

روش های عمل آوری بتن پیش ساخته و تاثیر گاز دی اکسید کربن (CO_2) بر مقاومت و دوام قطعات تولیدی

آرش داداشی

دانشجوی دکترای عمران، گرایش سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه arash_048s@gmail.com

چکیده

با توجه به جایگاه ویژه بتن پیش ساخته و مزایای چشم گیر آن که باعث جلب نظر مهندسين در سراسر دنيا گردیده است لازم است تکنولوژی ساخت و عمل آوری بتن مذکور بیش از پیش مدنظر مهندسين و فعالان عرصه ساخت و ساز کشور قرار گیرد. در این تحقیق سعی بر آنست تا به معرفی انواع روش های متداول عمل آوری بتن پیش ساخته و تاثیر استفاده از گاز دی اکسید کربن (CO_2) بر بهبود مشخصه های بتن پیش ساخته پرداخته شود. در این روش، پس از اشاره به انواع روش های عمل آوری می توان روش بهینه و مناسب عمل آوری را متناسب با شرایط و نیاز پروژه انتخاب نمود. نتایج حاکی از آنست که استفاده از گاز دی اکسید کربن به عنوان یک کاتالیزگر در عمل آوری بتن پیش ساخته تاثیر مثبتی بر زمان عمل آوری داشته و بتن پیش ساخته حاصل دارای مقاومت و دوام قابل توجهی خواهد بود.

واژه های کلیدی: بتن پیش ساخته، عمل آوری، مقاومت، دوام، گاز CO_2

1- مقدمه

بتن به عنوان یکی از مصالح پر مصرف ساختمانی در سراسر دنیا محسوب می شود. بطوریکه سالانه به ازای هر نفر حدود یک متر مکعب بتن تولید می شود. [1]

به طور کلی پیشرفت ها و موفقیت های بدست آمده در زمینه معرفی و ساخت انواع بتن ها در دهه های اخیر چشم گیر و قابل توجه بوده است. در حقیقت، هدف از معرفی و ساخت بتن های مذکور که با تنوع و قابلیت های منحصر به فردی به صنعت ساخت و ساز معرفی شده اند، کشف بتن های ویژه متناسب با شرایط مختلف پروژه و در عین حال کسب بالاترین مقدار مقاومت و دوام بوده است. زیرا شرایط مختلف اعم از شرایط آب و هوایی و روش اجرا، تاثیر مستقیمی بر مقاومت و دوام بتن خواهد داشت. بتن پیش ساخته¹ به عنوان یکی از انواع ممتاز بتن ها که دارای مشخصه ها و قابلیت های منحصر به فردی می باشد، توانسته است جایگاه ویژه ای را در صنعت ساخت و ساز کشورهای مختلف خصوصا کشورهای توسعه یافته نظیر امریکا، کانادا و... به خود اختصاص دهد. در عین حال، مقابله با اثرات تغییرات آب و هوایی بواسطه کاهش میزان گازهای گلخانه ای (GHG) و اجرای اقدامات پیشگیرانه در این زمینه دغدغه اصلی جامعه جهانی محسوب می شود. [2]

شواهد حاکی از آنست که ساخت انواع پناهگاه ها، تونل ها و کانال های عبور آب از دوره روم باستان توسط مصالحی نظیر بتن انجام می شده است. با گذشت زمان اولین پانل های بتنی پیش ساخته در کشور انگلستان و در سال 1905 ساخته شد. در عین حال، سرعت بالای اجرای سازه های بتنی پیش ساخته (کاهش زمان اجرا) و کیفیت بالای قطعات تولیدی به عنوان مهم ترین ویژگی های ممتاز آن محسوب می شود. از دیگر مزایای بتن پیش ساخته می توان به مواردی همچون عدم آسیب محیط زیست، راندمان بالای تولید، عدم نیاز به مراقبت های طولانی مدت، نیاز به نیروی انسانی کمتر و... اشاره کرد. با توجه

به کیفیت بالای قطعات تولیدی که خود به دلیل ساخت بتن پیش ساخته در شرایط استاندارد و قابل کنترل کارخانه می باشد، این نوع بتن معمولا دارای مقاومت و دوام قابل توجهی می باشد. همانطور که اشاره شد بتن پیش ساخته در شرایط استاندارد کارخانه ای تولید می شود لذا لازم است مرحله عمل آوری² آن که همواره به عنوان یکی از اساسی ترین مراحل ساخت بتن محسوب می شود، با دقت و توجه بیشتری انجام گیرد زیرا این مرحله تاثیر مستقیمی بر مقاومت و دوام قطعه بتنی تولیدی خواهد داشت. معمولا از روش ها و تکنیک های مختلفی به منظور عمل آوری بتن پیش ساخته استفاده می شود که در این مقاله به آنها خواهیم پرداخت و تاثیر گاز دی اکسید کربن (CO_2) بر بتن پیش ساخته را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

¹ Precast Concrete

² Curing

2- روش ها و تکنیک های عمل آوری بتن پیش ساخته

معمولا هنگام تولید قطعات بتنی پیش ساخته، به منظور تسریع در گرفتن و سخت شدن آن از حرارت، رطوبت، فشار یا ترکیبی از آنها استفاده می شود. هدف اصلی از عمل آوری بتن پیش ساخته، جلوگیری از دست رفتن رطوبت بتن در مرحله هیدراتاسیون می باشد. حرارت دادن به بتن تازه باید به گونه ای انجام شود که حرارت به صورت تدریجی زیاد شود و سپس به طور یکنواخت به بتن اعمال گردد. در مرحله بعد، بتن به آرامی خنک شود و پس از اتمام مرحله پروراندن به دمایی نزدیک دمای محیط رسانیده شود.

2-1- عمل آوری بواسطه حفظ رطوبت

به طور کلی، عمل آوری با رطوبت، به واسطه یکی از روش های زیر انجام می گیرد:

- پوشش سطح بتن به کمک ورق های پلی اتیلن با ضخامت حداقل 6 میلی متر طبق استاندارد ASTM C 171
 - پوشش سطح بتن به کمک کرباس و حفظ رطوبت
- در صورتی که دمای هوا زیر 10 درجه سانتی گراد باشد، دوره عمل آوری باید تمدید شود.

2-2- عمل آوری به کمک حرارت و رطوبت

به طور کلی بتن قبل از رسیدن به گیرش اولیه، نباید در معرض بخار یا هوای گرم قرار گیرد. لذا در صورت استفاده از بخار، باید در یک فضای مناسب بر بتن اعمال شود، تا امکان گردش آزادانه بخار طبق آیین نامه ACI517-2R میسر گردد.

در صورت استفاده از حرارت هنگام عمل آوری بتن، پیش بینی هایی در مورد جلوگیری از افت رطوبت بتن باید در نظر خواهد شد. باید توجه شود که در هر صورت، دمای بتن نباید از 65 درجه سانتی گراد تجاوز کند. لازم به ذکر است که عملیات عمل آوری بعد از حدود 16 ساعت در کارخانه انجام می گیرد.

معمولا روش استاندارد عمل آوری بتن پیش ساخته بدین صورت است که قطعات بتنی وارد تونل های هوای گرم بین 33 تا 35 درجه سانتی گراد و با رطوبت 75٪ می شوند. قطعات به طور خودکار مسیر تونل را در مدت حدود 10 ساعت طی می نمایند که این مطلوب ترین وضعیت برای عمل آوری بتن می باشد و پس از این مدت، حدود 70٪ مقاومت بتن کسب می شود و بعد از آن برای حمل و نقل آماده می شوند.

به طور کلی روش های عمل آوری بتن پیش ساخته به دو گروه اصلی به شرح ذیل طبقه بندی می شود:

گروه اول- شرایط عمل آوری سنتی: در این حالت، دمای عمل آوری بین 10 الی 32 درجه سانتی گراد می باشد.

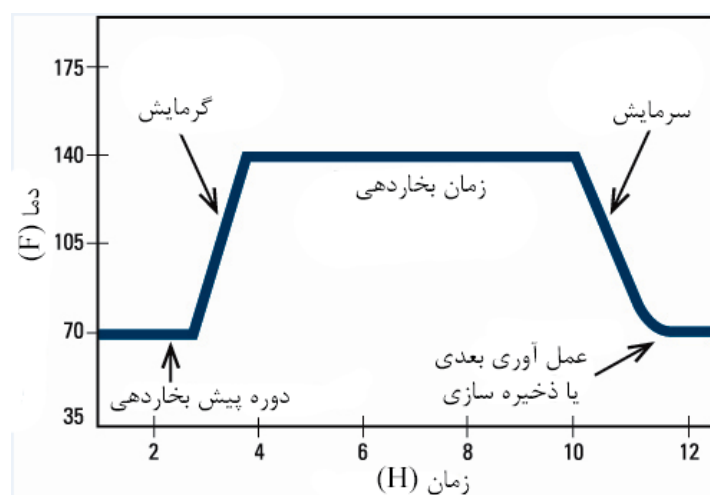
گروه دوم- عمل آوری با بخار با فشار کم: در این حالت، دمای عمل آوری بتن حدود 60 درجه سانتی گراد می باشد.

در عمل آوری بتن پیش ساخته لازم است که دما در شرایط مطلوب حفظ شده و مقدار رطوبت 80 درصدی برای بتن تازه ریخته شده فراهم گردد. در شرایطی که نسبت آب به سیمان (w/c) کم باشد، عمل آوری مناسب اهمیت ویژه ای خواهد داشت.

به طور کلی، مزایای جلوگیری از دست رفتن آب بتن در مرحله هیدراتاسیون عبارتند از:

- کسب مقاومت لازم بتن
- کاهش نفوذپذیری بتن
- کاهش جمع شدگی پلاستیک بتن

حین انجام هیدراتاسیون، سیمان موجود در مخلوط تشکیل ژل می دهد. در این حالت، اندازه حفره های داخلی بتن کاهش یافته و خاصیت ضد آب بودن بتن افزایش می یابد.



شکل 1: عمل آوری بتن پیش ساخته با استفاده از بخار

2-2-1- عمل آوری سنتی

یکی از معمول ترین روش های عمل آوری بتن پیش ساخته، استفاده از روش های سنتی می باشد. این روش شامل مرطوب کردن مداوم سطح بتن با آب در طول زمان معین می باشد. بدین منظور روی قطعات را با الیاف کتان پوشانده و آن را به طور مداوم با آب خیس نگه می دارند. لذا لازم است لایه کتان به طور مداوم مرطوب نگه داشته شود. در صورت عدم اجرای صحیح این روش عمل آوری، بتن ترک خواهد خورد.

روش عمل آوری غشایی^۳ نیز از انواع دیگر روش های سنتی عمل آوری محسوب می شود. در این روش از ورق های پلی اتیلن یا مصالح مشابه استفاده می شود. با استفاده از این روش، نیاز به آب خارجی جهت مرطوب نگه داشتن بتن برطرف می شود.

این روش برای بتن هایی که نسبت آب به سیمان آنها کمتر از 0.5 می باشد باید با احتیاط استفاده شود. کاربرد این روش در بتن های حاوی پوزولان پیشنهاد نمی شود. ورق های پلی اتیلن باید حداقل دارای ضخامت حدود 4 میلیمتر باشند و بلافاصله پس از سخت شدن اولیه بتن مورد استفاده قرار گیرند. همپوشانی ورق ها باید حدود 40 سانتی متر در نظر گرفته شود. در کلیه سطوح روباز، شامل لبه ها و درزهای باز باید از تبخیر رطوبت جلوگیری شود. ورق های مذکور معمولاً یک الی 3 ساعت بعد از ریختن بتن مورد استفاده قرار می گیرند.

2-2-2- عمل آوری با فشار کم بخار

در این روش، دو عامل اساسی که نقش تعیین کننده ای در سرعت بخشیدن به مراحل عمل آوری دارند عبارتند از:

- افزایش رطوبت
- افزایش دما

هر دو عامل فوق باعث افزایش سرعت هیدراتاسیون می شوند. لذا به منظور کسب بهترین نتایج لازم است:

الف- افزایش درجه حرارت پس از گیرش اولیه بتن تازه (پس از 2 الی 4 ساعت)

ب- افزایش تدریجی دما که بیشتر از 5 درجه سانتی گراد در ساعت نباشد. دما نیز بین 48 الی 60 درجه سانتی گراد باشد.

ج- حفظ رطوبت نسبی بین 75 الی 90 درصد

د- در صورت نیاز، پس از بخار دادن، عمل آوری با رطوبت ادامه یابد.

³ Membrane Curing



شکل 2: عمل آوری بتن پیش ساخته به روش پوشش سطحی

2-3- عمل آوری با گاز دی اکسید کربن

به طور کلی، تولید سیمان به عنوان دومین صنعت بزرگ تولید و انتشار گاز دی اکسید کربن مطرح می باشد و سهم 5 درصدی در میزان انتشار جهانی گاز CO₂ را به خود اختصاص داده است. [3]

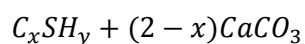
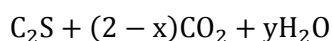
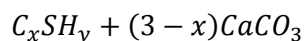
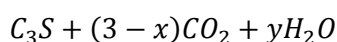
لذا لازم است میزان انتشار کربن توسط شرکت های تولیدی و دیگر منابع مورد بررسی و مدیریت دقیق قرار گیرد. بدین منظور می توان از استانداردهای بین المللی نظیر ISO 14064 استفاده کرد.

در عین حال، تحقیقات مربوطه به استفاده از گاز دی اکسید کربن در عمل آوری بتن پیش ساخته در دانشگاه مک گیل کانادا انجام شده است. نتایج بدست آمده حاکی از آنست که استفاده از گاز دی اکسید کربن به منظور عمل آوری بتن پیش ساخته دارای مزایایی به شرح ذیل می باشد:

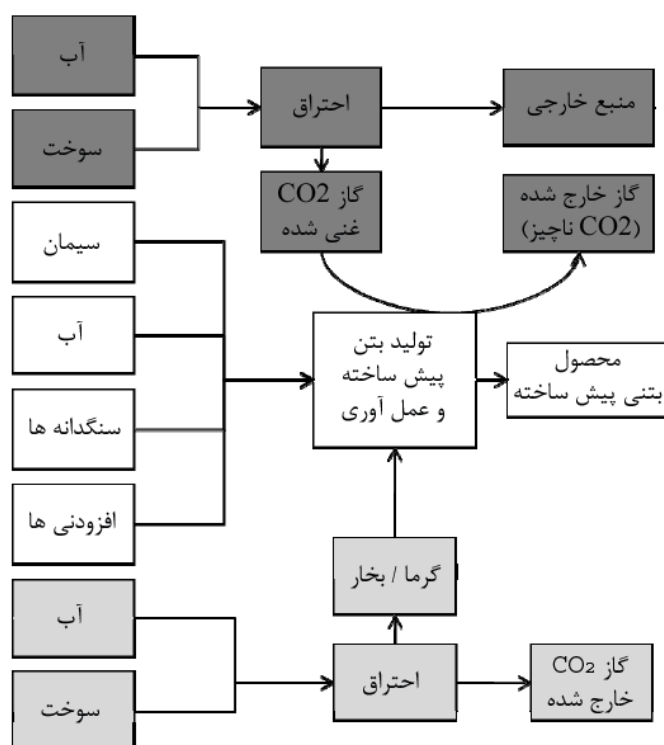
- افزایش سرعت کسب مقاومتی بتن
- کاهش مصرف انرژی
- بهبود دوام بتن

هنگامی که گاز دی اکسید کربن به کربنات کلسیم پایدار تبدیل می شود، این گاز در هیدرات سیلیکات کلسیم پنهان خواهد شد. بلوک های مصالح بنائی و پانل های حاوی سیمان الیافی از منابع عمده محصولات ساختمانی ذخیره کننده کربن محسوب می شوند. بطوریکه به صورت حجیم تولید شده و در آنها از روش عمل آوری با بخار استفاده شده است. به طور کلی هدف از استفاده گاز دی اکسید کربن در بتن پیش ساخته، کاهش انرژی، تولید حداقل میزان CO₂ و عملکرد بالای بتن پیش ساخته می باشد. لازم به ذکر است که محصولات بتنی پیش ساخته جزو محصولات ساختمانی دوست دار طبیعت محسوب می شوند زیرا دارای کمترین آسیب به محیط زیست می باشند و در عین حال پروسه تولید آنها با سرعت بالایی انجام می شود. لذا در صورتی که در عمل آوری آنها به جای بخار از گاز دی اکسید کربن استفاده شود، بیشتر دوست دار محیط زیست خواهند بود. لذا کلیه آیین نامه های ساختمانی به تدریج به سمت استفاده از مصالح دوست دار طبیعت تغییر جهت داده اند بطوریکه بتن پیش ساخته یکی از این مصالح به شمار می رود. [4]

به طور کلی استفاده از این گاز در عمل آوری بتن پیش ساخته باعث افزایش مقاومت و دوام بتن تولیدی، بواسطه کاهش میزان تخلخل آن می باشد. علاوه بر آن، استفاده از این گاز روند تولید را بهبود می بخشد. مطالعات انجام گرفته حاکی از آنست که استفاده از گاز CO₂ حاصل از کوره پخت سیمان در تولید قطعات بتنی پیش ساخته باعث کاهش آلودگی ناشی از CO₂ و در عین حال تسریع کسب مقاومت اولیه بتن می گردد. لذا بیشترین میزان مقاومت اولیه پس از چند دقیقه تا چند ساعت بدست می آید. واکنش های حاصل به صورت زیر می باشند:



معمولا واکنش کربناتی در بتن سخت شده اتفاق می افتد. این واکنش، واکنشی است بین دی اکسید کربن و محصولات حاصل از هیدراتاسیون همچون هیدروکسید کلسیم (CH) و سیلیکات کلسیم هیدراته شده (C-S-H). نتیجه این واکنش تشکیل ژل سیلیس و CaCO_3 می باشد.



شکل 3: دیاگرام مراحل عمل آوری بتن با گاز CO_2 (بخش بالا و هاشورخورده) و عمل آوری سنتی با بخار (بخش پایین و تیره) - هر دو روش، فرآیند تولید بتن پیش ساخته را به اشتراک می گذارند (بخش میانی بدون رنگ)

به طور کلی یکی از موثرترین روش های کنترل میزان انتشار کربن، تولید سنگدانه های فاقد کربن و مصالح سمنتی بواسطه تبدیل کربن های انتشار یافته به محصولات معدنی مفید می باشد. [5]

جدول 1: داده های ورودی تولید بتن پیش ساخته [6]

شدت مبتنی بر اشکال مصرف (t concrete)	ورودی های تولید
353 MJ	انرژی کل
155 MJ	عمل آوری با بخار
198 MJ	غیره
369 L	کل آب مصرفی
142 L	عمل آوری با بخار
217 L	در دسترس
10 L	بازیافت شده
458 kg	اختلاط بتن*
242 kg	درشت دانه
78 kg	ریزدانه
220 kg	آب اختلاط
	سیمان
	مواد افزودنی**

* طرح اختلاط برای بتن با مقاومت فشاری 28 روزه برابر با 50 MPa

**سهم ناچیز در جرم

2-4- دیگر روش های تسریع عمل آوری بتن پیش ساخته

به طور کلی، از روش های متداول دیگری نیز به منظور تسریع عمل آوری بتن پیش ساخته استفاده می شود که عبارتند از:

- قالب ها در مدت زمان بیشتری برداشته شوند.
- سیمان به عنوان آخرین جزء اختلاط به مخلوط اضافه شود.
- در صورتی که قطعه بتنی پیش ساخته از نوع نازک با بازشو باشد، لازم است دمای ماکزیمم کاهش یابد.

2-5- شرایط خاص

در صورتیکه دما کمتر از 10 یا بیشتر از 32 درجه سانتی گراد باشد، نیاز به تمهیدات ویژه ای خواهد بود. هنگامی که درجه حرارت خیلی پایین باشد، سرعت هیدراتاسیون کاهش چشم گیری خواهد داشت. لذا دمای پایین تر از 10 درجه سانتی گراد قابل قبول و مناسب نخواهد بود. لازم به ذکر است که حرارت اعمال شده به قطعات بتنی پیش ساخته باید به طور یکنواخت باشد. در این شرایط، در صورت نیاز توصیه می شود که آب اختلاط و حتی سنگدانه ها نیز گرم شود. در هر صورت دمای آب نباید از 60 درجه سانتی گراد تجاوز کند. زیرا افزایش دما تاثیر مستقیمی بر افزایش سرعت هیدراتاسیون بتن پیش ساخته خواهد داشت. هنگامی که دمای موجود بیش از 32 درجه سانتی گراد باشد، دمای بتن مخلوط شده را باید با استفاده از ایجاد سایه بر روی سنگدانه ها پایین آورد. آب پاشی سنگدانه ها نیز باعث خنک کردن آنها و کاهش دمای آن می گردد. در شرایط خاص، می توان از یخ در آب اختلاط استفاده کرد. در کلیه شرایط، بتن تازه ریخته شده باید از تابش مستقیم نور خورشید محافظت شود.

لازم به ذکر است که فرآیند عمل آوری بتن پیش ساخته معمولا چند ساعت پس از ریختن بتن انجام می شود و نقش بسیار تعیین کننده ای در تولید قطعات بتنی پیش ساخته با کیفیت بالا ایفا می کند. به طوری که عمل آوری مناسب هم بر روی مقاومت اولیه و هم مقاومت بلند مدت تاثیر مستقیم دارد. در نتیجه عمل آوری مناسب، قطعات تولیدی دارای نفوذپذیری کمتر، دوام بیشتر و سختی سطحی بیشتری خواهند بود.

3- عوامل تاثیرگذار بر دمای عمل آوری بتن پیش ساخته

به طور کلی، عوامل مختلفی بر دمای عمل آوری بتن پیش ساخته تاثیرگذار است که عبارتند از:

- نوع و مقدار مصالح سمنتی
- اندازه و شکل مقطع
- عایق مناسب قالب
- دمای بتن ریخته شده
- شرایط موجود محیطی

به طور کلی، نوع و مقدار مصالح سمنتی مورد استفاده در ساخت قطعات بتنی پیش ساخته، تاثیر قابل توجهی بر دمای بتن خواهد داشت. لذا افزایش حدود 5 الی 6 درجه سانتی گراد به ازای هر 60 کیلوگرم مصالح سمنتی در هر متر مکعب بتن قابل قبول می باشد.

در عین حال، اندازه و شکل مقطع بتنی نیز بر دمای بتن تاثیرگذار می باشد. بطوری که در مقاطع بتنی بزرگتر، افزایش دمای داخلی بتن بیشتر می باشد. حرارت هیدراتاسیون داخلی بتن نباید در بتن های حجیم به سرعت بالا رود. اما در مقاطع باریک و کوچک مجاز است.

از عوامل دیگر تاثیرگذار بر دمای عمل آوری بتن پیش ساخته، عایق کاری مناسب قالب می باشد. این کار باعث می شود تا دمای بتن به نحو مطلوبی حفظ شود.

به طور کلی، دمای عمل آوری از فاکتورهای بسیار مهم تاثیرگذار بر کیفیت بتن می باشد. در صنعت بتن پیش ساخته، مهمترین مشخصه کوتاه مدت، مقاومت بتن می باشد به نحوی که باید مقاومت بتن با سرعت افزایش یابد. در عین حال، مدول الاستیسیته بتن نیز باید در شرایط مطلوبی باشد. بطوری که تاثیر دما بر مدول الاستیسیته مشابه تاثیر آن بر مقاومت فشاری می باشد. لذا با افزایش دما در سنین اولیه بتن، مدول الاستیسیته نیز افزایش خواهد یافت. خزش و جمع شدگی بتن نیز از دیگر فاکتورهای قابل توجه می باشد. کلیه فاکتورهای ذکر شده تحت تاثیر دمای عمل آوری قرار دارند. دما از دیگر عوامل بسیار مهم در کسب مقاومت بتن در سنین اولیه می باشد. طی 24 ساعت اولیه، افزایش دما، باعث افزایش مقاومت می گردد. در نتیجه، مقاومت کوتاه مدت و بلند مدت، هر دو در صنعت پیش ساخته دارای اهمیت می باشند.

4- عوامل تاثیرگذار بر انتخاب روش عمل آوری بتن پیش ساخته

جدول 2: عوامل تاثیرگذار بر انتخاب روش عمل آوری

<ul style="list-style-type: none"> • عضو بتنی پیش ساخته به صورت افقی است یا قائم؟ • عضو باریک است یا ضخیم؟ مقاطع ضخیم تر نظیر ستون های بزرگ یا بتن حجیم معمولاً خود عمل آوری⁴ می شوند اما لازم است که میزان دما در لایه های خارجی کنترل شود. • عضو بتنی درجا⁵ است یا پیش ساخته؟ معمولاً قطعات بتنی پیش ساخته به روش عمل آوری با فشار کم بخار عمل آوری می شوند در صورتیکه ممکن است در یک عضو بتنی از روش اتوکلاو استفاده شود. 	<p>نوع عضو</p>	<p>شرایط کلی</p>
<ul style="list-style-type: none"> • آیا در محل موردنظر امکان عمل آوری بتن وجود دارد؟ • شرایط آب و هوایی گرم است یا سرد؟ در صورتی که دمای هوا از 30 درجه سانتی گراد بیشتر و یا از 10 درجه کمتر باشد، نیاز به تمهیدات خاصی خواهد بود. • آیا محل در معرض باد قرار دارد؟ در این صورت لازم است به منظور جلوگیری از ایجاد ترک خوردگی های انقباضی پلاستیک⁶ تمهیدات خاصی مدنظر قرار گیرد. 	<p>شرایط محیطی</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • تاثیر فعالیت های کارگاهی و برنامه زمانبندی ساخت • آیا احتمال دارد که هوا سرد شود؟ در این روش به آسانی می توان عایق اجرا کرد. • آیا رنگ یکنواخت بتن مشخص شده است؟ 	<p>حفظ و نگهداری قالبها</p>	<p>عمل آوری با غشاء غیر قابل نفوذ⁷</p>

⁴ Self-Curing

⁵ In-situ

⁶ Plastic Shrinkage Cracking

⁷ Impermeable Membrane Curing

<ul style="list-style-type: none"> • تاثیر عملیات اجرایی بر انتخاب این روش چیست؟ • آیا نکات ایمنی در نظر گرفته شده اند؟ ورق های پلاستیکی ممکن است لغزنده بوده و در قسمت های افقی می تواند مخاطره آمیز باشد. • آیا احتمال دارد که هوا سرد یا گرم شود؟ رنگ ورق های پلاستیکی باید متناسب با شرایط آب و هوایی انتخاب شود. • آیا وضعیت به گونه ای است که ورق های پلاستیکی بدون خطر ایجاد هرگونه سوراخ شدگی اجرا شوند؟ • آیا رنگ یکنواخت بتن مشخص شده است؟ 	<p>ورق های پلاستیکی⁸</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • توصیه های تولیدکننده چیست؟ نحوه و زمان استفاده تاثیر مستقیمی بر اثربخشی عمل آوری دارد. آیا ویژگی های محصول مطابق با AS 3799 می باشد؟ • بافت سطحی بتن چگونه است؟ • آیا در یک محل مشخص می توان از یک مصالح به صورت یکنواخت استفاده کرد؟ اگر محل کارگاه در معرض باد باشد، استفاده از دو مترال مختلف می تواند مشکل ساز باشد. • آیا روی سطح از مصالح دیگری نظیر کاشی یا سرامیک استفاده خواهد شد؟ • آیا تهمیدات مربوط به سلامت کارگران در نظر گرفته شده است؟ برخی مترال ممکن است سمی باشند و استفاده از آنها در مکان های بسته می تواند خطرناک باشد. 	<p>مصالح و ترکیبات عمل آوری</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • آیا امکان استفاده از این روش در کارگاه فراهم می باشد؟ آیا مصالح مناسبی نظیر خاک رس که بتواند ایجاد حوضچه آب نماید وجود دارد؟ • آیا احتمال دارد که هوا گرم شود؟ روش غرقاب کردن، روشی مناسب برای حفظ دمای یکنواخت در دال های بتنی محسوب می شود. • آیا بافت و رنگ بتن مشخص شده است؟ مصالحی نظیر رس ممکن است باعث ایجاد لکه در بتن شوند. 	<p>غرقاب کردن</p>	<p>عمل آوری با آب</p>

⁸ Plastic Sheeting

<ul style="list-style-type: none"> • تاثیر استفاده از این روش بر پروسه اجرایی کارگاه چیست؟ • آیا منبع کافی جهت تامین آب وجود دارد؟ • آیا به طور مستمر می توان عضو را به این روش مرطوب نگه داشت؟ خیس شدن ها و خشک شدن های متناوب می تواند زیان آور باشد. • آیا محل کارگاه در معرض باد قرار دارد؟ وجود باد کار را سخت خواهد کرد. 	<p>پاشش آب</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • تاثیر استفاده از این روش بر پروسه اجرایی کارگاه چیست؟ • آیا به طور موثر می توانند کل سطوح را بپوشانند؟ • آیا محل کارگاه در معرض باد قرار دارد؟ قرار دادن این پوشش ها در مقایسه با ورق های پلاستیکی آسان تر است. • آیا بافت و رنگ بتن مشخص شده است؟ ماسه باید دارای مقادیر بسیار کم رس باشد و آب مصرفی فاقد هر گونه آلودگی و مواد مضر باشد. • آیا پوشش ها را می توان به طور دائم مرطوب نگه داشت؟ خیس شدن ها و خشک شدن های متناوب می تواند زیان آور باشد. 	<p>پوشش های مرطوب</p>	

5- نتیجه گیری

استفاده از بتن های با مقاومت و دوام بالا یکی از مهمترین مشخصه ها در سازه های مختلف با کاربری های متفاوت محسوب می شود. همواره سعی بر آنست تا با استفاده از روش های مختلف بتن های با مقاومت و دوام بالا تولید کرد. در این میان، بتن پیش ساخته به عنوان یکی از انواع ممتاز بتن های موجود در بازار همواره سهم عمده ای از صنعت ساخت و ساز را به خود اختصاص می دهد. نتایج بدست آمده در زمینه عمل آوری بتن پیش ساخته، که در حقیقت تاثیر مستقیمی بر مقاومت و دوام آن ایفا می کند، حاکی از آنست که انتخاب روش مناسب عمل آوری متناسب با فاکتورهای مختلف نظیر ابعاد عضو، شرایط آب و هوایی، در دسترس بودن و... می تواند تاثیر بسزایی در برآورده کردن مشخصات فنی قطعات تولیدی ایفا نماید. بدین منظور روش ها و تکنیک های عمل آوری مختلفی ارائه شده است که هر یک متناسب با شرایط منحصر به فرد هر پروژه می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این میان، استفاده از گاز دی اکسید کربن به عنوان یکی از روش های نوین عمل آوری بتن پیش ساخته، می تواند گامی موثر در جهت رسیدن به مقاومت و دوام قابل توجه در قطعات مذکور گردد. مطالعات انجام گرفته حاکی از آنست که استفاده از گاز CO₂ حاصل از کوره پخت سیمان در تولید قطعات بتنی پیش ساخته باعث کاهش آلودگی ناشی از CO₂ و در عین حال تسریع کسب مقاومت اولیه بتن می گردد.

مراجع

- [1] van Oss H.G. 2007. 2005 Minerals Yearbook - Cement. In: US Geological Survey ed.
- [2] IPCC 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contributions of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report on the Intergovernmental Panel on Climate Change. 104 p.
- [3] Damtoft J.S., Lukasik J., Herfort D., Sorrentino D., Gartner E.M., 2008. Sustainable development and climate change initiatives. Cement and Concrete Research. 38(2), 115-127.
- [4] Holton I. 2008. Sustainability Matters: Third Annual Progress Report from the Precast Industry.
- [5] Calera. 2010b. Our Story. http://www.calera.com/index.php/about_us/our_story/.
- [6] Marceau M.L., Nisbet M.A., VanGeem M.G. 2007. Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete. 1-120 p.