

## مطالعه‌ی آزمایشگاهی تاثیر براده آهن بر روسازی بتن غلتکی

مقاله علمی - پژوهشی

حسین طلوعی کیا، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

علی عبدی کردانی\*، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

ناهید امینی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [aliabdi@eng.ikiu.ac.ir](mailto:aliabdi@eng.ikiu.ac.ir)

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸ - پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

صفحه ۱۱۶-۱۰۳

### چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی اثر براده آهن بر روی خواص مکانیکی بتن غلتکی در روسازی راه می‌باشد. در این تحقیق بعد از خرید سنگدانه، براده آهن و سیمان مورد نظر و فراهم آوردن این مواد در آزمایشگاه، فرایند الک سنگدانه‌ها انجام پذیرفت سپس دانه‌بندی این تحقیق طبق استانداردهای مورد نظر تهیه شد و ساخت نمونه‌ها آغاز گردید. پنج نوع طرح اختلاط که در هر طرح اختلاط ۹ نمونه برای آزمایش مقاومت‌های فشاری و کششی و خمشی ساخته شد که این نمونه‌ها بعد ساخت، ۲۸ روز در آب عمل آوری گردید و سپس بر روی نمونه‌ها سه نوع آزمایش انجام پذیرفت. در تمامی طرح اختلاط‌ها مقدار سنگدانه‌ها ثابت، سیمان مورد نظر برای این تحقیق از نوع تیپ دو و آب مورد استفاده در این تحقیق از نوع آب شرب در نظر گرفته شده است. به جز طرح اختلاط شاهد، پنج طرح دیگر با براده آهن به میزان ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۲ درصد وزنی بتن بکار رفته و عیار سیمان ۳۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۴۲ در نظر گرفته شده است. سه نوع آزمایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی بر روی این نمونه‌ها انجام شده و نتایجی در این زمینه به دست آمده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزودن براده آهن به مخلوط بتن غلتکی، مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن افزایش پیدا کرده است. آزمایش‌ها نشان داد با افزودن ۲ درصد براده آهن به مخلوط بتن غلتکی، مقاومت فشاری ۴/۴ مکاپاسکال افزایش، مقاومت کششی غیرمستقیم ۰/۲۶ مکاپاسکال افزایش و مقاومت خمشی نیز ۲/۵ کیلونیوتن افزایش داشته است. با توجه به اینکه مقاومت فشاری، کششی و خمشی استانداردهای مورد قبولی را نشان می‌دهد، در نتیجه براده آهن می‌تواند افزودنی مناسبی برای مخلوط بتن غلتکی باشد.

واژه‌های کلیدی: بتن غلتکی، براده آهن، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی

### ۱- مقدمه

تفاوت که به علت میزان کم آب و سیمان، مقدار انقباض در این بتن نسبت به معمولی کمتر می‌باشد. خصوصیات و ویژگی‌های مقاومتی و اجزای تشکیل دهنده بتن غلتکی نیز شبیه بتن معمولی می‌باشد ولی نسبت اختلاط مصالح در این بتن با بتن معمولی متفاوت است. در بتن غلتکی، درصد سنگدانه‌های ریز بیشتر از سنگدانه‌های موجود در بتن عادی است. از دیگر تفاوت‌های این دو نوع بتن، می‌توان به میزان کم

مهندسان روسازی به دنبال روش‌هایی برای حفظ محیط زیست هستند. بعضی از این روش‌هایی که سازگار محیط زیست باشد عبارتند از استفاده از مواد زائد دور ریختنی و به اصطلاح موادی که محیط را اشغال می‌کنند، هست. روسازی بتن غلتکی را می‌شود از گروه روسازی‌های بتنی ساده در زردار بدون میلگرد به شمار آورد. ویژگی‌های فنی این نوع روسازی خیلی شبیه به روسازی بتن معمولی است با این

سرعت وسایل نقلیه بالا است (سرعت بالای ۵۰ کیلومتر بر ساعت) حتما باید یک لایه آسفالت یا بتن معمولی یا عملیات سایش انجام گیرد تا استفاده از بتن غلتکی میسر باشد و یکی از معایب این نوع روسازی این است که چون مقدار آب در داخل این نوع بتن کم می‌باشد لذا در اجرای این روسازی در مناطق گرم باید دقت فراهم شود و نباید گذاشت که آب این بتن تبخیر شود (سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۶).

## ۲- پیشینه تحقیق

اولین کاربرد روسازی بتن غلتکی بدون استفاده از لایه روکش، در ساخت محوطه‌هایی برای کارخانه‌های چوب و الوار با بارگذاری سنگین در ونکوور در سال ۱۹۷۰ بود. عملکرد این روسازی در این محوطه‌ها که تحت بارگذاری سنگین و همچنین درصد سایش شدیدی هم بود، موفقیت آمیز بوده است. به نحوی که از آن زمان بتن غلتکی برای ساخت روسازی محوطه‌های صنعتی و نظامی کاربرد وسیعی در کشور کانادا داشته است، بعد از این ساخت موفقیت آمیز از جنس این روسازی، تعداد قابل توجهی روسازی دیگر از همین نوع برای بارهای سنگین توسط بخش دولتی، نظامی و همچنین بخش خصوصی در کشور آمریکا انجام پذیرفت است تا آخرای سال ۱۹۹۰ کل روسازی‌های بتن غلتکی در دنیا از مرز ۱۲۰۰۰۰۰ مترمربع فراتر رفت که بیشتر از نصف آن در کشور اسپانیا ساخته شد.

تقریباً ۱۵۰۰۰۰۰ مترمربع از این روسازی برای بزرگراه‌ها و شریان‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفت (Mallawaratchie et al, 1998). در این راه‌ها یک لایه آسفالت در بالای بتن غلتکی به عنوان رویه برای بهبود کیفیت سطح سواره رو به کار رفته بود. همچنین در راه‌هایی با سرعت کم مانند راه‌های درجه دوم و در نواحی صنعتی و نظامی نیز تا سال ۱۹۹۰ حدود ۱۰۵۰۰۰۰۰ مترمربع بدون غلتکی بدون رویه احداث گردید (Concrete piarc technical, 1993, committee on concrete roads). استفاده دوباره از این مواد زائد در روسازی بتنی در سال‌های اخیر خیلی مورد استقبال بوده است (مدرس، امیر و سیده زینب حسینی، ۱۳۹۴). یکی از نخستین کاربردهای روسازی بتن غلتکی در ساخت باند فرودگاهی در یاکیما در ایالت واشینگتن توسط گروه مهندسی ارتش آمریکا در سال ۱۹۴۲ است در سال ۱۹۸۵

سیمان و سنگدانه‌های درشت دانه و آب اشاره کرد. بتن غلتکی با اسلامپ صفر است در واقع سفت‌تر از بتن معمولی است که معمولاً با همان دستگاه پخش آسفالت استاندارد یا دارای اتوی ایجاد کننده دانسته زیاد روی سطح راه پخش می‌کند و بلافاصله غلتک با عبور خود بتن را متراکم می‌سازد. اجرای روسازی بتن غلتکی نیازی به قالب ندارد و در این نوع روسازی میلگرد انتقال بار و میلگرد دوخت نیز استفاده نمی‌شود. اگر درزهای انقباضی عرضی در بتن غلتکی استفاده شود باربری بتن معمولی و فاصله این درزها بیشتر از فاصله درزهای عرضی در روسازی بتن معمولی می‌باشد. مقاومت و دوام خوب روسازی‌های بتن غلتکی به همراه هزینه و سرعت ساخت آن، باعث شده است که استفاده از این روسازی گزینه خوبی برای روسازی محوطه‌های روباز کارخانجات صنعتی، جاده‌های دسترسی به معادن، محوطه‌های بندرها، پایانه‌های وسایل نقلیه سنگین و محوطه قسمت‌های نظامی، پارکینگ اتومبیل‌ها و کامیون‌ها و سطح انبارها، خیابان‌ها و جاده‌ها و محل پارکینگ هواپیماها در فرودگاه و نزدیکی عوارضی بزرگراه‌ها باشد. اولین استفاده از این روسازی در دهه ۱۹۷۰ در کانادا بوده است. کل استفاده از بتن غلتکی در دو زمینه کاملاً مختلف می‌باشد یکی استفاده از بتن غلتکی در ساخت سدها می‌باشد که این نوع دارای سیمان کم هست و مقاومت فشاری آن کمتر از بتن معمولی است اندازه حداکثر سنگدانه، بتن غلتکی در سدسازی درشت تر بوده و از ۵۰ میلی متر تا بیش از ۱۰۰ میلی متر است. اما بتن غلتکی که در راهسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای سیمان بیشتر نسبت به بتن غلتکی مورد استفاده در سدسازی می‌باشد و مقاومت فشاری بیشتر از ۲۵ مگاپاسکال و طرح مخلوط بتنی با اندازه و دانه‌بندی مصالح کنترل شده در یک محدوده مشخصی می‌باشد. باتوجه به اینکه برای دستیابی به سطح کاملاً صاف در روسازی بتن غلتکی، دشواری‌هایی وجود دارد برای همین منظور از این روسازی برای راه‌هایی با سرعت بالا (بیش از ۵۰ کیلومتر در ساعت) استفاده نمی‌شد، البته امروزه با استفاده از یک لایه آسفالت گرم به ضخامت ۴ تا ۶ سانتی‌متر یا اجرای یک روکش بتنی پرچسبنده روی این نوع روسازی (چنانچه ضخامت روسازی بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر نباشد) می‌توان کیفیت سطح سواره روی روسازی را افزایش داد و برای استفاده از این بتن غلتکی برای راه‌های با سرعت‌های بالا نیز فراهم نمود. برای راه‌هایی که

اعلام کرد که افزایش براده آهن تاثیر مثبتی بر مقاومت کششی داشته است. (ASTM C13, 2006). در رابطه بین خواص مکانیکی و نفوذپذیری می‌توان حدس زد که اگر براده آهن با یک درصد خاص و مناسبی به مخلوط اضافه شود نفوذپذیری را کاهش می‌دهد و خواص مکانیکی بتن غلتکی به طور آشکارا بهبود خواهد بخشید. در بررسی خصوصیات رفتاری بتن حاوی براده آهن در پژوهشی دیگر که توسط آقای جهانبخشی صورت گرفته است برای استفاده از براده آهن در مخلوط بتن این نتایج استخراج شده است (جهانبخشی، وحید، امیری، م. ۱۳۹۵). با افزودن براده آهن به بتن معمولی، وزن مخصوص بتن افزایش می‌یابد. با افزودن براده آهن به مخلوط بتنی، با فرض ثابت بودن عوامل طرح، تا حدودی باعث افزایش درصد جذب آب بتن شده و این نشان دهنده نفوذپذیری کمتر و دوام بالاتر بتن ساخته شده با براده فولاد است و همچنین افزایش درصد جذب آب بتن در سن ۷ روزه حداکثر مقدار بوده است.

در طراحی ساخت و ارزیابی اقتصادی روسازی بتن غلتکی ساخته شده با براده آهن در پژوهشی دیگر که توسط خانم افسانه حق بین و همکاران صورت گرفته است با افزودن براده آهن به مخلوط بتن این نتایج استخراج شده است (حق بین، بحرالعلوم، شریعت، پاکشیر ۱۳۹۲). هرچه درصد استفاده از براده آهن بیشتر بوده است خواص مکانیکی و خوردگی بهینه‌تر شده است. نتایج نشان داده که به علت پر کنندگی براده آهن و سنگ آهک، مقاومت بالاتری البته در درصد های خاصی به ثبت رسیده است. پتانسیل خوردگی آرماتور و درصد تغییر وزن آرماتور کاهش پیدا کرده است. کاهش نفوذپذیری محیط خورنده با افزایش سن نمونه‌های بتنی بیشتر شده است و در نهایت، باعث کاهش خوردگی آرماتور شده و از نظر فنی و اقتصادی بهینه می‌باشد.

مصالح استفاده شده از شن، ماسه، سیمان پرتلند ۲ و برای انجام این تحقیق دو طرح اختلاط اولیه با درصد های سیمان ۱۲ و ۱۴ درصد مصالح ساخته شد و براده آهن تهیه شد و برای استفاده

روسازی بتن غلتکی در توقفگاه هوایما که به اصطلاح رمپ نامیده می‌شود به مساحت ۳۶۰۰۰۰ مترمربع در فرودگاه بین‌المللی پرتلند انجام پذیرفت. مزایایی که نسبت به سایر روسازی‌ها داشت عبارتند از حساسیت کمتر نسبت به روغن‌های ریخته شده توسط هوایماها، کاهش هزینه نگهداری، کمتر بودن مشکلات نشست‌های بعدی در اثر بارهای استاتیکی و دینامیکی موجود بود (ACI 2000). سال ۱۹۸۹ نیز بتن غلتکی برای روسازی توقفگاه هوایماهای جنگنده در پایگاه نظامی اندروز در نزدیکی شهر واشینگتن اجرا شد و ضخامت این روسازی ۳۶ سانتی متر و سطح اجرا شده آن نیز شامل ۱۳۰۰۰ متر مربع سرپوشیده، ۵۴۰۰۰ مترمربع اپرون و ۱۷۰۰۰ مترمربع توقفگاه روباز بوده است (Nanni et al, 1996). در بررسی استفاده از براده آهن به عنوان جایگزین سنگدانه در بتن راه در پژوهشی که آقای الزائد در رابطه با استفاده از براده آهن در بتن معمولی انجام داد نتایج زیر به دست آمده است در این تحقیق براده آهن جایگزین درصدی از سیمان شده است (et al, 2016). مقاومت فشاری بتن با افزودن براده آهن به مخلوط بتن به تدریج افزایش یافته است. با افزودن ۳۰٪ براده آهن به مخلوط بتنی به ازای حجمی از سیمان مقاومت فشاری ۱۷٪ بهبود داشته است. مقاومت کششی بتن زمانی که بیش از ۱۰٪ براده آهن در مخلوط استفاده شده است اثر جزئی داشته است و این مقاومت ۱۳٪ بهبود داشته است زمانی که ۱۰٪ براده آهن به مخلوط بتنی، اضافه شده است. در بررسی اثرات براده آهن بر روی عملکرد روسازی بتن معمولی براده آهن با درصد های مختلف جایگزین درصد حجمی از سیمان گشته و آزمایش های مکانیکی بر روی آنها صورت گرفته است (ASTM, 2017). (C496).

در مقایسه با بتن شاهد می‌توان اعلام کرد که افزایش براده آهن تاثیر منفی بر مقاومت فشاری داشته است در نتایج مقاومت های کششی ۲۸ روزه در مقایسه با بتن شاهد می‌توان

### ۳- روش تحقیق

روش انجام این مطالعه شامل سه بخش جداگانه است. این بخش‌ها بصورت زیر است:

– مرحله اول (سفرارش مصالح و انجام آزمایشات)

خمش سه محوری، نمونه استوانه‌ای برای تست کشش و نتایج آزمایشات.

مرحله سوم (تحلیل‌های آماری نتایج)

تحلیل‌های آماری و رگرسیون خطی با نرم افزار Spss و Data Analysis انجام شده است.

به محل آزمایشگاه انتقال داده شد سپس دانه‌بندی مشخص گردید و مراحل ساخت نمونه‌ها انجام پذیرفت.

مرحله دوم (ساخت نمونه‌ها)

ساخت نمونه‌های غلتکی با ۲-۱۲ درصد براده آهن به صورت نمونه مکعبی برای تست فشاری، نمونه تیری برای تست

### ۳-۱- مواد و مصالح به کاررفته

اختلاط بتن غلتکی با استفاده از تجهیزات تراکم خاک، مشابه روش مذکور در استاندارد ASTM-D1557 (روش پراکتور اصلاح شده) می‌باشد. میزان تراکم بستگی به انرژی وارد شده به نمونه دارد. مشخص شده است که کوشش تراکم در آزمایش پراکتور اصلاح شده بستگی نزدیک به چگالی در جای مخلوط‌هایی با اندازه حداکثر کوچک (مخلوط‌های ریزدانه) دارد. میزان بهینه آب برای استفاده از روش تراکم خاک، بستگی به نوع مصالح سنگی به کار رفته، نوع سیمان و مقدار انرژی تراکم خواهد داشت. (سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۶).

### ۳-۳- ساخت نمونه‌ها

درصد رطوبتی که برای ساخت نمونه‌ها استفاده می‌شود بین ۵ الی ۸ درصد می‌باشد درصد آب بهینه برای این تحقیق ۵٫۸٪ شد. براساس درصد رطوبت بهینه به دست آمده به ازای هر درصد سیمان از مرحله قبل، نمونه‌های بتن غلتکی با استفاده از چکش ارتعاشی (ASTM C1435) یا روش میز ارتعاشی (ASTM C1176) ساخته می‌شوند. در این تحقیق نیز برای ساخت نمونه‌ها از روش چکش ارتعاشی منطبق بر استاندارد آن استفاده شده است. نمونه ساخته شده با ۱۴ درصد سیمان بیشترین مقاومت فشاری را از خود نشان داد و به عنوان طرح اصلی اختلاط تحقیق انتخاب شد. برای تست مقاومت فشاری از قالب‌های مکعبی ۱۰×۱۰ و برای تست کشش غیرمستقیم از قالب استوانه‌ای ۳۰×۱۵ و برای تست خمش از قالب‌های تیری ۳۰×۱۰×۱۰ استفاده شد. ساخت نمونه‌ها توسط استاندارد چکشی لرزاننده (ASTM C1435) انجام پذیرفت. به این ترتیب در مرحله اول، قالب‌ها با سفت کردن پیچ‌ها و تمیز کردن آن‌ها آماده گردید سپس در مرحله دوم روغن کاری قالب‌ها صورت پذیرفت. این روغن کاری جهت نچسبیدن بتن به قالب‌ها و برای سهولت جداکردن بتن از قالب انجام گرفت. بعد از وزن کشی مصالح مورد نیاز، این مصالح جهت اختلاط

مصالح استفاده شده از شن، ماسه، سیمان پرتلند ۲ و برای انجام این تحقیق دو طرح اختلاط اولیه با درصد‌های سیمان ۱۲ و ۱۴ درصد مصالح ساخته شد و براده آهن تهیه شد و برای استفاده به محل آزمایشگاه انتقال داده شد سپس دانه‌بندی مشخص گردید و مراحل ساخت نمونه‌ها انجام پذیرفت. اثر براده آهن بر بتن غلتکی ساخته شده، بررسی گردید. براده آهن مورد استفاده در این تحقیق از نوع فولاد ST37 و از میلگرد ساده بدون آج از نوع A1 استفاده شده است. براده آهن مورد استفاده از نوع فولاد ST37 و از میلگرد ساده بدون آج از نوع A1 استفاده شده است. وزن مخصوص این براده‌ها ۷۸۵۰ می‌باشد و بر اساس استاندارد ASTM A615 است. برای ساخت نمونه‌های بتنی مورد نیاز برای انجام این آزمایش‌ها ۱۰۵ کیلوگرم شن و ۳۱۰ کیلوگرم ماسه برآورد گشت که از کارخانه دنیا شن قزوین سفارش داده و بعد از تحویل این مصالح، دانه‌بندی سنگدانه‌ها آغاز گشت (ETL 1110-3) (ACI 325.9R) (475). چند پاکت سیمان و در مجموع چندکیلو براده خریداری شد دانه بندی انتخابی، کاملاً مطابق با استاندارد PCA و نشریه ۷۳۱ و به شرح جدول ۱ انتخاب شد (سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۶). منحنی بالایی، حد بالا و منحنی پایینی، بیانگر حد پایین می‌باشد ولی منحنی وسطی همان دانه بندی انتخابی است.

### ۳-۲- تعیین نسبت های اختلاط

پس از انتخاب سنگدانه، آب، سیمان و در صورت نیاز مواد افزودنی که در این تحقیق براده آهن می‌باشد، باید نسبت اختلاط هر یک از مواد در مخلوط بتن غلتکی تعیین شود دو روش عمده برای طرح مخلوط بتن غلتکی مبنی بر تراکم خاک و روش حجم بهینه خمیر در طراحی این نوع روسازی‌ها، استفاده می‌شود که در این تحقیق به دلیل عمومیت روش تراکم خاک، این روش مورد استفاده واقع شد. روش تعیین نسبت

حداکثر تنش هست که نمونه بتواند قادر به تحملش باشد. لازم به ذکر است که طبق توصیه نرخ بارگذاری بر روی نمونه بین ۱۴/ تا ۳۴/ مگاپاسکال برثانیه لحاظ شده است. است. (ASTM C392018).

داخل بتنیر ریخته شده و سپس بتن به دست آمده در سه لایه مطابق استاندارد در قالب‌ها ریخته می‌شود و توسط هیلتی یا همان شبیه ساز غلتک عملیات تراکم صورت می‌پذیرد.

#### ۴-۴-آزمایشات

##### ۴-۴-۱-آزمایش اسلامپ

آزمایش اسلامپ بر اساس استاندارد ASTM C143-90 بر روی بتن تازه انجام می‌گیرد. قالب را در ۳ لایه و در هر لایه ۱/۳ حجم قالب را پر بتن کرده و سپس در هر لایه ۲۵ ضربه با میله مخصوص به خود کوبیده می‌شود ضربه‌ها باید به طور یکنواخت و روی مقطع هر لایه توزیع شود. این آزمایش باید بدون وقفه‌ای انجام شود و زمان آن بیش از ۲،۵ دقیقه بطول نیانجامد. با اندازه‌گیری فاصله قائم بین بالای قالب و مرکز سطح بالای نمونه، اسلامپ تعیین می‌شود (ASTM C14352014).

##### ۴-۴-۲-آزمایش مقاومت فشاری و خمشی

آزمایش مقاومت فشاری طبق استاندارد (ASTM C39) بر روی نمونه‌های ۲۸ روزه صورت گرفت و با قرار دادن نمونه بین فک‌های دستگاه مقاومت فشاری، مقدار این پارامتر برابر (۱)

$f_t$ : مقاومت کششی (MPa)؛

P: حداکثر نیرو (N)؛

D: قطر نمونه (میلی‌متر)؛ و

L: ارتفاع نمونه (میلی‌متر).

#### ۴-نتایج و بحث

##### ۴-۱-مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بعد از ۲۸ روز بر روی نمونه‌ها انجام شد و شکل ۳ وضعیت گسیختگی نمونه‌ها را در آزمایش مقاومت فشاری نشان می‌دهد. باتوجه به شکل ۳ نمونه شاهد

##### ۴-۴-۳-آزمایش مقاومت کششی (برزیلی)

تست کششی غیرمستقیم برزیلی طبق استاندارد (ASTM C496) باید بر روی نمونه‌های استوانه‌ای انجام شود. روند تغییرات مقاومت کششی در مخلوط‌های مختلف و مقایسه آن با بتن غلتکی شاهد نیز همانند مقاومت فشاری از اهداف تحقیق می‌باشد. این کار با قرار دادن نمونه‌های استوانه‌ای به صورت افقی در فک دستگاه و اعمال نرخ بارگذاری ۳۲۲ تا ۱۶۲۱ کیلوپاسکال بر دقیقه مطابق استاندارد (ASTM C496) به دست می‌آید. دستگاه فشار حداکثر نیرو را برحسب کیلونیوتون ثبت می‌کند و باید براساس فرمول ۱ که در استاندارد مربوطه هم ذکر شده است به مقاومت کششی برحسب مگاپاسکال تبدیل شود (ASTM C496 2017).

فرمول ۱: فرمول تبدیل مقاومت کششی از کیلونیوتون به مگاپاسکال

$$f_t = \frac{2P}{\pi DL}$$

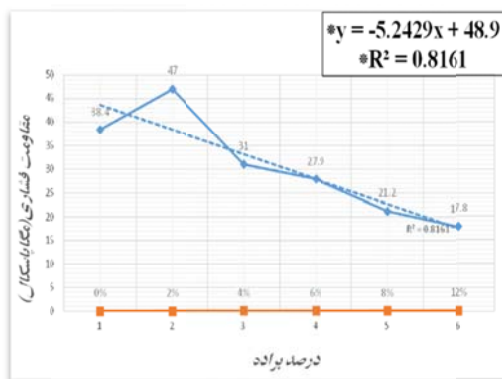
کاملاً متلاشی شده، در حالی که تغییر قابل توجهی در ظاهر مخلوط بتنی مشاهده نشد.



شکل ۱. نمونه‌های بتن بعد از آزمون مقاومت فشاری

در برداشته و از خود نشان داده است. علت اینکه ۲ درصد براده آهن بهترین مقاومت را از خود به ثبت رسانده این است که احتمالاً فضاهای خالی بین سنگدانه‌های مخلوط بتنی را پر کرده و نمونه بتنی را منسجم‌تر می‌کند و باعث می‌شود که نمونه بتنی ما دیرتر گسیخته و از هم جدا شوند. بعد از اینکه درصد بهینه مواد سیمانی به دست آورده شد تعدادی نمونه تستی از درصد‌های موجود در بین بازه ۰ تا ۴ درصد هفت روزه ساخته شد و مورد آزمایش قرار گرفت نتیجه ای که نشان داد که درصد‌های پایین‌تر از ۲ درصد و بالاتر از ۲ درصد نیز کاهشی است پس به همین خاطر تیپ دوم یعنی ۲ درصد براده به عنوان اولین تیپ انتخاب شد که براده در آن نقش دارد. براده آهن بعد از یک درصد مشخص به بالاتر در مخلوط بتنی، اثر منفی داشته و موجب کاهش مقدار مقاومت فشاری نمونه بتنی می‌گردد. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود خط برازش برای نمونه‌هایی که تست از آنها گرفته شده و نتایج در نمودار ۲ ترسیم شده است.

اثر براده آهن بر روی مقاومت فشاری پرداخته شده است؛ و ضریب همبستگی بین براده آهن و مقاومت فشاری با استفاده از نرم افزار **Data Analysis** برآورد شده که در هر مقدار ضریب همبستگی به یک نزدیکتر باشد یعنی در واقع ارتباط و اثر تنگاتنگی بین دو متغیر وجود دارد. همانطور که در نمودار مشاهده می‌گردد مقاومت فشاری در تیپ دوم زمانی که براده ۲ درصد در مخلوط بتنی بوده است بهترین مقاومت فشاری را از خود نشان داده و از تیپ اول یعنی نمونه شاهد ما مقاومت بالاتری را ثبت کرده است و هرچه بر مقدار ۲ درصد در تیپ‌های بعدی اضافه شده است مقاومت فشاری، یک کاهش نسبی را ثبت کرده است و سیر به نزول داشته است تا جایی که حتی در تیپ‌های آخر یعنی در ۸ و ۱۲ درصد، حداقل‌های آیین نامه را برای مقاومت فشاری نمونه بتنی برای روسازی را نیز پاس نکرده است و مناسب نبوده است. پس در نتیجه هر چقدر مقدار براده به عنوان افزودنی در مخلوط بتنی اضافه شود نتیجه بالعکس داده و درصد بهینه براده برای مخلوط بتنی در قسمت مقاومت فشاری همان ۲ درصد می‌باشد که در جدول ۴ مشاهده می‌شود که بهترین مقاومت را



شکل ۲. اثر براده آهن بر روی مقاومت فشاری



شکل ۳. خط برازش و معادله خط مربوط به اثر براده آهن بر روی مقاومت فشاری

جدول ۱. ضریب همبستگی مقاومت فشاری و براده آهن

براده آهن	مقاومت فشاری	ضریب همبستگی
۰٫۸۹۱	۱	مقاومت فشاری
۱	۰٫۸۹۱	براده آهن

#### ۴-۲- مقاومت کششی غیر مستقیم

تست مقاومت کششی غیرمستقیم بعد از ۲۸ روز بر روی نمونه‌ها انجام پذیرفت و گسیختگی نمونه‌های شاهد دقیقاً از

قسمت سنگدانه اتفاق افتاد به این صورت که سنگدانه‌هایی که در مرز گسیختگی نمونه قرار گرفته بودند، شکستند.



شکل ۴. نمونه‌ها بعد از آزمایش کششی غیرمستقیم

در جدول ۵ همان طور که ملاحظه می‌شود نتایج مربوط به نمونه‌های کششی غیر مستقیم درج شده است که سه نمونه از هر درصد ساخته شده و تست از آنها گرفته شده که براساس نتایج مشخص شد که بهترین درصد بهینه براده آهن برای آزمایش کششی غیرمستقیم نیز ۲ درصد می‌باشد. در شکل ۵ به اثر براده آهن بر روی مقاومت کششی غیر مستقیم پرداخته شده است؛ و همان‌طور که مشخص است براده آهن اثر مطلوبی روی این مقاومت نیز به جای گذاشته است. با استفاده از نرم افزار Data Analysis ضریب همبستگی بین براده آهن و مقاومت کششی غیر مستقیم در جدول ۲ برآورد شده است. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد باز هم تیپ دوم یعنی وقتی ۲ درصد براده افزودنی مخلوط بتنی بوده است بهترین واکنش را داشته و بهترین مقاومت کششی را به ارمغان آورده است و درصد مقاومت بالاتری را نسبت به نمونه شاهد که هیچ گونه افزودنی نداشته است، نشان داده و هر چه بر مقدار براده به عنوان افزودنی اضافه شده است بر مقدار مقاومت کاسته شده است فقط در حالت ۸ درصد یک استثنا وجود دارد که از حالت ۶ درصد بهتر شده و نمودار صعودی را به ثبت رسانیده است که چون باز کمتر از حالت تیپ دوم یعنی ۲ درصد می‌باشد پس مورد قابل قبول همان تیپ دوم

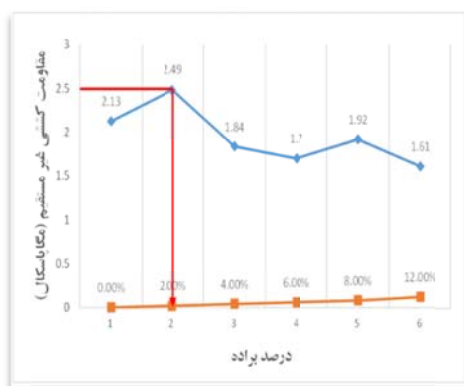
می‌باشد. پس در حالت مقاومت کششی غیر مستقیم نیز همانند قسمت اول یعنی مقاومت فشاری باز هم این تیپ موفق‌تر نشان داده است. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود خط برازش برای نمونه‌هایی که تست از آنها گرفته شده و نتایج آنها به دست آمده بود، ترسیم شده است.

#### ۴-۳- مقاومت خمشی سه محوری

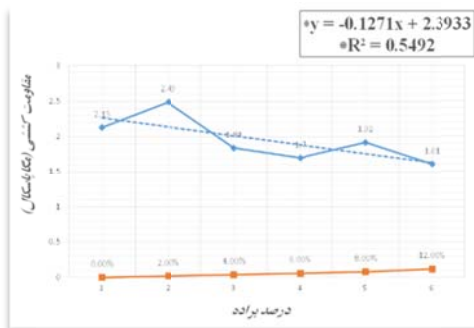
تست مقاومت خمشی سه محوری بعد از ۲۸ روز که نمونه‌ها در حالت عمل آوری درون حوضچه آب قرار گرفتند انجام گرفت و نتایج آن به شرح نمودار و جدول زیر می‌باشد. همان طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود نتایج مربوط به آزمایش مقاومت خمشی سه محوره درج شده است که نمونه‌ها پس از ساخت زیر دستگاه تست خمش رفته و مقاومت نمونه‌ها مشخص شده است برای هر درصد از براده سه نمونه ساخته شد و از این سه نمونه میانگین گرفته شده و در جدول ذکر شد و علاوه بر ماکزیمم و مینیمم مقاومت‌ها برای هر درصد براده، انحراف معیار نیز برای هر درصد براده مشخص شده و در جدول ذکر شده است. همان طور که

تیپ دوم یعنی جایی که ۲ درصد براده در مخلوط بتن به عنوان افزودنی حضور داشته ایفا نکرده است و خیلی نزدیک به نمونه شاهد بوده ولی با افزایش مقدار افزودنی براده در مخلوط بتنی، مقدار مقاومت خمشی همانند دو مرحله قبل افت محسوس پیدا کرده است و همچنین در تیپ آخر زمانی که ۱۲ درصد براده در مخلوط بوده باز مقاومت خمشی بهتری نسبت به مرحله قبل یعنی زمانی که ۸ درصد بوده به ثبت رسانیده است ولی چون مقدار مقاومت خمشی این تیپ در سطح پایین تری نسبت به تیپ دوم می باشد باز بهترین گزینه همان تیپ دوم می باشد که دو درصد براده به عنوان افزودنی در مخلوط بتنی حضور داشته است. همان طور که در جدول ۵ مشاهده می شود.

مشاهده می شود در این آزمایش نیز مثل آزمایش های قبلی ۲ درصد براده بهترین عملکرد را در بین نمونه ها داشته ولی در مجموع خیلی تفاوت زیادی با مقاومت نمونه شاهد ندارد ولی می توان گفت که درصد بهینه براده در این قسمت نیز ۲ درصد می باشد. در نمودار شکل ۸ به اثر براده بر روی مقاومت خمشی سه محوری پرداخته شده است و همان طور که مشاهده می شود براده دو درصدی تاثیر کمی بر روی مقاومت خمشی سه محوری برعکس دو مقاومت دیگر گذاشته است و تیپ دوم خیلی نزدیک به نمونه شاهد می باشد. با استفاده از نرم افزار Data Analysis ضریب همان طور که در شکل ۹ مشاهده می گردد براده، دارای تاثیر بسزایی در



شکل ۵. اثر براده آهن بر روی مقاومت کششی



شکل ۶. خط برازش و معادله خط مربوط به اثر براده آهن بر روی مقاومت کششی

جدول ۲. ضریب همبستگی مقاومت فشاری و براده آهن

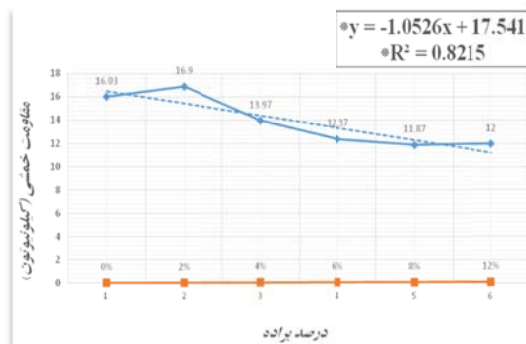
ضریب همبستگی	مقاومت فشاری	براده آهن
مقاومت فشاری	۱	۰.۷۳۹
براده آهن	۰.۷۳۹	۱



شکل ۷. نمونه‌ها در حین آزمایش و بعد از آزمایش خمشی سه محوری



شکل ۸. اثر براده آهن بر روی مقاومت خمشی سه محوری



شکل ۹. خط برازش و معادله خط مربوط به اثر براده آهن بر روی مقاومت خمشی سه محوری

جدول ۳. ضریب همبستگی مقاومت فشاری و براده آهن

ضریب همبستگی	مقاومت فشاری	براده آهن
مقاومت فشاری	۱	۰٫۸۴۶
براده آهن	۰٫۸۴۶	۱

جدول ۴. نتایج تکمیلی مقایسه‌ی مقاومت فشاری، کششی غیرمستقیم، خمشی سه محوری

نتایج مقاومت فشاری						
تیپ	نمونه اول (Mpa)	نمونه دوم (Mpa)	نمونه سوم (Mpa)	میانگین (Mpa)	انحراف استاندارد	Min\Max
۱	۴۵,۲	۳۴,۶	۳۵,۴	۳۸,۴	۵,۹	۳۴,۶/۴۵,۲
۲	۴۵,۶	۴۸,۱	۴۷,۴	۴۷	۱,۲۸	۴۵,۶/۴۸,۱
۳	۳۲,۷	۳۲,۴	۲۷,۸	۳۱	۲,۷۵	۲۷,۸/۳۲,۷
۴	۲۲,۵	۳۴,۸	۲۶,۴	۲۷,۹	۶,۲۸	۲۶,۴/۳۴,۸
۵	۲۰,۶	۲۲,۸	۲۰,۱	۲۱,۲	۱,۴۴	۲۰,۱/۲۲,۸
۶	۱۷	۱۸,۶	۱۷,۷	۱۷,۸	۰,۸	۱۷/۱۸,۶
نتایج مقاومت کششی غیرمستقیم						
تیپ	نمونه اول (مگاپاسکال)	نمونه دوم (مگاپاسکال)	نمونه سوم (مگاپاسکال)	میانگین (مگاپاسکال)	انحراف استاندارد	Min\Max
۱	۲,۳۸	۱,۹۹	۲,۰۱	۲,۱۳	۰,۲۲	۱,۹۹/۲,۳۸
۲	۲,۴	۲,۳۷	۲,۶۹	۲,۴۹	۰,۱۸	۲,۳۷/۲,۶۹
۳	۱,۹۵	۱,۶۷	۱,۸۹	۱,۸۴	۰,۱۵	۱,۶۷/۱,۹۵
۴	۱,۶۹	۱,۷۷	۱,۶۵	۱,۷۰	۰,۰۶	۱,۶۵/۱,۷۷
۵	۲,۱۲	۱,۶۹	۱,۹۶	۱,۹۲	۰,۲۲	۱,۶۹/۲,۱۲
۶	۱,۴۷	۱,۶۱	۱,۷۴	۱,۶۱	۰,۱۴	۱,۶۱/۱,۷۴
نتایج مقاومت خمشی سه محوری						
تیپ	نمونه اول (مگاپاسکال)	نمونه دوم (مگاپاسکال)	نمونه سوم (مگاپاسکال)	میانگین (مگاپاسکال)	انحراف استاندارد	Min\Max
۱	۱۶	۱۶,۳	۱۵,۸	۱۶,۳	۰,۲۵	۱۵,۸/۱۶,۳
۲	۱۷,۱	۱۶,۶	۱۷	۱۶,۹۰	۰,۲۶	۱۶,۶/۱۷,۱
۳	۱۴,۷	۱۴,۱	۱۳,۱	۱۳,۹۷	۰,۸۱	۱۳,۱/۱۴,۷
۴	۱۰,۶	۱۳,۸	۱۲,۷	۱۲,۳۷	۱,۶۳	۱۰,۶/۱۳,۸
۵	۱۲,۵	۱۱,۳	۱۱,۸	۱۱,۸۷	۰,۶۰	۱۱,۳/۱۲,۵
۶	۱۳,۹	۱۰	۱۲,۱	۱۲	۱,۹۵	۱۰/۱۳,۹

۴-۳-۱- تحلیل جداول آماری مقاومت فشاری

جدول ۵. ضریب همبستگی مقاومت فشاری

Correlations			
		compressive_strength	iron_filings
compressive_strength	Pearson Correlation	1	-.891*
	Sig. (2-tailed)		.017
	N	6	6
iron_filings	Pearson Correlation	-.891*	1
	Sig. (2-tailed)	.017	
	N	6	6

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

است ضریب همبستگی پیرسون برای براده آهن  $0.739$  می‌باشد که نشان دهنده اثر منفی آن در مقاومت فشاری می‌باشد. در نهایت ستون آخر مربوط به Sig می‌باشد که اگر عدد آن کمتر از  $0.05$  باشد این جدول و نتیجه درست و قابل قبول و مورد اعتماد می‌باشد. در جدول ۸ همان گونه که مشاهده می‌گردد مقدار  $t$  برابر با  $-1.817$  بدست آمده است و مقدار sig برابر با  $0.129$  می‌باشد چون میزان sig از مقدار  $0.05$  کمتر می‌باشد پس می‌توان نتیجه گرفت که دو نمونه مورد نظر از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند و براده آهن بر روی مقاومت کششی غیرمستقیم تاثیرگذار نمی‌باشد.

جدول ۵ وجود یا عدم وجود همبستگی بین متغیر مستقل و متغیر وابسته را نشان می‌دهد. همانطور که از جدول مشخص است، ضریب همبستگی پیرسون برای براده آهن  $0.891$  می‌باشد که نشان دهنده اثر منفی آن در مقاومت فشاری است. در نهایت ستون آخر مربوط به Sig می‌باشد که اگر عدد آن کمتر از  $0.05$  باشد این جدول و نتیجه درست و قابل قبول و مورد اعتماد می‌باشد. در جدول ۶ همان گونه که مشاهده می‌گردد مقدار  $t$  برابر با  $4.163$  بدست آمده است و مقدار sig برابر با  $0.009$  می‌باشد چون میزان sig از مقدار  $0.05$  کمتر می‌باشد پس می‌توان نتیجه گرفت که دو نمونه مورد نظر از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند و براده آهن بر روی مقاومت فشاری تاثیر گذار می‌باشد.

جدول ۷ وجود یا عدم وجود همبستگی بین متغیر مستقل و متغیر وابسته را نمایش می‌دهد. همان گونه که از جدول مشهود

جدول ۶. آزمون T

Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	Mean Pair 1	Stdation. Devi	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Flexural_strength - Iron_Filings	Pair 1	-3.38500	2.56932	1.86281	1.40350	-1.817	5	.129

۳-۲-۴- تحلیل جداول آماری کششی غیرمستقیم

جدول ۷. ضریب همبستگی کششی غیرمستقیم

Correlations			
		Tensile_Strength	Iron_Filings
Tensile_Strength	Pearson Correlation	1	-.739
	Sig. (2-tailed)		.093
	N	6	6
Iron_Filings	Pearson Correlation	-.739	1
	Sig. (2-tailed)	.093	
	N	6	6

جدول ۸. آزمون T

Paired Differences						T	Df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	Mean Pair 1	Stdation. Devi	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of The Difference				
				Lower	Upper			
Flexural_Strength - Iron_Filings	Pair 1	-3.38500	2.56932	1.86281	1.40350	-1.817	5	.129

جدول ۹. ضریب همبستگی مقاومت خمشی

Correlations			
		Flexural_Strength	Iron_Filings
Flexural_Strength	Pearson Correlation	1	-.864*
	Sig. (2-Tailed)		.026
	N	6	6
Iron_Filings	Pearson Correlation	-.864*	1
	Sig. (2-Tailed)	.026	
	N	6	6

\*. Correlation Is Significant At The 0.05 Level (2-Tailed).

#### ۴-۳-۳- تحلیل جداول آماری مقاومت خمشی

قبول و مورد اعتماد می‌باشد. در جدول ۱۰ همان گونه که مشاهده می‌گردد مقدار  $t$  برابر با ۳,۳۱۷- بدست آمده است و مقدار  $sig$  برابر با ۰,۰۲۱ می‌باشد چون میزان  $sig$  از مقدار ۰,۰۵ کمتر می‌باشد پس می‌توان نتیجه گرفت که دو نمونه مورد نظر از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند و براده آهن بر روی مقاومت خمشی تاثیر گذار می‌باشد.

جدول ۱۰. آزمون T

Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	Mean	Stdation. Devi	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Flexural_ Strength - Iron_ Filings	8.52333	6.29353	2.56932	2.56932	1.91868	3.317	5	.021

#### ۵- نتیجه گیری

هر چه براده آهن درش از ۲ درصد بالاتر باشد به همان مقدار مقاومت مکانیکی بتن کاهش پیدا می‌کند. مامی‌توانیم درصدهای افزودنی براده آهن را نیز متفاوت در نظریه‌گیری و با افزودنی‌های دیگر نیز انجام دهیم. ما در ساخت بتن‌غلتکی، سنگدانه در الک‌های ریز مانند شماره الک ۱۰۰ یا ۲۰۰، می‌تواند به‌ازای نصف سنگدانه‌ها، براده مورد استفاده قرار گیرد. درصد آب در این مخلوط بتن باید اصلاح شود چرا که درصد جذب آب در براده صفر می‌باشد و زمانیکه براده ۵۰ درصد از سنگدانه را تشکیل می‌دهد حجم بتن از اسلامپ صفر درآمده و شل می‌شود که این طبق استاندارد، مورد قبول واقع نشده و طبق نمونه‌های تستی که انجام گرفته است مقاومت بالایی را به همراه نخواهد داشت. اگر بتن غلتکی ساخته شده با براده که براده جایگزین سنگدانه‌ها شده است، مقاومت‌های مکانیکی را کاهش داد می‌توان از میکروسلیس برای جبران کاهش مقاومت استفاده کرد که با این کار باز منابع طبیعی حفظ شده است. نحوه حضور براده در بتن غلتکی می‌تواند به حالت‌های مختلف باشد اعم از افزودنی و جایگزین. نکته مهم حالت جایگزین به جای سنگدانه در بتن، همان اصلاح درصد آب می‌باشد تا این مخلوط اسلامپ صفر را فراهم آورد. براده‌ها را در شکل و اندازه‌های مختلف می‌توان در مخلوط بتن غلتکی به کار برد که پیشنهاد می‌شود براده به صورت پیچی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

ابتدا نمونه‌های تستی فراوانی ساخته شد که در این نمونه‌ها، سه نوع براده در اندازه و شکل‌های مختلف به کار برده شد و نحوه به کار بردن نیز به نوبه خود به دو روش افزودنی و جایگزینی صورت گرفت که در نتیجه نمونه‌های ۷ روزه را مورد آزمایش قرار داده و بنابر این شد که براده ریز شبیه پودر به عنوان افزودنی در مخلوط بتنی به کار برده شود. این کار تحقیقاتی شامل ۶ تیپ بود که اولین تیپ نمونه شاهد بود و بقیه تیپ‌ها به ترتیب ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۲ درصد براده آهن به عنوان افزودنی در مخلوط بتنی حضور داشتند. در این تحقیق در کل مقاومت مکانیکی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت که شامل سه مقاومت اعم از فشاری، کششی غیرمستقیم و خمشی سه محوری می‌باشند و در نهایت نمونه ساخته شده با ۲ درصد براده در هر سه مورد آزمایش بیشترین مقاومت را از خود نشان داد. نتایج نشان داد با افزودن ۲ درصدی براده آهن در مخلوط بتن غلتکی، مقاومت فشاری ۹ مگاپاسکال، مقاومت کششی غیرمستقیم ۰,۳۶ مگاپاسکال و مقاومت خمشی سه محوری در حدود ۰,۸۷ کیلونیوتون نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است و حضور بیشتر از ۶ درصد براده به عنوان افزودنی در مخلوط بتن غلتکی باعث می‌شود که مقاومت فشاری حداقل‌های ممکن را طبق استاندارد برآورد نکند و افت مقاومت چشمگیری را به ثبت رساند. در مخلوط بتن غلتکی نباید از ۲ درصد بیشتر افزودنی براده آهن استفاده کرد چرا که

#### ۶- مراجع

- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، (۱۳۸۸). راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور. (نشریه ۳۵۴).

- سازمان برنامه و بودجه کشور، (۱۳۹۶). دستور العمل طراحی، اجرا و نگهداری روسازی بتنی راه‌ها، (نشریه ۱۳۱).

- Concrete Using a Vibrating Table. *ASTM C1170*.
- American society for testing and materials (2014). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *ASTM C136*.
- American society for testing and materials (2014). Standard Test Method C143: Slump of Hydraulic Cement Concrete. *ASTM C143-90*.
- American society for testing and materials (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. *ASTM C128*.
- American society for testing and materials (2016). Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete. *ASTM C171*.
- American society for testing and materials (2016). Standard Terminology Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. *ASTM D1554*.
- American society for testing and materials (2016). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading). *ASTM C293*.
- American society for testing and materials (2017). Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, *ASTM C496*.
- American society for testing and materials (2018). Standard specification for deformed and plain carbon-steel bars for concrete reinforcement. *ASTM A615*.
- American society for testing and materials (2018). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *ASTM C39*.
- Engineering and Design (1995). Roller Compacted Concrete Pavement, Design and Construction. *ETL 1110-3-475*.
- Kagata, et al. (1998). Retarder Application to Longitudinal Roller compacted in Concrete Pavement Joints, 9<sup>th</sup> International Symposium in Concrete Roads, (1998). Portugal.
- Mallawaratchie, D.P., et al., (1998). Use of Roller Compacted Concrete in Road and Airport Pavement Construction in Srilanka, 9<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads, Portugal.
- Nanni, A., Ludwig, D. and Shoenberger, (1996). J., Roller Compacted Concrete for Highway Pavement. *Concrete International*, 33-39.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، (۱۳۸۸). راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور. نشریه (۳۵۴).
- جهانبخشی، وحید، امیری، محمد (۱۳۹۵). بررسی تاثیر براده فولادی به برخی از خواص فیزیکی بتن. دومین همایش ملی عمران، معماری، شهرسازی و مدیریت انرژی.
- مدرس، امیر و سیده زینب حسینی. (۱۳۹۴). بررسی خصوصیات رفتاری بتن غلتکی حاوی مصالح خرده آسفالتی. فصلنامه مهندسی حمل و نقل ۷ (۲).
- حق بین، بحرالعلوم، شریعت، پاکشیر. (۱۳۹۲). تاثیر پودر سنگ آهک و براده آهن بر خواص مکانیکی و خوردگی بتن. فصلنامه علوم و مهندسی خوردگی.
- ACI 325.10. (2000). State of Art Report on Roller Compacted Concrete Pavements. *American Concrete Institute Report ACI 325.10-95*.
- Alzaed, Ali N. (2014). Effect of iron filings in concrete compression and tensile strength *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*.
- American Concrete Institute (1999). Concrete Pavements and Bases. *ACI 325.9R*.
- American society for testing and materials (2002). Standard test method for sand equivalent value of soils and fine aggregate. *ASTM D2419-87*.
- American society for testing and materials (2006). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. *ASTM C131*.
- American society for testing and materials (2012). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>). *ASTM D1557*.
- American society for testing and materials. (2013). Standard Practice for Making Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table. *ASTM C1176*.
- American society for testing and materials (2014). Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer. *ASTM C1435*.
- American society for testing and materials (2014). Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted

# Laboratory Study of the Effect of Steel Shavings on Rolling Concrete

*Hossein Toloei kya, M.Sc., Grad., Department of Transportation Engineering and Planning,  
Technical and Engineering Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*Ali Abdi Kordani, Professor, Department of Transportation Engineering and Planning,  
Technical and Engineering Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*Nahid Amini, Ph.D., Student, Department of Transportation Engineering and Planning,  
Technical and Engineering Faculty, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*E-mail: [aliabdi@eng.ikiu.ac.ir](mailto:aliabdi@eng.ikiu.ac.ir)*

Received: June 2023- Accepted: February 2024

## **ABSTRACT**

Today, the proper use of waste and disposal that affects the environment around us, It has received a lot of attention, Because it is both environmentally and economically valuable to help with the environment we are in. According to that thousands of tons of steel waste is produced annually in the country's industrial community And through the collection of these wastes and their relocation to the factory and their smelting, they are again produced under steel conditions at high cost Or, because of its indivisibility, it is left unused in our environment and takes up a lot of space. Therefore reusing these wastes would be very beneficial. Research has shown that the use of iron filings in ordinary concrete has been repeatedly performed by different individuals, but in roller compacted concrete, it has not been done separately to reduce or increase resistances. This type of concrete pavement is known as the roller compacted concrete which has zero slumps and is much cheaper and has a better performance than other concrete pavements. Due to the good advantages of this type of pavement over other asphalt and concrete pavements, the tendency to use this type of pavement is increasing. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of iron filings on the mechanical properties of roller compacted concrete in road pavement. In this research, after purchasing the aggregate, iron filing, cement and providing these materials in the laboratory, the process of screening the aggregates was performed.

**Keywords:** Roller Compacted Concrete, Iron Filings Compressive Strength, Ensil Strength Flexural Strength