



بررسی تأثیر انواع دورریزهای ساختمانی بر مقاومت بتن

سمانه علیزاده^۱، محمد کاظم شربتدار^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان

Civil.alizadeh@gmail.com

خلاصه

در کشورهای در حال توسعه، نخاله های ساختمانی بخش بزرگی از زباله های شهری را به خود اختصاص داده که علاوه بر هزینه بسیار برای دفع، عواقب نامطلوبی بر محیط زیست نیز دارند. پسماند ساخت و تخریب ابنیه و سازه ها شامل بتن، آسفالت، چوب، فلزات، شیشه، گچ، آجر، انواع سنگ، مواد پلیمری، موزائیک، سرامیک، کاشی و مواد لازم برای بام سازی هستند. پژوهش های آزمایشگاهی انجام شده و نتایج به دست آمده نشان داده در بررسی پودر شیشه، مقاومت فشاری نمونه ها افزایش یافته و پودر آجر تأثیری بر افزایش یا کاهش مقاومت نمونه ندارد. استفاده از سنگدانه های بازیافتی و همچنین استفاده از خرده آسفالت بازیافتی و نیز براده های زائد چوب باعث کاهش مقاومت فشاری شده است. در این پژوهش آزمایشگاهی به بررسی تأثیر جایگزینی کاشی و سرامیک ضایعاتی به عنوان بخشی از سیمان بر مقاومت بتن و نیز مقایسه آن با متاکائولین پرداخته شد. نتایج نشان دهنده آن بود که پودر کاشی و سرامیک استفاده شده خاصیت پوزولانی داشته و باعث افزایش مقاومت در بتن شده و نسبت به متاکائولین کاهش مقاومت کمتری نیز داشته است. در نهایت می توان از ویژگی های مثبت مواد ضایعاتی در سازه ها با توجه به نیاز استفاده کرد.

کلمات کلیدی: مقاومت، بتن، ضایعات، سرامیک، متاکائولین.

۱- مقدمه

وجود فعالیت های عمرانی در هر جامعه امر اجتناب ناپذیری است فعالیت های عمرانی چه در جهت ساخت بناها و ساختمان های جدید و چه تخریب و یا تعمیر و یا یافت فرسوده، مواد دورریز فراوانی دارد. حجم نخاله های ساختمانی به حدی است که اکنون این مساله نه تنها در ایران بلکه در کشورهای پیشرفته نیز یک مشکل اجتماعی و زیست محیطی است. مشکلات زیست محیطی که در اثر دفع غیر اصولی و غیر فنی این مصالح پدید آمده، توجه پژوهشگران در راستای بازیافت این مواد را به خود جلب کرده است. آمارهای موجود از ترکیب نخاله های ساختمانی شهرهای بزرگ نشان می دهد که آجر و ملات ماسه سیمان، بتن، دو ماده اصلی تشکیل دهنده نخاله های ساختمانی هستند. بازیافت نخاله های ساختمانی نه تنها به حفظ منابع طبیعی و محیط زیست کمک می کند، بلکه با بکارگیری روش های علمی، توجیه اقتصادی نیز دارد. حجم پسماند های ساختمانی به عواملی چون میزان رشد جمعیت و نیاز روزافزون به محل سکونت و تاسیسات و تجهیزات زیربنایی، نرخ مهاجرت روستاییان به شهرها و توسعه ناخواسته مراکز جمعیتی، بافت و قدمت ساختمان های موجود و میزان مقاومت آن ها در برابر زلزله، بلایای طبیعی، معماری ساختمان های موجود و تقاضای نسل حاضر و ... بستگی دارد. پسماند ساخت و تخریب ابنیه و سازه ها شامل بتن، آسفالت، چوب، فلزات، شیشه، گچ، آجر، انواع سنگ، مواد پلیمری، موزائیک، سرامیک، کاشی و مواد لازم برای بام سازی هستند. معمولاً اجزای این نخاله ها را حدوداً ۴۰ تا ۵۰ درصد بتن،



آسفالت، آجر، بلوک، سنگ و خاک، ۲۰ تا ۳۰ درصد چوب و محصولات مربوطه و ۲۰ تا ۳۰ درصد پسماند های متفرقه ای همچون فلزات، گچ، شیشه، آریست و سایر مواد عایق و پلیمری و اجرای تاسیسات آب و فاضلاب و برق تشکیل می دهد. بدیهی است اگر صرفاً در میحث بازیافت به استفاده از بتن تخریبی آن محدوده با هزینه دو برابر و نیمی نسبت به استفاده از سنگ دانه دست اول جامه ی عمل پوشیده شود، به هیچ وجه اقتصادی نمی باشد لذا لازمه موفقیت این امر، دیدگاه ارزش های محیط زیستی و استفاده و انجام بازیافت حداکثری همه بخش ها و انواع نخاله ساختمانی می باشد.

در تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده درخصوص استفاده شیشه در بتن نتایج نشان داده است که استفاده از پودر شیشه عبوری از الک نمره ۱۰۰ و مانده روی الک ۲۰۰ در شرایط استفاده از شیشه به مقدار ۳ درصد وزنی سیمان، بیش از ۷/۴ درصد مقاومت بتن را می تواند افزایش دهد همچنین با افزایش قطر پودر شیشه تا حد معینی مقاومت در سن ۲۸ روز افزایش و با افزایش سن نمونه مقاومت به مقدار جزئی کاهش می یابد [۱]. ضمناً در تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده دیگری درخصوص استفاده سنگدانه های بازیافتی در بتن نتایج نشان داده است که این سنگدانه ها نسبت به سنگدانه های طبیعی دارای چگالی کمتر و میزان جذب آب بیشتری هستند. همچنین استفاده از سنگدانه های بازیافتی به جای سنگدانه های طبیعی باعث کاهش ۲۶ فشاری درصدی مقاومت بتن می شود [۲]. نتایج استفاده از خرده آجر در بتن نشان داده است که مقاومت تقریباً کلیه نمونه های حاوی پودر آجر در سن ۷ و ۲۸ روز بیشتر از نمونه های شاهد می باشد. با توجه به اینکه پودر آجر مصرفی خاصیت پوزولانی چندانی ندارد، می توان این مقاومت بالا را در این سنین به نقش پرکنندگی مناسب در بتن نسبت داد [۳]. ضمناً سنگدانه های حاصل از خرده آسفالت بازیافتی در مخلوط باعث کاهش مقاومت می شود و نیز اثر چسبندگی سطح سنگدانه ها به ملات سیمان را کاهش داده و باعث انتقال ترک به دور سنگدانه شده است [۴]. میزان جایگزینی ۱۰الی ۲۰ درصد چوب بهینه ترین حالت برای جایگزینی برای استفاده در بتن سبک است [۵]. در سال های اخیر استفاده از این ضایعات در بتن به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مورد توجه قرار گرفته است. از جمله تحقیقات انجام شده در این زمینه عبارتند از: مروری بر استفاده از ضایعات سرامیک در تولید بتن (زیمبلی، سلیم اندامیکی ۲۰۱۴؛ [۶])، استفاده از کاشی به عنوان پوزولان در بتن (داود توکلی، علی حیدری و محسن اعتمادی ۱۳۹۰؛ [۷])، بتن ساخته شده با ضایعات صنعت چینی های بهداشتی سرامیکی در ترکیب با نانوسیلیس بعنوان بخشی از سیمان (شیوا توکلی و علی حیدری ۱۳۹۳؛ [۸])، استفاده از پودر سرامیک و آجر ضایعاتی به همراه نانوسیلیس برای تولید بتن با مقاومت بالا (شیوا توکلی، علی حیدری، محمد نوید مقیم و محمد رضا نیلفروشان ۱۳۹۲؛ [۹])، استفاده از پودر سرامیک به عنوان بخشی از سیمان (رایوال، پاتل و پترودا ۲۰۱۳؛ [۱۰])، مطالعه خواص مکانیکی و دوام بتن های حاوی متاکائولین (علی اکبر رمضانپور، سید امیر شایان صفوی زاده و فرامرز مودی ۱۳۸۸؛ [۱۱])، تاثیر متاکائولین بر خواص بتن با مقاومت بالا (دینا کر، ساهوو و اسرایم ۲۰۱۳؛ [۱۲]) از جمله موارد استفاده از مواد ضایعاتی در بتن می باشند. در این تحقیق در فاز اول متاکائولین را با درصد های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ جایگزین بخشی از سیمان جهت بررسی مقاومت فشاری ۶۰ و ۹۰ روزه شده است و در فاز دوم پودر کاشی با درصد های فوق جایگزین متاکائولین شده و مقاومت فشاری آن نیز بررسی شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

مصالح سنگی به کار رفته در این تحقیق از معادن شرق سمنان تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش دانه بندی جهت تعیین نحوه توزیع اندازه دانه های سنگی به کار می رود. جدایش دانه ها به کمک الک بر اساس ACI 211 استاندارد ASTM C33 صورت می گیرد. سیمان مورد استفاده، سیمان پرتلند تپ ۱ کارخانه سیمان شاهرود می باشد. متاکائولین استاندارد موجود در شکل ۱ از شرکت آسان تجارت واقع در تهران تهیه شده است که خواص شیمیایی آن توسط انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران تهیه و مطابق جدول ۱ می باشد. کاشی و سرامیک مورد استفاده از ضایعات کارخانه کاشی سمنان تهیه شده است. به منظور دانه بندی ابتدا تعدادی از ضایعات کاشی و سرامیک را توسط دستگاه تست لس انجلس خرد کرده و سپس توسط الک و براساس استاندارد ASTM C33 دانه بندی شده و عبوری از الک ۲۰۰ مطابق شکل ۲ به عنوان پودر کاشی استفاده شد. با توجه به حجم مصرفی، مقدار مورد نیاز توسط کارخانه پودر سنگسر تهیه شد. خواص شیمیایی کاشی سرامیک از آزمایشگاه کارخانه کاشی سمنان تهیه شده و مطابق جدول ۲ می باشد.



جدول ۱- ترکیبات شیمیایی متاکائولین

درصد	مشخصات شیمیایی
0.03	K_2O
0.1	Na_2O
0.03	MgO
0.09	CaO
0.65	TiO_2
1.1	Fe_2O_3
44	Al_2O_3
54	SiO_2



شکل ۱- نمونه متاکائولین استاندارد

جدول ۲- درصد ترکیبات شیمیایی

درصد	مشخصات شیمیایی
0.002	MnO
0.1	P_2O_5
3.97	K_2O
0.68	Na_2O
0.7	MgO
0.04	CaO
0.9	TiO_2
3.29	Fe_2O_3
20.31	Al_2O_3
65.16	SiO_2
4.55	LOI
0.06	SO_3



شکل ۲- نمونه بودر کاشی و سرامیک



همانطور که از جدول ۲ مشاهده می شود مجموع درصد سه اکسید $Fe_2O_3 + Al_2O_3 + SiO_2$ در این ماده حدود ۸۸٫۷۶ درصد می باشد که حداقل میزان یک ماده پوزولانی در استاندارد ASTM C618 برابر ۷۰ درصد در نظر گرفته شده است. همچنین میزان (SO_3) در این ماده برابر با ۰٫۰۶ می باشد که حداکثر این میزان در استاندارد حداکثر ۳ درصد در نظر گرفته شده است. میزان افت در اثر سرخ شدن (LOI) نیز برابر ۴٫۵۵ درصد بوده است که این میزان در استاندارد حداکثر ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است. پس با توجه به مطالب فوق می توان نتیجه گرفت که این ماده الزامات شیمیایی استاندارد ASTM C618 را ارضا می کند.

• طرح اختلاط

درصد اختلاط بتن مطابق با نشریه شماره ض – ۴۷۹ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن "روش ملی طرح مخلوط بتن" تعیین گردیده است [۱۳]. جزئیات طرح اختلاط مصالح نمونه ها در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳ – مشخصات اجزاء طرح اختلاط نمونه های مکعبی بتن (kg/m^3)

نام طرح نمونه های بتنی	علامت اختصاری	شن (kg)	ماسه (kg)	سیمان (kg)	آب (kg)	متاکائولین (kg)	ضایعات کاشی و سرامیک (kg)	
							خرد شده	پودر شده
شاهد	T	802	980	400	220	0	0	0
متاکائولین ۱۰٪	M 10%	802	980	360	220	40	0	0
متاکائولین ۲۰٪	M 20%	802	980	320	220	80	0	0
متاکائولین ۳۰٪	M 30%	802	980	280	220	120	0	0
پودر کاشی ۱۰٪	TP 10%	802	980	360	220	0	0	40
پودر کاشی ۲۰٪	TP 20%	802	980	320	220	0	0	80
پودر کاشی ۳۰٪	TP 30%	802	980	280	220	0	0	120

مخلوط های بتن در سه سری به صورت شاهد، ترکیب با در صد های مختلف متاکائولین و ترکیب با در صد های مختلف پودر کاشی ساخته شده اند. جهت بررسی مقاومت فشاری نمونه های مکعبی $10 \times 10 \times 10$ cm و برای هر نوع بتن دو نمونه ساخته شد، سن نمونه ها ۶۰ روز و ۹۰ روز می باشد. پس ازانجام بتن ریزی، ۲۴ ساعت بعد نمونه ها از قالب خارج و در حوضچه ای که شامل آب شرب دانشگاه سمنان با دمای ۲۵-۳۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. شکل ۳ روند بتن ریزی و قرار دادن آنها در حوضچه آب را نشان می دهد.



نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران



۳-ارائه و تحلیل نتایج

آزمایش مقاومت فشاری توسط یک دستگاه تمام اتوماتیک تست فشاری ساخت شرکت Toni technik با ظرفیت ۲۰۰۰ kN مطابق شکل ۴ صورت گرفته است. بارگذاری نمونه‌ها طبق استاندارد BS 1881 و ASTM C39 انجام میشود. در ارائه نتایج مقاومت فشاری نتیجه میانگین نمونه‌ها در زمان عمل آوری شده در جدول ۴ و شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۳- روند بتن ریزی و قرار دادن آن‌ها در حوضچه آب



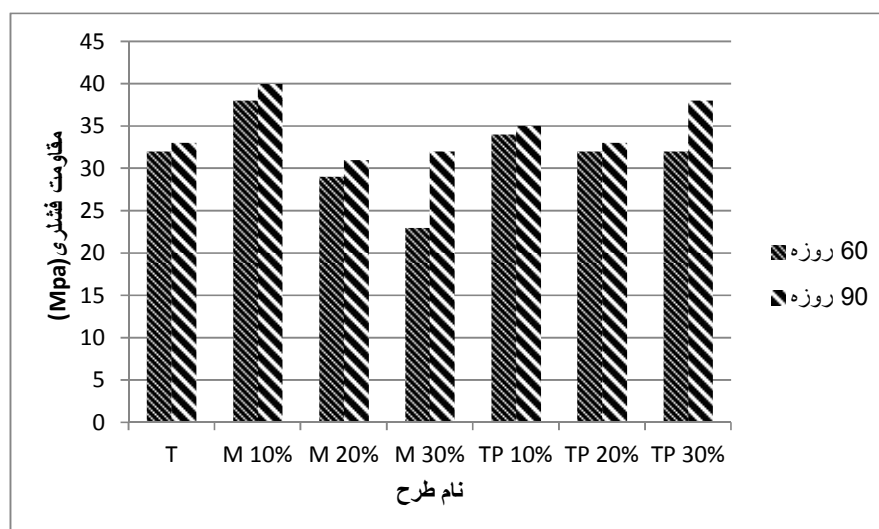
شکل ۴- دستگاه تست فشاری

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۴، نمونه‌های حاوی ۱۰٪ متاکائولین و ۱۰٪ پودر کاشی به ترتیب بالاترین مقاومت رانسبت به بتن شاهد در سن ۶۰ روزه دارند و با افزایش درصد جایگزینی این مواد مقاومت کاهش یافته است. در سن ۹۰ روزه نیز به ترتیب بالاترین مقاومت نسبت به بتن شاهد مربوط به نمونه‌های حاوی ۱۰٪ متاکائولین، ۳۰٪ پودر کاشی و ۱۰٪ پودر کاشی می باشد. نمونه‌های حاوی متاکائولین ۱۰٪ به طور متوسط ۱٫۲٪ و پودر کاشی ۱۰٪ به طور متوسط ۱٫۱٪ افزایش مقاومت نسبت به نمونه شاهد دارند.



جدول ۴ - نتایج مقاومت فشاری نمونه های آزمایشگاهی

نام طرح	مقاومت (MPa)	
	روزه ۹۰	روزه ۶۰
T	۳۳	۳۲
M 10%	۴۰	۳۸
M 20%	۳۱	۲۹
M 30%	۳۲	۲۳
TP 10%	۳۵	۳۵
TP 20%	۳۳	۳۲
TP 30%	۳۸	۳۲



شکل ۵- نمودار تغییرات مقاومت

در نمودار شکل ۵، در سن ۶۰ و ۹۰ روزه با افزایش در صد جایگزینی متاکائولین مقاومت نمونه ها نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته ولی در مورد پودر کاشی نسبت به نمونه شاهد کاهش مقاومت نداریم.



۴- نتیجه گیری

- لزوم توجه به مدیریت مواد زائد ناشی از صنایع یکی از راه حل های حفظ محیط زیست در دنیای امروزی است. در این میان صنعت ساختمان می تواند با مصرف درست و هوشمندانه مواد زائد هم از استخراج بی رویه منابع طبیعی بکاهد و هم با مدفون سازی این زوائد در مصالح ساختمانی مانند بتن از آلودگی بیشتر محیط زیست جلوگیری کند. با توجه به آزمایش های انجام شده در این تحقیق بر روی استفاده از ضایعات کاشی در ساخت بتن ، به نتایج زیر می توان دست یافت :
- ۱- بیشترین مقاومت مربوط به متاکائولین با در صد جایگزینی ۱۰٪ است که می توان آن را به عنوان درصد بهینه در نظر گرفت . پودر کاشی با ۱۰٪ جایگزینی نیز باعث افزایش مقاومت شد.
 - ۲- افزایش درصد متاکائولین باعث کاهش مقاومت می گردد و با توجه به روند کاهش مقاومت، نمی توان از آن در ساخت بتن استفاده کرد.
 - ۳- افزایش درصد جایگزینی پودر کاشی باعث کاهش مقاومت می گردد اما این کاهش مقاومت در حد نمونه شاهد می باشد پس می توان از آن ها برای ساخت نمونه ها استفاده کرد.
 - ۴- در مجموع در سن ۹۰ روزه مقاومت تمامی نمونه ها نسبت به ۶۰ روزه رو به افزایش بوده است.
 - ۵- با توجه به روند تغییرات مقاومت پودر کاشی نسبت به متاکائولین ، پودر کاشی جایگزین مناسب تری در بتن است.
 - ۶- باتوجه به ترکیبات موجود در پودر کاشی و مشاهده نتایج مربوط به مقاومت می توان از آن به عنوان یک ماده پوزولانی در ساخت بتن استفاده نمود.
 - ۷- استفاده از سرامیک با توجه به کاهش هزینه های اقتصادی، حفظ محیط زیست و مدیریت پسماند و کمک به مقاومت سازه ها در شرایط مختلف اقدامی در جهت توسعه پایدار می باشد.
 - ۸- با استفاده از مواد پوزولانی و ضایعاتی می توان هزینه ساخت ، ترمیم و نگهداری سازه ها را کاهش داد.



۵- مراجع :

۱. وحید رستمی ، کبارش لطفی (۱۳۹۰) " بررسی تاثیر ضایعات پودر شیشه با دانه بندی مختلف بر مقاومت بتن "، سومین کنفرانس ملی عمران شهری
 ۲. علی صدر ممتازی ، محمد هادی طهمورثی (۱۳۹۱) " بررسی خواص مکانیکی بتن حاوی سنگدانه ضایعاتی بتنی"، چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران
 ۳. رحمت مدندوست ، حسین قناد زاده ، میثم سعادتمند (۱۳۹۰) "ارزیابی خواص مهندسی بتن حاوی ترکیب سرامیک و آجر ضایعاتی خرد شده به عنوان جایگزین بخشی از ریز دانه "، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه
 ۴. وحید طاهری (۱۳۸۹) " بررسی آزمایشگاهی خواص بتن سیمانی حاوی مخلوط آسفالت بازیافتی"، مجله مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی
 ۵. بهروز حسنی ، وحید رحیمی ، مجتبی عامری (۱۳۸۸) " بررسی استفاده از الیاف چوب بر خصوصیات مکانیکی بتن سبک "، اولین کنفرانس ملی بتن
 6. O.Zimbi, W . Salim, and M . Ndambuki" A Review on the usage of ceramic wastes inconcrete production (2014)" world academy of science ,engineering and technology
 ۷. داود توکلی ، علی حیدری ، محسن اعتمادی (۱۳۹۰) " استفاده از کاشی به عنوان پوزولان در بتن "، سومین کنفرانس سالیانه بتن ایران
 ۸. شیوا توکلی ، علی حیدری ، (۱۳۹۳) " بتن سازگار با محیط زیست کار آمد ، ساخته شده با ضایعات صنعت چینی های بهداشتی سرامیکی در ترکیب با نانوسیلیس بعنوان بخشی از سیمان "، دومین همایش سراسری محیط زیست ، انرژی و پدافند زیستی
 ۹. شیوا توکلی ، علی حیدری ، محمد نوید مقیم ، محمد رضا نیلفروشان (۱۳۹۲) " ارزیابی اثر استفاده از پودر سرامیک و آجر ضایعاتی به همراه نانوسیلیس برای تولید بتن با مقاومت بالا ، گامی در جهت مدیریت پسماند و کاهش اثرات زیست محیطی تولید سیمان "، اولین همایش ملی نانو تکنولوژی مزایا و کاربردها
 10. D . Raval , N . Patel, and J . Pitroda" Eco – Efficient Concretes : Use of ceramic powder as a partial replacement of cement (2013)" international journal of innovative technology and exploring enineering
 ۱۱. علی اکبر رمضانپور، سید امیر شایان صفوی زاده، فرامرز مودی (۱۳۸۸) " مطالعه خواص مکانیکی و دوام بتن های حاوی متاکائولین "، کنفرانس بین المللی عمران و شهرسازی
 12. Dinakar*, Pradosh K. Sahoo, and G. Sriram" Effect of Metakaolin Content on the Properties of High Strength Concrete(2013)" International Journal of Concrete
- ۱۳ " نشریه شماره ض – ۴۷۹ " مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، ۱۳۸۸