



بررسی آزمایشگاهی میزان تاثیر تراکم ملات بر مقاومت فشاری ملات ساخته شده از سیمان پرتلند مرکب

مهران محمدی^{1*}، مصطفی فرهادی قولیانلو²، علی‌چرانلوئی³، عاطفه شاکری⁴

1- عضو هیات علمی دانشگاه بجنورد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بجنورد

2- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بجنورد

3- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بجنورد

4- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بجنورد

خلاصه

سیمان پرتلند مرکب ماده چسباننده هیدرولیکی از خانواده سیمان پرتلند است که بدلیل بالا بودن نرمی سیمان و پرشدن خلل و فرج بین شن و ماسه، فیلر مورد نیاز را تامین نموده و موجب کاهش ترک عمقی و میکرو ترک در سطوح سیمانی شده و از نفوذ آب جلوگیری می نماید. ملات در کارهای ساختمانی کاربرد زیادی دارد، اما همانند بتن به تراکم آن اهمیت داده نمی شود. در این پژوهش 6 طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان یکسان و نسبت ماسه به سیمان متفاوت در دو مرحله بدون تراکم و متراکم شده (بوسیله دستگاه ضربه زن) ساخته شدند. بیش از صد نمونه آزمایشگاهی در عمرهای 7 روزه و 28 روزه بارگذاری شدند. نتایج، میزان تغییرات مقاومت فشاری نمونه های متراکم شده را نسبت به نمونه های متراکم نشده در شرایط مختلف نشان می دهد. همچنین با محاسبه پراکندگی آماری ارقام مقاومت فشاری نمونه ها در هر دو حالت، تاثیر دستگاه تقه زن بر انحراف معیار مقاومت فشاری مشخص شده است.

کلمات کلیدی: مقاومت فشاری، ملات ماسه سیمان، تراکم، سیمان پرتلند مرکب، دستگاه تقه زن ملات

1. مقدمه

آزمون های ارائه شده برای سیمان به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم بندی می شوند و از میان آزمون های فیزیکی سیمان، مقاومت فشاری مهم ترین آزمون است که از طریق آن می توان به خواص فیزیکی و عملکردی سیمان پی برد. امروزه مقاومت فشاری سیمان، به عنوان عامل اصلی قضاوت بر روی سیمان مورد استفاده، در نظر گرفته می شود [1]. متی و سین آزمایش هایی بر روی چندین آزمون ملات به شکل های مکعبی و سیلندری انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که میانگین مقاومت فشاری آزمون های سیلندری 75 میلی متری، در حدود 81 درصد آزمون 50 میلی متری می باشد و مقاومت فشاری آزمون سیلندری کارگاهی در حدود 116 درصد آزمون مکعبی می باشد [2]. مرسبی و همکاران در سال 2010 برای بررسی اثر نانورس متاکائولن بر ملات سیمان، با اضافه کردن نانورس معادل 2، 4، 6 و 8 درصد وزنی سیمان به سیمان پرتلند معمولی و نسبت آب

* Corresponding author: عضو هیات علمی دانشگاه بجنورد
Email: m.mohamadi@ub.ac.ir



به سیمان ثابت و برابر با 0.5، به مطالعه‌ی تأثیر این نانورس بر خواص مکانیکی و ریزساختار سیمان پرتلند پرداخته‌اند. نتایج بررسی نشان داده که مقاومت فشاری و مقاومت کششی ملات سیمان مخلوط شده با نانو متاکائولن بالاتر از ملات سیمان ساخته شده با سیمان پرتلند معمولی با همان نسبت آب به سیمان بوده است. افزایش مقاومت کششی در حدود 49 %، در حالی که افزایش مقاومت فشاری بین 7 % تا 8 % به دست آمده است. [3] فن، ژان، کاواشیمای و سورندرا در سال 2012 ساخت بتن و ملات با خواص مکانیکی بالا و مقاوم در برابر تهاجم نفوذ یون کلراید، به وسیله مخلوط سیمان با نانو خاک رس کائولینیت را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی سیمان پرتلند معمولی با درصدهایی از خاک رس کائولینیت (0%، 1%، 3%، 5%، 7%، 9%) مخلوط شده که در ساخت تمامی نمونه‌ها نسبت آب به سیمان ثابت و برابر با 0.5 بوده است. نتایج آزمون نفوذپذیری با جیوه نشان می‌دهد که علاوه بر اینکه خاک رس نفوذپذیری را بهبود می‌بخشد، مقاومت فشاری را نیز افزایش می‌دهد. ملات سیمان ساخته شده با خاک رس ضریب نفوذپذیری کلراید نسبت به ملات ساده را کاهش داده و با 5 % خاک رس، مقاومت فشاری ملات سیمان 12 % افزایش نشان داده است [4]. فرزادینا و همکاران در سال 2013 مطالعه بر روی استفاده از نانو رس در سیمان را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه خواص مکانیکی، رفتار و دوام ملات حاوی 1 %، 2 % و 3 % نانو رس هالوسیتی مورد بررسی قرار گرفته است. مقاومت فشاری نمونه‌های دارای 3 %، نانو رس حدود 24 % افزایش و نفوذپذیری با گاز همین نمونه‌ها حدود 56 % کاهش یافته است. [5]. هاکامی، شیخ و لو در سال 2014 اثر اضافه کردن معادل 1 % وزنی سیمان بر کاهش تخلخل، افزایش مقاومت فشاری و خمشی ملات ماسه سیمان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با اضافه کردن 1 % وزنی سیمان نانو رس به سیمان پرتلند، کاهش تخلخل 15.5 %، افزایش مقاومت فشاری 24.9 % و مقاومت خمشی 26.2 % را در پی داشته است [6].

در تحقیق پیش رو تأثیر تراکم ملات با دستگاه تقه زن بر مقاومت فشاری ملات ساخته شده از سیمان پرتلند مرکب مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار 6 طرح اختلاط با نسبت آب به سیمان یکسان و نسبت ماسه به سیمان متفاوت ساخته شدند. تعداد 110 نمونه در سن‌های 7 روزه و 28 روزه بارگذاری و شکسته شدند. نهایتاً میزان تغییرات نمونه‌های فشاری ملات در عمرهای مختلف بر اثر ضربه دستگاه تقه زن بر نمونه‌های تازه داخل قالب مشخص گردید.

2. مشخصات مصالح

2.1. سیمان پرتلند مرکب

سیمان مصرفی در این تحقیق، از نوع سیمان پرتلند مرکب است. سیمان پرتلند مرکب با کد استاندارد پ.م-الف 5/32، ماده چسباننده هیدرولیکی از خانواده سیمان پرتلند است که از آسیاب و مخلوط نمودن کلینکر سیمان پرتلند با حداقل 2 نوع از مواد افزودنی از بین مواد سنگ آهک ویژه، پوزولان طبیعی مرغوب، سرباره (کوره آهن گدازی)، خاکستر بادی (سیلیسی یا آهکی)، پوزولان کلسینه شده، رس یا شیل پخته شده یا میکرو سیلیس (دوده سیلیسی) همراه با درصد مناسبی از سنگ گچ (سولفات کلسیم متبلور) حاصل می‌گردد [7]. برای سیمان از سیمان پرتلند مرکب ساخت کارخانه سیمان بجنورد استفاده شد.

2.2. ماسه

با توجه به استاندارد دانه بندی مربوط به ملات، ابتدا ماسه‌ها از الک نمره 8 عبور داده سپس ضمن بازدید کلی آن از لحاظ تمیزی و سلامت سنگدانه‌ها برای کلیه طرح اختلاط‌ها ماسه لازم حداقل به مدت 24 ساعت داخل اون (گرمخانه) قرار گرفت تا رطوبت سنگدانه‌ها گرفته شود و تأثیری در طرح اختلاط نداشته باشد.

3.2. آب

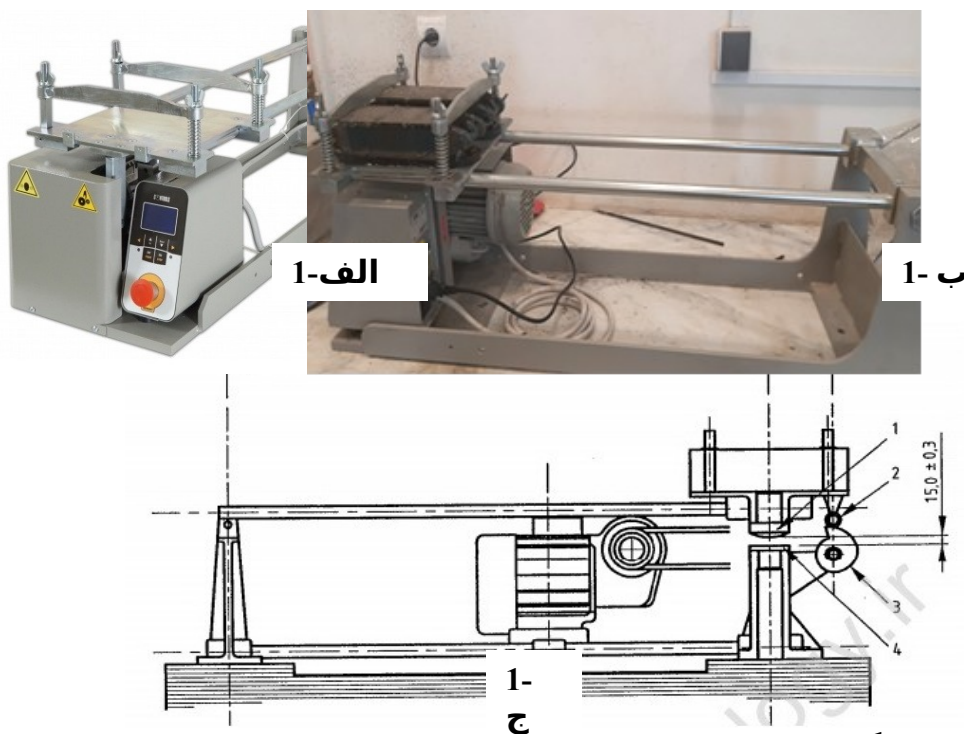


برای ساخت نمونه‌ها از آب شرب استفاده شده است. کیفیت آب در بتن از آن جهت حائز اهمیت است که ناخالصی‌های موجود در آن ممکن است در گیرش سیمان اثر گذاشته و اختلالاتی در آن به وجود آورند. همچنین آب نامناسب ممکن است روی مقاومت بتن اثر نامطلوب گذاشته و سبب بروز لکه‌هایی در سطح بتن شود. در اکثر اختلاط‌ها آب مناسب برای بتن آبی است که برای نوشیدن مناسب باشد [11]

3. برنامه آزمایشگاهی

1.3. دستگاه ضربه زن ملات

جهت ساخت نمونه‌های ملات ماسه سیمان برای انجام آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی و کششی، استفاده از دستگاه تقه زن می‌تواند کمک قابل توجهی به تهیه نمونه‌های مناسب نماید. استاندارد داخلی ISIRI 393 و همچنین استاندارد های خارجی-BS EN 196-1, ISO 679 در بکارگیری از این دستگاه استفاده شده است. بعد از آماده سازی نمونه، توسط نگهدارنده‌های قالب، آنها را بر روی صفحه محکم می‌نماییم. حال با تنظیم کانتیر صفحه نمایش دیجیتال روی تابلو برق، ضربات وارده بر نمونه را مشخص می‌شود که بر اساس استاندارد روی 60 ضربه تنظیم می‌کنیم. لازم به ذکر است 60 ضربه در یک دقیقه اعمال می‌شود، بنابراین در هر ثانیه یک ضربه به قالب‌های پر شده وارد می‌گردد.



شکل 1 - دستگاه ضربه زن ملات : الف- مانیتور و سیستم کنترل ب- در حال استفاده ج- نمای جانبی

دستگاه دارای یک میز مستطیلی است که به دو بازوی سبک به یک محور که به فاصله 800 میلی‌متر از مرکز میز قرار دارد محکم بسته شده است. میز در مرکز قسمت پایینی از طریق یک محور گرد برآمده، با دستگاه ارتباط پیدا کرده است. زیر محور گرد برآمده یک پایه نشیمنگاه با سطح بالایی مسطح قرار داده شده است. در هنگام کار دستگاه، میز بوسیله یک بادامک، بلند شده و سپس اجازه می‌دهد که بصورت آزاد از ارتفاع $15 \pm 3/0$ میلی‌متر قبل از



برخورد محور گرد برآمده با نشیمنگاه سقوط کند. پس از شروع به کار دستگاه ضربه زن (تقه زن) کانتیر شماره انداز نمایشگر شروع به شمارش می نماید پس از اتمام مقدار ضربه تعیین شده دستگاه به صورت اتوماتیک خاموش می شود و شماره کانتیر صفر می شود (شکل 1).

2.3. طرح اختلاط

در این پژوهش طرح اختلاط ها با نسبت آب به سیمان 0.6 ($W/C=0.6$) و در شش نسبت ماسه به سیمان متفاوت مطابق جدول 1 تهیه شده اند. این طرح اختلاط ها در ابتدا به صورت معمولی و متراکم نشده ساخته شدند و سپس بار دیگر طرح اختلاط ها تکرار شده و ملات ساخته شده با استفاده از دستگاه تقه زن ملات متراکم شد. نمونه ها پس قالب گیری در داخل آب قرار داده شدند و در دو عمر 7 روزه و 28 روزه بارگذاری و شکسته شدند تا مقاومت فشاری آنها با هم مقایسه گردد. همچنین نمونه های فشاری به صورت 3 تایی قالب گیری شدند تا حداقل تعداد استاندارد در هر عمر بارگذاری رعایت گردد. همچنین نمونه های اضافی نیز در دستور کار قرار گرفت تا اگر به هر دلیل نمونه هایی از رده خارج می گردند جایگزین گردند. به طور مثال طبق استاندارد اگر نمونه های که مقاومت آنها با مقاومت متوسط بقیه نمونه های مشابهی که همزمان آزمایش شده اند، بیش از 10% تفاوت داشته باشند حذف می گردند. همچنین نمونه هایی که دارای معایب ظاهری هستند نباید آزمایش شوند. اگر پس از حذف نمونه های معیوب و نتایج غیرقابل قبول کمتر از دو نتیجه قابل قبول بدست آمده، لازم است آزمایش مجددی انجام پذیرد. همچنین ابعاد نمونه ها باید کنترل گردد تا کمتر از 2% با استاندارد فاصله داشته باشد.

جدول 1- طرح اختلاط ها با $W/C=0.6$

نسبت آب به ماسه	نسبت ماسه به سیمان	آب (گرم)	سیمان (گر (م	ماسه (گرم)	طرح اختلاط
		W(gr)	C(gr)	S(gr)	
W:S	S:C				
0.203	3.2	326	500	1600	A
0.216	3	346	533	1600	B
0.230	2.82	368	566	1600	C
0.243	2.66	390	600	1600	D
0.256	2.52	411	633	1600	E
0.270	2.4	433	666	1600	F

کردن قالبها
را با لایه
روغن
سپس قالبها
سطح صاف

قبل از پر
, داخل آنها
نازکی از
پوشانده و
روی یک

قرار داده سپس قالب ها را بدون فشار و به صورت برآمده پر شدند. برای تراکم، قالب ها را



بر روی دستگاه تقه زن ملات قرار داده و مطابق استاندارد تعداد های ضربه های آن را بر روی 60 ضربه تنظیم کرده و پس از تراکم سطح قالب ها را صاف کردیم.

3.3. عمل آوری و بارگذاری

پس از قالب گیری، نمونه های آزمایش درون قالب، به مدت 24 ساعت در اتاق با رطوبت بالای 50% نگهداری شد. نمونه ها پس از 24 ساعت از قالب بیرون آورده و در داخل مخزن آب تمیز قرار داده شد. هیچ وقت آب روی آزمونه ها و فاصله ی بین آنها نباید کمتر از 5 میلی متر باشد. در صورتی که ملات به اندازه ی کافی در 24 ساعت سفت نشده باشد، زمان خروج باید به تأخیر افتد به طوری که خطر خرابی آن را تهدید ننماید. لازم به ذکر است ابعاد هندسی نمونه های استاندارد فشاری ملات $5 \times 5 \times 5$ سانتیمتر با سطح تماس نیروی 25 سانتی متر مربع می باشند. قالب پوشیده شده را بدون تأخیر روی یک کف افقی در محیط مرطوب یا محفظه مرطوب قرار می گیرد. هوای مرطوب باید در تمام وجوه قالب وجود داشته باشد. بازکردن قالبها را طوری انجام دهیم که صدمه ای به آزمونه وارد نشود. چکش لاستیکی یا پلاستیکی یا هر وسیله ی مناسب دیگری می تواند جهت خارج کردن نمونه استفاده شود. دمای هوا در محل آزمایش باید بین 20 تا 27.5 درجه سانتیگراد باشد (شکل 2).



شکل 2 - کنترل دمای عمل آوری نمونه ها

در مورد نمونه های مقاومت فشاری قبل از قرار دادن نمونه های ملات برای تست، موارد زیر کنترل گردید: همگن بودن نمونه و نداشتن تخلخل و کرمو شدگی، کنترل عدم یکنواختی مصالح مصرفی در ساخت نمونه، صافی و نداشتن ناهمواریها غیر مجاز در سطح نمونه، نداشتن تحدب یا تقعر سطوح نمونه بتنی تحت آزمایش، متوازی السطوح بودن نمونه در حد مجاز و نداشتن لب پریدگی و ترکها موئینه همچنین خیس بودن سطوح نمونه در حین آزمایش و نداشتن سطح خشک. پس از کنترل موارد مذکور نمونه ها قابل تست در دستگاه های مربوطه می شدند.



شکل 3 - بارگذاری نمونه فشاری

4. بررسی و تحلیل نتایج



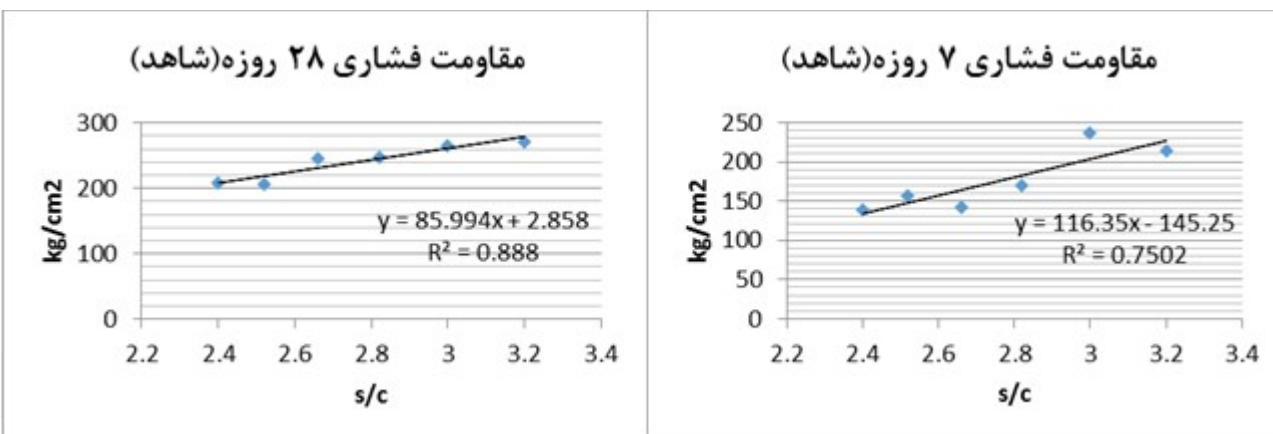
پس از انجام آزمایش‌های نمونه فشاری، در عمرهای 7 و 28 روزه در هر عمر حداقل سه نمونه بارگذاری و شکسته شد و متوسط نیروی نمونه‌ها به دست آمد که بر اساس آن مقادیر تنش فشاری مشخص شد. در این مقاله طرح اختلاط‌های A تا F یک بار بدون تراکم به عنوان شاهد ساخته شدند و بار دیگر این طرح اختلاط‌ها به عنوان هدف توسط دستگاه تقه زن ملات متراکم شدند. نمودارهای تنش فشاری در طرح اختلاط‌های مختلف ناشی از تفاوت نسبت ماسه به سیمان است. برای نمونه‌های شاهد و هدف مقایسه‌ای بین مابینگین تنش‌های فشاری، در سن‌های 7 روزه و 28 روزه صورت گرفت که خلاصه آن در نمودارهای شکل 4 آمده است.



شکل 4 - نمودار تنش‌های فشاری برای نمونه‌های شاهد و هدف در سن‌های 7 و 28 روزه

همانطور که در نمودارهای شکل 4 قابل مشاهده است، در سن 7 روزه میانگین تنش‌های فشاری در نمونه‌های هدف، کمتر از نمونه‌های شاهد است و در نگاه اول اینگونه به نظر می‌رسد که تراکم ملات تأثیری بر افزایش مقاومت نداشته است. اما پس از گذشت 28 روز از ساخت نمونه‌ها، همانطور که مشخص است میانگین تنش فشاری در نمونه‌های هدف بیشتر از نمونه‌های شاهد شده است. این موضوع خود را در طرح اختلاط شماره A با نسبت ماسه به سیمان 3.2 که به نسبت سایر طرح اختلاط‌ها خشک‌تر بود به خوبی نشان داده است.

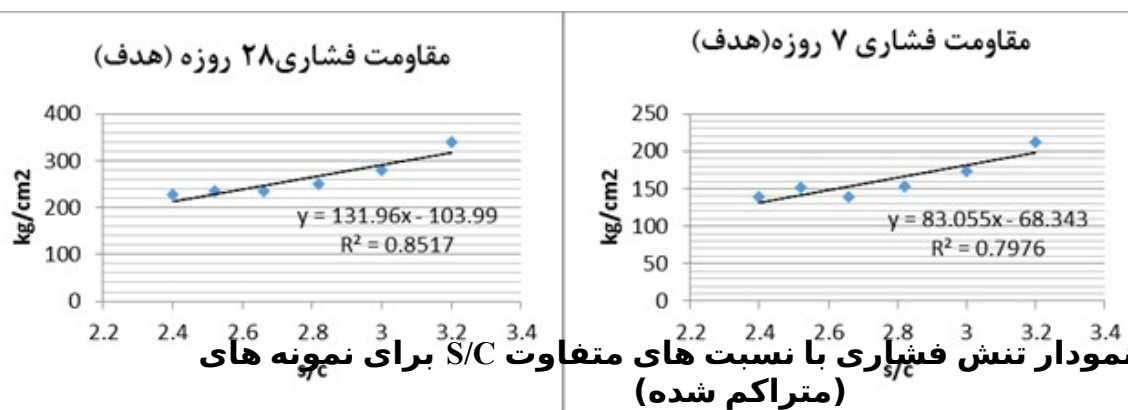
در ادامه روند تغییر مقاومت در طرح اختلاط‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در شکل 5 و 6 مقاومت 7 روزه و 28 روزه را برای میانگین 3 نمونه شکسته شده فشاری در 6 طرح اختلاط مختلف شاهد و هدف بر مبنای جدول 1 به نمایش گذاشته شده است. همانطور که مشخص است در سن 28 روزه تغییرات تنش با نسبت ماسه به سیمان (S/C) رابطه خطی دارد. همانطور که مشهود است با وجود افزایش سیمان ولی به خاطر شل‌تر شدن ملات (افزایش نسبت آب به ماسه) مقاومت فشاری کاهش پیدا می‌کند. اما با محاسبه معادله رگرسیون خطی در این نمودارهای شکل 5 معلوم می‌شود برای نمونه‌های شاهد: رابطه خطی در تنش فشاری 28 روزه با مقدار ضریب همبستگی $R=0.888$ دقیق‌تر از معادله فشاری 7 روزه با مقدار ضریب همبستگی $R=0.7502$ می‌باشد. این نشان‌دهنده این است که تا حدی الگوی کاهش مقاومت با گذر زمان به حالت خطی نزدیک شده است.





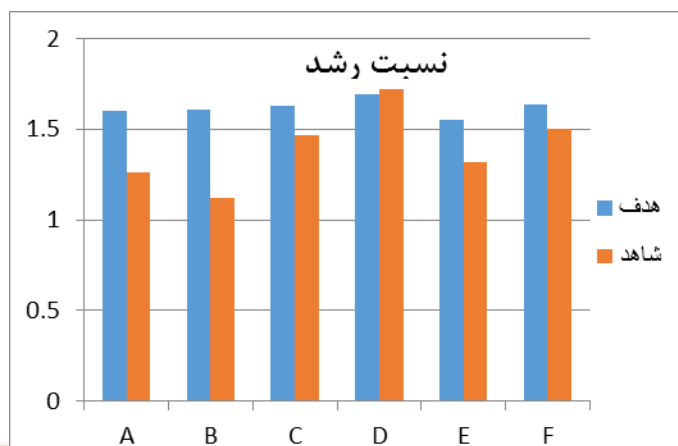
شکل 5 - نمودار تنش فشاری با نسبت های متفاوت S/C برای نمونه های شاهد(متراکم نشده)

برای نمونه های هدف نیز رابطه خطی در تنش فشاری 28 روزه با مقدار ضریب همبستگی $R=0.8517$ دقیق تر از معادله تنش فشای 7 روزه با مقدار ضریب همبستگی $R=0.7976$ می باشد. مطابق شکل 6 همانطور که در مقاومت های 28 روزه مشهود است، با کاهش نسبت ماسه به سیمان که با افزایش مقدار سیمان و البته آب همراه است، مقاومت فشاری کاهش می یابد. یعنی تاثیر روانی در کاهش مقاومت از افزایش مقدار سیمان بیشتر است. بنابر این همیشه افزایش سیمان راهی مناسب برای افزایش مقاومت نیست. همچنین با مقایسه مقاومت فشاری شاهد و هدف مشخص می شود که، رابطه خطی در تنش فشاری 7 روزه، برای نمونه های هدف با مقدار ضریب همبستگی $R=0.7976$ دقیق تر از رابطه نمونه های شاهد، با مقدار ضریب همبستگی $R=0.7502$ است. اما این رابطه در سن 28 روزه برای نمونه های شاهد با ضریب همبستگی $R=0.888$ از معادله نمونه های هدف با ضریب همبستگی $R=0.8517$ دقیق تر می باشد.



شکل 6 - نمودار تنش فشاری با نسبت های متفاوت S/C برای نمونه های شاهد (متراکم شده)

از سویی دیگر با مقایسه نسبت رشد بین نمونه های شاهد هدف مشخص می شود که، رشد مقاومت فشاری در سن 28 روز نسبت به 7 روزه در نمونه های هدف با میانگین نسبت رشد 62/1 بیشتر از نمونه های شاهد با میانگین نسبت رشد 4/1 می باشد.



**شکل 7- نسبت رشد مقاومت 28 به 7 روزه در نمونه های شاهد و هدف**

با بررسی دقیق تر این نتیجه حاصل می شود که نمونه های متراکم شده دارای رشد بهتری در مقاومت بین 7 تا 28 روز هستند. (شکل 7)

5. بررسی آماری پراکندگی نتایج

در این پژوهش اعداد بدست آمده از مقاومت فشاری (حداقل 3 نمونه) بارگذاری و آزمایش شدند و برای اعداد مورد استفاده در پژوهش مطابق رابطه 1 از میانگین گیری استفاده شده است:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

که در آن X مقاومت فشاری؛ n تعداد نمونه ها می باشد. اما یکی از بررسی های صورت گرفته میزان بررسی پراکندگی نمونه های ملات تحت نیروهای فشاری در مقایسه با یکدیگر می باشد که بنابراین از رابطه شماره 2 که انحراف معیار یا واریانس نامیده می شود برای این منظور استفاده می گردد:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

که در آن X مقاومت فشاری؛ n تعداد نمونه ها و s واریانس مجموعه است. ضریب تغییرات ((Coefficient of variation که حاصل تقسیم انحراف استاندارد بر مقدار متوسط است، معیار مناسبتری نسبت به انحراف استاندارد بوده و می تواند برای مجموعه نمونه هایی با میانگین متفاوت معیار مقایسه خوبی باشد. مخصوصا به خاطر اینکه میانگین نمونه های فشاری، متفاوت بوده و اثر مقیاس این اعداد در فرمول واریانس تاثیر دارد بنابراین برای مقایسه خالص میزان پراکندگی رقم مقاومت نمونه های فشاری از رابطه ضریب تغییرات (فرمول 3) در ترکیب فرمول های 1 و 2 استفاده می شود [12].

$$V = \frac{s}{\bar{X}} \times 100 \quad (3)$$

که در آن s واریانس و V ضریب تغییرات است با محاسبه ضریب تغییرات برای کلیه داده های نمونه های فشاری مقادیر آن ها در جدول 2 منعکس گردیده و سپس میانگین گیری کل و میانگین ارقام مربوط به تنش های 7 روزه و 28 روزه نیز مشخص شده است.

جدول 2- ارقام ضریب تغییرات فشاری نسبت به هم در طرح ها و عمرهای مختلف

نمونه ها	ضریب تغییرات تنش فشاری شاهد	ضریب تغییرات تنش فشاری هدف
----------	-----------------------------	----------------------------



28 روزه	7 روزه	28 روزه	7 روزه	
3.52	4.99	2.26	4.69	A
1.43	3.04	5.29	3.51	B
7.23	1.51	0	7.59	C
4.29	3.33	1.37	10.61	D
2.93	0	4.81	3.88	E
5.39	3.33	1.92	1.66	F
3.905	3.185	2.09	4.285	میانگین کل

با مقایسه ضریب تغییرات تنش‌ها باهم مشخص می‌شود در نمونه‌های شاهد پراکندگی داده‌ها در 28 روزه خیلی کمتر از 7 روزه می‌باشد. در حالی که در در نمونه‌های هدف ضریب تغییرات در سن 7 و 28 برعکس حالت قبل است. با مقایسه ضریب تغییرات در نمونه‌های شاهد و هدف مشاهده می‌شود که در سن 28 روزه پراکندگی نمونه‌های شاهد کمتر از نمونه‌های هدف باشد. بنابراین تراکم الزاما تاثیری بر کاهش پراکندگی ندارد. هر چند این موضوع نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

6. نتیجه‌گیری

- 1- تراکم نمونه‌های فشاری ملات بوسیله دستگاه تقه زن در مقاومت‌های کوتاه مدت مثل 7 روزه اثر قابل توجه ندارد ولی با گذر زمان و پس از 28 روز افزایش مقاومت آن محسوس خواهد بود.
- 2- با توجه به ثابت بودن نسبت آب به سیمان در این پژوهش مشخص شد برای نمونه‌های متراکم شده و معمولی اثر کاهش آب (سفتی ملات) در مقاومت بیشتر از بکارگیری سیمان می‌باشد.
- 3- در نسبت‌های مختلف بکارگیری سیمان، در هر دو حالت ضربه زده و نزده، تغییرات مقاومت نمونه‌های 28 روزه در مقایسه با نمونه‌های 7 روزه روند خطی تری را نشان می‌دهد.
- 4- رشد مقاومت فشاری در سن 28 روز نسبت به 7 روزه در نمونه‌های هدف (ضربه خورده) با میانگین نسبت رشد 62/1 بیشتر از نمونه‌های شاهد (ضربه نخورده) با میانگین نسبت رشد 4/1 می‌باشد پس نمونه‌های متراکم شده دارای رشد بهتری در مقاومت بین 7 تا 28 روز هستند.
- 5- بررسی آماری در این پژوهش نشان می‌دهد تراکم ملات الزاما تاثیری بر کاهش پراکندگی رقم مقاومت فشاری نمونه‌ها ندارد. هر چند این موضوع نیاز به بررسی‌های بیشتری در سایر نسبت‌های آب به سیمان دارد.
- 6- در طرح اختلاط‌هایی با آب کمتر و مقاومت بیشتر، اثر تراکم ملات بوسیله ضربه زدن، در افزایش مقاومت فشاری آنها موثرتر واقع شده است.
- 7- با توجه به اثر کم ضربه زدن ملات در مقاومت فشاری نمونه‌های 7 روزه، و البته افزایش مقاومت در نمونه‌های ضربه خورده 28 روزه نسبت به ضربه نخورده، پیشنهاد می‌گردد تحقیق برای عمر 90 روزه و بیشتر نیز ادامه یابد.
- 8- تراکم ملات در افزایش مقاومت موثر است و بر اساس استاندارد‌های آزمایشگاهی و در محیط آزمایشگاه بوسیله دستگاه تقه زن اعمال می‌گردد ولی در کارهای اجرایی آنطوری که در مورد بتن، و بیره را داریم در مورد ملات روش مناسبی پیشنهاد نشده است که جا دارد مورد بررسی قرار گیرد.



9- پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی اندازه‌گیری اثر ضربه زدن برای تراکم ملات روی کاهش حباب‌های هوای داخل آن با نگاه دقیق‌تر و بررسی در ابعاد میکروسکوپی صورت گیرد.

7. قدردانی

بدینوسیله از همکار محترم آزمایشگاه دانشکده فنی دانشگاه بجنورد جناب آقای نبی زاده قدردانی می‌گردد و از آقای مهندس علی مفاخری به خاطر مساعدت‌ها تشکر می‌شود. همچنین از کارخانه سیمان بجنورد به خاطر تامین سیمان استاندارد پرتلند مرکب، بازدید از کارخانه و توجه به همکاری‌های پژوهشی تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

8. مراجع

- [1] ASTM C109/109M, “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube SPECIMENS)”, 2012
- [2] Matthys, J.H, and Singh, R, “Experimental Investigation of Mortar Compressive Strength Using 5.08 cm Cubes and 7.26 cm × 15.24 cm Cylinders, ”Components to Assemblages, ASTM STP 1063, J.H. Matthys, ed, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1990, 12pp
- [3] M. S. Morsy., S. H. Alsayed ., M. Aqel.; “Effect of Nano-clay on Mechanical Properties and Microstructure of Ordinary Portland Cement Mortar”; International Journal of Civil & Environmental Engineering (IJCEE). 2010
- [4] Yingfang, Fan ., Shiyi, Zhang ., Shiho, Kawashima ., Surendra, P Shah.; “Influence of kaolinite clay on the chloride diffusion property of cement-based materials”; Cement & Concrete Composites 45 (2014) 117–124.
- [5] Nima, Farzadnia ., Abang Abdullah Abang, Ali ., Ramazan, Demirboga ., Mohammed Parvez, Anwar.; “Effect of halloysitenanoclay on mechanical properties, thermal behavior and microstructure of cement mortars”; Cement and Concrete Research 48 (2013) 97–104.
- [6] A, Hakamy, F.U.A., Shaikh, I.M. Low; “Characteristics of hemp fabric reinforced nanoclay–cement nanocomposites”; Cement & Concrete Composites 50 (2014) 27–35
- [7] M A Caronge, M W Tjaronge, H Hamada, R Irmawaty. (2017), Effect of water curing duration on strength behaviour of Portland composite cement (PCC) mortar. IOP Conf. Materials Science and Engineering, doi:10.1088/1757-899X/271/1/012018.
- [8] American Society for Testing and Material; “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate”; ASTM C127. (2015).
- [9] American Society for Testing and Material; “Standard Test Method for Materials Finer than 75-μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing”; ASTM C117. (2013).



[10] American Society for Testing and Material; “Method of Test for Soundness of Coarse Aggregates by Use of Sodium Sulfate, or Magnesium Sulfate”; ASTM C89.(1937).

[11] آ.ام. نویل، جی. جی. بروک « تکنولوژی بتن ». ترجمه علیاکبر رمضانپور،
محمدرضا شاهنظری. انتشارات علم و صنعت. چاپ سیزدهم. ۱۳

[12] James E. Cook, Jerry Parnes. (2002), Evaluation of Strength Test Results of Concrete
ACI 214R-02
Reported by ACI Committee 214.