ارزیابی آزمایشگاهی کاربرد پوسته بادام در بتن سبک سازه ای

کیانوش سیامردی[1]، دکتر محمدرضا احدی[2]
۱- کارشناس مهندسی عمران
۲- استادیار،عضو هیأت علمی پژوهشکده حمل و نقل
Email:ahadi@rahiran.ir

خلاصه

در این مقاله سعی می شود نوعی از بتن سبک سازه ای معرفی گردد که اولاً از لحاظ مشخصات فنی در محدوده استاندارد BS8110 قراردارد. ثانیاً هزینه ساخت آن نسبت به دیگر بتن های سبک سازه ای بسیار ارزان می باشد. ضمناً بخشی از نتایج آزمایشگاهی مطالعه تحقیقاتی کاربرد پوسته بادام ضایعاتی به عنوان سنگدانه درشت در بتن سبک ارائه می گردد. در این مقاله مقاومت فشاری، مقاومت چسبندگی، مدول الاستیسیته و رفتار تغییرمکان خمشی بتن ساخته شده از پوسته بادام بصورت نتیجه گیری بیان می شود. نتایج نشان می دهد که اگرچه بتن حاوی پوسته بادام مدول الاستیسیته کمی دارد اما آزمایش تیرهای درمقیاس بزرگ معلوم می کند که شکست تحت بارهای طراحی قابل قبول است؛ بطوریکه نسبت های تغییر مکان خمشی دهانه بین ۲۵۲ و ۲۶۳ می باشد که در محدوده مجاز آیین نامه BS8110 قرار دارد. نتایج تحقیقات آزمایشگاهی نشان می دهد که کاربرد پوسته بادام به عنوان سنگدانه درشت برای تهیه بتن سبک سازه ای خصوصاً برای ساخت سازه هایی با هزینه کم و همچنین برای استفاده در ناحیه های زلزله خیز راهکار خوبی می باشد.

کلمات کلیدی: بتن سبک سازه ای ، ماسه رودخانه ای ، سنگدانه پوسته بادام ، مقاومت چسبندگی.

مقدمه

افزایش نگرانی از کاهش منابع و آلودگی جهان، بسیاری از مهندسان را برآن داشته تا مصالح نوینی را بجویند که بر پایه منابع تجدید شونده و شامل استفاده از محصولات تولیدی و مواد دور ریز در سازه ساختمان باشند. بسیاری از سنگدانه های مصنوعی برای ساخت بتن استفاده می شوند و مطالعات تحقیقاتی بیشماری در رابطه با مقاومت سازه ای بتن با سنگدانه سبک انجام می پذیرد[۱]. مشکل عمده در روند دستیابی به پوسته بادام مقدار زیاد زائدات تولیدی است[۲و۳]. پوسته بادام در مناطق نیمه خشک مانند ایران رشد می کند که اثر تابش خورشید بیشتر و بارندگی نیز بیشتر است. درکارخانه روغن بادام گرفته می شود و تفاله و زایدات بدست می آید. این ضایعات شامل پوسته، تفاله میوه و فاضلاب می شود. در این مقاله کاربرد سنگدانه پوسته بادام[3] در ساخت بتن سبک معرفی می شود. در ایران سطح تحت کشت بادام ۱۱۵ هزار هکتار است. در هر بار برداشت بالغ بر ۱۱ تن زباله پوسته بادام تولید می شود. بهره برداری از مواد زائد فقط درخصوص استفاده از پوسته بادام نمی باشد بلکه به ذخیره سازی منابع طبیعی و حفظ تعادل اکولوژیکی کمک می کند. افزایش تقاضا برای خانه های ارزان قیمت وجود دارد، بنابراین این نوع سنگدانه های مصنوعی راهکار عملی برای رفع این نیاز می باشد[۴]. سنگدانه پوسته بادام دارای جرم حجمی kg/m3 ۶۰۰-۵۰۰ می باشد و تقریباً ۶۰٪ سبکتر از سنگدانه های شکسته شده معمولی می باشد و در نهایت بتن سبک خواهد بود. بتن سبک وزن ساخته شده از این سنگدانه به عنوان دانه درشت مشابه مواد مصنوعی است. عناصر سازه ای مورد آزمایش شامل مقاومت فشاری، مقاومت چسبندگی، مدول الاستیسیته و رفتار تغییرمکان تیر بتنی ساخته شده از پوسته بادام و مسلح به آرماتور می باشد. سنگدانه های دارای وزن خشک کمتر از ۱۲۰۰kg/m3 به عنوان سنگدانه سبک وزن طبقه بندی شده است.

مصالح استفاده شده و نسبتهای اختلاط

اجزای اصلی بتن پوسته بادام (AS) شامل سیمان پرتلند معمولی (ASTM type1) ماسه رودخانه ای به عنوان ریزدانه و پوسته بادام (AS) و فوق روان کننده نفتالین سولفونات فرمالدهید با پایه F و دارای اثر انقباض می شود[۵]. سنگدانه AS از شکستن پوسته بادام بدست می آید. معمولاً این

[1] کارشناس مهندسی عمران
[2] استاد راهنما و مدرس دانشگاه سمنان
[3] Almond Shell Aggregate

Computer For Civil Softeare Engineering Group : www.CCSofts.com , www.CompCivil.com

پوسته ها شامل تقریباً ۲۵ تا ۶۵٪ کل بادام می باشد. این سنگدانه ها در اشکال گوناگون گردگوشه- فلسی یا ورقه ای– کشیده باریک و دیگر شکلهای نامشخص وجود دارد که درشکل (۱) نشان داده شده است. قبل از اینکه AS به عنوان سنگدانه در بتن استفاده شود دانه بندی شده و فقط سنگدانه های گذشته از الکmm ۱۲,۵ و مانده روی mm ۴,۷۵ مورد استفاده قرار می گیرد. توزیع اندازه سنگدانه AS در شکل ۲ ارائه شده با نظر به اینکه مشخصات ماسه رودخانه ای و سنگدانه AS در جدول (۱) ارائه شده است. براساس اطلاعات بدست آمده از سنگدانه درشت و ریزدانه دانه، نسبتهای اختلاط تقریب زده می شود و توسط اصلاح مخلوط های آزمایشی ادامه می یابد تا به کارایی نهایی دست یابد. این سنگدانه علاوه بر داشتن شرایط سازه ای ایده آل، مقرون بصرفه تر از سایر سنگدانه های مصرفی است که امروزه در صنعت سبک سازی سازه ها بکار برده می شود.

شکل ۱- نمایی از میوه بادام و پوسته شکسته شده بادام

اختلاط قابل قبول شامل kg/m3 ۴۵۰ سیمان- kg/m3 ۹۱۲ماسه و kg/m3 ۳۱۰ پوسته بادام (AS) با نسبت آب به سیمان ۰,۳۵می باشد. مقدار سیمان استفاده شده در این مطالعه در حد این ظرفیت برای بتن سبک بود[۶]. مقدارفوق روان کننده مورد استفاده ۱,۴۱ به ازای ۱۰۰کیلوگرم سیمان است که در حد مجاز توصیه شده توسط کارخانه سازنده آن قرار دارد. نسبتهای مخلوط در تمام تحقیق بصورت دست نخورده باقی ماند. قبل از اینکه سنگدانه AS در مخلوط مورد استفاده قرار گیرد، در شرایط اشباع با سطح خشک[۴] (S.S.D) به مدت۲۴ ساعت در آب آشامیدنی غرقاب می شود.

جدول ۱- مشخصات ماسه رودخانه ای و پوسته ی بادام

پوسته بادام	ماسه رودخانه ای	مشخصات
۱۲,۵	۱,۱۸	بزرگترین اندازه سنگدانه ها بر حسبmm
۱ - ۳,۰	-	ضخامت پوسته (ضخامت متوسط پوسته=mm ۲)
۱,۱۲	۲,۴۵	وزن مخصوص
۵۰۰-۶۰۰	۱۵۰۰-۱۵۵۰	جرم واحد حجم kg/m3
۶,۰۸	۱,۴۰	ضریب نرمی
۴,۸۰	-	درصد سایش در آزمون لوس آنجلس
۷,۶۰	-	درصد تراکم سنگدانه
۸,۲۰	-	درصد شکستگی سنگدانه
۳۰,۰	۳,۸۹	جذب آب ۲۴ ساعته

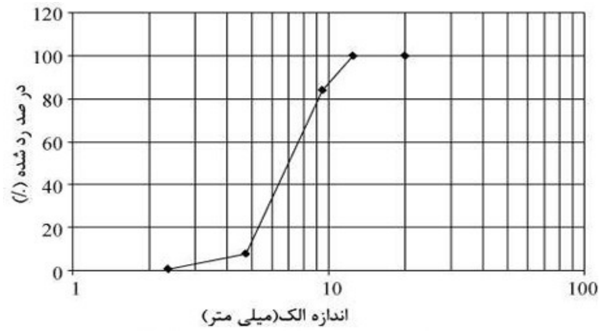
آزمون های بتن پوسته بادام

برروی این نوع بتن چندین آزمایش انجام شد تا مشخصات سازه ای بتن پوسته بادام تعیین شود.آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های با ابعاد mm ۱۰۰طبق BS1881 و نمونه های استوانه ای ۱۵۰×۳۰۰ طبق ASTM c 496-87a انجام شد. مقاومت کششی بتنAS با انجام یک سری آزمایشات روی استوانه های۲۰۰×۱۰۰ تعیین شد.آزمایش مقاومت خمشی نمونه های تیر اصلی در مقیاس متوسط انجام پذیرفت[۷] . عملیات اختلاط با استفاده از یک مخلوط کن استوانه ای دوار بزرگ مطابق باBS1881 قسمت ۱۲۵ (بند ۶,۳ برای سنگدانه S.S.D) انجام می شود[۸].

هر آزمایش برای ۳ نمونه انجام و نتایج بصورت میانگین ثبت گردید. به منظور جلوگیری از تبخیر بیش از اندازه آب از بتن تازه بلافاصله بعد از جای دادن بتن در قالب، پوشش پلاستیکی روی قالب قرار داده شد و نمونه برای۳ ± ۲۴ ساعت درآزمایشگاه در شرایط محدود (دمای ۲۸-۲۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۳-۸۰٪) نگه داری گردید. سپس کل نمونه های مکعبی واستوانه ای برای کیورینگ کردن، به ظرف آب ۳۰-۲۶ درجه انتقال یافت. نمونه تیرهای اصلی در همان شرایط تا زمان انجام آزمایش به مدت ۶ روز بطور مداوم مرطوب نگه داری شد. چسبندگی بین میلگرد و بتنAS از طریق رابطه سعی و خطا مورد مطالعه قرار گرفت.

[۴] Saturated Surface Dry

Computer For Civil Softeare Engineering Group : www.CCSofts.com , www.CompCivil.com



شکل ۲- منحنی دانه بندی سنگدانه پوسته بادام(AS)

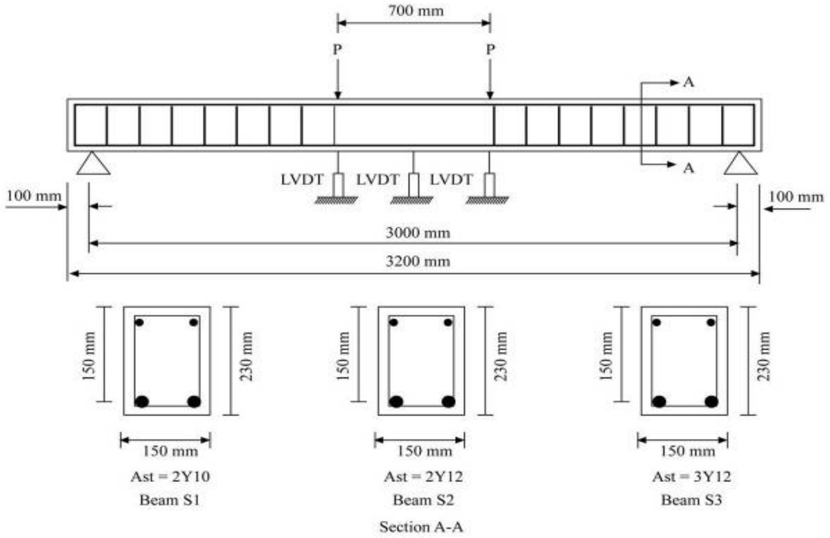
آزمایش کشش درجای میلگردهای درون بتن[۵] با قطرهای ۱۰و ۱۲ و۱۶ میلیمتر و در سنین ۳ ,۷ ,۲۸ , ۵۶ , ۹۰ و ۱۸۰ روز انجام شد و رابطه مقاومت چسبندگی[۶] توسط فرمول زیر محاسبه شد:

$$\tau = F / \pi dl \qquad (1)$$

که درآن τ مقاومت چسبندگی برحسب مگاپاسکال (MPa) ، F نیروی گسیختگی برحسب نیوتن(N)، d قطر اسمی میلگرد وL طول موثر میلگرد بر حسب میلیمتر می باشد. ۳ تیر بتن مسلح بصورت مجزا (S1 و S2 و S3) ساخته شد و مورد آزمایش قرار گرفت. همه تیرهای آزمایش شده دارای مقطع مستطیلی ۲۳۰mm × ۱۵۰ با طول کلی ۳۲۰۰ mm و دهانه موثر با طول ۳۰۰۰ mmبودند. ابعاد تیر به اندازه کافی بزرگ بود که مشابه یک عنصر سازه ای واقعی عمل می کرد.

میلگرد کششی 2Ø10 و 2Ø12 و 3Ø12 برای تیرهای S1 و S2 و S3 به ترتیب تهیه گردید.۲ میلگرد در بالای مقطع از فولاد به قطر ۸mm تعبیه شد. قلاب های برشی کافی تعبیه شدتا از ترک برشی جلوگیری کند و همه پوشش های کنار تیرها ۲۵ mm در نظر گرفته شد. تغییرمکان خمشی تیرها در ۳ نقطه آزمایش شدند.

۳ تبدیل کننده فشار به ولتاژ که تغییر مکان خطی را ثبت می کند [۷](LVDT) که قابلیت اندازه گیری حداکثر مقدار ۱۰۰ mm را دارد، مورد استفاده قرار گرفت تا تغییر مکان تیرها را در ناحیه های خمشی نمایش دهد. وضعیت آزمایش و مشخصات تیرها در شکل ۳ توضیح داده شده است.



شکل ۳- مشخصات مقطع تیرها و اندازه گیری تغییرمکان تحت خمش خالص توسطLVDT

[۵] Pull off Test

[۶] Bond Strength

[۷] Linear Voltage Displacement Transducers

Computer For Civil Softeare Engineering Group : www.CCSofts.com , www.CompCivil.com

نتایج آزمون های بتن پوسته بادام

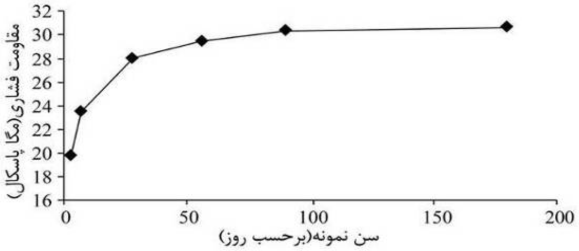
اسلامپ بدست آمده از بتن AS درحدود۴۰ تا ۶۰ میلیمتر بود که نشان می دهد بتن AS دارای درجه کارایی متوسط است. میزان هوای بتن در حدود ۴،۳ تا ۴،۹ ٪ بود که مقدار قابل توجهی است و می تواند به دلیل شکل نامنظم سنگدانهAS باشد که از تراکم بهینه جلوگیری می کند. بنابراین میزان هوای بتن AS هنوز در حد میزان ۴ تا ۸ ٪ توصیه شده در آیین نامه ACI 213-8 می باشد. با توجه به این، وزن مخصوص بتن تازه از ۲۰۱۰ kg/m3 تا ۲۰۶۵ دسته بندی شده است. مشخصات بتن AS سخت شده در سن ۲۸ روز آزمایش شده و در جدول۲ ارائه شده است. بتن سبک بطور معمول چگالی کمتر از ۲۰۰۰ kg/m3 دارد و وزن مخصوص بتن AS در این محدوده است. بنابراین آنرا در دسته سبک وزن ها قرار داده است. این بتن در مقایسه با بتن معمولی با چگالیKg/m3 ۲۴۰۰ ،۲۰٪ سبکتر است[۹].

جدول ۲- مشخصات بتن ۲۸ روزه بتن پوسته بادام(ASC)

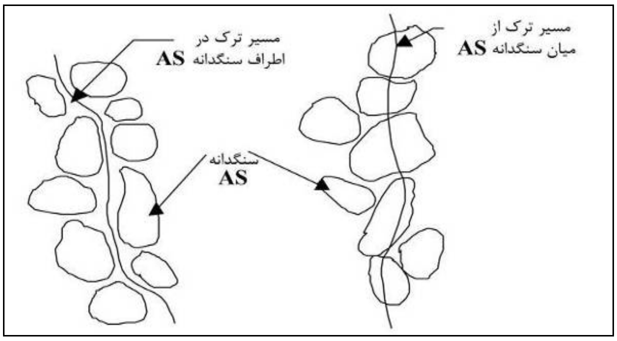
وزن مخصوص در هوای خشک	۱۹۶۳
مقاومت فشاری MPa	۲۸،۱۲
مدول الاستیسیته GPa	۵،۳۱
مقاومت کششی MPa	۷،۱۸-۹،۳۶

هنگامیکه بتن AS درساختمان استفاده شود بار مرده را ۲۰٪ کاهش می دهد. با کم شدن وزن سازه نیروهای فاجعه انگیز زلزله و نیروهای اینرسی که برسازه اثر می گذارند در نهایت کاهش می یابد. زیرا این نیروها با وزن سازه متناسب است. نمونه های مکعبی آزمایش شده در سن ۲۸ روزه مقاومت ۲۸،۱MPa داشته است که تقریبا ٪۶۵ بالاتر از مقاومت توصیه شده به میزان ۱۷ MPa برای سازه های سبک وزن در آیین نامه ASTMc330 می باشد[۵]. اگرچه پوسته بادام (AS) یک ماده آلی است، ولی آزمایشات نشان می دهد که خرابی و پوسیدگی زیست محیطی ظاهر نمی شود. به عنوان مثال مقاومت های بدست آمده حتی پس از ۶ ماه تغییر آشکاری نداشته است. در شکل (۴) پیشرفت مقاومت فشاری با زمان نشان داده شده است. بطور کلی سازه های بتنی ساخته شده از پوسته بادام هیچ نشانه ای از خرابی را نشان نمی دهد.

نتایج آزمایش در سنین کم (۳ تا ۲۸ روز) نشان می دهد که شکست فشاری بتن بطور عمده بعلت کاهش پیوستگی بین خمیر سیمان و سنگدانه AS پیش می آید که بصورت ترک از اطراف سنگدانه ها عبور کند (شکل 5b). در سنین بالاتر (۵۶ تا ۱۸۰ روز) پیوستگی میان سنگدانه و خمیر سیمان بیشتر است و از این جهت ترک از میان سنگدانه ها عبور می کند که درشکل a ۵ ارائه شده است.



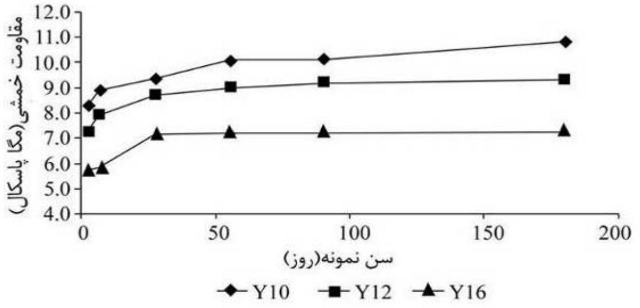
شکل ۴- منحنی پیشرفت تدریجی مقاومت فشاری با زمان برای بتن(AS)



شکل ۵- مسیر ترک در سنین بیشتر(a) و در سنین کمتر(b) در بتن ساخته شده از AS

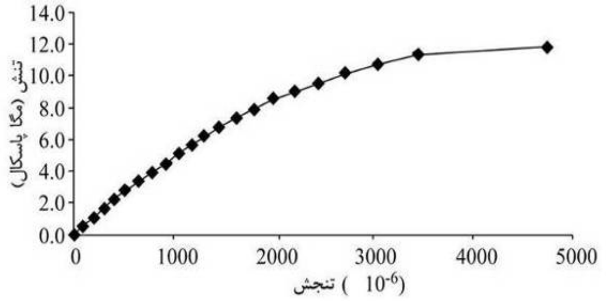
Computer For Civil Softeare Engineering Group : www.CCSofts.com , www.CompCivil.com

پیشرفت مقاومت چسبندگی بتن AS در شکل(۶) ارائه شده است و مقاومت چسبندگی حاصل از بتن AS ، ۲,۴ تا ۳,۹ برابر مقاومت چسبندگی طراحی مطابق با BS8110 می باشد. همه نمونه هایی که دارای شکاف در پوشش بودند، رد شدند. شکست ناگهانی و با تشکیل ترک طولی همراه بود. مقاومت خمشی بتن AS، ۲۶ تا۳۳ ٪ مقاومت فشاری و قابل مقایسه با مقاومت خمشی دیگر بتن های سبک مانند بتن خاکستر سوخت و بتن هوازا می باشد[۱۰و۱۱].

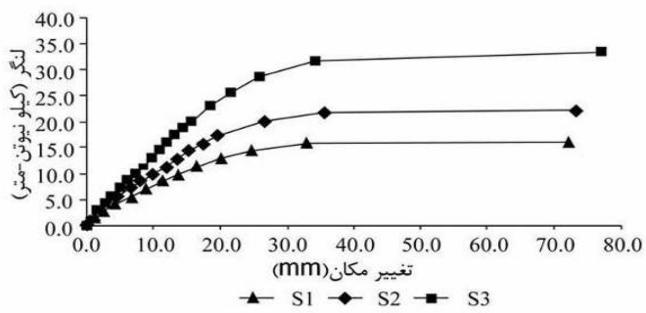


شکل۶- منحنی پیشرفت مقاومت خمشی بتن ساخته شده از پوسته بادام(AS)

شکل (۷) منحنی تنش-کرنش را برای بتن AS نشان می دهد و بیانگرکرنش متناظر با بیشترین تنش تقریبا ۰,۰۰۵ است. یکی از نگرانی های اساسی برای بتن AS مقدار مدول الاستیسیته کم است که مجدداً توسط آزمایش تیر اصلی تحقیق شد. شکست تدریجی در زمانیکه تیر تحت تسلیم قرارگرفت، اتفاق افتاد. تسلیم کششی میلگرد قبل از شکستن بتن در ناحیه خمشی رخ داد. لنگرهای نهایی توسط تحلیل بلوک فشاری مستطیلی توصیه شده در BS8110 پیش گویی شد[۱۲]. نتایج نشان می دهد، لنگرهای انتهایی (تجربی) تیرها در مقایسه با لنگرهای پیش بینی شده حدود ۱۹ تا ۳۵٪ بزرگتر بود و نشان می دهد که استفاده از BS8110 مقادیر محافظه کارانه برای ظرفیت لنگر نهایی تیرهای بتنی AS بدست می آورد. تغییرمکان خمشی یکی از معیارهای مهم و الزامی در قابلیت کاربرد عناصر سازه ای است. تحت بارهای سرویس طراحی(بار مرده+ بار زنده) تغییرمکانهای خمشی دهانه ۱۱,۳و ۱۱,۴و۱۱,۶میلیمتر برای تیرهای بترتیب S1 وS2 وS3 بوده است. اگرچه بتن AS مدول الاستیسیته کمی دارد ولی تغییر مکان های خمشی تحت بارهای سرویس طراحی، قابل قبول است. برای مثال نسبت های تغییر مکان خمشی دهانه به طول دهانه موثر بین ۲۵۲ و۲۶۳ رده بندی شده که در محدوده قابل قبول BS8110 می باشد. شکل(۸) منحنی لنگر- تغییر مکان تیرهای S1 وS2و S3 را نمایش می دهد.



شکل۷- منحنی تنش-تنجش برای بتن (AS)



شکل۸- منحنی لنگر-تغییرمکان بتن(AS)

Computer For Civil Softeare Engineering Group : www.CCSofts.com , www.CompCivil.com

نتیجه گیری

بطور کلی پوسته بادام AS پتانسیل خوبی به عنوان سنگدانه در ساخت بتن سبک سازه ای دارد و می تواند حتی برای کم کردن هزینه با مقاومت خوب بکار برده شود. مقاومت فشاری بتنAS ، ۲۸،۱ MPa در سن ۲۸ روز بود که مقداری قابل توجه برای بتن سبک می باشد. خاصیت چسبندگی بتن AS با دیگر بتن های سبک قابل مقایسه است. اگرچه بتن AS مدول الاستیسیته کمی دارد، ولی آزمایشهای انجام شده بر روی تیرها نشان داد که تغییرمکان خمشی تحت بارهای سرویس طراحی، قابل قبول است. برای مثال محدوده نسبت تغییر مکان خمشی به طول دهانه موثر بین ۲۵۲ و ۲۶۳ می باشد که در محدوده قابل قبول BS8110 قرار دارد. نتایج آزمایشگاهی تیرها نشان می دهد که لنگر نهایی تیرهای بتن آرمه ساخته شده از پوسته بادام حدود ۱۹ تا ۳۵٪ بزرگتر از لنگرهای پیش بینی شده توسط BS8110 بودند.

مراجع

1.Mannan M.A. and Ganapathy C.,(2001), "Behavior of Lightweight Concrete in Marine Environments", Proceedings of the International Conference on Ocean Engineering, Chennai, India, 409-413.
2.Mannan M.A. and Ganapathy C.,(2004), "Concrete from an Agricultural Waste-Oil Palm Shell (OPS)", Building and Environment, 39, 441-448.
3.Teo D.C.L., Mannan M.A. and Kurian V.J.,(2005), "Utilisation of Solid Waste Oil Palm Shell (OPS) in Concrete Production", Proceedings of the International Conference on Natural Resources and Environmental Management, Kuching, Sarawak, Malaysia, 135-140.
4.Owens P.L.,(1993), Lightweight Aggregates for Structural Concrete, Structural Lightweight Aggregate Concrete, edited by J.L. Clarke, Blackie Academic & Professional, London.
5.ASTM C330, Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete, Annual Book of ASTM Standards, ASTM C 469-87a, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, Annual Book of ASTM Standards.
6.Mindess S., Young J.F. and Darwin D.,(2003), Concrete, 2nd Edition, Prentice Hall, USA.
7.BS 1881, Part 116, Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes, British Standards Institution, London.
8.BS 1881, Part 125, Methods for Mixing and Sampling Fresh Concrete Samples in the Laboratory, British Standards Institution, London.
9.ACI 213R-87, Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete, American Concrete Institute.
10.Chitharanjan N., Sundararajan R. and Manoharan P.D.,(1988), Development of Aerocrete: A New Lightweight High Strength Material", The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 10, 27-38.
11.Orangun C.O.,(1967), "The Bond Resistance between Steel and Lightweight-Aggregate (Lytag) Concrete", Building Science, 2, 21-28.
12.BS 8110,(1985), Structural use of Concrete Part 1, Code of Practice for Design and Construction, British Standards Institution, London.

Computer For Civil Softeare Engineering Group : www.CCSofts.com , www.CompCivil.com