بررسی خواص مکانیکی ملات سیمانی حاوی خاکستر برگ بامبو

علی صدر ممتازی[۱] ، سید امیر مدنی[۲] ، سید جاهد لاهیجی[۲]

۱- دانشیار گروه عمران ، دانشگاه گیلان ، رشت ، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه ، دانشگاه گیلان ، رشت ، ایران

[۱]sadrmomtazi@yahoo.com
[۲]amir007200259@yahoo.com

[3]jahed.lahiji@gmail.com

Code:E

خلاصه :

سیمان یکی از محصولات مهم صنعت ساختمان می‌باشد. با توجه به مواد آلاینده ناشی از تولید این محصول ، یکی از مسائل مهم محققین این صنعت، یافتن راهکارهایی جهت کاهش این آلاینده‌ها و افزایش کیفیت سیمان است. پوزولان مصنوعی که اکثرا محصول پسماند مواد صنعتی و کشاورزی می‌باشد راه حلی برای رسیدن به هدف مذکور است. خاکستر برگ بامبو نمونه‌ای از پوزولان مصنوعی می‌باشدکه از ضایعات برگ گیاه بامبو بدست می‌آید. در این پژوهش تاثیرخاکستر برگ بامبو، در رفتار مکانیکی ملات‌های سیمانی بررسی شد. بدین منظور خاکستر برگ بامبو در کوره الکتریکی به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده و سپس با استفاده از آسیاب سرامیکی، ریزی متوسط ذرات آن را به ۲۴μm می رسد. با استفاده از روش XRF ترکیبات شیمیایی خاکستر برگ بامبو شناسایی گردید، سپس ۶ گونه ملات با نسبت‌های مختلف وزنی از خاکستر برگ بامبو تهیه و مقاومت فشاری و مقاومت کششی ناشی ازخمش ، چگالی ، درصد جذب آب و تغییرات طولی نمونه‌های ساخته شده بررسی گردید. در این مطالعه نشان داده می‌شود با جایگزینی ۱۵ و۲۰ درصد وزنی سیمان با خاکستر برگ بامبو مقاومت فشاری و خمشی و جذب آب نمونه‌های ساخته شده نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد.

واژه های کلیدی : خاکستر برگ بامبو، ملات سیمان ، پوزولان ، مقاومت فشاری

Study mechanical properties of cement mortars containing bamboo leaf ash

[1]Associate Professor/Faculty of Engineering, University of Guilan/Rasht/Iran

[2]M.S. Student/Civil Engineering, University of Guilan/Rasht/Iran

[1]sadrmomtazi@yahoo.com

[2]amir007200259@yahoo.com

[3]jahed.lahiji@gmail.com

ABSTRACT

Cement is one of the main products in construction industry. Due to the pollution caused by the production of cement, one of the vital matters for researcher is obtaining devise for decrease pollution and increase efficiency cement multilateral quality. The solution to achieve, the purpose is unnatural pozzolan that caused by wasting of industrial materials and agricultural materials. Bamboo leaf ash is example of unnatural Pozzolan that it is achieved from waste bamboo plant leaf. In this study, we were investigated effect bamboo leaf ash on cement mortar mechanical behavior. For this aim, bamboo leaf ash heated in an electrical furnace at 600°°for 120 minutes than the average small particle reaches to ۲۴ µm with use of ball mill .For this purpose, we recognized chemical combinations bamboo leaf ash using XRF method then we provide 5 type mortar of different weight scales bamboo leaf ash and compressive strength tensile strength due to bending, density, water absorption and changes percentage samples longitudinal. In this paper, we will present with replacing 15 & 20 weight percent of cement to bamboo leaf ash, increased the compressive strength, flexural strength and absorption of water in new samples will be increase in proportion to usual cement.

Keyword: Bamboo leaf ash, cement mortar, Pozzolan, compressive strength

۱- مقدمه

۱-۱ محیط زیست

صنعت سیمان حدودا ۵٪ کل گازهای گلخانه‌ای موجود در دنیا را تولید می‌کند و با روند رو به رشد تقاضای این محصول، هر ساله بر میزان تولید گازهای آلوده ناشی از این صنعت افزوده می‌شود[۱] . بنابراین پیداکردن راهکاری برای توقف رشد و کاهش این آلاینده‌ها از مهمترین اهدافی می‌باشد که برای احیای محیط زیست، نظر کارشناسان این صنعت را به خود جلب کرده است. یکی از راه‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای،کاهش تولید سیمان و جایگزینی آن مقدار کاهش تولید، با مواد دیگر نظیر پوزولان می‌باشد[۲]. پوزولان‌ها در کل به دو صورت طبیعی یا مصنوعی موجود می‌باشند. از پوزولان‌های طبیعی خاکسترهای آتشفشانی و توف‌ها را می توان نام برد و پوزولان‌های مصنوعی مانند خاکسترهای بادی مراکز حرارتی،خاک رس، شیست‌های پخته، روباره‌های کوره‌های ذوب‌آهن، بوکسیت‌های پخته، لاترین‌ها و خاک‌های پخته نواحی گرمسیر، خاکستر پسماند محصولات کشاورزی نظیر پوسته شلتوک برنج، پسماندهای گیاهان ذرت و نیشکر، برگ بامبو، از جمله این موارد هستند[۳]. در کل خاکستر پسماند محصولات کشاورزی سرشار از سیلیس می‌باشند که به عنوان یک سیلیکای به اصطلاح زیست طبیعی، حاوی خاصیت آمورفی هستند[۵و۴و۲]. هنگامی که مواد آلی حاوی سیلیس بسوزد و خاکستر آن به مقدار مشخص با سیمان پرتلند مخلوط گردد تولید سیمان پوزولانی (حاوی خاکسترهای مواد آلی که به اصطلاح به آنها بیوسیمان می‌گویند) می‌کند که دارای مزایای اقتصادی ، فنی و زیست محیطی می‌باشد و باعث کاهش مصرف انرژی (استفاده کمتر از سوخت فسیلی)،کاهش تولید کلینکر سیمان و در نهایت کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شود[۸و۷و۶]. یکی از گیاهانی که می‌تواند در این زمینه پرکاربرد باشد، گیاه بامبو است[۲]. برگ بامبو سرشار از مواد سیلیسی بوده و خاکستر آن که در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفته و با آسیاب کردن، قطر ذرات آن به ۲۴μm رسیده دارای خاصیت آمورفی مناسب به عنوان یک پوزولان جهت اضافه کردن به سیمان پرتلند تیپ یک می‌باشد. مقاله حاضر به معرفی خاکستر برگ بامبو به عنوان یک پوزولان در دسترس در ایران می‌پردازد [۱۰و۹].

۱-۲ ویژگی‌های سیمان‌های حاوی پوزولان‌های خاکستر گیاهان

بسیاری از محصولات کشاورزی تولید شده پس از برداشت محصول دارای ضایعات و دورریزهای زیادی هستند، اکثرا این حجم ضایعات یا در طبیعت به صورت آزاد رها شده و یا سوزانده می‌شوند. بررسی‌ها نشان داده خاکستر این ضایعات ، سرشار از سیلیس آمورفی و درکل دارای خاصیت پوزولانی هستند از جمله این محصولات که در دنیا به صورت صنعتی و طبیعی بسیار تولید می‌شود برنج ،ذرت،نارگیل،نیشکر،بامبو می باشند.

سیمان‌های حاوی پوزولان‌های خاکستر مواد آلی که به اصطلاح به آن ها بیوسیمان گفته می‌شود در چند مرحله تولید می‌شوند، در مرحله اول باقی مانده‌های مواد آلی که خاکستر آن‌ها دارای مواد سیلیسی واکنش پذیر است سوزانده می‌شود و در مرحله دوم این خاکستر در حرارت لازم به مدت معین قرار داده می‌شود تا خصوصیت آمورفی آن فعال شده و کربن زدایی شود. در پایان با سیمان پرتلند معمولی مخلوط می‌گردد این نوع سیمان دارای خاصیت پوزولانی بالا می‌باشد و واکنش پوزولانی آن بخاطر واکنش پایه اسیدی بین هیدرواکسید کلسیم و اسید مشتق از سیلیس به صورت زیر است[۲]:

$$Ca(OH)_2 + H_4SiO_4 \rightarrow Ca^{2+} + H_2SiO_4^{2-} + 2H_2O \rightarrow CaH_2SiO_4.2H_2O$$

پس از اکسیژن، سیلیسیم بیشترین عنصر موجود در پوسته زمین است که گیاهان آن را جذب می‌کنند و مقدار آن از ریشه به ساقه و سپس به برگ افزایش می یابد. علاوه برگونه‌های گیاهی، مقدار ترکیبات سیلیسیم موجود در گیاهان به نوع ژنتیکی، شرایط محیطی، فصل رشد و کاربرد کود استفاده شده بستگی دارد. [۲]

۱-۳- بامبو به عنوان پوزولان

در کشوری مانند برزیل مساحتی حدود ۱۸۰۰۰۰ کیلومتر مربع زیر کشت بامبو می‌باشد و با توجه به تولید بالای کاغذ از آن در حدود ۵۰۰۰۰۰ تن در سال، حدود ۱۹۰ هزار تن ضایعات دورریز از درخت بامبو شامل برگ و شاخه های جوان را به همراه دارد. اکثرا این ضایعات سوزانده می‌شود و تاثیر منفی در طبیعت دارد. مقالات ثبت شده در زمینه رفتار پوزولانی بامبو محدود

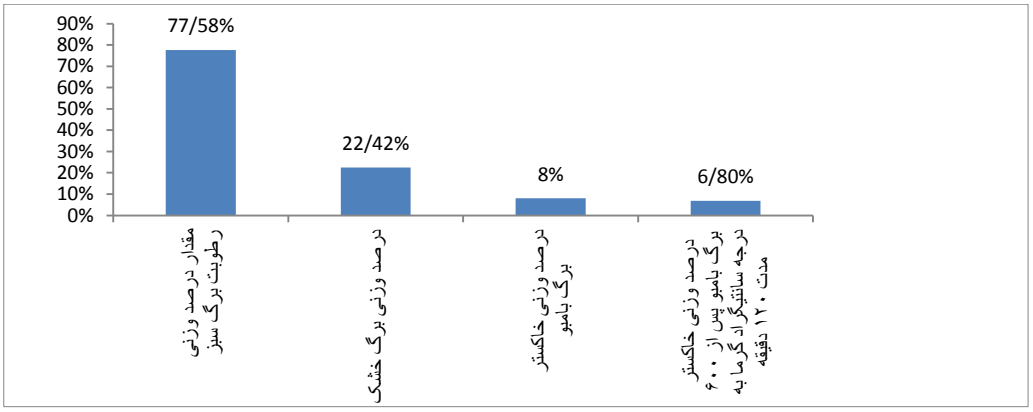
می‌باشد، نمونه آن تحقیقات Dwivedi و همکاران او است که واکنش بین هیدروکسید کلسیم و خاکستر برگ بامبو را به مدت ۴ ساعت ، از واکنش با استفاده از روش دیفرانسیلی اسکن کالیمتری (DSC) مورد مطالعه قرار داد[۱۱].همچنین سینگ(Singh)، وی ۲۰ نمونه طرح اختلاط متفاوت ساخته شده از خاکستر برگ بامبو و سیمان پرتلند را پس از گیرش و هیدراتاسیون مورد آزمایش ۲۸ روزه قرار داد و با نمونه های ساخته شده با سیمان پرتلند تیپ I مقایسه کرد و به نتایج خوبی در مورد خصوصیت پوزولانی خاکستر برگ بامبو دست یافت[۱۲].

این پژوهش به بررسی خاکستر برگ بامبو و رفتار آن به عنوان یک پوزولان در ایران می پردازد.

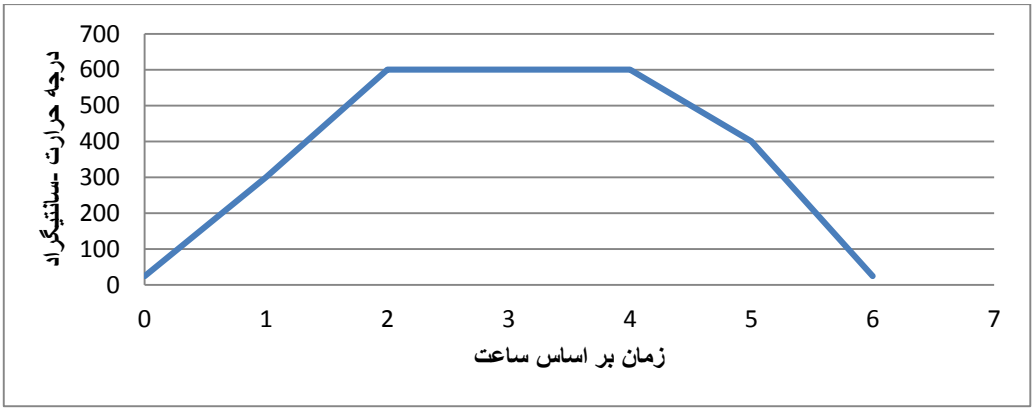
۲ – کارهای آزمایشگاهی

۲-۱ برگ بامبو

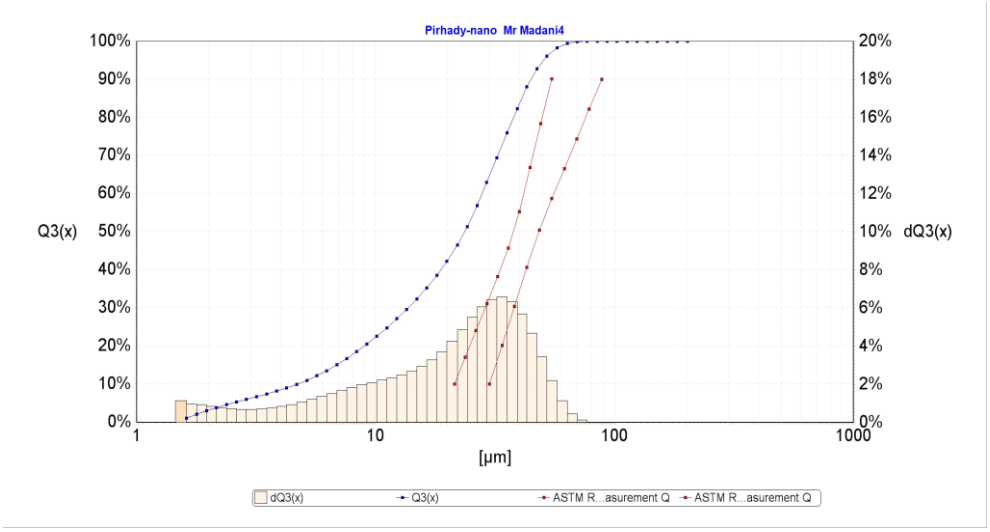
برگ بامبو به کار رفته در این تحقیق از مزارع بامبو روستای لیالستان شهرستان لاهیجان برداشت شده سپس این برگ‌ها در فضای باز در زیر نورآفتاب خشک شدند. برگ خشک بامبو سوزانده شده و برای استفاده از خاکستر برگ بامبو به عنوان یک پوزولان در مخلوط ملات سیماتی، آن را در کوره الکتریکی به مدت۱۲۰ دقیقه در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده تا این خاکستر به عنوان یک پوزولان، فعال شده و خاصیت آمورفی پیدا کند و کربن موجود در آن از بین برود (به اصطلاح عمل کربن گیری). مقدار رطوبت و کاهش وزن برگ بامبو در مراحل مختلف مطابق شکل ۱ می‌باشد. طبق نمودار شکل ۱ مقدار خاکستر بدست آمده از برگ سبز حدود ۶٫۸ درصد می باشد. در شکل ۲ نمودار روند اعمال حرارت به خاکستر برگ بامبو در کوره الکتریکی در بازه زمانی مشخص نشان داده شده است. سپس خاکستر را توسط آسیاب سرامیکی (Ball mill) به مدت۱۲۰ دقیقه آسیاب کرده و توسط روش دانه بندی لیزری اندازه ذرات آن به ۲۴µm می‌رسد که حدود اندازه ذرات آن در شکل ۳ آمده است.



شکل۱-تغییرات درصد وزنی برگ بامبو در مراحل مختلف



شکل۲-روند تغییر حرارت در کوره الکتریکی



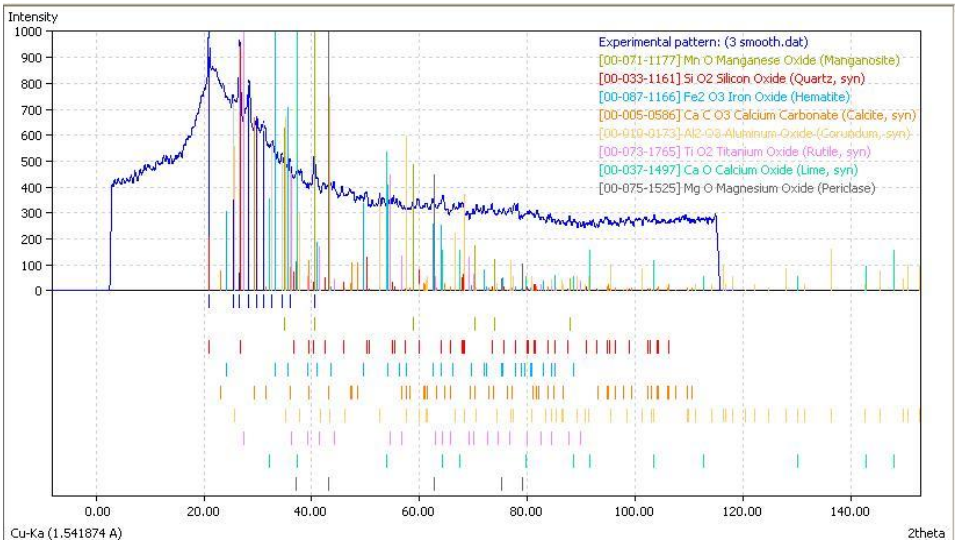
شکل۳- نمودار دانه بندی لیزری خاکستر برگ بامبو

۲-۲ مصالح سیمانی:

سیمان مورد استفاده در این پروژه از نوع پرتلند ۱-۴۲۵ تولید شده کارخانه سیمان هگمتان همدان بوده و مشخصات آن همانند جدول۱ می‌باشد.

۲-۳ آزمایش کانی شناسی به شیوه XRD,XRF

پس از استحصال خاکستر برگ بامبو و قرار دادن آن در کوره الکتریکی با گرمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲۰ دقیقه و آسیاب کردن آن، توسط روشXRD در آزمایشگاه دانشگاه امیرکبیر تهران مورد ارزیابی قرار گرفت و گراف مواد تشکیل دهنده آن مطابق نمودار شکل۴ است. همچنین برای تعیین درصد مواد تشکیل دهنده از روش XRF در آزمایشگاه مهندسی معدن دانشگاه امیر کبیر استفاده گردید و مقدار و نوع اکسیدهای تشکیل دهنده آن بر اساس معیارهای خصوصیت آمورفی، برای قابل مقایسه بودن با سیمان در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل۴ – نمودار نتایج آزمایشXRD خاکستر برگ بامبو

جدول۱- مقایسه ترکیبات موجود در سیمان تیپ I-۴۲۵ هگمتان و خاکستر برگ بامبو

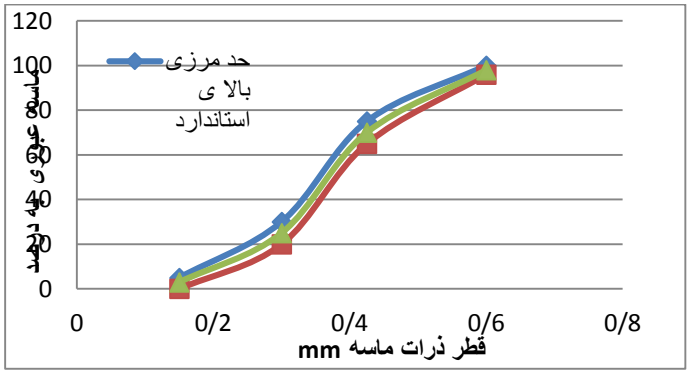
ترکیبات شیمیایی	سیمان تیپ I-۴۲۵	خاکستر برگ بامبو
SiO2	21.16	55.7
Al2O3	4.82	.75
Fe2O3	3.9	.74
CaO	63.52	2.77
MgO	1.52	1.18
K2O	.59	4.00
Na2O	.4	.054
SO3	2.51	.34
L.O.I	1.32	32.72
TiO2	-	.082
P2O5	-	1.03
ZnO	-	.02
MnO	-	.065
BaO	-	.004
SrO	-	.015

۲-۴ ماسه

ماسه مصرفی از نوع رودخانه ای شسته بوده و از کارخانه لوله سازی شمال تهیه گردید. بدلیل دانه بندی نامناسب ،دانه بندی ماسه مذکور را به دانه بندی طرح اتاوا براساس استاندارد ASTM C788 نزدیک کردیم مطابق جدول ۲. همچنین در شکل۵، نمودار دانه بندی ماسه مورد استفاده در این پژوهش براساس استاندارد فوق رسم شده است.

جدول۲- حدود دادنه بندی ماسه

شماره الک	در صد عبوری (استاندارد)	درصد عبوری (مورد استفاده)
NO. 16	۱۰۰	۱۰۰
NO. 20	۱۰۰	۱۰۰
NO. 30	۱۰۰-۹۶	۹۸
NO. 40	۷۵-۶۵	۷۰
NO. 50	۳۰-۲۰	۲۵
NO. 100	۴-۰	۳



شکل۵- دانه بندی ماسه مورد استفاده

۲-۵ فوق‌روان‌کننده:

در این تحقیق از فوق‌روان‌کننده‌یی بر پایه پلی کربوکسیلات‌های اصلاح شده، استفاده گردید. این نوع فوق‌روان‌کننده دارای مکانیسم اثرگذاری به دو صورت به شرح زیر می‌باشد :

۱-ایجاد غشاء بر روی سطح ذرات سیمان نموده و ممانعت فضایی ناشی از ضخامت لایه جذب شده، از تجمع ذرات سیمان جلوگیری می‌کند.

۲-ایجاد نیروی دافعه بین ذرات سیمان ناشی از جذب ذرات پلیمر و تشکیل بارهای همنام. مشخصات کلی فوق‌روان‌کننده مذکور مطابق جدول۳ می‌باشد.

جدول۳- مشخصات فوق روان کننده

ترکیب شیمیایی	پلیمرهای اصلاح شده پلی‌کربوکسیلیک اسید
طبیعت یونی	آنیونی
رنگ	سبز تیره
حالت فیزیکی	مایع
PH	7±1
وزن مخصوص(kg/lit)	1.1±.002 تا 20^{oc}
کلراید (PPM)	500 Max

۲-۶ نسبت‌های اختلاط

طرح‌های اختلاط مورد مطالعه در این پژوهش برای درصدهای مختلف خاکستر برگ بامبو طراحی شده است. به جهت قابل مقایسه بودن نتایج در طراحی اختلاط‌ها، با و بدون استفاده ازخاکستر برگ بامبو، سعی شده تا روانی کلیه طرح‌ها یکسان و نزدیک به هم باشد. به همین دلیل از آزمایش میز سیلان جهت تعیین روانی مناسب برای طرح اختلاط‌ها استفاده شد.جزئیات کامل طرح اختلاط ها در جدول۴ ارائه شده است.

جدول۴- جزئیات طرح اختلاط های مورد مطالعه

شماره طرح اختلاط	سیمان(%)	نسبت خاکستر به سیمان(%)	فوق‌روان‌کننده به سیمان(%)	آب به سیمان	نسبت سنگدانه به مواد سیمانی
۱	۱۰۰	۰	۰	۰/۵	۲/۷۵
۲	۹۵	۵	۰/۲۵	۰/۵	۲/۷۵
۳	۹۰	۱۰	۰/۳۰	۰/۵	۲/۷۵
۴	۸۵	۱۵	۰/۳۲	۰/۵	۲/۷۵
۵	۸۰	۲۰	۰/۳۶	۰/۵	۲/۷۵
۶	۷۵	۲۵	۰/۳۸	۰/۵	۲/۷۵

۲-۷ ساخت مخلوط

ساخت طرح اختلاط‌های فوق به صورت زیر می‌باشد:

۱- به جز طرح اختلاط یک ،خاکستر برگ بامبو با مقدار سیمان آن طرح به صورت خشک ترکیب کرده تا مخلوط سیمانی خشک همگنی حاصل شود .
۲- مواد سیمانی طرح یک را با ۹۰ درصد آب طرح اختلاط در جام دستگاه ملات ساز ریخته شد و با سرعت پایین (سرعت یک) به مدت یک دقیقه مخلوط می‌شود.
۳- در این مرحله ماسه را در طول ۳۰ ثانیه به محتویات درحال مخلوط شدن، در دستگاه ملات ساز، اضافه کرده و یک دقیقه عمل اختلاط ادامه داده می‌شود.
۴- فوق روان کننده را که به ۱۰٪ آب طرح اختلاط، اضافه شده است به ملات درحال مخلوط شدن، در دستگاه ملات ساز، افزوده و اجازه داده می‌شود به مدت ۳۰ ثانیه با سرعت بالا(سرعت ۶) مخلوط شود.
۵- ملات ساز را خاموش کرده و به ملات یک استراحت ۹۰ ثانیه‌ایی داده می‌شود.
۶- ملات موجود در ملات ساز به مدت یک دقیقه با سرعت بالا (سرعت ۶) مخلوط می‌شود.

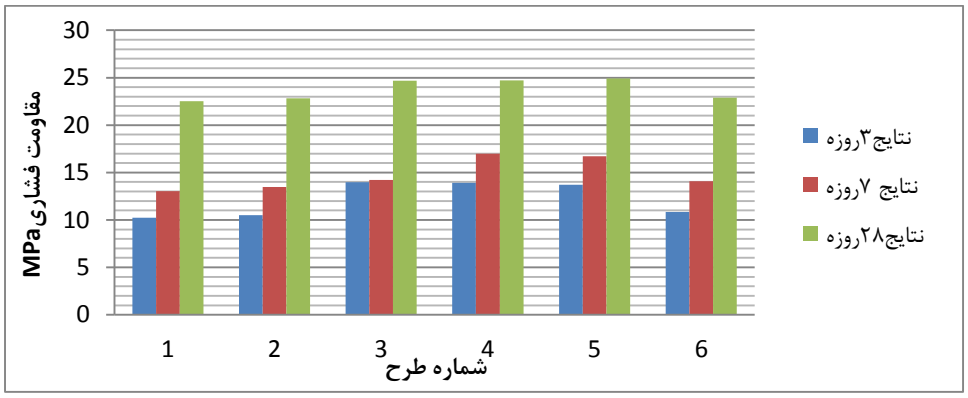
برای ساخت نمونه‌های فشاری و جذب آب از قالب‌های مکعبی به ابعاد۵۰*۵۰*۵۰ میلیمتری و برای ساخت نمونه‌های خمشی از قالب‌های ۴۰*۴۰*۱۶۰ میلیمتری و برای کنترل تغییرات طولی نمونه ها از قالب های ۵۰*۵۰*۲۰۰ میلیمتری استفاده شد.

نمونه‌های مکعبی در دو لایه و هر لایه ۳۲ بار توسط چکش تراکم(تخماق) کوبیده شدند. نمونه‌های منشوری نیز در ۲ لایه و هر لایه ۱۲ بار در چهار دور کوبیده شدند. نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و در حوضچه‌های آب با دمای(۲ ± ۲۳)سانتیگراد نگهداری شدند. البته نمونه‌های منشوری که برای اندازه‌گیری تغییرات طولی در دمای محیط ساخته شده بودند در بیرون از حوضچه و در محیط آزمایشگاه در دمای(۲ ± ۲۳) سانتی گراد نگهداری شدند. آزمایش‌های مذکور در آزمایشگاه بتن دانشکده فنی دانشگاه گیلان انجام شد.

۳-آزمایش‌ها

۳-۱ آزمایش مقاومت فشاری

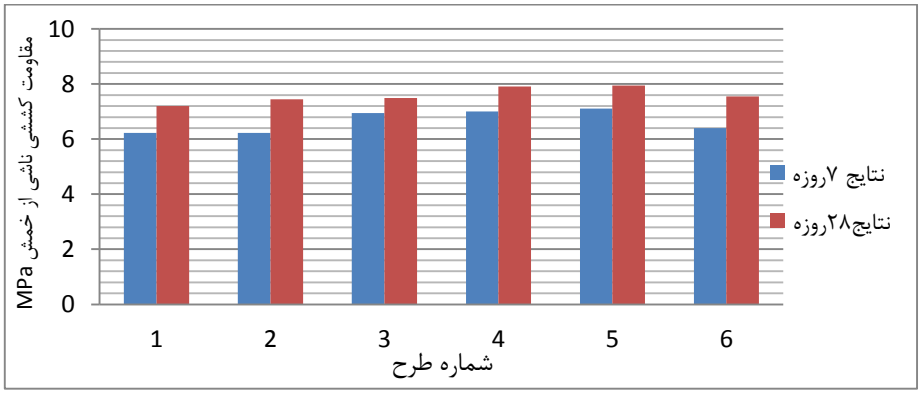
مقاومت فشاری بر اساس دستور العمل ASTM C109 و در سنین ۳و۷و۲۸ روز بر روی نمونه‌های مکعبی انجام شد[۱۳]. سرعت بارگذاری N/S ۱۳۵۰ انتخاب گردید البته نتایج آزمایش مقاومت فشاری بر اساس میانگین مقاومت سه نمونه در هر سن تعیین شد. نتایج بدست آمده در روزهای هدف مطابق نمودار شکل۶ می‌باشد.



شکل۶ – نمودار نتایج مقاومت فشاری طرح‌های مختلف

۳-۲ آزمایش کشش ناشی از خمش

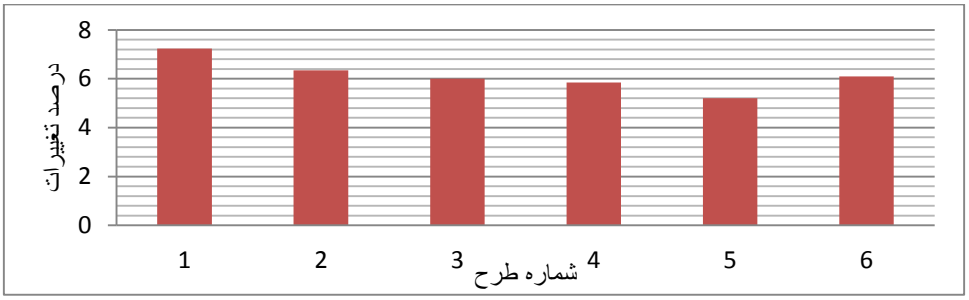
آزمایش کشش ناشی از خمش مطابق با دستورالعمل ASTMC348 و در سنین ۷و۲۸ روزه انجام شد[۱۴] . سرعت بارگذاری N/S ۴۴ انتخاب گردید و نتایج به صورت گراف در نمودار شکل۷ نشان داده شده است.



شکل۷- نمودار نتایج مقاومت کششی ناشی از خمش

۳-۳ آزمایش جذب آب

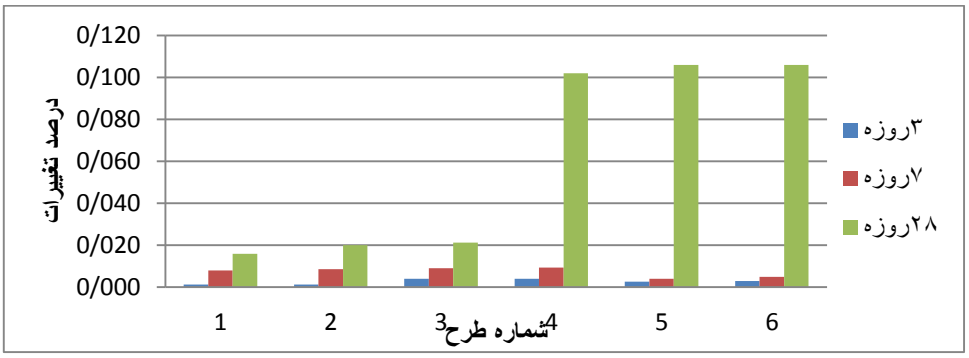
به منظور بررسی تاثیر خاکستر برگ بامبو بر میزان نفوذ پذیری نمونه‌های ملات ساخته شده، آزمایش جذب آب مطابق دستور العمل ASTM C642 و در سن ۲۸روزگی نمونه‌ها انجام شد[۱۷]. اهمیت این آزمایش از آن جهت می‌باشد که نتایج آن می‌تواند معرف میزان تخلخل و حجم و گستردگی حفرات مویینه موجود در یک کامپوزیت سیمانی باشد. که در شکل۸ نمودار آزمایش جذب آب طرح‌های مذکور نمایش داده می‌شود.



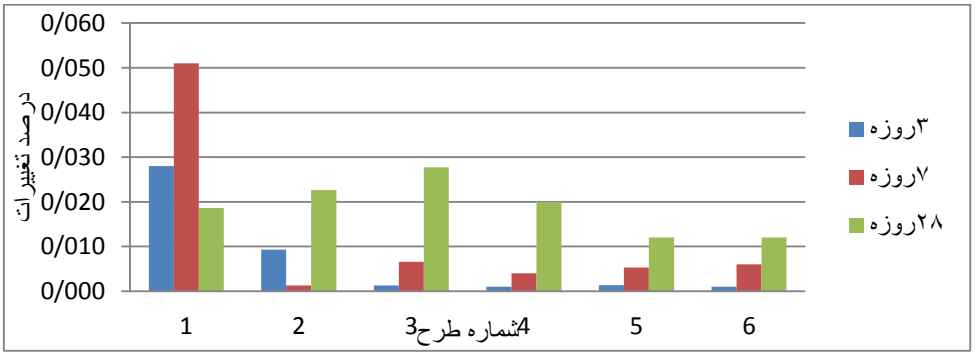
شکل۸- نمودار جذب آب ملات‌های سیمانی حاوی درصدهای مختلف خاکستر برگ بامبو

۳-۴ آزمایش بررسی تغییرات طولی

جهت بررسی جمع‌شدگی کامپوزیت سیمانی، دو نمونه از هر طرح اختلاط ساخته شد. بلافاصله پس از خارج کردن نمونه‌های منشوری مذکور از قالب، پولک‌های مخصوص تست را توسط ابزار مخصوص به فاصله ۱۵ سانتی‌متری بر روی سطح نمونه‌ها چسبانده و از هر طرح یک نمونه را در محیط آزمایشگاهی با دمای۲±۲۳ درجه سانتیگراد و یک نمونه را در حوضچه آب با دمای ثابت ۲±۲۳ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. قرائت‌ها در فواصل زمانی ۳و۷و۲۸ روزه توسط گیج استاندارد با دقت ۲ میکرومتر انجام شد و تغییرات طولی نمونه‌های ساخته شده مطابق شکل ۹و۱۰ می‌باشد.



شکل۹- نمودار جمع شدگی ملات‌های سیمانی حاوی درصدهای مختلف خاکستر برگ بامبو در دمای آزمایشگاه



شکل۱۰- نمودار تغییرات طولی ملات‌های سیمانی حاوی درصدهای مختلف خاکستر برگ بامبو نگهداری شده در حوضچه آب

۴- تفسیر آزمایش‌ها

۴-۱ مقاومت مکانیکی

مطابق نتایج بدست آمده اضافه کردن خاکستر برگ بامبو تا ۲۰ درصد وزن سیمان، باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده گردید که این افزایش مقاومت در تمامی سنین نسبت به نمونه با سیمان تنها قابل مشاهده است. با توجه به نتایج بدست آمده و نمودار ترسیم شده چنین نتیجه می‌شود، عواملی چون فعالیت پوزولانی ، اثر پرکنندگی و بهبود ریز ساختار سطح تماس خمیر سیمان و سنگدانه‌ها باعث افزایش مقاومت مکانیکی نمونه‌ها شده است. عامل پوزولان در بهبود خصوصیات مکانیکی نمونه‌های کامپوزیت سیمانی بسیار موثر است. طبق تعریف برگرفته از استاندارد ASTM-C618 ، پوزولان ماده‌ایی سیلیسی یا سیلیسی آلومیناتی است که به خودی خود فاقد خاصیت سیمانی می‌باشد اما در حالت پودر بسیار ریز و در مجاورت رطوبت با درجه حرارت معمولی با هیدروکسید کلسیم واکنش شیمیایی داده و ترکیباتی را بوجود می‌آورد که خاصیت چسبندگی و سیمانی دارد و می‌تواند به عنوان جایگزینی برای سیمان با درصدی معین به کار رود. اساس تعیین فعالیت پوزولانی ، اندازگیری میزان آهک جذب شده توسط پوزولان است که نتیجه این جذب، تشکیل سیلیکات‌های کلسیم هیدراته جدید مشابه سیلیکات‌های کلسیم هیدراته ناشی از هیدراتاسیون سیمان خالص است[۱۵،۹]. تشکیل سیلیکات‌های کلسیم هیدراته از نقطه نظر شیمیایی نیاز به وجود سیلیس یا یون سیلیکات‌های موجود در ملات، وجود آهک هیدراته شده و شرایط محیطی مناسب دارد. عامل مهم دیگر خصوصیت فیلر یا پرکنندگی خاکستر برگ بامبو می‌باشد. در این زمینه می‌توان به تحقیقات مهتا و راشل پیرامون اثر فیلر در بهبود مقاومت مکانیکی مخلوط‌های سیمانی اشاره کرد، وی با جایگزین کردن ۱۰درصد وزن سیمان با پودر بسیار ریز کربن در بتن به عنوان فیلر ، توانست به مقاومت ۷ و۲۸ روزه یکسانی در مقایسه با نمونه‌های ساخته شده بتن شاهد، باشد [۱۶].
عامل موثر دیگر در مقاومت مکانیکی یک کامپوزیت سیمانی، سطح تماس بین خمیر مواد سیمانی و سنگدانه‌ها می‌باشد چرا که در اکثر موارد سطح شکست یک نمونه بتنی ، از این ناحیه می‌گذرد. بنابراین با افزایش سطح تماس بین سنگدانه‌ها و مواد سیمانی، توسط پوزولان در ملات، می‌توان مقاومت مکانیکی ملات را افزایش داد.

۴-۲ جذب آب و تغییرات طولی نمونه‌ها

ذرات بسیار ریز پوزولان از طریق واکنش جهت رسوب محصولات هیدراتاسیون و از طریق کاهش اندازه کریستال‌های هیدروکسید کلسیم باعث ایجاد ریزساختاری همگن و یکنواخت می‌گردد و همچنین با کاهش حفرات نفوذپذیر از طریق پرکردن حفرات مویینه موجود در بافت خمیر سیمان و مسدود کردن راه‌های ارتباطی شبکه مویینه موجب کاهش جذب آب نمونه‌ها می‌گردد. به همین جهت حضور مواد پوزولانی (خاکستر برگ بامبو) در ملات سیمانی سبب کاهش جذب آب نمونه‌ها گردید.
با توجه به نمودارهای شکل ۹و۱۰ در توضیح افزایش رفتار جمع‌شدگی نمونه‌های ساخته شده دو علت اساسی وجود دارد: نخست، آزمایش‌ها نشان داده‌اندکه مواد پوزولانی سبب افزایش سرعت هیدراتاسیون و در نتیجه افزایش گرمای هیدراتاسیون می‌شود. به عبارت دیگر استفاده از خاکستر برگ بامبو باعث تسریع در روند کسب مقاومت در سنین اولیه می‌گردد لذا حرارت زیادی در جسم ملات تولید می‌شود که باعث از دست رفتن سریعتر آب موجود در ملات می‌گردد. بر این اساس افزایش گرمای هیدراتاسیون می‌تواند از جمله عوامل تاثیر گذار بر افزایش میزان انقباض ملات‌های حاوی خاکستر برگ بامبو در سنین اولیه تلقی شود. ثانیا تحقیقات نشان داده است استفاده از فوق‌روان‌کننده موجب افزایش انقباض نمونه‌های ملات می‌شود. وانگ و همکاران[۱۸] با استفاده از فوق‌روان‌کننده‌ای بر پایه پلی کربسیلات اتر گزارش کردند که با افزایش میزان فوق‌روان‌کننده ، بر میزان انقباض کوتاه مدت افزوده می‌شود (با فرض آب به سیمان ثابت)، به نظر می‌رسد کاهش حفرات موجود در خمیر سیمان سخت شده در نتیجه پراکنده شدن بهتر ذرات سیمان از جمله عوامل موثر در افزایش درصد تغییرات جمع‌شدگی می‌باشد.
در نمودار های شکل ۱۰ که شامل نمونه ملات‌های حاوی خاکستر برگ بامبو در داخل حوضچه آب می‌باشد همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش مقدار خاکستر برگ بامبو ، درصد آهنگ تغییرات طولی نمونه ها کاهش می یابد. همان‌طور که در قسمت قبلی درباره تغییرات جمع‌شدگی نمونه‌ها گفته شد، عوامل انگشت شماری بر روند درصد تغییرات طولی نمونه‌ها موثر است که در زیر به آن پرداخته می شود:

- نگهداری نمونه‌ها در آب اگرچه باعث می‌شود تا سرعت هیدراتاسیون نسبت به زمانی که نمونه در خارج از آب نگهداری می‌شود، افزایش یابد، ولی مانع از افزایش دما به علت فعالیت هیدراتاسیونی در داخل جسم ملات شده و حضور نمونه به صورت غوطه‌ور در آب، عملا عامل کسر شدن آب را، که در نمونه‌های نگهداری شده در خارج از آب اتفاق افتاد (باعث افزایش تغییر طول نمونه‌ها می‌شد) از بین برد.

- اما همچنان عامل استفاده از فوق‌روان‌کننده در ملات سبب افزایش تغییرات طولی نمونه‌ها می‌گردد. با فرض ثابت بودن آب به سیمان در تمام گروه طرح اختلاط‌ها، کاهش اندازه حفرات موجود در خمیر سیمان سخت شده، در نتیجه پراکنده شدن بهتر ذرات سیمان، از جمله عوامل موثر در افزایش تغییر طول می‌باشد.به همین دلیل می‌باشد که با افزایش میزان پوزولان به‌کار رفته در ملات، نیاز به استفاده بیشتر از فوق‌روان‌کننده، سبب افزایش جمع‌شدگی ملات‌ها می‌شود. نگهداری ملات در آب اگرچه باعث می‌شود میل به ازدیاد طول در ملات بدلیل حضور آب در حفرات آن و همچنین تشکیل کریستال‌های پایدار در ملات افزایش یابد، اما استفاده از فوق‌روان‌کننده (با توجه به توضیحاتی که پیشتر گفته شد) مانع از رشد زیاد افزایش طول نمونه می‌شود.

- استفاده از پوزولان و توزیع مناسب آن در ملات سبب می‌شود تا اندازه حفرات موجود در ملات بطور چشمگیری کاهش یابد. با تبدیل حفرات بزرگ به حفرات کوچکتر و نگهداری نمونه‌ها در آب، این حفرات همواره مملو از آب بوده و این پدیده نیز نمی‌تواند باعث رشد تغییرطولی نمونه‌ها در سنین بالاتر شود[۱۸،۱۹].

۵- نتیجه گیری

تاثیر خاکستر برگ بامبو:

با توجه به نمودار مقاومت فشاری و مقاومت کششی ناشی از خمش که پیشتر نشان داده شد، چنین بر می‌آید که تاثیر خاکستر برگ بامبو در درصدهای۱۵و۲۰ درصد وزن سیمان بیشتر نمایان است طوری که در ۱۵ درصد وزن سیمان ، مقاومت فشاری در مراحل ۳و۷و۲۸ روزه به ترتیب به مقدار ۳۱٪،۳۲٪ و ۲۷٪ نسبت به طرح یک (مواد سیمانی فقط سیمان تیپ یک است)افزایش یافته است این افزایش در مقاومت کششی ناشی از خمش نیز مشاهده می شود.

۱- حرارت خاکستر برگ بامبو در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲۰ دقیقه منجر به بدست آمدن یک ماده غیرمتبلور آمورفی مناسب می‌شود.
۲- اساسا خاکستر برگ بامبو مورد استفاده در این پژوهش دارای سیلیسی با غلظت بالای ۵۷٪ و بقیه اکسیدها در غلظت پایین‌تر قرار دارند.
۳- حضور سیلیس فعال در ملات سیمانی این پژوهش سبب افزایش مقاومت مکانیکی در ملات های ساخته شده گردید.
۴- ریزی دانه های خاکستر بامبو تا۲۴ μm سبب بهبود تراکم و کاهش تخلخل و افزایش مقاومت مکانیکی ملات‌های ساخته شده گردید.

۶- پیشنهاد ها

بامبو به عنوان یک محصول با استفاده چندگانه ، که از چوب آن در صنعت ساختمان،کاغذ،نساجی و... استفاده می‌شود شناخته شده است. از سوی دیگر می‌توان از پسماند بامبو که همان ساقه‌های جوان و برگ آن می‌باشد به عنوان پوزولان در سیمان استفاده کرد. از آنجا که استفاده از پوزولان در صنعت سیمان در قرن اخیر رشد چشمگیر داشته، و خاکستر برگ بامبو نیز نوعی پوزولان مصنوعی شناخته می‌شود، برای بالا بردن مقذار سیلیس آمورفی موجود درآن پیشنهاد می‌شود تمهیداتی مانند استفاده از بذر بامبوهایی با خصوصیات ژنتیکی بالاتر در جذب ترکیبات سیلیسیم، شناسایی خاک غنی از مواد سیلیسی، مطالعه و آزمایش بر روی دانه بندی ریز تر خاکستر برگ بامبو جهت افزایش سطح ویژه ذرات آن برای بالا بردن خصوصیت واکنش پذیری آن ذرات، در نظر گرفته شود.

مراجع

1- Worrell.E, Price, L., Martin, N., Hendriks, C., & Meida, L. O. (2001).Carbon dioxide emissions from the global cement industry 1.Annual Review of Energy and the Environment, 26(1), 303e329.
2- Mahsa Madani Hosseini, Yixin Shao, Joann K. Whalen" Biocement production from silicon-rich plant residues:Perspectives and future potential in Canada", biosystems engineering ,2011,110, 351e362

۳- اصغر قلی‌زاده وایقان، علیرضا خالو، هرمز فامیلی، "مقایسه عملکرد پوزولان‌های مصنوعی مختلف در مخلوط‌های سیمان پرتلند"، چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران- تهران، مهرماه ۱۳۹۱

4- Della, V.P. Ku¨hn,I., Hotza,D., “Rice husk ash as an alternate source for active silica production”,Materials Letters, 57 (2002), 818–821.
5- J. I. MARTIN, MS thesis, Louisiana State University, USA, 1938.
6- Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., & Meyer, L. (2007).Climate change 2007-Mitigation of climate change . Inter governmental Panel on Climate Change, Geneva (Switzerland). (Working Group III).
7- Initiative, C. S. (2002). The cement sustainability initiative: Our agenda for action. Geneva: World Business Council for Sustainable Development.
8- Initiative, C. S. (2005). Guidelines for the selection and use of fuels and raw materials in the cement manufacturing process. World Business Council for Sustainable Development, 38.
9- Villar Ernesto. Cociña , Eduardo Valencia Morales, Sergio. Santos, Holmer Savastano Jr., Moisés Frías “Pozzolanic behavior of bamboo leaf ash: Characterization and determinationof the kinetic parameters” ,Cement & Concrete Composites ,2011,35, 68–73
10- Moisés Frías , Holmer Savastano ,Ernesto Villar, M. Isabel Sánchez de Rojas, Sergio Santos “Characterization and properties of blended cement matrices containing activated bamboo leaf wastes”, Cement & Concrete Composites, 2012,xxx, xxx–xxx
11- Dwivedi VN, Singh NP, Dasa SS, Singh NB. A new pozzolanic material for cement industry: bamboo leaf ash. Int J Phys Sci 2006;1(3):106–11.
12- Singh NB, Dasa SS, Singh NP, Dwivedi VN. Hydration of bamboo leaf ash blended Portland cement. Ind J Eng Mater Sci 2007;14(1):69–76.
13- ASTM C109, (2000), “Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars,”Annual book of ASTM standards, 4.01, pp 84-89.
14- ASTM C348, (2000), “Standard test method for flexural strength of hydraulic cement mortar,” Annual book of ASTM standards, 4.01, pp 221-226
15- Villar .E -Cocin; E. Valencia-Morales; R. Gonzalez-Rodrıguez; J. Hernandez-Ruız; “Kinetics of the pozzolanic reaction between lime and sugar cane straw ash by electrical conductivity measurement: A kinetic–diffusive model”; Cement and Concrete Research; Vol. 33(4); 2003; pp. 517–524.
16- Mehta, P.K. and J.D., Rachel, (1989), “Chemical and Physical Effects of Silica Fume on the Mechanical Behavior of Concrete,” ACI Materials Journal, Vol. 86, No. 6, pp. 609-614
17- ASTM C642, (2000), “Standard test method for density, Absorption and voids in hardened concrete,” Annual book of ASTM standards, 4.02.__ pp 321-323.
18- B.G. Ma, X.G, Wang, W.Q. Liang, X.G. Li, Z. He, ‘’study on early-age cracking of cement-based materials with superplastisizers.’’, Construction and Building Materials, 21,2017-2022;(2007)
19- Roa. G.A,Long-term drying shrinkage of mortar-influence of silica fume and size of fine aggregate, Cement and concrete Research, 31, 171 -175;(2001)
20- Rao. G.A, Influence of silica fume replacement of cement on expansion and drying shrinkage, Cement and Concrete Research, 28, 1505-1509;(1998)
21- Zhou Aiping, Huang Dongsheng, Li Haitao, Su Yi” Hybrid approach to determine the mechanical parameters of fibers and matrixesof bamboo”, Construction and Building Materials 35 (2012) 191–196
22- Ghavami, Khosrow.”Bamboo as reinforcement in structural concrete elements”, Cement & Concrete Composites 27 (2005) 637–649

۲۳- صدرممتازی،علی.فصیحی،علی.میرگذارلنگرودی،میرعلی‌محمد."استفاده از نانوسیلیس جهت بهبود خواص سیمان های کامپوزیت حاوی دوده سیلیس"هشتمین کنگره بین اللمللی مهندسی عمران،اردیبهشت ۱۳۸۸، شیراز ،ایران

۲۴- صدر ممتازی،علی. کنترل کیفیت و استاندارد سیمانهای پوزولانی، ستاد افزایش تولید سیمان،وزارت صنایع ، آبان ۱۳۷۱

۲۵- صدر ممتازی، علی . رنجکش، سید محمد. وفا، نوید. حسنی پور ،زینب.، " تعیین درصد بهینه مواد پوزولانی و اثر آنها بر خصوصیات بتن"، اولین کنفرانس بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، گیلان، ایران، بهمن ۱۳۸۹.