

پوزولان ضایعاتی خاکستر میوه درخت بنه در بتن

شهریار شهبازپناهی^{۱*}

۱- استادیار دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سنندج، ایران

sh.shahbazpanahi@gmail.com

تاریخ پذیرش ۹۷/۱۲/۲۲

تاریخ دریافت ۹۷/۹/۲۳

چکیده

درخت "بنه" یا "ون" درختی خودرو است که در بعضی از مناطق سردسیر مانند کردستان ایران می روید. نام دیگر آن پسته کوهی است، میوه آن کاربرد زیادی ندارد و جز مواد اضافی کشاورزی است. این مقاله برای اولین بار، پوزولان خاکستر میوه درخت بنه را برای جایگزینی درصدی از سیمان در بتن معرفی می کند. در این پژوهش، ترکیب مواد معدنی خاکستر میوه درخت بنه توسط آزمایش تشعشع انکسار ایکس و تصاویر ساختار میکروسکوپی با دستگاه میکروسکوپ الکترونی برای ارزیابی به عنوان پوزولان بررسی می شود. در این مطالعه ویژگی های بتن روی مخلوط های بتن ساخته شده با درصد های متفاوتی خاکستر میوه درخت بنه (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد سیمان) با جایگزینی در سیمان و مقایسه نتایج آنها با بتن کنترل (بدون خاکستر) بررسی می شود. اسلامپ بتن تازه، ضریب الاستیسیته، مقاومت فشاری، سرعت پالس اولتراسونیک و تصاویر ساختار میکروسکوپی با دستگاه میکروسکوپ الکترونی نمونه های حاوی خاکستر میوه درخت بنه با بتن کنترل (بدون پوزولان) مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد که بتن پوزولانی خاکستر میوه درخت بنه مدول ارتجاعی بزرگتری نسبت به نمونه بتن کنترل دارد. همچنین، با استفاده از ۲۰ درصد خاکستر میوه درخت بنه، افزایش ۱۸/۳ درصدی مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه نسبت به نمونه بتن کنترل مشاهده شده است. تصاویر ساختار میکروسکوپی با دستگاه میکروسکوپ الکترونیکی نشان می دهد که پوزولان خاکستر میوه درخت بنه، تخلخل و ترک های کوچک را کاهش داده و موجب شکل گیری هیدرات سیلیکات کلسیم بیشتری شده است.

واژگان کلیدی: پوزولان، خاکستر، میوه درخت بنه، بتن

۱- مقدمه

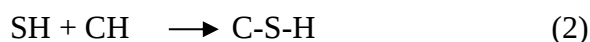
سیمان در بتن در آیین نامه های مختلف مانند آیین نامه بتن آمریکا ذکر شده است [1-3]. این مواد به تنهایی خاصیت سیمان را ندارند، اما به شکل پودر در مجاورت آب طی واکنش شیمیایی با هیدروکسید کلسیم در دمای معمولی ترکیب هایی با خاصیت سیمانی به وجود می آورند [4]. این واکنش را واکنش پوزولانی می نامند [5]. اگر چه بتن تهیه

پوزولان ها مواد سیلیسی و سیلیسی-آلومینی هستند که به خودی خود خاصیت چسبندگی ندارند. سالهاست که پژوهش های زیادی برای شناسایی و عملکرد خاصیت پوزولان ها روی بتن در کشورهای مختلف دنیا صورت گرفته است به گونه ای که کاربرد پوزولان ها به عنوان ماده جایگزین

H^+ تولید می‌کند. همچنین دارای آلومینا است که با $C-H^+$ واکنش داده و فازهای C_3AH و C_4AH تولید می‌کند [4]. واکنش پوزولانی به صورت واکنش شیمیایی زیر است [17].



که به صورت اختصار به شکل زیر نوشته می‌شود:



بررسی گزارش‌ها نشان می‌دهد که نتایج بدست آمده از تاثیر پوزولان‌های متفاوت در بتن به دلیل تفاوت در حالت و روش تولید، سیلیس موجود، شکل و نوع ذرات، مدت زمان واکنش و درجه پخش مواد با هم فرق دارند [18]. اکنون سوال اینجاست که آیا غیر از پوزولان‌های بررسی شده در سایر پژوهش‌ها، می‌توان از خاکستر میوه درخت بنه به عنوان پوزولان در بتن استفاده کرد. برای سهولت، خاکستر میوه درخت بنه بوسیله نویسنده این پژوهش به نام PAA^5 نام گذاری شده است. تاکنون در این زمینه، پژوهشی روی این ماده به عنوان پوزولان در بتن انجام نشده است و در صورتی که به صورت کنترل شده سوزانده شود ممکن است پوزولان مناسبی برای استفاده در بتن باشد. این درخت در بعضی از مناطق سردسیر کوهستانی کردستان ایران، شکل (۱-الف)، مانند مریوان، سقز و بانه می‌روید. به میوه آن «قزوان» می‌گویند که برای خوشبو کردن دوغ استفاده می‌کنند. درخت بنه، شکل (۱-ب)، منبع تولید شیر سقز است. اما میوه آن کاربرد زیادی ندارد و جز مواد اضافی کشاورزی هستند. این مقاله برای اولین بار مشخصات بتن معمولی را با بتن‌های پوزولانی خاکستر میوه درخت بنه برای جایگزینی در سیمان، را مقایسه کرده است. در این مطالعه، ویژگی‌های بتن ساخته شده با درصد‌های متفاوتی از خاکستر میوه درخت بنه (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد سیمان) با جایگزینی در سیمان و بتن کنترل (بدون خاکستر) و مقایسه نتایج آنها با هم بررسی شده است.

شده با سیمان پوزولانی به نسبت بتن با سیمان معمولی دارای مقاومت فشاری اولیه کمتری است، اما مقاومت فشاری دراز مدت آن بیشتر است [6-7]. از اهمیت پوزولان در بتن می‌توان به اقتصادی بودن به دلیل کاهش سیمان مصرفی، مقاوم در برابر عوامل جوی، استفاده از پوزولان در سدها و سازه‌های حجیم به دلیل حرارت هیدراتاسیون کمتر در سنین اولیه، ممانعت از واکنش شیمیایی قلیائی سیمان و درشت دانه‌ها در بتن، استفاده از مواد مضاف کشاورزی برای کاهش زباله و جلوگیری از تخریب معادن سنگ آهن و آهک به علت کاهش مصرف سیمان اشاره کرد [8]. یکی از بهترین راه‌ها، استفاده مجدد از مواد دور ریختنی کشاورزی مثل پوسته جو و برنج است تا با سوزاندن و آسیاب کردن آنها خاکستری تولید، تا جایگزین سیمان استفاده شده در بتن شود تا هم بتن اقتصادی باشد و هم ماده چسبنده خوبی تولید شود [9]. در خاکستر مواد دور ریختنی ساختارهایی از سیلیس^۱، اکسید آلومینیوم^۲، اکسید آهن^۳ و غیره یافت می‌شود که به چسبندگی سیمان کمک می‌کنند. خاکستر تولیدی که حاوی سیلیس است اگر به صورت کوارتز باشد در واکنش با آهک یک ترکیب چسبنده بنام هیدرات سیلیکات کلسیم تولید می‌کند که این محصول در بهبود مشخصات و مقاومت بتن ساخته شده تاثیر عمده‌ای دارد [10]. فاز غیر بلوری و نانوساختار هیدرات سیلیکات کلسیم باعث ایجاد چسبی می‌شود که اجزا بتن را به هم می‌چسباند. پژوهش‌های زیادی در مورد درصد استفاده از پوزولان‌ها بر حسب درصدی از سیمان در بتن انجام شده است [11,12,13,14]. مثلاً، خاکستر پوسته برنج برای بهبود ریزساختار ناحیه انتقالی بین خمیر سیمان و سنگدانه در بتن بکار رفته است [15] و نشان داده شده است که جایگزین کردن سیمان با خاکستر پوسته برنج تا ۲۰ درصد وزنی، سبب افزایش مقاومت فشاری می‌شود. اما با جایگزینی ۳۰ درصد، شاهد تضعیف بتن خواهیم بود [16]. خاکستر پوسته برنج حاوی سیلیس در دمای معمولی در واکنش با $Ca(OH)_2^4$ سیمان ژل $C-S-$

1 SiO2

2 Al2O3

3 Fe2O3

4 Calcium dihydroxide

5 Calcium silicate hydrate

6 Calcium hydroxide

7 Pistacia Atlantica Ash

۲- روش تحقیق و مواد و مصالح مصرفی

۲-۱- پوزولان جایگزین سیمان

شکل (۲-الف) میوه درخت بنه خشک شده را نشان می دهد. بعد از آن میوه درخت بنه در یک کوره معمولی سوزانده می شوند که حاصل خاکستری به رنگ تیره است. این حالت نشان دهنده وجود درصد بالای کربن است. (حدود ۱/۴ درصد) این خاکستر در یک کوره مخصوص با دمای زیاد (500°C) حدود ۳ ساعت سوزانده و به خاکستر اجازه داده می شود تا در دمای اتاق سرد شود.

شکل ۱. درخت بنه (الف) در طبیعت کوهستانی (ب) منبع تولید شیره سقز از درخت بنه

(الف)



(a)

(ب)



(b)

Fig. 1. Baneh three (a) in the nature (b) Saghez resin

این روش سرد کردن باعث افزایش سطح ویژه و خاصیت پوزولانی می شود و حاصل، خاکستری به رنگ روشن می شود. سپس خاکستر فوق برای مخلوط شدن با سیمان دو بار آسیاب شده تا اندازه دانه ها حدود $50\ \mu\text{m}$ باشند. شکل (۲-ب) خاکستر پوزولانی را نشان می دهد. هزینه یک کیلو

گرم خاکستر پوزولانی که شامل سوزاندن و آسیاب کردن است حدود ۱۰۰ هزار ریال است. ترکیب شیمیایی سیمان و PAA در جدول (۱) با استفاده از آزمایش تشعشع ماهتابی ایکس XRF^{a} بدست آمده است. نتایج در جدول نشان می دهد که مقادیر SiO_2 در مواد مضاف PAA زیاد است و می تواند درصدی از CaO سیمان را جذب نمایند و $\text{C}-\text{S}-\text{H}$ را تولید نمایند. پس می توان نتیجه گرفت مواد مضاف PAA مواد معدنی خوبی برای جایگزینی با سیمان هستند و می توانند عملکرد پوزولانی داشته باشند. همچنین نسبتی از CaO در مواد مضاف PAA می تواند حالت پُرکنندگی داشته باشد و نسبتاً مقاومت فشاری را اندکی بالا ببرد [19]. کربن پوزولان ۱/۴ درصد است و چون کربن کمتر از ۲ درصد و درصد CaO بین ۱۰ تا ۳۰ درصد است پس نوع پوزولان کلاس C است [18].

شکل ۲. ساخت پوزولان (الف) میوه خشک شده (ب) خاکستر میوه

درخت بنه

(الف)



(a)

(ب)



(b)

Fig. 2. Pistacia Atlantica (a) Dry Fruit (b) PAA after grinding

پوزولان، که هنوز در بتن استفاده نشده، برای PAA توسط میکروسکوپی الکترونیکی (SEM) نشان داده شده است. همچنان که در شکل (۴) مشخص است اجزا تشکیل دهنده دارای اشکال و اندازه نامنظم هستند.

شکل ۴: عکس میکروسکوپی الکترونیکی پوزولان آسیاب شده (SEM)

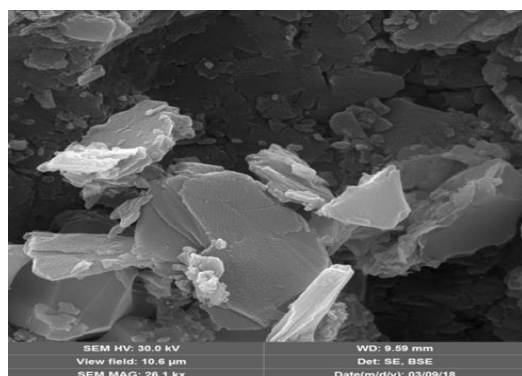


Fig. 4. SEM of raw PAA after grinding

۲-۲ - سیمان، سنگدانه‌ها و فوق روان کننده

در این پژوهش سیمان پرتلند تیپ یک با وزن مخصوص ۳/۱۷ گرم بر سانتی متر مکعب و نرمی بلین ۲۸۸ سانتی متر مربع بر گرم مورد استفاده قرار گرفته است. سیمان تولیدی این شرکت تمام خواص سیمان تیپ یک را دارد با این تفاوت که از کلاس مقاومتی بالاتری برخوردار است، به عبارت دیگر مطابق تعریف استاندارد ملی ایران (۳۸۹) مقاومت ۲۸ روزه این نوع سیمان بایستی حداقل ۳۲۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع باشد و زمان گیرش سیمان ۱۲۰ دقیقه است باشد. آب طرح اختلاط، آب آشامیدنی نرمال با $\text{PH}=7$ است. در طرح اختلاط بتن، از سنگ دانه‌های شکسته به عنوان درشت دانه با چگالی نسبی ۲/۶ و بیشینه بعد دانه‌ای ۱۲ میلی متر و درصد جذب آب ۱۲٪ و ۰/۳ و از ماسه رودخانه‌های طبیعی به عنوان ریز دانه دارای چگالی نسبی ۲/۴۵ و درصد جذب آب ۰.۵۱۲٪ است. سنگدانه‌ها شسته و خشک شده‌اند. شکل (۵) منحنی دانه‌بندی شن و ماسه استفاده شده در طرح اختلاط را نشان می‌دهد. از یک افزودنی فوق روان کننده بتن، مایعی بر پایه نفتالین سولفونات، که برای مصارف خاص در بتن، استفاده شده است. چگالی آن ۱/۳۳ گرم بر سانتی متر

جدول ۱. ترکیب شیمیایی سیمان و PAA

Chemical composition (%)	Cement	PAA
SiO_2	19.8	47.09
Al_2O_3	4.89	9.35
Fe_2O_3	3.95	17.50
CaO	64.34	12.41
MgO	1.75	4.87
Others	8.27	8.78

Table 1. Chemical Properties of Cement and PAA

شکل ۳: الگوی ترکیب مواد معدنی مواد توسط آزمایش تشعشع انکسار ایکس (XRD)

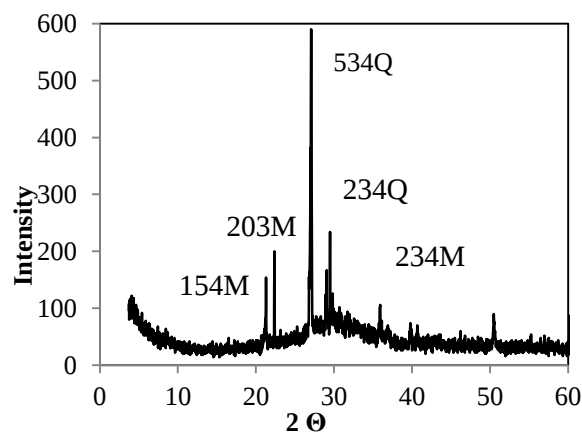


Fig. 3. XRD patterns of PAA

در شکل (۳) ترکیب مواد معدنی برای PAA توسط آزمایش تشعشع انکسار ایکس XRD نشان داده شده است. در ترکیب مواد معدنی فاز متبلور (Q) و فاز غیر متبلور (M) برای SiO_2 رسم شده‌اند. در شکل (۳) فاز متبلور و فاز غیر متبلور به ترتیب با Q و M مشخص شده‌اند. در شکل، بیشینه‌ها در فاز متبلور یافت شده است. همچنین، محل بیشترین شدت در 2θ برابر ۲۰ تا ۴۰ درجه رخ داده است که نشان دهنده فاز غیر متبلور است [20]. پس احتمالاً این ماده می‌تواند عملکرد پوزولانی داشته باشد و جایگزین درصدی از سیمان شود. در شکل (۴) عکس میکروسکوپی الکترونیکی

مکعب بوده است. ۳ درصد وزن سیمان از این ماده به عنوان فوق روان کننده بتن استفاده شده است. مقدار ثابتی از فوق روان کننده در همه مخلوط‌های بتنی مورد استفاده قرار گرفته است.

شکل ۵. منحنی دانه بندی شن و ماسه

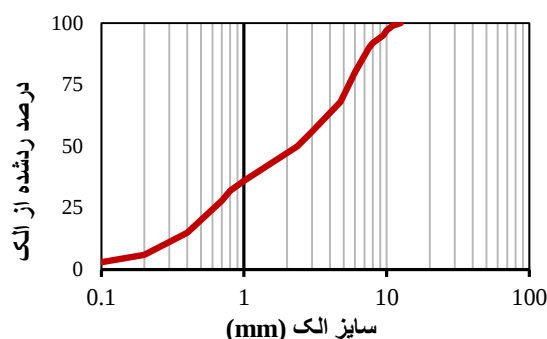


Fig. 5. Grading curves for fine and coarse aggregates

۳-۲ روند آزمایش و طرح اختلاط

برای رسیدن به اهداف این پژوهش، در همه طرح‌های ساخته شده نسبت آب به سیمان، عیار سیمان و نوع دانه‌بندی ثابت در نظر گرفته شده است. در طرح‌ها سعی شده است تمامی شرایط ثابت نگه داشته شوند. تنها میزان جایگزینی مواد پوزولانی متفاوت باشند. مواد پوزولانی جایگزین سیمان بوده و به مقدار افزودن آن از میزان سیمان کاسته شده است. در مقادیر مختلف بصورت درصدی از وزن سیمان در مخلوط‌های بتن مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام آزمایش مخلوط بتن در نظر گرفته شده که یک مخلوط بدون خاکستر پوزولانی به عنوان مخلوط کنترل و ۴ مخلوط دیگر به ترتیب با ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزن سیمان با خاکستر پوزولانی بجای سیمان ساخته شده است. نسبت آب به سیمان بتن ۰/۴۵ در تمامی مخلوط‌های بتنی ثابت نگه داشته شده است. نسبت‌های اختلاط بتن حاوی مقادیر مختلفی از پوزولان PAA است که در جدول (۲) ارائه شده است. مراحل ترکیب مواد، بدین شرح است: ابتدا میزان آب مربوط به جذب آب سنگدانه‌ها به آن اضافه شده و تا ۳ دقیقه با سرعت بالای میکسر مخلوط شد. سپس خاکستر پوزولانی به تدریج به مصالح سنگی افزوده شده و مخلوط شد. پس از آن

سیمان به اختلاط اضافه شده و به مدت ۳ دقیقه میکس شد. در نهایت، فوق روان کننده با باقیمانده آب طرح اختلاط ترکیب و در مدت ۲ دقیقه به بتن افزوده شد. برای مدت زمان یک دقیقه اختلاط بتن متوقف شده تا فوق روان کننده شروع به عمل نماید. در این زمان روی میکسر پوشانده شده تا آب بتن تبخیر نشود. بتن تا رسیدن به کارایی مورد نظر به مدت ۴ دقیقه دیگر با سرعت زیاد میکسر مخلوط شده است. برای نمونه‌برداری از قالب‌های ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی‌متر استفاده شده است. تمامی نمونه‌های بتنی در مخزن آب در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد تا زمان مورد نظر عمل آوری شده‌اند. برای ارزیابی تاثیر خاکسترهای پوزولانی، چهار سن ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای دقت بیشتر، از هر سنی و هر ترکیبی ۳ نمونه ساخته شده و میانگین عددی در نتایج، محاسبه شده است تا خطا کم شود. برای مشاهده سلامت^۹ در آب، نمونه‌های دیگری غیر از این نمونه‌ها بمدت ۱۸۰ روز در آب غوطه ور می‌شوند. هیچ گونه ترک، شکست، فاسد شدن و یا متلاشی شدن مشاهده نشده است. این آزمایش در رفتار نمونه، در تعداد کمی از پژوهش‌های مورد بررسی قرار گرفته است [20,21].

جدول ۲. نسبت‌های اختلاط بتن

کد طرح	w/c	سیمان Kg/m ³	آب Kg/m ³	PAA Kg/m ³	شن Kg/m ³	ماسه Kg/m ³
Cont.	0.45	400	180	0	1100	700
PAA 5%	0.45	380	180	20	1100	700
PAA 10%	0.45	360	180	40	1100	700
PAA 15%	0.45	340	180	60	1100	700
PAA 20%	0.45	320	180	80	1100	700

Table 2. Mix Proportions of concrete

۴-۲ دستگاه‌های آزمایشگاهی

دستگاه آزمایش مقاومت فشاری در شکل (۶ الف) نشان داده شده است. این دستگاه مقاومت فشاری و ضریب الاستیسته

دستگاه پراش اشعه ایکس XRD با دقت اندازه‌گیری ۱ nM می باشد. دو دستگاه اخیر جزئی از تجهیزات آزمایشگاه مرکزی دانشگاه کردستان است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمایش بتن تازه

خلاصه نتایج آزمایش قابلیت روانی بتن (اسلامپ مخروط ناقص) بر حسب میلی متر در شکل (۷) ارائه شده است. اسلامپ برای بتن کنترل به میزان ۷۰/۹ میلی متر بدست آمده است. با افزودن ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد پوزولان PAA به مخلوط اسلامپ به ترتیب به ۶۰/۱، ۱/۶۳ و ۵۸/۷ میلی متر تغییر نموده است و با افزودن ۲۰ درصد پوزولان PAA اسلامپ به ۵۸/۴ میلی متر رسیده و تقریباً نسبت به حالت افزودن ۱۵ درصد ثابت می‌مانند. این پدیده ممکن است به این دلیل باشد که بافت پوزولان PAA در درصدهای کم، مقداری از آب اضافی اختلاط را جذب کرده و باعث می‌شود کارایی کم شود ولی با افزودن ۲۰ درصد پوزولان، همه آب اضافی جذب شده است. به همین دلیل است که اسلامپ نسبت به حالت افزودن ۱۵ درصد پوزولان، تقریباً ثابت مانده است.

شکل ۷. قابلیت روانی حاوی مقادیر مختلفی از پوزولان PAA

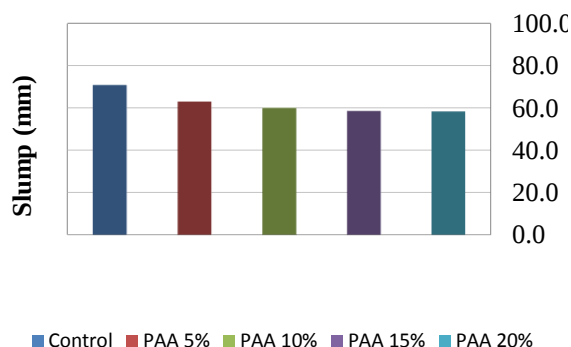


Fig. 7. Slump test results

نمونه را محاسبه می‌کند. تغییرات بارگذاری به صورت تدریجی با سرعت بار گذاری قابل کنترل از طریق نمایشگر و قابلیت نصب سنسور جابه‌جایی برای رسم منحنی تنش- کرنش است. این دستگاه دارای حساسیت ۰/۲ نیوتن و سرعت بار گذاری تنظیم شده ۱ %/Min است. تهیه تصاویر از ساختارها در ابعاد کوچک با دستگاه میکروسکوپ الکترونی SEM انجام شده است. دستگاه میکروسکوپ الکترونی در شکل (۶-ب) نشان داده شده است. این با تهیه تصویر با بزرگنمایی ۲۰ تا ۳۰۰۰۰۰ برابر و قدرت تفکیک حدود ۱/۲ نانومتر، است دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) در شکل الکترونی در شکل (۶-ج) نشان داده شده است.

شکل ۶. دستگاه‌های آزمایشگاهی (الف) آزمایش مقاومت فشاری (ب) میکروسکوپ الکترونی (ج) دستگاه پراش اشعه ایکس



(a) Compressive Test



(b) SEM



(c) XRD

Fig. 6 Test Machines

۳-۲- ضریب الاستیسته

برای بررسی مدول ارتجاعی بتن معمولاً از عبارت مدول ارتجاعی وتری (سکانت) استفاده شده است. این مدول شیب خطی است که از نقطه تنش صفر به نقطه نظیرتنش فشاری مربوطه رسم شده است. در شکل (۸) نمودار تنش - کرنش در سن ۲۸ روزه نمونه‌های بتن کنترل و ۱۵ درصد PAA بوسیله دستگاه مقاومت فشاری ثبت شده است. نتایجی که دستگاه به صورت اتوماتیک از مدول ارتجاعی بتن‌های نمونه‌های کنترل و ۱۵ درصد PAA به دست آمده است، به ترتیب عبارت است از ۲۹۶۶۵ و ۳۴۵۶۵ مگاپاسکال. این نتایج نشان می‌دهد که ۱۵ درصد PAA مدول ارتجاعی بیشتری دارد. ممکن است این به دلیل خاصیت پوزولانی بیشتر نمونه حاوی PAA نسبت به نمونه‌های کنترل باشد که دارای مقدار بیشتری از مواد معدنی فاز غیر متبلور است [21].

شکل ۸ نمودار تنش - کرنش نمونه‌های کنترل و PAA15%

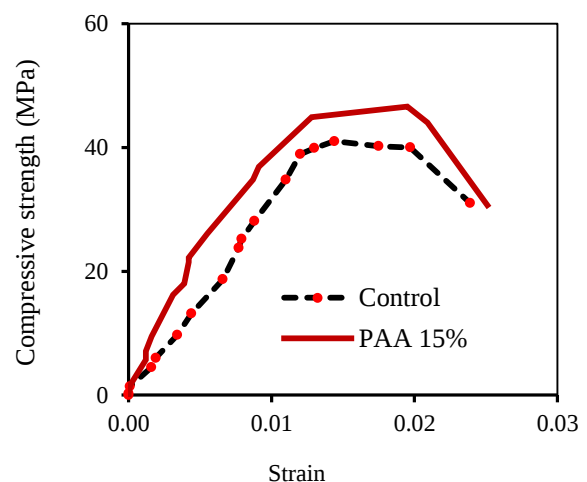


Fig. 8. Modulus Elasticity of control and PAA15% samples

۳-۳- مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری با استفاده از نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتی‌متری در سنین ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روز انجام شد. نمونه‌های آزمایش‌های مقاومت فشاری مطابق با ASTM-C642 بوده است. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری برای سنین مذکور در شکل (۹) آمده است. همانطور که در شکل

(۹) مشخص است، نتایج نشان می‌دهد نمونه حاوی ماده PAA، با هر درصدی که اضافه شود مقاومت فشاری در سنین کم نسبت به حالت کنترل کاهش می‌یابد. این به دلیل خاصیت پوزولانی است که در سنین کم، پوزولان‌ها عمل هیدراتاسون را به تاخیر می‌اندازند [22]. این تاثیر کاهش مقاومت در سنین کم در نمونه‌های حاوی سایر پوزولان‌ها بوسیله سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است [23,24].

همانطور که در شکل (۹) نشان داده شده است، اضافه کردن ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد خاکستر PAA، به ترتیب باعث کاهش ۲۴/۹، ۲۴/۱، ۲۸/۳ و ۱۹/۷ مقاومت فشاری در سن ۷ روزه در مقایسه با نمونه کنترل شده است. پس، جایگزینی PAA در بتن باعث کاهش کسب مقاومت در سنین اولیه می‌شود و افزایش مقدار جایگزینی آن باعث تشدید این روند است. دلیل این پدیده می‌تواند این باشد که با فعال شدن سریع قلیای آزاد شده^{۱۰} از سیمان در هنگام مراحل نخست هیدراتاسیون بتن، که ناشی از کم بودن مقدار سیلیکا^{۱۱} است، هنوز ماده چسبنده سیلیکات کلسیم (C-S-H) تولید نشده است. همچنین تاخیر عمل در هیدراتاسیون و رفتار ضعیف پوزولانی در سنین کم می‌تواند دلیل این امر باشد [20].

همچنین، همانطور که در شکل (۹) دیده می‌شود، اضافه کردن ۵ و ۱۰ درصد خاکستر PAA، به ترتیب باعث افزایش ۸/۱ و ۱۳/۹ درصدی مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه در مقایسه با نمونه کنترل شده است. اضافه کردن ۱۵ درصد PAA باعث افزایش ۱۶.۱ درصدی و اضافه کردن ۲۰ درصد PAA سبب افزایش ۱۸/۳ درصدی مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه شده است. دلیل این افزایش روند مقاومت نمونه حاوی PAA، نسبت به نمونه کنترل، می‌تواند افزایش SiO₂ ناشی از وجود پوزولان باشد تا با Cao عمل نشده سیمان، عمل هیدراتاسیون را تکمیل نماید. این روند در سنین بالاتر نیز در شکل مشاهده می‌شود. پس، افزودن PAA تا ۲۰ درصد باعث افزایش مقاومت فشاری در سنین بالا می‌شود. دلیل

10 Alkali activation

11 Si

شکل ۱۰. سرعت پالس اولتراسونیک مخلوطهای بتن

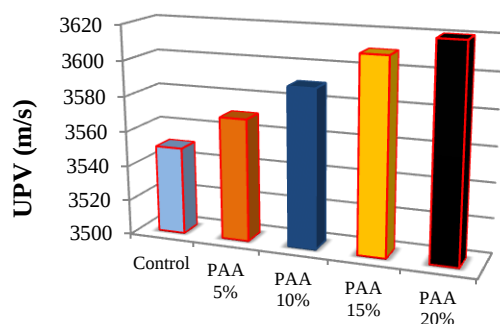


Fig. 10. UPV of control and PAA samples

آزمایش های سرعت پالس اولتراسونیک با مقاومت فشاری بیانگر نتایج واحدی هستند. بطوریکه افزایش سرعت پالس اولتراسونیک نمونه حاوی ۲۰ درصد پوزولان، نشان می دهد که تراکم بتن بیشتر شده است که همین نتیجه هم در افزایش مقاومت فشاری نمونه حاوی ۲۰ درصد پوزولان، (شکل (۹)) حاصل شده است.

۴-۴- تصاویر ساختار میکروسکوپی با SEM

تصاویر از ساختارها در ابعاد کوچک با دستگاه میکروسکوپ الکترونی (SEM) در شکل های (۱۱، ۱۲) نشان داده شده است. شکل (۱۱) تصاویر ساختار میکروسکوپی نمونه کنترل و شکل (۱۲) نمونه های حاوی پوزولان PAA را نشان می دهد. در شکل (۱۱)، مقدار زیادی تخلخل^{۱۳}، ترک های ریز^{۱۴}، هیدورکسید کلسیم (C-H)، ژل منسجم^{۱۵} و قسمتی مواد عمل نشده^{۱۶} مشخص است. قسمت مواد عمل نشده در اثر بیش از اندازه بودن آهک سیمان و بعضی از مواد سیمانی باقی مانده، حاصل می شود [25]. شکل هیدورکسید کلسیم C-H معمولاً به صورت بلورهای شش وجهی مجزا است [24] که بصورت صفحه ای بر اساس فضای موجود در خمیر سیمان، حرارت هیدراتاسیون و ناخالصی موجود در خمیر سیمان، تغییر می کند. نقش C-H به علت کم بودن نیروی واندروالسی

دیگر این امر این است، که با توجه به شکل (۳)، فاز غیر متبلور و خاصیت پوزولانی در PAA دیده می شود.

شکل ۹. مقاومت فشاری نمونه های بتن کنترل و حاوی پوزولان PAA

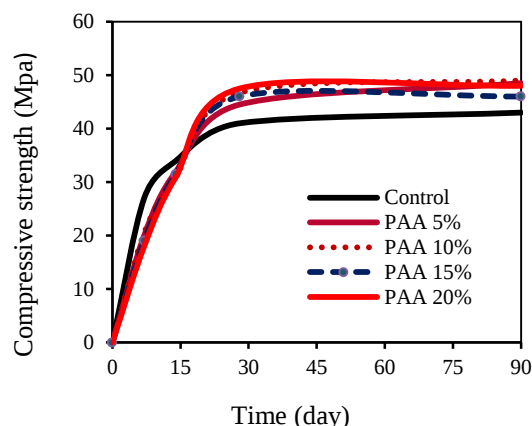


Fig. 9. Compressive Strength of control and PAA samples

۴-۳- سرعت پالس اولتراسونیک

با استفاده از دستگاه غیر مخرب آلتراسونیک (UPV^{۱۲}) سرعت پالس اولتراسونیک محاسبه شد. سرعت پالس اولتراسونیک برای مخلوط های بتنی ۲۸ روزه در شکل (۹) رسم شده است. مشاهده می شود که به کارگیری پوزولان PAA منجر به افزایش سرعت پالس اولتراسونیک شده است که این نشان می دهد ترک ها و تخلخل نمونه های بتنی می توانند در اثر عمل پوزولانی پر شده باشند. مثلاً استفاده از ۲۰ درصد پوزولان PAA در بتن باعث می شود که سرعت پالس نسبت به نمونه کنترل افزایش داشته باشد. کمترین مقدار سرعت پالس در بین نمونه های بتنی پوزولانی، مربوط به نمونه ۵ درصد پوزولان PAA است و بیشترین سرعت پالس مربوط به نمونه ۲۰ درصدی است که مقدار آن ۳۶۲۰ متر بر ثانیه است. با توجه به شکل (۱۰)، سرعت پالس اولتراسونیک در نمونه های حاوی پوزولان نسبت به نمونه کنترل افزایش یافته است. پس پوزولان PAA تخلخل و ترک ها را پر می کند و همچنین ژل C-S-H بیشتری تولید می کند.

13 Pores
14 Micro- cracks
15 Dense gel
16 matrix Un-reacted

12 Ultrasonic pulse velocity

شکل ۱۱. تصاویر از ساختارها نمونه کنترل در ابعاد کوچک با دستگاه



Fig. 11. SEM Images of control sample

شکل ۱۲. تصاویر از ساختارها نمونه های حاوی پوزولان PAA با

دستگاه میکروسکوپ الکترونیکی SEM

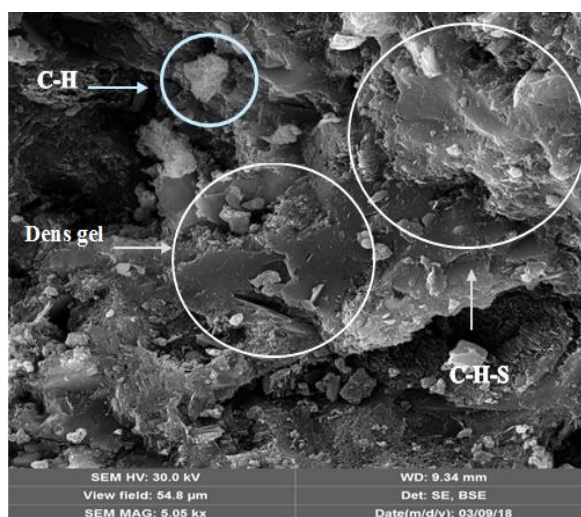


Fig. 12. SEM Images of PAA sample

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، برای اولین بار، پوزولان خاکسترمیوه درخت بنه به منظور جایگزینی درصدی از سیمان در بتن معرفی شده است. ترکیب مواد معدنی خاکسترمیوه درخت بنه توسط آزمایش تشعشع انکسار ایکس (XRD) و تصاویر ساختار میکروسکوپی با دستگاه میکروسکوپ الکترونی (SEM) برای ارزیابی به عنوان پوزولان بررسی شده است. در این مطالعه ویژگی های بتن روی مخلوط های بتن ساخته شده با درصدهای متفاوتی خاکسترمیوه درخت بنه (۵، ۱۰،

در مقاومت بتن محدود است و دلیل آن مساحت سطح کم آن است. همچنین نقش C-H بر دوام شیمیایی بتن در برابر اسیدها به دلیل حلالیت زیاد، تاثیر نامطلوب دارد. هیدروکسید کلسیم C-H در مجاورت آب همراه با مواد پوزولانی می توانند تبدیل به هیدرات سیلیکات کلسیم (C-S-H) شوند و مقاومت فشاری را بالا برده و موجب بهبود ریز ساختار بتن و در پی آن، بهبود خواص آن شده است [26]. در شکل (۱۲) پوزولان PAA، تخلخل و ترک های کوچک را کاهش داده و موجب شکل گیری هیدرات سیلیکات کلسیم C-S-H ثانویه شده است. هیدرات سیلیکات کلسیم C-S-H ترکیبی است که محصول اصلی هیدراسیون سیمان پرتلند است و عامل عمده مقاومت سیمان و همه محصولات برپایه سیمان می باشد. این ساختار شامل فازهای نامنظم کریستالی است [16]. این مواد، ساختاری لایه ای با سطح زیاد دارند [13]. حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد حجم مواد جامد خمیر سیمان کاملاً هیدراته شده را هیدرات سیلیکات کلسیم C-S-H تشکیل می دهند [4]. شکل ذرات C-S-H از کریستالی ضعیف الیافی، تا شبکه های منسجم تغییر می کند [12]. به علت شکل کلونیدی و خوشه ای آن، بلورهای C-S-H تنها با دستگاه میکروسکوپی الکترونیکی قابل شناسایی دقیق است. در شکل (۱۲) مقدار بیشتری از بلورهای C-S-H نسبت به شکل (۱۱) دیده می شود. شکل های (۱۲، ۱۱) تأیید کننده نتایج قبل بوده و نشان می دهد که هیدروکسید کلسیم C-H در نمونه های دارای پوزولان به دلیل مصرف و واکنش با SiO_2 کمتر شده و ژل C-S-H بیشتری تولید کرده است. تصاویر ساختار میکروسکوپی با دستگاه میکروسکوپ الکترونیکی (SEM) نشان می دهد که پوزولان خاکسترمیوه درخت بنه، تخلخل و ترک های کوچک را کاهش داده است. نتایج آزمایش دستگاه میکروسکوپ الکترونیکی متناسب و موافق با آزمایش مقاومت فشاری است. به صورتی که کاهش تخلخل و ترک ها و ایجاد بیشتر هیدرات سیلیکات کلسیم، مشخص شده در عکس های آزمایش دستگاه میکروسکوپ الکترونیکی، نشان از افزایش مقاومت فشاری نمونه های حاوی پوزولان دارند.

References

۶. مراجع

- 1- Vays D., Vays M. C. & Pitroda J. 2014 Utilization of barley husk ash in clay bricks in aspect of indian context: A literature review. *International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering*, 4(1):61-68.
- 2- Luukkonen T., Abdollahnejad B., Yliniemi J., Kinnunen P. & Illikainen M. 2018 One-part alkali-activated materials: A review. *Cement and Concrete Research*, 103, 21-34.
- 3- Farzadnia N., Bahmani S. H., Asadi A. & Hosseini S. 2018 Mechanical and microstructural properties of cement pastes with rice husk ash coated with carbon nanofibers using a natural polymer binder. *Construction and Building Materials*, 175, 691-704.
- 4- Ahsan M. B. & Hossain Z. 2018 Supplemental use of rice husk ash (RHA) as a cementitious material in concrete industry. *Construction and Building Materials*, 178, 1-9.
- 5- Karim M. R., Zain M. F. M., Jamil M. & La F. C. 2013 Fabrication of a non using slag, palm oil fuel ash and rice husk ash with sodium hydroxide. *Construction and Building Materials*, 49, 894-902.
- 6- Hadi M. N. S., Yu T. & Al-Azzawi M. 2018 Effects of fly ash characteristics and alkaline activator components on compressive strength of fly ash-based geopolymers mortar. *Construction and Building Materials*, 175, 41-54.
- 7- Zhang M. H., & Islam J. 2012 Use of nano-silica to reduce setting time and increase early strength of concretes with high volumes of fly ash or slag. *Construction and Building Materials*, 29, 573-580.
- 8- Huang Y., He X., Wang Q. & Sun Y. 2018 Mechanical properties of sea sand recycled aggregate concrete under axial compression. *Construction and Building Materials*, 175, 55-63.
- 9- Khare A. & Tiw A. 2015 Investigation of strength of concrete containing locally available industrial and agriculture waste. *International Journal of Science and Research*, 4(5), 2319-7064.
- 10- Isaia G. C., Gastaldini A. L. G. & Moraes R. 2003 Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25, 69-76.

۱۵ و ۲۰ درصد وزن سیمان) برای جایگزینی در سیمان و مقایسه نتایج آنها با بتن کنترل (بدون خاکستر) بررسی شده است. خواص مکانیکی بتن تازه پوزولانی، ضریب الاستیسیته، مقاومت فشاری، سرعت پالس اولتراسونیک (UPV) و تصاویر ساختار میکروسکوپی با دستگاه میکروسکوپ الکترونیکی (SEM) با بتن کنترل (بدون پوزولان) مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد اسلامپ بتن تازه نمونه های حاوی پوزولان نسبت به نمونه کنترل کاهش یافته است.

نتایج نشان می دهد که بتن پوزولانی خاکستر میوه درخت بنه مدول ارتجاعی بیشتری نسبت به نمونه بتن کنترل دارد. همچنین، نمونه های حاوی پوزولان PAA با هر درصدی که اضافه شوند، مقاومت فشاری در سنین کم نسبت به نمونه های کنترل کاهش می یابد. همچنین، با استفاده از ۲۰ درصد خاکستر میوه درخت بنه، افزایش ۱۸/۳ درصدی مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه نسبت به نمونه بتن کنترل مشاهده شده است.

نتایج بدست آمده نشان می دهد که سرعت پالس اولتراسونیک در نمونه های حاوی پوزولان نسبت به نمونه کنترل افزایش یافته است. پس پوزولان PAA تخلخل و ترکها را پر می کند تصاویر ساختار میکروسکوپی با دستگاه میکروسکوپ الکترونیکی (SEM) نشان می دهد که پوزولان خاکستر میوه درخت بنه، تخلخل و ترک های کوچک را کاهش داده و موجب شکل گیری C-S-H بیشتری شده است.

نتایج آزمایش دستگاه میکروسکوپ الکترونیکی متناسب با آزمایش مقاومت فشاری است. به صورتی که کاهش تخلخل و ترکها و ایجاد بیشتر هیدرات سیلیکات کلسیم، مشخص شده در عکس های آزمایش دستگاه میکروسکوپ الکترونیکی، نشان از افزایش مقاومت فشاری نمونه های حاوی پوزولان دارند.

اعلام تعارض منافع

نویسنده (نویسندگان) اعلام می کنند که هیچ نوع تعارض منافع وجود ندارد.

- 22- Xu B., Lothenbach B. & Ma H 2018. Properties of fly ash blended magnesium potassium phosphate mortars: Effect of the ratio between fly ash and magnesia. *Cement and Concrete Composites*, **90**, 169-177.
- 23- Yang T., Zhu H., Zhang Z., Gao X., Zhang C. & Wu Q. 2018 Effect of fly ash microsphere on the rheology and microstructure of alkali-activated fly ash/slag pastes. *Cement and Concrete Research*, **109**, 198-207.
- 24- Hlaváček P., Šulc R., Šmilauer V., Rößler C. & Snop R. 2018 Ternary binder made of CFBC fly ash, conventional fly ash, and calcium hydroxide: Phase and strength evolution. *Cement and Concrete Composites*, **90**, 100-107.
- 25- Ibrahim D., Johari M. A. M., Rahman M. K. & Maslehuddin M. 2017 Effect of alkaline activators and binder content on the properties of natural pozzolan-based alkali activated concrete. *Construction and Building Materials*, **147**, 648-660.
- 26- Kawashima S., Hou P., Wang K., Corr D. J. & Shah S. P. 2013 Activation of fly ash through nanomodification. *Advances in Green Binder Systems* Dallas, TX, 1-11.
- 27- Heah C.Y., Kamarudin H., Mustafa A., Bnhussain M., Luqman M., Khairul N. I., Ruzaidi C. M. & Liew Y. M. 2012 Study on solids-to-liquid and alkaline activator ratios on kaolin-based geopolymers. *Construction and Building Materials*, **35**, 912-922.
- 11- Zhang S., Keulen A., Arbi K. & Ye G. 2017 Waste glass as partial mineral precursor in alkali-activated slag/fly ash system. *Cement and Concrete Research*, **102**, 29-40.
- 12- Moffatt E. G., Thomas M. D. A. & Fahim A. 2017 Performance of high-volume fly ash concrete in marine environment. *Cement and Concrete Research*, **102**, 127-135.
- 13- Branchn J. L., Epps R. & Kosso D. S. 2018 The impact of carbonation on bulk and ITZ porosity in microconcrete materials with fly ash replacement, *Cement and Concrete Research*, **103**, 170-178.
- 14- Yu J., Mishra D. K. & Wu C. 2018 Very high volume fly ash green concrete for applications in India. *Waste Management and Research*, **36**(6), 520-526.
- 15- Chakraborty A. & Goswami A. 2015 Conservation of environment by using fly ash and rice husk ash as a partial cement replacement in concrete. *Journal of Energy Research and Environmental Technology*, **(1)**, 9-11.
- 16- Jung S. H., Saraswathy V., Karthick S., Kathi P. & Kwon S. J. 2018 Microstructure characteristics of fly ash concrete with rice husk ash and lime stone powder. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, In Press, 12-17.
- 17- Mehta P. K. 1999 Advancements in concrete technology. *Concrete International Detroit*, **21**, 69-76.
- 18- Vishwakarma V. & Ramachandran D. Green 2018 Concrete mix using solid waste and nanoparticles as alternatives – A review. *Construction and Building Materials*, **162**(20), 96-103.
- 19- Prasada Rao D. V. & Navaneethamma V. 2016 Influence of nano-silica on strength properties of concrete containing rice husk ash. *International Journal of Advanced Research*, **3**(1), 39-43.
- 20- Salih M. A., Ali A. A. A. & Farzadnia N. 2014 Characterization of mechanical and microstructural properties of palm oil fuel ash geopolymer cement paste. *Construction and Building Materials*, **65**, 592-603.
- 21- Li N., Farzadnia N. & Shi C. 2017 Microstructural changes in alkali-activated slag mortars induced by accelerated carbonation. *Cement and Concrete Research*, **100**, 214-226.

Effect of Pistacia Atlantica Ash on concrete

Shahriar Shahbazpanahi

Department of Civil Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Kurdistan, Iran

sh.shahbazpanahi@gmail.com

Abstract

Concrete is the most used building material in the world. Many studies have targeted concrete due to its numerous benefits over other building materials. Being a moldable and rather cheap building material, it has provided good motives for engineers to further investigate the mechanical and microstructural properties of concrete with the incorporation of different kinds of additives. To do so, waste materials admixtures were suggested into the matrix to lessen the amount of cement through cement replacement as Pozzolanic mineral admixtures. These admixtures are used in concrete to enhance the mechanical properties. Waste materials not only reduces the cement content but enhances the qualities of concrete such as mechanical and the microstructural properties. However, only limited amounts of replacement were suggested. In this research, a new waste material is introduced to use in concrete as a pozzolanic material. In this paper, for the first time, Pistacia Atlantica Ash is used into the matrix of concrete to reduce the amount of cement and then, the effects of Pistacia Atlantica Ash on the concrete are investigated. Pistacia atlantica is a species of wild pistachio tree. In Iran, it is called Baneh or Van.

Fruit of Pistacia Atlantica is collected from the Saghez city located in north Kurdistan, Iran. The fruit of Pistacia Atlantica is first burned at 500 °C for 3 hours. Then, Pistacia Atlantica Ash is sieved. Cement is replaced Pistacia Atlantica Ash. To do so, 5, 10, 15 and 20% Pistacia Atlantica Ash is admixed in the concrete samples. The Water to cement (W/c) ratio are kept constant at 0.45 for the entire mixes. Amount of aggregates are kept constant for all series of mixes. All of the samples are cured in water. Four design mixes of Pistacia Atlantica Ash separately are casted for compression tests, slump, modulus of elasticity, ultrasonic pulse velocity (UPV), and microstructural properties. The compressive strength of samples at ages of 7, 14, 28, and 90 days are recorded. Cement replacement with Pistacia Atlantica Ash decreased the early age compressive strength. However, the compressive strength in the specimens increased in the course of time. The target compressive strength of control samples is set to be 39MPa at 28 days. Compressive strength of samples with 20% Pistacia Atlantica Ash is improved up to 18.3% at 28 days.

One of the major findings is that concrete that incorporates twenty percent of Pistacia Atlantica Ash weight of cement showed better mechanical properties. Concrete slump in the specimens are considerable decreased comparing to the control samples. The replacement of Pistacia Atlantica Ash with cement increased the elastic modulus. Also, scanning electron microscopy (SEM) results showed that admixing Pistacia Atlantica Ash led to improvement in the microstructure, and pozzolanic behavior of mixtures. The results from microstructural analysis are conclusive that C-S-H formation increased when of Pistacia Atlantica Ash is added to the samples. In general, the results are conclusive that the addition of 20% Pistacia Atlantica Ash enhances the properties of concrete such as compressive strength modulus of elasticity and density of microstructure.