علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره هفدهم، شماره سه، پاییز ۹۴

تعیین درصد بهینه اختلاط پسماند مقواسازی در تهیه بتن سبک غیرباربر

داریوش یوسفی کبریا [۱*]

dy.kebria@nit.ac.ir

سیده فاطمه سید علیپور[۲]

مهدی دهستانی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱۹ **تاریخ پذیرش:۹۲/۱۱/۱۲**

چکیده

مقدمه و هدف: بیشتر صنایع کاغذ و مقواسازی برای دفع پسماندهای تولیدی خود، صرف نظر از هزینه‌های گزاف، از دو روش متداول سوزاندن و دفن در خاکچال استفاده می‌کنند. ترکیبات خطرناک موجود در این نوع پسماندها، سبب آلودگی‌های محیط زیست و به‌خطر افتادن سلامت بشر می‌شود. بسیاری از مطالعات سال‌های اخیر نشان می‌دهد که بعضی از ضایعات حاصل از صنایع کاغذ و مقوا می‌تواند به عنوان مواد اولیه در صنعت ساختمان به کار رود. این تحقیق با هدف تعیین درصد بهینه اختلاط پسماند مقواسازی در تهیه بتن سبک غیر باربر انجام شد.

روش بررسی: در این تحقیق از دو نوع پسماند کارخانه مقواسازی (پسماند نوع۱ حاوی مقوا و ماسه و پسماند نوع۲ حاوی نایلون، یونولیت و مقوا) که بیشترین حجم پسماندها را تشکیل می‌دهند استفاده شد. مشخصات فیزیکی و میکروبی پسماندها مطابق ASTM اندازه گیری شد. همچنین ترکیب‌های مختلف شیمیایی پسماندها شامل عناصر مختلف با استفاده از میکروسکوپ الکترونی اندازه گیری شد. پس از آماده سازی نمونه‌ها، آزمایش‌های مورد نظر برای تعیین درصد بهینه اختلاط پسماند در بتن در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز انجام شد.

یافته‌ها: از آنجاییکه pH نمونه بتن‌های تازه حاوی پسماند بزرگتر از ۱۲ می‌باشد، می‌توان مطمئن شد که هیچ گونه مشکل میکروبی وجود نخواهد داشت. به‌طورکلی استفاده از پسماند در تولید بتن سبب کاهش مقاومت فشاری نمونه‌ها می‌شود. مقایسه مقاومت فشاری بتن‌های حاوی پسماند نوع۱ و نمونه بتن‌های حاوی هر دو نوع پسماند، نشان می‌دهد با کاهش میزان پسماند نوع ۲ نسبت به پسماند نوع۱ مقاومت فشاری بتن بهبود می‌یابد. نتایج حاصل از آزمایش چگالی خشک، نشان دهنده کاهش چگالی نمونه‌های بتنی حاوی پسماند با افزایش درصد جایگزینی پسماند در بخش ماسه می‌باشد. همچنین استفاده از پسماند نوع۲ باعث سبک‌تر شدن نمونه‌های بتنی نسبت به نوع۱ می‌شود. مقادیر بهینه درصدهای جایگزینی پسماند بجای بخش ماسه بتن برای نمونه‌های حاوی پسماند نوع ۱ و نوع ۲، به ترتیب ۷۰ و ۷۵ و همچنین برای نمونه‌های حاوی هر دو نوع پسماند، ۴۹ درصد پسماند نوع ۱ و ۲۱ درصد پسماند نوع ۲ می‌باشد.

۱- استادیارگروه مهندسی عمران-محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل (مسوول مکاتبات).

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

۳- استادیارگروه مهندسی عمران-سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده، استفاده از پسماند نوع۱ در تولید بتن به لحاظ اقتصادی و زیست محیطی به‌سبب استفاده از سیمان کمتر رضایت‌بخش‌تر می‌باشد. استفاده از پسماندهای کارخانه‌های مقواسازی در تولید بتن سبب صرفه‌های زیست محیطی و اقتصادی (سودآوری و تولید اشتغال، کاهش هزینه‌های انتقال پسماندها به محل دفن، کاهش وزن سازه، استفاده از پسماند به جای خرید ماسه و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از سوزاندن و دفن پسماندها در خاکچال) می‌شود.

واژه های کلیدی: پسماندهای صنعتی، کارخانه بازیافتی مقواسازی، بتن سبک غیر باربر، مقاومت فشاری.

مقدمه

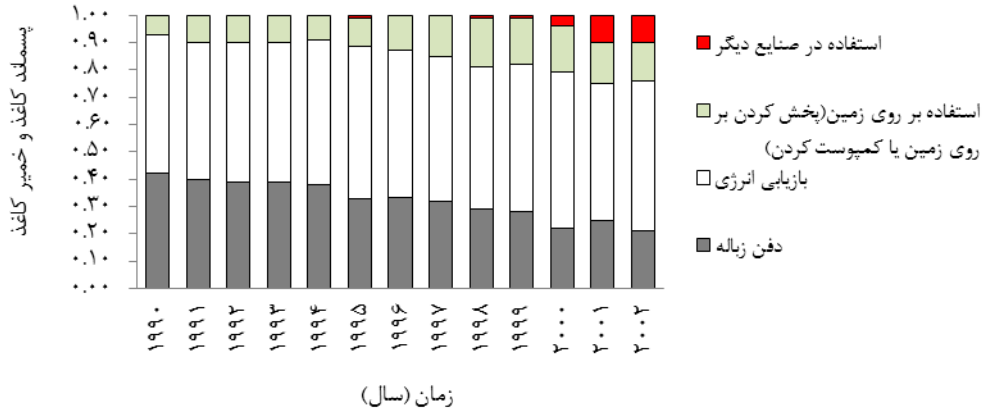
گسترش و توسعه شهرها و ایجاد مراکز جمعیتی در کشورهای مختلف و افزایش سطح کیفیت زندگی مردم که مصرف هر چه بیشتر انواع فرآورده های تولیدی را در پی داشته، تولید حجم انبوهی از زباله‌ها را در این شهرها نیز به دنبال داشته است. تولید و مصرف انبوه مواد که حاصل انقلاب صنعتی و تکنولوژی جدید می باشد الگو و شیوه زندگی انسان‌ها را دگرگون کرده و علاوه بر افزایش تولید زباله، ترکیب و نوع زباله‌های تولیدی را نیز تغییر داده است و بر حجم انواع پسماندها نیز افزوده است (۱). حجم عظیمی از پسماندهای سلولزی در سراسر جهان از منابع مختلفی از قبیل کشاورزی، ساختمان‌ها، صنایع چوب، مبلمان و کاغذ و مقوا تولید می‌شود (۲). بخشی از این ضایعات برای استفاده مجدد به کارخانه‌های بازیافتی انتقال داده شده و سایر آن‌ها سوزانده شده یا در خاکچال‌ها دفن می‌گردند. فقدان عمومی کنترل‌های مهندسی در اکثر مراکز انتقال و دفن زباله موجود و این واقعیت که بسیاری از مراکز انتقال و دفن زباله در کشور از گذشته به صورت غیر مهندسی راهبری شده و هنوز هم مواد زاید خطرناک و صنعتی نیز در آن‌ها دفن می‌گردد، پتانسیل انتشار مواد سمی را افزایش می‌دهد. این انتشار از سه طریق رخ می دهد: ۱- حرکت شیرابه به سمت آب‌های زیر زمینی، ۲- نفوذ شیرابه به رواناب و آب‌های سطحی و ۳- انتشار گازهای فرار به اتمسفر. در نتیجه غلظت‌های بالای بسیاری از ترکیبات سمی مراکز انتقال ودفن، به واسطه پتانسیل آن‌ها در آلوده نمودن آب می‌تواند تهدیدی برای سلامتی انسان باشد(۳).

فرآیند بازیافت زباله‌های سلولزی جهت تولید کاغذ و مقوا، همه ساله در حال افزایش می‌باشد و آمارهای مربوطه نیزحاکی از آن است که طی سال های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۲ به بیش از دو برابر رسیده است. اگر چه میزان مصرف الیاف بازیافتی در حال افزایش است اما میزان مصرف در تولید محصولات کاغذی دارای محدودیت است و استفاده از صد درصد الیاف بازیافتی برای تولید کاغذ بسیار مشکل خواهد بود(۴). تولید کاغذ و مقوا از مواد بازیافتی نیز ضایعاتی را به همراه دارد که استفاده از آن‌ها جهت تولید مجدد کاغذ و مقوا به دلیل پایین بودن کیفیت محصول، جالب توجه نیست. بنابراین به ناچار ضایعات حاصل از کارخانه‌های بازیافتی کاغذ و مقوا سوزانده یا به محل‌های دفن زباله انتقال داده می‌شوند. اما با توجه به ترکیبات خطرناکی که در این نوع پسماندها وجود دارد، خطر آلودگی آب‌های سطحی-زیرزمینی، خاک و هوا را به دنبال خواهد داشت و این مسئله سبب نگرانی‌های زیست محیطی شده است. در چنین موقعیتی امکان استفاده از منابع بازیافتی برای تولید محصولات غیر کاغذی فراهم خواهد شد و گذشته ازآن‌ها مصرف ضایعات کشاورزی که از آنها در تولید کاغذ نمی توان استفاده کرد یا باعث افت کیفیت کاغذ تولیدی می شود نیز می تواند برای مصارف تولیدی غیر کاغذ مورد استفاده قرار گیرد (۴).

از اوایل۱۹۴۰، محققین و موسسین شرکت‌ها به دنبال شناسایی روش‌های مناسب برای مدیریت مواد زائد جامد صنعت کاغذ هستند. این تلاش‌ها در حجم قابل توجهی از تحقیق و تجربه‌های واقعی به طیف گسترده‌ای از تکنیک‌های مدیریت مواد زائد جامد منجر شده است. محصول برخی از این تکنیک‌ها، گونه‌های مدیریت مواد زائد جامد بادوام و سازگار با محیط زیست می‌باشد (۵).

طبق آمار ارائه شده توسط CEPI[1] در سال ۲۰۰۴، موارد استفاده از پسماند کاغذ و خمیر کاغذ در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲ مطابق نمودار ۲ می‌باشد(۶).

۱- Confederation of European Paper Industry



شکل۱- کاربرد پسماند کاغذ و خمیر کاغذ

مطالعات اخیر نشان می‌دهد که بعضی از ضایعات حاصل از صنایع کاغذ و مقوا می‌تواند به عنوان مواد اولیه در صنعت ساختمان به کار رود (۷). برای مثال کارمن مارتینز[۱] و همکارانش (۸) به بررسی تولید آجر با استفاده از دو نوع ضایعات حاصل از صنایع کاغذسازی شامل لجن حاصل از تصفیه فاضلاب و پسماند حاصل از تمیز کردن خمیر کاغذ پرداختند، با توجه به نتایج به‌دست آمـده افزایش تخلخل نمونه‌ها سبب کاهش مقاومت فشاری (مطابق قوانین) گردید. موکاهیت سوتکو[۲] و همکارش(۹) به بررسی تولید سرامیک متخلخل از مخلوط پسماند فرایند کاغذ سازی و سه خاک رس مختلف پرداختند و نتایج تناسب سه نوع مختلف رس؛ آلومینیوم سیلیکات، رس با مواد قلیایی و رس نسوز در ساخت آجرهای نسوز عایق حرارتی با وزن سبک بر پایه آنورتایت را نشان داد. محمد اسماعیل[۳] و همکارانش (۱۰) به بررسی ساخت آجر از لجن کاغذ و خاکستر سوخت روغن خرما پرداختند. اگرچه مقاومت نمونه آجر تهیه شده کمی بیشتر از کمترین مقدار لازم طبق آیین نامه BS ۶۰۷۳ Part ۲: ۲۰۰۸ (۱۱) بدست آمد، اما چگالی نمونه آجر تهیه شده از لجن کاغذ و خاکستر سوخت روغن خرما[۴] حدود ۲۶/۱ درصد کاهش را نسبت به آجرهای معمول نشان داد که مسئله‌ی مهم و قابل توجهی است.

با توجه به اهمیت موضوع و هدف استفاده حداکثر از پسماندها، در این تحقیق درصدهای مختلف استفاده از پسماند حاصل از چرخه بازیافت کارخانه مقواسازی در تولید بتن سبک جهت استفاده در پوشش‌های غیر باربر مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

۲-۱-۱- سیمان

سیمان مورد استفاده در این تحقیق، سیمان پرتلند تیـپ II (مقاوم به ترکیبات سولفاتی) می‌باشد که از کارخانه سـیمان مازندران (نکا) تهیه گردید. دانسیتهٔ سیمان مذکور برابر با ۳/۱۵ بوده و سایر مشخصـات فیزیکـی و شـیمیایی آن بـه ترتیـب در جدول‌های ۱ و۲ نشان داده شده است.

---

۱ - Carmen Martinez
۲ - Mucahit Sutcu
۳- Mohammad Ismail
٤ -Paper Sludge-POFA Brick

جدول ۱- خواص فیزیکی سیمان نکا تیپ ۲

مشخصات فیزیکی سیمان مازندران (نکا)	مقدار مشخصه فیزیکی
زمان گیرش اولیه	۱۰۰ دقیقه
زمان گیرش نهایی	۱۸۰ دقیقه
مقاومت ۳ روزه	۲۲۰kg/cm^2
مقاومت ۷ روزه	۳۹۰kg/cm^2
مقاومت ۲۸ روزه	۵۲۰kg/cm^2

جدول ۲- مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۲ نکا

اجزای سیمان پرتلند	مقدار	مقدار استاندارد ملی ایران ۳۸۹
CaO	۶۴/۰۷	---
SiO_2	۲۱/۲۵	۲۰<
Al_2O_3	۴/۹۵	۶>
Fe_2O_3	۳/۱۹	۶>
MgO	۱/۲	۵>
SO_3	۲/۰۴	۳>
K_2O	۰/۶۳	---
Na_2O	۰/۳۸	---
L.O.I	---	۳>

۲-۱-۲- آب

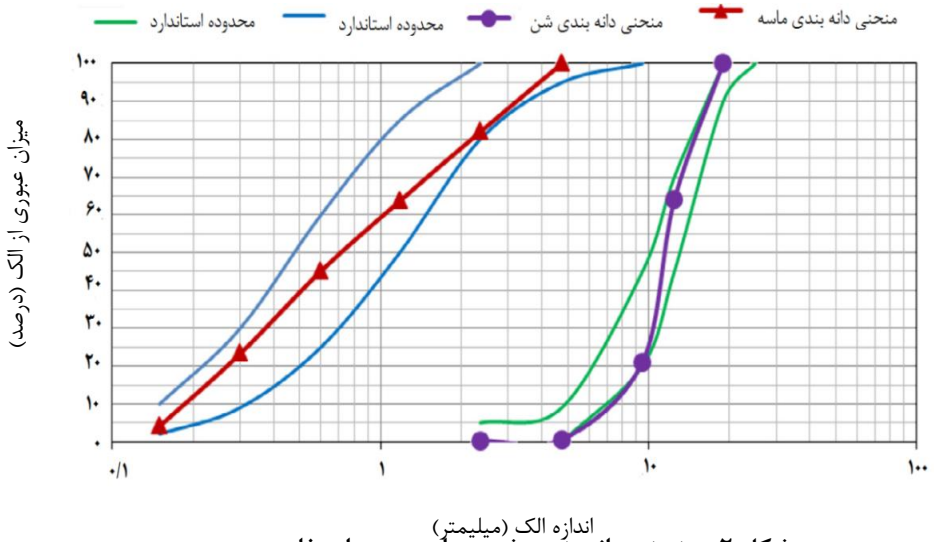
در این تحقیق از آب شرب شهرستان بابل به‌عنوان آب اختلاط برای ساخت بتن سبک غیر باربر استفاده گردید.

۲-۱-۳- سنگدانه (شن و ماسه)

مصالح سنگی استفاده شده در بتن شامل مصالح سنگی درشت دانه (شن) و مصالح سنگی ریزدانه (ماسه) است. شن به عنوان درشت دانه نقش بسیار مهمی در تحمل بارهای وارده بر بتن دارد. همچنین ماسه به عنوان ریزدانه جهت پر نمودن فضای خالی بین درشت‌دانه‌ها بکار گرفته می‌شود. آزمایش دانه بندی جهت تعیین نحوه توزیع اندازه دانه های سنگی بکار گرفته می‌شود که از طریق جدایش به کمک الک براساس ACI[1] ۲۱۱ و استاندارد ASTM[2] C۳۳ صورت می‌گیرد (۱۲). شن مورد استفاده در ساخت بتن غیرباربر از نوع شکسته با حداکثر اندازه ۱۲/۵ میلی متر و چگالی ویژه ۲/۶۸ و همچنین ماسهٔ شسته با مدول نرمی ۳/۱، چگالی ویژه ۲/۶۴ و وزن مخصوص توده‌ای kg/m^3 ۱۴۰۰ از معدن رایج واقع در منطقه گنج افروز تهیه گردید. منحنی دانه بندی شن و ماسه مورد استفاده در این تحقیق مطابق شکل ۲ می‌باشد.

۱- American Concrete Institute

۲- American Society for Testing and Materials



شکل ۲- منحنی دانه بندی شن و ماسه مورد استفاده

۲-۱-۴- پسماند

در این تحقیق از دو نوع پسماند (پسماند نوع۱ حاوی مقوا و ماسه و پسماند نوع۲ حاوی نایلون، یونولیت و مقوا) کارخانه مقواسازی پویا آیش مازند واقع در شهرک صنعتی بندپی شرقی شهرستان بابل که بیشترین حجم پسماندها را تشکیل می‌دهند استفاده گردید. پسماندها قبل از استفاده در ترکیب بتن، ابتدا خشک و سپس به‌وسیله دستگاه خردکن، مطابق شکل ۳ خرد گردید.

شکل۳- پسماندهای تولیدی کارخانه پویا آیش مازند: (الف) پسماند نوع۱ و (ب) پسماند نوع۲

مشخصات فیزیکی پسماندها شامل pH، میزان رطوبت اشباع و وزن مخصوص بر اساس روش ASTM اندازه گیری شد و نتایج حاصل در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- مشخصات فیزیکی پسماندها

مشخصات پسماند	پسماند نوع ۱	پسماند نوع ۲	استاندارد
pH	۷/۱۴	۷/۵	ASTM D ۴۹۸۰-۸۹
رطوبت اشباع (٪)	۷۵	۸۰	ASTM C ۱۲۸-۰۱
وزن مخصوص (gr/m^3)	۰/۷۴	۰/۳۳	ASTM C ۱۲۸-۰۱

همچنین ترکیب‌های مختلف شیمیایی پسماندها شامل عناصر مختلف با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM[۱])

۱- Scanning Electron Microscope

اندازه گیری شد و در جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شد (۱۳).

جدول ۴- ترکیب شیمیایی پسماند نوع۱

عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی
C	۷۴/۴۲	Fe	۱/۲۷	S	۰/۵۱
Al	۱/۳۴	O	۱۱/۳۷	Cu	۰/۳۷
Ca	۱/۰۱	P	۰/۶۲	Mg	۱/۴۳
N	۴/۰۷	Ni	۰/۱۱	Cl	۰/۴۷
Si	۱/۴۱	Na	۱/۲۵	Zn	۰/۳۵

جدول ۵- ترکیب شیمیایی پسماند نوع۲

عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی
C	۲۸/۸۲	Fe	۰/۰۹	S	۰/۳۹
Al	۱۲/۴۳	O	۴۶/۴۹	Cu	۰/۰۱
Ca	۱/۵۷	P	۰/۳۰	Mg	۰/۳۱
N	۷/۰۷	Ni	۰/۰۱	Cl	۰/۱۵
Si	۱/۶۳	Na	۰/۴۱	Zn	۰/۳۳

مشخصات میکروبی پسماندها نیز به‌وسیله آزمایش‌های Coli، F.Coli، E.Coli، Salmonella و شمارش باکتری(MTC[۱]) مطابق ASTM تعیین گردید و نتایج در جدول ۶ نشان داده شده است.

۱- Microbial Total Count

جدول ۶- مشخصات میکروبی پسماندها

نمونه	Coli	F.Coli	E.Coli	Salmonella	شمارش باکتری(MTC)
پسماند نوع۱	۰	منفی	منفی	منفی	۴×۱۰^{۷}
پسماند نوع۲	۳	منفی	منفی	منفی	۵×۱۰^{۸}

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- تعیین pH

این آزمایش به‌منظور اطمینان از عدم وجود میکروب بیماریزا در بتن‌های حاوی پسماند مطابق ASTM D ۴۹۸۰-۸۹ انجام گردید (۱۴).

۲-۲-۲- آزمایش مقاومت فشاری

جهت اندازه گیری مقاومت فشاری بتن سخت شده از نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی متر (B.S. ۱۸۸۱: Part ۱۱۶) استفاده گردید(۱۵). نحوه انجام این آزمایش بدین گونه بود که پس از سخت شدن ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه، نمونه‌های بتنی را در زیر جک فشاری مخصوصی جهت انجام آزمایش قرار داده، سپس نیروی قائمی از سوی جک فشاری با سرعت ثابت به نمونه مکعبی شکل اعمال شده تا نمونه در اثر بار فشاری وارد بر آن گسیخته شود. نیروی لازم جهت گسیخته شدن نمونه توسط دستگاه ثبت شده و مقدار تنش فشاری مکعبی حاصل با تقسیم این نیرو بر سطح مقطع نمونه بدست آمد.

۲-۲-۳- آزمایش تعیین چگالی

چگالی خشک تمامی نمونه‌ها طبق روش ASTM C۶۴۲ در سن ۲۸ روز بر روی ۳ نمونه مکعبی از هر طرح انجام شد (۱۶).

۲-۳- طرح اختلاط

پس از انجام چندین طرح اختلاط اولیه و انجام آزمایش‌های مختلف برای رسیدن به مشخصات قابل قبول و استاندارد بتن سبک غیرباربر، طرح اختلاط مورد نظر با دارا بودن مقاومت و چگالی مطلوب مطابق استاندارد ASTM C۱۲۹ بدست آمد(۱۷).

در این مرحله، برای بررسی امکان استفاده از پسماندهای مورد نظر در ساخت بتن سبک غیر باربر، برای هر یک از دو نوع پسماند (سری A؛ پسماند نوع ۱ و سری B؛ پسماند نوع ۲)، چهار طرح اختلاط که فقط در میزان جایگزینی پسماند با بخش ماسه بتن تفاوت داشتند استفاده گردید و همچنین پس از بررسی ۸ طرح فوق برای تهیه نمونه‌های ترکیب هر دو نوع پسماند (سری C)، طرح اختلاط شماره ۳ در نظر گرفته شد. در مجموع ۱۱ طرح اختلاط شامل هر یک از پسماندها و ترکیب آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۷- طرح اختلاط‌های نمونه‌های بتنی مورد استفاده در این تحقیق

شماره طرح	سری	مقدار جایگزینی پسماند در ماسه (٪)	سیمان	شن	ماسه	پسماند نوع ۱	پسماند نوع ۲	آب
			(کیلوگرم در هر متر مکعب)					
۱	A	۰	۴۹۵	۴۹۳	۱۱۵۰	۰	-	۲۲۳
۲		۶۰	۴۹۵	۴۹۳	۴۵۴	۱۷۸	-	۲۲۳
۳		۷۰	۴۹۵	۴۹۳	۳۳۱	۲۰۶	-	۲۲۳
۴		۸۰	۴۹۵	۴۹۳	۲۳۶	۲۳۸	-	۲۲۳
۵	B	۰	۶۰۰	۵۴۳	۸۴۵	-	۰	۲۸۸
۶		۵۵	۶۰۰	۵۴۳	۳۸۱	-	۵۸	۲۸۸
۷		۷۵	۶۰۰	۵۴۳	۲۱۰	-	۸۹	۲۸۸
۸		۹۵	۶۰۰	۵۴۳	۳۰	-	۱۰۲	۲۸۸
۹	C	۴۲-۲۸	۴۹۵	۴۹۳	۳۳۱	۱۲۷	۳۶	۲۲۳
۱۰		۴۹-۲۱	۴۹۵	۴۹۳	۳۳۱	۱۴۳	۲۸	۲۲۳
۱۱		۵۶-۱۴	۴۹۵	۴۹۳	۳۳۱	۱۶۳	۱۹	۲۲۳

۲-۴- بتن ریزی و عمل آوری

برای ساخت هر یک از نمونه‌های بتنی، ابتدا مصالح مورد استفاده طبق طرح توزین و در مخلوط کننده ۳۰۰ کیلوگرمی به خوبی مخلوط گردید. در ابتدا مصالح درشت (شن) و سپس مصالح ریز (ماسه) در داخل میکسر قرارداده شد و به مدت ۱ الی ۱/۵ دقیقه با هم مخلوط شدند، بعد از این مرحله سیمان و سپس پسماند به داخل میکسر اضافه گردید و پس از ۱ دقیقه مخلوط یکنواخت تهیه گردید. در ادامه آب اختلاط کم کم به مخلوط اضافه شد و عمل مخلوط کردن در مجموع بین ۱۰ الی ۱۵ دقیقه به‌طول انجامید. قبل از بتن ریزی، سطوح داخلی قالب‌ها با قشر نازکی از روغن پوشانده شد تا از چسبندگی بین قالب و بتن جلوگیری به‌عمل آید. بعد از اتمام اختلاط، نمونه-های آماده شده در داخل قالب قرار داده و بر روی میز لرزاننده فشرده سازی انجام شد. نمونه های بتنی به مدت ۲۴ ساعت در قالب‌ها در شرایط آزمایشگاهی نگهداری و پس از باز کردن قالب‌ها در حوضچه‌های آب در دمای بین ۲۵-۲۲ درجه سانتی-گراد تا سن مورد نظر برای هر آزمایش نگه‌داری شدند. به این ترتیب آزمایش‌های مورد نظر بر روی کلیه نمونه‌ها در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز انجام گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تغییرات pH بتن تازه

نتایج اندازه‌گیری pH در نمونه‌های بتن تازه در جدول ۸ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که pH در کلیه نمونه‌های بتنی همانند نمونه‌های شاهد در محدوده بالای ۱۲ قرار داشته و می‌توان مطمئن شد که مشکل میکروبی در زمان کارکردن با این گونه بتن‌ها ایجاد نخواهد شد (۱۸).

جدول ۸- مقدار pH نمونه بتن‌های تازه

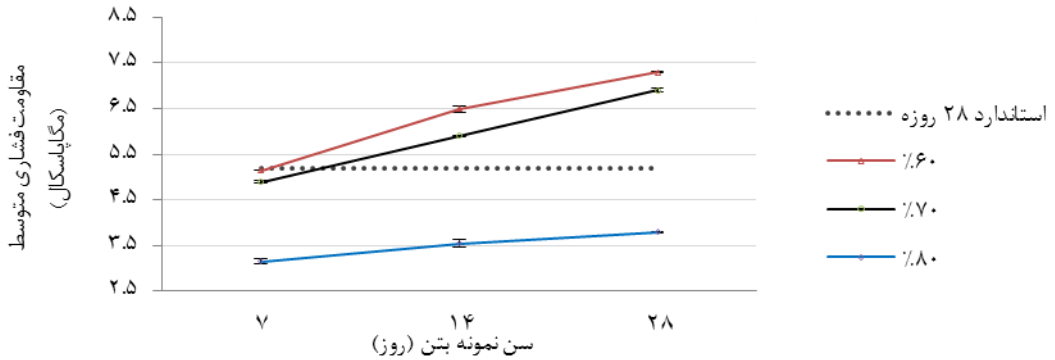
شماره	سری	مقدار جایگزینی پسماند در	pH
۱	A	۰	۱۲/۴۱
۲		۶۰	۱۲/۱۵
۳		۷۰	۱۲/۱۸
۴		۸۰	۱۲/۲۲
۵	B	۰	۱۲/۴۹
۶		۵۵	۱۲/۲۴
۷		۷۵	۱۲/۳۲
۸		۹۵	۱۲/۳۵
۹	C	۴۲-۲۸	۱۲/۳۲
۱۰		۴۹-۲۱	۱۲/۳۰
۱۱		۵۶-۱۴	۱۲/۲۶

۳-۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

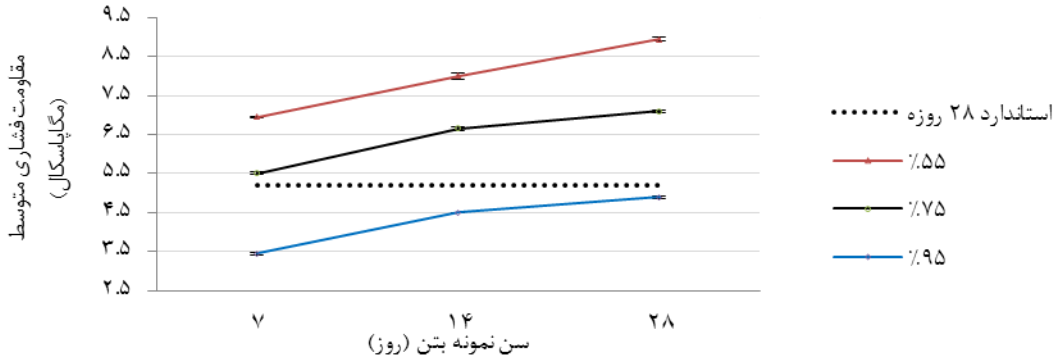
آزمایش مقاومت فشاری با استفاده از نمونه‌های مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز انجام گردید و به منظور دستیابی به نتایج مستدل آماری و لزوم مقایسه دقیق نتایج بدست آمده، برای هر گروه از آزمایش‌ها ۳ سری نمونه تهیه گردید (آزمایش ها بصورت ۳ بار تکرار انجام گردید)، که نتایج میانگین در جدول ۹ ارائه و روند تغییرات آن در شکل‌های ۴ الی ۶ نشان داده شده است.

جدول ۹- نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی

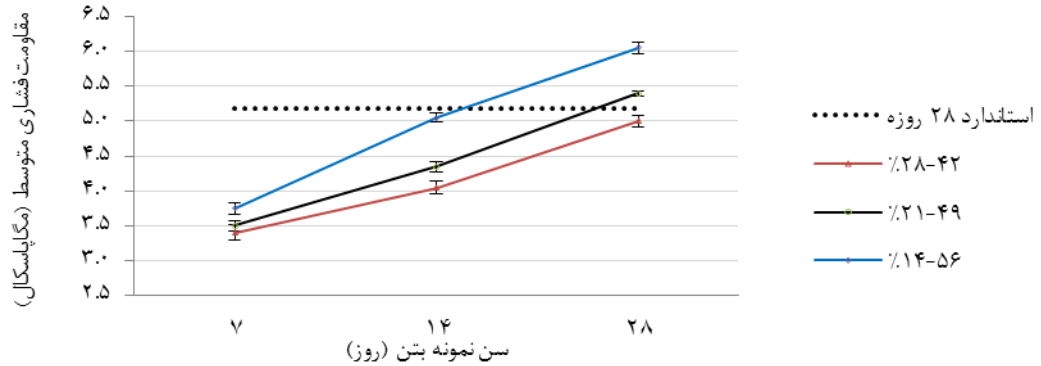
شماره طرح	سری	مقدار جایگزینی پسماند در ماسه (٪)	متوسط مقاومت فشاری ۷روزه	۱۴روزه	۲۸روز
۱	A	۰ (شاهد)	۳۵/۴۰	۴۲/۳۰	۴۵/۱۰
۲		۶۰	۵/۱۵	۶/۵۰	۷/۳۰
۳		۷۰	۴/۹۰	۵/۹۰	۶/۹۰
۴		۸۰	۳/۱۵	۳/۵۵	۳/۸۰
۵	B	۰ (شاهد)	۴۳/۶۵	۴۶/۲۰	۴۹/۰۵
۶		۵۵	۶/۹۵	۸/۰۰	۸/۹۵
۷		۷۵	۵/۵۰	۶/۶۵	۷/۱۰
۸		۹۵	۳/۴۵	۴/۵۰	۴/۹۰
۹	C	پسماند نوع ۱: ٪۴۲	۳/۴۰	۴/۰۵	۵/۰۰
۱۰		پسماند نوع ۱: ٪۴۹	۳/۵۰	۴/۳۵	۵/۴۰
۱۱		پسماند نوع ۱: ٪۵۶	۳/۷۵	۵/۰۵	۶/۰۵



شکل۴- نمودار مقاومت فشاری متوسط نمونه‌های بتنی شامل درصدهای مختلف پسماند نوع۱



شکل ۵- نمودار مقاومت فشاری متوسط نمونه‌های بتنی شامل درصدهای مختلف پسماند نوع۲



شکل ۶- نمودار مقاومت فشاری متوسط نمونه‌های بتنی شامل درصدهای مختلف هر دو نوع پسماند

با توجه به جدول ۹ و شکل ۴، نتایج بدست آمده برای نمونه‌های بتنی حاوی پسماند نوع۱ نشان می دهد که با افزایش درصد جایگزینی پسماند با بخش ماسه، مقاومت فشاری بتن نسبت به بتن شاهد (فاقد پسماند) کاهش می‌یابد (به ترتیب ۸۳، ۸۵ و ۹۱ درصد کاهش مقاومت برای درصدهای جایگزینی ۶۰، ۷۰ و ۸۰). این کاهش شدید مقاومت نسبت به نمونه بتن فاقد پسماند می‌تواند به‌علت بالا بودن سطح مخصوص پسماند که بخش اعظم آن را مقوا تشکیل می‌دهد و در نتیجه جذب آب زیاد آن‌ها باشد. یعنی این مواد در هنگام اختلاط مقدار زیادی آب جذب می‌کنند و زمانی که در بتن فشرده می‌شوند مقدار

زیادی آب پس می‌دهند و باعث افزایش نسبت آب به سیمان در ترکیب بتن می‌گردند (۱۹و ۲۰). بنابراین مقدار زیادی کریستال کلسیم هیدروکسید در اثر واکنش سیمان و آب تولید می‌شود (۲۱، ۲۲ و ۲۳). کریستال $Ca(OH)_2$ کریستالی ۶ گوشه است و در میان ناحیه انتقالی بین سنگدانه‌ها و ماتریس خمیر سیمان قرار می‌گیرد و این امر برای مقاومت‌های بتن مضر است (۲۴). اما باتوجه به الزامات استاندارد ASTM C ۱۲۹ برای بتن‌های غیر باربر که حداقل مقاومت فشاری را برای میانگین سه نمونه استوانه‌ای ۴/۱۵ مگاپاسکال (۵/۱۹ مگاپاسکال برای نمونه‌های مکعبی) در نظر می‌گیرد، لذا برای نمونه‌های بتنی حاوی پسماند نوع ۱جایگزینی پسماند به‌عنوان ۶۰ و۷۰ درصد حجمی بخش ماسه از نظر مقاومت فشاری و میزان جایگزینی پسماند مناسب می‌باشد، اما نمونه بتن شامل جایگزینی ۸۰ درصد حجمی پسماند و بخش ماسه الزامات مقاومتی را برآورده نمی‌سازد.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۹ و شکل ۵، برای نمونه‌های بتنی حاوی پسماند نوع۲، با افزایش درصد جایگزینی پسماند با بخش ماسه مقاومت فشاری نسبت به بتن فاقد پسماند شاهد کاهش می‌یابد (به ترتیب ۸۲، ۸۵ و ۹۰ درصد کاهش مقاومت برای درصدهای جایگزینی ۵۵، ۷۵ و ۹۵). برای این نمونه‌های بتنی، جایگزینی پسماند به‌عنوان ۵۵ و ۷۵ درصد حجمی بخش ماسه از نظر مقاومت فشاری و میزان جایگزینی پسماند مناسب می‌باشد. اما نمونه بتن شامل جایگزینی ۹۵ درصد حجمی پسماند و بخش ماسه الزامات مقاومتی را برآورده نمی‌سازد.

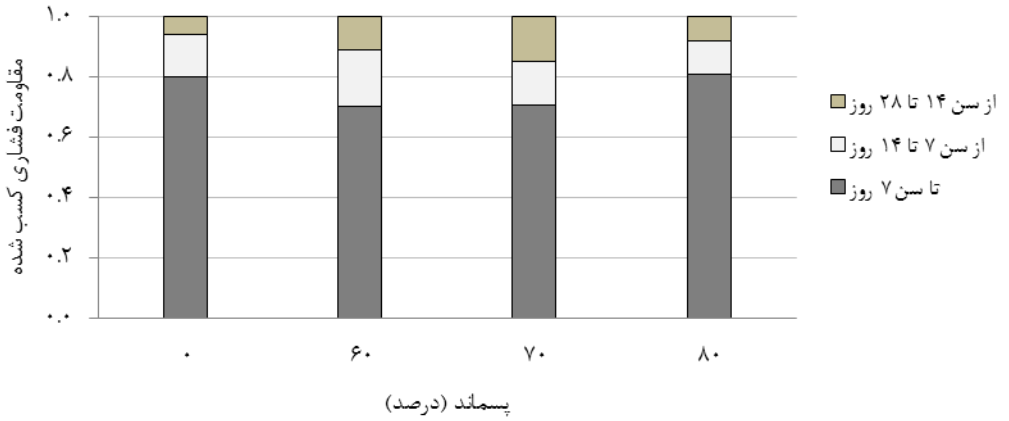
علاوه بر این برای نمونه‌های بتنی شامل هر یک از پسماندها می‌توان گفت در اثر افزایش بیش از حد پسماند در بتن تحت تاثیر یک واکنش فیزیکی، پسماندها به‌هم چسبیده و تشکیل کلوخه‌های ناپایدار می‌دهند.

در مورد نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی حاوی هر دو نوع پسماند (باتوجه به جدول ۹ و شکل ۶)، با کاهش پسماند نوع۲ نسبت به پسماند نوع۱ مقاومت فشاری افزایش می‌یابد ولی نسبت به طرح اختلاط ۳ مقدار کاهش ۲۸، ۲۲ و ۱۲درصدی مقاومت به ترتیب برای نمونه‌های بتنی حاوی هر دو نوع پسماند برای درصدهای جایگزینی ۲۸-۴۲، ۲۱-۴۹ و ۱۴-۵۶ درصد مشاهده می‌گردد)، که دلیل آن‌را می‌توان ایجاد چسبندگی بیشتر در ترکیب بتن حاوی پسماند نوع۱ نسبت به پسماند نوع۲ که حاوی نایلون و یونولیت می‌باشد و سبب اختلال در به‌هم پیوستگی و ایجاد ترکیب ناپایدار می‌گردند، دانست. باتوجه به الزامات استاندارد ASTM C ۱۲۹ ، برای نمونه‌های بتنی حاوی هر دو نوع پسماند جایگزینی پسماند به‌عنوان ۷۰ درصد حجمی بخش ماسه به‌گونه‌ای که ۵۶ درصد آن پسماند نوع ۱ و ۱۴ درصد آن پسماند نوع ۲ و یا ۴۹ درصد آن پسماند نوع ۱ و ۲۱ درصد آن پسماند نوع ۲ باشد، از نظر مقاومت فشاری مناسب است.

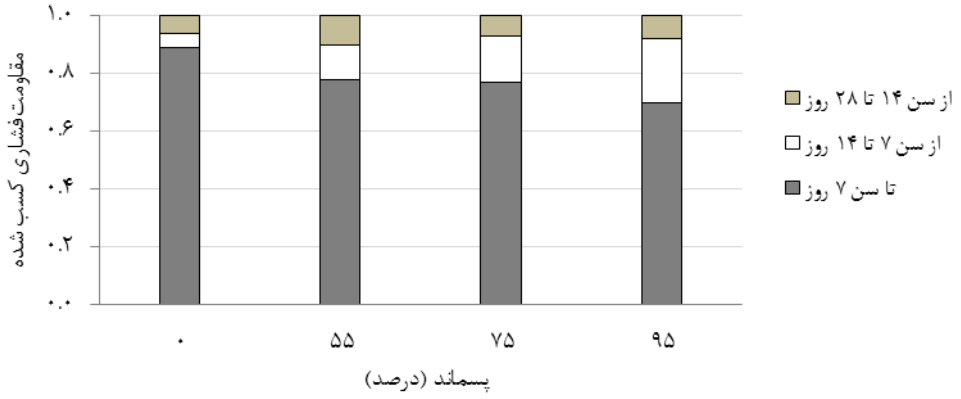
از آنجایی‌که تنها تفاوت در طرح اختلاط‌های شماره ۳، ۹، ۱۰ و ۱۱، مقدار پسماند می‌باشد و همچنین میزان مقاومت فشاری طرح اختلاط شماره ۳ در میان طرح‌های فوق بیشترین مقدار را دارد و با افزایش میزان پسماند نوع ۲ روند کاهشی برای مقاومت فشاری مشاهده می‌گردد، بنابراین استفاده از پسماند نوع ۱ نتایج بهتری را نشان می‌دهد.

به طورکلی روند کاهش مقاومت فشاری در نمونه‌های بتن سبک غیر باربر با درصد بالای جایگزینی پسماند به‌عنوان بخشی از ماسه را می‌توان به‌علت پدیده گلوله شدن[1] پسماندها (میل پسماندها به متمرکز شدن در یک نقطه) دانست (پسماندها به دلیل سطح ویژه بسیار بالای خود در یک واکنش فیزیکی به هم چسبیده و کلوخه‌های ناپایدار را ایجاد می‌کنند) . که به دلیل بالا بودن میزان پسماند در ترکیب بتن، پسماندها بصورت غیر یکنواخت توزیع و به دنبال آن درگیری نامناسب آن‌ها با سیمان ایجاد می‌گردد. میزان مقاومت فشاری کسب شده در سنین مختلف، مطابق شکل‌های ۷ الی ۹ می‌باشد.

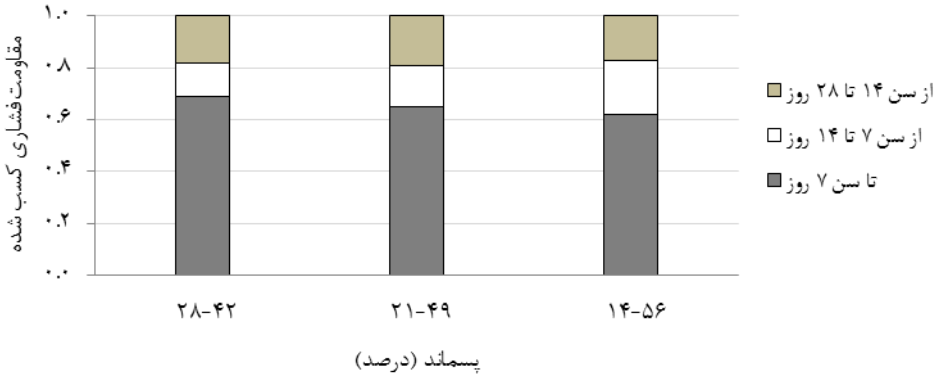
۱- Balling



شکل ۷- نسبت مقاومت فشاری کسب شده در سنین مختلف برای نمونه‌های حاوی پسماند نوع۱



شکل ۸- نسبت مقاومت فشاری کسب شده در سنین مختلف برای نمونه‌های حاوی پسماند نوع۲



شکل ۹- نسبت مقاومت فشاری کسب شده در سنین مختلف برای نمونه‌های شامل هر دو نوع پسماند

همان طور که در شکل های ۷ الی۹ مشاهده می‌شود، نمونه‌های بتنی شامل پسماند در سنین پایین درصد کسب

مقاومت فشاری پایین‌تری نسبت به نمونه‌های فاقد پسماند دارا می‌باشند. این امر به‌دلیل حضور موادی مثل مقوا، نایلون و یونولیت در پسماندها می‌باشد که باعث مزاحمت در فعالیت پوزولانی سیمان می‌گردند و از به‌هم پیوستگی خوب سیمان با سایر مواد جلوگیری می‌کنند.

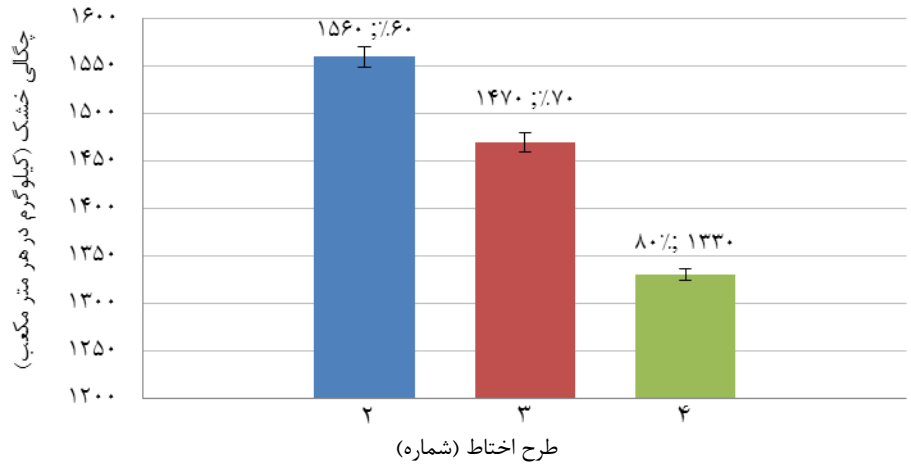
با توجه به نتایج این بخش، مقاومت فشاری بالاتری برای نمونه‌های ساخته شده در این پژوهش با استفاده از درصدهای بالای پسماند، در مقایسه با نمونه‌های ساخته شده توسط رهیان فدیلا[۱] و همکارانش (۲۵) (با افزودن ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد فیبرکاغذی برای ساخت بتن به‌ترتیب به مقاومت‌های ۰/۶، ۱/۲، ۰/۷ و ۱/۸ مگاپاسکال دست یافت) حاصل گردید. همچنین نمونه‌های ساخته شده توسط محمد اسماعیل[۲] (۱۰) نیز با ۵ طرح اختلاط به ترتیب با درصدهای مختلف سیمان- خاکستر سوخت روغن خرما- لجن کاغذ ۹۰-۵-۵، ۸۰-۱۰-۱۰، ۷۰-۱۵-۱۵، ۶۰-۲۰-۲۰ و ۵۰-۲۵-۲۵ به مقاومت‌های فشاری ۲۶، ۱۷، ۸/۱۳،۹ و ۶ مگاپاسکال رسید. سامیت بالویک و همکارانش (۲۶) نیز در تحقیق خود با افزایش میزان جایگزینی خمیر کاغذ و سیمان، شاهد کاهش مقاومت نسبت به نمونه‌های فاقد پسماند بودند.

۳-۳- نتایج آزمایش چگالی

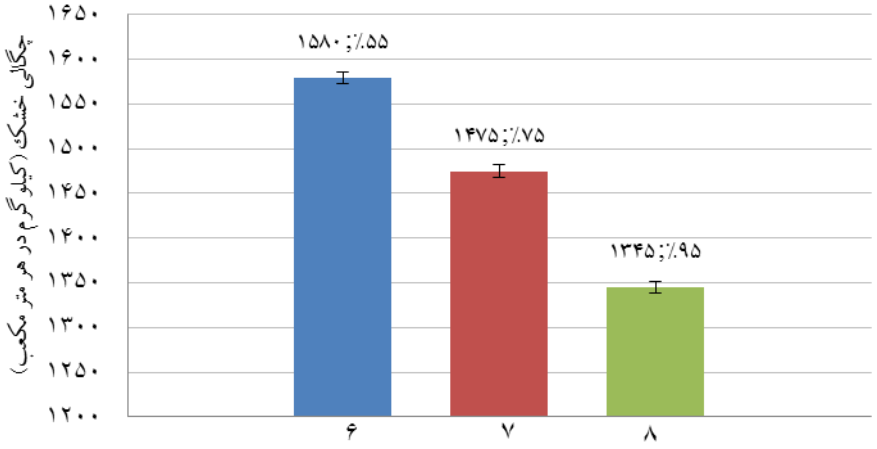
باتوجه به اینکه یکی از اهداف مهم این تحقیق دستیابی به بتن با وزن سبک می‌باشد بنابراین نتایج آزمایش تعیین چگالی در شکل‌های ۱۰ الی ۱۲ به ترتیب برای نمونه های حاوی پسماند نوع ۱، ۲ و ترکیبی نشان داده شده است.

۱- Rahyan Fadila

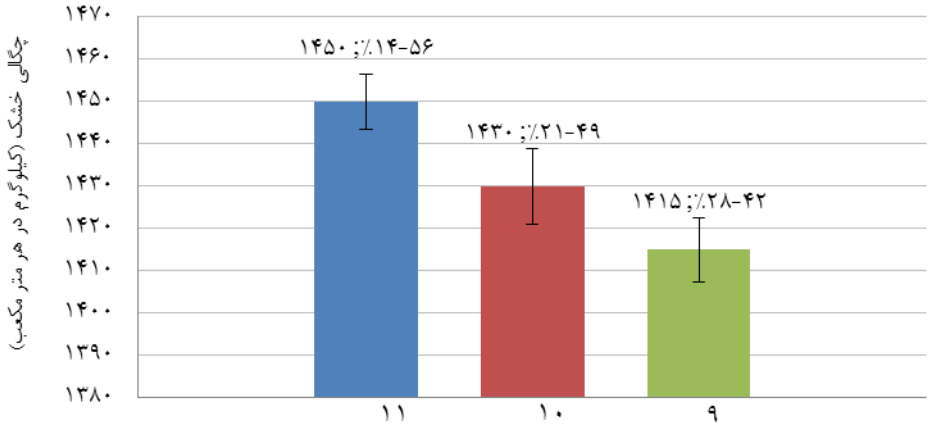
۲- Mohammad Ismail



شکل ۱۰- چگالی خشک متوسط بتن شامل پسماند نوع۱



شکل۱۱- چگالی خشک متوسط بتن شامل پسماند نوع۲



شکل ۱۲- چگالی خشک متوسط بتن شامل هر دو نوع پسماند

با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول ۹ و شکل-های ۱۰ و ۱۱ با افزایش درصد پسماند کاهش چگالی نمونه‌های بتنی مشاهده می‌شود (به‌ترتیب ۲۹/۲۵، ۳۳/۳۳ و ۳۹/۶۸درصد کاهش برای نمونه‌های حاوی پسماند نوع۱ با شماره طرح‌های ۲، ۳ و۴ نسبت به نمونه فاقد پسماند و ۲۷/۵۲، ۳۲/۳۴ و ۳۸/۳۰ درصد کاهش برای نمونه‌های حاوی پسماند نوع۲ با شماره طرح‌های ۶، ۷ و ۸ نسبت به نمونه فاقد پسماند). همچنین با توجه به شکل ۱۲، کاهش ۳/۷۴، ۲/۷۲ و ۱/۳۶درصدی چگالی به ترتیب برای نمونه‌های بتنی حاوی هر دو نوع پسماند برای درصدهای جایگزینی ۲۸-۴۲، ۲۱-۴۹ و ۱۴-۵۶ نسبت به طرح اختلاط شماره ۳ (۷۰درصد) نمونه‌های بتنی فقط حاوی پسماند نوع۱ مشاهده می‌شود، یعنی با افزایش درصد پسماند نوع۲ و کاهش درصد پسماند نوع۱، چگالی کاهش می‌یابد. این امر نیز به‌دلیل کمتر بودن وزن مخصوص پسماند نوع۲ (۰/۳۳گرم در هر سانتی‌متر مکعب) نسبت به پسماند نوع۱ (۰/۷۴گرم در هر سانتی‌متر مکعب)، بدیهی است.

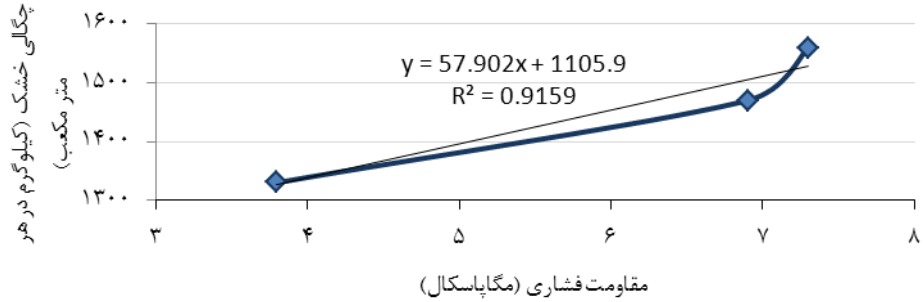
بنابراین استفاده از پسماند نوع۲ باعث سبک‌تر شدن نمونه‌های بتنی نسبت به پسماند نوع۱ می‌شود.

لازم به ذکر است که چگالی خشک تمامی نمونه‌های بتنی تهیه شده کمتر از ۱۶۸۰ کیلوگرم در هر متر مکعب می‌باشد و طبق ASTM C۱۲۹ در رده سبک قرار می‌گیرند.

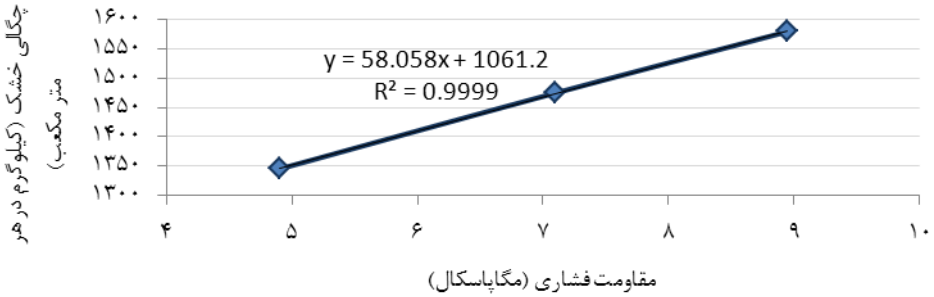
با توجه به نتایج این بخش، چگالی پایین‌تری برای نمونه‌های ساخته شده در این پژوهش با استفاده از درصدهای بالای پسماند، در مقایسه با نمونه‌های ساخته شده توسط محمد اسماعیل و همکارانش (۱۰) حاصل گردید.

۳-۴- رابطه بین مقاومت فشاری و چگالی

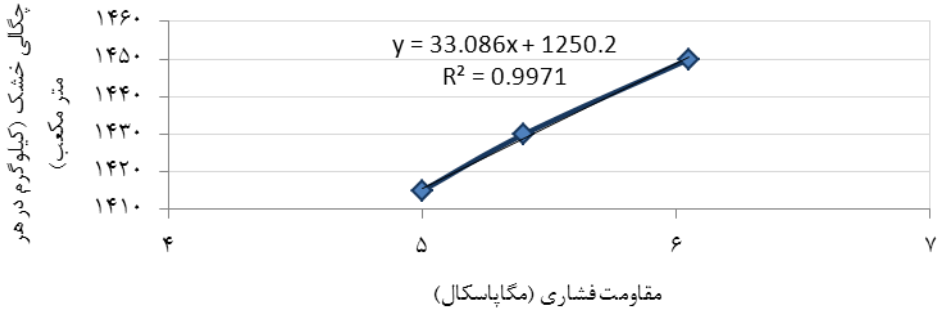
رابطه بین مقاومت فشاری و چگالی خشک بتن‌های حاوی پسماند مطابق شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ می‌باشد.



شکل ۱۳- نمودار ارتباط بین مقاومت فشاری و چگالی خشک برای نمونه‌های بتنی حاوی پسماند نوع۱



شکل ۱۴- نمودار ارتباط بین مقاومت فشاری و چگالی خشک برای نمونه‌های بتنی شامل پسماند نوع۲



شکل ۱۵- نمودار ارتباط بین مقاومت فشاری و چگالی خشک برای نمونه‌های بتنی شامل هر دو نوع پسماند

با توجه به نتایج بدست آمده از شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ می‌توان اظهار داشت که پسماندها باعث کاهش چگالی متناسب با روند کسب مقاومت فشاری شدند (با توجه به ضریب همبستگی‌های بدست آمده ارتباط بسیار نزدیکی بین چگالی و مقاومت فشاری بتن‌های حاوی پسماند وجود دارد.). از آن جائی که چگالی بتن تحت تاثیر چگالی اجزای تشکیل دهنده آن قرار دارد، بنابراین کاهش چگالی با افزایش میزان پسماند که با افزایش تخلخل و کاهش مقاومت فشاری همراه است، بدیهی می‌باشد.

نتیجه گیری

- ❖ از آنجاییکه pH نمونه بتن‌های تازه حاوی پسماند بزرگتر از ۱۲ می‌باشد، می‌توان مطمئن شد که هیچ گونه مشکل میکروبی وجود نخواهد داشت.
- ❖ با مقایسه مقاومت فشاری بتن‌های حاوی پسماند نوع۱ و نمونه بتن‌های حاوی هر دو نوع پسماند، با کاهش میزان پسماند نوع ۲ نسبت به پسماند نوع۱ مقاومت فشاری بتن بهبود می‌یابد.
- ❖ نتایج حاصل از آزمایش تعیین چگالی خشک، نشان دهنده کاهش چگالی نمونه‌های بتنی حاوی پسماند با افزایش درصد جایگزینی پسماند در بخش ماسه می‌باشد. اما با توجه به نتایج به‌دست آمده از نمونه-های حاوی هر دو نوع پسماند، با افزایش درصد پسماند نوع۲ و کاهش درصد پسماند نوع۱، چگالی کاهش می‌یابد. بنابراین استفاده از پسماند نوع۲ باعث سبک‌تر شدن نمونه‌های بتنی نسبت به پسماند نوع۱ می‌شود. این امر نیز به‌دلیل کمتر بودن وزن مخصوص پسماند نوع۲ (۰/۳۳گرم در هر سانتی‌متر مکعب) نسبت به پسماند نوع۱ (۰/۷۴گرم در هر سانتی‌متر مکعب)، بدیهی است.
- ❖ در نمونه‌های ترکیبی هر دو نوع پسماند، با کاهش درصد پسماند نوع۱ و افزایش درصد پسماند نوع۲ ، چگالی کاهش می‌یابد. بنابراین استفاده از پسماند نوع۲ باعث سبک‌تر شدن نمونه‌های بتنی نسبت به پسماند نوع۱ می‌شود.
- ❖ با توجه به نتایج به‌دست آمده ارتباط بسیار زیادی بین مقاومت فشاری و چگالی خشک نمونه‌های شامل پسماند مشاهده گردید.
- ❖ مقادیر بهینه درصدهای جایگزینی پسماند بجای بخش ماسه بتن برای نمونه‌های حاوی پسماند نوع ۱ و نوع ۲، به ترتیب ۷۰ و ۷۵ و همچنین برای نمونه-های حاوی هر دو نوع پسماند، ۴۹ درصد پسماند نوع ۱ و ۲۱ درصد پسماند نوع ۲ می‌باشد.
- ❖ لازم به ذکر است که تمامی نمونه‌ها مطابق ASTM C۱۲۹ به‌دلیل اینکه چگالی آن‌ها کمتر از ۱۶۸۰ کیلوگرم در هر سانتی‌متر مکعب می‌باشد، در رده سبک قرار می‌گیرند.
- ❖ با توجه به نتایج به‌دست آمده، استفاده از پسماند نوع۱ در تولید بتن به لحاظ اقتصادی و زیست

محیطی به‌سبب استفاده از سیمان کمتر رضایت بخش‌تر می‌باشد.

- به‌طور کلی استفاده از پسماندهای کارخانه‌های مقواسازی در تولید بتن سبک غیر باربر سبب صرفه-های زیست محیطی و اقتصادی (سودآوری و تولید اشتغال، کاهش هزینه‌های انتقال پسماندها به محل دفن، کاهش وزن سازه، استفاده از پسماند به جای خرید ماسه و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از سوزاندن و دفن پسماندها در خاکچال) می‌شود و می‌توان "بتن سبز" سازگار با محیط زیست تولید کرد.

منابع

۱. Ayomoh M.K.O., Oke S.A., Adedeji W.O., Charles-Owaba O.E., (2008). "An approach to tackling the environmental and health impacts of municipal solid waste disposal in developing countries". *Journal of Environmental Management*, Volume 88, Issue 1: 108-114.

۲. برزگر شیری، مصطفی، (۱۳۹۰). معرفی امکان ساخت فراورده ی چند سازه چوب- سیمان با استفاده از ضایعات لیگنوسلولزی: drmb75.blogfa.com/post-67.aspx http://iranwood.fay.ir.

۳. عمرانی، قاسمعلی و همکاران، "بررسی معیارهای مکان-یابی ایستگاه انتقال زباله منطقه ۲۲ کلان شهر تهران از نظر ملاحظات زیست محیطی هوا و شیرابه"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، تابستان۱۳۹۱، دوره ۱۴، شماره ۲.

۴. علیٌ، محمد، "تولید آجر فوق سبک سلولوزی با استفاده از بازیافت زباله‌های سلولزی خشک"، (۱۳۸۸)، پارک علم و فناوری استان آذربایجان شرقی، تبریز.

۵. S. Wiegand Paul, P. Unwin Jay, (1994). "Alternative management of pulp and paper industry solid wastes", *Tappi Journal*, Vol. 77: 91-97.

۶. Monte MC, Fuente E., Blanco A., Negro C., (2009). "Waste management from pulp and paper production in the European Union", *waste management*, Vol. 29, No. 1: 293-308.

۷. SeyyedAlipour Fatemeh, Yousefi Kebria Daryosh, Dehestani Mehdi. "Application of paper making industry wastes in construction materials". *7th National Congress on Civil Engineering: 7-8 May 2013 University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran*. http://www.civilica.com/Paper-NCCE07-NCCE07_1388.html.

۸. Martinez Carmen, Cotes Teresa, A. Corpas Francisco, (2012). "Recovering wastes from the paper industry: Development of ceramic materials", *Fuel Processing Technology*, No. 103: 117-124.

۹. Sutcu Mucahit, Akkurt Sedat, (2010). "Utilization of recycled paper processing residues and clay of different sources for the production of porous anorthite ceramics", *Journal of the European Ceramic Society*, Vol.30, No. 8: 1785–1793.

۱۰. Ismail Mohammad, Ismail ME, Lau SK, Muhammad Bala, Majid Zaiton, (2010). "Fabrication of bricks from paper sludge and palm oil fuel ash", *Concrete Research Letters*, 1(2): 60-66.

۱۱. British Standards Institution. BS 6073 Part2. *Precast concrete masonry units guide for specifying precast concrete masonry units.* (2008).

۱۲. Philadelphia PA: American Society for Testing and Materials. C33-01 *Standard Specification for concrete aggregates*, Annual Book of Astm Standards. (2004).

۱۳. Min Li, Jun Xiang, Song Hu, Lu-Shi Sun, Sheng Su, Pei-Sheng Li, Xue-Xin Sun,

(2004). "Characterization of solid residues from municipal solid waste incinerator", *Fuel*, 83(10): 1397-1405.

۱۴. Philadelphia PA: American Society for Testing and Materials. D4980-89 *Standard Test Methods for Screening of pH in Waste*, Annual Book of Astm Standards. (2003).

۱۵. British Standards Institution. BS 1881 Part116. *Metod for determination of compressive strength of concrete cubes*. London. (1983).

۱۶. Philadelphia PA: American Society for Testing and Materials. C 642-97 *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*, Annual Book of Astm Standards. (2004).

۱۷. Philadelphia PA: American Society for Testing and Materials. C 129-11 *Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units*, Annual Book of Astm Standards. (2004).

۱۸. Bitton, Gabriel. *Wastewater Microbiology*. 3rd edition, A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, (2005).

۱۹. SeyyedAlipour Fatemeh, Yousefi Kebria Daryosh, Ranjbar Malidarreh Nima, Norouznejad Ghasem, (2014). "Study of Utilization of Pulp and Paper Industry Wastes in Production of Concrete", *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(1): 115-122.

۲۰. H. Yun, H. Jung, C. Choi, (2007). "Mechanical Properties of Papercrete Containing Waste Paper", 18th International Conference on Composite Materials.

۲۱. Li H., Xiao H.G., Yuan J., Ou J., (2005). "Microstructure of cement mortar with nano-particles", *Composites: Part B*, 35: 185-189.

۲۲. Ji T., (2005). "Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO_2", *Cement and Concrete Research*, 35, 1943-1947.

۲۳. Ye Q., (2001). "Study and Development of Nano – Composite Cement-Based Material", *Gypsum and Cement for Building*, 11: 4-6.

۲۴. لطفی عمران، امید.”بررسی خصوصیات مکانیکی بتن خود تراکم الیافی حاوی ذرات نانوسیلیس“، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران-سازه، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل،دانشکده مهندسی عمران، ۱۳۹۰.

۲۵. Rahyan Fadila, Mohd Zailan Suleiman, Norizal Md. Noordin, (2008). "Paper Fiber Reinforced Foam Concrete Wall Paneling System", 2nd International Conference On Built Environment In Developing Countries (ICBEDC).

۲۶. A Balwaik Sumit, Raut, S P, (2012). "Utilization of Waste Paper Pulp by Partial Replacement of Cement in Concrete", *International Journal of Engineering Research and Applications*, 1 (2): 300-309.

Determination of optimal percent mixing of cardboard waste in production of non-load bearing concrete

Daryoush Yousefi Kebria[۱*] *(corresponding author)*
Dy.kebria@nit.ac.ir
Seyyedeh Fatemeh Seyyedalipour[۲]
Mehdi Dehestani[۳]

Abstract

Introduction and aims:

Most of paper and cardboard industries regardless of the exorbitant costs use incineration and disposal methods for their waste production. Hazardous substances contained in these wastes can contaminate the environment and cause a risk for the human health. Many recent studies show that some of the paper and cardboard industry wastes can be used as raw material in the construction industry. The aim of this study was to determine the optimal percent mixing of cardboard waste in production of non-load bearing concrete**.**

Materials and method:

In this study, two kinds of recycled paperboard mill wastes (type 1: waste contains cardboard and sand and type 2: waste containing nylon, cardboard and Yonolit) that have the most volume of the wastes were used. Physical and microbial characteristic of wastes were measured according to ASTM. As well as the chemical composition of the waste consists of various elements were measured by using an electron microscope. After preparation of the samples, the required tests were carried out to determine the optimal mixture of waste in concrete at the ages of ۷, ۱٤ and ۲۸ days respectively.

Results:

Since the pH of fresh concrete containing waste is greater than ۱۲, can be sure that there will not be any microbiological problem. In general, the use of waste in concrete production reduces the compressive strength of the samples. Comparing the compressive strength of concrete containing waste type ۱ and concrete samples containing both waste types shows that reducing the amount of waste type ۲ in compare with waste type ۱ improves concrete strength. The results of dry density test show the density decrease of concrete samples containing waste by increasing the percentage of waste replacing in the sand. Also using of waste type ۲ causes lighter concrete samples in compare with using waste type ۱. Optimal amounts of waste replacement instead of sand for samples containing waste type ۱ and type

1-Assistant professor of civil & environmental engineering department of babol noshirvani university of technology
2- MSc of civil&environmental engineering - babol noshirvani university of technology
3- Assistant professor of civil&structural engineering department of babol noshirvani university of technology

۲, ۷۰٪ and ۷۵٪ ,respectively, as well as for samples containing both waste types, ٤۹٪ of waste type ۱ and ۲۱٪ waste type ۲.

Conclusion:

According to the results, in terms of economic and environmental benefits, the use of waste type ۱ in the production of concrete for the lower use of cement is more satisfactory. The use of paperboard mill wastes in the production of concrete due to environmental and economical efficiency (profitability and employment, reducing the cost of transferring waste to landfills, reducing structural weight, using waste instead of buying sand and reduce the environmental pollution caused by incineration and landfilling) is noticable.

Key words: Industrial Wastes, Recycled Paperboard Mill, Non-load Bearing Lightweight Concrete, Compressive Strength.