حداقل مقاومت مشخصه بتن (براساس نمونه استوانه‌ای ۲۸ روزه)، ۳۰ مگاپاسکال، حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی به ۰/۴۰ و درصد هوای بتن تازه به ۱/۰±۶/۵ درصد حجم بتن با استفاده از افزودنی حباب‌ساز، در نظر گرفته شود.

- نتایج آزمایش‌های انجام گرفته روی بتن تازه نشان داد:

- میانگین اسلامپ نمونه‌های بتن تازه مطابق با استاندارد ASTM C143 [۲۰]، ۱۵ سانتیمتر اندازه‌گیری شده است که در محدوده مجاز ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر قرار دارد.
- میانگین درصد هوای نمونه‌های بتن تازه مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۹۰۴ [۲۱]، ۵/۶ درصد می‌باشد که با ماده افزودنی حباب‌ساز تامین شده است و در محدوده مجاز ۱/۰±۶/۵ درصد حجم بتن با استفاده از افزودنی حباب‌ساز قرار دارد.
- میانگین دمای نمونه‌های بتن تازه مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۲۶۸ [۲۲]، ۲۰/۱ درجه سانتی‌گراد بدست آمده است که در محدوده مجاز حداقل ۱۳ درجه سانتی‌گراد در شرایط هوای سرد و حداکثر ۳۲ درجه سانتی‌گراد در شرایط هوای گرم، قرار دارد.

- نتایج آزمایش‌های انجام گرفته روی نمونه‌های بتن سخت شده نشان داد:

- مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نمونه استوانه‌ای استاندارد، ۴۴ مگاپاسکال اندازه‌گیری شد که بیش از ۳۰ مگاپاسکال بوده و در محدوده مجاز، مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۶۰۴۸ [۲۳] قرار دارد.
- میانگین حداکثر عمق نفوذ آب در نمونه بتنی مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۵-۳۲۰۱ [۲۴]، ۱۱ میلیمتر بدست آمده است که کمتر ۲۰ میلیمتر و در محدوده مجاز می‌باشد.
- مقدار محاسبه شده پوسته‌شدگی در اثر نمک‌های یخ‌زدا برای نمونه‌های بتنی مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۷۲۸ [۲۵]، ۷۱ گرم بر مترمربع می‌باشد که در محدوده مجاز حداکثر ۳۵۰ گرم بر مترمربع برای شرایط محیطی که چرخه یخ زدن و آب شدن در آن‌ها محتمل است، قرار دارد.

- نتایج آزمایش‌های انجام گرفته روی مغزه‌های گرفته شده از قطعه حفاظ بتنی نیوجرسی موجود نشان داد:

- مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای مغزه‌های گرفته شده از قطعه حفاظ بتنی نیوجرسی موجود، ۳۲/۵ مگاپاسکال محاسبه شده است که بیش از ۲۵/۵ مگاپاسکال بوده و در محدوده مجاز، مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۶۰۴۸ [۲۳] قرار دارد.
- میانگین حداکثر عمق نفوذ آب (مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۵-۳۲۰۱ [۲۴]) برای مغزه‌های گرفته شده از قطعه حفاظ بتنی نیوجرسی موجود، ۱۴/۳ میلیمتر بدست آمده است که کمتر از ۲۴ میلیمتر می‌باشد.

- مقدار محاسبه شده میانگین پوسته‌شدگی در اثر نمک‌های یخ‌زدا برای مغزه‌های گرفته شده از قطعه حفاظ بتنی نیوجرسی موجود، مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۷۲۸ [۲۵]، ۷۷/۳ گرم بر مترمربع می‌باشد که در محدوده مجاز حداکثر ۴۲۰ گرم بر مترمربع قرار دارد.

مراجع

[1] Farahani, A., Taghaddos, H., Shekarchi, M. (2015). Prediction of long-term chloride diffusion in silica fume concrete in a marine environment. *Cement & Concrete Composites*, 59, 10-17.

[2] Valipour, M., Pargar, F., Shekarchi, M., Khani, S. (2013). Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A laboratory study. *Construction and Building Materials*, 41, 879-888.

[3] Ahmadi, B., Shekarchi, M. (2010). Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material. *Cement & Concrete Composites*, 32, 134-141.

[4] Rahmati, A., Saki, M., Lak, M., Shayesteh, H. (2021). Investigation of aerated self-compacting concrete in concrete New Jersey barriers oriented durability of concrete. *Second National Conference on Concrete Durability*. Tehran, Iran, 1-14.

[5] Farahani, A., Taghaddos, H., Shekarchi, M. (2018). Chloride Diffusion Modeling in Pozzolanic Concrete in Marine Site, *ACI Materials Journal*, 115(4), 1-10.

[6] Ghafari, S., Corbu, O. (2018). SUSTAINABLE SELF-CONSOLIDATING CONCRETE MIXTURE DEVELOPMENT FOR USE IN PREFABRICATED CONCRETE NEW JERSEY BARRIERS. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference*. Albena, Bulgaria, 1-9.

[7] ASTM D75, (2019). Standard Practice for Sampling Aggregates. *ASTM International*.

[8] ASTM C136, (2019).Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *ASTM International*.

[9] ISIRI 302, (2020). Concrete Aggregate- Specifications, Iranian National Standardization Organization.

[10] ASTM C33, (2014). Standard Specification for Concrete Aggregates. *ASTM International.*

[11] Iranian Concrete Code, (2021). No. 120-1, Islamic Republic of Iran Plan and Budget Organization.

[12] ISIRI 448, (2015). Aggregates- Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine- Test Method, Iranian National Standardization Organization.

[13] ISIRI 389, (2020). Portland cement — Specifications, Iranian National Standardization Organization.

[14] ISIRI 3432, (2002). Cement of Pozzolan Portland- Specifications, Iranian National Standardization Organization.

[15] ISIRI 392, (2009). Cement- Determine the time of setting of hydraulic cement by vacate needle- Test methods, Iranian National Standardization Organization.

[16] ASTM C191, (2021). Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. *ASTM International.*

[17] ISIRI 393, (2014). Cement – Determination of flexural and compressive strengths- Test method, Iranian National Standardization Organization.

[18] ASTM C348, (2021). Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars. ASTM International.

[19] Technical Specification of Road Concrete Barrier and Guideline for Quality Control, (2020), Research Report, BHRC Publication No. S- 868.

[20] ASTM C143, (2012). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. *ASTM International.*

[21] ISIRI 15904, (2019). Fresh concrete- Determination of air content of freshly mixed concrete by the pressure method- Test method, Iranian National Standardization Organization.

[22] ISIRI 11268, (2020). Concrete- Measuring of temperature of freshly mixed hydraulic-cement concrete- Test method, Iranian National Standardization Organization.

[23] ISIRI 6048, (2017). Concrete- Determination of compressive strength of cylindrical specimens- Test methods, Iranian National Standardization Organization.

[24] ISIRI 3201-5, (2018). Testing of concrete- Part 5: Density and water penetration depth, Iranian National Standardization Organization.

[25] ISIRI 12728, (2013). Concrete kerb units: specifications and test methods, Iranian National Standardization Organization.