

بررسی درصدهای مختلف الیاف فولادی بر خواص مکانیکی بتن ساخته شده از سنگدانه های سنگین مگنتیت

کد موضوعی (E156)

محمد کاظم شربتدار^۱، مجید مهربد^۲

^۱دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه سمنان

majid_mehrbod@yahoo.com

چکیده:

بتن های تهیه شده با سنگدانه های سنگین و با چگالی بالا، نظیر مگنتیت، به طور ویژه به عنوان سپر محافظ در مقابل انواع تشعشعات استفاده می شود، اما از این نوع بتن جهت ساخت بتن های وزنی، وزنه های تعادل و یا مواردی که نیاز به افزایش بار مرده ی سازه بدون افزایش حجم می باشد نیز استفاده می شود. از طرفی افزودن الیاف فولادی باعث ارتقای خواص مکانیکی بتن می گردد. در این تحقیق ۶۶ نمونه ی مکعبی و استوانه ای حاصل از شش طرح مخلوط حاوی سنگدانه های معمولی و ترکیب سنگدانه های معمولی و سنگین مگنتیت به نسبت ۵۰٪ حجمی و با درصد های ۰، ۱ و ۲ الیاف فولادی و با نسبت آب به سیمان ۰٫۵۲ ساخته شد. نمونه های ساخته شده سپس تحت آزمایش های فشاری و کشش برزیلی در سنین مختلف ۷ و ۲۸ روزه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بتن های حاوی سنگدانه سنگین با الیاف فولادی ۲٪ خواص مکانیکی بهتری را نسبت به بتن معمولی از خود نشان می دهد.

کلمات کلیدی: بتن سنگین، مقاومت فشاری، مقاومت برزیلی، الیاف فولادی

۱- مقدمه

از جمله ی مواد جدیدی که جایگاه ویژه‌ای در ساخت و ساز به خود اختصاص داده، افزودنی های بتن و الیاف تقویت کننده ی آن می باشد. این مواد باعث بهبود خواص مطلوب بتن، همچون مقاومت آن می‌گردد و در بعضی موارد، با کاهش وزن بتن، مصالح بسیار سبکی را فرا راه مهندسين بنا قرار می دهد. برای بهبود ویژگی های بتن، تحقیقات آزمایشگاهی استفاده از المان های تقویت کننده ی فولادی ناپیوسته نظیر میخ ها، قطعات سیم و تراشه های فلزی، از سال ۱۹۱۰ آغاز شد. در اوایل دهه ی ۱۹۶۰ در آمریکا، اولین بررسی جدی برای ارزیابی قابلیت الیاف فولادی به عنوان تقویت کننده ی بتن انجام شد. پس از آن تحقیقات بسیار زیادی در خصوص استفاده از الیاف فولادی برای تقویت بتن صورت گرفت [۱]. تحقیقات محققین نشان می دهد که انواع الیاف می توانند ظرفیت کرنش، میزان جذب انرژی، مقاومت سایشی و مقاومت کششی بتن را افزایش دهند [۲]. از آن جا که الیاف فولادی در جسم بتن، در همه ی جهات پراکنده می شود، در صورت تشکیل یک ترک در جهات مختلف، الیاف اتصالاتی را به وجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می نماید. بنابراین رشته های الیاف به طور فعال در محدود کردن عرض ترک وارد عمل شده و با تشکیل ریز ترک های زیاد قابلیت بهره برداری بتن را افزایش می دهند [۳]. از اهم متغیرهایی که بر خواص بتن با الیاف فولادی اثر می گذراند، می توان به خواص ماتریس بتن، بازدهی الیاف و مقدار الیاف اشاره کرد.

از سویی دیگر، استفاده از سنگدانه های با چگالی بالا، منجر به تولید نوعی بتن ویژه می شود که با عنوان بتن سنگین شناخته می شود. بر اساس تعریف موسسه ی ACI آمریکا، بتن سنگین بتنی است که اساساً دارای وزن مخصوص بزرگتری نسبت به بتن های ساخته شده با سنگدانه های معمولی می باشد، و معمولاً با استفاده از سنگدانه های سنگین تهیه شده و به طور ویژه به عنوان سپر محافظ در مقابل تشعشع به کار می رود [۴]. هر چند که سپرهای محافظ در مقابل تشعشع، کاربرد اصلی بتن های سنگین هستند، لیکن در ساخت وزنه های تعادلی (بتن های وزنی) و یا در مواردی که نیاز به افزایش بار مرده ی سازه، بدون افزایش حجم هستیم، نیز مورد استفاده می باشند. علاوه بر آن به دلیل مقاومت ضربه ای مناسبی که این بتن ها دارند، در مواردی نظیر پناهگاه ها که مقاومت ضربه ای بالایی در برابر ضربات ناشی از انفجار نیاز می باشد از بتن های سنگین استفاده می شود [۵]. همچنین تحقیقات نشان داده است که با افزایش وزن مخصوص بتن مقاومت سایشی آن نیز افزایش می یابد. بنابراین در صورت یکسان بودن سایر شرایط، بتن سنگین در مقایسه با بتن معمولی، عملکرد بهتری را در مقابل سایش دارا می باشد [۶]. بتن سنگین نیز مشابه بتن معمولی از نظر مقاومت های کششی و فشاری تقریباً مشابه هم می باشند. این موضوع در مواردی که مقاومت و شکل پذیری بالاتری از بتن سنگین مورد انتظار می باشد، تمهیدات خاصی را در تولید بتن مورد نظر می طلبد. با توجه به نحوه تاثیر الیاف فولادی در بتن، در این مقاله به تاثیر درصد های مختلف الیاف فولادی بر خواص مکانیکی بتن ساخته شده از سنگدانه های سنگین پرداخته شده است.

۲- مشخصات مواد و مصالح مصرفی

• سیمان

سیمان استفاده شده در این تحقیق، سیمان پرتلند نوع ۲ کارخانه سیمان شاهرود بوده که دارای مشخصات فیزیکی و شیمیایی مندرج در جداول ۱ و ۲ می باشد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی سیمان مصرفی

| ردیف | مشخصه فیزیکی | واحد | مقدار میانگین | |
|------|--------------|----------------------|--------------------|------|
| ۱ | نرمی (بلین) | cm ² /gr | ۳۳۰۹ | |
| ۲ | انبساط | درصد | ۰,۰۳۹ | |
| ۳ | الف | زمان گیرش اولیه | دقیقه | ۱۴۰ |
| | ب | زمان گیرش نهایی | ساعت | ۳:۳۰ |
| ۴ | الف | مقاومت فشاری ۷ روزه | kg/cm ² | ۳۷۲ |
| | ب | مقاومت فشاری ۲۸ روزه | kg/cm ² | ۴۶۹ |

جدول ۲- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

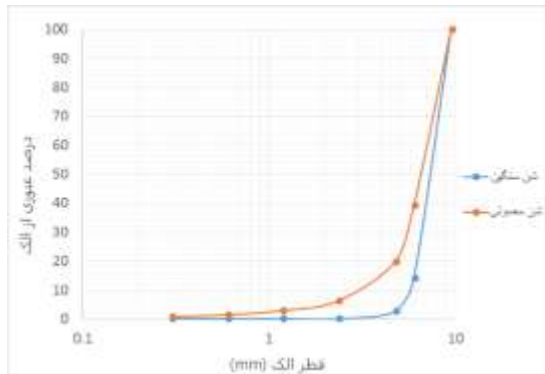
| ردیف | ترکیبات | میانگین (%) | ردیف | ترکیبات | میانگین (%) |
|------|--------------------------------|-------------|------|-------------------|-------------|
| ۱ | SiO ₂ | ۲۱,۲۰ | ۵ | MgO | ۱,۵۲ |
| ۲ | Al ₂ O ₃ | ۴,۴۸ | ۶ | SO ₃ | ۲,۵ |
| ۳ | Fe ₂ O ₃ | ۳,۹۶ | ۷ | K ₂ O | ۰,۵۱ |
| ۴ | CaO | ۶۳,۳۶ | ۸ | Na ₂ O | ۰,۳۷ |

• سنگدانه ها

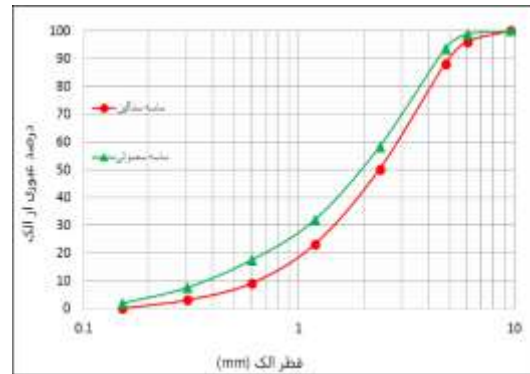
در این تحقیق از دو نوع سنگدانه شامل سنگدانه های با چگالی بالای مگنتیت (Fe₃O₄) و سنگدانه های معمولی و هر یک نیز شامل ریز دانه (ماسه) و درشت دانه (شن) استفاده شده است. با توجه به نوع قالب های مورد استفاده سنگدانه های با ابعاد حداکثر ۱۰ میلی متر تهیه شده است. جهت سنگدانه های معمولی از سنگدانه های معادن شرق سمنان و جهت سنگدانه های سنگین از سنگدانه های مگنتیت شمال شرق سمنان استفاده شده که مشخصات آن ها مطابق جدول ۳ می باشد. همچنین منحنی دانه بندی هر یک از سنگدانه های معمولی و سنگین تهیه گردید که مطابق اشکال ۱ و ۲ ارائه شده است. سعی گردید با الک کردن سنگدانه ها دانه بندی آن ها تقریباً یکسان باشد.

جدول ۳- مشخصات فیزیکی مصالح سنگی مصرفی

| درصد جذب (%) | مدول نرمی | چگالی نسبی SSD | وزن مخصوص ظاهری (kg/m ³) | شکل ظاهری | مشخصات نوع |
|--------------|-----------|----------------|--------------------------------------|-----------------|-------------|
| ۱,۵ | - | ۴,۱۸ | ۲۴۰۰ | نسبتاً تیز گوشه | شن سنگین |
| ۲,۳ | ۳ | ۳,۷۷ | ۲۷۴۰ | نسبتاً تیز گوشه | ماسه سنگین |
| ۱,۳ | - | ۲,۶۷ | ۱۵۹۰ | نسبتاً تیز گوشه | شن معمولی |
| ۲,۲ | ۳ | ۲,۴۵ | ۱۷۷۰ | نسبتاً تیز گوشه | ماسه معمولی |



شکل ۲- منحنی دانه بندی شن معمولی و سنگین



شکل ۱- منحنی دانه بندی ماسه معمولی و سنگین

• الیاف فولادی

الیاف فولادی که در این تحقیق استفاده گردید از شرکت DUROCEM ایتالیا، نمایندگی ایران تهیه شد که مشخصات آن در جدول ۴ ارائه شده است. شکل ظاهری الیاف فولادی مورد استفاده، مطابق شکل ۳ می باشد.



شکل ۳-الیاف فولادی مورد استفاده

جدول ۴-مشخصات فنی و مکانیکی الیاف فولادی

| d (mm) | L (mm) | Material | Elongation (%) | L/d | Type | مقاومت کششی (MPa) |
|--------|--------|----------|----------------|------|--------|-------------------|
| ۰٫۸ | ۳۰ | Steel | ۱٫۳ | ۳۷٫۵ | Hooked | ۸۰۰ |

• آب

از آب شرب شهری به عنوان آب مورد استفاده در انجام آزمایش های این تحقیق استفاده شده است.

۳- طرح مخلوط بتن

با توجه به متغیرهای موجود در این تحقیق که شامل سنگدانه ها و الیاف می باشند دو نوع طرح مخلوط بر اساس مقدار سنگدانه ها طرح ریزی گردید. این طرح های مخلوط شامل سنگدانه های کاملاً معمولی با علامت N1 و مخلوط ۵۰٪ حجمی سنگدانه سنگین و ۵۰٪ حجمی سنگدانه ی معمولی با علامت NW1 نام گذاری شد. همچنین با توجه به نیاز به بررسی تاثیر درصد های مختلف الیاف فولادی در طرح های مخلوط ، ۳ نوع طرح مخلوط دیگر بر اساس درصد استفاده از

الیاف تعیین شد که با درصد الیاف ۰ (درصدی از حجم کل بتن) با علامت F0، درصد الیاف ۱ با علامت F1 و با درصد الیاف ۲ با علامت F2 مشخص شد. کلیه طرح های مخلوط تعیین شده با نسبت آب به سیمان ۰٫۵۲ ساخته شد. لذا در مجموع ۶ طرح مخلوط طرح ریزی شد. پس از مشخص شدن طرح های مخلوط مقدار مولفه های هر طرح مخلوط بر اساس استاندارد ACI-211-89 تعیین گردید. در جدول ۵ وزن مولفه های مختلف در هر طرح مخلوط درج شده است. کلیه طرح های مخلوط در آزمایشگاه بتن ساخته شد. در ساخت طرح های مخلوط پس از مخلوط نمودن کلیه مولفه ها، در انتها الیاف فولادی در چند مرحله و به تدریج به مخلوط اضافه گردید تا از انباشت و توده شدن الیاف در بتن جلوگیری شود.

جدول ۵- وزن مولفه های مختلف در هر طرح مخلوط

| ردیف | نام اختصاری | آب اولیه (kg) | آب نهایی (kg) | سیمان (kg) | ماسه (kg) | | شن (kg) | | | |
|------|-------------|---------------|---------------|------------|-----------|-------|---------|-------|-------------------|----|
| | | | | | معمولی | سنگین | معمولی | سنگین | الیاف فولادی (kg) | ۱% |
| ۱ | N1 | ۲۱۶ | ۲۴۵ | ۴۱۵ | ۸۸۲ | ۰ | ۷۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲ | NW1 | ۲۱۶ | ۲۵۴ | ۴۱۵ | ۴۴۷ | ۶۸۸ | ۳۵۰ | ۵۲۸ | ۰ | ۰ |
| ۳ | N1F1 | ۲۱۶ | ۲۴۴ | ۴۱۵ | ۸۵۸ | ۰ | ۷۰۰ | ۰ | ۷۹ | ۰ |
| ۴ | NW1F1 | ۲۱۶ | ۲۵۳ | ۴۱۵ | ۴۳۵ | ۶۶۹ | ۳۵۰ | ۵۲۸ | ۷۹ | ۰ |
| ۵ | N1F2 | ۲۱۶ | ۲۴۳ | ۴۱۵ | ۸۳۳ | ۰ | ۷۰۰ | ۰ | ۱۵۷ | ۰ |
| ۶ | NW1F2 | ۲۱۶ | ۲۵۳ | ۴۱۵ | ۴۲۲ | ۶۵۰ | ۳۵۰ | ۵۲۸ | ۱۵۷ | ۰ |

۴- مشخصات نمونه ها و نحوه عمل آوری

جهت انجام آزمایش های این تحقیق از قالب های مکعبی ۱۰*۱۰*۱۰ و قالب های استوانه ای ۲۰*۱۰ استفاده شد. ۵ نمونه مکعبی جهت انجام آزمایش ها فشاری (۲ نمونه جهت آزمایش مقاومت ۷ روزه و ۳ نمونه جهت آزمایش مقاومت ۲۸ روزه) و ۶ نمونه استوانه ای جهت انجام آزمایش ها فشاری و برزلی ۲۸ روزه (۳ نمونه جهت آزمایش برزلی و ۳ نمونه جهت آزمایش فشاری) برای هر طرح مخلوط برنامه ریزی شد که بر اساس آن ۶۶ نمونه شامل ۳۰ نمونه مکعبی و ۳۶ نمونه استوانه ای ساخته شد. تمامی نمونه ها در شرایط محیطی آزمایشگاه و به مدت حداکثر ۲۸ روز نگهداری شد.

۵- نحوه و نتایج انجام آزمایش ها

۵-۱- آزمایش ها فشاری

پس از انجام آزمایش های فشاری، تاثیر متغیرهای مختلف شامل میزان سنگدانه ها و مقدار الیاف در مقاومت فشاری نمونه ها با مشاهده نمونه ها بعد از آزمایش ها و نتایج آن ها بررسی شد. شکل ۴ نمونه های آزمایش شده فشاری بعد از پایان آزمایش ها را نشان می دهد و تفاوت نوع شکست در نمونه های بتنی با شن و ماسه معمولی و شن و ماسه سنگین در دو حالت با و بدون الیاف را نشان می دهد. مقاومت فشاری نمونه ها که حاصل تقسیم نیروی فشاری ماکزیمم به سطح مقطع مکعب می باشد بر اساس نوع سنگدانه ها در شکل ۵ و مقاومت فشاری بر اساس میزان الیاف در شکل ۶ مقایسه شده است.



ب- NW1



الف- N1



د- NW1F1



ج- N1F1



و- NW1F2



ه- N1F2

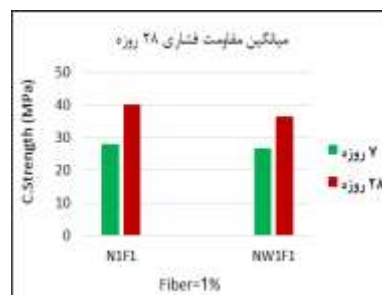
شکل ۴- مشاهده نحوه ی شکست نمونه های مکعبی فشاری

مقایسه نتایج مقاومت فشاری نمونه های ۷ و ۲۸ روزه در اشکال ۵ و ۶ در حالات مختلف با انواع سنگدانه های معمولی و سنگین در ترکیب با دو حالت ۱ و ۲٪ الیاف نشان داد که میزان نسبت افزایش مقاومت نمونه های ۷ روزه به

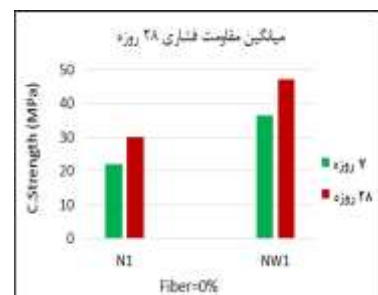
نمونه های ۲۸ روزه ی نظیر برای درصد الیاف و نوع سنگدانه ها تقریبا یکسان می باشد. به عبارت دیگر کسب مقاومت در سنین بالاتر ارتباط محسوسی به نوع سنگدانه و درصد الیاف بستگی ندارد. همانطور که مشاهده می شود مقاومت فشاری نمونه های بدون الیاف شامل ۵۰٪ سنگدانه سنگین دارای بیش از ۵۰٪ افزایش یافته ولی نمونه های الیافی دارای اختلاف جزئی با نمونه های بدون الیاف می باشند.



ج-الیاف ۲ درصد



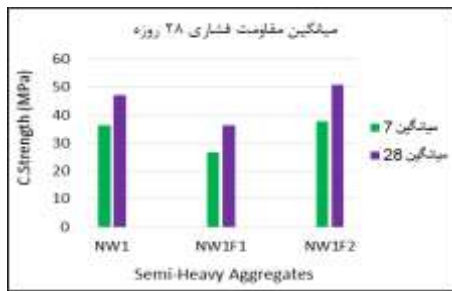
ب- الیاف ۱ درصد



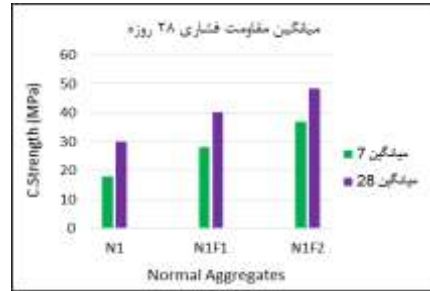
الف- بدون الیاف

شکل ۵-مقاومت فشاری نمونه ها بر اساس نوع سنگدانه ها

نسبت مقاومت ۲۸ روزه مکعبی به ۷ روزه مکعبی نمونه های مختلف از مقدار ۱,۲۹ تا مقدار ۱,۴۲ متغیر است که به ترتیب مربوط به بتن NW1 و N1F1 می باشد. به عبارت دیگر حداکثر اختلاف نسبت مقاومت ۲۸ روزه به ۷ روزه ۱۰ درصد می باشد که زیاد قابل توجه نمی باشد. مقاومت فشاری نمونه های سنگدانه معمولی با الیاف ۱ و ۲ به ترتیب ۳۳ و ۵۵٪ افزایش یافته ولی مقاومت فشاری نمونه های ترکیب سنگدانه معمولی و سنگین در ۱٪ الیاف دارای ۲۵٪ کاهش ولی در ۲٪ الیاف دارای افزایش حدود ۵٪ می باشد.



ب-سنگدانه های معمولی و سنگین



الف-سنگدانه های معمولی

شکل ۶-مقاومت فشاری نمونه ها بر اساس مقدار الیاف

۵-۲- مقاومت برزیلی (کششی)

پس از انجام آزمایش های برزیلی، تاثیر متغیرهای مختلف شامل میزان سنگدانه ها و مقدار الیاف در مقاومت کششی برزیلی نمونه ها که از رابطه ی ۵-۱ به دست می آید بررسی شد (L, D, P) به ترتیب نیروی ماکزیمم، قطر استوانه و طول استوانه می باشد).



ب- NW1



الف- N1



د- NW1F1



ج- N1F1



و- NW1F2



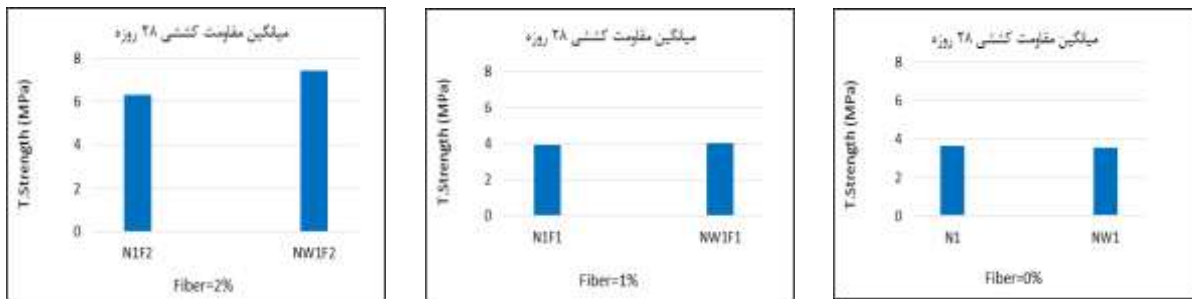
ه- N1F2

شکل ۷- مشاهده نحوه ی شکست نمونه های استوانه ای کششی برزیلی

شکل ۷ نمونه های آزمایش شده ی فشاری بعد از پایان آزمایش ها را نشان می دهد و تفاوت نوع شکست کششی در نمونه های بتنی با شن و ماسه معمولی و شن و ماسه سنگین در دو حالت با و بدون الیاف را نشان می دهد.

$$\sigma_T = \frac{2P}{\pi DL} \quad (۱-۵)$$

مقایسه نتایج مقاومت کششی برزیلی ۲۸ روزه ی نمونه ها در اشکال ۸ و ۹ در حالات مختلف با انواع سنگدانه های معمولی و سنگین در ترکیب با دو حالت ۱ و ۲٪ الیاف نشان داد که با افزایش الیاف فولادی مقاومت کششی نمونه ها نسبت به بتن مرجع افزایش می یابد. رفتار کششی در دو حالت سنگدانه معمولی و ترکیبی تقریباً مشابه و در حالت ۲٪ افزایش نشان داده است. اختلاف فابل توجهی بین بتن الیافی و غیر الیافی بخصوص در ترکیب ۲٪ وجود دارد و افزایش حداکثر ۱۰۴٪ مربوط به بتن با سنگدانه ترکیبی NW1 با الیاف ۲ درصد مشاهده شد.

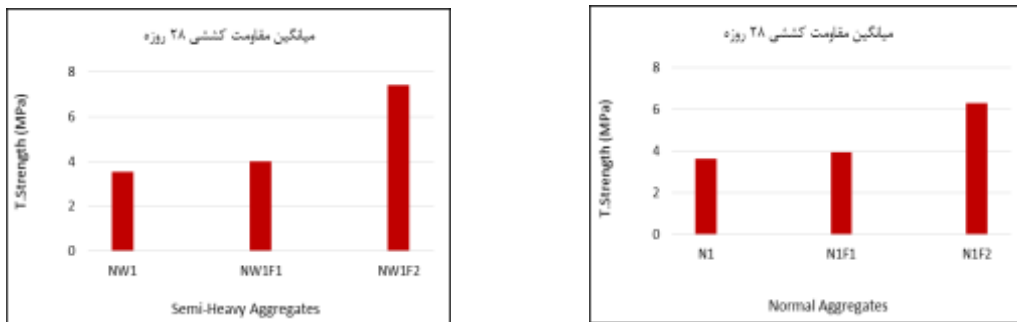


ج- الیاف ۲ درصد

ب- الیاف ۱ درصد

الف- بدون الیاف

شکل ۸- مقاومت کششی برزیلی نمونه ها بر اساس نوع سنگدانه ها



ب-سنگدانه های معمولی و سنگین

الف-سنگدانه های معمولی

شکل ۹- مقاومت کششی برزیلی نمونه ها بر اساس مقدار الیاف

۶-نتیجه گیری

پس از انجام آزمایش های فشاری و کششی برزیلی کلیه نمونه های حاوی سنگدانه های معمولی و ترکیبی با سنگدانه های سنگین و ترکیب با انواع درصد های الیاف فولادی، موارد ذیل قابل استنتاج می باشد:

- مقاومت فشاری ۲۸ روزه ی طرح مخلوط NW1 (سنگدانه های با ۵۰٪ سنگدانه معمولی و ۵۰ درصد سنگدانه سنگین) بیش از طرح مخلوط با سنگدانه های معمولی است که حداکثر آن با نسبت آب به سیمان ۰/۵۲ و درصد

الیاف ۲ درصد به میزان ۶۷ درصد افزایش مقاومت نسبت به بتن مرجع را نشان می دهد.

- با افزایش میزان درصد الیاف، مقاومت فشاری نمونه ها افزایش می یابد و این مقاومت در درصد الیاف ۲٪ به ماکزیمم مقدار خود می رسد. همچنین درصد افزایش مقاومت نمونه از ۷ روزه به ۲۸ روزه تقریباً در تمامی نمونه ها یکسان می باشد.
- افزایش مقدار درصد الیاف فولادی در مخلوط بتن، باعث افزایش مقاومت کششی بتن می شود که بیشترین افزایش مقاومت ها در بتن با الیاف ۲٪، به میزان حداکثر ۱۰۴٪ افزایش مقاومت نسبت به بتن مرجع را نشان می دهد.
- همانند مقاومت فشاری بتن، بیشترین مقدار مقاومت کششی مربوط به طرح مخلوط NW با ۵۰٪ سنگدانه معمولی و ۵۰٪ سنگدانه سنگین می باشد.

۷-مراجع

- 1- ACI544.1 R96 , "State of The Art Report on The Fiber Reinforced Concrete.
- 2- Bhikshma, V., Ravande, K., Nitturkar, K., (2005). "Mechanical properties of fiber reinforced high strength concrete", Recent advances in concrete and construction, Chennai, pp 23-33.
- 3- Permalatha, J., Govindraj, V., (2003). "Experimental studies on fiber reinforced concrete" proceeding of the INCONTEST 2003, Coimbatore, 10-12 sept 2003, pp 462-468.
- 4- Ristinah, S., (2011). "Evaluation of the Characteristic of Heavyweight Concrete using Steel Slag Aggregates for Radiation Shielding". Journal of Applied Environmental and Biological Sciences. Brawijaya, Indonesia.
- 5- Elkobbah, K., (2009). " Behavior of Heavy Weight Concrete under Impact Effect". 13th International Conference on AEROSPACE SCIENCES & AVIATION TECHNOLOGY. Cairo, Egypt.
- 6- Osmay, Y., (2002). Physical and mechanic characteristics of heavyweight concrete produced using barite. University of Süleyman Demirel, Master Thesis, (in Turkish).

Abstract

Heavy concretes produced with heavy and high density aggregates, such as magnetite, in particular are used as a protective shield against all kinds of radiation. But this type of concrete is also used for weight concrete construction, counterweights, or items that need to raise the dead load of the structure without increasing the volume too. In addition, the mechanical properties of concrete can be improved by using steel fibers. In this paper, 66 cubic and cylindrical specimens from six mixes containing normal and cobined heavy magnetite and normal aggregates with 50% volume and the percentage of 0, 1, and 2 steel fibers and with water-cement ratio 0.52 was produced. All specimens were tested under compressive and tensile brasilian test in age of 7 and 28 days. The results showed that heavy agrreagate weight concrete with 2% steel fibers has better mechanical properties than ordinary concrete.

Key words: Heavy weight concrete, Compressive strength, Tensile strength, Steel fiber