

کاربرد لجن خشک تصفیه خانه فاضلاب به عنوان مصالح سنگی در تولید بتن

امیر جمشیدی
دانشگاه علم و صنعت ایران
مسعود جمشیدی*
دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
ناصر مهردادی
دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

چکیده:

شهر صنعتی البرز با قدمتی بیش از پنجاه سال، متشکل از منطقه مسکونی و صنعتی، واقع در ۱۰ کیلومتری شهر قزوین است و تصفیه خانه آن از سال ۱۳۷۸ با ظرفیت ۷۰,۰۰۰ متر مکعب در روز براساس روش سیستم لجن فعال طراحی و راه اندازی گردید. در حال حاضر، سباب تولیدی حدود پانصد کارخانه بزرگ و کوچک توسط شبکه جمع آوری فاضلاب جهت تصفیه به این واحد وارد می شود. بزرگترین مشکل تصفیه خانه فوق از زمان راه اندازی، انباشت لجن در محوطه تصفیه خانه است که به دلیل ممانعت سازمان محیط زیست برای دفن بهداشتی به وجود آمده است. تحقیق حاضر در راستای حذف لجن مذکور از طریق کاربرد آن در مصالح بتنی صورت گرفته است. بر این اساس، در ابتدا لجن خشک مصرفی با کمک روش های XRD و XRF به ترتیب از نظر فازهای کریستالی موجود و ترکیب شیمیایی آنالیز گردید. نتایج این آنالیزها حاکی از وجود بیش از ۵۰ درصد سیلیس (SiO_2) در فاز کریستالی کوارتز، در لجن بود. همچنین وجود بیش از ۲۰ درصد مواد آلی در این ماده این تفکر را تقویت نمود که این مواد باعث کاهش کیفیت بتن ساخته شده شوند. لذا، فرآیند حرارت دهی تا ۶۵۰ درجه سلسیوس برای لجن خشک اولیه طراحی گردید. نتایج آنالیز XRD لجن پخته شده، حاکی از تغییراتی در فازهای کریستالی موجود بود. با توجه به بروز تغییرات کریستالی در این ماده احتمال ایجاد فعالیت پوزولانی (واکنش پذیری در محیط سیمان) وجود داشت که به منظور تشخیص آن آنالیز STA انجام گردید. نتایج این آنالیز حاکی از عدم فعالیت پوزولانی لجن پخت شده بود. برای بررسی اثر لجن خشک بر خصوصیات بتن، دو طرح اختلاط بر پایه نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و ۰/۵۵ در نظر گرفته شد و مقادیر صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ درصد از لجن خشک در آن به کار رفت. برای بررسی اثر لجن بر عملکرد بتن، آزمون مقاومت فشاری به عنوان مشخصه دوام در نظر گرفته شده و آزمونهای عمل آوری شده (سه تکرار) طی ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روز مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که نمونه های ۹۰ روزه بتن حاوی ۵ درصد لجن، کاهش حدود ۴٪، نمونه های حاوی ۱۰ درصد لجن، کاهش حدود ۸٪ و نمونه های حاوی ۲۰ درصد لجن کاهش حدود ۲۲٪ مقاومت فشاری را نسبت به نمونه شاهد (بدون لجن) خواهد داشت. از آنجا که حجم مصرف بتن در کشور بسیار زیاد می باشد و نظر به کاهش بسیار کم مقاومت فشاری در اثر افزوده شدن مقادیر کم لجن، نویسندگان این مقاله ضمن الزامی دانستن مطالعه دیگر اثرات افزودن لجن به بتن، کاربرد لجن فاضلاب را به عنوان مصالح سنگی در مقادیر کمتر از ۱۰ درصد در بتن های معمول همچون بتن کفی توصیه می کنند.

واژه های کلیدی: لجن، بتن، مقاومت فشاری، فاضلاب، آنالیز XRD و XRF.

* نویسنده مسئول: Masoud52@yahoo.com

۱. مقدمه

دفع فاضلاب تولیدی جوامع بشری و تصفیه فاضلاب تولید شده، از ضروریات لاینفک مدیریت شهری و بهداشت عمومی می‌باشد. با احداث تصفیه‌خانه، عموماً مشکلات تولید و دفع لجن خشک بروز می‌نماید. نظر به آنکه حجم لجن خشک تولید شده در تصفیه‌خانه‌ها عموماً زیاد بوده و مصرف مشخصی نیز برای آنها تعریف نشده است، از آنجایی که همیشه مشکل انباشت لجن مطرح می‌باشد. بدین جهت دفع این مواد به لحاظ زیست محیطی و همچنین محدودیت‌های فضای نگهداری اهمیت بسیار دارد، بنابراین مدیریت صحیح لجن تولیدی در تصفیه‌خانه‌ها امری ضروری می‌باشد.

شهر صنعتی البرز متشکل از مناطق مسکونی و صنعتی بوده و در ۱۰ کیلومتری شهر قزوین واقع شده است. در حال حاضر، پساب تولیدی حدود پانصد کارخانه بزرگ و کوچک (به استثناء صنایعی از قبیل تولید چرم، کشتارگاه‌ها و ...) توسط شبکه جمع‌آوری فاضلاب به این تصفیه‌خانه وارد می‌شود.

یکی از رایج‌ترین روش‌های دفع لجن، دفن بهداشتی و استفاده آن بعنوان کود در مزارع کشاورزی می‌باشد. مقادیر زیاد اکسیدهای فلزی، فلزات سنگین و مواد آلی موجود در لجن تصفیه‌خانه شهر صنعتی البرز، باعث شده که محیط زیست استان قزوین از دفن و یا استفاده از آن به‌عنوان کود جلوگیری نماید. بنابراین از زمان بهره‌برداری تاکنون، کل لجن تولید شده در تصفیه‌خانه فوق که روزانه به‌میزان حدود ۲/۵ تا ۳ تن می‌باشد، بدون مصرف باقی مانده است.

در این تحقیق، کاربرد (دفع) لجن خشک تصفیه‌خانه فاضلاب شهر صنعتی البرز قزوین، به عنوان یکی از مواد اولیه ساخت بتن امکان‌سنجی شده است. برای این منظور در ابتدا خصوصیات فیزیکی و مکانیکی لجن خشک مشخص گردید، سپس نمونه‌های بتنی با نسبت‌های آب به سیمان ۰/۴۵ و ۰/۵۵ و با مقادیر مختلف لجن ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد نسبت به سیمان تولید گردید. در پایان اثر لجن بر خصوصیات بتن تولید شده با آزمون مقاومت فشاری بررسی گردید [۱-۵].

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. لجن خشک

لجن خشک مورد مصرف در این پروژه از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر صنعتی البرز قزوین تهیه شد. مشخصات پساب ورودی به این تصفیه‌خانه در جدول ۱ ارائه شده است. ترکیب شیمیایی لجن (مرطوب) تهیه شده از ماده فوق در جدول ۲ ارائه شده است [۱].

جدول ۱ - خصوصیات لجن تصفیه‌خانه شهر صنعتی البرز

ردیف	شرح	واحد	مقدار
۱	دما	درجه سانتیگراد	متغیر
۲	رنگ		سبز تیره
۳	هیدرات الکتریکی EC	میلی موس	۱۸۰۰
۴	PH		۶/۶
۵	BOD	Mg/L	۱۹۵۰
۶	COD	Mg/L	۴۶۰۰
۷	TSS	Mg/L	۱۶۰۰
۸	فسفات	Mg/L	۶۰
۹	نیتрат	Mg/L	۱۰
۱۰	سولفات	Mg/L	۱۸۳
۱۱	ازت	Mg/L	۴۴
۱۲	NH4	Mg/L	۲۸
۱۳	SS	Mg/L	۴۰
۱۴	دترجنت	Mg/L	۱۴/۲
۱۵	NO ₂ +NO ₃	Mg/L	۱۰
۱۶	مجموع مواد جامد محلول	Mg/L	۹۸۰

بر اساس میانگین آزمایشات انجام شده توسط آزمایشگاه تصفیه‌خانه شرکت شهر صنعتی البرز میزان نرمی نمونه لجن نیز با استفاده با الکترون ۴۵ میکرون (مش ۳۲۵) اندازه‌گیری شد. نتایج

۲-۴. فوق‌روان‌کننده

به‌منظور کنترل روانی بتن ساخته شده، از فوق‌روان‌کننده نوع ملکریت شرکت رزین‌سازان فارس استفاده شد [۳].

جدول ۳- خواص شیمیایی و کیفی سیمان پرتلند تیپ دو (بر اساس آزمایشات انجام شده توسط کارخانه سیمان آبیگ در اردیبهشت سال ۸۶)

خواص کیفی سیمان	خواص کیفی سیمان پرتلند تیپ دو	
مشخصات شیمیایی	سیمان نوع ۲ استاندارد ایران به شماره ۳۸۹	محدود مجاز بر اساس استاندارد ایران به شماره ۳۸۹
SiO ₂	حد اقل ۲۰	۲۰/۸۲
Al ₂ O ₃	حداکثر ۶	۴/۹۸
Fe ₂ O ₃	حداکثر ۶	۳/۵۷
CaO	فاقد محدودیت	۶۲/۸۴
MgO	حداکثر ۵	۲/۷۹
SO ₃	حداکثر ۳	۲/۲۴
K ₂ O	محدودیت اختیاری	۰/۶۳
CL	فاقد محدودیت	-
افت وزنی	حداکثر ۳	۱/۸۵
باقی‌مانده نامحلول در اسید	حداکثر ۰/۷۵	۰/۳۷
آهک آزاد	فاقد محدودیت	۱/۲۳
C ₃ S	فاقد محدودیت	۵۲/۵۹
C ₂ S	فاقد محدودیت	۲۰/۰۳
C ₃ A	حداکثر ۸	۷/۱۶
C ₄ AF	فاقد محدودیت	۱۰/۸۷
C ₃ S+C ₃ A	محدودیت اختیاری	-

۲-۵. آب مورد استفاده

آب مورد استفاده در ساخت و عمل‌آوری بتن از آب شرب شهر قزوین بود که مشخصات فیزیکی- شیمیایی آن در جدول ۴ ارائه شده است [۳].

به‌دست آمده نشان داد که ۵۱/۵ درصد آزمون روی الک ۴۵ میکرون باقی ماند.

جدول ۲- مشخصات شیمیایی لجن مرطوب تصفیه‌خانه شهر صنعتی البرز (بر اساس میانگین آزمایشات انجام شده توسط آزمایشگاه تصفیه‌خانه شرکت شهر صنعتی البرز)

ردیف	پارامتر	واحد	مقدار
۱	PH	—	۷/۸
۲	COD	Mg/L	۲۰۰۰
۳	BOD	Mg/L	۱۲۰۰
۴	TSS	Mg/L	۷۵۰۰۰

۲-۲. سیمان مصرفی

سیمان مصرفی برای ساخت بتن در این تحقیق، سیمان پرتلند تیپ ۲ آبیگ بود. مشخصات سیمان مذکور در جدول ۳ ارائه شده است. مقایسه خصوصیات سیمان مصرفی با محدوده مجاز استاندارد ملی شماره ۱۳۸۹ ایران نشان می‌دهد که سیمان مصرفی دارای کیفیت مناسب بوده است [۳].

۲-۳. سنگدانه مصرفی

شن و ماسه مصرفی برای ساخت بتن از معدن شرکت راهسر در حوالی نظام‌آباد شهر قزوین و به فاصله حدود ۱۵ کیلومتری مرکز استان تهیه گردید. نتایج بررسی‌های این سنگدانه‌ها نشان داد که میزان مدول نرمی $FM=3/1$ بوده (که نتایج فوق توسط آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک در محدوده مجاز اعلام گردید) و میزان هم‌ارز ماسه‌ای ۹۳ بود. نمودار دانه‌بندی شن درشت، شن ریز و ماسه مصرفی در شکل ۱ تا ۳ نمایش داده شده است [۴]. براساس انجام آزمایش توسط آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک قزوین از ماسه‌شویی شرکت راهسر لازم به‌ذکر است که آزمایشگاه توصیه نموده است که شن درشت با حذف ۳۰ درصد از درشت دانه بالای یک اینچ به‌صورت مخلوط با شن ریز (نخودی) قابل استفاده خواهد بود.

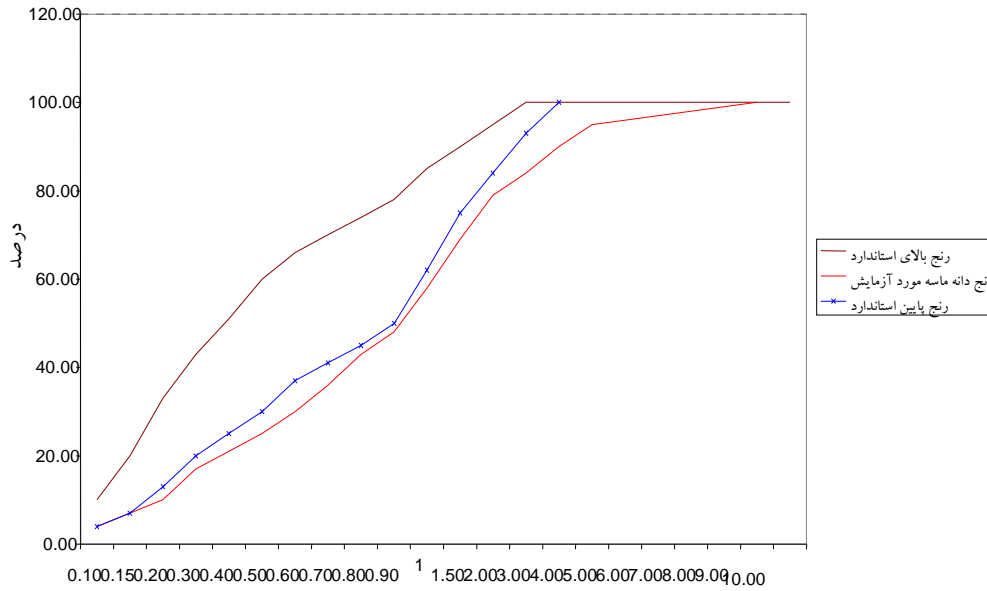
۲-۶. طرح مخلوط بتن

بتن‌های شاهد مورد نظر بر اساس آئین‌نامه آمریکا ACI-211،

به منظور تهیه بتن برای انجام آزمون‌ها، نیاز به تعیین طرح مخلوط مطابق جدول ۵ بر اساس دو نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و ۰/۵۵ مناسب بود که با آزمون‌های اولیه انجام شده طرح مخلوط

طراحی شد [۴].

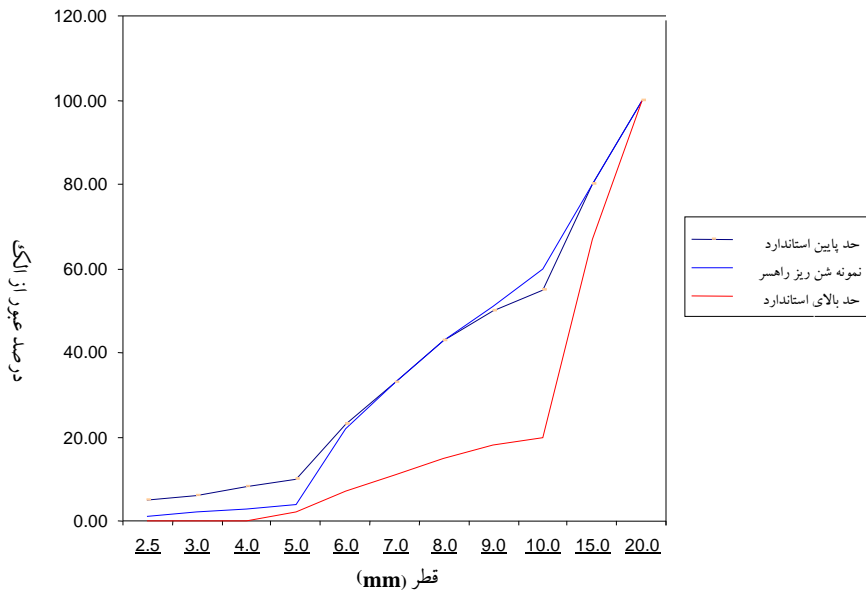
دانه‌بندی شن ریز راهسر به روش ACI-211



اندازه دانه‌ها (mm)

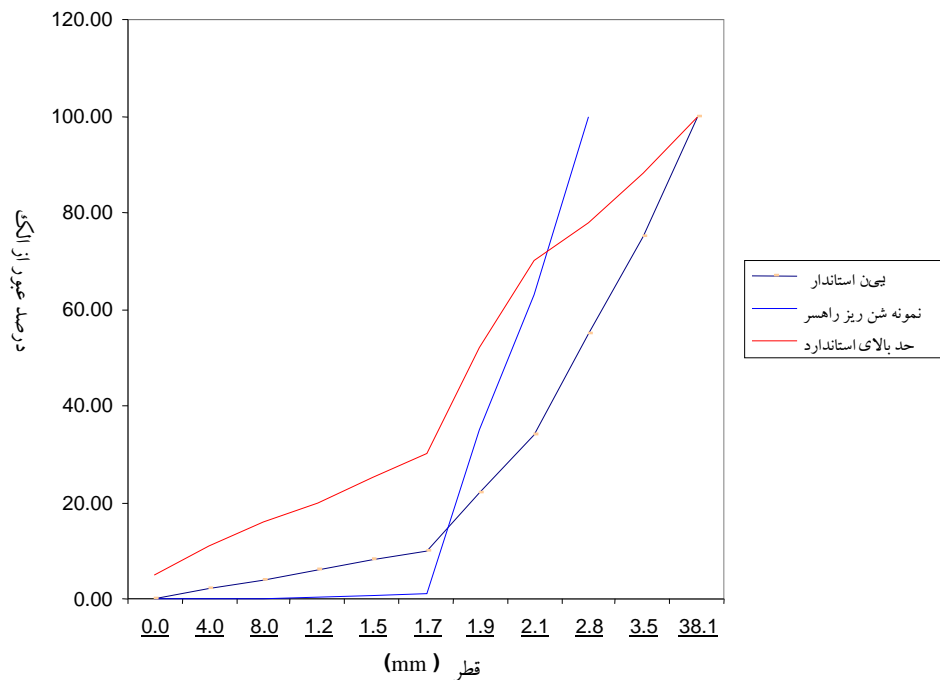
شکل ۱- نمودار دانه‌بندی ماسه

دانه بندی شن ریز راهسر به روش BS



شکل ۲- نمودار دانه‌بندی شن ریز مصرفی

دانه‌بندی شن ریزی راهسر به روش BS



شکل ۳- نمودار دانه‌بندی شن درشت مصرفی

۳-۱. ارائه نتایج و بحث به منظور مصرف لجن در بتن، مقادیر مختلف ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد لجن در نظر گرفته شد که طرح مخلوط‌های در نظر گرفته شده با احتساب دو نسبت آب به سیمان، در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است.

۳-۱. مشخصات کریستالی و شیمیایی لجن خشک به منظور شناسایی ویژگی‌های ذاتی لجن خشک مورد استفاده، این ماده تحت آنالیزهای XRF و XRD قرار گرفت که نتایج آنالیزها به ترتیب در جدول ۸ و شکل ۴ ارائه شده است.

مورد استفاده از مواد سیلیسی تشکیل شده است که در مقایسه با نمونه‌های بررسی شده در تحقیقات دیگر محققان (والز و همکارانش حدود ۳۰ درصد) از مقادیر بیشتر سیلیس (SiO₂) بهره‌مند می‌باشد که به لحاظ ساخت بتن، ماده‌ای مناسب می‌باشد. همچنین بیش از ۲۰ درصد لجن خشک مصرفی از مواد آلی تشکیل شده است [۶-۷].

آنالیز کریستال‌های موجود در لجن خشک مصرفی حاکی از وجود چهار نوع فاز کریستالی غالب در لجن می‌باشد که بیشترین میزان موجود مربوط به کریستال‌های کوارتز می‌باشد (جدول ۹).

۲-۷. نحوه عمل آوری بتن

بتن‌های ساخته شده پس از ساخت در درون قالب‌های فلزی ریخته شده (سه تکرار برای هر نمونه) و به مدت ۲۴ ساعت در محیط مرطوب (زیر گونی خیس و ورقه پلی اتیلنی) نگهداری شدند. سپس از قالب خارج شده و تا عمر ۲۸ روز در حوضچه آب با دمای محیط عمل آوری شدند. سپس از حوضچه خارج شده و مورد آزمون مقاومت فشاری قرار گرفتند [۴].

۲-۸. آزمون مقاومت فشاری

آزمونه‌های مقاومت فشاری در ابعاد ۱۵cm×۱۵cm×۱۵cm ساخته شد و پس از عمل آوری ۲۸ روزه بر اساس استاندارد ASTM C 39 مورد آزمون قرار گرفت [۲].

جدول ۴- نتایج آزمایشات فیزیکی و شیمیایی آب قزوین

ردیف	پارامتر	واحد	مقدار موجود
۱	اندازه‌گیری شده	درجه حرارت آب هنگام آزمایش	درجه سانتیگراد ۱۹/۹
۲	قابلیت هدایت الکتریکی	$\mu s.Cm^{-1}$	۵۸۸
۳	PH	—	۸/۲
۴	باقی مانده تبخیر در ۱۸۰ درجه	Mg/L	۲۹۴
۵	سختی کل	Mg/L as $CaCO_3$	۸۰
۶	کلسیم	Mg/L as Ca^{+2}	۱۷
۷	منیزیم	Mg/L as Mg^{+2}	۹
۸	سدیم	Mg/L as Na^{+1}	۱۰۰
۹	پتاسیم	Mg/L as K^{+}	۰/۹
۱۰	منگنز	Mg/L mm	<۰/۰۱
۱۱	آهن	Mg/L Fe	<۰/۰۵
۱۲	کلراید	Mg/L Cl^{-}	۲۱
۱۳	فلوراید	Mg/L F^{-}	۰/۴
۱۴	فسفات	Mg/L PO_4^{-3}	۰/۲۷
۱۵	سولفات	Mg/L SO_4^{-2}	۵۰
۱۶	آمونیاک	Mg/L NH_3	<۰/۰۲
۱۷	نترات	Mg/L NO_3^{-1}	۱۳
۱۸	نیتريت	Mg/L NO_2^{-1}	۰/۰۱۳
۱۹	کربنات	Mg/L CO_3^{-}	۰
۲۰	بی کربنات	Mg/L HCO_3^{-}	۲۵۴/۲۴

جدول ۵- طرح مخلوط بتن شاهد (بدون لجن) با نسبت‌های

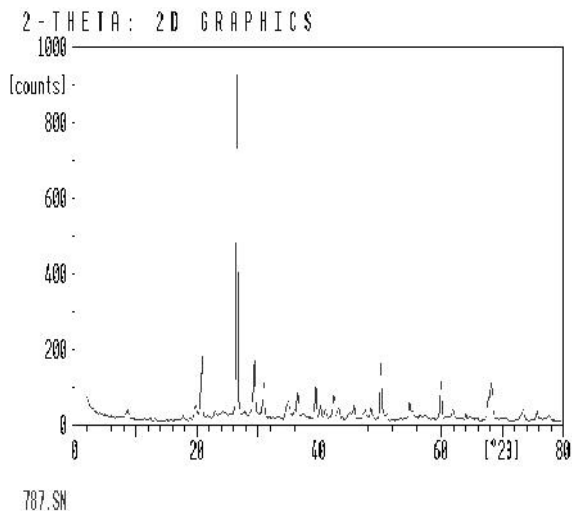
متفاوت آب به سیمان

ردیف	شرح	مقادیر (بر حسب Kg) بر اساس W/C=۰/۴۵	مقادیر (بر حسب Kg) بر اساس W/C=۰/۵۵
۱	شن	۸۷۰	۸۷۰
۲	ماسه	۸۷۰	۸۷۰
۳	سیمان	۳۶۰	۳۶۰
۴	آب	۱۶۲	۱۹۸
۵	فوق روان کننده	۳/۶	۳/۶

جدول ۶- طرح اختلاط بتن حاوی لجن برای نسبت آب به

سیمان W/C = ۰/۵۵

شرح	نمونه‌های حاوی لجن ۵٪	نمونه‌های حاوی لجن ۱۰٪	نمونه‌های حاوی لجن ۲۰٪	نمونه‌های حاوی لجن ۳۰٪
سیمان (kg)	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰
شن (kg)	۸۶۱	۸۶۱	۸۶۱	۸۶۱
ماسه (kg)	۸۵۲	۸۳۴	۷۹۸	۷۶۲
آب (lit)	۱۹۸	۱۹۸	۱۹۸	۱۹۸
ملکریت (kg)	۳/۶	۳/۶	۳/۶	۳/۶
لجن (kg)	۱۸	۳۶	۷۲	۱۰۸



شکل ۴- نمودار آنالیز XRD نمونه لجن خشک

جدول ۹- کریستالیته‌های تشخیص داده شده در لجن خشک

فرمول شیمیایی	شرح	ردیف
SiO ₂	Quartz.syn	۱
KAl ₂ (Si ₃ Al)10(OH,F) ₂	Muscorite – ZM1	۲
CaCO ₃	Calcite	۳
CaMg(CO ₃) ₂	Dolomite	۴

این آنالیز نشان داد که بیشتر سیلیس آشکار شده در آنالیز XRF از نوع کریستالی می‌باشد، که عملاً نمی‌تواند در هیدراتاسیون سیمان نقش داشته باشد و فقط به عنوان پرکننده عمل می‌کند.

۳-۲. مشخصات لجن خشک پس از عملیات حرارتی

با توجه به وجود بیش از ۲۰ درصد مواد آلی در لجن خشک و با توجه به کاهش خصوصیات مکانیکی بتن در اثر حضور مواد آلی، لجن خشک در معرض حرارت دهی تا ۶۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. مهم‌ترین تفاوت بصری رخ داده، تغییر رنگ فاحش لجن از خاکستری روشن به خاکستری تیره بود. برای مشخص شدن اثر این فرایند بر شیمی ماده، لجن خشک پس از حرارت دهی مجدداً تحت آنالیز XRD قرار گرفت که نتایج در شکل ۵ و جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۷- طرح اختلاط بتن حاوی لجن برای نسبت آب به سیمان

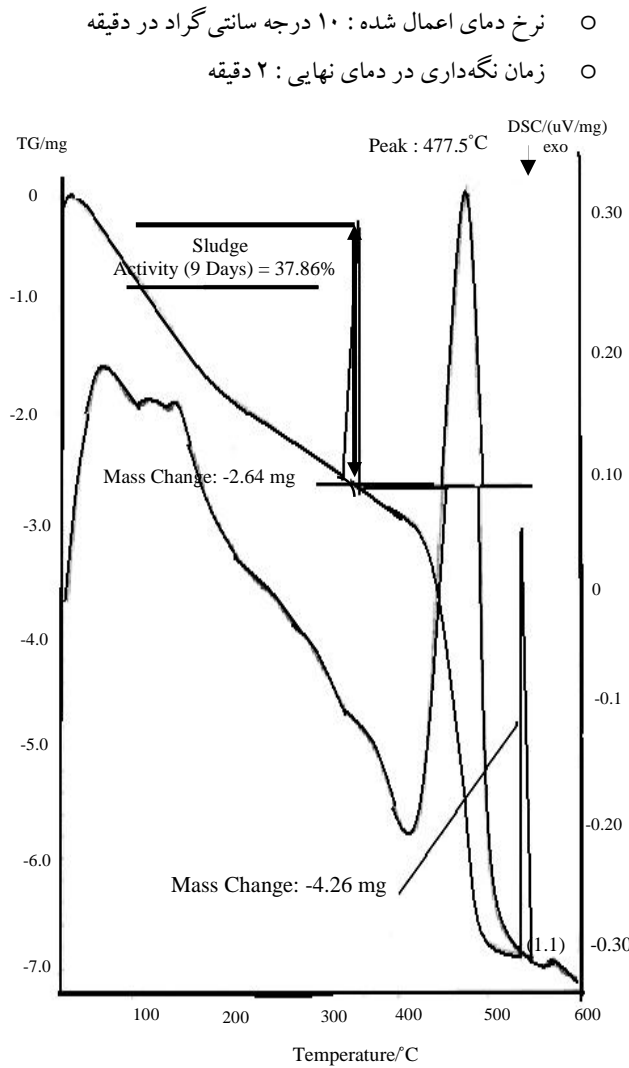
$$W/C = 0.45$$

شرح	نمونه‌های حاوی ۵٪ لجن	نمونه‌های حاوی ۱۰٪ لجن	نمونه‌های حاوی ۲۰٪ لجن	نمونه‌های حاوی ۳۰٪ لجن
سیمان (kg)	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰
شن (kg)	۸۶۱	۸۶۱	۸۶۱	۸۶۱
ماسه (kg)	۸۵۲	۸۳۴	۷۹۸	۷۶۲
آب (lit)	۱۶۲	۱۶۲	۱۶۲	۱۶۲
ملکریت (kg)	۳/۶	۳/۶	۳/۶	۳/۶
لجن (kg)	۱۸	۳۶	۷۲	۱۰۸

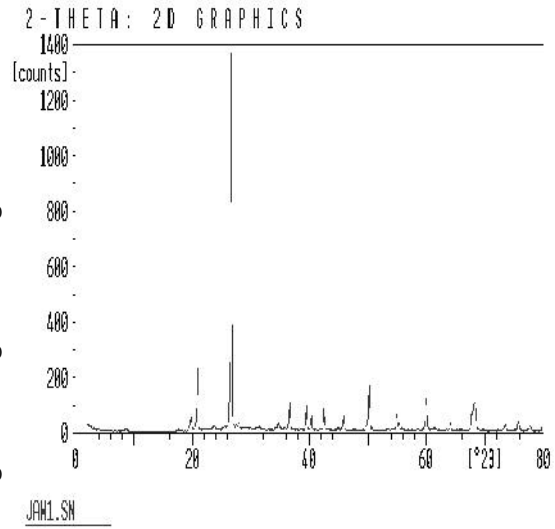
جدول ۸- آنالیز ترکیب شیمیایی لجن خشک به کمک

آنالیز XRF

ردیف	عناصر	درصد
۱	L.O.I	۲۱/۳
۲	Na ₂ O	۰/۴۳۶
۳	MgO	۲/۱۹۴
۴	Al ₂ O ₃	۸/۹۶۲
۵	SiO ₂	۵۴/۵۴۵
۶	P ₂ O ₃	۱/۳۰۳
۷	SO ₃	۰/۱۷۱
۸	K ₂ O	۱/۷۹
۹	CaO	۷/۳۳۷
۱۰	TiO ₂	۰/۲
۱۱	Fe ₂ O ₃	۰/۹۲۷
۱۲	Zn	۰/۱۴۹
۱۳	Br	۰/۵۴۱
۱۴	Sr	۰/۰۳۱
۱۵	Zr	۰/۱۱۴



- نرخ دمای اعمال شده: ۱۰ درجه سانتی گراد در دقیقه
- زمان نگهداری در دمای نهایی: ۲ دقیقه



شکل ۵- نمودار آنالیز XRD نمونه لجن خشک پس از عملیات حرارت دهی

جدول ۱۰- فازهای کریستالی تشخیص داده شده در لجن خشک پس از عملیات حرارتی

ردیف	شرح	فرمول شیمیایی
۱	Quartz.syn	SiO ₂
۲	Muscovite – ZM1	KAl ₂ (Si ₃ Al)10(OH,F) ₂
۳	Lite-2M2	KAl ₂ (Si ₃ Al)O.10(OH) ₂

شکل ۶- نمودار آنالیز TGA لجن پخته شده

اولین پیک گرماگیر که در دمای ۴۷۷/۵ درجه سانتی گراد مشاهده می شود مربوط به Ca(OH)₂ است که وارد واکنش نشده و در محیط باقی مانده و به CaO و H₂O تجزیه شده است. افت وزنی که از طریق پیک های مربوط به منحنی TG محاسبه شده (۷/۲۲ درصد)، نشانگر تجزیه حرارتی است. بر اساس نتایج آنالیز میزان فعالیت پوزلانی نمونه لجن از طریق محاسبه، معادل ۳۷/۸۶ درصد به دست آمده که بسیار کمتر از مقادیر معمولی برای مواد دارای فعالیت پوزلانی (بیش از ۷۰ درصد) می باشد. از اینرو لجن پخته شده نیز در بتن تنها نقش پرکنندگی خواهد داشت.

بر اساس انجام آزمایش در دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس نتایج این آنالیز نشان می دهد که عملیات حرارتی علاوه بر حذف مواد آلی، موجب تغییر ساختار کریستالی نیز می گردد. این نتیجه، احتمال تشکیل سیلیس آمورف در لجن را که می تواند همچون پوزولانها (مواد جایگزین سیمان که عموماً ریشه طبیعی دارند) در فرآیند هیدراته شدن و عمل آوری بتن شرکت نماید، تقویت نمود. برای بررسی این موضوع، لجن پخته شده تحت آنالیز STA قرار گرفت تا میزان فعالیت پوزولانی آن مشخص شود. نتایج آنالیز در شکل ۶ ارائه شده است.

این آنالیز با استفاده از دستگاه STA-449C، از طریق میزان جذب مورد بررسی قرار گرفت. آزمون با استفاده از دستگاه STA با برنامه حرارتی مشخص به شرح زیر انجام شد:

- حداکثر دمای اعمال شده: ۶۰۰ درجه سانتی گراد

گذشت زمان، منجر به بهبود خصوصیات استحکامی می‌شود، که این مطلب، امری بدیهی است.

همچنین ورود لجن به بتن موجب درخواست آب بیشتر و افت شدید روانی (کارایی بتن) گردید به گونه‌ای که در نمونه‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ امکان ساخت آزمون با لجن ۳۰٪، به دلیل روانی بسیار کم بتن تازه فراهم نیامد. این مشکل حتی با افزودن مقادیر بیشتر فوق روان کننده نیز رفع نشد.

مهم‌ترین نتیجه حاصل از آزمون مقاومت فشاری آن است که با افزایش مقدار لجن خشک در بتن، مقاومت فشاری آزمون‌ها کاهش می‌یابد. این مقدار کاهش، خصوصاً در هنگام افزایش مقدار ۲۰ درصد و بیشتر از لجن، بارز و قابل توجه است.

۴. نتیجه‌گیری

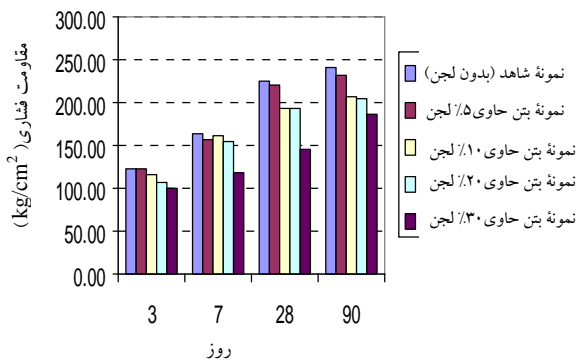
بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، ترکیب شیمیایی لجن فاضلابی تصفیه‌خانه شهر صنعتی البرز قزوین، با توجه به مقدار سیلیس فراوان موجود در آن سازگاری مناسبی با ساختار سیلیکاتی بتن دارد.

لجن خشک پخته شده با توجه به فعالیت بسیار کم پوزولانی و عدم واکنش پذیری (یا واکنش پذیری بسیار کم) در محیط سیمان، نقش مصالح سنگی را در بتن بازی می‌کند.

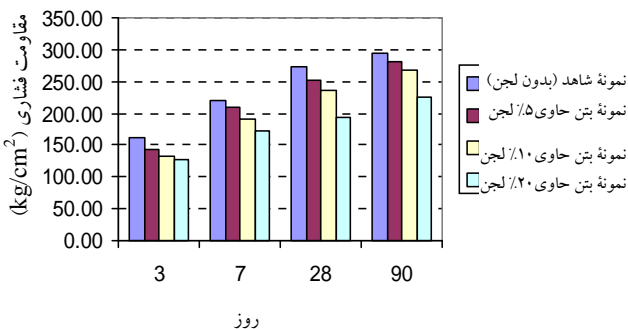
افزایش میزان مصرف لجن خشک، باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود. با افزایش میزان لجن خشک، روانی مخلوط کم شده و بنابراین درخواست آب در بتن به منظور امکان‌پذیر نمودن قالب‌ریزی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش میزان آب، استحکام بتن با توجه به پیدایش ریزترک‌ها افزایش می‌یابد، بنابراین با افزایش میزان لجن، استحکام بتن کاهش خواهد یافت.

افزایش تا ۱۰ درصد لجن خشک به بتن باعث کاهش حداکثر ۸ درصدی مقاومت فشاری می‌شود که در بتن‌های معمولی همچون بتن کفی که نیاز به مقاومت‌های خیلی بالا ندارند، قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

میزان کاهش مقاومت به دست آمده در اثر مصرف ۱۰ درصد لجن خشک تصفیه‌خانه فاضلاب شهر صنعتی البرز قزوین در مقایسه با نتایج حاصل از تحقیقات مشابه انجام شده به سال ۲۰۰۴ در بارسلونای کشور اسپانیا توسط والز و همکارانش بسیار کمتر بوده است که کاهش مقاومت در تحقیقات ایشان نسبت به بتن



شکل ۷- نمودار تغییرات مقاومت فشاری حاوی لجن خشک بتن برای نسبت آب به سیمان $W/C = 0.55$



شکل ۸- نمودار تغییرات مقاومت فشاری بتن حاوی لجن خشک برای نسبت آب به سیمان $W/C = 0.45$

۳-۳. نتایج آزمون مقاومت فشاری

با توجه به نتایج حاصل از آنالیزهای انجام شده، لجن خشک در طرح اختلاط‌ها به عنوان مصالح سنگی در نظر گرفته شده و آزمون‌های ساخته شده تحت آزمون مقاومت فشاری قرار گرفتند. نتایج مقاومت فشاری آزمون‌های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و ۰/۵۵ در شکل ۷ و ۸ ارائه شده است.

نتایج حاکی از آن است که با افزایش نسبت آب به سیمان مقاومت فشاری بتن در همه عمرهای عمل‌آوری کاهش یافته است. این امر بسیار بدیهی می‌باشد زیرا با افزایش نسبت آب به سیمان ترک خوردگی‌های میکروسکوپی بتن افزایش یافته و مقاومت نهایی کاهش می‌یابد.

همچنین در هر دو نسبت آب به سیمان، روند افزایشی مقاومت فشاری با افزایش مدت زمان عمل‌آوری، مشاهده شد که این خصوصیت نیز با توجه به پیشرفت واکنش‌های شیمیایی سیمان، با

- [۴]. د. مستوفی‌نژاد، تکنولوژی و طرح اختلاط بتن، چاپ سوم، انتشارات چاپخانه اصفهان، اصفهان.
- [۵]. کک. یغمائیان، م. خانی، ع. اکبرزاده، مهندسی فاضلاب، چاپ اول، انتشارات دیباگران تهران، تهران.
- [۶]. س. والز، ا. واز کوز، ۲۰۰۰. "تثبیت و استحکام لجن فاضلاب با سیمان پرتلند"، مجله تحقیقات سیمان و بتن. شماره ۳۰، ص ۱۶۷۱-۱۶۷۸.
- [۷]. والز، س. یاگو، ا. واز کوز، ا. ماریسکال، س. ۲۰۰۴، "بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بتن حاوی لجن خشک فاضلاب شهری"، مجله تحقیقات سیمان و بتن. شماره ۳۴، ص ۲۲۰۳-۲۲۰۸.

[8]. S. Valls , E. Vazquez Journal Cement and Concrete Research, 1671-1678, 2000.

[9]. S. Valls, A.Yaguq Journal Cement and Concrete Research, 2203- 2208, 2004.

شاهد ۴۲ درصد اعلام گردیده است و امکان استفاده برای هیچ‌گونه کاربرد بتنی نخواهد داشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که لجن خشک مورد بررسی برای مصرف در بتن بسیار مناسب‌تر است [۶-۷].

بر اساس کلیه نتیجه‌گیری‌های فوق، مصرف مقادیر کمتر از ۱۰ درصد لجن خشک با توجه به مزایای بسیار زیاد زیست محیطی و اقتصادی، و کاهش قابل اغماض مقاومت فشاری، در ساخت بتن‌های معمولی که نیاز به رده‌های مقاومتی بالا ندارند (همچون بتن بنایی و بتن کفی) توصیه می‌شود.

۵. مراجع

- [۱]. ابریشم چی، ع. افشار، ب. جمشید، مهندسی فاضلاب، جلد اول، چاپ سوم، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- [۲]. م. شاه‌نظری، م. سحاب، دستورالعمل‌های آزمایشگاه بتن، چاپ اول، انتشارات علم و صنعت ۱۱۰، تهران.
- [۳]. س. کباری، مصالح ساختمانی، چاپ بیستم، انتشارات دانش و فن، تهران.

Application of dry sludge of waste water treatment plant as aggregate in concrete production

A. Jamshidi

Iran University of Science and Technology

M. Jamshidi *

Department of Environmental Engineering, University of Tehran

N. Mehrdadi

Department of Environmental Engineering, University of Tehran

(Received: 2010/12/15, Accepted: 2011/5/4)

Abstract

Albourz Industrial City's wastewater is mixing of domestic and industrial wastewater. Nowadays because of prevent of Environment Protection Agency for hygienic bury, the most important problem is storing sludge in treatment plant zone. Present work has been performed to eliminate mentioned sludge through application in concrete materials. To characterize dry sludge, it was analyzed by XRD and XRF methods for crystalline phases and chemical compound. The results indicated the existence of more than 50 percent silica (SiO_2), in Quartz crystalline phase, in the sludge. Also, the existence of more than 20 percent organic matter in the sludge was indicated. These organic matters will cause decrease in concrete mechanical properties. Therefore, a heating process to 650 °C was designed for dry sludge before application in concrete. The results of XRD analysis of cooked sludge analyze showed changes in crystalline phases. Considering the changes in crystalline phases, made it possible to create pozzolanic activity in material. To investigate pozzolanic activity STA analyze was performed. The result confirmed lack of pozzolanic activity in cooked sludge. To investigate dry sludge effects on concrete properties as aggregate, two mix designs of concrete at water to cement ratios of 45 and 55% and used sludge percentages of 0, 5, 10, 20 and 30% was selected. To investigate the sludge effects on concrete performance, compressive strength test was considered as durability index and specimens tested after 3, 7, 28 and 90 days of curing. The results indicated that in 90 days cured specimens containing 5, 10 and 20% dry sludge, compressive strength decrease about 4, 8 and 22% in comparison to control specimens (concretes without sludge). Due to huge application of concrete in Iran, and on the basis of low decrease in compressive strength (which can be acceptable), therefore, it will be possible to use concrete with 5 or 10 percent of sludge for each type of application. Also, the application of 10 and 20% dry sludge is possible only for pavement concretes.

Keywords ; Sludge, Concrete, Compressive Strength, Wastewater, XRF and XRD Analysis

* Corresponding author: Masoud52@yahoo.com