



The use of human hair as a fiber reinforcement in construction of concrete

Hosein Hosein Janzadeh^۱, Hassan Divandari^۱, Keramat Mahdavi^{۲*}

^۱- Department of Civil Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran

^۲- Department of Civil Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran

*^۲- MSC.Student, Department of Civil Engineering, Noshahr Branch Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Iran

In the last two decades, the increase in quality and strength in new concrete technology has grown significantly. One of the new generation concretes that is considered as a powerful and efficient concrete in the construction industry today is fiber concrete, which has improved mechanical properties such as higher tensile strength and even improved compressive strength. This concrete, which has a compressive strength in a range of ۱۵ to ۲۰۰ MPa, is mainly used in the construction of structures resistant to dynamic loads and thin walls, and its use in new construction projects has a high potential. In the present study, the role of human hair as fibers in reinforcing concrete and the characteristics of hardened concrete have been investigated and its details have been studied from the point of view of mechanical characteristics. For this purpose, ۶ types of mixing schemes with different percentages of crushed hair (۰-۱-۲-۳-۴ and ۵% by volume) were considered and the desired mixtures were reached and molded with the help of lubricant. Tests of compressive strength, tensile strength, modulus of elasticity, and water absorption were performed to evaluate the mechanical and physical properties of concrete. The results of compressive strength of the samples showed that ۲% of the consumed hair caused a ۹.۸% increase in compressive strength compared to the control design. Tensile strength also increased by ۳۴.۳% in the same percentage of consumption compared to the control design. The modulus of elasticity increased by ۸.۶۵% in ۱% of hair consumed and then decreased. Water absorption had an increasing trend and in ۲% consumption, showed a ۲۴.۲% increase compared to the control.

Keywords: Fiber concrete, human hair, recycling, green concrete, fibers



www.cpjournals.com

نشریه عمران و پروژه Civil & Project Journal(CPJ)

امکان سنجی استفاده از موی سر انسان به عنوان الیاف در ساخت بتن

حسین حسین جانزاده^۱، حسن دیوانداری^۲، کرامت مهدوی^{۳*}

۱- گروه عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران

Hossein_hj@ymail.com

۲- گروه عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران

h.divandari@gmail.com

*۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران

keramatmahdavi223@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

چکیده

در دو دهه ی اخیر، افزایش کیفیت و مقاومت در فن آوری بتن های جدید، رشد چشمگیری داشته است. یکی از بتن های نسل جدید که امروزه به عنوان بتنی توانمند و کارآمد در صنایع عمرانی محسوب می شود، بتن الیافی می باشد که دارای مشخصات مکانیکی بهبود یافته همچون مقاومت کششی بالاتر و حتی مقاومت فشاری ارتقا یافته می باشد. این بتن که دارای مقاومت فشاری در انواع محدوده ها از ۱۵ تا ۲۰۰ مگاپاسکال می باشد، عمدتاً در ساخت سازه های مقاوم در برابر بارهای دینامیکی و جدار نازک کاربرد یافته و گسترش مصرف آن در پروژه های عمرانی جدید، پتانسیل بالایی دارد. در پژوهش حاضر به بررسی نقش موی انسان به عنوان الیاف در تسلیح بتن و مشخصات بتن سخت شده پرداخته شده و از نقطه نظر مشخصات مکانیکی، جزئیات آن مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ۶ نوع طرح اختلاط با درصد های مختلف موی خرد شده (۰-۱-۲-۳-۴ و ۵ درصد حجمی) در نظر گرفته شده و مخلوط های مورد نظر با کمک روان کننده به روانی مشابهی رسیده و قالبگیری شدند. آزمون های مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته، و جذب آب جهت ارزیابی مشخصات مکانیکی و فیزیکی بتن انجام شد. نتایج مقاومت فشاری نمونه ها نشان داد که درصد ۲ موی مصرفی، ۹.۸٪ افزایش مقاومت فشاری نسبت به طرح شاهد ایجاد نمود. همچنین مقاومت کششی در همین درصد مصرفی ۳۴.۳٪ نسبت به طرح شاهد افزایش یافت. مدول الاستیسیته در درصد ۱ موی مصرفی، ۸.۶۵٪ افزایش از خود نشان داد و پس از آن با کاهش همراه بود. جذب آب روندی افزایشی داشت و در درصد ۲ مصرفی، ۲۴.۲٪ افزایش نسبت به شاهد از خود نشان داد.

کلمات کلیدی: بتن الیافی، موی انسان، بازیافت، بتن سبز، الیاف

۱- مقدمه

بهبود کیفیت بتن از موضوعاتی است که محققان در تلاش هستند تا نقاط کور در مسیر آن را با روش‌ها و افزودنی‌های نوین از بین ببرند و قابلیت‌ها و مشخصات مطلوب این کامپوزیت پرکاربرد را افزایش دهند. برای همین امر در این چند دهه انواع متنوعی از بتن‌های جدید بوجود آمده و هم‌چنین ویژگی آن‌ها بهبود یافته است. امروزه بتن‌گزینه‌ای قابل اعتماد برای ساخت بسیاری از سازه‌های کوچک و بزرگ محسوب می‌گردد، به طوری که آن را به عنوان مهم‌ترین ماده‌ی ساختمانی موجود با کاربری فراگیر در تمام دنیا می‌شناسیم. کیفیت فیزیکی و مکانیکی بتن ارتباط تنگاتنگی با فن‌آوری‌های اختلاط، ترکیب اجزا، سیستم حمل و نگهداری، پرداخت و عمل‌آوری دارد. دقت در اعمال دستورالعمل‌های ابلاغ شده توسط متخصصین و کیفیت روش‌های اجرایی و نگهداری در سنین اولیه، تأثیر چشمگیری در کیفیت و دوام بتن سخت شده خواهد داشت. از مهمترین و شاخص‌ترین ویژگی‌های بتن می‌توان مقاومت فشاری و خمشی آن را نام برد که به نوعی تمام پارامترهای فیزیکی و مکانیکی دیگر این کامپوزیت دانه‌ای با آن ارتباط مستقیم دارند. روش‌های مختلفی برای ارزیابی و سنجش مقاومت مکانیکی بتن به کار برده می‌شود. یکی از متداول‌ترین آزمایشها، آزمون مقاومت فشاری می‌باشد که استفاده از نمونه‌های استاندارد مکعبی برای این آزمون بسیار رایج است و نتایج آن مستقیماً به عنوان مقاومت مشخصه بتن در نظر گرفته می‌شود. آنچه در این تحقیق حائز اهمیت است، ایجاد رابطه‌ای بین الیاف و تأثیر آنها بر مشخصات مکانیکی متعارف بتن همچون مقاومت فشاری و خمشی است که تأثیر الیاف در این پژوهش به صورت خاص مدنظر قرار گرفته است.

۲- پیشینه تحقیق

مینگ ژ^۱ و همکاران، تأثیر اندازه‌ی نمونه‌های مکعبی ۵۰، ۷۰/۷، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متری را بر روی مقاومت بتن الیافی، و هر کدام را در سه حالت ۰، ۱ و ۲٪ الیاف فولادی (نسبت به حجم) مورد بررسی قرار داده‌اند. برای هر کدام از سه حالت ذکر شده، ۱۲ نمونه‌ی ۵۰ میلی‌متری، ۱۲ نمونه‌ی ۷۰/۷ میلی‌متری، ۱۲ نمونه‌ی ۱۰۰ میلی‌متری و ۶ نمونه‌ی ۱۵۰ میلی‌متری را مورد آزمایش قرار دادند. متوسط مقادیر مقاومت‌ها به دست آمد و پس از رسم نمودارها مشخص شد که هر چقدر اندازه نمونه‌ها بزرگ‌تر شود، مقاومت آن کاهش می‌یابد و این امر با بتن معمولی و بتن با کارایی بالا هم‌خوانی دارد (Ming, Zhang, Yi, ۲۰۰۸). یونشنگ^۲ و همکاران، بتن^۳ GRPC (علت این نامگذاری در مقاله ذکر نشده) با مقاومت فشاری ۲۰۰ MPa ساختند؛ و همچنین رفتار دینامیکی و استاتیکی آن را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق آنان هزینه‌ی بتن حدود ۵۰ تا ۶۰٪ کاهش یافته است. نتایجی که گرفته شد این بود که هزینه‌ی ساخت و صرف‌انرژی برای بتن GRPC کم‌تر است و اجرای آن ساده‌تر و پتانسیل زیادی در مهندسی عمران برای ساخت پل‌ها و هم‌چنین مهندسی نظامی دارد. اضافه کردن ۴٪ الیاف فولادی مقاومت فشاری را حدود ۳۰ تا ۵۰ MPa افزایش داده است. هم‌چنین این بتن با عمل‌آوری استاندارد ۹۰ روزه، بخار و اتوکلاو به مقاومت فشاری ۲۰۰ MPa رسیده است (Zhang, Sun, Liu, Jiao, Lai, ۲۰۰۸). یازیکی^۴ و همکاران، مشخصات مکانیکی (مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و دوام) بتن الیافی، که خاکستر بادی و سرباره‌ی آسیاب شده (GGBFS^۵) به آن اضافه شد، و تحت عمل‌آوری‌های مختلف قرار گرفته است را مورد بررسی قرار دادند. در واقع هدف اصلی آن‌ها کاهش مصرف سیمان و میکروسیلیس، و هم‌چنین کاهش هزینه‌های ساخت بتن الیافی و به حداقل رساندن عیب‌های ناشی از مصرف زیاد سیمان (حرارت هیدراسیون، افت و مشکلات زیست‌محیطی) بوده است (Halit, Mert ucel, Serdar, Anil, ۲۰۰۹). ایپک^۶ و همکاران، تأثیر فشار قبل از گیرش بتن را بر روی مشخصات مکانیکی بتن الیافی، مورد بررسی قرار دادند. از دو نوع ماسه کوارتز (با حداکثر بعد ۰/۶ و ۰/۳ میلی‌متر) و یک نوع پودر کوارتز (با حداکثر بعد ۰/۱ میلی‌متر) استفاده شده است. طی آزمایشاتی، مقدار بهینه الیاف فولادی (۴٪ حجم بتن) و هم‌چنین عمل‌آوری مناسب که منجر به بیشترین مقاومت فشاری شدند را به دست آوردند (Metin, Kemalettin, Mansur, ۲۰۱۱). بانتیا و همکارانش (Banthia, Majdzadeh, Wu, Bindiganavile, ۲۰۱۴)، اثر الیاف ترکیبی را بر روی ویژگیهای مکانیکی بتن (خمش و برش) مورد بررسی قرار دادند. آنها از ترکیب الیاف برای بهبود مشخصات مکانیکی بتن بهره‌جستند و مشخصه‌های رفتاری

^۱ Ming-zhe

^۲ Yunsheng

^۳ Green Reactive Powder Concrete

^۴ Yazici

^۵ Ground Granulated Blast Furnace Slag

^۶ Ipek

در بارگذاری های مختلف را مورد ارزیابی قرار دادند. عباس و همکارانش (Abbas, Soliman, Nehdi, ۲۰۱۵) اثر طول و درصد های مختلف الیاف فولادی را بر مشخصات مکانیکی و دوام بتن های الیافی مورد بررسی قرار دادند که از منظر ویژگی های مکانیکی، نمونه های را بررسی نموده و تأثیر هندسه بر رفتار بتن را در قالب گزارش ارائه نمودند.

کینگ و همکارانش (Kang, Choi, Koh, Lee, Lee, ۲۰۱۶) تأثیر چهار نوع الیاف مختلف را بر مشخصات مکانیکی بتن های الیافی مورد مطالعه قرار دادند. آنها با ارزیابی اثر الیاف بر رفتار بتن و مقایسه آنها با یکدیگر به بهینه سازی و انتخاب مهندسی الیاف در کاربردها و مشخصات مکانیکی مورد نظر پرداختند. جین و همکارش (Jain, Kothari, ۲۰۱۲) با مطالعه بر روی رفتار بتن مسلح شده با موی انسان، اولین پژوهشگرانی بودند که رفتار این نوع خاص از بتن الیافی را که به نوعی بتن بازیافتی محسوب می شد مورد ارزیابی قرار دادند. آنها از موی انسان به عنوان الیافی با ماندگاری بالا و تجزیه ناپذیری قابل توجه استفاده نموده و شاهد بهبود مشخصات مکانیکی بتن بودند.

همچنین در پژوهش دیگری توماس و همکارش (Tomas, Ganiron, ۲۰۱۴) در مطالعات خود به بررسی اثر همزمان موی انسان و سیمان بر مقاومت آسفالت پرداختند و از نقطه نظر رفتار مکانیکی، مشخصات آن را مورد بررسی قرار دادند. بهبود مشخصات مکانیکی آسفالت های ساخته شده با این افزودنی ها در نتایج تحقیق آنان مشاهده گردید.

باتبی و همکاران (Batebi, Mirzagoltabar, Shabanian, Fateri, ۲۰۱۳) به بررسی تغییرات انقباض بتن حاوی موی انسان پرداختند و مطالعه آنان به نتایج مثبتی در زمینه کاهش انقباض در اثر استفاده از مو به عنوان الیاف منجر گردید. آنها دریافتند که درصد های مصرفی بیش از ۱ نسبت به حجم بتن می تواند در کاهش انقباض بتن به شکل قابل توجهی موثر باشد. نیلا و همکاران (Nila, Raijan, Susmitha, Babu, ۲۰۱۵) در تحقیق دیگری به مطالعه تأثیر الیاف به عنوان مسلح کننده در بتن پرداختند. آنها درصد های بالایی از مو را تا ۲٪ وزن سیمان به کار برده و همچنین بیان داشتند که استفاده از الیاف کوتاه در درصد های بالاتر نیز خللی در کارکرد بتن تازه و مشخصات بتن سخت شده وارد نخواهد کرد. خانصاحب (Khansaheb, ۲۰۱۵) در پژوهش خود از خاکستر ساقه نیشکر به عنوان پوزولان در کنار مو استفاده کرده و بتن الیافی-پوزولانی سبز را ساخته و مورد آزمایش قرار داد. او همچنین بیان داشت که افزودن این مواد به افزایش قابل توجه مشخصات مکانیکی همانند مقاومت فشاری و کششی دو نیم شدن (اسپلیت) انجامیده است. نیلا و همکاران (Nila, Raijan, Susmitha Antony, Babu, ۲۰۱۵) در تحقیق دیگری با بررسی ابعاد مدیریتی و تأثیرات اقتصادی مصرف موی انسان در بتن به جنبه فنی-اقتصادی آن پرداخته و نتایج خود را در قالب مقاله منتشر نمودند. آنان بیان داشتند که علاوه بر بهبود مشخصات بتن، این روش می تواند گزینه ای ارزشمند برای مدیریت ضایعات مو و پسماندهای آن در طبیعت باشد. سریوانی و آجیتا (Sreevani, Ajitha, ۲۰۱۷) نیز در تحقیقی مستقل درصد های مختلف الیاف تا حجمی را مورد مطالعه قرار دادند که بهترین نتیجه با بالاترین درصد به دست آمد. هرچند در چنین حالتی نمی توان این درصد را به عنوان بهینه بیان نمود اما تحقیق آنان بیانگر پتانسیل مصرف مو به عنوان الیاف در درصد های بالاتر می باشد.

۳- مصالح مصرفی

۳-۱- سیمان

در این تحقیق با توجه به استاندارد (ASTM C150) (www.astm.org, ۲۰۲۰) از سیمان تیپ ۲ هگمتان برای ساخت نمونه های بتنی استفاده شد. سیمان تیپ ۲ پر مصرف ترین سیمان در پروژه های تحقیقاتی و اجرایی در کشور محسوب می شود. جدول (۳-۱) ترکیب شیمیایی سیمان استفاده شده را نشان می دهد.

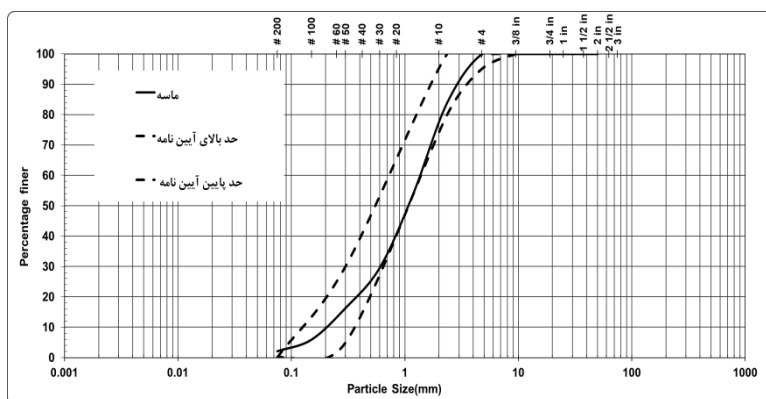
جدول ۱: ترکیب شیمیایی سیمان

ترکیبات	درصد تشکیل دهنده
CaO	۶۴.۳۲
SiO ₂	۲۱.۰۸
Al ₂ O ₃	۵.۳۶
Fe ₂ O ₃	۳.۶۴
MgO	۱.۷

۰.۸۲	K ₂ O
۰.۳	Na ₂ O
۱.۶	SO ₃
-	C
۰.۲۸	IR ^۱
۰.۹	L.O.I ^۲

۳-۲- ماسه

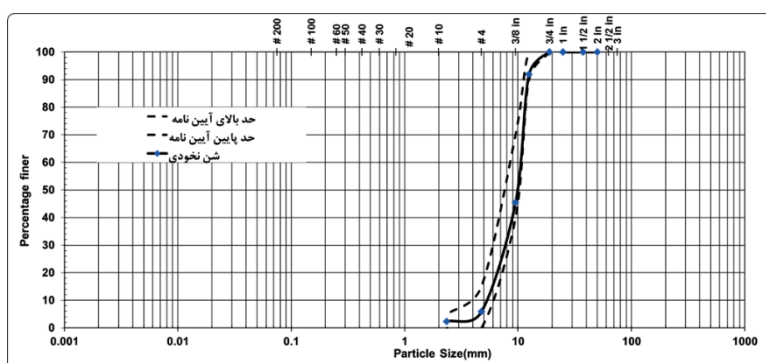
در این تحقیق از ماسه رودخانه ای بستر سفیدرود به عنوان ریزدانه استفاده شد. دانه بندی این ماسه مطابق با استاندارد ASTM C۷۷۸ (Conshohocken, PA, ۲۰۱۷) بود. شکل ۱ دانه بندی مورد استفاده را نشان می دهد.



شکل ۱: دانه بندی ماسه

۳-۳- شن

از شن رودخانه ای با هندسه سطح شکسته برای این تحقیق استفاده شد. دانه بندی شن مورد استفاده مطابق با استاندارد ASTM C۳۳ (www.astm.org، ۲۰۱۸) بود در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: دانه بندی شن

جدول ۲: مشخصات فیزیکی مصالح سنگی مصرفی

اندازه کمیت مورد نظر	خواص فیزیکی	نوع سنگدانه
		درشت دانه

^۱Insoluble Residue

^۲Loss On Ignition

وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	۲.۶۵
جذب آب (%)	۰.۹
وزن واحد حجم (چگالی) (kg/m ³)	۱۶۵۰
ماکزیمم سایز (میلیمتر)	۱۲.۵
ریز دانه	
وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	۲.۶
ارزش ماسه ای	۸۹
جذب آب (%)	۱.۳
مدول نرمی	۲.۸۹

۳-۴- فوق روان کننده

فوق روان کننده ی مورد استفاده با نام تجاری FARCO PLAST P10-3R محصول شرکت شیمی ساختمان و بر پایه ی پلی کربوکسیلات های اصلاح شده مطابق با استاندارد (ASTM C494) (www.astm.org ۲۰۱۹) می باشد. این محصول با خاصیت حفظ اسلامپ بتن در زمان های طولانی تولید گردیده است.

۳-۵- موی سر

موی سر انسان که به مقدار مورد نیاز از یک آرایشگاه مردانه تهیه گردید پس از ضد عفونی و خشک کردن با قیچی و به طول تقریبی سه سانتیمتر برش داده شد و بر اساس درصد وزن سیمان مصرفی در مخلوط استفاده شد.



شکل ۳: نمونه ای از موی خرد شده به طول تقریبی ۳ سانتیمتر

۳-۶- طرح اختلاط

در این تحقیق ۶ طرح ساخته شد و جهت ارزیابی میزان دقیق فوق روان کننده مورد نیاز، فوق روان کننده در بخش کمی از آب حل شده و به تدریج تا رسیدن به روانی مناسب اضافه گردید و مقادیر عنوان شده در جدول زیر بیانگر مقادیر تجربی به دست آمده در جریان ساخت می باشند.

جدول ۴: طرح های اختلاط ساخته شده

فوق روان کننده	الیاف	شن	ماسه	آب	سیمان	طرح
۰	۰	۱۰۳۰	۸۴۴	۱۷۵	۳۵۰	HF _۰
۰.۷	۳.۵	۱۰۳۰	۸۴۴	۱۷۵	۳۵۰	HF _۱
۱.۰۵	۷	۱۰۳۰	۸۴۴	۱۷۵	۳۵۰	HF _۲
۱.۷۵	۱۰.۵	۱۰۳۰	۸۴۴	۱۷۵	۳۵۰	HF _۳
۲.۱	۱۴	۱۰۳۰	۸۴۴	۱۷۵	۳۵۰	HF _۴

HF5	۳۵۰	۱۷۵	۸۴۴	۱۰۳۰	۱۷.۵	۲.۸
-----	-----	-----	-----	------	------	-----

۳-۷- ساخت، قالب گیری و عمل آوری

قالب‌های مورد نظر از قبل با پارچه تمیز و همچنین روغنکاری شده بودند. مخلوط‌های ساخته شده که دارای مقادیر متفاوتی مو به عنوان الیاف هستند، در سه لایه داخل قالب‌ها ریخته شده و هر لایه بر اساس استاندارد (ASTM C 192) متراکم گشت. پس از پر شدن قالب‌ها روی نمونه‌ها با پلاستیک پوشانده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت تمامی نمونه‌ها از قالب بیرون آورده و در شرایط استاندارد تا سن ۲۸ روز، عمل آوری شدند.

۳-۸- برنامه آزمایش

۳-۸-۱- مقاومت فشاری

این آزمایش بر اساس استاندارد BS-EN 12390-3 (BS EN 12390-3, 2017) انجام شد. نمونه‌های مکعبی با بعد ۱۵۰ میلی‌متر بعد از عمل آوری از حوضچه‌های آب بیرون آورده شده، با پارچه آب سطحی آنها گرفته شده و با دقت داخل جک بتن شکن قرار گرفتند. سه نمونه برای هر طرح اختلاط مورد آزمایش قرار گرفت و مقاومت میانگین به عنوان مقاومت فشاری گزارش شد.



شکل ۴: نمونه مقاومت فشاری در دستگاه جک بتن شکن

۳-۸-۲- مقاومت کششی دو نیم شدن

این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM C 496 (www.astm.org, 2017) بر روی نمونه‌های استوانه‌ای با طول ۳۰۰ میلی‌متر و قطر ۱۵۰ میلی‌متر انجام شد. نمونه‌های استوانه‌ای به صورت خوابیده داخل جک بتن شکن قرار گرفتند و نیروی فشاری به سطح جانبی استوانه وارد شد. در این حالت گرچه تارهای ابتدایی و انتهایی تحت فشار قرار می‌گیرند ولی قسمت اعظم نمونه تحت بار کششی یکنواخت قرار می‌گیرد و از آنجایی که بتن در کشش به مراتب ضعیف‌تر از فشار است، گسیختگی در تارهای کششی موجب شکست نمونه می‌شود.



Department of Civil Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran - ۳-۸-۳-مدول الاستیسیته

این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM C۴۶۹ (۲۰۱۴, www.astm.org) بر روی نمونه های استوانه ای با طول ۳۰۰ میلیمتر و قطر ۱۵۰ میلیمتر انجام شد. روش آزمایش به این صورت است که نمونه ها با سرعت تقریبی ۲.۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در دقیقه بارگذاری شده و تا ۴۰٪ بار نهایی، این روند ادامه می یابد. اندازه گیری ها برای اطمینان از صحت نتایج، تکرار شده و نتایج بر اساس داده های به دست آمده پردازش و در نهایت شیب بخشی از نمودار به عنوان مدول یانگ گزارش می گردد.



شکل ۶: آماده سازی نمونه جهت آزمون مدول الاستیسیته

۳-۸-۴-جذب آب نهایی

این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM C۶۴۲ (۲۰۱۳, www.astm.org) با تغییراتی صورت گرفت. به این شکل که نمونه های عمل آوری شده در سن مورد نظر پس از ۴۸ ساعت قرار گرفتن در گرمخانه، بیرون آورده شده و پس از توزین در حوضچه آب آهگ قرار گرفتند تا شرایط اشباع حاصل گردد. سپس با کنترل شرایط استاندارد و اطمینان از اشباع حداکثر، با خشک کردن سطح بتن، مجدداً وزن کشی شده و از اختلاف وزن خشک و اشباع، میزان جذب آب بتن محاسبه می گردد.

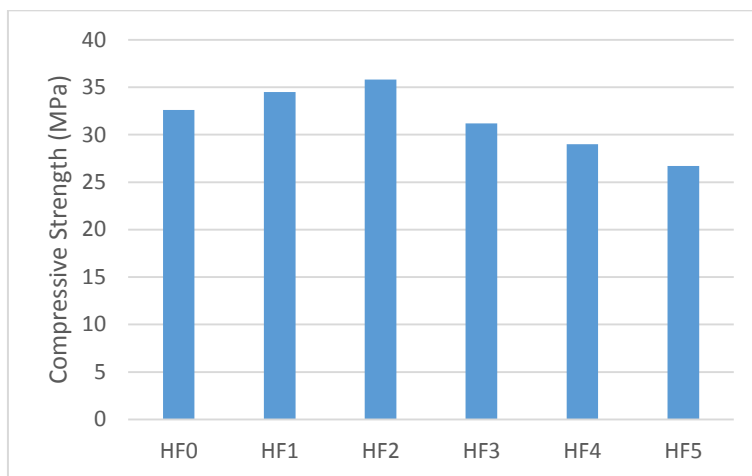


شکل ۷: گرمخانه و موقعیت نمونه درون آن

۴- نتایج

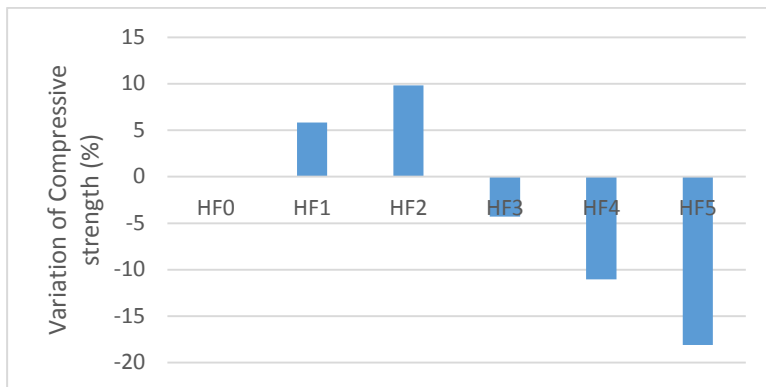
۴-۱- مقاومت فشاری

بر اساس شکل ۸ که مقاومت فشاری طرح های مختلف در سن ۲۸ روز (مقاومت فشاری مشخصه) به نمایش در آمده است، نقطه بیشینه ای را در درصد ۲ وزنی مصرف مو در بتن می توان مشاهده نمود که نسبت به طرح شاهد ۹.۸٪ افزایش نشان می دهد. این اثر مثبت نسبی که در نتایج مقاومت فشاری ظاهر گردیده است. می تواند بیانگر اثر مثبت تارهای مو در تقویت بافت بتن تا این نسبت مصرفی (و همسایگی آن) باشد.



شکل ۸: مقاومت فشاری طرح های اختلاط در سن ۲۸ روز

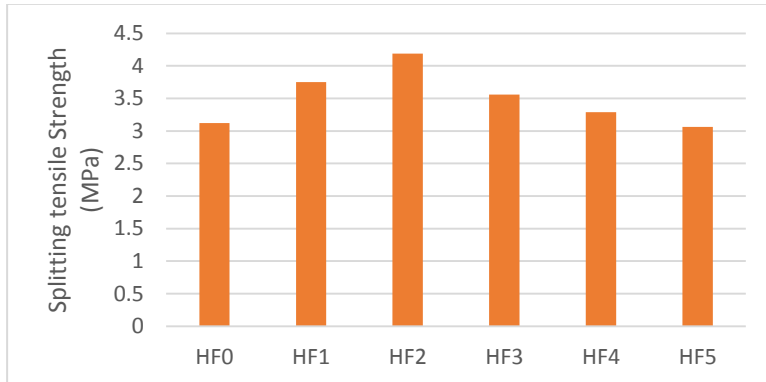
در شکل ۹ نتایج تغییرات مقاومت فشاری طرح های مختلف نسبت به مقاومت طرح شاهد (فاقد مو) به نمایش در آمده است. روند افزایشی تا درصد ۲ و کاهش با شیب تند با افزایش درصد مصرف مو، بیانگر درصد بهینه ۲ (بر اساس طرح های انتخابی) می باشد که اثر منفی الیاف را در دردهای بالاتر به نمایش گذاشته است. افزایش تخلخل ناشی از مصرف درصد بالاتر و همچنین ضعف ساختاری مو در بارگذاری فشاری و ایجاد پیوندهای ضعیف را در نهایت از عوامل اصلی کاهش مقاومت فشاری می توان نام برد.



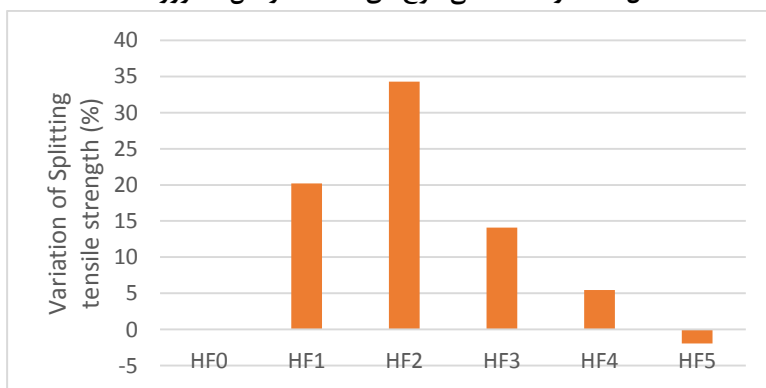
شکل ۹: تغییرات مقاومت فشاری نسبت به طرح شاهد

۴-۲- مقاومت کششی

در نتایج مقاومت کششی نیز درصد مصرف بهینه در درصد ۲ دیده می شود که با نتایج مقاومت فشاری همخوانی دارد و ۳۴.۳ درصد افزایش نسبت به شاهد دارد. هرچند از الیاف به صورت کلی انتظار می رود که اثر مثبت خود را در این نوع آزمون حتی در درصدهای بالاتر و در صورت کاهش مقاومت فشاری نیز حفظ نماید اما اثر منفی این نوع طبیعی از الیاف بر استحکام کششی آن ظاهراً غالب گشته است. بنابراین افت ناشی از درصدهای بالاتر به خوبی در نمودار ۱۰ قابل تشخیص است. از تغییرات مقاومت کششی در نمودار ۱۱ می توان دریافت که حتی با وجود اثر منفی درصد موی بیشتر در مقاومت فشاری، تا درصد ۴ وزنی نیز همچنان در مقاومت کششی اثر مثبت (۵.۴۵٪ نسبت به طرح شاهد) دیده می شود که این موضوع بسته به نوع کاربرد بتن و میزان حساسیت پروژه به مقدار و محدوده مقاومت فشاری، در تصمیم گیری جهت انتخاب طرح بهینه تاثیرگذار خواهد بود.



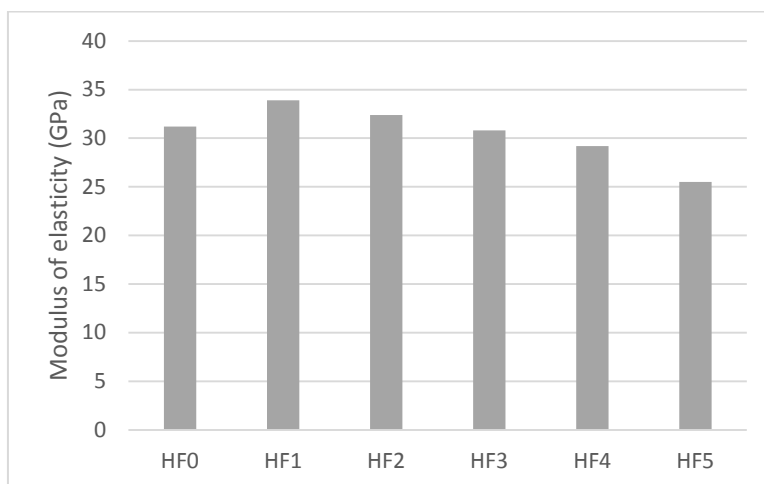
شکل ۱۰: مقاومت کششی طرح های اختلاط در سن ۲۸ روز



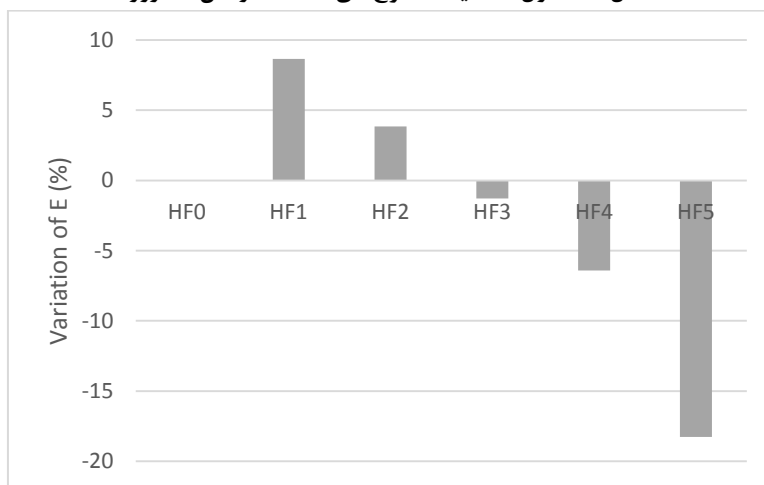
شکل ۱۱: تغییرات مقاومت کششی نسبت به طرح شاهد

۳-۴- مدول الاستیسیته

شکل ۱۲ که مدول کشسانی (الاستیسیته) بتن را برای طرح های مختلف نشان می دهد، حساسیت بیشتر این مشخصه به افزایش درصد مو را آشکار می سازد به گونه ای که در اولین درصد مصرف، بالاترین نتیجه که ۸.۶۵٪ افزایش نسبت به طرح شاهد حاصل شده و بلافاصله افت نتایج آغاز می گردد. هرچند درصد ۲ نیز مطابق شکل ۱۳ همچنان اثر مثبت را نشان می دهد اما روند کاهشی پس از آن شدت گرفته و می توان گفت که انعطاف پذیری ناشی از بالا رفتن درصد موی مصرفی را به نمایش گذاشته است.



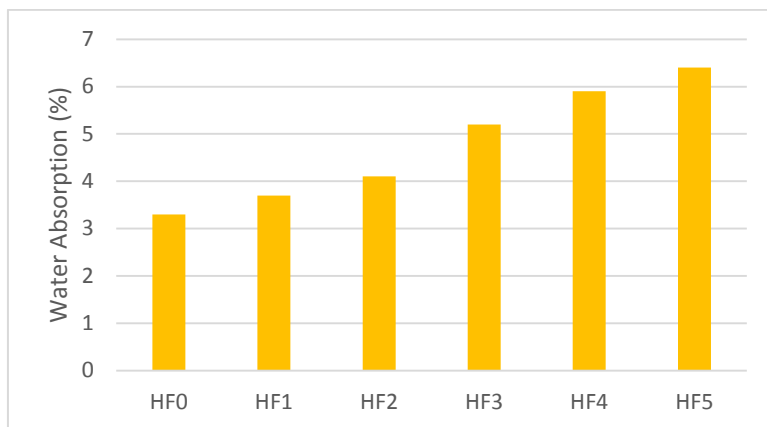
شکل ۱۲: مدول الاستیسیته طرح های اختلاط در سن ۲۸ روز



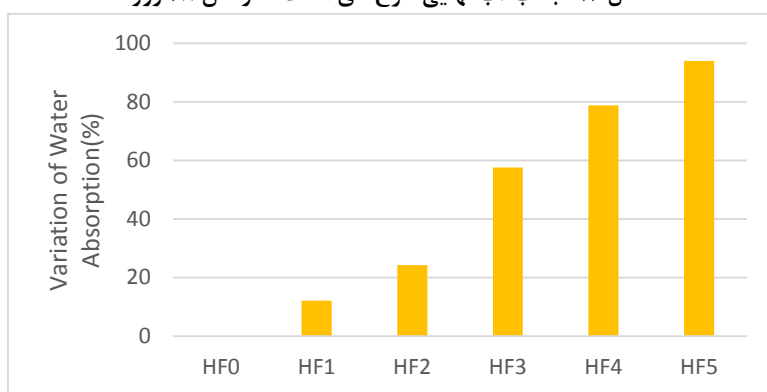
شکل ۱۳: تغییرات مدول الاستیسیته نسبت به طرح شاهد

۴-۴- جذب آب

میزان جذب آب بتن های حاوی مو در نگاه اول (شکل ۱۴) روندی کاملاً افزایشی دارد و اثر منفی مو از همان ابتدا کاملاً مشهود است که بخش عمده این رخداد را می توان به جذب آب و کشش مویینگی آب توسط تارهای مو نسبت داد. همچنین تخلخل ناشی از این افزودنی طبیعی عامل دیگری در افزایش میزان جذب آب محسوب می گردد. شیب رشد نتایج از درصد ۳ مصرفی تشدید شده و اختلاف نسبتاً قابل توجهی (شکاف) بین درصد ۲ و ۳ دیده می شود به گونه ای که از ۲۴.۲٪ افزایش جذب آب در درصد ۲ الیاف، در درصد ۳، این افزایش به عدد ۵۷.۶٪ می رسد که بیش از دو برابر جهش را نشان می دهد.



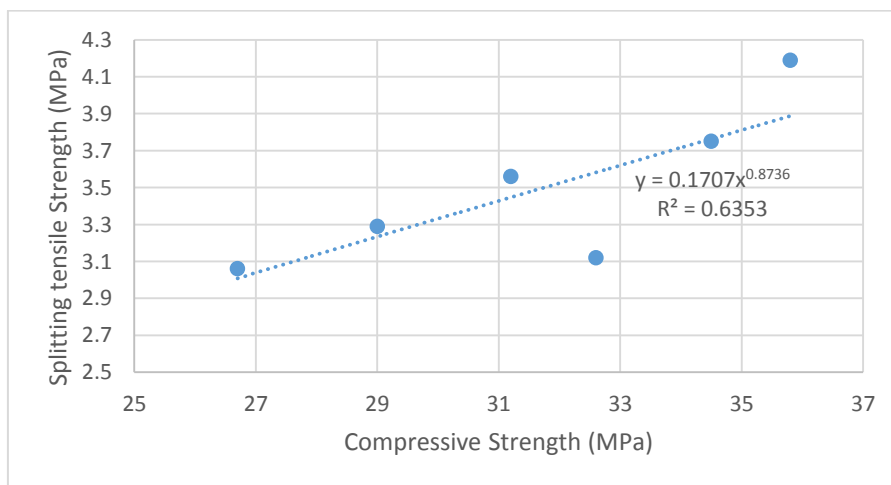
شکل ۱۴: جذب آب نهایی طرح‌های اختلاط در سن ۲۸ روز



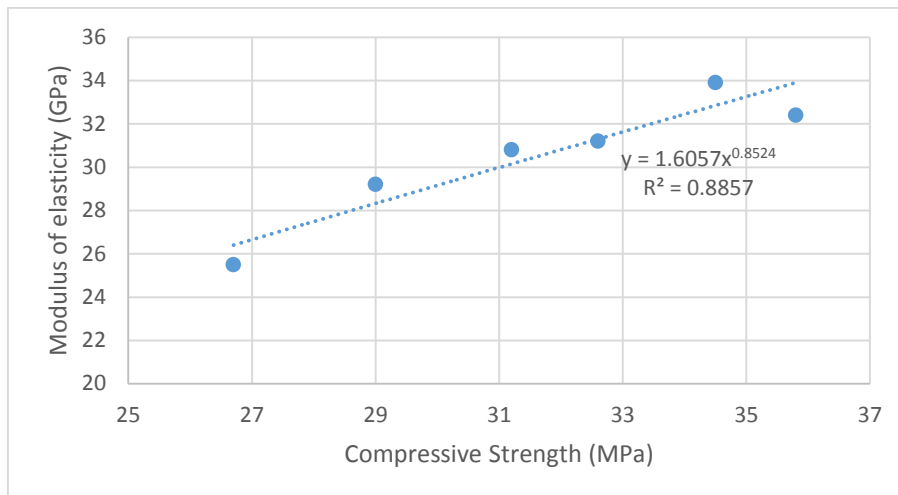
شکل ۱۵: تغییرات جذب آب نسبت به طرح شاهد

۴-۵- نمودارهای همبستگی

رابطه بین مقاومت فشاری و کششی که از نوع توانی تعریف شده است، با ضریب همبستگی ۰.۶۳٪ ارتباط معنی داری را به نمایش گذاشته است که البته طرح شاهد بیشترین نقش را در کاهش ارتباط نتایج ایفا می کند. به نظر می رسد افزودن مو به بتن، منجر به ایجاد اختلافی معنادار بین بتن های یابی و فاقد آن گشته است. از سوی دیگر ارتباط مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته به مراتب نزدیکتر بوده و ضریب نسبتا خوب ۰.۸۹٪ به دست آمده است و پراکندگی داده ها نسبت به خط برازش نیز بسیار کمتر است.

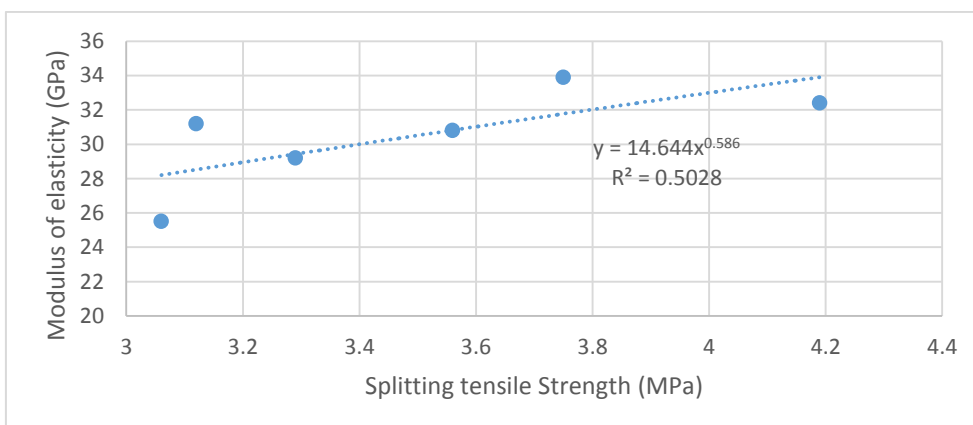


شکل ۱۶: همبستگی مقاومت فشاری و مقاومت کششی

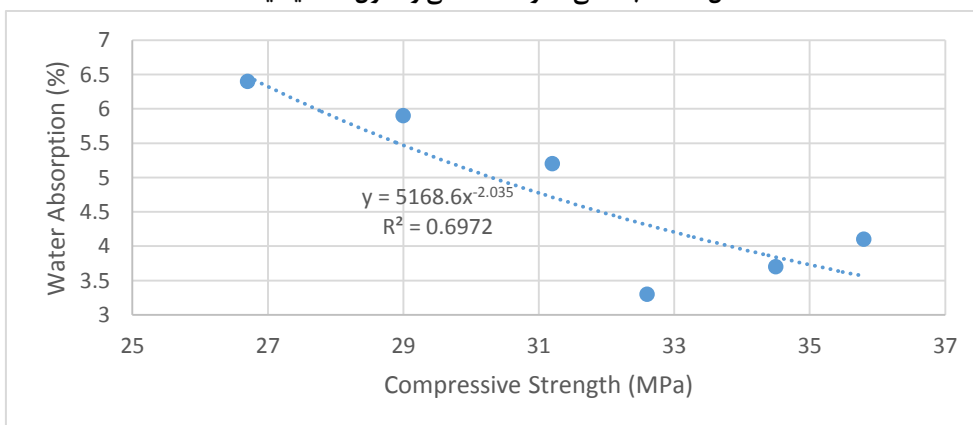


شکل ۱۷: همبستگی مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته

ارتباط مقاومت کششی و مدول الاستیسیته (از نوع فشاری) ضعیف تر از دو ارتباط قبلی بوده و تا ضریب ۵۰٪ کاهش یافته است. پراکندگی بیشتری نیز در فاصله نتایج تجربی و خط برازش دیده می شود که ارتباط ریاضی بین این دو دسته از نتایج را ضعیف تر می سازد. مقاومت فشاری و جذب آب نیز رابطه معکوس نسبتاً معناداری را نشان می دهند که با حذف طرح شاهد می توان روند قوی تری را مشاهده نمود.



شکل ۱۸: همبستگی مقاومت کششی و مدول الاستیسیته



شکل ۱۹: همبستگی مقاومت فشاری و جذب آب

۵- بحث در نتایج و نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده موارد زیر به بحث گذاشته شده اند:

- اثر مثبت نسبی که در نتایج مقاومت فشاری ظاهر گردیده است، می تواند بیانگر اثر مثبت تارهای مو در تقویت بافت بتن تا این نسبت مصرفی (و همسایگی آن) باشد که بیشینه آن ۹.۸٪ افزایش نسبت به طرح شاهد در درصد ۲ الیاف می باشد.
- در نتایج مقاومت کششی نیز درصد مصرف بهینه در درصد ۲ دیده می شود و ۳۴.۳٪ افزایش نسبت به شاهد دارد که با نتایج مقاومت فشاری همخوانی دارد. هرچند از الیاف به صورت کلی انتظار می رود که اثر مثبت خود را در این نوع آزمون حتی در درصدهای بالاتر و در صورت کاهش مقاومت فشاری نیز حفظ نماید اما اثر منفی این نوع طبیعی از الیاف بر استحکام کششی آن ظاهراً غالب گشته است.
- نتایج مدول کشسانی (الاستیسیته) بتن، حساسیت بیشتر این مشخصه به افزایش درصد مو را آشکار می سازد به گونه ای که در اولین درصد مصرف، بالاترین نتیجه حاصل شده و ۸.۶۵٪ افزایش ایجاد گشته است و بلافاصله افت نتایج پس از درصد ۱ الیاف، آغاز می گردد.
- میزان جذب آب بتن های حاوی مو در نگاه اول روندی کاملاً افزایشی دارد و اثر منفی مو از همان ابتدا کاملاً مشهود است که بخش عمده این رخداد را می توان به جذب آب و کشش مویینگی آب توسط تارهای مو نسبت داد.
- رابطه بین مقاومت فشاری و کششی که از نوع توانی تعریف شده است، با ضریب همبستگی ۰.۶۳٪ ارتباط معنی داری را به نمایش گذاشته است که البته طرح شاهد بیشترین نقش را در کاهش ارتباط نتایج ایفا می کند. به نظر میرسد افزودن مو به بتن، منجر به ایجاد اختلافی معنادار بین بتن های الیافی و فاقد آن گشته است.

مراجع

- [۱] Ming-Zhe A.N., Zhang L.J., Yi Q.X., (۲۰۰۸), "Size effect on compressive strength of reactive powder concrete", Journal of China University Mining and Technology, vol. ۱۸, No. ۲, PP. ۲۷۹-۲۸۲.
- [۲] Zhang Y., Sun W., Liu S., Jiao C., Lai J., (۲۰۰۸), "Preparation of C₂₀₀ green reactive powder concrete and its static-dynamic behaviors", Cement and Concrete Composites, vol. ۳۰, No. ۹, PP. ۸۳۱-۸۳۸.
- [۳] Halit Y., Mert ucel Y., Serdar A., Anil K.S., (۲۰۰۹), "Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes", Construction and Building Materials, vol. ۲۳, No. ۳, PP. ۱۲۲۳-۱۲۳۱.
- [۴] Metin I., Kemalettin Y., Mansur S., Mehmet S., (۲۰۱۱), "Effect of per setting Pressure applied to mechanical behavior of reactive powder concrete during setting phase", Construction and Building Materials, Vol. ۲۵, PP. ۶۱-۶۸.
- [۵] Banthia N., Majdzadeh F., Wu J., Bindiganavile V., (۲۰۱۴), "Fiber synergy in Hybrid Fiber Reinforced Concrete (HyFRC) in flexure and direct shear", Cement & Concrete Composites, Vol. ۴۸, PP. ۹۱-۹۷.
- [۶] Abbas S., Soliman A.M., Nehdi M.L., (۲۰۱۵), "Exploring mechanical and durability properties of ultra-high performance concrete incorporating various steel fiber lengths and dosages", Construction and Building Materials, Vol. ۷۵, P.P. ۴۲۹-۴۴۱. (Persian)
- [۷] Kang S.T., Choi J.I., Koh K.T., Lee K.S., Lee B.Y., (۲۰۱۶), "Hybrid effects of steel fiber and microfiber on the tensile behavior of ultra-high performance concrete", Composite Structures, Vol. ۱۴۵, PP. ۳۷-۴۲.
- [۸] Jain D., Kothari A., (۲۰۱۲), "Hair Fibre Reinforced Concrete", Research Journal of Recent Sciences, Vol. ۱, P.P. ۱۲۸-۱۳۳.
- [۹] Tomas U., Ganiron Jr., (۲۰۱۴), "Effects of Human Hair Additives in Compressive Strength of Asphalt Cement Mixture" International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. ۶۷, P.P. ۱۱-۲۲.
- [۱۰] Batebi Y., Mirzagoltabar A., Shabanian S.M., Fateri S., (۲۰۱۳), "Experimental Investigation of Shrinkage of Nano Hair Reinforced Concrete", Iranica Journal of Energy & Environment, Vol. ۴, P.P. ۶۸-۷۲. (Persian)
- [۱۱] Nila V. M., Raijan K.J., Susmitha Antony S, Babu R. M, Neena Rose Davis N. R, (۲۰۱۵), "Hair Fibre Reinforced Concrete", International Journal of Research in Advent Technology, Special Issue International Conference on Technological Advancements in Structures and Construction "TASC- ۱۵", ۱۰-۱۱ June.
- [۱۲] Khansaheb A. P., (۲۰۱۵), "Experimental Investigation on Properties of Concrete Using Human Hair & Sugarcane Bagasse Ash", International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering, Vol. ۲, Issue ۵. Persian
- [۱۳] Nila V. M., Raijan K.J., Susmitha Antony S, Babu R. M, Neena Rose Davis N. R, (۲۰۱۵), "human hair as fibre reinforcement in concrete: an alternative method of hair waste management and its applications in civil constructions", International Journal of Current Research, Vol. ۷, Issue, ۱۰, pp. ۲۱۲۰۵-۲۱۲۱۰.

- [۱۴] Sreevani G, Ajitha S.B, (۲۰۱۷), "Human Hair as Fibre Reinforcement in Concrete" International Journal of Engineering Science and Computing, Vol. ۷, Issue ۵, P.P. ۱۱۳۵۸-۱۱۳۶۴.
- [۱۵] STM C۱۵۰ / C۱۵۰M-۲۰, Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۲۰, www.astm.org
- [۱۶] ASTM C۷۷۸-۱۷, Standard Specification for Standard Sand, ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۱۷,
- [۱۷] ASTM C۳۳ / C۳۳M-۱۸, Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۱۸, www.astm.org
- [۱۸] ASTM C۴۹۴ / C۴۹۴M-۱۹, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۱۹, www.astm.org
- [۱۹] BS EN۱۲۳۹۰-۳, ۲۰۱۷, Testing hardened concrete, Compressive strength of test specimens
- [۲۰] ASTM C۴۹۶ / C۴۹۶M-۱۷, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۱۷, www.astm.org
- [۲۱] ASTM C۴۶۹ / C۴۶۹M-۱۴, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۱۴, www.astm.org
- [۲۲] ASTM C۶۴۲-۱۳, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۱۳, www.astm.org