۲۶ و ۲۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۰
تالار شهید چمران - انستیتو مصالح ساختمانی
پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران
اولین کنفرانس ملی بتن سبک
دانشگاه تهران
دانشکده فنی

بتن هوادار اتوکلاو شده، مروری بر وضعیت تولید در ایران و جهان

مجید صالحی

مشاور در بتن سبک
مدیر واحد خدمات مهندسی شرکت سبک سازان شرق
Email:msalehimgr@yahoo.com

چکیده:

بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) محصول دهه های ابتدایی قرن بیستم است که دوران باروری و تکامل آن طی سه مرحله،تا پس از جنگ جهانی دوّم و سپس تا دهۀ ۱۹۹۰ و نهایتاً تا حال حاضر با سرعت در حال طی شدن است. این نوع بتن سبک یک مصالح ساختمانی با مشخصات مطلوب است که از یک طرف از موّاد سادۀ معدنی و یا حتّی مواد باطله و مزاحم سایر صنایع استفاده نموده و مصرف انرژی در متر مکعب تولید در قیاس با تولیدات مشابه پایینتر می باشد. و از طرف دیگر با دارا بودن ضریب انتقال حرارت منحصر به فرد نسبت به سایر محصولات متداول از کاندیداهای اصلی ساختمان سازی پایدار Sustainable Construction در اتحادیۀ اروپا شناخته شده است و برنامه ریزی کشورهای عضو قارۀ سبز برای تولید و کاربرد آن به عنوان مصالح ساختمانی تا دستیابی به هدف "ساختمان با انرژی نزدیک به صفر" در سال ۲۰۲۰ می باشد. موج سوّم رشد تولید و ترویج کاربرد محصول از سال ۱۹۹۲ تا کنون در زمینه های تحقیقاتی وعلمی نیز قابل توجّه بوده است به طوریکه طی این دوره سه کنفرانس بزرگ بین المللی با موضوع انحصاری AAC با ارائه دست کم ۲۰۰ مقاله و پوستر چاپ شده برگزار شده است در حالیکه تا قبل از آن فقط ۲ کنفرانس بین المللی برگزار شده بود. تنوع فناوریهای تولید در اروپا طی ۷۰ سال گذشته آغاز شده و بیشتر آنها و انواع قدیمیتر آن در کشور چین از سال ۲۰۰۰ کپی برداری شده و به کشورهای در حال توسعه مثل ایران صادر شده است. ایران در اواخر دهۀ ۱۳۵۰ جزء اولین کشورهای خاور میانه در وارد کردن فناوری و ماشین آلات از اروپا بوده است. موج جدید رویکرد صنعتگران ایرانی از ابتدای دهۀ ۱۳۸۰ با تکنولوژی های چین و آلمان بوده است. پیش بینی می شود طی دو سال آینده مرز ظرفیت عملی تولید که در حال حاضر ۰/۵ میلیون متر مکعب می باشد به دو برابر افزایش یابد. علی رغم رشد روز افزون رو آوری به این محصول دو موضوع مهم تامین موّاد اولیه با کیفیت مطلوب و فرهنگ اجرای صحیح محصول در ساختمان سازی مورد غفلت صنعتگران و کاربران قرار گرفته است. این بی توجهی ممکن است باعث نگرانی های بزرگی در توسعه AAC در آیندۀ این صنعت در ایران باشد.

کلمات کلیدی: بتن هوادار اتوکلاو شده، بتن سبک، مصالح سبک ساختمانی، چشم انداز تولید، توسعه پایدار

۱– مقدمه

این مقاله ابتدا به جایگاه بتن هوادار اتوکلاو شده در بین سایر مصالح سبک ساختمانی می پردازد، سپس با نگاهی به تولید در دنیا و سیر تحولات فناوری تا کنون به وضعیت تولید محصول در ایران و چشم اندازهای تولید آن طی سالهای آینده خواهد پرداخت.

۲- جایگاه بتن هوادار اتوکلاو شده در بتن های سبک

بر اساس طبقه بندی کلاسیک بتن های سبک شامل۱- بتن های دانه سبک(Light Aggregate Concrete)۲- بتن های هوادار یا مخلخل (Aerated Concrete) و ۳- بتن های بدون ریز دانه (No-Fines Aggregate Concrete) می باشند.

بتن هوادار اتوکلاو شده در زیر مجموعهٔ گروه دوم قرار می گیرد. به شکل پیش ساخته (Pre-Fabricated) و در دو نوع مسلّح و غیر مسلّح تولید می شود. بیشترین سهم تولید به انواع غیر مسّلح (حدود ۸۰ درصد) اختصاص دارد. تولید در اروپا به همراه روسیه در سال ۲۰۱۱ به ۲۴ میلیون متر مکعب رسیده است. [۱و۲] آمار دقیقی از تولید در چین در دسترس نیست. اطلاعات شفاهی رقمی در حدود ۱۰ میلیون متر مکعب را نشان می دهد.. سایر کشورها آمار قابل اتکایی پیدا نشد. تولید کنندگان اصلی باقیمانده ژاپن، کره جنوبی، آمریکا، کشورهای خاورمیانه و آسیای مرکزی و آفریقا و استرالیا و هند آمار دقیقی از تولید وجود ندارد. ژاپن در سال ۱۹۹۲ به میزان ۲/۵ میلیون متر مکعب تولید داشته که تقریباً تمام آن به شکل دال و پانل مسّلح بوده است[۳]. برخی منابع از تقاضای تولید جهانی ۱۰۰ میلیون متر مکعب در سال ۲۰۱۱ نام برده اند و افزایش سالانهٔ تولید را ۵ میلیون متر مکعب اعلام کرده اند.[۴] ظرفیت تولید عملی ایران در سال ۹۰ حدود ۵۰۰ هزار متر مکعب بوده که به تفضیل بیشتر به آن خواهیم پرداخت. با بررسی آماری تولید سایر انواع بتن سبک می توان به این نتیجه گیری رسیدکه حداقل از نظر تولید عناصر غیر مسّلح، این نوع بتن در حال حاضر جایگاه نخست را در دنیا داراست.

۳- مهمترین خصوصیات تولید بتن هوادار اتوکلاو شده

با بررسی جزئیات فرایند تولید این محصول و مقایسهٔ آن با تولید سایر بتن های سبک سه ویژگی اصلی در تولید این محصول وجود دارد که آن را نسبت به سایر انواع بتن سبک متمایز می سازد. این ویژگی ها عبارتند از:

۱- تمام مواد اولیهٔ ورودی به خط تولید باید ابتدا به طور کامل آسیاب شده و میکرونیزه شوند. (در بیشتر فناوری ها حد بالای میکرونیزه کردن الک ۹۰ میکرون است)
۲- اساس فرایند تولید از قالبریزی تا عمل آوری انجام یک سری واکنشهای شیمیایی از نوع هیدروترمال مستقیماً و توسط مواد اولیهٔ موجود می باشد.
۳- عمل آوری محصول تحت فشار بخار اشباع (High Pressure Steam Curing) و در اتوکلاو صورت می گیرد.

هر سه خاصیت بالا باعث گرانتر شدن هزینهٔ تولید محصول در هر متر مکعب نسبت به سایر انواع بتن های سبک متداول می شود. همزمان دستیابی به خصوصیات منحصر به فردی مانند: جمع شدگی بسیار کم (کمتر از دو صدم درصد) ؛ امکان تولید در دامنهٔ گسترده ایی از چگالی (۴۰۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب)؛ افزوده شدن ظرفیت تولید روزانه از ۴۵۰ تا فراتر از ۱۰۰۰ متر مکعب روزانه) نیز تامین می شود.

۳-۱- نگاهی اجمالی بر فرایند تولید محصول : مواد اولیهٔ اصلی شامل سیلیس، آهک زنده، سیمان، آب و پودر آلومینیوم به همراه گچ در بعضی از فناوری ها در یک فرایند توزین به صورت تر و خشک وزن شده و با یکدیگربا دور بالا (۴۰۰ تا ۹۰۰ دور بر دقیقه) مخلوط شده و در قالبهای ۳ تا ۶ متر مکعبی (بستگی به نوع فرایند و ظرفیت تولید دارد) قالبگیری می شوند. واکنشهای اولیه بین آب، آهک، سیمان و پودر آلومینیوم برای تورم دوغاب در قالب و ایجاد سختی وگیرایش لازم برای برش در یک گرمخانه صورت می پذیرد. نقش کیفیت آهک در اینجا خیلی مهم است چرا که حرارت لازم برای انجام واکنشها در زمان مقرر هم در هنگام قالبریزی و هم در گرمخانه به عهدهٔ این مادّه است. کیکها، پس از برش طولی و عرضی به اتوکلاو جهت عمل آوری تحت فشار هدایت می شوند. واکنشهای نهایی و تکمیلی در اتوکلاو و تحت فشار ۱۲ بار با حضور سیلیس و کلسیم موجود در آهک و سیمان انجام می شود. نقش کیفیت سیلیس در اینجا مهم است چرا که خلوص بیشتر آن باعث تشکیل پیوندهای قوی تری در اتوکلاو می شود. نرمی سیمان در فرایند گیرایش اولیه در گرمخانه و کیفیت پودر آلومینیوم در کیفیت تخلخلها نقش مهمی دارند. نرمی مواد اولیه باید کنترل شود و قالبریزی باید تحت شرایط دمایی خاص انجام گیرد. در این میان غلظت دوغاب مورد استفاده و سرعت آزاد سازی دمای آهک بسیار مهم است. جزئیات بیشتری در بخش ۶ هنگام توصیف برخی کاستی های کیفی مواد اولیه در ایران ارائه می گردد.

۴- مروری بر توسعهٔ تولید بتن هوادار اتوکلاو شده از ابتدا تا کنون

پس از اختراع محصول توسط پروفسور اکسل اریکسون (Axel Erikson) استادیار انستیتو سلطنتی استکهلم در سال ۱۹۲۴ نخستین فناوری ۵ سال بعد در سال ۱۹۲۹ در سوئد توسط شرکت Yxhults موفق به تولید تجاری محصول شد.[۴]

روند رشد فناوری های محصول طی سه دورهٔ مشخص به شرح ذیل اتفاق افتاده است :

۱- از ابتدا تا پایان جنگ جهانی دوم
۲- از پایان جنگ جهانی دوم تا ابتدای دههٔ ۱۹۹۰ میلادی
۳- از ابتدای دههٔ ۱۹۹۰ میلادی تا کنون

در دورهٔ اول رشد و توسعه فناوری در سوئد و آلمان و تولید نیز در همین دو کشور خلاصه شده است.

دورهٔ دوم لزوم بازسازی ویرانه های جنگ در اروپا و ژاپن انگیزهٔ قوی برای کشورهای اروپایی در جهت توسعهٔ فناوری های تولید به شمار می آمد. رشد تولید آهن با استفاده از انرژی ذغالسنگ بویژه در انگلستان باعث جایگزین شدن خاکستر بادی (Fly Ash) به جای ماسهٔ سیلیسی در ترکیب مواد اولیه شد و نتیجتاً کشورهایی مانند انگلستان و لهستان نیز وارد عرصهٔ ساخت ماشین آلات خط تولید شدند و مصرف کنندگان عمدهٔ محصول در این دوره تقریباً تمام اروپا، ژاپن، چین،کرهٔ جنوبی، مکزیک، روسیه و چند کشور در خاور میانه از جمله ایران (۱۹۷۸)،عراق، کویت و فلسطین اشغالی بودند.که این افزایش تقاضای مصرف به علت عملکرد خوب محصول در مناطق زلزله خیز نظیر مکزیک و ژاپن بوده است.[۳]

دورهٔ سوم پس از فرو پاشی بلوک شرق و با واگذاری کارخانجات دولتی در چین همراه است که باعث شد ماشین سازان چینی نیز پا به عرصهٔ کپی برداری از خطوط تولید اروپایی بگذارند. و تقاضای روزافزون مصرف عمدتاً به علت گران شدن حامل های انرژی و حرکت به سمت توسعهٔ پایدار (Sustainable Development) در کشورهای پیشرفتهٔ دنیا بوده است. طی دورهٔ سوم، سه کنفرانس بین المللی در حوزهٔ دانش علمی و فناوری AAC در لوزان سویس (۱۹۹۲)، کینگستون انگلستان (۲۰۰۵) و بیدگویچ لهستان (۲۰۱۱) برگزار شده است که در مقایسه با دوره های قبلی که تنها دو کنفرانس در سوئد (۱۹۶۰) و سوئیس (۱۹۸۲) برگزار شده است، نشان تمایل بیشتر محافل علمی برای ورود به مباحث علمی این محصول دارد. در کنفرانس اول در سال ۱۹۶۰ آقای دکتر اریکسون مخترع محصول به عنوان دبیر افتخاری حضور داشتند.

اتحادیهٔ اروپا در سال ۱۹۹۸ نهاد رسمی اتحادیهٔ اروپایی تولید کنندگان بتن هوادار اتوکلاو شده (EAACA) را با هدف ترویج استفاده از محصول و با شعار آیندهٔ پایدار (Sustainable Construction) بنا نهاد و در حال حاضر یکی از کاندیداهای اصلی ساخت و ساز با هدف "مصرف انرژی نزدیک به صفر در اروپای ۲۰۲۰" (Nearly Zero- Energy Construction)در اروپا بتن هوادار اتوکلاو شده می باشد.[۱]

روند رو به رشد تولید همچنان ادامه دارد به ویژه این توسعه در کشورهایی مانند روسیه، چین، هندوستان، کشورهای آسیای میانه و خاور میانه شتاب بیشتری دارد و در برخی هنوز در مرحلهٔ تولد است. دلیل اصلی آن پایینتر بودن مصرف انرژی در تولید هر متر مکعب و اهمیت موضوع بهینه سازی مصرف سوخت در کشورهای در حال توسعه می باشد. با این اوصاف به نظر می رسد رشد تولید در بازارهای جدید آسیایی و آفریقایی هم اکنون در حال شکل‌گیری است.

۵- مروری بر فناوری های تولید از آغاز تا کنون

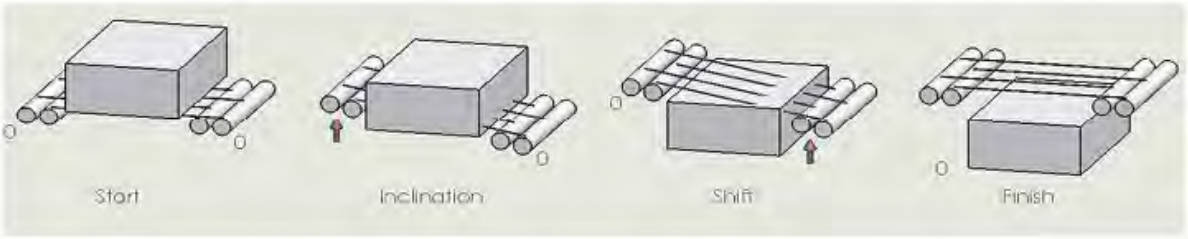
برای ساده سازی بحث خط تولید را بر اساس مهمترین قسمت های آن جداگانه مورد بررسی قرار می دهیم :

۱- قالبریزی و تهیهٔ مواد اولیه (Pouring and raw material preparation):
- روش سوئدی (۱۹۲۹) : استفاده از سیلیس و سیمان در قالبریزی عمدتاً به روش خشک
- روش آلمانی (۱۹۴۵) : استفاده از آهک، سیمان و دوغاب سیلیسی به طور مستقل با توزین جداگانه

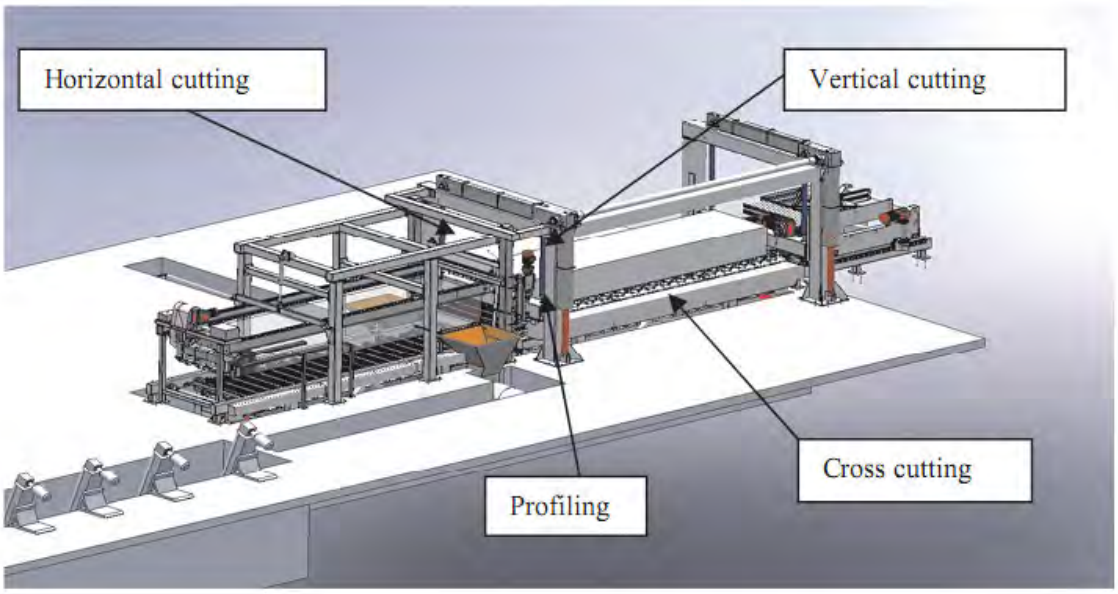
- روش لهستانی (۱۹۵۱) : استفاده از آهک، سیلیس و سیمان خشک به عنوان مادّهٔ چسباننده (بایندر) و دوغاب سیلیسی مستقل

۲- برش (Cutting) :

- برش افقی (Flat Cutting) با حرکت ارّه ایی سیمهای برش در برش های طولی و عرضی(تا سالهای ابتدایی دههٔ ۱۹۷۰)
- برش عمودی با یک بار برگرداندن کیک (Tilting Cutting) با حرکت اره ایی در برش عرضی و حرکت مستقیم در برش طولی (آلمان بعد از ۱۹۷۰)
- برش عمودی با دو بار برگرداندن کیک (Tilt-back Tilt) با حرکت اره ایی در برش عرضی و حرکت مستقیم در برش طولی (لهستان ۱۹۸۰)
- برش عمودی با دو بار برگرداندن کیک (1995) Tilt-back Tilt- Cooking Frame به بعد با حرکت اره ایی اصلاح شده در برش عرضی و حرکت مستقیم در برش طولی و انتقال افقی کیک به اتوکلاو
- برش افقی موسوم به روش برش کیک پنیری (Cheese Cake method) از سال ۲۰۰۰ به بعد در آلمان و انگلستان (شکل ۲و۱)



شکل ۱۲- دیاگرام ساده برش به روش کیک پنیری (Cheese cake method)] ۵[



شکل ۱۳- دستگاه برش یک پارچه ومدرن] ۵[

۳- عمل آوری تحت فشار بخار (اتوکلاوینگ)

- معمولی با شیرهای سوزنی معمولی کلاس PN25 به بالا، بدون مانیتورینگ (تا ۱۹۸۰)
- معمولی با شیرهای سوزنی معمولی کلاس PN25 به بالا، با مانیتورینگ شرایط بخار (از ۱۹۸۰ تا کنون)
- اتوماتیک با کنترل PLC و شیر های سوزنی قابل کنترل بادی و رگولاتوردار (۲۰۰۰ به بعد تا کنون)

پرداختن به جزئیات این تحولات در حوصلهٔ این مقاله نمی گنجد، چرا که آنچه گفته شد تنها نقاط عطف این پیشرفتهای صنعتی است و دهها تغییر در ماشین آلات و ادوات هر کدام از این تحولات یزرگ در کشورهای مختلف و توسط ماشین سازان مختلف صورت پذیرفته است.

۶- فناوری تولید در ایران

تولید محصول در ایران در اواخر دههٔ ۵۰ شمسی همزمان با موج دوم رشد و توسعهٔ محصول در دنیا آغاز شد. اولین خط تولید متعلق به فناوری سوئد و پس از آن تا پایان دهه دو خط تولید دیگر از آلمان و لهستان وارد کشور شد. دورهٔ جدید رویکرد صنعتگران ایرانی از ابتدای دههٔ ۸۰ شمسی و عمدتاً با ورود ماشین آلاتی از چین صورت پذیرفته است که تماماً از نظر سطح فناوری پایینتر از ۳ خط تولیدی هستند که در دورهٔ اول وارد ایران شدند. به هر حال پیش بینی تولید عملی محصول در سال ۹۰ کمی فراتر از ۵۰۰ هزار متر مکعب است عددی که از ابتدای تولید در ایران به عنوان بالاترین رکورد مطرح است. با راه اندازی کامل خطوط تولید نصب شده و در حال نصب، پیش بینی دستیابی به تولید عملی ۱ میلیون متر مکعب تا پایان سال ۹۰ دور از انتظار نیست. نصب و راه اندازی یک یا دو خط تولید آلمانی در سال آینده از جملهٔ اتفاقات خوب در بازار رقابتی محصول خواهد بود. ولی واقعیت این است که مشکل مهمتر و بزرگتر از کیفیت فناوری های موجود، عدم کیفیت و عدم یکنواختی مواد اولیه در ایران است. این محصول برای تولید خوب علاوه بر ماشین آلات خوب و کارآمد نیازمند استفاده از آهک، سیلیس و پودر آلومینیوم خوب و با کیفیت است. هر سه مادّهٔ بالا باید با کیفیت قابل قبول این صنعت تولید و عرضه شوند.

- آهک های موجود در بازار ایران اغلب بدون کنترل کیفیت بالا و به شکل سنتّی تولید می شوند و ضمناً شرایط آزادسازی گرمای آنها مطابق استانداردهای تولید این محصول نیست.
- سیلیس از نظر دانه بندی ورودی باید در حدّ بالا و پایین کنترل شود. استفاده از سیلیس های با نرمهٔ بالا به اندازهٔ استفاده از سیلیس با زبری زیاد خسارت بار هستند. استفاده از هر نوع سیلیس ضایعاتی بدون کنترل دانه بندی و خلوص مجاز نیست.
- پودر آلومینیوم از نظر شکل ذرات و میزان پوشش و همچنین سرعت آزاد سازی گاز هیدروژن باید مورد سنجش و بررسی لازم برای تولید قرار گیرد.

عامل مهم دیگر در سرعت توسعهٔ پایدار این محصول فرهنگ به کارگیری صحیح آن در ساختمان و آموزش صحیح آن است.

حضور تولیدات جعلی با عناوین مشابه بدون ارائه گواهینامه ها و تاییدیه های فنّی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران آفتی است که ادامهٔ رشد آن می تواند گریبان تولید کننده و مصرف کننده و در نهایت صنعت ساختمان کشور را بگیرد.

مقایسهٔ جمعیتی ایران با کشورهایی نظیر ترکیه که در حال حاضر بیش از ۲ میلیون متر مکعب تولید دارد. وجود منابع عظیم معدنی و جدّی بودن افزایش قیمت سوخت در آینده، نوید دستیابی به تولید بیش از ۲ میلیون متر مکعب طی ۳ تا ۴ سال آینده را می دهد. ضمن اینکه براورد نیاز کشور فراتر از ۵ میلیون متر مکعب طی ۵ سال آینده خواهد بود.

۷- نتایج

۱- فرایند تولید بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) در مقایسه با تولید سایر انواع بتن سبک از حساسیت و پیچیدگی بیشتری برخوردار است به همین دلیل فناوری ها ی تولید آن مداوم در حال بهینه شدن هستند.

۲- سهم ایران در تولید جهانی محصول در حال حاضر کمتر از ۱ در صد است ولی افقهای افزایش تولید به وضوح قابل پیش بینی است.

۳- فناوری خطوط تولید در ایران طی دورهٔ بهره برداری – از ۳۵ سال گذشته تا کنون- تحول چشمگیری را شاهد نبوده است.

۴- تهیهٔ مواد اولیهٔ مناسب و با کیفیت یکنواخت در فرایند تولید این محصول از چالشهای آتی تولید کنندگان می باشد.

۵- کاربری صحیح محصول در ساختمان و استفادهٔ حدّ اکثری از پتانسیل های کیفی محصول در عمل مورد تغافل کاربران قرار می گیرد و گاهاً حضور تولیدات جعلی و با عناوین مشابه این آشفتگی را تشدید می کند.

۸- مراجع

1- Jos Cox " promoting AAC solution for sustainable construction challenge in Europe" printed in 5th International Conference on AAC ,2011 Bydgoszcz, Poland

2- V.Levchenko " Production of AAC in Russia, history ,present stage, perspective" printed in 5th International Conference on AAC ,2011 Bydgoszcz, Poland

۳- صالحی، مجید " تصمیم گیری برای انتخاب مناسبترین ترکیب مواد اولیه در کارخانه ایتونگ ایران (تولید کنندهٔ بتن متخلخل اتوکلاو شده) " ۱۳۷۸ پایان نامهٔ دورهٔ کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. دانشکدهٔ مهندسی معدن و متالورژی

4- Bo.G.Hellers, Bo.R.Schmidt " Autoclaved Aerated Concrete- the story of a low weight material " printed in 5th International Conference on AAC ,2011 Bydgoszcz, Poland

5- Willem M.van Beggelen " The Contribution of AAC in Securing a sustainable future "printed in 5th International Conference on AAC ,2011 Bydgoszcz, Poland