

بتن هوادار اتوکلاو شده برای ساختمان سازی در مناطق گرم

انستیتیوی تحقیقات علمی کویت

Autoclaved aerated concrete for construction in hot regions

H. Almudhaf and F. Al-Ragom, Kuwait Institute for Scientific Research, Kuwait

چکیده

سیستم ساختمانی معمول در کویت متشکل از سازه بتنی (تیر و ستون، سقف و کف) با دیوارهای غیر باربر ساخته شده با مصالح بنایی می باشد. این سیستم ساختمانی در کشورهای حاشیه خلیج فارس رایج بوده و برای ساختمان های یک یا دو طبقه بکار می رود. در اواسط سال 1980 بتن هوادار اتوکلاو شده بعنوان محصول جایگزینی با مقاومت حرارتی مناسب و مشخصات فنی مطلوب معرفی شد. بتن هوادار اتوکلاو شده بصورت قطعات بنایی برای دیوارچینی و همچنین بصورت پانل های مسلح بعنوان یک سیستم ساختمانی کامل تولید می شود.

در این مقاله عملکرد ساختمانهای ساخته شده با سیستم بتن هوادار اتوکلاو شده بررسی و خصوصیات سازه ای و ترموفیزیکی آن معرفی می شود. همچنین با استفاده از مدل سازی کامپیوتری، الگوی مصرف انرژی یک ساختمان نمونه با بتن هوادار اتوکلاو شده شبیه سازی می شود. سپس یافته ها در زمینه های جنبه های زیست محیطی فرآیند تولید، بهبود عملکرد ساختمان ها و مقدار انرژی مورد نیاز در مقیاس ملی جمع بندی می شوند.

کلمات کلیدی: بتن هوادار اتوکلاو شده، عملکرد ساختمان ها، مصرف انرژی و مناطق گرم

مقدمه

سیستم معمول ساخت و ساز در کویت ساختار قاب بتنی است. چنین سیستمی شامل اسکلت بتنی (تیر، ستون و اسلب بتنی) مسلح با آرماتور می باشد. در این سیستم، دیوارها با مصالح بنایی کار می شود. این نوع



ساختمان سازی برای واحدهای مسکونی یک و دو طبقه نیز استفاده می شود. در ساختمانها به ندرت از دیوارهای باربر استفاده می شود. پرمصرف ترین نوع بلوک، بلوک های بنایی سیمانی سنگین با مقاومت فشاری کم می باشند. در این روش، وزن هر متر مربع دیوار به 380 کیلوگرم و وزن هر متر مربع سقف به 440 کیلوگرم می رسد. تابستان داغ کویت از آوریل تا اکتبر ادامه دارد. حداکثر درجه حرارت در سایه به 50 درجه سانتیگراد یا بیشتر می رسد. هوا در کویت خشک است، اگرچه رطوبت نسبی می تواند در اواخر تابستان به 60 درصد و در پاییز و زمستان به 90 درصد نیز برسد. تابش خورشید شدید بوده، ممکن است در اواخر تابستان به 1100 W/m^2 نیز برسد. در کویت بیش از 230 روز از سال آسمان صاف است.

دمای زمستان بین 10 تا 20 درجه سانتیگراد است. بارندگی بندرت و بین اکتبر تا مه اتفاق می افتد. میزان بارش در محدوده حداقل 50 میلیمتر تا بیش از 300 میلیمتر متغیر است. متوسط سرعت باد 3 متر بر ثانیه است. باد غالب، باد خشک شمال غربی است، زیرا از منطقه بیابانی وسیعی می گذرد. باد بعدی، باد مرطوب جنوب شرقی است، که از خلیج فارس وارد می شود.

انرژی الکتریکی مصرفی در کویت بطور عمده نیاز سرمایشی ساختمانها را تامین می کند و مقدار آن برای سیستمهای تهویه مطبوع در تابستان کویت به 70 درصد از کل تولید برق می رسد. تقاضای بیش از حد سیستمهای تهویه مطبوع بدلیل دمای بالای هوا در طول تابستان است. بخش بزرگی از افزایش تقاضا ناشی از بالا رفتن مداوم مصرف سرانه است. یکی از عوامل مهم افزایش میزان مصرف، یارانه دولت به مصرف کنندگان است که در قیمت پایین برق منعکس شده است. بهای برق در کمترین حد ممکن و مبلغ 2 fils/kWh در هر کیلووات ساعت بوده که نهایتاً 5 درصد هزینه واقعی برق می باشد. عامل تاثیر گذار بعدی این پیش فرض غلط است که به دلیل در دسترس بودن سوختهای فسیلی زیاد و کم هزینه در کشورهای نفت خیز، مانند کویت، هزینه تولید برق ناچیز است. در واقع، هزینه های تولید، انتقال و توزیع نیروی برق، واردات تجهیزات و دانش فنی در شرایط بحران انرژی جهانی بار سنگینی را به بودجه وارد می کنند.



2. معیارهای صرفه جویی انرژی

در پاسخ به افزایش سریع تقاضای برق لازم بود اقدامات پیشگیری کننده ای برای محدود کردن نیازهای انرژی در ساختمانها معرفی و اجرا شود. کد وزارت آب و برق (MEW) کویته برای صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمانها [1] الزاماتی را برای محدود کردن حداکثر بار سرمایشی تعیین می کند. حداکثر بار الکتریکی ساختمانهای مسکونی 65 وات بر متر مربع است. برای رسیدن به این الزامات، این کدها حداقل استانداردها را با هدف صرفه جویی در مصرف انرژی ارائه می دهد.

جدول 1 حداکثر هدایت حرارتی مجاز برای دیوار و سقف های ساختمانی سنگین را مشخص می کند. برای رعایت کد انرژی کویته، دیوارهای پیرامونی از نوع سنگین (بلوک های سیمانی) باید لایه ای از عایق حرارتی به ضخامت 5 سانتیمتر و سقف های سنگین، عایق حرارتی به ضخامت 7 سانتیمتر داشته باشند.

Table 1. Maximum Thermal Transmission (U-Value) Allowed for Walls and Roofs of Heavy Construction.

	Maximum Overall U-Value	
	BTU/h ft ² °F	W/m ² K
Wall	0.10	0.57
Roof	0.07	0.40

3. بتن هوادار اتوکلاو شده

اعمال محدودیت های سختگیرانه برای مقاومت حرارتی دیوارهای خارجی، منجر به معرفی بلوک های بتن هوادار اتوکلاو شده در کویته گردید. محصولی کارآمد که الزامات عایق حرارتی لازم را بدون استفاده از لایه عایق اضافی برآورده می کند. بتن هوادار اتوکلاو شده در اواخر دهه 1920 در سوئد تولید شد [2]. برای تولید این محصول، سیمان و آهک، همراه با ماسه سیلیسی میکرونیزه شده (سرباره



پَرین بتن تولید کننده سیستمهای بتن هوادار اتوکلاو شده و انواع ملاتهای خشک تحت لیسانس هس آلمان و لاهی فنلاند

یا خاکستر بادی) و آب، به همراه مقدار جزئی پودر آلومینیوم به عنوان مواد اولیه استفاده می شوند. واکنش شیمیایی بین پودر آلومینیوم و آهک باعث ازدیاد حجم بتن از طریق تشکیل حبابهای هوایی گردد. این محصول به مدت 10 ساعت در فشار بخار 10 اتمسفر (بخار اشباع) در داخل اتوکلاو با دمای 180 درجه سانتیگراد قرار می گیرد. شرایط هیدروترمال اتوکلاو به واکنش هیدروکلسیم با سیلیس منجر شده و کلسیم هیدروسیلیکات بلوری بوجود می آید. بتن هوادار اتوکلاو شده دارای دانسیته پایین و نسبت مقاومت فشاری به دانسیته مطلوب است. دانسیته پایین این محصول منجر به کاهش میزان مصرف مواد اولیه در مقایسه با سایر محصولات ساختمانی، بشرحی که در شکل 1 نشان داده شده است، می گردد. علاوه بر این، بتن هوادار اتوکلاو شده پتانسیل بالایی در پردازش و بازیافت ضایعات دارد. این محصول به سادگی با اره یا وسایل ساده برش خورده، و حداقل میزان ضایعات را نیز در پروژه ایجاد می کند. نکته مهم تر اینکه ضایعات این محصول در کارخانه های تولیدی قابل استفاده مجدد است.

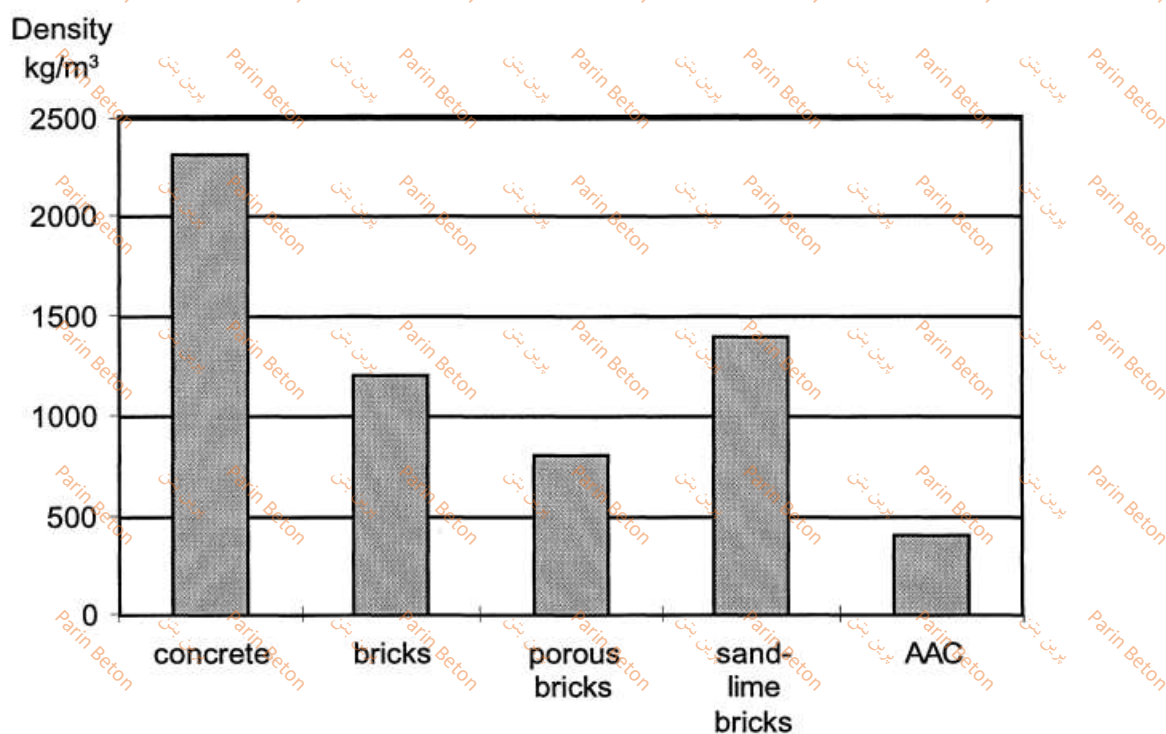


Fig1 Consumption of raw materials in the production of building materials [3].

بتن هوادار اتوکلاو شده ضمن سبکی، اینرسی حرارتی مطلوبی را فراهم می کند. این مزیت ناشی از جرم کم،



هدایت حرارتی پایین و گرمای ویژه آن می باشد. بدین معنا که بتن هوادار اتوکلاو شده می تواند دمای داخلی ساختمان را، در مقایسه با ساختمانهایی با سازه سبک (که ظرفیت حرارتی پایین دارند*)، یا ساختمانهای سنگین (که عایق حرارتی کمی دارند)، به مراتب پایین تر نگاه دارد.

در طول فصل گرم، عملکرد اینرسی حرارتی یک سقف بتن هوادار اتوکلاو شده با ضخامت معمول منجر به تاخیر زمانی 6 تا 12 ساعته در افزایش گرمای داخل ساختمان ناشی از تابش حداکثری خورشید می گردد. بعد از این زمان، با کاهش قابل ملاحظه شدت تابش خورشید، امکان خروج گرمای تجمع یافته در سقف در ساعات خنک روز ممکن می شود. متعاقباً ظرفیت واحدهای نیروگاهی مورد نیاز برای گرمایش یا سرمایش (و انرژی مورد نیاز برای بهره برداری آنها) نیز کاهش می یابد.

شکل 2 جریان معمول دینامیکی حرارت را نشان می دهد. علیرغم تغییرات دما در سطح خارجی دیوار، دمای داخلی بوسیله سیستم های تهویه مطبوع ثابت نگه داشته شده است.

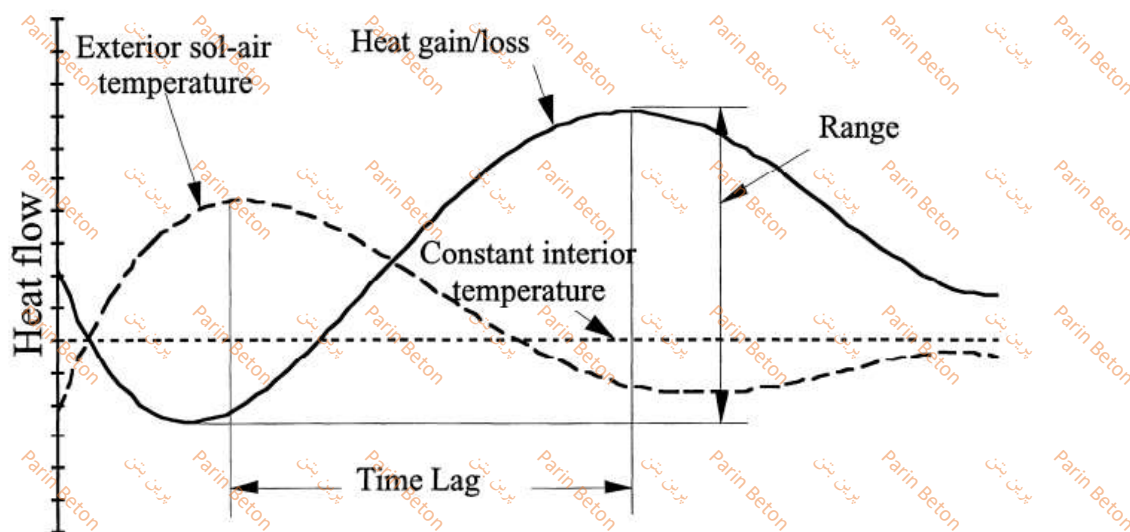


Fig. 2 Dynamic heat flow [4].



4. کاربرد بتن هوادار اتوکلاو شده در کویت

در کویت بلوک های بتن هوادار اتوکلاو شده در محدوده جرم حجمی 450 تا 600 کیلوگرم بر متر مکعب تولید می شوند. ابعاد معمول بلوک در کویت 20*20*60 سانتیمتر می باشد. برای چسباندن این بلوک ها از چسب لایه نازک پوکسی به ضخامت 2 میلیمتر استفاده می شود. به دلیل خواص عایق حرارتی منحصر بفرد این محصول، دیوار AAC به ضخامت 20 سانتیمتر با نمای پلاستر سیمان یا نمای آجری (ماسه آهکی) الزامات انرژی کویت را بدون هر گونه لایه اضافی عایق تامین می کند.

پانل های پیش ساخته بتن هوادار اتوکلاو شده نیز برای استفاده در سقف و دیوار تولید می شوند. سائز معمول این پانل ها 25*60*200 سانتیمتر است و جرم حجمی آنها تا 900 کیلوگرم بر مترمکعب می رسد. ساختمانی که با پانل های پیش ساخته AAC بطور کامل (دیوار و سقف) ساخته شده باشد، در مقایسه با ساختمانی که از یک سیستم ترکیبی سازه سنگین و بلوک بتن هوادار اتوکلاو شده ساخته شده به مراتب بهتر است.

5. الگوهای مصرف انرژی

برای بررسی تاثیر میزان مصرف انرژی، یک ساختمان معمول کویتی در نظر گرفته شد. از یک برنامه شبیه سازی کامپیوتری برای پیش بینی کارایی حرارتی این ساختمان استفاده شد. نمودار 3 مصرف برق ساعتی برای ساختمان ساخته شده با دیوارها و سقف سنگین معمول را در دو حالت عایق و غیر عایق نشان می دهد.

نمودار 4 روند افزایشی میزان برق مصرفی کشور را نشان می دهد. توجه شود که سقوط میزان مصرف در سال 1991 بواسطه وقفه ناشی از هجوم عراق در سالهای 91/90 می باشد.



پَرین بتن تولید کننده سیستمهای بتن هوادار اتوکلاو شده و انواع ملاتهای خشک تحت لیسانس **هس آلمان** و **لاهنی فنلاند**

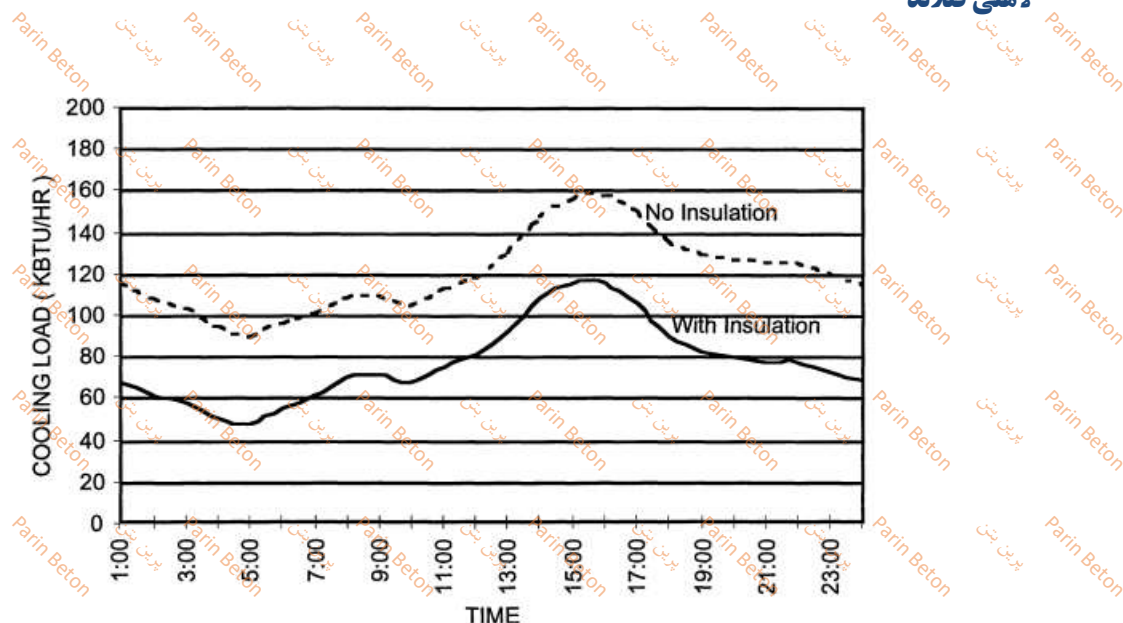


Fig. 3 Typical hourly power consumption for a Kuwaiti house.

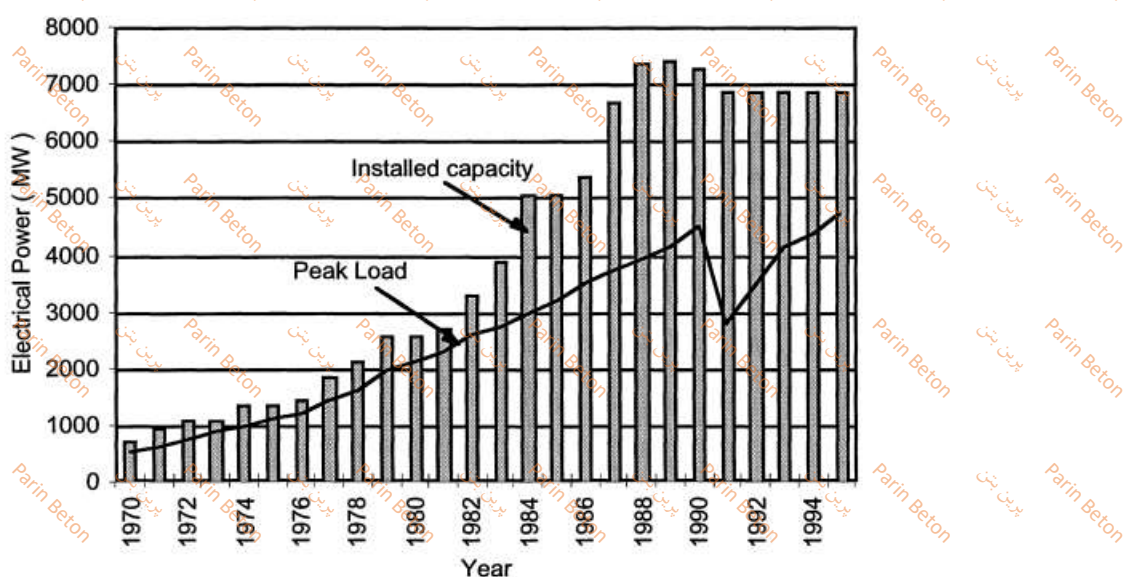


Fig. 4 Peak power consumption compared to installed capacity in Kuwait [4].

همانطور که پیشتر گفته شد، انتظار می رود الگوی مصرف برق ساعتی ساختمان های ساخته شده با بتن هوادار اتوکلاو شده متفاوت از ساختمان های سنگین سنتی باشد. به شکلی که نقطه اوج مصرف را جابجا کند. از آنجا که بتن هوادار اتوکلاو شده از نظر جرمی سبک تر در نظر گرفته می شود، پیش بینی می شود که نقطه اوج مصرف در



مقایسه با سازه های سنگین با تاخیر زمانی کمتری رخ دهد. بنابراین اگر پیک بار مصرفی بخش مسکونی، که 85 درصد از کل برق مصرف کنندگان کویتی را [5] تشکیل می دهد، در ساعت 4 بعد از ظهر رخ دهد، دامنه اوج این بار را می توان با انتخاب سیستمی نظیر بتن هوادار اتوکلاو شده که پیک متفاوتی دارد، کاهش داد.

فرض کنید که حدود 30 درصد از ساختمانهای ساخته شده مسکونی از بتن هوادار اتوکلاو شده باشد که زمان پیک بار را دو ساعت از ساعت 4 فعلی به تاخیر بیندازد. در مقیاس ملی حدود 260 مگاوات در انرژی صرفه جویی می شود. تجزیه و تحلیل و مطالعات بیشتری برای تعیین کاهش دقیق مقدار پیک بار در بعد ملی مورد نیاز است. اما باید توجه داشته باشید که دستیابی به چنین درصدی از ساختمانهای مسکونی که از بتن هوادار اتوکلاو شده استفاده می کنند هدف دشواری نیست. بخشی که بطور مستقیم می تواند هدف گذاری شود، برنامه مسکن دولتی است که انتظار می رود حدود 1000 مسکن را بصورت سالیانه تحویل دهد.

6. بحث و پیشنهادها

بتن هوادار اتوکلاو شده یک محصول ساختمانی است که با حداقل مواد اولیه تولید می شود و ضایعات بازیافتی می توانند بخشی از مواد اولیه در تولید آن باشند. این محصول با مقاومت فشاری مناسب از عایقی حرارتی قابل توجهی برخوردار است. وزن سبک و ویژگی اینرسی حرارتی این محصول یک الگوی مفید مصرف انرژی را ایجاد می کند، که در صورت ادغام با سایر ساختمانها با جرم های مختلف، می تواند در کاهش پیک بار نیروگاه ها بطور موثری عمل کند. برای توزیع بهینه ساختمانها با ساختارهای سنگین، متوسط و سبک نیاز به تدوین یک طرح ملی می باشد. قطعا بهینه سازی به کاهش مقدار اوج برق مصرفی کمک می کند. برای تشویق ایجاد تغییر در صنعت ساختمان، باید مشوق های بیشتری در نظر گرفته شود. تعرفه برق پایین تر یا تعریف الزامات مقاومت حرارتی پایین تر برای دیوارها و سقف های سبک می تواند نمونه ای از این مشوق ها باشد. بدین منظور برخی از مراجع همانند کمیسیون انرژی کالیفرنیا مقادیر R پایین تری را تعریف کرده اند.



پورین بتن تولید کننده سیستمهای بتن هوادار اتوکلاو شده و انواع ملاتهای خشک تحت لیسانس هس آلمان و لاهی فنلاند

References

1. Ministry of Electricity and Water (1983) Code of Practice for Energy Conservation in Kuwaiti Buildings, Report R-6, Kuwait.
2. Dubral, W. (1992) On production and application of AAC worldwide. Autoclaved Aerated Concrete: Properties, Testing and Design, edited by F. W. Wittman, E&FN Spon, London.
3. Hums, D. (1992) Ecological aspects for the production and use of autoclaved aerated concrete. Autoclaved Aerated Concrete: Properties, Testing and Design, edited by F. W. Wittman, E&FN Spon, London.
4. RILEM Recommended Practice (1993) Autoclaved Aerated Concrete: Properties, Testing and Design, E&FN Spon, London.
5. Ministry of Electricity and Water (1996) Statistical Year Book, Kuwait.

