

## مطالعه آزمایشگاهی خواص مکانیکی و دوام بتن حاوی دوده سیلیسی و الیاف بارچپ

سید احمد اشتاء

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت ساخت، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد

اسلامی، شوشتر، ایران

علی سلیقه‌زاده\*

عضو هیأت علمی، گروه مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت ساخت، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی،

شوشتر

a\_salighehzadeh@yahoo.com\*

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۸/۲۹

### چکیده:

در سال‌های اخیر خوردگی آرماتورهای فولادی در بتن به عنوان یکی از مهمترین دلایل اصلی خرابی‌های زودرس در سازه‌های بتن آرمه شناخته شده است. در محیط‌های دریایی معمولاً انتشار یون کلراید و یون سولفات به داخل بتن و خوردگی ناشی از آن‌ها عامل اصلی خرابی‌ها و کاهش عمر مفید سازه‌های بتن آرمه می‌باشد. از آنجا که بتن در کنشش ضعیف بوده و به علت بارهای بهره‌برداری ترک می‌خورد لذا یون‌های کلر براحتی از طریق این ترک‌ها وارد بتن می‌شوند و موجب خوردگی میلگردها خواهند شد. الیاف با به تأخیر انداختن ترک خوردگی یا کاهش عرض ترک و پوزولان دوده سیلیسی با کاهش نفوذ مایعات می‌توانند به کاهش خوردگی میلگردها در بتن کمک کنند. بر همین اساس در تحقیق حاضر ۵ ترکیب بتن ساخته شد. پوزولان دوده سیلیسی با مقدار جایگزینی ۱۰ درصد وزنی سیمان و الیاف بارچپ با مقادیر ۲/۵، ۳/۵ و ۵ کیلوگرم بر مترمکعب، به مخلوط‌های بتن اضافه گردید. جهت بررسی خواص مکانیکی، آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی و جهت بررسی دوام بتن آزمایشات مقاومت ویژه الکتریکی و جذب آب نیم ساعته انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که دوده سیلیسی در کاهش جذب آب نیم‌ساعته و افزایش مقاومت ویژه الکتریکی، فشاری و خمشی بتن مؤثر بوده و با استفاده توأم از دوده سیلیسی و الیاف بارچپ مقاومت خمشی بتن تا ۶۵ درصد افزایش می‌یابد. همچنین افت مقاومت ویژه الکتریکی و افزایش مقاومت فشاری و جذب آب نیم‌ساعته با افزودن الیاف بارچپ به ترکیب بتن حاوی دوده سیلیسی مشهود است.

**کلید واژگان:** بتن، دوده سیلیسی، الیاف بارچپ، خواص مکانیکی، دوام

## ۱- مقدمه

یکی از آسیب‌های مهم در سازه‌های بتنی دریایی، ورود یون‌های مهاجم به درون سازه از طریق ترک‌ها و خوردگی میلگرد می‌باشد. با ایجاد خوردگی، پیوستگی میلگرد با بتن کاهش پیدا کرده و مقاومت خمشی، شکل‌پذیری و عمر بهره‌برداری سازه کاهش می‌یابد. یکی از راه‌های به تأخیر انداختن ترک خوردگی و یا کاهش عرض ترک، استفاده از الیاف است [۱]. افزودن الیاف بر مشخصه‌های حالت خمیری، سخت شده بتن و ملات تأثیر می‌گذارد. بسته به جنس الیاف، طول، قطر، شکل و مقدار افزودن الیاف، چندین مشخصه بتن و ملات، به ویژه ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی پلاستیک، مقاومت ضربه‌ای، چقرمگی و شکل‌پذیری می‌تواند بهبود یابد. مقاومت خمشی، مقاومت در برابر خستگی، مقاومت برشی، مقاومت در برابر ترک خوردگی و خورد شدگی بتن نیز با اضافه کردن الیاف می‌تواند افزایش یابد [۲]. در سازه‌های دریایی و ساحلی جهت ساخت دالها و کف‌ها، عرشه پل‌های اسکله و بارانداز و تیرها می‌توان از الیاف استفاده نمود. در ساخت قطعات غیر مسلح نیز برای کاهش ترک خوردگی و افزایش دوام در برابر ضربات امواج، الیاف نقش مناسبی را ایفا می‌نماید [۳].

از طرف دیگر یکی از زمینه‌های مهم تحقیق و توسعه در زمینه بتن، دستیابی به بتن با دوام است. رسیدن به این مهم بدون استفاده از مواد افزودنی امکان‌پذیر نیست. در چند دهه اخیر برای رفع مشکل و با کاهش نواقص بتن و رسیدن به بتن با دوام از مواد افزودنی مانند خاکستر بادی، دوده سیلیسی و پوزولان‌های طبیعی استفاده شده است. استفاده از مواد پوزولانی فواید دیگری مانند: کاهش مصرف انرژی، حفاظت از محیط زیست و مسائل اقتصادی را به همراه دارد. در این میان دوده سیلیسی بدلیل خلوص بالای سیلیس و سطح ویژه زیاد، در ارتقاء مقاومت و بهبود تخلخل بتن عملکرد مناسبی از خود نشان داده است [۴].

بهمنی و مستوفی نژاد (۱۳۹۸) در تحقیق خود به بررسی اثر الیاف بارچپ، پلی‌پروپیلن و فولادی بر روی مقاومت فشاری و مدول گسیختگی بتن با مقاومت بالا پرداختند. نتایج نشان داد که هر سه نوع الیاف بکار رفته می‌توانند در بهبود مدول گسیختگی مؤثر باشند. اما فقط الیاف فولادی توانسته بر مقاومت فشاری تأثیر مثبت داشته است و سایر الیاف‌ها سبب کاهش مقاومت فشاری در بتن شدند [۵].

صفای نیکو (۱۳۹۷) اثر الیاف فولادی، پلی‌پروپیلن و شیشه بر رفتار خمشی تیرهای بتنی مسلح به میلگرد در سه محیط مختلف آب شیرین، اتمسفریک دریایی و جزر و مدی دریای عمان را مورد مطالعه و آزمایش قرار داد. همچنین رفتار خمشی تیرهای بتنی با نسبت‌های آب به سیمان و پیش‌ترک‌های مختلف حاوی الیاف فولادی با طول‌های متفاوت در محیط جزر و مدی ارزیابی شدند. بر اساس نتایج، در بحث خمشی، در هر سه محیط، بیشترین و کمترین میزان بهبود رفتار خمشی بتن مسلح به میلگرد به ترتیب مربوط به افزودن الیاف فولادی و شیشه بود. از سوی دیگر در سازه‌های دریایی و در ناحیه جزر و مدی، در صورت

استفاده از نسبت آب به سیمان ۰/۵. به جای ۰/۴. به منظور ثابت ماندن مقاومت خمشی، می‌توان طول الیاف را در بتن افزایش داد [۱].

برنارد (۲۰۰۴) در تحقیقات خود به مقایسه میدانی دوام بتن مسلح با الیاف ماکروسینتتیک بارچپ HT 48 و الیاف فولادی پس از ترک خوردگی در محیط‌های خورنده در استرالیا پرداخت. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی میزان کاهش در عملکرد شاتکریت مسلح با الیاف فولادی و الیاف ماکروسینتتیک بارچپ HT48 تحت قرارگیری در شرایط محیطی داخل آب دریا (محیط خورنده) و شرایط هوای آزاد و اندازه‌گیری وابستگی و تحت کنترل بودن شدت خرابی با عرض ترک خوردگی بود. نتایج این تحقیق نشان داد که انرژی جذب شده پس از ترک در نمونه‌های حاوی الیاف فولادی با افزایش عرض ترک به شدت کاهش یافت (چه برای نمونه‌های در معرض محیط آزاد و تقریباً خالی از یون‌های کلراید و چه برای نمونه‌های نگهداری شده در زیر آب دریا و کاملاً حاوی یون‌های کلراید) که این شدت کاهش عملکرد نمونه‌های حاوی الیاف فولادی برای عرض ترک خوردگی تا ۰/۲ میلیمتر زیاد بود، اما بعد از آن با شیب کمتری دچار ضعف در عملکرد شدند. اما دوام شاتکریت حاوی الیاف ماکروسینتتیک بارچپ در هر دو محیط آزاد و درون آب دریا بسیار عالی بود و این مقدار بالای دوام از عرض ترک خوردگی مستقل بود و در واقع افزایش عرض ترک منجر به بدتر شدن عملکرد جذب انرژی الیاف بارچپ نشد [۶].

آلبرتی و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای در مورد بتن الیافی خودتراکم با ترکیب الیاف پلی‌اولفین و فلزی انجام داده و گزارش دادند که ترکیب الیاف پلی‌اولفین و فلزی عملکرد بهتری در زمینه خمشی و چقرمگی شکست نسبت به استفاده از الیاف به صورت تکی دارد [۷].

ملکی و اسماعیلی (۱۳۹۵) به تأثیر فرآورده‌های میکروسیلیس بر روی خواص بتن سخت شده (مقاومت فشاری، نفوذپذیری و ذوب-یخندان) پرداختند. نتایج نشان دهنده مطلوب بودن تأثیرات دراز مدت ژل میکروسیلیس بر کیفیت بتن سخت شده از جمله دوام آن است. در حالی که پودر میکروسیلیس، تأثیر نامطلوبی بر میزان نفوذپذیری و ذوب - یخندان بتن داشت [۸].

طبق تحقیقات مالیک (۲۰۱۰) با کاربرد ۵ تا ۱۰ درصد جایگزینی دوده سیلیسی به جای سیمان حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد مقاومت خمشی بتن افزایش می‌یابد [۹].

طبق بررسی‌های انجام شده توسط دیگر محققین، کاربرد دوده سیلیسی باعث افزایش قابل توجه در مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلراید می‌گردد [۱۰] و [۱۱].

نظر به اینکه تاکنون پژوهش متمرکزی روی استفاده توأم از الیاف ماکروسینتتیک بارچپ و دوده سیلیسی در بحث مقاومت و دوام بتن جهت بکارگیری در سازه‌های ساحلی و دریایی انجام نشده است لذا با توجه به تولید دوده سیلیسی در کشور و همچنین در دسترس بودن الیاف بارچپ وارداتی، تحقیق حاضر به این موضوع می‌پردازد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

۲-۱-۱- مصالح سنگی

بین ۷۰ تا ۸۰ درصد از حجم بتن توسط دانه‌های سنگی اشغال می‌شود. به همین دلیل سنگدانه‌ها نقش بسیار مهمی در خصوصیات و عملکرد بتن دارند. اصولاً سنگدانه‌های مصرفی در بتن باید مقاوم، پایدار و از نظر شیمیایی بی‌تأثیر باشند. در این تحقیق، شن شکسته مورد نیاز از شرکت شرکت پدیده دوکوهه دز، واقع در شهرک صنعتی اندیمشک با حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر و ماسه شکسته ۰ تا ۵ میلی‌متر دوبرار شور از شرکت زارع بتن واقع در مسیر جاده سد کرخه در شهرستان اندیمشک تهیه شد. برای تهیه پرکننده نیز از ماسه بادی طبیعی موجود در رودخانه فصلی روستای گاومیر شهرستان دزفول استفاده شد که تصویر ماسه بادی و محل منبع در شکل ۱ نشان داده شده است. با وجود اینکه شن‌ها از لحاظ ظاهری تمیز بوده و ماسه‌ها نیز دو بار شور بودند ولی جهت اطمینان و افزایش کیفیت ساخت بتن، شن، ماسه و ماسه بادی بطور کامل و در طی چندین مرحله مطابق شکل ۲ کاملاً شسته شدند تا فاقد هرگونه گل و لای و مواد مضر دیگر باشند.

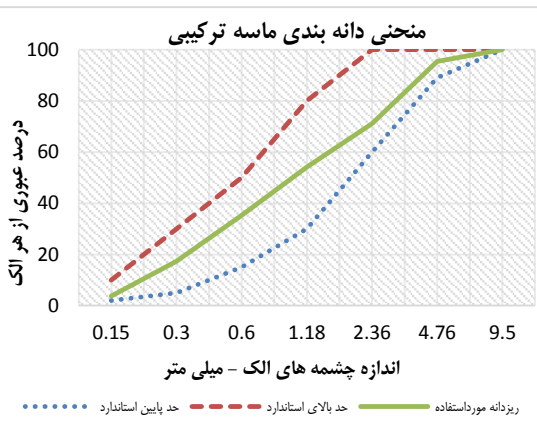
نتایج دانه بندی سنگدانه‌ها طبق استاندارد ۳۰۲ ملی ایران [۱۲] در شکل های ۳، ۴ و ۵ ترسیم شده است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگدانه‌ها بعد از شستشو نیز در جدول ۱ آورده شده است. در این تحقیق از ماسه بادی با اندازه دانه‌های ۰ تا ۱ میلی‌متر به میزان ۳۰ درصد، جایگزین ماسه ۰ تا ۵ میلی‌متر جهت اصلاح دانه بندی ماسه و تهیه ماسه ترکیبی استفاده شد. همچنین نسبت شن بادامی ۵۵ درصد و شن نخودی ۴۵ درصد به کل سنگدانه‌های درشت در نظر گرفته شد.



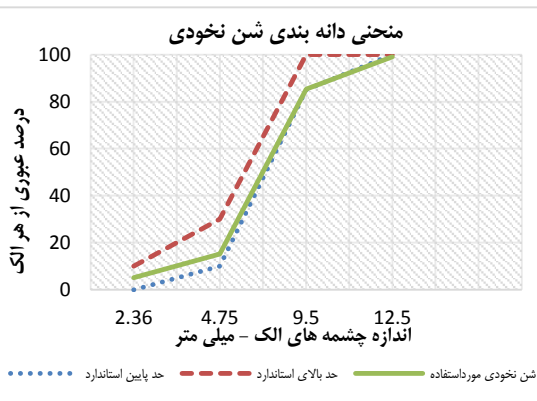
شکل ۱- تهیه ماسه بادی از رودخانه فصلی روستای گاومیر دزفول



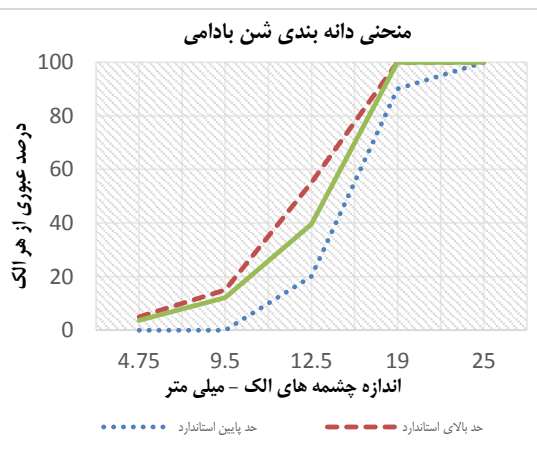
شکل ۲- شستشوی سنگدانه‌ها



شکل ۳- منحنی دانه بندی ماسه ترکیبی و مقایسه با استاندارد ۳۰۲ ایران



شکل ۴- منحنی دانه بندی شن نخودی و مقایسه با استاندارد ۳۰۲ ایران



شکل ۵- منحنی دانه بندی شن بادامی و مقایسه با استاندارد ۳۰۲ ایران

شیارهایی در سطح آن تعبیه کرده است. در جدول ۳ مشخصات الیاف ماکرو سینتتیک بارچیپ HT48 آورده شده است. همچنین در شکل ۶ این الیاف نشان داده شده است.

جدول ۳- مشخصات الیاف مورد استفاده - ماکروسینتتیک بارچیپ HT48

طول mm	قطر mm	مدول الاستیسیته Gpa	تنش کششی Mpa	وزن مخصوص kg/m <sup>3</sup>
۴۸	۰/۹	۱۲	۶۴۰	۹۱۰



شکل ۶- الیاف ماکروسینتتیک بارچیپ HT48

#### ۵-۱-۲- سایر مصالح

در این تحقیق از آب لوله کشی شهرستان دزفول و همچنین از فوق روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات اتر که از شرکت آباد گستران مهر خوزستان تهیه شده، استفاده می شود.

#### ۲-۲- نسبت مخلوط ها و تعداد آزمون ها

در این تحقیق محدودیت های نشریه ۶۳۲ (دستورالعمل طراحی سازه های ساحلی-بخش سوم: مصالح، ۱۳۹۲) [۳] مطابق با جدول ۵ برای ساخت مخلوط ها در شرایط جزر و مد، پاشش و ضربات امواج در منطقه خلیج فارس، دریای عمان و دریاچه ارومیه در نظر گرفته شد. در نهایت با سعی و خطا و در نظر گرفتن الزامات مربوطه از ۵ طرح اختلاط مطابق با جدول ۴ استفاده شد. برای انجام هر آزمایش در هر طرح اختلاط ۳ آزمون تهیه گردید. بنابراین در مجموع ۴۵ آزمون شامل ۱۵ آزمون استوانه ای ۱۵۰×۱۵۰×۳۰۰ میلی متر برای آزمایش مقاومت فشاری، ۱۵ آزمون مکعبی ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی متر براب از مایش جذب آب نیم ساعته و همچنین ۱۵ آزمون منسوری ۱۰۰×۱۰۰×۳۵۰ میلی متر برای آزمایشات مقاومت خمشی و مقاومت ویژه الکتریکی بطور مشترک استفاده گردید. لازم به ذکر است که دلیل در اختیار نداشتن قالب منشوری، ۱۸ قالب شیشه ای (۳ قالب اضافه جهت شکست احتمالی بعضی شیشه ها در نظر گرفته شد) مطابق شکل ۷ ساخته شد تا بتوان آزمایشات مقاومت خمشی و مقاومت ویژه الکتریکی را انجام داد. همچنین تمام آزمایشات بتن سخت شده در سن ۲۸ روزه بر روی آزمون ها انجام گرفتند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگدانه ها - بعد از شستشو

آزمایش	ماسه بادی	ماسه نخودی	شن بادمی	شن
وزن مخصوص ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	۲/۶۵	۲/۶۳	۲/۶۱	۲/۶۰
چگالی توده ای خشک و میله خورده (kg/m <sup>3</sup> )	—	۱۷۰۲	۱۶۰۹	۱۶۰۸
رطوبت نسبی (%)	۹/۲	۴/۵	۱/۳	۱/۳
جذب آب (%)	۱/۴	۱/۳	۱/۱	۱/۱
مدول نرمی (F.M)	—	۳/۱۸	—	—
ارزش ماسه ای (S.E) %	۹۰	۹۴	—	—

#### ۲-۱-۲- سیمان

در انجام این پروژه از سیمان تپ دو کارخانه دورود با وزن مخصوص ۳/۱ گرم بر سانتیمتر مکعب و مطابق با مشخصات شیمیایی ارائه شده در جدول ۲ استفاده شده است.

#### ۱-۲-۳- دوده سیلیسی (میکروسیلیس)

دوده سیلیسی مصرفی در این تحقیق از کارخانه فرو سیلیس ایران واقع در شهر سمنان تهیه شده است. همچنین مشخصات شیمیایی این دوده سیلیسی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- تجزیه شیمیایی دوده سیلیسی و سیمان مورد استفاده

ترکیب شیمیایی	دوده سیلیسی سمنان %	سیمان تپ دو دورود %
SiO <sub>2</sub>	۹۱/۷	۲۱/۵۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱/۲۷	۴/۱۴
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱/۴۵	۳/۰۵
MgO	۰/۶	۱/۲
CaO	۱/۶۹	۶۱/۰۶
SO <sub>3</sub>	۰/۴۵	۱/۹

#### ۱-۲-۴- الیاف ماکروسینتتیک بارچیپ HT48

این الیاف که توسط شرکت الاستو پلاستیک انگلستان (epc) ساخته شده است از جنس پلی پروپیلن خالص بوده و در نتیجه نسبت به الیاف فولادی در برابر محیط های مهاجم بسیار پرم دوام تر هستند. وزن سبک این الیاف مسائلی چون حمل و نقل و جابجایی را راحت تر نموده است و جمع شدگی الیاف و یا ته نشین شدن آنها در ماتریس بوجود نمی آید. شرکت سازنده برای جلوگیری از لغزش این نوع الیاف در ملات و بتن،

جدول ۴- طرح اختلاط بتن های ساخته شده در این پژوهش

نام طرح اختلاط	الیاف بارچپ Kg/m <sup>3</sup>	عیار مواد سیمانی Kg/m <sup>3</sup>	آب به مواد سیمانی	فوق روانساز %	شن SSD Kg/m <sup>3</sup>	ماسه SSD Kg/m <sup>3</sup>	ماسه بادی SSD Kg/m <sup>3</sup>	سیمان Kg/m <sup>3</sup>	دوده سیلیسی Kg/m <sup>3</sup>
SF0+BAR0	۰	۴۲۰	۰/۳۵	۰/۵۱	۸۷۰	۶۴۴	۲۷۶	۴۲۰	۰
SF10+BAR0	۰	۴۲۰	۰/۳۵	۰/۵۵	۸۷۰	۶۴۴	۲۷۶	۳۷۸	۴۲
SF10+BAR2.5	۲/۵	۴۲۰	۰/۳۵	۰/۶۵	۸۷۰	۶۴۴	۲۷۶	۳۷۸	۴۲
SF10+BAR3.5	۳/۵	۴۲۰	۰/۳۵	۰/۷۳	۸۷۰	۶۴۴	۲۷۶	۳۷۸	۴۲
SF10+BAR5	۵	۴۲۰	۰/۳۵	۰/۸۵	۸۷۰	۶۴۴	۲۷۶	۳۷۸	۴۲



شکل ۸- نحوه تهیه ژل دوده سیلیسی



شکل ۷- قالب های شیشه ای ۱۰×۱۰×۳۵ میلی متر ساخته شده جهت تهیه نمونه برای انجام آزمایشات مقاومت خمشی و مقاومت ویژه الکتریکی

برای اختلاط مصالح ابتدا بدنه داخلی مخلوط کن به کمک یک پارچه نمناک مرطوب گردید و پس از آن ماسه و سیمان درون مخلوط کن ریخته شده و به مدت ۱ دقیقه با هم مخلوط شدند. سپس در حدود نصف آب مصرفی به همراه ژل دوده سیلیسی تهیه شده به مصالح اضافه شد و عمل مخلوط کردن دو دقیقه دیگر ادامه پیدا کرد. سپس سنگدانه های درشت را اضافه کرده و باقیمانده آب را اضافه می کرده و عمل مخلوط کردن تا سه دقیقه دیگر ادامه پیدا می کند. سپس در طرح های بتن الیافی، الیاف به تدریج به مخلوط کن اضافه می گردد و عمل مخلوط کردن برای پنج دقیقه دیگر ادامه پیدا می کند تا الیاف بطور یکنواخت در ماتریس بتن پخش گردد و یک بتن همگن با کارایی مناسب بدست آید. پس از اختلاط کامل مصالح آزمایش اسلامپ انجام گرفته و سپس مخلوط ها مطابق با استاندارد ASTM C192 [۱۳] و BS-1881-108 [۱۴] در داخل قالب هایی که از قبل به روغن آغشته شده بود، ریخته شد و مخلوط ها توسط کوبه، متراکم و سپس برای خارج کردن حباب های هوا توسط چکش لاستیکی مرتعش گردیدند.

جدول ۵- محدودیت های نسبت ها و مقادیر اجزای بتن مسلح در سازه های دریایی در شرایط جزر و مد، پاشش و ضربات امواج (در منطقه خلیج فارس، دریای عمان و دریاچه ارومیه) - نشریه ۶۳۲

ماده مکمل	حداقل و حداکثر عیار مواد سیمانی kg/m <sup>3</sup>	حداکثر سایز سنگدانه mm	حداکثر w/c
الزامی	۳۷۵-۴۲۵	۲۰	۰/۴

### ۳-۲- ساخت نمونه ها

هر یک از مصالح در هر طرح اختلاط بر اساس مقدار مورد نیاز با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن شده و تفکیک گردیدند. در طرح های حاوی دوده سیلیسی، ابتدا دوده سیلیسی مصرفی با مقداری آب و کل روان کننده مخلوط گردید و با استفاده از همزن با دور تند به مدت ۵ دقیقه ژل دوده سیلیسی تهیه شد (مطابق با شکل ۸).



## ۲-۴- عمل آوری

یک ساعت پس از بتن‌ریزی بر روی قالب‌ها گونی خیس (بدون تماس مستقیم با سطح بتن) و بر روی گونی‌ها پلاستیک کشیده شد تا عمل آوری با توجه به حضور دوده سیلیسی سریعاً شروع شود و رطوبت نیز حفظ گردد. سپس قالب‌ها پس از ۲۴ ساعت باز شده و نمونه‌ها درون مخزن آب - آهک به مدت ۲۷ روز و در دمای حدود ۲۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا برای آزمایشات آماده گردند. در شکل ۹ نحوه عمل آوری نمونه‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۹- عمل آوری نمونه‌ها در مخزن آب - آهک

## ۲-۵- آزمایشات انجام شده

### ۲-۵-۱- آزمایش بتن تازه

پس از اختلاط مصالح درون مخلوط کن، آزمایش اسلامپ مطابق استاندارد ASTM C143 [۱۵] بر روی هر طرح اختلاط انجام گرفت.

### ۲-۵-۲- آزمایش بتن سخت شده

#### ۲-۵-۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری

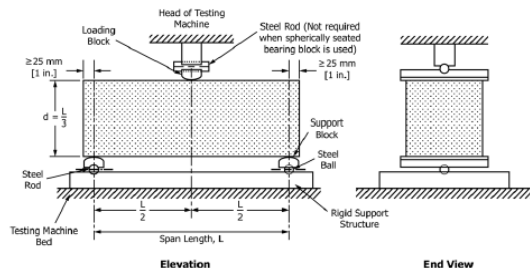
در این تحقیق از نمونه‌های استوانه‌ای  $150 \times 300$  میلیمتر و استاندارد ASTM C39 [۱۶۳] برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه استفاده شد. نمونه‌های استوانه‌ای باید حتماً کپ شوند تا سطوح تحتانی و فوقانی با هم موازی شوند. در شکل ۱۰ مراحل کپی‌نگ نمونه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۰- مراحل کپی‌نگ نمونه‌ها- ۱- ذوب گوگرد ۲- اضافه کردن ماسه‌بادی به گوگرد ذوب شده ۳- قراردادن نمونه در دستگاه کلاک گذاری حاوی مخلوط گوگرد و ماسه بادی

## ۲-۵-۲- آزمایش مقاومت خمشی

آزمایش تعیین مقاومت خمشی در سن ۲۸ روزه بر روی نمونه‌های منشوری  $100 \times 100 \times 350$  میلیمتر و بر اساس بارگذاری بار نقطه‌ای مطابق استاندارد ASTM C293 [۱۷] و با استفاده از دستگاه آزمون خمش سه نقطه‌ای انجام شده است. در شکل ۱۱ نحوه بارگذاری نمونه نشان داده شده است. در این تحقیق فاصله بین دو تکیه‌گاه برای شکست نمونه ۳۰۰ میلیمتر و سرعت بارگذاری  $0.5$  میلیمتر بر دقیقه بوده است. تصویر آزمون بتنی حاوی الیاف بارچپ که با دستگاه شکسته شده در شکل ۱۲ و ۱۳ آورده شده است.



شکل ۱۱- نحوه بارگذاری نمونه در آزمایش مقاومت خمشی

مطابق استاندارد ASTM C293 [۱۷]



شکل ۱۲- آزمون شکسته شده بتن حاوی الیاف بارچپ HT 48



شکل ۱۳- آزمون‌های شکسته شده بتن با دستگاه آزمون خمش سه نقطه‌ای

## ۲-۵-۲-۳- آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی

از جمله ویژگی‌های فیزیکی بتن مقاومت ویژه الکتریکی آن است که شاخصی برای تعیین میزان مقاومت بتن در برابر عبور جریان الکتریکی می‌باشد. این شاخص در سازه‌های بتن مسلح واقع در معرض خوردگی کاربردی می‌شود. در روند خوردگی بر سطح میلگرد دو منطقه آندی و کاتدی به وجود می‌آید که دارای اختلاف پتانسیل هستند. انتقال

بین ۳۲ میلیمتر و ۱۵۰ میلیمتر تعیین می‌شود. برای تعیین جذب آب نیم ساعته بتن، ابتدا آزمون طوری در آن خشک کن قرار داده می‌شود که فاصله آن‌ها از هر سطح گرمایش یا از یکدیگر از ۲۵ میلیمتر کمتر نباشد. آزمون به مدت  $72 \pm 2$  ساعت در گرمخانه، خشک می‌شود. پس از خارج کردن آزمون از گرمخانه، به مدت  $24 \pm 0.5$  ساعت در یک مخزن خشک که عبور هوا به داخل آن ممکن نیست خشک می‌گردد. پس از تعیین جرم خشک آزمون، بلافاصله در تانک آب بصورت کامل مستغرق شده بصورتیکه محور طولی آزمون، افقی بوده و در عمق قرار گیرد و همچنین  $25 \pm 5$  میلیمتر آب روی بخش فوقانی آزمون نه گیرد (مطابق شکل ۱۶). آزمون پس از استغراق در آب به مدت  $30 \pm 0.5$  دقیقه، از آب خارج شده و با تکان دادن، آب از اطراف آن زدوده می‌شود. سپس سطح آن با یک پارچه تا حد امکان خشک شده تا کل آب آزاد آزمون از سطح آن زدوده شود. آزمون نیمه اشباع، وزن شده و با استفاده از وزن خشک آن، درصد جذب آب نیم ساعته آن محاسبه می‌شود. در این تحقیق بعلاوه در اختیار نداشتن قالب استوانه‌ای استاندارد و همچنین عدم امکان مغزه گیری، از قالب‌های مکعبی  $150 \times 150 \times 150$  میلیمتر استفاده گردید. در نهایت با توجه به رابطه ضریب اصلاح ارائه شده در استاندارد Bs 1881:122 و همچنین ضریب بدست آمده از تحقیق نعمتی چاری، شکرچی زاده و دوستی (۱۳۹۱) [۲۳] نتایج جذب آب نیم ساعته نمونه های مکعبی در سن ۲۸ روزه، اصلاح گردیده و به نمونه استوانه  $75 \times 75$  میلیمتر تبدیل گردیدند.



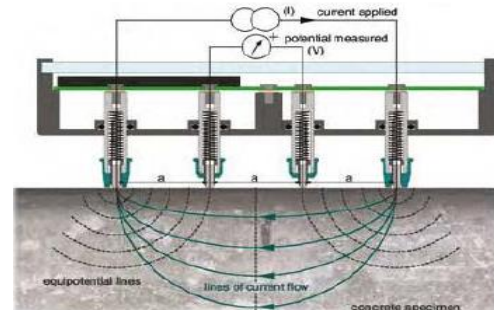
شکل ۱۶- مستغرق کردن نمونه ها در آب به مدت ۳۰ دقیقه برای آزمایش جذب آب نیم ساعته با ارتفاع ۲۵ میلیمتر آب روی نمونه ها

### ۳- نتایج و تجزیه و تحلیل آن‌ها

در جدول ۶ الزامات نشریه ۶۳۲ برای بتن مسلح ۲۸ روزه در شرایط جزر و مد، پاشش و ضربات امواج در منطقه خلیج فارس، دریای عمان و دریاچه ارومیه آورده شده است. که نتایج به دست آمده در این تحقیق، با آن‌ها کنترل می‌شوند. همچنین از طرح اختلاط بدون الیاف و بدون دوده سیلیسی (SFO+BAR0) بعنوان طرح شاهد استفاده شده است.

یون‌های هیدروکسیل از کاتد به آند تحت تأثیر مقاومت ویژه الکتریکی بتن صورت می‌گیرد. هر چه مقاومت ویژه الکتریکی بتن بیشتر باشد از شدت خوردگی کاسته می‌شود. به عبارت دیگر خوردگی نسبت مستقیم با جریان بین آند و کاتد داشته و با مقاومت الکتریکی نسبت عکس دارد [۱۸]. مقاومت الکتریکی بتن به ریز ساختار ماتریس سیمان، خلل و فرج آن، تخلخل و اندازه حفرات وابسته است. مقاومت الکتریکی همچنین تابعی از غلظت و تحرک یون‌ها در منافذ می‌باشد. سیمان، مقدار سیمان، نسبت آب به سیمان و استفاده از مواد افزودنی و مکمل‌های سیمانی، فاکتورهایی هستند که بر ریز ساختار ماتریس سیمانی بتن و منافذ آن و لذا بر مقاومت الکتریکی بتن تأثیرگذار هستند [۱۹].

در این تحقیق برای اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی نمونه های بتن در سن ۲۸ روزه از روش چهارالکترودی (سطحی، ورنر) استفاده شده است. همانطور که در شکل ۱۴ نشان داده شده است چهار الکتروده به صورت یکسان قرار داده می‌شود و جریان متناوب کوچکی بین الکترودهای بیرونی برقرار می‌گردد، سپس پتانسیل بین الکترودهای میانی اندازه‌گیری می‌شود. همچنین در شکل ۱۵ نحوه اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی نمونه تیر بتنی مورد استفاده در تحقیق در سن ۲۸ روزه به ابعاد  $100 \times 100 \times 350$  میلیمتر نشان داده شده است. لازم به ذکر است با توجه به ابعاد کوچک آزمون، نسبت به فاصله بین الکترودها از نمودار ارائه شده در پژوهش گاورز و میلارد (۱۹۹۹) [۲۰] برای اصلاح خطای ابعاد نمونه (ضریب اصلاح یک دوم) استفاده شده است.



شکل ۱۴- روش ورنر برای اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی [۲۱]



شکل ۱۵- نحوه آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی نمونه های منشوری

### ۴-۲-۵-۲- آزمایش جذب آب نیم ساعته

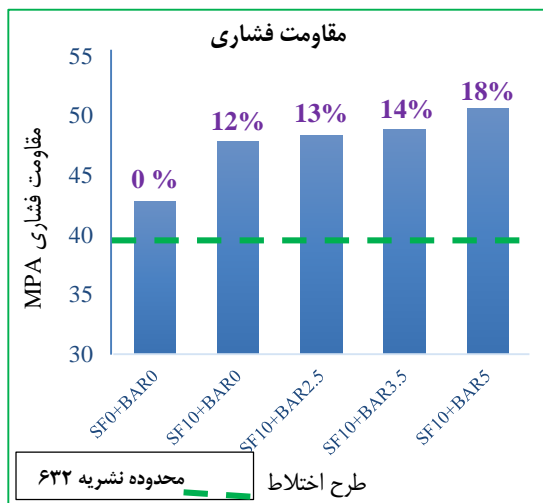
آزمایش جذب آب نیم ساعته طبق استاندارد Bs 1881:122 [۲۲] انجام شده است. در روش استاندارد انگلیسی، جذب آب آزمون‌های بتن مغزه گیری شده از سازه یا اجزاء پیش ساخته با قطر ۷۵ میلیمتر و ارتفاع

### ۳-۲- آزمایش مقاومت فشاری

در شکل ۱۹ تأثیر جایگزین کردن دوده سیلیسی با بخشی از سیمان و تأثیر افزودن الیاف بارچیب در مقادیر مختلف همراه با دوده سیلیسی بر مقاومت فشاری بتن و همچنین درصد افزایش مقاومت فشاری بتن نسبت به بتن شاهد در مخلوط های مختلف آورده شده است.

همانطور که در شکل ۱۹ مشاهده می شود استفاده از دوده سیلیسی موجب افزایش مقاومت فشاری بتن به میزان ۱۲ درصد نسبت به بتن شاهد شده است. همچنین استفاده از الیاف بارچیب در کنار دوده سیلیسی نیز افزایش تدریجی مقاومت فشاری بتن را در بر دارد. بطوری که با مصرف ۲/۵، ۳/۵ و ۵ کیلوگرم الیاف بارچیب همراه با مصرف دوده سیلیسی افزایش مقاومت فشاری بترتیب معادل ۱۳، ۱۴ و ۱۸ درصد نسبت به بتن شاهد بوده است. با توجه به نتایج می توان اظهار داشت که دوده سیلیسی می تواند با بهبود ناحیه انتقالی در بتن سبب افزایش مقاومت فشاری نسبت به بتن شاهد شود. با وجود اینکه استفاده از الیاف می تواند سبب افزایش تخلخل و در نتیجه تضعیف در مقاومت فشاری بتن گردد ولی ترکیبات بتن بکار رفته حاوی الیاف بارچیب، بدلیل داشتن مدول الاستیسیته بالا و بافت سطح زبر این الیاف و همچنین تقویت شدن ناحیه تماس الیاف با سیمان بدلیل استفاده از دوده سیلیسی، افزایش تدریجی مقاومت فشاری نسبت به بتن شاهد را نشان می دهند.

نتایج نشان دهنده این است که تمام طرح اختلاط ها توانستند الزامات نشریه ۶۳۲ (حداقل مقاومت فشاری استوانه ۴۰ مگاپاسکال) را در شرایط جزر و مد، پاشش و ضربات امواج در منطقه خلیج فارس، دریای عمان و دریاچه ارومیه تأمین نمایند.



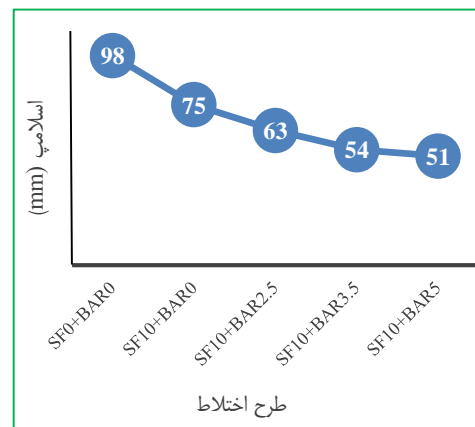
شکل ۱۹ - نتایج مقاومت فشاری بتن در سن ۲۸ روزه و مقایسه با الزامات نشریه ۶۳۲ در شرایط جزر و مد، پاشش و ضربات امواج (اعداد روی میله ها بیانگر درصد افزایش نسبت به بتن شاهد می باشد)

جدول ۶- الزامات نشریه ۶۳۲ جهت بتن مسلح ۲۸ روزه در شرایط جزر و مد، پاشش و ضربات امواج (در منطقه خلیج فارس، دریای عمان و دریاچه ارومیه)

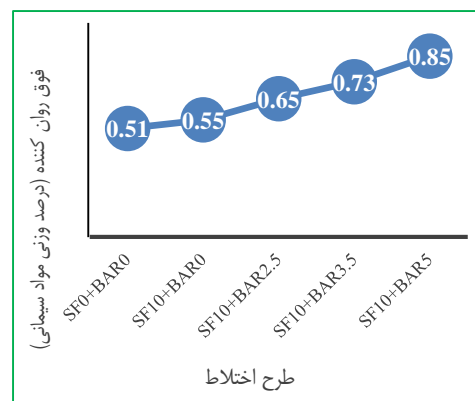
حداقل مقاومت فشاری استوانه ای	حداکثر جذب آب نیم ساعته	حداقل مقاومت ویژه الکتریکی
۴۰ Mpa	۲%	۱۲KΩ.CM

### ۳-۱- آزمایش اسلامپ

در مطالعه حاضر محدوده کارایی مخلوط های مختلف در بازه ۵۰ الی ۱۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شد. در شکل ۱۷ اسلامپ طرح مخلوط های بتن و در شکل ۱۸ مقدار فوق روان ساز مصرفی بر اساس درصدی از وزن مواد سیمانی نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است کاربرد دوده سیلیسی منجر به کاهش اسلامپ شده است. علت این امر تمایل شدید دوده سیلیسی به جذب آب، ناشی از فعالیت بالای پوزولانی و ذرات بسیار ریز آن می باشد. همچنین با بکارگیری الیاف بارچیب نیز اسلامپ طرح ها حتی با وجود مصرف فوق روان کننده بیشتر، کاهش می یابد.



شکل ۱۷- اسلامپ طرح مخلوط های بتن



شکل ۱۸- مقدار فوق روان کننده به کار رفته برای هر مخلوط



### ۳-۳- آزمایش مقاومت خمشی

در شکل ۲۰ تأثیر جایگزین کردن دوده سیلیسی با بخشی از سیمان و همچنین تأثیر اضافه کردن الیاف بارچپ در مقادیر مختلف همراه با دوده سیلیسی بر مقاومت خمشی بتن و همچنین درصد افزایش مقاومت خمشی بتن نسبت به بتن شاهد در مخلوط های مختلف آورده شده است، اعداد روی میله ها بیانگر درصد افزایش مقاومت فشاری نسبت به بتن شاهد می باشد.

همانطور که در شکل ۲۰ مشاهده می شود استفاده از دوده سیلیسی موجب افزایش مقاومت خمشی بتن به میزان ۱۲ درصد نسبت به بتن شاهد شده است. همچنین استفاده توأم از الیاف بارچپ و دوده سیلیسی افزایش مقاومت خمشی بتن تا ۶۵ درصد را در بر دارد.

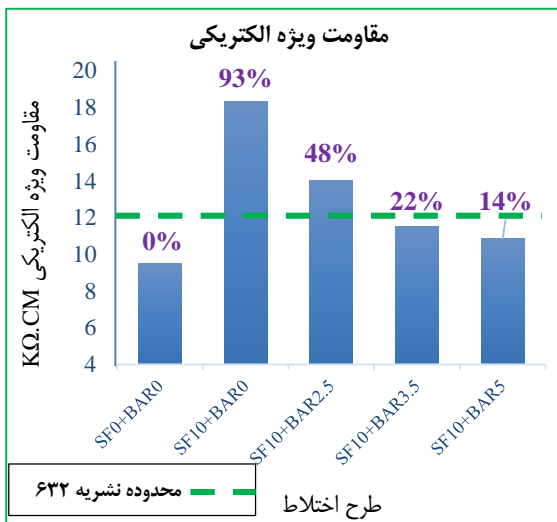
با توجه به نتایج می توان اظهار داشت که دوده سیلیسی می تواند با بهبود ناحیه انتقالی در بتن سبب افزایش مقاومت خمشی نسبت به بتن شاهد شود. همچنین با توجه به طول بلند الیاف بارچپ (۴۸ میلی متر) و همچنین قطر زیاد (۰/۹ میلی متر) انتظار می رود که الیاف مذکور نتواند همانند الیاف های میکرو با پل زدن بر روی ریزترک ها مانع از رشد و گسترش آن ها و به تبع آن افزایش مقاومت کششی و خمشی شود. اما عملکرد اینگونه نبوده است زیرا الیاف بارچپ HT48 بدلیل داشتن مدول الاستیسیته و تنش کششی بالا و همچنین بافت سطح زبر و استفاده از دوده سیلیسی که باعث اتصال بهتر الیاف با خمیر سیمان و در نتیجه تقویت ناحیه تماس الیاف با سیمان می شود افزایش مقاومت خمشی تا ۶۵ درصد نسبت به بتن شاهد را بدنبال داشته است. بنابراین می توان استفاده از الیاف بارچپ HT48 به همراه دوده سیلیسی در بتن به منظور افزایش مقاومت خمشی را مناسب دانست.

### ۳-۴- آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی

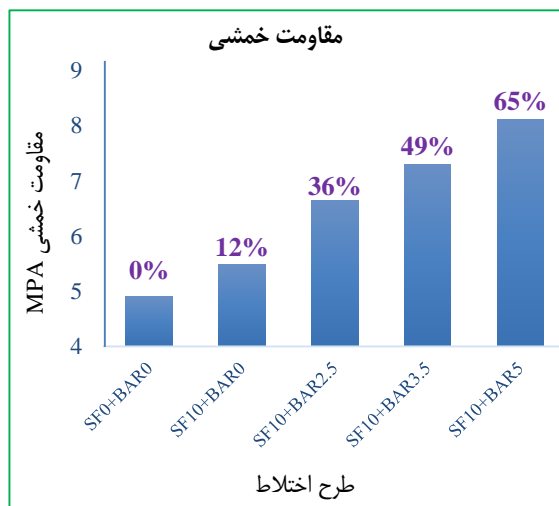
در شکل ۲۱ تأثیر جایگزین کردن دوده سیلیسی با بخشی از سیمان و همچنین تأثیر اضافه کردن الیاف بارچپ در مقادیر مختلف همراه با دوده سیلیسی بر روی مقاومت ویژه الکتریکی بتن و درصد افزایش مقاومت ویژه الکتریکی بتن نسبت به بتن شاهد در مخلوط های مختلف بدست آمده است.

همانطور که در شکل ۲۱ مشاهده می شود استفاده از دوده سیلیسی موجب افزایش چشمگیر مقاومت ویژه الکتریکی بتن به میزان ۹۳ درصد نسبت به بتن شاهد شده است. همچنین پس از اضافه کردن الیاف بارچپ به طرح اختلاط حاوی دوده سیلیسی (SF10+BAR0)، مقاومت ویژه الکتریکی بتن افت کرده و به تدریج با افزایش مصرف الیاف، این کاهش مقاومت ویژه الکتریکی نیز ادامه می یابد. اما با توجه به حضور دوده سیلیسی در کنار الیاف بارچپ، مقاومت ویژه الکتریکی تمام ترکیبات بتن الیافی همچنان از طرح اختلاط بتن شاهد بیشتر است. علت کاهش مقاومت ویژه الکتریکی با مصرف الیاف را می توان ناشی از خلل و فرج ایجاد شده در اثر اضافه کردن الیاف به بتن دانست که با افزایش تخلخل ناشی از افزایش الیاف، این کاهش مقاومت ویژه الکتریکی نیز همچنان ادامه می یابد.

نتایج نشان دهنده این است که تنها طرح اختلاط حاوی دوده سیلیسی (بدون الیاف) و همچنین طرح اختلاط حاوی ۲/۵ کیلوگرم در مترمکعب الیاف بارچپ همراه با دوده سیلیسی توازن سته اند الزامات نشریه ۶۳۲ (حداقل مقاومت ویژه الکتریکی ۱۲ KΩ.CM) را در شرایط جزر و مد، پاشش و ضربات امواج در منطقه خلیج فارس، دریای عمان و دریاچه ارومیه تأمین نمایند.



شکل ۲۱- نتایج مقاومت ویژه الکتریکی بتن در سن ۲۸ روزه و مقایسه با الزامات نشریه ۶۳۲ در شرایط جزر و مد، پاشش و ضربات امواج (اعداد روی میله ها بیانگر درصد افزایش نسبت به بتن شاهد می باشد)

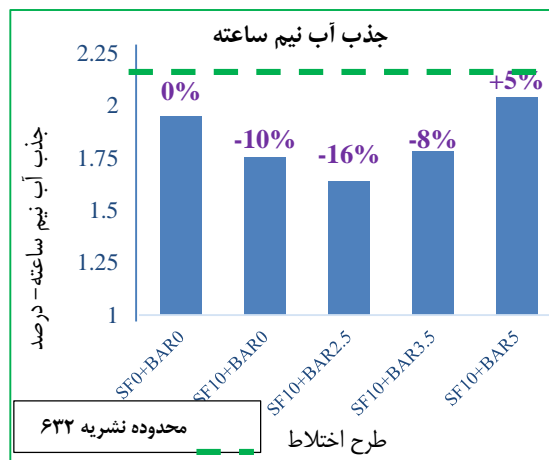


شکل ۲۰- نتایج مقاومت خمشی بتن در سن ۲۸ روزه (اعداد روی میله ها بیانگر درصد افزایش نسبت به بتن شاهد می باشد)

### ۵-۳- آزمایش جذب آب نیم ساعته

در شکل ۲۲ تأثیر جایگزین کردن دوده سیلیسی با بخشی از سیمان و همچنین تأثیر اضافه کردن الیاف بارچپ در مقادیر مختلف همراه با دوده سیلیسی بر روی جذب آب نیم ساعته و در صد افزایش یا کاهش جذب آب نیم ساعته بتن نسبت به بتن شاهد در مخلوط های مختلف آورده شده است. همانطور که در شکل ۲۲ مشاهده می شود استفاده از دوده سیلیسی موجب کاهش جذب آب نیم ساعته بتن به میزان ۱۰ درصد نسبت به بتن شاهد شده است. همچنین با بکارگیری ۲/۵ کیلوگرم الیاف بارچپ در کنار دوده سیلیسی، جذب آب نیم ساعته بتن قدری کاهش داشته ولی با افزایش مصرف الیاف در محدوده ۳/۵ و ۵ کیلوگرم بر مترمکعب، جذب آب بتن شروع به افزایش پیدا می کند. علت احتمالی این کاهش جذب آب با مصرف حداقلی الیاف را می توان ناشی از قرارگیری نمونه ها در کوره که می تواند باعث ترک خوردگی ناشی از تغییرات دمایی در بتن شود، مربوط دانست که در نتیجه الیاف بارچپ با کنترل ترک های بوجود آمده در بتن، سبب کاهش جذب آب شده است. همچنین علت احتمالی افزایش جذب آب با مصرف ۳/۵ و ۵ کیلوگرم الیاف را می توان ناشی از خلل و فرج ایجاد شده در اثر اضافه کردن الیاف در مقادیر متوسط و زیاد به بتن دانست که با افزایش تخلخل، این افزایش جذب آب نیز شدیدتر می شود. در واقع تخلخل بیش از حد باعث افزایش جذب آب شده و دیگر کنترل ترک ها توسط الیاف ناشی از تغییرات دمایی در کاهش جذب آب مؤثر واقع نمی شود. در نتیجه طرح مخلوط های حاوی الیاف در مقادیر متوسط و زیاد با افزایش جذب آب روبرو شدند.

نتایج نشان دهنده این است که بجز طرح اختلاط حاوی ۵ کیلوگرم الیاف به همراه دوده سیلیسی، بقیه مخلوط ها توانستند الزامات نشریه ۶۳۲ (حداکثر جذب آب نیم ساعته ۲ درصد) را در شرایط جزر و مد، پاشش و ضربات امواج در منطقه خلیج فارس تأمین نمایند.



شکل ۲۲ - نتایج جذب آب نیم ساعته بتن در سن ۲۸ روزه و مقایسه با الزامات نشریه ۶۳۲ در شرایط جزر و مد، پاشش و ضربات امواج (اعداد روی میله ها بیانگر درصد افزایش (+) یا کاهش (-) نسبت به بتن شاهد می باشد)

### ۴- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده به شرح زیر می باشد:

۱- الیاف بارچپ بدلیل داشتن مدول الاستیسیته بالا و بافت سطح زبر و همچنین دوده سیلیسی بدلیل افزایش دادن پیوستگی الیاف ماکروسینتتیک بارچپ HT48 به ماتریس سیمان و در نتیجه تقویت ناحیه تماس الیاف با سیمان، اثر تضعیف کننده تخلخل ناشی از مصرف الیاف را خنثی کرده و حتی باعث افزایش مقاومت فشاری ترکیبات بتن می شوند.

۲- با استفاده توأم از دوده سیلیسی و الیاف ماکروسینتتیک بارچپ HT48، مقاومت خمشی بتن تا ۶۵ درصد افزایش می یابد. پس می توان استفاده از این الیاف به همراه دوده سیلیسی در بتن به منظور افزایش مقاومت خمشی را کاملاً مثبت ارزیابی کرد. در نتیجه می توان علاوه بر طول و قطر الیاف، تنش کششی، مدول الاستیسیته، سطح زبر و صاف الیاف و نوع پوزولان بکار رفته را در مقاومت خمشی بتن های الیافی مؤثر دانست.

۳- استفاده از دوده سیلیسی موجب افزایش چشمگیر مقاومت ویژه الکتریکی بتن شده و پس از بکارگیری الیاف ماکروسینتتیک بارچپ HT48، مقاومت ویژه الکتریکی بتن بدلیل تخلخل ناشی از مصرف الیاف، افت می کند.

۴- استفاده از دوده سیلیسی موجب کاهش جذب آب نیم ساعته بتن می شود. از طرف دیگر اضافه کردن حداقلی الیاف بارچپ HT48 به بتن سبب کاهش جذب آب شده و با اضافه کردن الیاف بیشتر، افزایش جذب آب مشاهده گردید.

۵- از بین ۵ طرح اختلاط ساخته شده در این پژوهش، فقط طرح اختلاط حاوی دوده سیلیسی (بدون الیاف) و طرح اختلاط حاوی ۲/۵ کیلوگرم الیاف بارچپ HT48 همراه با دوده سیلیسی توانستند الزامات نشریه ۶۳۲ را در شرایط جزر و مد، پاشش و ضربات امواج در منطقه خلیج فارس، دریای عمان و دریاچه ارومیه از هر ۳ لحاظ مقاومت فشاری، مقاومت ویژه الکتریکی و جذب آب نیم ساعته در سن ۲۸ روزه برآورده نمایند.

### ۵- تشکر و قدردانی

محققان از جناب آقای مهندس محمد خادم مسئول آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک شهرستان دزفول بخاطر همکاری در انجام آزمایشات و در اختیار قراردادن امکانات کمال تشکر و قدردانی را دارند.

15- ASTM C143/C143M-12M, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, 2012.

16- ASTM C39/C39M, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, 2003.

17- ASTM C293/C293M, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading), 2002.

۱۸- قدوسی، پ، و همکاران، فن آوری بتن در شرایط محیطی خلیج فارس-جلد اول: آسیب شناسی بتن و ارزیابی آن، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸.

19- Hunkeler, F., The Resistivity of Pore Water Solution - A Decisive Parameter of Rebar Corrosion and Repair Methods, Construction and Building Materials., Vol. 10, No. 5, 1996, pp 381- 389.

20- Gowers, K.R., Millard, S.G., Measurement of Concrete Resistivity for Assessment of Corrosion Severity of Steel Using Wenner Technique, ACI Materials Journal., Vol. 96, No. 5, 1999, pp 536-542.

21- Wenner, F., A Method of Measuring Earth Resistivity, Bulletin of the Bureau of Standards., Vol. 12, No. 4, 1916, pp 469- 478.

22- British Standard, Test Concrete, Method for determination of water Absorption, BS 1881: Part 122, 1983.

۲۳- نعمتی چاری، م، شکرچی زاده، م، دوستی، ع، تأثیر ابعاد و شکل آزمون‌ها روی مقدار جذب آب بتن در مدت زمان مشخص، چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ایران، ۱۵ مهرماه، ۱۳۹۱.

## ۶- منابع

۱- صفای نیکو، ح، برر سی رفتار خمشی تیرهای بتن آرمه حاوی الیاف فولادی در دریای عمان، پایان نامه دکتری رشته مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران، ۱۳۹۷.

2- ACI Committee 544, Guide for specifying, proportioning and production of fiber reinforced concrete, 2008.

۳- دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی، نشریه شماره ۶۳۲-بخش سوم مصالح، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۹۲.

۴- علیزاده، ه، بررسی تأثیر استفاده توأم از خاکستر بادی و دوده سیلیسی بر خواص مکانیکی و دوام بتن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران، ۱۳۸۹.

۵- بهمنی، ه، مستوفی نژاد، د، برر سی خواص مکانیکی بتن با عملکرد فوق‌العاده بالای مسلح شده به الیاف پلی پروپیلن و الیاف ماکروی مصنوعی (بارچپ)، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، ایران، ۱۳۹۸.

6- Bernard, E.S., Durability of cracked fibre reinforced shotcrete, More Engineering Developments, Taylor & Francis, London, 2004, pp 59-66.

7- Alberti, M., Enfedaque, A., and Gálvez, J., Fibre reinforced concrete with a combination of polyolefin and steel-hooked fibres, Composite Struct, 2017, pp 317-325.

۸- ملکی، ا، اسماعیلی، ف، مطالعه آزمایشگاهی تأثیر فرآورده‌های میکروسیلیس بر روی خواص بتن سخت شده، نشریه آنالیز سازه - زلزله، دوره ۱۳، شماره ۱، ۱۳۹۵، صفحات ۱۵-۲۳.

9- Mallick, J., Effect of silica fume on steel slag concrete, Thesis of Master of Science, Department of Civil Engineering National Institute of Technology Rourkela, 2010.

10- Chung. Chul-Woo., Shon. C., Kim, Y., Chloride ion diffusivity of fly ash and silica fume concretes exposed to freeze-thaw cycles, Construction and building materials, 2010, pp 1739-1745.

11- Shekarch. M., Rafiee. A., Layssi. H., Long-term chloride diffusion in silica fume concrete in harsh marine climates, Cement & Concrete Composites, 2009, pp 769-775.

۱۲- استاندارد ۳۰۲ ملی ایران، سنگدانه‌های بتن - ویژگی‌ها، سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۴.

13- ASTM C192 / C192M, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, 2013.

14- BS 1881:108, Method for making test cubes from fresh concrete, 1983.

## Laboratory Study of Mechanical Properties and Durability of Concrete Containing Silica fume and Barchip Fibers

Seyed Ahmad Eshta

Department of Civil Engineering- Engineering and Construction Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

Ali Saligheh Zadeh\*

Department of Civil Engineering- Engineering and Construction Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

a\_salighehzadeh@yahoo.com\*

### Abstract:

In recent years corrosion of steel reinforcement in concrete has been recognized as one of the most important reasons for early damage in reinforced concrete structures. In marine environments, the release of ion chloride and ion sulfate into concrete resulted in corrosion, are the major cause of damages and shortening the useful life of reinforced concrete structures. Because concrete is weak in tension and it is cracked due to the operation loads, chlorine ions can easily enter concrete through these cracks, causing corrosion of the rebars. Therefore, the fibers can reduce the corrosion of the bars in concrete by delaying of cracking or reducing the crack width as well as silica fume Pozzolan can decrease the rebars corrosion through reduction of penetration of liquids. Accordingly, in the present study 5 concrete compositions were made. Silica fume pozzolan was added to the concrete mixtures by replacing 10 wt.% of the cement and Barchip fibers with values of 2.5, 3.5 and 5 kg/m<sup>3</sup> were added to the concrete mixtures. In order to evaluate the mechanical properties, compressive and flexural strength tests, and for concrete durability, special electrical resistance and half-hour water absorption tests were performed. The results show that silica fume is effective in decreasing of half-hour water absorption and increasing of the specific electrical, compressive and flexural strength of concrete, and the combined application of silica fume and Barchip fibers enhances the flexural strength of concrete up to 65%. There is also a decrease in electrical resistance and an increase in compressive strength and half-hour water absorption by the addition of Barchip fibers to the concrete composition containing silica fume

**Keywords:** Concrete, Silica fume, Barchip fiber, Mechanical properties, Durability