

## بررسی آزمایشگاهی خصوصیات فیزیکی و رفتار مکانیکی بتن‌های حاوی نانو ذرات اکسید تنگستن در پوشش تقویتی تیرهای بتنی

علیرضا مرتضایی \*

دانشیار، مرکز تحقیقات ژئوتکنیک لرزه‌ای و بتن توانمند، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.  
آرزو طحان

استادیار، گروه مهندسی شیمی، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.

سیدامیر تهامی

کارشناس ارشد مهندسی زلزله، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.

مهدی گلپایگانی

کارشناس ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.

### چکیده

در پژوهش حاضر رفتار بتن‌های درشت‌دانه و ریزدانه (بتن اولیه و ملات بتنی) حاوی نانواکسید تنگستن و نیز عملکرد تیرهای ترمیم شده با ملات بتنی حاوی نانواکسید تنگستن مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از دو نوع طرح شامل بتن اولیه و ملات بتنی حاوی ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ درصد وزنی سیمان استفاده گردید و آزمایش‌های مقاومت‌های فشاری و کششی ۳، ۷، ۲۸ و ۶۳ روزه بر روی بتن اولیه و ۱، ۳، ۷ و ۲۸ روزه بر روی ملات بتنی انجام شد. در این پژوهش حدود ۱۳۰ نمونه استوانه‌ای، ۱۱۵ نمونه مکعبی و ۸۵ عدد تیر خمشی ساده و ترمیم شده (تیر مرکب) ساخته شد. نتایج نشان داد که با افزایش حضور نانوذرات در بتن اولیه و ملات بتنی، مقاومت فشاری، کششی و خمشی نسبت به نمونه شاهد روند صعودی داشته و در مورد تیرهای ترمیم شده، نمونه‌های با سطح زبر دارای مقاومت خمشی بیشتری نسبت به نمونه‌های با سطح صاف می‌باشند. در مورد تیرهای ترمیم شده با ملات بتنی در بیشتر موارد نمونه‌های با سطح زبر دارای مقاومت خمشی بیشتری نسبت به نمونه‌های با سطح صاف بوده و در ضمن بیشترین مقاومت خمشی به مقدار ۴/۹ مگاپاسکال برای حالت صاف و مقدار ۵/۲ مگاپاسکال برای حالت زبر مربوط به نمونه حاوی ۲/۵ درصد نانواکسید تنگستن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نانواکسید تنگستن، پوشش تقویتی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی.

\* نویسنده مسئول: a.mortezaei@semnaniau.ac.ir

## ۱- مقدمه

کم مقدار لزجت بالا بوده و با افزایش برش مقدار لزجت به یک مقدار ثابت می‌رسد. همچنین در برش‌های کم اثر فراصوت تعیین کننده بوده ولی در برش‌های بالا توده‌های CNT خود به خود با برش از هم جدا شده و نیازی به اثر فراصوت نیست.

در سال ۲۰۱۱، نظری و ریاحی [۵] در تحقیقات خود از سیمان پرتلند معمولی و نانوذرات سیلیسیم به مقدار ۱ تا ۵ درصد وزنی سیمان افزوده شده، با میانگین قطر ۱۵ نانومتر و معیار بلین  $45 \text{ m}^2/\text{gr}$  به همراه دانه‌های سنگ آهک خرد شده و دو نوع ماسه برای ساخت نمونه‌ها استفاده کردند. نتایج نشان دادند مقاومت و نفوذپذیری همه نمونه‌ها در حضور نانوذرات سیلیسیم بهبود می‌یابد. از طرفی، هنگامی که نانوذرات بیش از ۴٪ وزنی سیمان به نمونه‌ها افزوده شد، اثر مثبت آن کاهش یافت.

در سال ۲۰۱۱ لطیفی و همکاران [۶] ویژگی‌های ملات‌های سیمانی حاوی ذرات نانوسیلیس را مطالعه کردند. در این پژوهش نمونه‌های حاوی نانوذرات سیلیس به مقدار ۳٪ و ۱۰٪ وزنی سیمان افزوده شد و با نمونه بدون نانوذرات مقایسه گردید. نتایج نشان دادند که ذرات نانو اثرات متفاوتی روی درجه غلظت و زمان گیرایی بتن دارند؛ به گونه‌ای که نانوذرات ملات سیمان را غلیظ‌تر کرده و به روند هیدراسیون شتاب می‌دهند. همچنین در شرایطی که نانوذرات به درستی توزیع شوند، با بهبود ساختار ملات و سرعت دادن به واکنش هیدراسیون، مقاومت‌های فشاری و خمشی نمونه‌ها افزایش می‌یابد.

سahین و همکاران [۷] در پژوهشی اثر منفرد، دوتایی و سه‌تایی سه پودر نانواندازه از اکسیدهای اصلی سیمان یعنی  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{SiO}_2$  را روی مقاومت فشاری و نفوذپذیری مویینگی ملات‌های سیمانی حاوی فوم سیلیکا بررسی کردند. نسبت آب به سیمان همه ۲۲ گروه ملات تولید شده ۰/۴، نسبت سیمان به ماسه ۱ به ۳ و مقدار وزنی فوم سیلیکا ۵٪ مقدار وزنی سیمان بود و نمونه‌ها در آب آهک عمل‌آوری شدند. نتایج نشان دادند که ملات‌های حاوی ۲/۵٪ نانوسیلیس مقادیر کمتری را نسبت به نمونه‌های با درصد کمتر نانوسیلیس نشان می‌دهد. نتایج آزمایش نفوذپذیری مویینگی نشان داد که نمونه حاوی ۲/۵٪ نانوذرات سیلیس باعث افزایش جذب آب می‌شود؛ و نمونه حاوی ۱/۲۵٪ نانوذرات آلومینیوم، کمترین میزان جذب آب را دارا است.

به منظور حصول یک ساختار منسجم در بهسازی اجزای بتنی لازم است که خصوصیات بتن اولیه و ماده ترمیم‌کننده هماهنگ باشند. این عامل تا حدودی تضمین می‌نماید که ماده ترمیم‌کننده بتواند تمام نیروها و تنش‌های ناشی از تغییر حجم، مانند جمع‌شدگی نسبی و یا انبساط در محیط‌های خاص، را در بازه‌ای از زمان بدون تخریب تحمل نماید. دوام یک ترکیب تنها تابعی از خصوصیات مصالح به کار رفته برای ترمیم نیست بلکه پاسخ کل سازه به بارهای وارد شده و شرایط فیزیکی سازه نیز در دوام ترمیم مؤثر هستند. یک ترمیم خوب، کارایی سازه بتنی را افزایش داده و عملکرد آنرا بهبود می‌بخشد. از سوی دیگر، ترمیم ضعیف پس از زمان کوتاهی تخریب شده و باعث صدمه دیدن بتن‌های مجاور نیز می‌شود. انتخاب ماده مناسب برای ترمیم بتن آسیب‌دیده به ویژگی‌های مواد و همچنین رفتار مقطع مرکب تحت شرایط پیش‌بینی شده بستگی دارد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که ناهمخوانی در خصوصیات مصالح از قبیل مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، سختی، ضریب پواسون، ضریب خزش و جمع‌شدگی بر دوام بتن ترمیم‌شده تأثیر می‌گذارند. این ناهمخوانی ممکن است سبب ایجاد کرنش کششی اولیه و یا ترک در عضو بتنی ترمیم‌شده گردد. همچنین ممکن است به جداسدگی در سطح بین بتن اولیه و بتن ترمیم شده بیانجامد. هر دوی این موارد، اعم از ترک خوردگی و جداسدگی، از ظرفیت باربری و دوام سازه بتنی می‌کاهند. بنابراین انتخاب ماده مناسب برای ترمیم بتن مطلبی قابل بحث و تامل است [۱]. فناوری نانوذرات، پژوهشگران را یک قدم به داشتن مصالحی که ویژگی‌های مورد نظر را داشته باشند، نزدیک‌تر و به مهندسان کمک نمود تا با استفاده از این فناوری، درک بهتری در بهبود خواص فیزیکی، مکانیکی و سازگاری بین بتن اولیه و ملات بتنی ترمیم‌شده داشته باشند [۲ و ۳].

کنستگوتوس و همکاران [۴] با توزیع مناسب نانوتیوب کربنی چندجداره با طول‌های مختلف (با استفاده از انرژی فراصوت و با استفاده از مواد فعال در سطح) اثر این مصالح را روی میکرو ساختار بتن مطالعه کردند. برای تولید نمونه‌ها از سیمان پرتلند معمولی و نانوتیوب‌هایی با طول‌های مختلف استفاده کردید. طول نانوتیوب‌های بلند بین ۱۰-۱۶۰ میکرومتر و طول نانوتیوب‌های کوتاه حدود ۳۰-۱۰ میکرومتر بود. نتایج نشان داد که در برش‌های

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

### ۱-۲- مصالح و طرح های اختلاط

در این پژوهش برای طرح مخلوط های بتنی (بتن اولیه و ملات بتنی) از روش حجمی آیین نامه ACI-211 [۱۱] و مراجع معتبر استفاده شده است؛ و با استفاده از روابط و جداول مورد نظر طرح های متعددی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت دو طرح برای دو گروه زیر انتخاب شدند که در جدول های ۱ الی ۴ ارائه شده اند [۱۲]. بر اساس ضوابط طرح ملی اختلاط بتن [۱۳] نسبت آب به سیمان برای بتن درشت دانه ۰/۵ و برای بتن ریزدانه ۰/۴۵ و مقدار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب در هر دو حالت نظر گرفته شد. برای انتخاب دو جزء دیگر یعنی نانو اکسید تنگستن و فوق روان کننده باید از سعی و خطا و پژوهش های پیشین استفاده شود. با توجه به نتایج مقالات مربوط به استفاده از نانو ذرات در بتن [۱۴] درصد بالای نانو ذره باعث کاهش مقاومت در بتن شده که این نتیجه سودمند نخواهد بود لذا از سه درصد انتخابی ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ در این پژوهش استفاده شد. اندازه بزرگ ترین سنگدانه به کار رفته در ساخت این بتن ۹/۵ میلی متر می باشد. اسلامپ در این نوع بتن بین ۷/۵ تا ۱۰ سانتیمتر می باشد.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه استفاده از نانو ذرات در بتن با بررسی رفتارهایی همچون فشار، کشش و خمش صورت گرفته است [۸ - ۱۰]. آنچه که در این پژوهش ها کمتر مورد توجه قرار گرفته سازگاری بین بتن اولیه و ملات بتنی در فرآیند بهسازی و ترمیم اجزای سازه ای است. لذا در این پژوهش علاوه بر تعیین مشخصات مکانیکی فوق، به بررسی اثر این نانو ذرات در سازگاری بین دو سطح (بتن اولیه و ملات بتنی) پرداخته خواهد شد. بدین منظور ساختار مطالعه حاضر شامل مراحل زیر می باشد. در ابتدا جزئیات روش انجام آزمایش ها و استانداردهای مرتبط مورد بررسی گسترده قرار گرفته، آنگاه خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مصالح ترمیم و بتن اولیه حاوی نانو ذرات اکسید تنگستن با درصدهای مختلف تعیین می گردد. در ادامه به کمک آزمایش خمش چهار نقطه ای سازگاری مصالح ترمیمی (ملات بتنی حاوی درصدهای مختلف نانو اکسید تنگستن) و بتن اولیه مورد بررسی قرار گرفته و در پایان رابطه ای جهت همبستگی بین سازگاری و خصوصیات مصالح ترمیمی ارائه می گردد.

جدول ۱- نسبت های اختلاط بتن اولیه  $kg/m^3$

نام طرح	ماسه	شن	سیمان	آب
CC-1	۹۱۱/۵۱	۷۴۴/۱۲	۴۵۵	۲۲۵
WO <sub>0.5</sub> -1	۹۱۱/۵۱	۷۴۴/۱۲	۴۳۹/۲۳	۲۱۲/۲۵
WO <sub>1.5</sub> -1	۹۱۱/۵۱	۷۴۴/۱۲	۴۳۷/۱۸	۲۰۲/۶۳
WO <sub>2.5</sub> -1	۹۱۱/۵۱	۷۴۴/۱۲	۴۳۳/۷۲	۱۸۹/۱۱

جدول ۲- نسبت های اختلاط بتن اولیه  $kg/m^3$

نام طرح	درصد کاهش آب (%)	فوق روان کننده	درصد استفاده فوق روان کننده (%)	نانو اکسید تنگستن
CC-1	۰	۰	۰	۰
WO <sub>0.5</sub> -1	۳	۱/۱۳	۰/۲۵	۳/۱۷
WO <sub>1.5</sub> -1	۹	۳/۱۵	۰/۷	۶/۸۳
WO <sub>2.5</sub> -1	۱۵	۴/۵	۱	۱۲/۹۳

جدول ۳- نسبت های اختلاط ملات بتنی  $kg/m^3$

نام طرح	ماسه	سیمان	آب
CC-2	۲۰۲/۵	۴۵۵	۲۰۱/۲۵
WO <sub>0.5</sub> -2	۲۰۲/۵	۴۳۹/۲۳	۱۹۳/۲۷
WO <sub>1.5</sub> -2	۲۰۲/۵	۴۳۷/۱۸	۱۸۱/۵۵
WO <sub>2.5</sub> -2	۲۰۲/۵	۴۳۳/۷۲	۱۷۳/۱۸

جدول ۴- نسبت‌های اختلاط ملات بتنی  $\text{kg/m}^3$

نام طرح	درصد کاهش آب (%)	فوق روان کننده	درصد استفاده فوق روان کننده (%)	نانو اکسید تنگستن
CC-2	۱	۰/۹	۰/۲	۰
WO <sub>0.5</sub> -2	۳	۱/۷۶	۰/۳۵	۳/۱۷
WO <sub>1.5</sub> -2	۹	۳/۸۳	۰/۸۵	۶/۸۳
WO <sub>2.5</sub> -2	۱۵	۵/۴	۱/۱۵	۱۲/۹۳



شکل ۲- پایدار کردن ذرات توسط آلتراسونیک

## ۲-۲- آماده‌سازی و روش انجام آزمایش‌ها

مراحل ساخت طرح‌ها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. این نکته به‌ویژه در هنگام استفاده از نانو اکسید تنگستن در ساخت بتن، اهمیتی دوچندان پیدا می‌کند. در هنگام مصرف نانو اکسید تنگستن در بتن، بایستی تلاش نمود که ذرات نانو اکسید تنگستن به‌طور یکنواخت در تمام نمونه پخش شوند، در غیر این صورت استفاده از نانو اکسید تنگستن، تأثیری در ارتقای خواص مکانیکی بتن نخواهد داشت. با توجه به اینکه ذرات نانو به صورت پودر بوده لذا باید قبل از استفاده از آن در بتن آن را به صورت محلول پایدار درآورد که این کار توسط دستگاه آلتراسونیک انجام می‌شود. با توجه به اینکه نانوذرات انتخابی به راحتی داخل آب پایدار نمی‌شوند با توجه به مطالعات پیشین بهترین محلول برای پایدار کردن نانوذرات اکسید تنگستن استفاده از محلول اتانول است [۱۵ و ۱۶]. برای این کار، مقداری معینی آب که از قبل محاسبه شده به همراه مقدار معینی نانوذره و اتانول درون بشر ریخته و توسط دستگاه آلتراسونیک در مدت زمان حداکثر ۳ دقیقه با شدت ۴۰ درصد پایدار می‌شود. شکل‌های ۱ و ۲ مراحل پایدار کردن نانوذرات را نشان می‌دهند.

## ۲-۲-۱- ترکیب مصالح

بعد از ساخت تعداد زیادی نمونه آزمایشی و انجام آزمایشات اسلامپ و روانی، روشی برای ساخت طرح‌های مختلف بتنی، به صورت زیر در نظر گرفته شد. روند ساخت نمونه‌های بتنی در شکل ۳ نشان داده شده است.

• الف: بتن اولیه (درشت‌دانه) و ملات بتنی (ریزدانه) حاوی

نانوذرات اکسید تنگستن

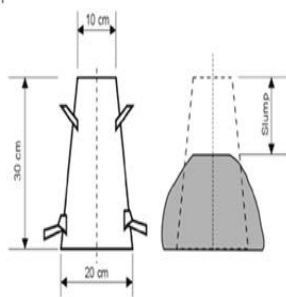
- ۱- قرار دادن مصالح سنگی در مخلوط‌کن و اختلاط به مدت ۲ دقیقه.
- ۲- افزودن سیمان خشک به مخلوط به مدت ۱ دقیقه به منظور به‌دست آمدن یک مخلوط یکنواخت.
- ۳- مخلوط نمودن نانو اکسید تنگستن محلول و ۵۰٪ فوق روان‌کننده با نصف آب و سپس ریختن آن‌ها در مخلوط‌کن و اختلاط به مدت ۳ دقیقه.
- ۴- آرام گذاشتن بتن به مدت ۱ دقیقه به منظور جذب آب در سنگدانه‌ها.
- ۵- مخلوط نمودن ۵۰٪ فوق روان‌کننده با نصف آب باقیمانده و سپس ریختن آن‌ها در مخلوط‌کن و اختلاط به مدت ۳ دقیقه.



شکل ۱- دستگاه آلتراسونیک

● ب: بتن اولیه  
 ۱- قرار دادن مصالح سنگی در مخلوط کن و اختلاط به مدت ۲ دقیقه. ۲- افزودن سیمان خشک به مخلوط به مدت ۱ دقیقه به منظور به دست آمدن یک مخلوط یکنواخت. ۳- افزودن نیمی از آب به ترکیب اولیه و مخلوط کردن آن به مدت ۳ دقیقه. ۴- آرام گذاشتن بتن به مدت ۱ دقیقه به منظور جذب آب در سنگدانه‌ها. ۵- افزودن نیمه دوم آب به ترکیب اولیه و مخلوط نمودن آن به مدت ۳ دقیقه.

● پ. ملات بتنی:  
 ۱- قرار دادن مصالح سنگی در مخلوط کن و اختلاط به مدت ۲ دقیقه. ۲- افزودن سیمان خشک به مخلوط به مدت ۱ دقیقه به منظور به دست آمدن یک مخلوط یکنواخت. ۳- ترکیب نیمی از آب و فوق روان کننده و اضافه نمودن به ترکیب اولیه و مخلوط کردن آن به مدت ۳ دقیقه. ۴- آرام گذاشتن ملات بتنی به مدت ۱ دقیقه به منظور جذب آب در سنگدانه‌ها. ۵- افزودن نیمه دوم آب و فوق روان کننده به ترکیب اولیه و مخلوط نمودن آن به مدت ۳ دقیقه. به این ترتیب هر طرح بتنی در مدت زمان ۱۰ دقیقه ساخته می شود.



شکل ۴- آزمایش اسلامپ

### ۲-۲-۳- آزمایش مقاومت فشاری

مقاومت فشاری بتن اولیه به وسیله نمونه‌های استوانه‌ای بر طبق استاندارد ASTM C 39 [۱۸] اندازه گیری می گردد. برای تهیه نمونه‌های استوانه‌ای از قالب فلزی به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر استفاده گردید. قبل از بتن ریزی سطح داخلی قالب‌ها با لایه نازکی از روغن چرب گردید تا از چسبیدن بتن به قالب جلوگیری به عمل آید. سپس در سه لایه بتن ریخته و هر لایه بتن با حداقل ۲۵ ضربه یک میله فولادی کوبیده می شود. پس از تراکم، بتن اضافی توسط یک خط کش فلزی برداشته شده و سطح رویی نمونه به وسیله ماله پرداخته می گردد. آنگاه نمونه‌های استوانه‌ای به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری می شوند. در پایان این دوره نمونه‌ها را از داخل قالب‌های فلزی بیرون آورده (شکل ۵) و سپس تمامی نمونه‌ها در آبی با دمای ۱۹ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد در سننین مختلف عمل‌آوری می گردد (شکل ۶). بعد از پایان دوره عمل‌آوری، مقاومت فشاری هر طرح اختلاط تعیین می شود.



شکل ۳- مراحل تهیه بتن اولیه شامل: میکسر، مخلوط سنگدانه‌ها، مخلوط سنگدانه‌ها و سیمان و مخلوط نهایی بتن تازه

### ۲-۲-۲- آزمایش اسلامپ

این آزمایش مطابق استاندارد ASTM C 143 [۱۷] با هدف تعیین کارایی بتن انجام شده است. کارایی بتن تازه، تعیین کننده سهولتی است که مخلوط بتن را می توان انتقال داد بدون آنکه



شکل ۶- حوضچه عمل آوری نمونه‌های ساخته شده در محیط آبی

شکل ۷ نحوه ساخت نمونه مکعبی و آزمایش مقاومت فشاری آن را نشان می‌دهد. برای مکعبی با ضلع  $a(mm)$  و سطح مقطع  $A(mm^2)$  که نیروی فشاری  $P(N)$  را تحمل کرده است، مقاومت فشاری برابر  $\sigma(MPa) = \frac{P}{A}$  محاسبه می‌گردد. در جدول ۵ برنامه آزمایش مقاومت فشاری و سایر جزئیات ارائه شده است. در مجموع تعداد ۵۴ نمونه مکعبی به منظور آزمایش مقاومت فشاری ملات بتنی تهیه شده است.

برای استوانه‌ای با قطر  $d(mm)$  و سطح مقطع  $A(mm^2)$  که نیروی فشاری  $P(N)$  را تحمل کرده است، مقاومت فشاری برابر  $\sigma(MPa) = \frac{P}{A}$  محاسبه می‌گردد. در مجموع تعداد ۴۸ نمونه استوانه‌ای به منظور آزمایش مقاومت فشاری بتن اولیه تهیه شده است. مقاومت فشاری مصالح ترمیمی به وسیله مکعب‌های  $150mm \times 150mm \times 150mm$  بر طبق استاندارد ASTM C 109 [۱۹] اندازه‌گیری گردید. روش عمل آوری مانند حالت قبل می‌باشد.



شکل ۵- مراحل ساخت نمونه استوانه‌ای و آزمایش مقاومت فشاری

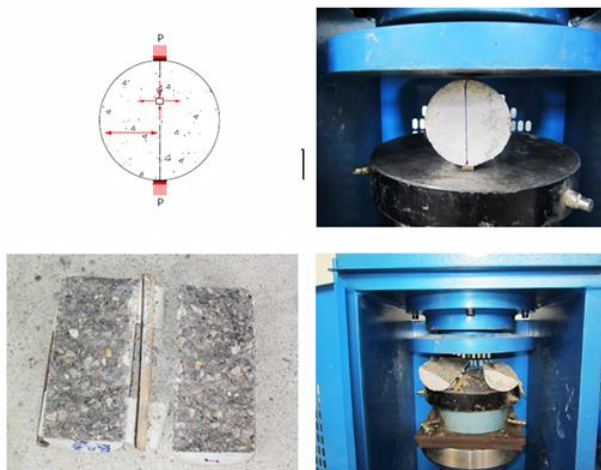


شکل ۷- ساخت نمونه مکعبی و آزمایش مقاومت فشاری شده در محیط آبی

جدول ۵- برنامه انجام آزمایش مقاومت فشاری

نام طرح	نوع قالب	ابعاد (میلی متر)	سن نمونه هنگام آزمایش (روز)	تعداد نمونه ساخته شده	روش عمل آوری
CC-Cy-1	استوانه‌ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸	۳	مرطوب
WO <sub>0.5</sub> -Cy-1	استوانه‌ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸	۳	مرطوب
WO <sub>1.5</sub> -Cy-1	استوانه‌ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸	۳	مرطوب
WO <sub>2.5</sub> -Cy-1	استوانه‌ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸	۳	مرطوب
CC-Cu-2	مکعبی	۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰	۱، ۳، ۷، ۲۸	۴	مرطوب
WO <sub>0.5</sub> -Cu-2	مکعبی	۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰	۱، ۳، ۷، ۲۸	۴	مرطوب
WO <sub>1.5</sub> -Cu-2	مکعبی	۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰	۱، ۳، ۷، ۲۸	۴	مرطوب
WO <sub>2.5</sub> -Cu-2	مکعبی	۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰	۱، ۳، ۷، ۲۸	۴	مرطوب

## ۲-۲-۴- آزمایش مقاومت شکافت



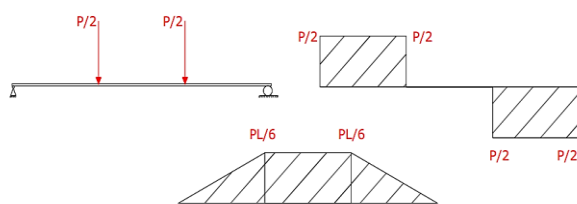
شکل ۸- آزمایش مقاومت شکافت قبل و بعد از آزمایش

آزمایش مقاومت شکافت، آزمایشی به منظور اندازه گیری مقاومت کششی مواد بوده و مطابق استاندارد ASTM C 496 [۲۰]، به وسیله استوانه های  $150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$  اندازه گیری می شود. در این روش، نمونه های استوانه ای مطابق شکل ۸ تحت نیروی فشاری قرار می گیرند. برای استوانه ای با قطر  $d \text{ (mm)}$  و طول  $l \text{ (mm)}$  که نیروی فشاری  $P \text{ (N)}$  را تحمل کرده است، مقاومت کششی برابر  $f_t \text{ (MPa)} = \frac{2P}{\pi ld}$  محاسبه می گردد. برنامه آزمایش مقاومت کششی در جدول ۶ ارائه شده است. در شکل ۸ نمونه استوانه ای در آزمایش کشش برزلی قبل و بعد از آزمایش دیده می شود. در مجموع تعداد ۸۴ استوانه، مورد آزمایش مقاومت کششی به روش آزمایش شکافت قرار گرفتند.

جدول ۶- برنامه انجام آزمایش مقاومت شکافت

نام نمونه	نوع قالب	ابعاد (میلی متر)	سن نمونه هنگام آزمایش (روز)	تعداد نمونه ساخته شده	روش عمل آوری
CC-Cy-1	استوانه ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸، ۶۳	۴	مرطوب
WO <sub>0.5</sub> -Cy-1	استوانه ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸	۳	مرطوب
WO <sub>1.5</sub> -Cy-1	استوانه ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸	۳	مرطوب
WO <sub>2.5</sub> -Cy-1	استوانه ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸	۳	مرطوب
CC-Cy-2	استوانه ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸	۳	مرطوب
WO <sub>0.5</sub> -Cy-2	استوانه ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸	۳	مرطوب
WO <sub>1.5</sub> -Cy-2	استوانه ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸	۳	مرطوب
WO <sub>2.5</sub> -Cy-2	استوانه ای	۱۵۰×۳۰۰	۳، ۷، ۲۸	۳	مرطوب

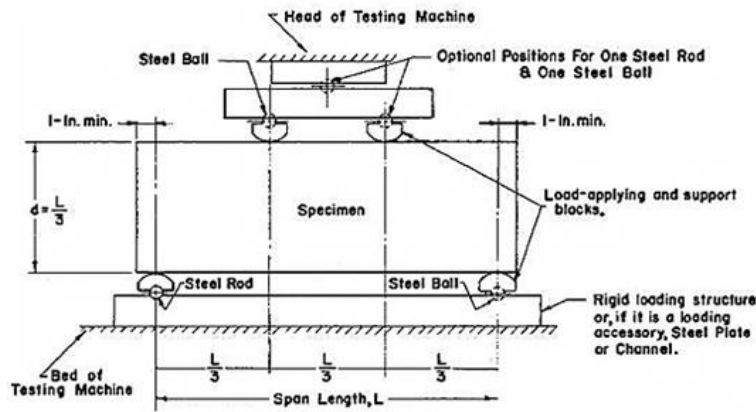
به طول  $L$  که تحت بار  $P$  قرار گرفته است برابر  $PL/bd^2$  می باشد. در رابطه فوق  $b$  عرض تیر و  $d$  عمق تیر می باشد. در شکل ۹، جزئیات دستگاه مناسب برای آزمایش خمشی بتن، پیشنهاد شده توسط ASTM C 78 ملاحظه می شود. در مجموع، تعداد ۲۴ تیر ساده تحت آزمایش خمشی قرار گرفته اند.



شکل ۹- دیاگرام بار گذاری، برش و لنگر

## ۲-۲-۵- آزمایش مقاومت خمشی

مقاومت خمشی ملات بتنی و بتن اولیه به وسیله آزمایش تیر ساده تحت بار دو نقطه ای بر اساس استاندارد ASTM C 78 [۲۱] اندازه گیری می شود. بر طبق این استاندارد، تیرهای مورد آزمایش با عمقی برابر یک سوم طول دهانه ساخته می شوند. بار گذاری از قسمت فوقانی تیر و در دو نقطه که از هر تکیه گاه به اندازه یک سوم دهانه فاصله دارند اعمال می شود. بدین ترتیب در یک سوم میانی دهانه تیر لنگر خمشی یکنواختی به اندازه  $\frac{PL}{6}$  مطابق شکل ۹ ایجاد می شود ( $P$  کل بار اعمال شده به تیر و  $L$  طول دهانه تیر می باشد). بر طبق استاندارد ASTM C 78، مقاومت خمشی تیری



شکل ۱۰- جزئیات دستگاه آزمایش خمشی بتن به وسیله بارگذاری دو نقطه‌ای (ASTM C 78)

جدول ۷- برنامه انجام آزمایش مقاومت خمشی

نام نمونه	ماده تشکیل دهنده	نوع قالب	ابعاد (میلی متر)	سن نمونه هنگام آزمایش (روز)	تعداد نمونه ساخته شده	روش عمل آوری
Beam-CC-1	بتن اولیه	تیری ساده	۱۵۰×۱۵۰×۷۰۰	۲۸، ۶۳	۳	مرطوب
Beam-WO <sub>0.5</sub> -1	نانو اکسید تنگستن	تیری ساده	۱۵۰×۱۵۰×۷۰۰	۲۸	۲	مرطوب
Beam-WO <sub>1.5</sub> -1	نانو اکسید تنگستن	تیری ساده	۱۵۰×۱۵۰×۷۰۰	۲۸	۲	مرطوب
Beam-WO <sub>2.5</sub> -1	نانو اکسید تنگستن	تیری ساده	۱۵۰×۱۵۰×۷۰۰	۲۸	۲	مرطوب
Beam-CC-2	ملات بتنی	تیری ساده	۱۵۰×۱۵۰×۷۰۰	۲۸	۳	مرطوب
Beam-WO <sub>0.5</sub> -2	نانو اکسید تنگستن	تیری ساده	۱۵۰×۱۵۰×۷۰۰	۲۸	۲	مرطوب
Beam-WO <sub>1.5</sub> -2	نانو اکسید تنگستن	تیری ساده	۱۵۰×۱۵۰×۷۰۰	۲۸	۲	مرطوب
Beam-WO <sub>2.5</sub> -2	نانو اکسید تنگستن	تیری ساده	۱۵۰×۱۵۰×۷۰۰	۲۸	۲	مرطوب



شکل ۱۲- مراحل آزمایش مقاومت تیر خمشی ساده

شکل ۱۱- مراحل ساخت نمونه تیر خمشی ساده

۶-۲-۲- آزمایش روانی ملات بتن

آزمایش روانی، آزمایشی به منظور معرفی حالت فیزیکی مخلوط تازه

ملات‌های ریزدانه بوده و تنها برای مصالح ترمیم بر اساس روش پیشنهاد

شده در استاندارد ASTM C 230 [۲۲] اندازه گیری می شود. در این

آزمایش نمونه ملات مورد آزمایش در دو لایه درون قالب دستگاه

مطابق شکل ۱۳ قرار داده شده و پس از ریختن هر لایه توسط میله ۲۰

ضربه زده تا تراکم شود سپس قالب مخروطی شکل را برداشته و نمونه

را به مدت یک دقیقه آزاد گذاشته سپس در مدت ۱۵ ثانیه، ۲۵ بار از



شکل ۱۳- آزمایش روانی توسط میز سیلان



### ۲-۲-۲- آزمایش خمشی چهار نقطه‌ای تیر بتنی ترمیم شده (تیر مرکب)

در جدول ۹، درصد روانی مصالح ترمیم بر اساس روش ارائه شده در استاندارد ASTM C 230 بیان شده است. لازم به ذکر است در این پژوهش از این آزمایش تنها به منظور معرفی حالت فیزیکی ملات تازه استفاده می‌گردد.

برنامه آزمایش مقاومت خمشی برای تعداد ۳۰ تیر مرکب مورد آزمایش قرار گرفته است. ابعاد  $150 \times 150 \times 700$  میلی‌متر می‌باشد. سطح تماس صاف و زبر در نظر گرفته شده است. همچنین روش عمل‌آوری نمونه‌ها مرطوب می‌باشد. شکل ۱۴ نحوه ساخت تیر خمشی مرکب و شکل ۱۵ آزمایش مقاومت تیر خمشی مرکب را نشان می‌دهند.

جدول ۹- نتایج آزمایش روانی ملات بتنی

نام طرح	WO <sub>2.5</sub> -2	WO <sub>1.5</sub> -2	WO <sub>0.5</sub> -2	CC-2
روانی (%)	۶۹	۶۸	۷۱	۷۳



شکل ۱۴- ساخت تیر خمشی مرکب



شکل ۱۵- آزمایش مقاومت تیر خمشی مرکب

### ۳-۳- مقاومت فشاری

شکل‌های ۱۶ الی ۱۸ روند کسب مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی نانوذرات اکسید تنگستن نسبت به نمونه شاهد در سنین مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش حضور نانوذرات اکسید تنگستن در ماتریس بتن مقاومت فشاری در نمونه‌های استوانه‌ای و مکعبی نسبت به نمونه‌های شاهد سیر صعودی داشته است. شکل ۱۹ نشان می‌دهد، نمونه‌های مکعبی مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های استوانه‌ای دارا می‌باشند. در بتن‌های اولیه حاوی نانوذرات اکسید تنگستن بیشترین درصد بهبودی مقاومت فشاری مربوط به مقاومت ۷ روزه می‌باشد و نمونه WO<sub>2.5</sub>-Cy-1 حدود ۴۳ درصد بیشترین درصد بهبودی را نسبت به بتن اولیه دارا می‌باشد. مقاومت نمونه‌های بتنی با افزایش سن از ۳ به ۷ روز با افزایش بهبودی و از ۷ به ۲۸ روز با کاهش درصد بهبودی روبرو شده است. در نمونه‌های ملات بتنی حاوی نانوذرات اکسید تنگستن بیشترین درصد بهبودی مقاومت مربوط به سن ۳ روز بوده و نمونه مکعبی WO<sub>2.5</sub>-Cu-2 حدود ۴۴ درصد بیشترین درصد بهبودی نسبت به ملات بتنی دارا می‌باشد؛ و با افزایش سن از ۱ به ۳ روز افزایش بهبودی و از ۳ به ۲۸ روز با کاهش بهبودی روبرو شده است. نمونه‌های مکعبی در سن ۳ روز درصد بهبودی بیشتری نسبت به نمونه‌های استوانه‌ای داشته و این در سنین ۷ و ۲۸ روز برعکس بوده و نمونه‌های استوانه‌ای درصد بهبودی بیشتری نسبت به نمونه‌های مکعبی دارند.

### ۳- نتایج و تفسیر

#### ۳-۱- اسلامپ بتن اولیه

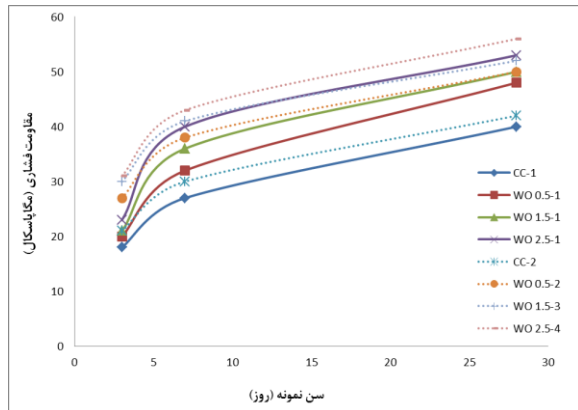
در جدول ۸، اسلامپ بتن اولیه بر اساس روش ارائه شده در استاندارد ASTM C 143 بیان شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اسلامپ نمونه‌ها در محدوده ۷/۵ تا ۱۰ سانتیمتر می‌باشد.

جدول ۸- نتایج آزمایش اسلامپ بتن اولیه

نام طرح	WO <sub>2.5</sub> -1	WO <sub>1.5</sub> -1	WO <sub>0.5</sub> -1	SC-1
اسلامپ (cm)	۱۰	۱۰/۵	۹	۸

### ۳-۴- مقاومت شکافت کششی

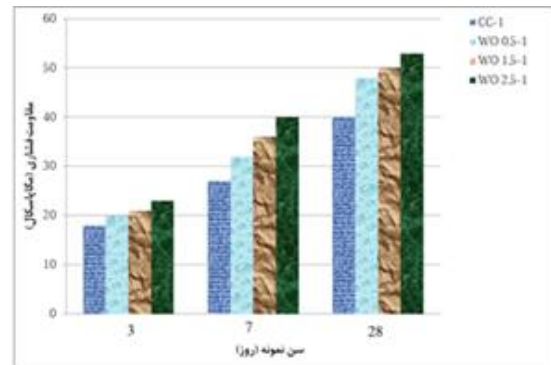
نتایج مقاومت شکافت کششی نشان می‌دهد در بتن‌های اولیه حاوی نانوذرات اکسید تنگستن بیشترین درصد بهبودی مقاومت کششی مربوط به مقاومت ۳ روزه می‌باشد؛ و نمونه ۱-WO<sub>2.5</sub>-Cy حدود ۸۴ درصد بیشترین درصد بهبودی را نسبت به بتن اولیه دارا می‌باشد؛ و مقاومت نمونه‌های بتنی با افزایش سن از ۳ به ۲۸ روز با کاهش بهبودی روبرو شده است.



شکل ۱۹- روند کسب مقاومت فشاری بتن اولیه و ملات بتنی، حاوی درصدهای مختلف نانواکسید تنگستن در سنین مختلف

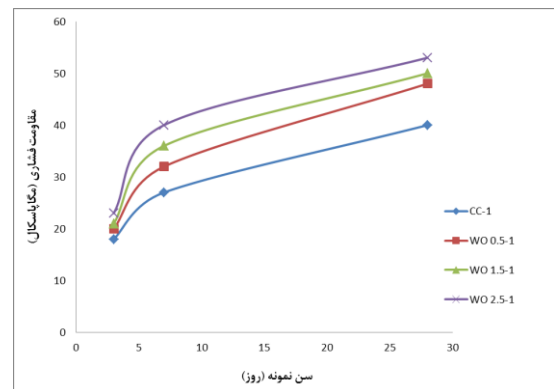
در نمونه‌های ملات بتنی حاوی نانوذرات اکسید تنگستن بیشترین درصد بهبودی مقاومت مربوط به سن ۳ روز بوده و نمونه استوانه‌ای ملات بتنی دارا می‌باشد؛ و با افزایش سن از ۳ به ۲۸ روز با کاهش بهبودی روبرو شده است. نمونه‌های بتن اولیه در تمامی سنین دارای درصد بهبودی بیشتری نسبت به نمونه‌های ملات بتنی می‌باشند.

در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ روند کسب مقاومت کششی آزمایش شکافت نمونه‌های حاوی نانوذرات اکسید تنگستن نسبت به نمونه شاهد در سنین مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش حضور نانوذرات اکسید تنگستن در ماتریس بتن، مقاومت کششی نسبت به نمونه‌های شاهد سیر صعودی داشته است. البته در نمونه استوانه‌ای بتن اولیه حاوی ۲/۵ درصد نانواکسید تنگستن مقاومت کششی کمتری نسبت به نمونه حاوی ۱/۵ درصد نشان می‌دهد. در شکل (۲۲) نشان می‌دهد که نمونه‌های استوانه‌ای بتن اولیه و حاوی نانواکسید تنگستن داری مقاومت به نسبت بیشتری در همه سنین نسبت به نمونه‌های استوانه‌ای ملات بتنی و حاوی نانواکسید تنگستن می‌باشند.



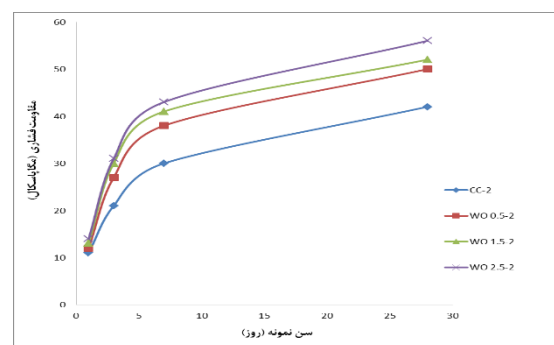
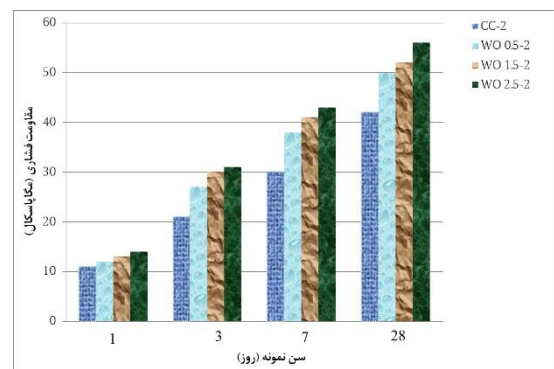
شکل ۱۶- روند کسب مقاومت فشاری بتن اولیه حاوی درصدهای

مختلف نانواکسید تنگستن



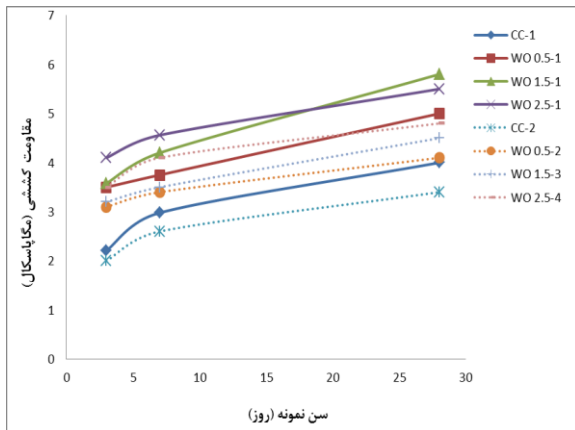
شکل ۱۷- روند کسب مقاومت فشاری بتن اولیه حاوی درصدهای

مختلف نانواکسید تنگستن



شکل ۱۸- روند کسب مقاومت فشاری ملات بتنی حاوی

درصدهای مختلف نانواکسید تنگستن

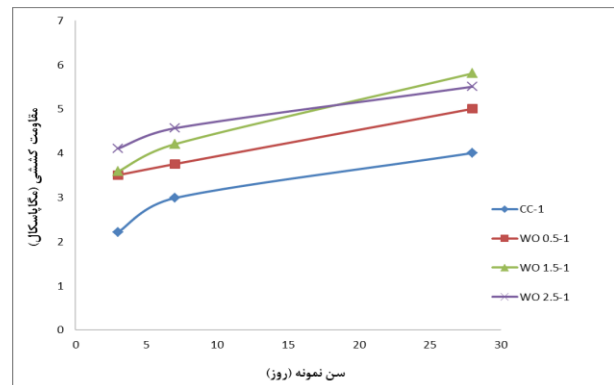
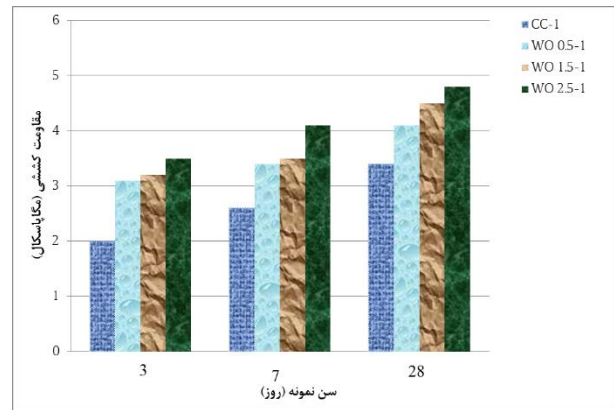


شکل ۲۲- روند کسب مقاومت کششی بتن اولیه و ملات بتنی، حاوی درصدهای مختلف نانواکسید تنگستن در سنین مختلف

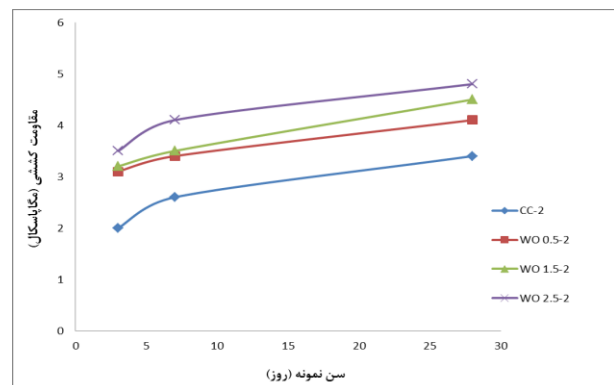
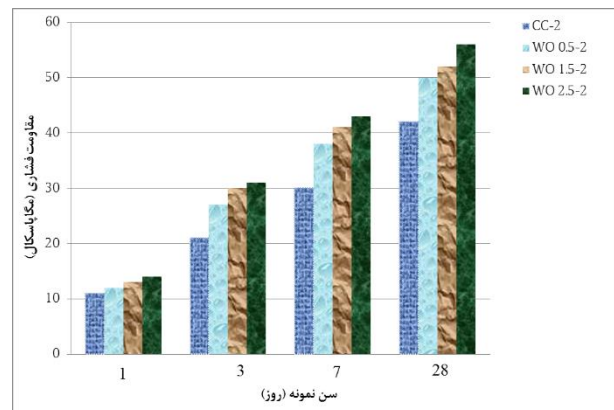
### ۳-۵- مقاومت خمشی

نتایج نشان می دهد در تیرهای بتن اولیه حاوی نانوذرات اکسید تنگستن، نمونه Beam-WO<sub>1.5-1</sub> حدود ۵۹ درصد بیشترین درصد بهبودی را نسبت به بتن اولیه دارا می باشد. این در حالی است که نمونه حاوی ۲/۵ درصد نانواکسید تنگستن به شدت دچار کاهش درصد بهبودی مقاومت خمشی می شوند. در نمونه های ملات بتنی حاوی نانوذرات اکسید تنگستن بیشترین درصد بهبودی مقاومت مربوط به نمونه Beam-WO<sub>2.5-2</sub> حدود ۶۰ درصد بیشترین درصد بهبودی را نسبت به ملات بتنی دارا می باشد. تیرهای بتن اولیه حاوی ۱/۵ و ۰/۵ درصد نانواکسید تنگستن درصد بهبود بیشتری نسبت به نمونه های خمشی ملات بتنی حاوی ۱/۵ و ۰/۵ درصد نانواکسید تنگستن داشته اما این امر در مورد نمونه حاوی ۲/۵ درصد برعکس بوده و نمونه ملات بتنی درصد بهبود خیلی بیشتری نسبت به نمونه خمشی بتن اولیه دارد.

در شکل های ۲۳ و ۲۴ مقاومت خمشی نمونه های حاوی نانوذرات اکسید تنگستن نسبت به نمونه شاهد در سن ۲۸ روز نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود با افزایش حضور نانوذرات اکسید تنگستن در ماتریس بتن اولیه و ملات بتنی، مقاومت خمشی نسبت به نمونه های شاهد سیر صعودی داشته است. البته در نمونه بتن اولیه حاوی ۲/۵ درصد نانواکسید تنگستن مقاومت خمشی کمتری نسبت به نمونه حاوی ۱/۵ درصد نشان می دهد. علت آن را می توان به هم پیوستن ذرات نانواکسید تنگستن ذرات نانواکسید تنگستن و یا پخش نشدن کامل ذرات در ماتریس بتن دانست. در شکل ۲۵ نشان می دهد که نمونه های خمشی بتن اولیه و حاوی نانواکسید تنگستن دارای مقاومت بیشتری نسبت به نمونه های خمشی ملات بتنی و حاوی نانواکسید تنگستن می باشند.



شکل ۲۰- روند کسب مقاومت کششی بتن اولیه حاوی درصدهای مختلف نانواکسید تنگستن در سنین مختلف



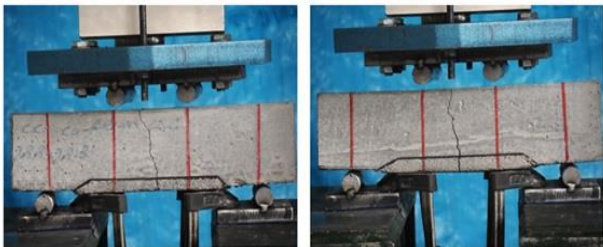
شکل ۲۱- روند کسب مقاومت کششی ملات بتنی حاوی درصدهای مختلف نانواکسید تنگستن در سنین مختلف

شکل ۲۶ محل شکست تیر خمشی و جداشدگی سنگدانه‌ها را نشان می‌دهد. تقریباً در تمامی نمونه‌هایی که برای آزمایش خمش چهار نقطه‌ای مورد بررسی قرار گرفت محل ترک در یک سوم میانی تیر و بین نقاط بارگذاری می‌باشد.



شکل ۲۶- نحوه شکست و جداشدگی سنگدانه‌ها در تیر خمشی ساده

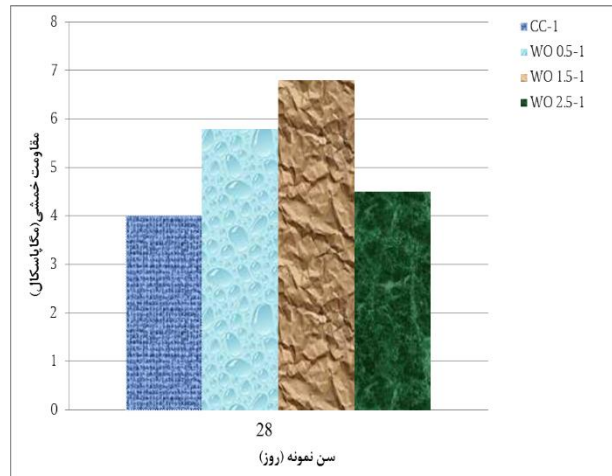
پس از شکستن تیرهای خمشی ترمیم شده (تیر مرکب) نهایتاً سه مود کلی شکست، برای تیرهای مرکب به کار رفته در این پژوهش مشاهده شد که به شرح زیر می‌باشند:  
مود ۱: شکل ۲۷ نشان می‌دهد که شکست در یک سوم میانی دهانه بدون جداشدگی در ماده ترمیم رخ داده است. این حالت شکست که بیشترین فراوانی را در بین نمونه‌های آزمایش شده به خود اختصاص داده، نشان‌دهنده رفتار سازگار دو ماده است.



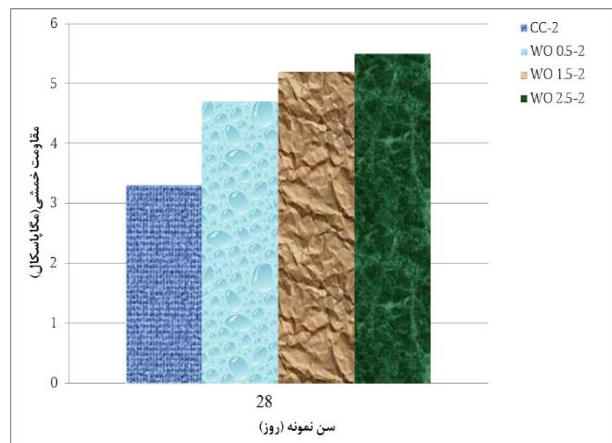
شکل ۲۷- شکست تیر مرکب در وسط دهانه (مود ۱)

مود ۲: شکل ۲۸ نشان می‌دهد که نیمی از ماده ترمیم به‌طور کامل از بتن اولیه جدا شده است. این مود شکست ناسازگار فرض می‌شود.

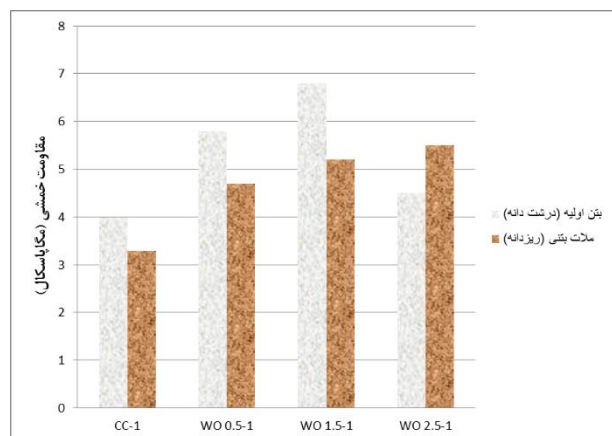
مود ۳: شکل ۲۹ نشان می‌دهد که در این حالت، شکست همراه با جداشدگی از گوشه مواد ترمیم (خارج از یک سوم میانی) می‌باشد. ماده ترمیم در سطح اتصال مایل از بتن اولیه جدا شود. این مود شکست نیز ناسازگار فرض می‌شود.



شکل ۲۳- مقاومت خمشی ۲۸ روزه بتن اولیه حاوی درصد‌های مختلف نانواکسید تنگستن



شکل ۲۴- مقاومت خمشی ۲۸ روزه ملات بتنی حاوی درصد‌های مختلف نانواکسید تنگستن



شکل ۲۵- مقایسه مقاومت خمشی ۲۸ روزه بتن اولیه با ملات بتنی، (حاوی نانواکسید تنگستن با درصد‌های مختلف)

مگاپاسکال مربوط به نمونه حاوی ۲/۵ درصد نانواکسید تنگستن و بیشترین مقاومت خمشی به مقدار ۵/۱ مگاپاسکال مربوط به نمونه حاوی ۲/۵ درصد می باشد.

پ - نمونه های بتن اولیه حاوی نانواکسید تنگستن در سن ۷ روز بیشترین درصد بهبودی مقاومت فشار را کسب کرده، در حالی که نمونه های ملات بتنی در روز سوم بیشترین درصد بهبودی را کسب می کنند. در مورد مقاومت کششی در هر دو مورد بتن اولیه و ملات بتنی حاوی نانواکسید تنگستن بیشترین درصد بهبودی مربوط به سن ۳ روز نمونه ها می باشد.

ت - در مورد تیرهای ترمیم شده با ملات بتنی در بیشتر موارد نمونه های با سطح زبر دارای مقاومت خمشی بیشتری نسبت به نمونه های با سطح صاف بوده و در ضمن بیشترین مقاومت خمشی به مقدار ۵/۱ مگاپاسکال برای حالت صاف و مقدار ۵/۴ مگاپاسکال برای حالت زبر مربوط به نمونه حاوی ۲/۵ درصد نانواکسید تنگستن می باشد.

ث - مود شکست تیرهای ترمیم شده برای سطح صاف عموماً مود دوم، که نیمی از ماده ترمیم به طور کامل از بتن اولیه جدا شده است، حاکم بوده و برای سطح زبر بیشتر مود اول، که شکست در یک سوم میانی دهانه بدون جداشدگی در ماده ترمیم رخ داده است، حاکم بوده است.

ج - در مورد تیرهای ترمیم شده با ملات بتنی، با افزایش نانوذرات اکسید تنگستن در ملات بتنی مقاومت خمشی تیرهای بتنی ترمیم شده افزایش یافته است که بخشی از این افزایش مقاومت خمشی را می توان به افزایش مقاومت کششی و فشاری ملات ترمیمی و بخش دیگر آن را به اثر نانوذرات اکسید تنگستن در محل پیوند بتن اولیه و ملات ترمیمی نسبت داد.

#### ۵- مراجع

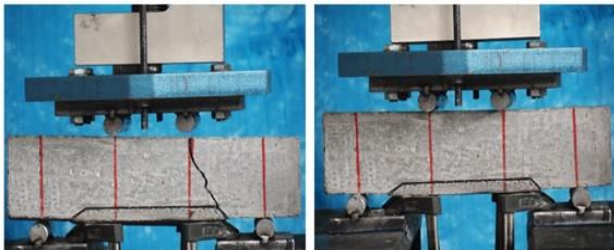
[1]. Pattnaik R.R., "Investigation into compatibility between repair material and substrate concrete using experimental and finite element methods", PhD thesis, Clemson University, (2006).

[۲]. علی صدرممتازی و بهزاد طهمورسی، ارزیابی خواص مکانیکی و دوام کامپوزیت های سیمانی مهندسی (ECC)، نشریه مهندسی عمران مدرس، آذر و دی ۱۳۹۶ شماره ۵.

[۳]. دوستی محمد، اصول نانو تکنولوژی و سیستم های میکرو



شکل ۲۸- شکست تیر مرکب همراه با جداشدگی ماده ترمیم (مود ۲)



شکل ۲۹- شکست تیر مرکب در گوشه مواد ترمیم (مود ۳)

#### ۴- نتیجه گیری

در این کار تحقیقاتی حدود ۱۳۰ نمونه استوانه ای، ۱۱۵ نمونه مکعبی و ۸۵ نمونه تیر خمشی ساده و مرکب ترمیم شده ساخته شد و به منظور شناخت خصوصیات نانوذرات اکسید تنگستن، آزمایشات اسلامپ، روانی، مقاومت فشاری، کششی و خمشی بر روی بتن اولیه و ملات بتنی مطابق با استاندارد ASTM انجام شد.

نتایج حاصل از این آزمایشات به شرح ذیل می باشد:

الف - با افزایش نانواکسید تنگستن به نمونه شاهد، میزان مصرف فوق روان کننده افزایش می یابد که این به دلیل ریز بودن ذرات نانواکسید تنگستن و فعالیت شدید آن ها و تمایل آن ها به جذب آب است که باعث افزایش نیاز به فوق روان کننده می شود.

ب - نمونه های حاوی نانواکسید تنگستن دارای مقاومت فشاری، کششی و خمشی بالاتری نسبت به نمونه های شاهد (بتن اولیه و ملات بتنی) هستند. در مورد بتن اولیه بیشترین مقاومت فشاری به مقدار ۵۳/۲ مگاپاسکال مربوط به نمونه حاوی ۲/۵ درصد نانواکسید تنگستن، بیشترین مقاومت کششی به مقدار ۵/۳ مگاپاسکال مربوط به نمونه حاوی ۱/۵ درصد نانواکسید تنگستن و بیشترین مقاومت خمشی به مقدار ۶/۳ مگاپاسکال مربوط به نمونه حاوی ۱/۵ درصد می باشد و در مورد ملات بتنی بیشترین مقاومت فشاری به مقدار ۵۳/۹ مگاپاسکال مربوط به نمونه حاوی ۲/۵ درصد نانواکسید تنگستن، بیشترین مقاومت کششی به مقدار ۴/۷

MgO-type expansive agent used in cement-based materials", *Cement and Concrete Research*, (2010); 40(3): 437-446.

[16]. Lu, X., Geng, F., Zhang, H. et al. J. "Influence of MgO-type expansive agent hydration behaviors on expansive properties of concrete", *Wuhan Univ. Technol.-Mat. Sci. Edit.* (2011) 26: 344. <https://doi.org/10.1007/s11595-011-0227-z>.

[17]. Standard Test Method for Slump of Cement Concrete, ASTM C 143, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (2003).

[18]. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM C 39/C 39M -03, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (2003).

[19]. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens), ASTM C109 / C109M - 16a, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (2003).

[20]. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM C496-04, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (2004).

[21]. Standard Test Method for Flexural Strength (Using Simple Beam with Third-Point Loading), ASTM C 78-02, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (2002).

[22]. Standard Specification for Flow Table for use in Tests of Hydraulic Cement, ASTM C230-03, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (2002).

الکترومکانیکی، تهران، ایران، نشر موسسه فرهنگی دیباگران، ۱۳۸۶.

[4]. Konsta-Gdoutos M., Shah S.P., Zoi.S.M, "Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials", *Cement and Concrete Research*, (2010); 40(7):1052-1059.

[5]. Nazari A., Riahi Sh., "The effects of SiO<sub>2</sub> nanoparticles on physical and mechanical properties of high strength compacting concrete", *Composites: Part B*, (2011); 42(3): 570-578.

[6]. Latifi M., Guefrech A., Mounanga P., Khelidj A., "Experimental study of the effect of addition of nano-silica on the behaviour of cement mortars", *Procedia Engineering*, (2011);10:900-905.

[7]. Sahin R., Oltulu M., "Single and combined effects of nano-SiO<sub>2</sub>, nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders on compressive strength and capillary permeability of cement mortar containing silica fume", *Materials Science and Engineering A*, (2011); 528 (22-23): 7012-7019.

[8]. Safiuddin, M.D., Gonzalez, M., Cao, J., Tighe, S.L. State-of-the-art report on use of nano-materials in concrete, *International Journal of Pavement Engineering*, Volume 15, 2014 - Issue 10.

[۹]. علی صدرممتازی، رضا کهنی خشکیجاری، امید لطفی،

عمران خواص مهندسی و دوام بتن خود تراکم حاوی ذرات نانو سیلیس با رویکرد دستیابی به درصد‌های بهینه الیاف، نشریه تحقیقات بتن، دوره ۸، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۴، صفحه ۱۹-۳۴.

[10]. Sobhani Kavkani H.R., Mortezaei A., Naghizadeh R. (2016) The effect of metakaolin, silica fume and nanosilica on the mechanical properties and microstructure of cement mortar, *Iranian Journal of Materials Science and Engineering*, 13(2): 50-61.

[11]. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91).

[۱۲]. نویل آدام، جی، بروکس، ترجمه رضانیانپور علی اکبر، شاه نظری محمد رضا، تکنولوژی بتن، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۹.

[۱۳]. روش ملی طرح مخلوط بتن، نشریه شماره ض - ۴۷۹، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ دوم ۱۳۸۸.

[14]. Kawashima, S., Hou, P., Corr, D.J., Shah, S.P. Modification of cement-based materials with nanoparticles, *Cement and Concrete Composites*, Volume 36, 2013, Pages 8-15,

[15]. Deng M., Mo L. and Tang M., "Effects of calcination condition on expansion property of

## **Experimental study of physical characteristics and mechanical behavior of concrete containing Tungsten Oxide (WO<sub>3</sub>) Nanoparticles in RC beam retrofitting**

**Alireza Mortezaei \***

**Associate Professor, Seismic Geotechnical and High Performance Concrete Research Centre, Civil Engineering Department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.**

**Arezoo Tahan**

**Assistant Professor, Chemical Engineering Department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.**

**S. Amir Tahami**

**M.Sc. in Earthquake Engineering, Civil Engineering Department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.**

**Mahdi Golpaygani**

**M.Sc. in Structural Engineering, Civil Engineering Department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran**

### **Abstract**

The present study examines the behavior of concrete coarse-grained and fine-grained (raw concrete and concrete mortar) containing tungsten oxide Nanoparticles as well as the performance of concrete beams repaired with concrete mortar containing tungsten oxide Nanoparticles. For this purpose, two types of designs, including primary concrete and concrete mortar containing 0.5, 1.5 and 2.5 weight percent of cement were used. The compressive and tensile strength tests of 3, 7, 28 and 63 days specimens and 1, 3, 7 and 28 days specimens were carried out on the primary and mortar concrete, respectively. Four-point bending strength tests on the primary concrete by 28 and 63-day duration and concrete mortar was performed on 28 day. For the repair of concrete beams, the contact surface of concrete and concrete mortar were prepared in a smooth and coarse manner and subjected to a four-point bending test in order to evaluate compatibility between the repair materials and the primary concrete. To examine the compressive strength, the cylindrical specimens with dimensions 150mm × 300mm and cube specimens with dimensions 150mm × 150mm × 150 mm were used. For evaluating the tensile strength, cylindrical samples with dimensions 150 × 300mm and simple repairing beams with 150mm × 150mm × 700mm dimensions were utilized. In this study, 130 cylindrical samples, 115 and 85 cubic specimens and repairing beams were constructed. The results showed that with the increasing presence of nanoparticles in raw concrete and mortar, increase compressive strength, flexural tensile, by compared to the control samples and about the repairing beams with rough surface samples have a flexural strength more than the sampler with a smooth surface that part of this increase in flexural strength can be used to increase the compressive and tensile strength of mortar and other restorative effect of tungsten oxide nanoparticles to The link of location between mortar and concrete repair. and about broken mood items in the type of sample with a smooth surface has been dominant second failure (half of the healing substance is completely isolated from the raw concrete) and for sample rough surface in first failure mood has been dominant (failure in the middle of a third span without detachment in the article restoration).

**Keywords:** Tungsten oxide nanoparticles, repair, compressive strength, tensile strength, flexural strength.

---

\* Corresponding Author: a.mortezaei@semnaniau.ac.ir

