مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

جلد ۹- شماره ۲ - سال ۱۴۰۳

www.ElitesJournal.ir

بررسی و تحلیل چگونگی بازیافت و استفاده از زباله های خطرناک الکترونیکی برای به کار بردن آن ها به عنوان مصالح ساختمانی در کشورهای در حال پیشرفت

امیر شاطری*[۱]، علیرضا ستایش[۲]

۱- کارشناسی مهندسی برق، موسسه آموزش عالی آپادانا، شیراز، ایران

۲- کارشناسی مهندسی برق، موسسه آموزش عالی آپادانا، شیراز، ایران

*Amir.sh197799@gmail.com

ارسال: اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ پذیرش: خرداد ماه ۱۴۰۳

چکیده

این تحقیق و مقاله یک بررسی کلی و تجربی بر روی بتن سازه‌ای با جایگزینی جزئی سنگدانه‌های درشت با استفاده از زباله‌های پلاستیکی الکترونیکی خطرناک ارائه می کند. سنگدانه درشت با درصدهای مختلف ۱۰؛ ۲۰؛ ۳۰؛ ۴۰؛ ۵۰ درصد از زباله های الکترونیکی خطرناک از نظر حجمی جایگزین می شود. آزمایشاتی برای بررسی خواص بتن تازه و سخت شده در سنین مختلف از جمله ۷ و ۲۸ روزگی انجام می شود. از بررسی، مشخص می شود که کارایی مخلوط در برابر افزایش درصد زباله های الکترونیکی خطرناک کاهش یافته است. مقاومت فشاری، مقاومت کششی شکاف، مقاومت خمشی بتن نیمه جایگزین نسبتاً کمتر از بتن شاهد خواهد بود. اثر افزودن زباله های الکترونیکی خطرناک در بتن، چگالی خشک بتن را کاهش داد و رفتار تغییر شکل پذیری بالایی را قبل از شکست نشان می دهد. چگالی خشک کمتر ممکن است در کاهش وزن خود در عناصر سازه ای مزیت داشته باشد که منجر به جذب کمتر نیروهای شبه اینرسی در ناحیه مستعد زمین لرزه می شود.

کلمات کلیدی: بتن تازه، مقاومت فشاری، سنگدانه، مدیریت ضایعات، زباله های الکترونیکی خطرناک.

۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت تکنولوژی بسیار پویا، تولید تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی و میزان مصرف آن در دهه‌های گذشته سریع‌تر بوده است. تغییرات سریع در تولید تجهیزات، اجزاء و ویژگی های آن، باعث کاهش قیمت تمام شده محصولات الکترونیکی شده و مصرف کنندگان محصولات قدیمی را دور می اندازند و شیفتگی به محصولات جدید با تکنولوژی روز را نشان می دهند. این باعث ایجاد حجم زیادی از وسایل الکتریکی و الکترونیکی ناخواسته شده است. زباله های الکترونیکی از زباله های تجهیزاتی مانند کامپیوتر، تلفن همراه، تلویزیون، چاپگر، لپ تاپ، استریو شخصی، ماشین لباسشویی، تهویه مطبوع، یخچال و سایر لوازم خانگی تشکیل شده است. زباله های الکترونیکی تقریباً سه برابر نرخ زباله های شهری در سطح جهان رشد می کنند[۱]. زباله های الکترونیکی از مواد و مواد شیمیایی مختلفی مانند سرب، کادمیوم، جیوه، بریلیم، بازدارنده های شعله برومه و پلاستیک ها از جمله بی فنیل های پلی کلره، پلی وینیل کلراید و پلی استایرن تشکیل شده اند که بسیاری از آنها سمی هستند و ممکن است مشکلات جدی برای محیط زیست ایجاد کنند. سلامت انسان در صورت عدم رسیدگی صحیح این زباله های الکترونیکی نیاز به مراقبت شدید در دفع دارند. در

غیر این صورت می تواند مشکلات جدی برای سلامتی انسان ایجاد کند. اینها نیاز به یک شبکه جمع آوری بزرگ، زیرساخت بازیافت، فناوری صوتی برای جابجایی و دفع زباله های الکترونیکی دارند. تجارت جهانی این زباله های الکترونیکی پیچیده و سمی، وظیفه ای چالش برانگیز برای مدیریت و مدیریت آن ایجاد می کند باعث نگرانی های زیست محیطی خطرناک در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه می شود[۱]. بسیاری از کشورها هنجارهای سختگیرانه ای را برای بازیافت این زباله های الکترونیکی ایجاد کرده اند تا از اثرات نامطلوب بر محیط زیست و سلامت انسان جلوگیری کنند. با این حال، فقدان امکانات برای بازیافت و همچنین هنجارهای سختگیرانه در کشورهای در حال توسعه تهدیدی جدی است. صادرات غیراخلاقی زباله های الکترونیکی در مقیاس بزرگ از کشورهای غربی به کشورهای آسیایی و آفریقایی بار را بر دوش کشورهای بعدی افزایش داده است، زیرا آنها برای مقابله با چنین زباله هایی مجهز نیستند. هند با جمعیتی بیش از ۱ میلیارد نفر، اقتصادی به سرعت در حال رشد است و نرخ افزایش مصرف لوازم الکترونیکی را نشان می دهد. یک مطالعه مشترک در مورد تولید زباله الکترونیکی توسط انجمن سازندگان فناوری اطلاعات هند و شرکت دولتی خدمات حرفه ای آلمان در هند در سال ۲۰۰۷ انجام شد. تولید تخمینی زباله الکترونیکی تقریباً ۴۰۰۰۰۰ تن زباله در سال (از رایانه، فقط تلفن های همراه و تلویزیون) که انتظار می رود با نرخ ۱۰ تا ۱۵ درصد در سال رشد کند [۱]. پلاستیک یکی از مواد غالب مورد استفاده در لوازم الکترونیکی است و به طور معمول حدود ۲۱ درصد را تشکیل می دهد [۲]. در هند، بیشتر پلاستیک محصولات الکترونیکی توسط بخش غیررسمی بازیافت می شود. در حال حاضر، هیچ فرآیند مشخصی برای بازیافت پلاستیک الکترونیکی در بخش غیررسمی وجود ندارد. در بخش رسمی، فرآیندهای بازیافت فعلی می توانند تنها ۲۰ درصد از پلاستیک را به طور موثر بازیافت کنند. از آنجایی که فرآیند بازیافت فعلی برای بازیافت پلاستیک الکترونیکی کارآمد نیست، دفع زباله های پلاستیکی الکترونیکی که از طریق احتراق، بازیافت در بخش غیررسمی و دفن زباله انجام می شود، آخرین راه برای دفع زباله های پلاستیکی الکترونیکی در محیط است. کاهش مستمر منابع طبیعی و افزایش روزافزون هزینه مواد خام، استفاده از مواد زائد در صنعت ساخت و ساز، افزودن منبع کل اضافی و کاهش اثرات آن بر محیط زیست است. در سراسر جهان تحقیقات زیادی با استفاده از پلاستیک های زباله های جامد شهری مانند بطری پلی اتیلن ترفتالات، لوله پلی وینیل کلراید و کیسه های پلی اتیلن ساخته شده از پلی اتیلن با چگالی بالا، پلی اتیلن با چگالی کم انجام شده است. این پلاستیک ها خرد شده و به عنوان سنگدانه بیشتر مانند سنگدانه های ریز، پرکننده یا الیاف در تهیه ملات سیمان و بتن استفاده می شدند [۱۴-۳]. اگرچه تحقیقات گسترده ای در مورد مواد پلاستیکی بازیافتی انجام شده است، اما مطالعات بسیار کمی وجود داشته است که زباله های پلاستیکی الکترونیکی را در ملات سیمان و بتن ترکیب کند. مواد شیشه ای ضایعاتی خرد شده از نخ های شیشه ای با درجه الکترونیکی به عنوان سنگدانه های ریز در بتن استفاده شده است [۱۵]. اخیراً، بایندرهای آسفالتی اصلاح شده با ضایعات الکترونیکی از پلاستیک های کامپیوتری بازیافتی برای بهبود عملکرد بایندر آسفالت در مقایسه با کلاسورهای آسفالتی معمولی به طور تجربی مورد مطالعه قرار گرفتند [۱۶] و پودر تخته مدار چاپی زباله به عنوان افزودنی در ملات سیمان استفاده شد [۱۷]. دانشمندان و محققان [۲۰-۱۸]، یک مطالعه تجربی را با استفاده از ذرات زباله های الکترونیکی خطرناک به عنوان سنگدانه های درشت در بتن با درصد جایگزینی از ۰ تا ۳۰ درصد وزنی بر اساس معیارهای مقاومت بتن M20 انجام داده اند. آزمایشات مقاومتی مانند مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی بتن انجام شد. نتایج نشان می دهد که استحکام با افزایش سنگدانه های زباله های الکترونیکی خطرناک کاهش می یابد [۱۸- ۱۹]. بتن با سنگدانه زباله الکترونیکی خطرناک و خاکستر بادی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج [۲۰-۱۸] نشان می دهد که تا ۲۰ درصد جایگزینی زباله الکترونیکی خطرناک در بتن با خاکستر بادی مقاومت فشاری و کششی را بهبود می بخشد. آزمایش‌های دوام نیز انجام شد [۱۹- ۲۰] که نشان می‌دهد بتن زباله الکترونیکی خطرناک قابل قبول است، اگرچه در مقایسه با بتن معمولی کمی کمتر است. تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی از انواع مختلفی از پلاستیک تشکیل شده است. در این تحقیق، تلاش شد تا ضایعات پلاستیکی الکترونیکی که از منبع خاصی به دست می‌آیند، تا حدی جایگزین سنگدانه درشت شود. پلاستیک های زباله الکترونیکی از رایانه به دست آمده و تجهیزات جانبی به تنهایی در این تحقیق و مقاله به عنوان جایگزینی برای سنگدانه های درشت استفاده می شود. سنگدانه درشت تا حدی با درصدهای مختلف زباله الکترونیکی خطرناک از نظر حجمی از ۱۰ تا ۵۰ درصد جایگزین شد.

جدول ۱- خواص فیزیکی سیمان پرتلند معمولی

نتایج آزمایشات	مشخصات فیزیکی
۳,۱۳	وزن مخصوص
۳۲ درصد	سازگاری با استاندارد
۴۵ دقیقه	زمان تنظیم اولیه
۱۹۰ دقیقه	زمان تنظیم نهایی
۲۸۲ متر مربع بر کیلوگرم	ظرافت
۳۱ نیوتون بر میلی متر مربع	مقاومت فشاری سیمان در ۳ روز
۴۳ نیوتون بر میلی متر مربع	مقاومت فشاری سیمان در ۷ روز
۵۸ نیوتون بر میلی متر مربع	مقاومت فشاری سیمان در ۲۸ روز

۲- پیشینه تحقیق و پژوهش

زباله الکترونیکی به دستگاه‌های الکترونیکی مصرف شده و قطعات آنان همچون تلفن‌ها و رایانه‌ها، لوح فشرده و غیره گفته می‌شود که حاوی فلزات خطرناک مانند سرب، کادمیوم و جیوه هستند که در صورت رهاسازی در طبیعت پس از پایان عمر مفید و عدم بازیافت صحیح، آلوده‌کننده خطرناک محیط زیست به‌شمار می‌روند[۲۷]. با اینکه کشورهای توسعه یافته و در راس آنان آمریکا بزرگترین تولیدکننده این تجهیزات به‌شمار می‌روند، اغلب این دستگاه‌ها پس از مصرف به کشورهای جهان سوم ارسال می‌شود. بازیافت غیراصولی زباله‌های الکترونیک در کشورهای جهان سوم به آلودگی‌های گسترده منجر گردیده‌است. طبق معاهده‌ای که سازمان ملل در سال ۱۹۸۹ برای کنترل روند صادرات زباله‌های خطرناک از کشورهای توسعه یافته به کشورهای فقیر اعلام کرد؛ هر کشوری می‌تواند به‌طور یکجانبه واردات این کالاها را ممنوع کند و کشورهای صادرکننده باید موافقت مشور واردکننده را جلب کنند[۲۸]. آمریکا هیچگاه این قرار داد را امضا نکرد و کشورهایی همچون چین به امید دستیابی به درآمدی ناچیز از محل بازیافت این تجهیزات از امضای این قرار داد خودداری کردند. هند، چین و بنگلادش به زباله‌دان‌های الکترونیک جهان مبدل شده‌اند و نگرانی‌ها درمورد مشکلات زیست‌محیطی این امر روبه افزایش است هم اکنون ۷۰ درصد رایانه‌ها و موبایل‌های جهان در چین بازیافت می‌شود. در سال ۲۰۰۸ وزرای ۱۷۰ کشور جهان در بالی اندونزی گرد هم آمدند تا راه‌های بازیافت زباله‌های خطرناک از جمله زباله‌های الکترونیک را بررسی کنند. هم اکنون هیچ آماری از وضعیت زباله‌های الکترونیک در ایران در دست نیست و هیچ سازمانی نیز متولی رسیدگی به زباله‌های الکترونیک نیست[۲۹].

۳- برنامه تجربی تحقیق و خواص مواد

۳-۱- سیمان

سیمان مورد استفاده در طراحی مخلوط بتن سیمان پرتلند معمولی مطابق با استاندارد بین المللی ۱۲۲۶۹-۱۹۸۷ [۲۱] بود. آزمایشات آزمایشگاهی مختلفی انجام شد و خواص فیزیکی در جدول ۱ ذکر شده است.

۳-۲- تجمیع

خواص فیزیکی سنگدانه درشت و ریز که از طریق آزمایش آزمایشگاهی یافت می شود در جدول ۲ مطابق با استاندارد بین المللی ۲۳۸۶-۱۹۶۳ (بخش I–IV) [۲۲] آورده شده است.

۳-۳- آب

از آب آشامیدنی عاری از ناخالصی ها و نمک برای اختلاط و عمل آوری نمونه های بتن طبق استاندارد بین المللی ۲۰۰۰-۴۵۶ استفاده شد [۲۳].

جدول ۲- خواص فیزیکی سنگدانه های درشت و ریز

مشخصات فیزیکی	سنگدانه درشت	سنگدانه ریز
وزن مخصوص	۲,۷۹	۲,۶۵
چگالی ظاهری	۱۶۲۴,۲۲ کیلوگرم بر متر مکعب	۱۶۵۶,۰۹ کیلوگرم بر متر مکعب
مدل ظرافت	۶,۸۶	۲,۵۳
جذب آب	۰,۶۴ درصد	۱ درصد
ارزش تاثیر کل	۲۰,۹ درصد	اطلاعات در دست نیست
ارزش خرد کردن کل	۲۴,۸۷ درصد	اطلاعات در دست نیست

شکل ۱- سنگدانه های زباله الکترونیکی خطرناک

۳-۴- زباله الکترونیکی خطرناک به عنوان سنگدانه درشت

زباله الکترونیکی خطرناککه به عنوان جایگزینی جزئی برای سنگدانه های درشت استفاده می شد، به شکل تراشه بود که شکل پوسته پوسته و رنگ آن سیاه بود. نمونه ای از زباله الکترونیکی پلاستیک در شکل ۱ نشان داده شده است. خواص طبق استاندارد بین المللی ۱۹۶۳-۲۳۸۶ (بخش I–IV) [۲۲]، حداکثر اندازه در نظر گرفته شده ۱۲,۵ میلی متر، مدول ظرافت و وزن مخصوص برای زباله الکترونیکی خطرناک یافت شده است. چگالی زباله الکترونیکی خطرناک به ترتیب ۷,۶۹ و ۱,۲۹ کیلوگرم بر متر مکعب بود. ارزش کل ضربه و ارزش خرد شدن کمتر از ۲ درصد بود.

۳-۵- طراحی بتن مخلوط

ترکیب مرجع طراحی بتن گرید M25 (۱به ۲؛ ۱۴ به ۳,۰۸) با نسبت وزن به سیمان ۰,۴۹، با استفاده از حداکثر اندازه ۱۲,۵ میلی متر سنگدانه درشت و حداکثر اندازه ۲,۳۶ میلی متر سنگدانه ریز بر اساس توصیه های استاندارد بین المللی ۲۰۰۹-۱۰۲۶۲ [۲۴]. نسبت آب به سیمان سنگدانه ریز ثابت شد. درشت دانه ها با درصدهای مختلف زباله الکترونیکی خطرناک بر حسب حجم (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) جایگزین شد که در جدول ۳ نشان داده شده است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱-خواص بتن تازه

خواص بتن تازه مانند اسلامپ، وزن واحد تازه، طبق مشخصات استاندارد هند ۱۹۵۹-۱۱۹۹ [۲۵] تعیین شد. آزمایش اسلامپ برای بررسی کارایی بتن انجام شد. مخلوط بتن برای اسلامپ ۲۵ تا ۵۰ میلی متر طراحی شد و اسلامپ طرح با بتن شاهد به دست آمد. افزایش زباله الکترونیکی خطرناک در مخلوط بتن منجر به کاهش کارایی می شود که بر اسلامپ و تراکم تازه تأثیر می گذارد. شکل و اندازه سنگدانه های زباله الکترونیکی خطرناک بر قوام مخلوط بتن تأثیر می گذارد. کاهش اسلامپ و چگالی بتن تازه وجود دارد زیرا زباله الکترونیکی خطرناک در بتن گنجانده شده است. چگالی تازه به ترتیب ۱,۱۰؛ ۴,۸۷؛ ۷,۵۸؛ ۱۰,۷۰ و ۱۳,۵۸ درصد برای ۱۰؛ ۲۰؛ ۳۰؛ ۴۰ و ۵۰ درصد کاهش می یابد. زیر مخلوط کنترل با توجه به اینکه چگالی سنگدانه زباله الکترونیکی خطرناک

کمتر از سنگدانه درشت است، منجر به کاهش چگالی تازه می شود. نتایج اسلامپ و چگالی تازه در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

۴-۲- خواص بتن سخت شده

مکعب های بتنی با اندازه ۱۵۰ میلی متر برای مقاومت فشاری، ۱۵۰ در ۳۰۰ میلی متر برای مقاومت کششی شکافتن، ۱۰۰ در ۱۰۰ در ۵۰۰ میلی متر برای مقاومت خمشی ریخته گری شدند. آزمایشات در روزهای ۷ و ۲۸ مطابق با مفاد استاندارد هند ۵۱۶-۱۹۵۹ [۲۶] انجام شد.

۴-۳- چگالی خشک سطح اشباع

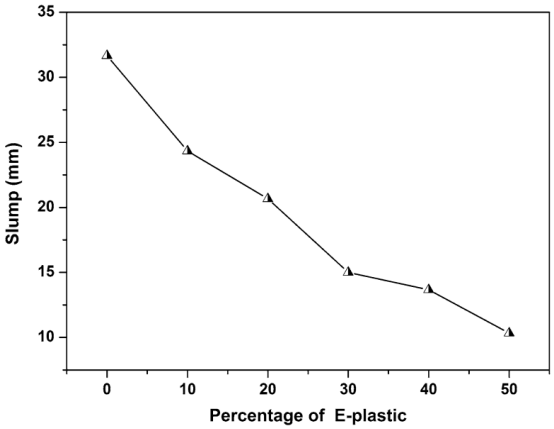
مقادیر چگالی خشک سطح اشباع برای بتن زباله الکترونیکی خطرناک در شکل ۴ نشان داده شده است. چگالی ها با افزایش محتوای زباله الکترونیکی خطرناک در هر مخلوط بتن کاهش می یابد، زیرا چگالی زباله الکترونیکی خطرناک کمتر از چگالی زباله های دیگر است. سنگدانه درشت ۶۳,۳۵ درصد. کمترین چگالی خشک در ۲۸ روز ۲۱۳۹,۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب است که بسیار کمتر از محدوده بتن سازه ای است.

۴-۴- مقاومت فشاری

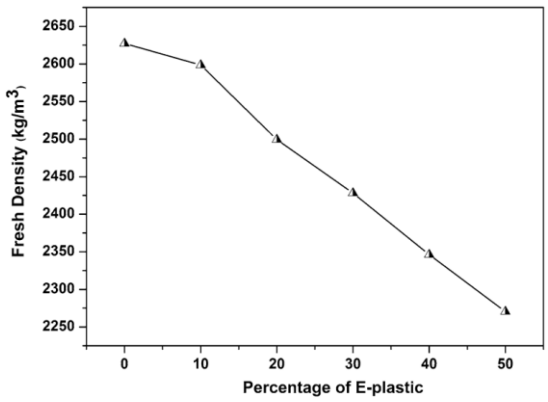
نمونه های مکعب بتنی با استفاده از نرخ بارگذاری ثابت در دستگاه تست تراکم ۳۰۰۰ کیلونیوتن بارگذاری شدند. مشاهده شد که مکعب های بتنی حاوی زباله الکترونیکی خطرناک در بارهای فشاری کمتر در مقایسه با مکعب های ساخته شده از بتن شاهد شکست خوردند. مکعب های بتنی زباله الکترونیکی خطرناک دچار تغییر شکل قابل توجهی شدند و شکست شکننده را تجربه نکردند. در هنگام شکست، بیشتر نمونه ها به دو هرم در جهت عمودی کاهش یافتند. مشاهدات مشابهی توسط محققان [۳] انجام شد. نتایج آزمایش مقاومت فشاری در شکل ۵ نشان داده شده است. جالب توجه است که مقاومت فشاری مخلوط بتن حاوی زباله الکترونیکی خطرناک باعث کاهش مقاومت می شود.

جدول ۳- نسبت بتن مخلوط (کیلوگرم بر متر مکعب)

زباله الکترونیکی خطرناک (درصد)	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
نسبت آب به سیمان	۰,۴۹	۰,۴۹	۰,۴۹	۰,۴۹	۰,۴۹	۰,۴۹
سیمان (کیلوگرم بر متر مکعب)	۳۶۷,۳۴	۳۶۷,۳۴	۳۶۷,۳۴	۳۶۷,۳۴	۳۶۷,۳۴	۳۶۷,۳۴
آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰
سنگدانه ریز (کیلوگرم بر متر مکعب)	۷۸۹,۱۴	۷۸۹,۱۴	۷۸۹,۱۴	۷۸۹,۱۴	۷۸۹,۱۴	۷۸۹,۱۴
سنگدانه درشت (کیلوگرم بر متر مکعب)	۱۱۳۳,۳۲	۱۰۱۹,۹۸	۹۰۷,۴۴	۷۹۳,۵۲	۶۷۹,۵۹	۵۶۵,۶۷
زباله الکترونیکی خطرناک (کیلوگرم بر متر مکعب)	۰	۵۲,۴۰	۱۰۴,۸۰	۱۵۷,۱۱	۲۰۹,۷۸	۲۶۱,۵۵

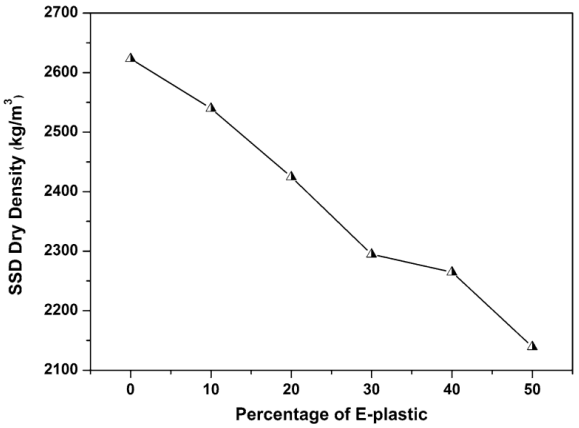


شکل ۲- کاهش در برابر درصد محتوای زباله الکترونیکی خطرناک بر حسب حجم

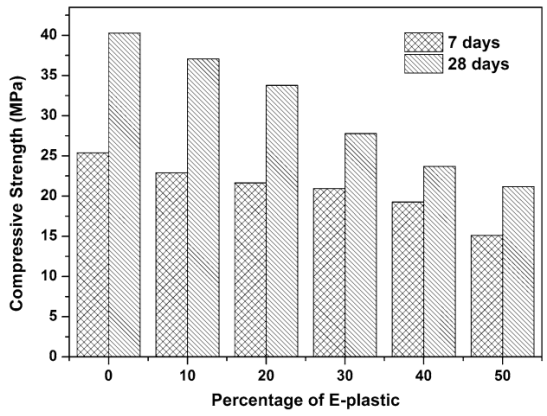


شکل ۳- تراکم تازه در مقابل درصد محتوای زباله الکترونیکی خطرناک بر حسب حجم

عواملی که ممکن است عامل مقاومت فشاری پایین بتن حاوی سنگدانه زباله الکترونیکی خطرناک باشد عبارتند از: ۱- شکل، اندازه و بافت سنگدانه زباله الکترونیکی خطرناک. ۲- مقدار سنگدانه درشت کاهش یافته به دلیل جایگزینی حجم ضعیف است. ۳- اتصال بین زباله الکترونیکی خطرناک و ملات سیمان.

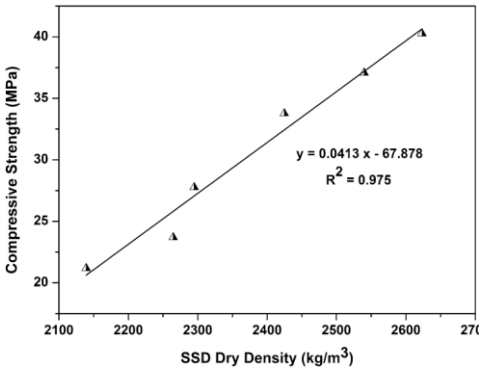


شکل ٤- چگالی خشک سطح اشباع در مقابل درصد محتوای زباله الکترونیکی خطرناک حجمی در ۲۸ روز

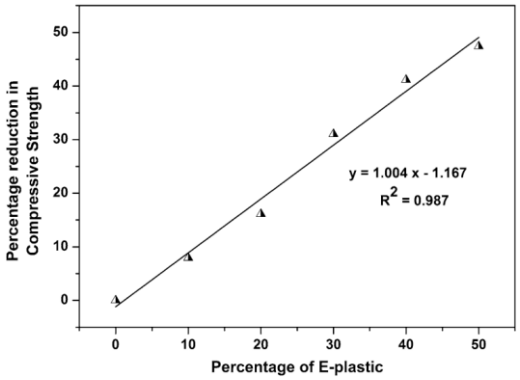


شکل ٥- تغییر در مقاومت فشاری با سن و محتوای زباله الکترونیکی خطرناک

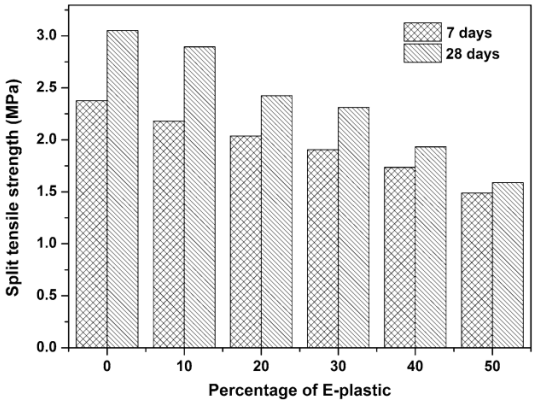
در این تحقیق و مقاله تحلیل رگرسیون بر روی مقاومت فشاری و چگالی خشک با استفاده از مدل های رگرسیون خطی انجام شد. مدل خطی خطی بودن بین مقاومت فشاری و چگالی را همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است نشان داد. مقاومت فشاری مستقیماً با چگالی بتن سخت شده متناسب بود. مقدار R2 بالاتر ۰,۹۷۵ برای مدل خطی نشان داد که رگرسیون تحت برازش خوب ایجاد شده است، به این معنی که هیچ تغییر قابل توجهی در مقاومت فشاری و چگالی نتایج بتن وجود ندارد. شکل ۷ رابطه بین درصد کاهش مقاومت فشاری و درصد زباله الکترونیکی خطرناک در مخلوط بتن را نشان می دهد. این شکل یک روند کلی را نشان می‌دهد که در آن مقدار مقاومت فشاری با افزایش درصد زباله الکترونیکی خطرناک در مخلوط کاهش می‌یابد، که نشان دهنده اتلاف حدود ۴۷,۴۱ درصد از مقاومت فشاری در ۵۰ درصد جایگزینی زباله الکترونیکی خطرناک است. منحنی خطی به بهترین وجه با داده ها مطابقت دارد. ضریب همبستگی مجذور این رابطه ۹۸,۷ درصد است.



شکل ٦- رابطه بین مقاومت فشاری و چگالی خشک در ۲۸ روز



شکل ۷- رابطه بین درصد کاهش مقاومت فشاری و درصد زباله الکترونیکی خطرناک



شکل ۸- تغییر در استحکام کششی تقسیم با سن و محتوای زباله الکترونیکی خطرناک

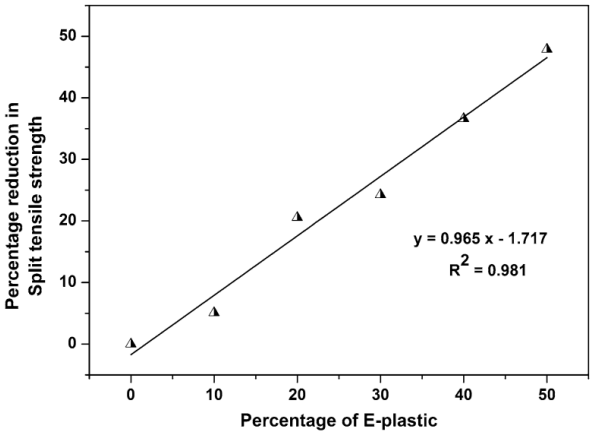
۴-۵- تقسیم مقاومت کششی

همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، مقاومت کششی شکاف با افزایش درصد سنگدانه های زباله الکترونیکی خطرناک کاهش یافت. مشاهده شد که شکست شکافتن نمونه های بتنی حاوی سنگدانه های زباله الکترونیکی خطرناک، شکست شکننده معمولی مشاهده شده در مورد بتن شاهد را نشان نمی دهد. هنگامی که درصد سنگدانه های زباله الکترونیکی خطرناک افزایش یافت، شکست در طبیعت انعطاف پذیرتر بود. سنگدانه های زباله الکترونیکی خطرناک دارای خاصیت کششی هستند که شکست کششی شکافتگی را به صورت شکست تدریجی و مقاومت در برابر بار شکاف پس از شکست بدون شکست کامل نمونه های سیلندر همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است نشان می دهد. از زباله الکترونیکی خطرناک و در شکل ۱۰ نشان داده شده است. روند در شکل نشان می دهد که با افزایش درصد زباله الکترونیکی خطرناک، مقاومت کششی شکافته بتن کاهش می یابد و ۴۷,۸۹ درصد از مقاومت کششی شکافته را در ۵۰ درصد از دست می دهد. جایگزینی زباله الکترونیکی خطرناک ضریب همبستگی در مجذور ۹۸,۱۰ درصد است.

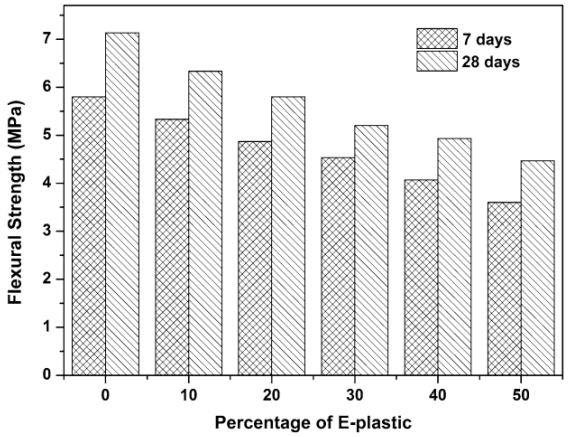
۴-۶- استحکام خمشی

همانند مقاومت فشاری و مقاومت کششی شکاف، مقاومت خمشی بتن با افزایش محتوای زباله الکترونیکی خطرناک کاهش یافت. نتایج آزمایش مقاومت خمشی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. توجه به این نکته جالب است که مقاومت خمشی بتن زباله الکترونیکی خطرناک رفتار شکل پذیری را قبل از شکست نشان می دهد. روند در شکل ۱۲ معادله ای را نشان می دهد که رابطه درصد کاهش مقاومت خمشی و درصد زباله الکترونیکی خطرناک را نشان می دهد. ضریب همبستگی مجذور این رابطه **۹۳,۴** درصد است. کاهش مقاومت در ۵۰ درصد جایگزینی زباله الکترونیکی خطرناک حدود ۳۷,۳۸ درصد است.

شکل۹- حالت شکست شکافتن بتن زباله الکترونیکی خطرناک پس از بارگذاری نهایی

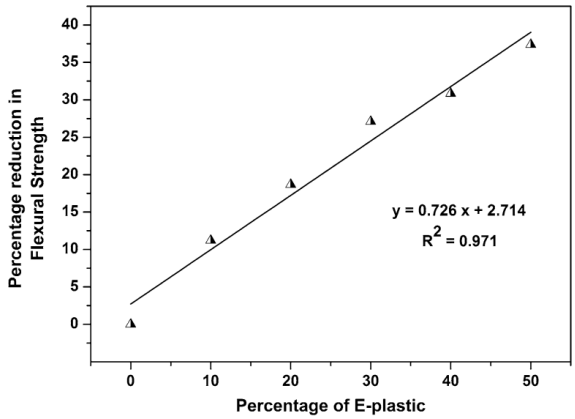


شکل ۱۰- رابطه بین کاهش مقاومت کششی شکافته و درصد زباله الکترونیکی خطرناک



شکل ۱۱- تغییر در استحکام خمشی با افزایش سن و محتوای زباله الکترونیکی خطرناک

افزودن زباله الکترونیکی خطرناک در ملات و بتن نشان دهنده روند کاهشی مقاومت فشاری، مقاومت کششی شکافی و خمشی با افزایش محتوای زباله الکترونیکی خطرناک است.



شکل ۱۲- رابطه بین درصد کاهش مقاومت خمشی و درصد زباله الکترونیکی خطرناک

مشاهدات مشابهی توسط محققان دیگر نیز انجام شد [۲۰-۳،۱۷]. حتی اگر کاهش مقاومت مشاهده شد، زباله الکترونیکی خطرناک را می توان با جایگزینی خاصی در بتن استفاده کرد.

۵- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق و مقاله به شرح زیر است:

۱. از پلاستیک الکترونیکی می توان برای جایگزینی سنگدانه های درشت در بتن از نظر حجمی (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) استفاده کرد.

۲. مقاومت فشاری، کششی و خمشی شکافنده با افزایش زباله الکترونیکی خطرناک کاهش یافت. سنگدانه های زباله الکترونیکی خطرناک شکل ضعیفی دارند و بافت سطحی آن صاف است که به شدت بر خواص تازه و سخت شده بتن تأثیر می گذارد.

۳. روابط ریاضی برای همبستگی درصد زباله الکترونیکی خطرناک در مخلوط با درصد کاهش مقاومت فشاری، استحکام کششی تقسیم، مقاومت خمشی داده شده است. قابل توجه است که میزان کاهش مقاومت با افزایش زباله الکترونیکی خطرناک در استحکام فشاری تقریباً یکسان بود همانطور که در استحکام کششی تقریبی ۴۸ درصد برای ۵۰ درصد جایگزینی و برای مقاومت خمشی حدود ۳۷,۳۸ درصد برای جایگزینی ۵۰ درصد است. اگرچه یک روند قابل تشخیص است، اما به دلیل تعداد محدود نقاط داده باید در استفاده از معادلات داده شده احتیاط کرد. تعمیم روندها به نقاط داده بیشتری نیاز دارد.

۴. توصیه می شود تا ۳۰ درصد جایگزینی حجمی انجام شود. تا این حد، مقاومت مشخصه بتن M25 به دست آمد. مشاهدات دیگر این است که تا ۵۰ درصد جایگزینی حجمی، ۵۰ درصد مقاومت در بتن پس از شکست حفظ شد. توصیه می شود برای عناصر سبک وزن غیرسازه ای از جایگزینی حجمی ۴۰ و ۵۰ درصد استفاده شود. نتایج تجربی استفاده از ضایعات الکترونیکی خطرناک را به عنوان سنگدانه درشت محدود می کند، زمانی که استحکام نیاز اصلی است.

۵. بازیافت زباله های پلاستیکی الکترونیکی برای تولید مواد جدید، مانند کامپوزیت های بتن سیمانی، به عنوان یکی از راه حل های ظریف برای دفع زباله های پلاستیکی الکترونیکی، به جای احتراق و پر کردن زمین به نظر می رسد.

۶- مراجع

1. Waste Electrical and Electronic Equipment (2013) The EU and India.

2. Central pollution control board (CPCB), India (2013) http://cpcb. nic.in/e_Waste.php. Accessed on 12 March 2013.

3. Ashraf M, Michael S (2004) Compression and Deformation Performance of Concrete Containing Postconsumer Plastics. J Mater Civ Eng 16:289–296.

4. Choi YW, Moon DJ, Kim YJ, Lachemi M (2009) Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles. Constr Build Mater 23:2829–2835.

5. Choi YW, Moon DJ, Chung JS, Cho SK (2005) Effects of pet waste bottles aggregate on the properties of concrete. Cem Concr Res 35:776–781.

6. Kim SB, Yi NH, Kim HY, Kim JHJ, Song YC (2010) Material and structural performance evaluation of recycled PET fibre reinforced concrete. Cem Concr Compos 32:232–240

7. Silva DA, Betioli AM, Gleize PJP, Roman HR, Gomez LA, Ribeiro JLD (2005) Degradation of recycled PET fibres in Portland cement-based materials. Cem Concr Res 35:1741–1746.

8. Pacheco-Torgal F, Ding Yining, Jalali Said (2012) Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): an overview. Constr Build Mater 30:714–724.

9. Naik TR, Singh SS, Huber CO, Brodersen BS (1996) Use of postconsumer plastic wastes in cement-based composites. Cem Concr Res 26:1489–1492 (PII S0008-8846(96)00135-4).

10. Ahmadinia Esmaeil, Zargar Majid, Karim Mohamed Rehan, Abdelaziz Mahrez, Shafigh Payam (2011) Using waste plastic bottles as additive for stone mastic asphalt. Mater Design 32:4844–4849.

11. Batayneh Malek, Marie Iqbal, Asi Ibrahim (2007) Use of selected waste materials in concrete mixes. Waste Manage 27:1870–1876.

12. Remadnia A, Dheilly RM, Laidoudi B, Que´neudec M (2009) Use of animal proteins as foaming agent in cementitious concrete composites manufactured with recycled PET aggregates. Constr Build Mater 23:3118–3123.

13. Rebeiz Karim S, Fowler David W, Paul Donald R (1993) Recycling plastics in polymer concrete for construction applications. J Mater Civ Eng 5:237–248.

14. Saikia Nabajyoti, de Brito Jorge (2012) Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. Constr Build Mater 34:385–401.

15. Chen CH, Huang R, Wu JK, Yang CC (2006) Waste E-glass particles used in cementitious mixtures. Cem Concr Res 36:449–456.

16. Baron Colbert W, You Zhanping (2012) Properties of modified asphalt binders blended with electronic waste powders. J Mater Civ Eng 24:1261–1267.

17. Wang R, Zhang T, Wang P (2012) Waste printed circuit boards nonmetallic powder as admixture in cement mortar. Mater Struct 45:1439–1445.

18. Lakshmi R, Nagan S (2010) Studies on concrete containing E-plastic waste. Int J Environ Sci 1(3):270–281.

19. Lakshmi R, Nagan S (2011) Investigations on durability characteristics of E-plastic waste incorporated concrete. Asian J Civ Eng (Build Hous) 12(6):773–787.

20. Lakshmi R, Nagan S (2011) Utilization of Waste E-plastic particles in cementitious mixtures. J Struct Eng SERC Chennai 38(1):26–35.

21. IS 12269-1987 Specification for 53 grade ordinary Portland cement. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.

22. IS 2386 (Part I–IV)-1963 Methods of test for aggregates for concrete. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.

23. IS 456-2000 Plain and reinforced concrete—code of practice. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.

24. IS 10262:2009 Concrete mix proportioning—guidelines. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.

25. IS 1199-1959 Indian standard methods of Sampling and analysis of concrete . Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.

26. IS 516-1959 Indian standard code of practice—methods of test for strength of concrete. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.

27. Kahhat, Ramzy; Kim, Junbeum; Xu, Ming; Allenby, Braden; Williams, Eric; Zhang, Peng (May 2008). "Exploring e-waste management systems in the United States". Resources, Conservation and Recycling. 52 (7): 956.

28. Perkins, Devin N.; Drisse, Marie-Noel Brune; Nxele, Tapiwa; Sly, Peter D. (25 November 2014). "E-Waste: A Global Hazard". Annals of Global Health. 80 (4): 286–295.

29. Sakar, Anne (12 February 2016). "Dad brought home lead, kids got sick". The Cincinnati Enquirer. Archived from the original on 29 March 2022. Retrieved 8 November 2019.