ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان چاپ:۱۴۰۱/۰۸/۲۰

نحوه کیورینگ و عمل آوری بتن و تاثیر آن بر مقاومت بتن در پروژه احداث راه آهن چابهار-زاهدان قطعه دو

امید نوروزی انگنایی[۱]، علی باقری روشتی[۲]، وحید نوری موسی[۳]

۱- فوق لیسانس مهندسی عمران، مسئول متره برآورد کارگاه احداث راه آهن چابهار به زاهدان، موسسه پایدار سازان

۲- لیسانس مهندسی عمران، سرپرست کارگاه احداث راه آهن چابهار به زاهدان، موسسه پایدار سازان

۳- لیسانس مهندسی معماری، مسئول کنترل کیفیت کارگاه احداث راه آهن چابهار به زاهدان، موسسه پایدار سازان

(omidnorooozi67@gmail.com)

چکیده

بدون فراهم آوردن رطوبت مناسب، مصالح سیمانی بتن قادر به واکنش‌دهی مناسب جهت پدید آمدن محصولی با کیفیت نیستند. تبخیر آب یا خشک شدن زود هنگام بتن ممکن است آب مورد نیاز برای انجام واکنش های شیمیایی در بتن را ازبین ببرد (که منظور از واکنش شیمیایی هیدراسیون گفته می شود) و در نتیجه بتن قادر به رسیدن به خواص مطلوب خود نمی-باشد. در این پژوهش به تعاریف مبحث کیورینگ بتن و انواع روش‌های عمل آوری بتن و راه‌های بالابردن مقاومت بتن در شرایط مختلف با استفاده از تجارب عملی در پروژه احداث راه‌آهن چابهار-زاهدان قطعه۲ پرداخته شده است تا این تحقیق منبع کاملی برای مطالعه دانشجویان، اساتید و مسئولین اجرایی باشد. براساس یافته‌های این پژوهش باید بیان نمود که براساس ویژگی‌های مختلف بتن، اعم از مقاومت در برابر چرخه‌ی انجماد و ذوب شدن آب، مقاومت، مقاومت در برابر آب، مقاومت در برابر فرسایش و ثبات حجم و یا افزایش دوام و عمر بتن به این نکته بستگی دارد که کیورینگ تا زمانی که واکنش هیدراسیون در حال انجام است، ادامه پیدا کند. طول مدت زمان کیورینگ به ویژگی‌های مختلفی از جمله نوع سیمان مورد استفاده، مواد مورد استفاده در مخلوط، مقاومت مورد نظر، اندازه و شکل سنگدانه‌ها، آب و هوای محیط و شرایط محیطی در آینده بستگی دارد. کیورینگ بتن می‌تواند بین چند روز تا چند ماه طول بکشد. در مورد تاثیر دما به‌طور کلی، هر چه دمای بتن در زمان بتن‌ریزی بالاتر باشد، نرخ اولیه کسب مقاومت بیشتر بوده، اما مقاومت بلند مدت کمتر خواهد بود. به همین دلیل کاهش دمای بتن تازه در زمان بتن ریزی در اقلیم های گرمسیری حائز اهمیت است.

کلمات کلیدی: عمل آوری بتن، دمای بتن، مقاومت بتن، تاثیر دما بر مقاومت بتن،

مقدمه

در این پژوهش به تعاریف مبحث کیورینگ بتن و انواع روش‌های عمل آوری بتن و راه‌های بالابردن مقاومت بتن در شرایط مختلف با استفاده از تجارب عملی در پروژه احداث راه‌آهن چابهار-زاهدان قطعه۲ پرداخته شده است تا این تحقیق منبع کاملی برای مطالعه دانشجویان، اساتید و مسئولین اجرایی باشد. در ابتدا به معرفی پروژه مورد نظر می‌پردازیم.

اهمیت و موقعیت پروژه راه آهن چابهار-زاهدان

پروژه راه‌آهن چابهار- زاهدان یکی از طرح‌های مهم ملی درحال اجرا در سیستان و بلوچستان است که تکمیل و راه‌اندازی آن تحولات چشمگیری در ارتباطات تجاری کشورهای مختلف و توسعه و پیشرفت استان‌های جنوب شرق کشور ایجاد می‌کند. توسعه بندر چابهار و ارتقای ظرفیت تخلیه و بارگیری آن تا ۸,۵ میلیون تن ایجاب می‌کند که خط ریلی چابهار- زاهدان- میلک- سرخس هرچه سریع‌تر تکمیل شود تا تجار و سرمایه گذاران داخلی و خارجی با شوق و اشتیاق بیشتری در سیستان و بلوچستان حضور یابند و با سرمایه گذاری در این منطقه تحول بزرگی در صادرات و واردات و چرخه اقتصادی کشور ایجاد کنند.

ایجاد زیرساخت ریلی سبب دسترسی بهتر به معادن غنی استان شده و بهره‌برداری از آن‌ها را مقرون به صرفه می‌کند، علاوه بر این مقدمات لازم برای سرمایه گذاری در زمینه فعال‌سازی ظرفیت معادن غنی شرق کشور فراهم می‌شود.

شکل شماره (۱۱) : موقعیت و مسیر پروژه احداث راه آهن چابهار به زاهدان

وضعیت سازه‌های موجود در قطعه دو از پروژه احداث راه‌آهن چابهار-زاهدان

قطعه دو به طول ۶۷ کیلومتر (۱۴۲-۷۵)، یکی از هشت قطعه از پروژ عظیم راه آهن چابهار به زاهدان با عبور از مناطق کوهستانی، یکی از ناهموارترین قطعات پروژه می‌باشد. این قطعه از پروژه دارای ۱۷ دستگاه پل خاص که مجموعا شامل ۶۶ دهانه می‌باشد. از آنجا که در هر دهانه پل خاص ۴ عدد تیر نصب می‌گردد،

همچنین این قطعه از پروژه دارای ۳ دستگاه تونل بنام‌های پوزک۱، پوزک۲ و پوزک۳ و مجموعا به طول ۲۳۴۸ متر است، علاوه برآن، ۸۰۹ متر طول گالری و ۲۳۰ دستگاه آبرو از یک دهانه تا ۷ دهانه می‌باشد که وجود تعداد بسیار زیاد سازه اهمیت کیورینگ و نگهداری بتن را بیش از پیش مطرح می‌سازد.

کیورینگ بتن (عمل آوری بتن)

عمل‌آوری (کیورینگ) حفظ میزان رطوبت و دمای مناسب بتن در سنین اولیه آن (پس از عملیات بتن ریزی) است، به گونه‌ای که بتن بتواند به خصوصیات طراحی شده دست پیدا کند. عمل آوری بلافاصله پس از بتن‌ریزی و پرداخت‌کاری شروع می‌گردد به گونه ای باید عمل کرد که بتن بتواند به مقاومت و پایایی مطلوب دست پیدا کند.

بدون فراهم آوردن رطوبت مناسب، مصالح سیمانی بتن قادر به واکنش‌دهی مناسب جهت پدید آمدن محصولی با کیفیت نیستند. تبخیر آب یا خشک شدن زود هنگام بتن ممکن است آب مورد نیاز برای انجام واکنش های شیمیایی در بتن را ازبین ببرد (که منظور از واکنش شیمیایی هیدراسیون گفته می شود) و در نتیجه بتن قادر به رسیدن به خواص مطلوب خود نمی-باشد.

با توجه به سرعت هیدراسیون، دما عامل مهمی در عمل‌آوری مناسب است، در نتیجه‌ی پیشرفت در کسب مقاومت در دماهای

بالاتر سریع‌تر اتفاق می افتد. به‌طور کلی دمای بتن برای دستیابی به سرعت مناسب در کسب مقاومت باید همواره بیش از ۱۰ درجه ی سانتیگراد (۵۰ درجه فارنهایت) باشد. علاوه بر این به‌هنگام کسب مقاومت دمای مشابهی نیز باید درون بتن فراهم آید تا از پدید آمدن ترک‌های حرارتی جلوگیری شود. برای بتن‌های نمایان، رطوبت اضافی و شرایط وزش باد نیز عوامل مهمی محسوب می‌شوند. این دو عامل با اثر گذاشتن بر سرعت از دست‌دادن رطوبت بتن سبب پدید آمدن ترک، کاهش کیفیت سطح بتن و نیز دوام آن می‌گردند. برای جلوگیری از ترک خوردگی انقباضی خمیری در نظر گرفتن تدابیر احتیاطی جهت کنترل نمودن تبخیر رطوبت از سطح بتن قبل از قرارگیری آن در محل ضروری است.

دمای محیط و تاثیر آن بر بتن

دما محیط فاکتور مهمی در عمل آوری بتن می‌باشد، بی‌شک افزایش درجه حرارت عمل‌آوری باعث تسریع واکنش‌های شیمیایی هیدراسیون می‌گردد، ولی اثرات نامساعد درجه حرارت زیاد بر مقاومت بعدی در عمر بتن متفاوت است. در روزهای اول عمر بتن که رطوبت مورد نیاز عمل هیدراسیون در داخل بتن وجود دارد، افزایش درجه حرارت روند کسب مقاومت بتن را افزایش می‌دهد. اما بعد از ۲۸ روز که عملیات هیدراسیون نسبتا" تکمیل شده است، افزایش درجه حرارت موجب کاهش رطوبت بتن می‌شود و روند کسب مقاومت بتن کاهش می‌یابد.

حداقل نسبت آب به سیمان برای هیدراسیون کامل سیمان تقریبا ۰/۲۲ تا ۰/۲۵ است .مادام که سیمان هیدرات نشده موجود باشد، افزایش مقاومت بتن نسبت به زمان ادامه می‌یابد، مشروط بر اینکه بتن مرطوب باقی بماند یا رطوبت نسبی داخل بتن بیش از ۸۰ درصد بوده و دمای بتن نیز مناسب و مطلوب باشد.

سیمان پرتلند پوزولانی با توجه به مواد جانشین سیمان، خیلی بکندی مقاومت کسب می‌نماید، بنابراین احتیاج به یک زمان عمل‌آوری نسبتا طولانی نسبت به سیمان پرتلند معمولی دارد و براین اساس توصیه می‌شود که برای سیمان پرتلند پوزولانی در دمای کمتر از شش درجه حتما از مواد افزودنی بتن استفاده شود.

✓ روش ها و مواد عمل آوری (کیورینگ) بتن

بتن را می توان به کمک سه روش عمل آوری، مرطوب نگه داشت:

۱- روش‌هایی که با اشباع کردن محیط پیرامون بتن، حضور آب اختلاط در بتن را در دوره سخت شدن اولیه حفظ می‌کنند. این روش ها شامل ایجاد برکه یا غوطه‌ور کردن، آبپاشی و پوشش‌های خیس اشباع شده مانند گونی خیس می‌باشد.

۲- روش هایی که از طریق اندود کردن سطح، از کاهش آب اختلاط بتن جلوگیری می‌کنند. این کار را می توان از طریق پوشاندن بتن با کاغذ نفوذ پذیر یا ورق‌های نایلون انجام داد.

۳- روش‌هایی که با تامین حرارت و رطوبت اضافی برای بتن، رشد مقاومت آن را تسریع می‌کنند. این کار معمولا با بخار زنده، سیم پیچ های گرما زا، قالب‌ها یا بالشتک‌هایی که با برق گرم می‌شوند، انجام می‌گیرد.

✓ دلایل مهم جهت انجام کیورینگ (عمل آوری) بتن

الف: دستیابی به مقاومت از پیش تعین شده

تست‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهند که بتن در محیط های خشک بالغ بر نیمی از مقاومت خود را در مقایسه با بتنی که در محیطی مرطوب عمل‌آوری شده است از دست می‌دهد. بتنی که در دمای بالا ریخته شده است به سرعت به مقاومت اولیه میرسد اما به مرور زمان ممکن است از مقاومتش کاسته شود. ریختن بتن در هوای سرد بدون تمهیدات لازم موجب می‌شود که زمان بیشتری طول می‌کشد تا بتن مقاومت اولیه را کسب کند و همچنین در معرض یخ زدگی قرار خواهد گرفت.

ب: بهبود دوام و پایایی بتن در برابر عوامل محیطی

بتن خوب عمل‌آوری شده سطحی سخت تر ونیز مقاوم‌تر در برابر آب سطحی و سایش خواهد داشت. همچنین عمل آوری مناسب و خوب نفوذپذیری بتن را کاهش می‌دهد که این عمل مانع از ورود رطوبت و مواد شیمیایی مخرب موجود در آب به درون بتن میشود. و در نتیجه افزایش مقاومت بتن با عمل آوری را منجر می‌شود.

کیورینگ بتن یا عمل آوری مرحله‌ای بعد از بتن‌ریزی است که هدف از آن حفظ و ارتقا ویژگی های مختلف بتن به وسیله‌ی جلوگیری از کاهش رطوبت بتن می‌باشد. در نتیجه واکنش هیدراسیون بتن به خوبی صورت می‌پذیرد. از آن جایی که هیدراسیون سیمان ساعت‌ها، روزها و حتی هفته‌ها زمان می‌برد، لازم است تا کیورینگ مناسب هم‌زمان با این واکنش بر روی بتن انجام شود تا به بالاترین مقاومت و دوام بتن دست پیدا کنیم. هم‌چنین کیورینگ بتن با مقاومت بالا شامل کنترل دمای بتن در حال هیدراسیون نیز می‌باشد، چرا که دما نیز یکی از عوامل تأثیرگذار بر روی هیدراسیون سیمان است. این که کیورینگ بتن چه مدت زمانی طول می‌کشد، بستگی دارد به ویژگی‌هایی که ما از بتن می‌خواهیم. همچنین به میزان رطوبت و دمای محیطی که در آن بتن‌ریزی صورت پذیرفته نیز ارتباط دارد.

✓ چگونگی کیورینگ (عمل آوری) بتن

رطوبت مورد نیاز برای عمل آوری بتن

از بتن باید در مقابل از دست دادن رطوبت تا زمانیکه اندود کاری نهایی صورت می‌گیرد با استفاده از روش‌های مناسبی مانند مانع باد، اسپری‌های پرکننده برای جلوگیری از پدید آمدن ترکهای انقباضی خمیری محافظت نمود. پس از تسطیح نهایی، سطح بتن باید حداقل برای مدت چند روز بطور مداوم مرطوب یا پوشیده بماند تا از فرآیند تبخیر جلوگیری شود.

س‌یستم هایی که بتن را مرطوب نگه می دارند عبارتند از:

الف: گونی و یا حصیرهایی کتانی ویا آبپاش.بایستی دقت شود تا به پوشش‌هایی که اشاره شد اجازه‌ی جذب آب وخشک نمودن بتن داده نشود. لبه‌های بتن نیز باید پوشانده شوند.

ب: زمین مرطوب، ماسه، یا خاک اره را می‌توان برای عمل‌آوری محل کار بکار برد، مخصوصا کف‌ها. بایستی دقت شود تا هیچ-گونه تجمع زنگ‌آهن و مواد آلی در مصالح بکار رفته دیده نشود.

ج: آب پاشیدن مداوم سبب می‌شود تا دمای هوا بالای نقطه انجماد قرار بگیرد. نباید به بتن مابین خیس شدن‌ها اجازه‌ی خشک شدن داد، زیرا خیس و خشک شدن متناوب در هنگام عمل آوری قابل قبول نیست.

کنترل دما:

در هوای سرد در ۲۴ ساعت اولیه نباید به بتن اجازه داد تا با سرعتی بیش از ۳ درجه‌ی سانتیگراد در هر ساعت سرد شود. بتن تا زمانیکه به مقاومت فشاری مناسبی (حداقل ۳,۵ مگاپاسکال) برسد باید در مقابل یخبندان توسط مصالح عایق محافظت شود. روش‌های عمل‌آوری بتن که رطوبت را حفظ می‌کنند در زمانی‌که احتمال یخبندان وجود دارد به جای عمل‌آوری خیس استفاده می‌شوند.

در هوای گرم، دمای اولیه‌ی عمل‌آوری بالاتر منجر به دستیابی سریع‌تر به مقاومت می‌شود و مقاومت نهایی را کاهش می‌دهد. در تابستان عمل‌آوری با آب می‌تواند منجر به دمای پایین‌تری جهت عمل‌آوری بتن شود. تغییرات دمای شب و روز که بیشتر از ۳ درجه‌ی سانتیگراد در هر ساعت باشد، در ۲۴ ساعت اولیه مجاز نمی‌باشد.

یکی از قسمت‌های مهم در عملیات بتن، عمل‌آوری بتن است. عمل‌آوری (کیورینگ)، یعنی نگه داشتن مقدار رطوبت و دمای بتن در حدی رضایت‌بخش در طی دوره ای مشخص، که بلافاصله پس از بتن‌ریزی و اتمام عملیات پرداخت آغاز می‌شود، چنانکه بتن بتواند به خواص مورد نظر برسد به عبارت دیگر فرایندی که از افت رطوبت بتن جلوگیری کرده و دمای بتن در حد رضایت بخش حفظ شود، را عمل‌آوری بتن گویند.

عمل‌آوری بتن بر خواص بتن سخت شده مانند دوام، مقاومت، آب‌بندی، مقاومت سایشی، ثبات حجمی، مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن، نمک‌های یخ زدا، تاثیر بسزایی می‌گذارد.

✓ اهداف کیورینگ یا عمل آوری بتن

۱-جلوگیری از کاهش رطوبت یا تامین رطوبت از دست رفته.

۲-حفظ دمای بتن در حدی مطلوب به مدت زمانی معین.

۳-توسعه مقاومت بتن با تکمیل عملیات هیدراسیون سیمان

✓ مدت کیورینگ یا عمل آوری بتن

مدت زمانی که بتن باید از نظر کاهش رطوبت محافظت شود، به نوع سیمان، نسبت اجزای مخلوط، مقاومت مورد نیاز، اندازه و شکل عضو بتنی، هوای محیط و به شرایط بعدی که بتن در معرض آن قرار خواهد گرفت، یستگی دارد. در این مقاله همه شرایط یکسان فرض شده و فقط نوع سیمان مصرفی (سیمان پرتلند دو– سیمان پرتلند پوزولانی) که اکثرا" در سازه‌های بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بررسی و نتیجه‌گیری می‌شود.

تاثیر عمل آوری در رطوبت بر مقاومت را می‌توان بصورت نمودار زیر که برای بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۵۰ بدست آمده است، مشاهده کرد.

نوع سیمان	شرایط محیطی پس از ریختن بتن در قالب*	دمای متوسط سطح بتن **		
		۵ تا ۱۰ درجه سلسیوس	بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس	هر دمایی بین ۵ تا ۲۵ درجه سلسیوس
نوع ۱ و ۲ و ۳ و ۵	متوسط	۴ روز	۳ روز	$\frac{۶۰}{T+۱۰}$ روز
	ضعیف	۶ روز	۴ روز	$\frac{۸۰}{T+۱۰}$ روز
همه سیمانها به جز نوع ۱ و ۲ و ۳ و ۵ و همه سیمانهای حاوی مواد پوزولانی یا دوباره‌ای	متوسط			
	ضعیف	۱۰ روز	۷ روز	$\frac{۱۳۰}{T+۱۰}$ روز
همه سیمانها	خوب	اقدامی خاص ضرورت ندارد		

* شرایط محیطی مندرج در این ستون به شرح زیر تعریف می‌شوند:
خوب: محیط مرطوب و محافظت شده (رطوبت نسبی بیشتر از ۸۰ درصد و محافظت شده در برابر تابش مستقیم خورشید و باد).
ضعیف: محیط خشک و محافظت نشده (رطوبت نسبی کمتر از ۵۰ درصد و محافظت نشده در برابر تابش مستقیم خورشید و باد).
متوسط: شرایطی بین دو حد خوب و ضعیف.
** درصورتیکه دمای سطح بتن اندازه‌گیری یا محاسبه نشود، می‌توان آنرا معادل دمای هوای مجاور سطح بتن فرض کرد.

نمودار فوق نشان میدهد که بتن ساخته شده با سیمان پرتلند و نگهداری شده در محیط کارگاهی، و بدون عمل‌آوری و مراقبت تقریبا" ۵۲ درصد مقاومت مورد نیاز را کسب می‌کند و پس از سه روز، هفت روز، حالت مرطوب کامل به ترتیب ۷۸ درصد و ۹۰ درصد و ۱۲۵ درصد افزایش می‌یابد.

بتن ساخته شده با سیمان پرتلند پوزولانی به علت پایین بودن میزان حرارت هیدراتاسیون این نوع سیمان نسبت به سیمان-های دیگر و ماهیت دیرگیر بودن آن تا ۹۰ روزه، درصد کمتری نسبت که سیمان پرتلند دارد و نگهداری بیشتری را می‌طلبد.

✓ روش های کیورینگ بتن به صورت کلی

از آن جایی که هدف نهایی از عملیات کیورینگ جلوگیری از کاهش رطوبت بتن در طول زمانی است که بتن مقاومت کسب می‌کند، این کار به صورت کلی به دو روش انجام می‌شود: اولین روش این است که ما با اعمال شرایط مختلف برای بتن از کاهش و از دست رفتن رطوبت آن جلوگیری می‌کنیم. مثلاً پوشاندن بتن با پارچه‌های خاص و غیره. روش دوم نیز این است که ما به صورت مداوم به بتن آب اضافه کنیم تا رطوبتی که از آن کم شده جبران شود. پاندینگ یا اسپری کردن آب بر روی بتن یکی از مثال‌هایی است که در این روش می توان به آن اشاره کرد.

۱.کیورینگ به وسیله‌ی آب

کیورینگ بتن به وسیله‌ی آب اگر به صورت درست و استاندارد انجام شود، یکی از بهترین و مناسب‌ترین روش هاست، خصوصا برای بتن ریزی در کف، این روش مناسب تر است که این روش متداول‌ترین روش کیورینگ در این پروژه می‌باشد.

۲.پاندینگ

پاندینگ یا درست کردن حوضچه یکی از راه‌هایی است که عملیات کیورینگ بتن به وسیله‌ی آن انجام می‌گیرد. پاندینگ یکی از روش‌های بسیار موثر برای کیورینگ بتن است و هم‌زمان در ثابت نگه داشتن دمای بتن نیز موثر است. اما این روش تنها در بتن‌ریزی‌های کوچک و مقادیر کم کاربرد دارد و در پروژه‌های بزرگ نمی توان از آن استفاده کرد.

۳. اسپری کردن آب

اسپری کردن یا پاشیدن آب بر روی سطح بتن نیز یکی از کارآمدترین روش های **کیورینگ بتن** است. برای این که این کار به صورت مناسب صورت پذیرد، آب باید به صورت مداوم بر روی بتن اسپری شود و فاصله‌ای بین آن نیفتد، چرا که ایجاد فاصله می تواند باعث خشک شدن و در نتیجه بروز مشکلات دیگری بشود. یکی از معایب مهم این روش هزینه‌ی نسبتاً بالای آن است. این روش به مقدار زیادی آب و همچنین نظارت مناسب احتیاج دارد.

۴.استفاده از پوشش های خیس

استفاده از پوشش‌های خیس یکی دیگر از روش‌های کیورینگ به وسیله‌ی آب است. در این روش از پوشش‌هایی با جنس‌هایی که آب را در خود به خوبی نگه می‌دارند (مانند گونی) استفاده می‌شود و از طریق قرار دادن آن‌ها بر روی بتن، رطوبت آن حفظ می‌شود.

۵.کیورینگ به وسیله ورقه

روش‌های کیورینگ بتن به وسیله‌ی ورقه جزو بهترین‌ها نیستند و بیشتر از آن‌ها در موارد استثنایی استفاده می‌شود. نکته‌ی مثبت آن‌ها این است که در مواردی که سطوح کاملاً افقی و عمودی هستند بسیار خوب جواب می‌دهند.

۶.ورقه های پلی تن

یکی از روش های حفظ رطوبت در بتن پوشاندن آن به وسیله‌ی ورقه های پلی تن می‌باشد. کار با این مواد بسیار آسان است و بعد از اتمام کیورینگ می توان آن ها را جمع‌آوری کرد و در پروژه‌های دیگر نیز از آن‌ها استفاده کرد.

۷.کیورینگ به وسیله‌ی غشا یا پوسته

این روش به مانند روش قبلی نیز شاید خیلی موثر نباشد، اما یک مزیت بسیار مهم دارد و آن هم این است که نیاز به نظارت ندارد. در این روش مواد کیورینگ بتن به‌صورت یک پوسته یا غشا بر روی سطح بتن قرار داده می‌شوند. این مواد معمولاً به روی سطح بتن اسپری می‌شوند. در هنگام اسپری کردن یا قرار دادن این مواد بر روی بتن، باید دقت شود که تمام سطوح بتن پوشانده شده است و هیچ قسمتی بدون غشا باقی نماند.

✓ روش های کیورینگ بتن برای سازه های مختلف

اضافه کردن آب به سیمان پرتلند باعث تشکیل چسبی می‌شود که همراه با واکنشی شیمیایی به نام هیدراسیون سنگدانه‌های را به یکدیگر می‌چسباند. این واکنش در نهایت منجر به تشکیل یک سنگ مصنوعی به نام بتن می‌گردد. نرخ و درجه‌ی هیدراسیون و مقاومت نهایی بتن، همگی به پروسه‌ی کیورینگ بتن که پس از بتن‌ریزی و در حین گیرش بتن صورت می‌گیرد، بستگی دارد. واکنش هیدراسیون تا زمانی که در مخلوط بتن آب وجود داشته و دمای محیط مناسب باشد، ادامه می‌یابد. درست در زمانی که آب تمام شود، هیدراسیون متوقف شده و دیگر قابل بازراه‌اندازی نیست. کیورینگ بتن از زمان قرار گرفتن بتن در قالب و شکل مورد نظر آغاز شده و تا زمانی که بتن به صورت کامل سخت شود، ادامه دارد. در طول این مدت، اقدامات ضروری و مشخصی بایستی صورت گیرد که بتن در حالت مرطوب و در دمای حدود ۲۲ درجه سانتی گراد بماند.

✓ تاثیر کیورینگ مرطوب بر روی مقاومت فشاری بتن

برای بیشتر سازه‌ها، کیورینگ بتن بین دو تا سه هفته طول می‌کشد. مدت زمان را مشخصاتی که پیش از این نیز ذکر کردیم مشخص می‌کنیم. هم‌چنین در پل‌ها و در مناطقی بتن که در معرض حملات شیمیایی قرار دارند، کیورینگِ بلند مدت‌تری نیاز دارد.

روش‌های کیورینگ بتن حفظ رطوبت و دمای مناسب هیدراسیون وجود دارد.

روش‌های کیورینگ به دو دسته‌ی اصلی تقسیم می‌شوند:

۱.روش‌هایی که رطوبت به بتن می‌افزایند.

۲. روش‌هایی که از کاهش رطوبت بتن جلوگیری می‌کنند.

روش‌های کیورینگ مبتنی بر اضافه کردن رطوبت به بتن

این روش‌ها که به جای رطوبت از دست رفته‌ی بتن، به آن‌ها رطوبت اضافه می‌کنند شامل «پاشیدن آب بر روی بتن» و «پوشاندن بتن با کاورهای مرطوب» می‌شود. جفتِ این روش‌ها در طول زمان‌های اولیه‌ی گیرش و کیورینگ به سطح بتن آب اضافه می‌کنند. هم‌چنین از طریق تبخیر بتن را خنک می‌کنند. این مورد در خصوص بتن‌هایی که در مناطق گرم هستند بسیار مهم است.

روش‌های کیورینگ مبتنی بر جلوگیری از کاهش رطوبت بتن

این روش‌ها شامل اقداماتی از جمله پوشاندن بتن با کاغذ ضد آب، پلاستیک و یا مواد مخصوص می‌باشد. این پوشش‌ها باعث عایق شدن بتن در برابر از دست رفتن و کاهش رطوبت می‌شوند. در بین این روش‌ها، مزیت کاغذ ضد آب در این است که می‌تواند بتن را در حالت‌های مختلف افقی و عمودی بپوشاند. مواد مخصوص پوشاندن بتن نیز مزیت‌های بسیاری دارند. یکی از مهم‌ترینِ آن‌ها این است که پس از کیورینگ مرطوب بتن و در مراحل دیگر کیورینگ نیز مفید واقع می‌شوند.

عمل آوری یا کیورینگ بتن و نقش آن در مقاومت بتن

برای دستیابی به بتنی با کیفیت خوب باید عملیات بتن‌ریزی مخلوط مناسب همراه با عمل‌آوری در یک محیط مناسب طی مراحل اولیه سخت شدن دنبال شود. به روش‌های مورد استفاده برای پیشروی هیدراسیون سیمان عمل آوری گفته می‌شود و از این رو، روش های عمل آوری برای راه‌های افزایش مقاومت بتن، دما و انتقال رطوبتی از داخل به خارج بتن را کنترل می-کنند. مورد آخر نه تنها بر مقاومت بلکه بر دوام بتن نیز تاثیر می گذارد. در این بخش به روش‌های مختلف عمل‌آوری در دماهای عادی و بالا می پردازیم. عمل‌آوری در دمای بالا موجب افزایش نرخ واکنش های شیمیایی هیدراسیون و کسب مقاومت می وشود. به هر حال، باید به این نکته توجه شود که استفاده از دمای بالا در سنین اولیه می تواند تاثیر نامطلوبی بر مقاومت های بعدی بتن داشته باشد. در نتیجه، تاثیر دما باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

شکل شماره (۱) : کیورینگ بتن از مسیر قطعه ۲ پروژه احداث راه آهن چابهار به زاهدان

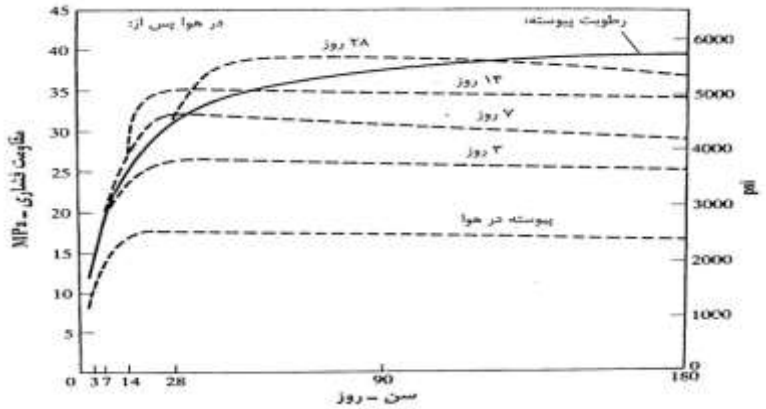
برای رسیدن به این شرایط باید از تبخیر آب از سطح بتن جلوگیری شود. تبخیر در مراحل اولیه پس از بتن ریزی به دما و رطوبت نسبی هوای اطراف و سرعت باد که بر تغییر هوا برسطح بتن تاثیر می گذارد، بستگی دارد. همان گونه که بیان شد، باید از نرخ های تبخیر بیشتر از ۰/۵ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت (۰/۱ پوند بر فوت مربع در ساعت) اجتناب شود.

۱- عمل آوری عادی

هدف از عمل آوری در دمای عادی، حفظ بتن در حالت اشباع یا تا حد ممکن نزدیک به حالت اشباع تا زمانی است که فضاهای پر از آب موجود در خمیر سیمان تازه تا حد مطلوب با فرآورده های هیدراسیون سیمان اشغال شوند. در مورد بتن کارگاهی، تقریباً همواره فرآیند کیورینگ بتن فعال پیش از آنکه فرآیند هیدراسیون به حداکثر مقدار ممکن خود برسد، متوقف می شود. تاثیر عمل آوری مرطوب برمقاومت را می توان از شکل ۲ اندازه گیری کرد. مقاومت های کششی و فشاری به یک شکل، تحت تاثیر قرار می گیرند. عدم موفقیت در کسب مقاومت در نتیجه مقاومت ناکافی، یا به عبارتی اثر افت آب ناشی از تبخیر در مولفه های باریکتر و مخلوط های با عیار بیشتر مشهودتر می باشد، اما در بتن های ساخته شده با مصالح سنگی سبک کمتر دیده می شود. تاثیر شرایط عمل آوری بر مقاومت در بتن های دارای حباب هوا کمتر از بتن های بدون حباب هوا می باشد.

لزوم عمل آوری برخاسته از این حقیقت است که هیدراسیون سیمان تنها در منافذ مویینه پر از آب اتفاق می افتد. به این دلیل باید از افت آب از منافذ مویینه جلوگیری کرد. علاوه بر این، افت درونی آب به دلیل خود خشک شوندگی نیز با آب خارجی جبران می شود. به عبارت دیگر آب باید از یک منشاء خارجی به داخل بتن راه یابد. خشک شوندگی در بتن آب بندی شده زمانی اتفاق می افتد که نسبت آب به سیمان کمتر از حدود ۰/۵ باشد، زیرا رطوبت نسبی داخل در منافذ مویینه از حداقل مقدار لازم برای وقوع هیدراسیون یعنی ۸۰ درصد کمتر می‌شود.

باید بر این نکته تاکید شود که الزاما نباید برای افزایش رضایت بخش مقاومت تمامی دانه های سیمان هیدراته شوند، و در عمل نیز این اتفاق به ندرت پیش می‌آید. به هرحال، در صورتی که عمل‌آوری تا زمانی که منافذ مویینه موجود در خمیر سیمان هیدراته شده قطعه بندی شود ادامه یابد، آنگاه بتن نفوذ ناپذیر شده (و همین طور دارای مقاومت کافی بوده) که این خصلت برای دوام بتن حیاتی است.



شکل شماره (۲) : تاثیر عمل آوری مرطوب بر بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵۰.

۲- روش های عمل آوری

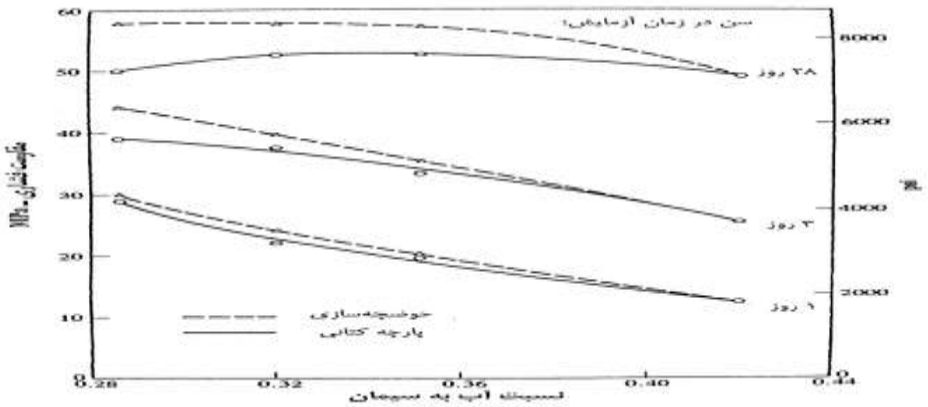
در اینجا تنها کلیاتی در مورد ابزارهای مختلف عمل آوری به عنوان روشی که به طور بسیار گسترده بسته به شرایط کارگاه و اندازه، شکل و موقعیت بتن مورد نظر استفاده می‌شود، بحث خواهد شد.

روغن‌کاری یا مرطوب کردن قالب ها پیش از قالب‌گیری می تواند به عمل آوری اعضای بتنی با نسبت سطح به حجم کم کمک کند. می‌توان قالب ها را برای مدتی باز نکرده و در صورتی که جنس قالب مناسب باشد، آنها را طی سخت شدن بتن، مرطوب نگه داشت. در صورتی که قالب ها در سنین اولیه باز شده باشد، باید بتن را آب پاشی کرده و در یک ورقه پلی اتیلن یا سایر پوشش‌های مناسب پیچاند.

سطوح افقی بزرگ بتنی از قبیل دال های روسازی بزرگراه ها، مشکلات جدی تری را نشان می‌دهند. برای جلوگیری از ترک خوردگی سطحی و کم عمق در سطحی که در حال خشک شدن است باید از افت آب حتی پیش از گیرش، جلوگیری کرد. از

آنجا که در این لحظه بتن از نظر مکانیکی ضعیف می‌باشد، الزامی است که پوشش بر روی سطح آن آویزان شود. این نوع محافظت، تنها در شرایط آب و هوایی خشک الزامی است، اما در جلوگیری کردن از ریزش باران برسطح بتن تازه نیز می تواند مفید باشد.

به محض اینکه بتن گیرش می‌یابد، می توان شرایط عمل آوری مرطوب بتن را با حفظ تماس آب با بتن فراهم کرد. این کار را می‌توان با آب پاشی یا غرقاب سازی (حوضچه سازی) و یا با پوشاندن بتن با ماسه، خاک، خاک اره یا پوشال مرطوب انجام داد. از پارچه های کتانی یا کرباسی که به طور متناوب مرطوب می‌شوند، نیز می توان استفاده کرد. همچنین می‌توان یک پوشش جاذب آب را بر روی بتن قرار دارد و جریان آب را بر روی آن باز کرد. طبیعتا تامین پیوسته آب موثرتر از تامین دوره‌ای آن است. شکل ۳، افزایش مقاومت استوانه ای بتنی که سطح فوقانی آن ها طی ۲۴ ساعت اول غرقاب سازی شده است، را با استوانه‌های پوشانده شده با کرباس مرطوب مقایسه می کند. این اختلاف در نسبت های آب به سیمان پایین که خشک شوندگی هم به طور سریع اتفاق می افتد، بیشترین مقدار خود را دارد.



شکل شماره (۳) : تاثیر شرایط عمل آوری برمقاومت استوانه های آزمایشی

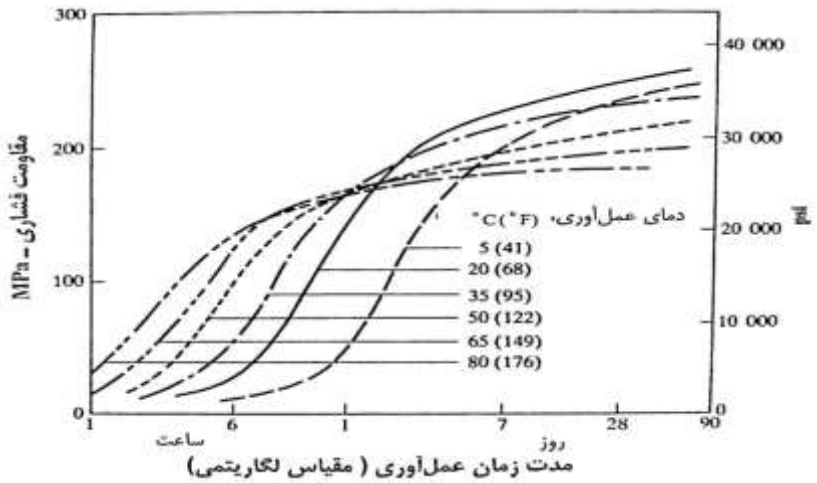
یک روش دیگر برای عمل آوری، آب بندی سطح بتن به وسیله یک غشای قابل نفوذ یا کاغذ ضدآب تقویت شده و یا ورقه‌های پلاستیکی است. یک غشا به شرط اینکه سوراخ نشده و آسیب ندیده باشد، به نحو موثری از تبخیر آب از سطح بتن جلوگیری می کند، اما از نفوذ آب از یک منشاء خارجی برای جبران مقدار افت آب ناشی از خشک شدگی نیز ممانعت می‌کند. این غشا از ترکیبات آب بندی مایع تشکیل می شود. ترکیبات آب بندی مایع را پس از اینکه اثر آب آزاد از سطح بتن ناپدید شد و پیش از اینکه آب موجود در منافذ بتن به اندازه ای خشک شود که امکان جذب این ترکیبات وجود داشته باشد، با استفاده از ابزار دستی مانند قلم مو و یا با پاشیدن بر روی سطح بتن پخش می کنند. ممکن است، این غشا شفاف و به رنگ سفید یا سیاه باشد. ترکیبات تیره رنگ دارای این خاصیت هستند که بر روی بتن سایه می اندازند و ترکیبات با رنگ روشن منجر به جذب گرمای کمتر از خورشید شده و در نتیجه دمای بتن کمتر افزایش پیدا می کند. مشاهدات مختلف در مورد مقاومت نمونه های مختلف بتن نشان داده اند که تاثیر غشاهای سفید و ورقه های نیمه شفاف سفید پلی اتیلن مشابه است . در ایالات متحده، مشخصات فنیASTM C 309-06 ، ترکیبات عمل آوری غشایی و مشخصات فنیASTM C 171-03 ، مواد ورقه ای، کاغذ تقویت شده و پلاستیک مخصوص عمل آوری را توصیف کرده اند. آزمایش های سودمندی و تاثیر مواد عمل آوری در روش استاندارد ASTM C 156-05 شرح داده شده اند. مشخصات فنی عملیات راهسازی و پل سازی، BS 8110-1: 1997، سودمندی عمل آوری ۹۰ درصد را برای هر نوع غشای عمل آوری الزامی می داند. کارایی عمل آوری با مقایسه افت رطوبت از نمونه آب بندی شده با افت آب از نمونه آب بندی نشده که تحت شرایط توصیف شده ساخته و عمل آوری شده اند، ارزیابی می شود.

بتن با مقاومت بالا باید در سنین اولیه عمل‌آوری شود، در غیر این صورت ممکن است، هیدراسیون جزئی ارتباط بین منافذ را قطع کرده و آب نتواند در عمل‌آوری مجدد به قسمت‌های داخلی بتن راه یابد و در نتیجه هیدراسیون بیشتری اتفاق نخواهد

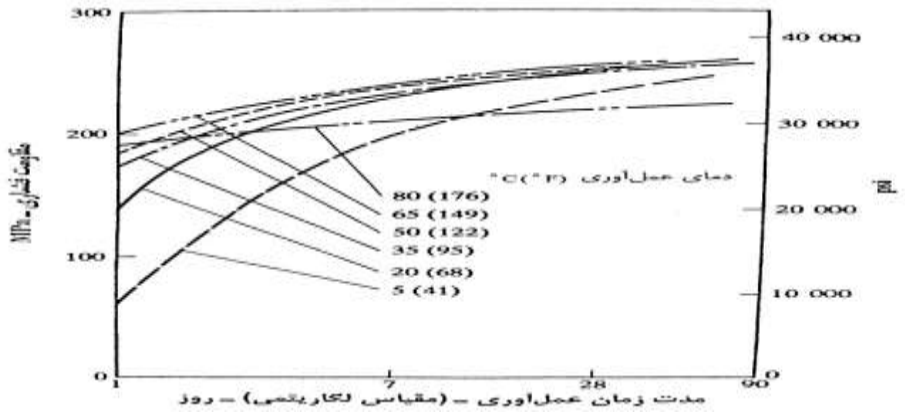
افتاد. به هر حال، همواره در مخلوط‌های با نسبت آب به سیمان بالا، حجم زیادی از منافذ پوسته باقی خواهند ماند، به‌طوری که بتوان عمل‌آوری را بعدا به طور موثری از سر گرفت. با این وجود، توصیه می‌شود که عمل‌آوری در اولین فرصت ممکن شروع می‌شود، زیرا در عمل ممکن است، خشک شدن اولیه منجر به جمع شدگی و ترک‌خوردگی شود.

۳- تاثیر دما

به‌طور کلی، هر چه دمای بتن در زمان بتن‌ریزی بالاتر باشد، نرخ اولیه کسب مقاومت بیشتر بوده، اما مقاومت بلند مدت کمتر خواهد بود. به همین دلیل کاهش دمای بتن تازه در زمان بتن ریزی در اقلیم های گرمسیری حائز اهمیت است. این موضوع را اینگونه می توان توضیح داد که هیدراسون سریع اولیه سبب توزیع غیریکنواخت ژل سیمانی با یک ساختار فیزیکی ضعیف می شود که احتمالا متخلخل تر از ساختار ژل سیمانی توسعه یافته در دمای معمولی است. همچنین در دماهای اولیه بالا، فرصت کافی برای محصولات هیدراسیون وجود نخواهد داشت تا از سطح دانه های سیمان پراکنده شده و به‌طور یکنواخت در فضاهای خالی جای گیرند. نتیجه این وضعیت، تمرکز محصولات هیدراسیون در مجاورت دانه های سیمان در حال هیدراته شدن است که در آن هیدراسیون بعدی سیمان و در نتیجه کسب مقاومت بلندمدت به تاخیر می افتد. تاثیر دمای عمل آوری برمقاومت در شکل ۳ شرح داده شده است که به طور واضح کسب مقاومت اولیه بالاتر و مقاومت ۲۸ روزه کمتر را با گذشت زمان نشان می دهد. باید به این نکته توجه شود که دما برای آزمایش‌های گزارش شده در این شکل تا زمان آزمایش و همچنین طی آن ثابت نگه داشته شده است. به هرحال، زمانی که بتن طی بازه زمانی ۲ ساعته پیش از آزمایش تا ۲۰ درجه سلسیوس (۶۸درجه فارنهایت) سرد شود، تنها دماهای بالای ۶۵ درجه سلسیوس (۱۵۰ درجه فارنهایت) تاثیر مخرب دارند (شکل ۴). از این رو، چنین به نظر می رسد که دما در لحظه آزمایش نیز بر مقاومت بتن تاثیر می‌گذارد. نتایج شکل‌های ۵ و ۴ برای خمیر خالص سیمان پرتلند معمولی (نوع I) می‌باشد که البته شبیه به تاثیر دما برمقاومت بتن هستند. شکل ۶ نشان می‌دهد که دمای بالاتر، مقاومت بیشتری را طی روز اول ایجاد می‌کند، اما این شرایط برای سنین ۳ تا ۲۸ روزه به طور اساسی تغییر می کند. در هر سن معین یک دمای بهینه وجود دارد که یک مقاومت حداکثر را تولید می‌کند. این دمای بهینه با افزایش دوره عمل‌آوری کاهش می‌یابد. دمای بهینه برای ایجاد حداکثر مقاومت ۲۸ روزه در سیمان پرتلند معمولی (نوع I) یا سیمان پرتلند اصلاح شده (نوع II)، حدود ۱۳ درجه سلسیوس (۵۵ درجه فارنهایت) است. دمای بهینه متناظر برای سیمان پرتلند زودگیر کمتر می‌باشد. لازم به‌یادآوری است که حتی الامکان هیدراسیون در بتن‌هایی که در ۴ درجه سلسیوس (۴۰ درجه فارنهایت) قالب‌گیری شده و در دمایی کمتر از نقطه انجماد آب نگهداری شده‌اند، نیز وجود دارد (شکل ۴). علاوه بر این، زمانی که همین بتن در کمتر از ۲۸ روز در ۲۳ درجه سلسیوس (۷۳ درجه فارنهایت) نگهداری می-شود، مقاومت سه ماهه‌اش بیش از بتن مشابه‌ی است که به طور پیوسته در دمای ۲۳ درجه سلسیوس (۷۳ درجه فارنهایت) نگهداری شده است،



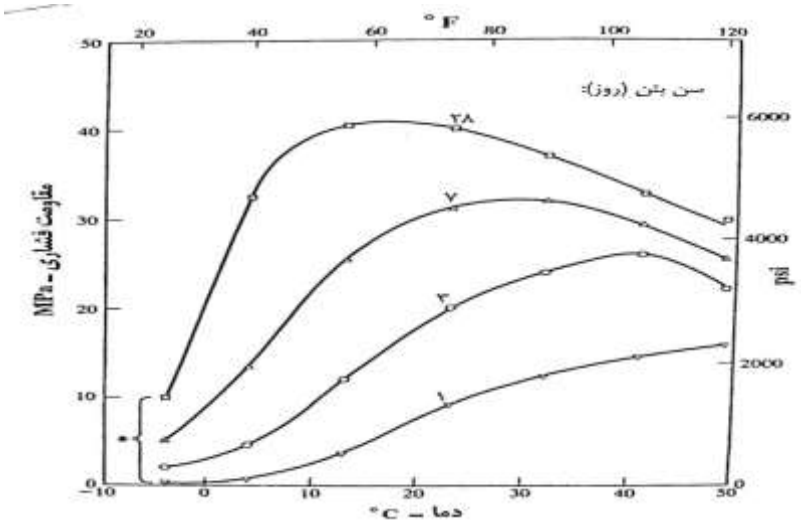
شکل شماره (۴) : رابطه بین مقاومت فشاری و زمان عمل آوری خمیر سیمان خالص



شکل شماره (۵) : رابطه بین مقاومت فشاری و زمان عمل آوری خمیر سیمان

شکل ۶ رابطه بین مقاومت فشاری و زمان عمل‌آوری خمیر سیمان خالص در دماهای مختلف عمل آوری. دمای نمونه‌ها با یک نرخ ثابت در بازه زمانی ۲ساعته پیش از آزمایش به ۲۰ درجه سلسیوس (۶۸ درجه فارنهایت) رسانده شده است.

آنچه تا اینجا بیان شد، مربوط به بتن های ساخته شده در آزمایشگاه بود. به نظر می رسد که رفتار بتن ساخته شده در یک کارگاه مقیم در اقلیم گرمسیری نمی‌تواند مشابه با موارد فوق باشد. در این خصوص چند عامل موثر دیگر نیز از جمله رطوبت محیطی، تابش مستقیم خورشید، سرعت باد و روش عمل آوری وجود دارند. همچنین باید به یاد داشت که **کیفیت بتن** به دمای آن بستگی دارد و مستقل از دمای محیط اطراف آن می باشد، به طوری که اندازه عضو نیز یک عامل تاثیرگذار بر حرارت هیدراسیون سیمان می باشد. علاوه بر این، عمل آوری به روش غرقاب سازی در هنگام وزش باد منجر به افت گرما در اثر تبخیر می شود، به نحوی که دمای بتن کاهش می یابد ودر نتیجه مقاومت بتن بیشتر از زمانی خواهد بود که از ترکیبات آب بندی استفاده شده است. همچنین تبخیر بلافاصله پس از قالب‌گیری در کسب مقاومت مخلوط های با نسبت آب به سیمان بالا مفید است، زیرا آب در حالی از بتن خارج می‌شود که منافذ مویینه در حال بسته شدن هستند و در نتیجه نسبت آب به سیمان موثر و تخلخل بتن کاهش می‌یابد. به هرحال، در صورتی که تبخیر منجر به خشک شدن سطح بتن شود، ممکن است، جمع‌شدگی پلاستیک و ترک خوردگی را به بار آورد. به هر حال، به بیان کلی می‌توان انتظار داشت که بتن ساخته شده و قالب‌گیری شده در فصل تابستان دارای مقاومت کمتری نسبت به مخلوط مشابه قالب‌گیری شده در زمستان باشد.

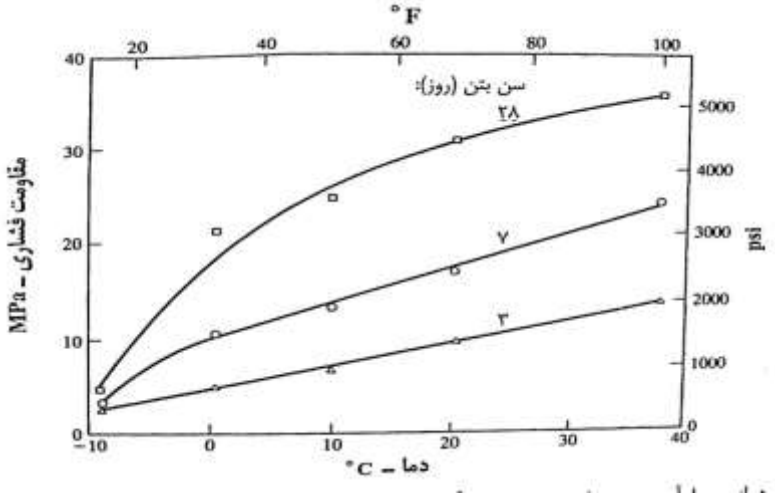


شکل شماره (۶) : تاثیر دما برمقاومت بتن قالب‌گیری و عمل آوری شده

*بتن در دمای ۴ درجه سلسیوس (۳۹ درجه فارنهایت) قالب‌گیری و از سن یک روزه در دمای ۴- درجه سلسیوس (۲۵ درجه فارنهایت) عمل‌آوری شده است.

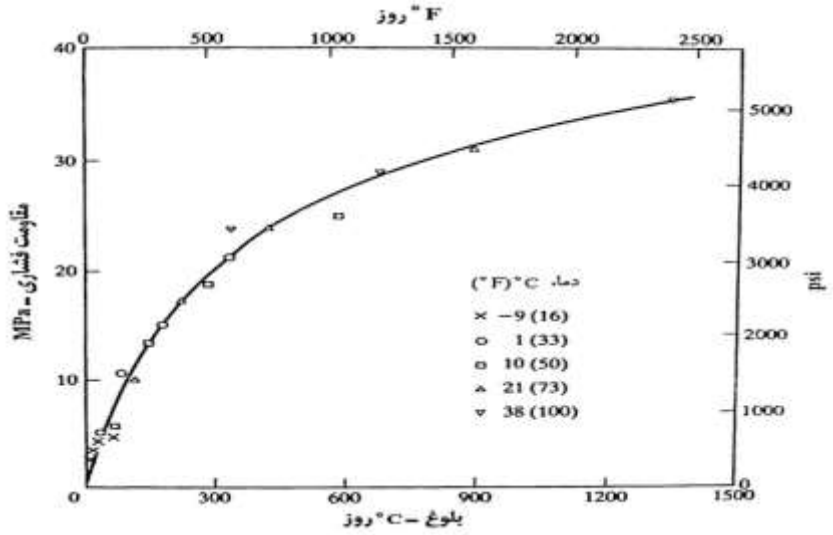
۴- نقش بلوغ بتن

در بخش قبل، اثر سودمند دما را برکسب مقاومت بتن ملاحظه کردیم، همچنین به لزوم یک دوره عمل‌آوری ابتدایی در دمای عادی نیز اشاره شد. شکل ۷ برخی از این داده های متداول را نشان می‌دهد. تاثیر دما، تجمعی می‌باشد و می‌تواند به صورت حاصل ضرب دما در مدت زمانی که این دما وجود داشته است، بیان کرد. این امر تحت عنوان بلوغ شناخته می‌شود.



شکل شماره (۷) : تاثیر دمای عمل آوری برمقاومت بتن عمل آوری شده در ۱۰ درجه سلسیوس (۵۰ درجه فارنهایت)

از این رو، واحدهای بلوغ عبارت از درجه سلسیوس روز (درجه فارنهایت روز) یا درجه سلسیوس ساعت (یا درجه فارنهایت ساعت) هستند. شکل ۷، همان داده‌های شکل ۶ را نشان می‌دهند. با این تفاوت که مقاومت به صورت تابعی از بلوغ بیان شده است. در صورتی که داده های بلوغ بر روی مقیاس لگاریتمی رسم شوند، رابطه دوره عمل‌آوری ابتدایی تقریباً به صورت خطی خواهد بود (شکل ۸). قانون "بلوغ" را می‌توان به طور خاص در تخمین مقاومت بتن به کار برد. بر هر حال، رابطه بین مقاومت و بلوغ به مقدار واقعی سیمان مصرفی، نسبت آب به سیمان و نوع افت آبی که طی عمل‌آوری اتفاق می‌افتد، بستگی دارد. علاوه بر این، تاثیر مضر دماهای اولیه بالا، قانون بلوغ را ناکار آمد می‌سازد. به‌این دلیل، راهکار بلوغ کاربرد گسترده‌ای ندارد و تنها در سیستم‌های بتن ریزی دقیق و برنامه‌ریزی شده مفید می‌باشد.



شکل شماره (۸) : مقاومت فشاری به عنوان تابعی از بلوغ برای داده های شکل ۶

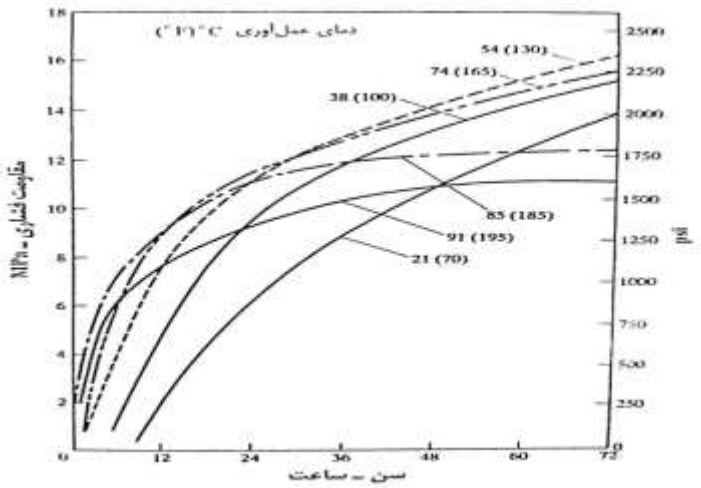
۵- عمل آوری با بخار

از آنجا که افزایش در دمای عمل آوری بتن نرخ کسب مقاومت را افزایش می‌دهد، می‌توان کسب مقاومت بتن را به وسیله عمل آوری با بخار تسریع کرد. در ظرایطی که بتن در بخار تحت فشار جو یعنی زمانی که دمای بخار کمتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس (۲۱۲ درجه فارنهایت) است، قرار می گیرد، رطوبت به حدی است که می توان این روش را حالت خاصی از عمل آوری مرطوب دانست که تحت عنوان عمل آوری با بخار آب شناخته می شود. عمل آوری با بخار پر فشار که به عنوان اتوکلاو معروف است، و توضیح آن خارج از هدف این کتاب می باشد.

هدف اصلی از عمل آوری با بخار حصول مقاومت اولیه کافی است، به طوری که بتوان محصولات بتنی را بلافاصله پس از قالب گیری جابه جا کرد و یا اینکه قالب ها را سریع تر باز کرد و یا اینکه تجهیزات پیش تنیدگی را زودتر از حالت عمل آوری مرطوب معمولی برچید. همچنین در این روش به فضای کمتری برای نگهداری بتن نیاز است که همگی این موارد یک مزیت اقتصادی به شمار می روند.

این روش عمدتاً باتوجه به ماهیت عملیات مقتضی در عمل آوری با بخار، در محصولات پیش ساخته کاربرد دارد. معمولاً، عمل آوری با بخار در تونل ها یا محفظه های ویژه انجام می شود که اعضای بتنی به وسیله تسمه نقاله به درون آن حمل می شوند. یک روش دیگر، استفاده از جعبه های قابل حمل و پوشش های پلاستیکی است که می توانند بر روی اعضای پیش ساخته قرار گیرند و بخار به وسیله اتصالات انعطاف پذیر به درون آنها راه یابد.

البته به دلیل تاثیر نامطلوب دما طی مراحل اولیه سخت شدن برمقاومت های بعدی (شکل ۹) نباید افزایش سریع دما مجاز شمرده شود. این تاثیر نامطلوب در نسبت آب به سیمان بالاتر مخلوط مشهود تر است و همچنین در سیمان زودگیر (نوع III) مشخص‌تر از سیمان پرتلند معمولی (نوع I) می باشد. تاخیر در انجام عمل آوری با بخار با توجه به مقاومت بعدی بتن یک مزیت محسوب می شود. به طوری که هر چه دما بیشتر باشد، به تاخیر بیشتری نیاز است. در این حالت رابطه مقاومت – بلوغ برقرار است. به هر حال، در برخی از موارد ممکن است که مقاومت بعدی از اهمیت کمتری نسبت به ملزومات اولیه برخوردار باشد.

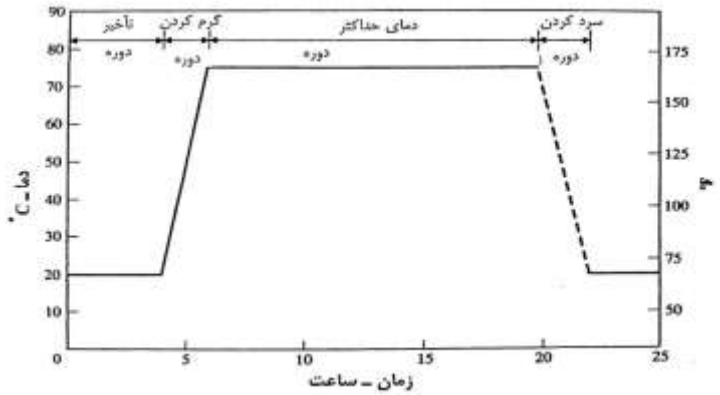


شکل شماره (۹) : مقاومت بتن عمل آوری شده در دماهای مختلف

(نسبت آب به سیمان = ۰/۵۰، عمل آوری با بخار بلافاصله پس از قالب گیری اعمال شده است).

اگرچه دوره های اجرایی عمل آوری براساس تعادل بین ملزومات مقاومت اولیه و مقاومت بلند مدت انتخاب می شود، اما مدت زمان عمل آوری بتن موجود (به طور مثال مدت دوره های کاری) نیز بر این امر تاثیر می گذارد. ملاحظات اقتصادی تعیین کننده این مطلب خواهند بود که آیا دوره عمل آوری باید متناسب با یک مخلوط بتنی معین باشد یا اینکه مخلوط باید متناسب با دوره معمول عمل آوری با بخار انتخاب شود. هر چند که جزئیات یک دوره عمل آوری بهینه به نوع محصول بتنی

مورد نظر بستگی دارد، اما با این حال یک دوره متداول عمل آوری در شکل ۱۰ نشان داده شده است. پس از یک دوره تاخیر (عمل آوری مرطوب معمولی) ۳ تا ۵ ساعته، دما با نرخ ۲۲ تا ۲۳ درجه سلسیوس (۴۰ تا ۶۰ درجه فارنهایت) برساعت تا حداکثر ۶۶ تا ۸۲ درجه سلسیوس (۱۵۰ تا ۱۸۰ درجه فارنهایت) بالا می رود. این دما حفظ شده و احتمالا این دوره با دوره خیس کردن" بتن ادامه می یابد که در آن بتن پیش از آنکه با یک نرخ متوسط سرد شود، بدون اضافه شدن هیچ حرارتی در دما و رطوبت موجود باقی می ماند. کل مدت دوره عمل آوری (بدون دوره تاخیر) ترجیحاً نباید بیش از ۱۸ ساعت باشد. بتن ساخته شده با مصالح سنگی می تواند بین ۸۲ تا ۸۸ درجه سلسیوس (۱۸۰ تا ۱۹۰ درجه فارنهایت) گرما ببیند، اما دوره عمل آوری این نوع بتن نیز تفاوت چندانی با دوره عمل آوری بتن ساخته شده با مصالح سنگی معمولی ندارد. دماهای ذکر شده مربوط به بخار بوده و الزاماً نباید بتن نیز دارای همین دما باشد. دمای قطعات بتنی طی یک یا دو ساعت اول پس از قرارگیری در محفظه عمل آوری کمتر از دمای هوا بوده، اما بعداً دمای بتن در اثر حرارت هیدراسیون سیمان از دمای هوا بیشتر خواهد شد. در صورتی که جریان بخار به داخل محفظه بسیار زود قطع شود و یک دوره عمل آوری طولانی فراهم شود، می توان حداکثر بهره را از بخار نگهداری شده در محفظه برد. نرخ آهسته گرم شدن و سرد شدن از این مطلوب است که گرادیان های دمایی بالا در بتن سبب تنش های داخلی شده و احتمالاً منجر به ترک خوردگی در اثر تغییر ناگهانی دما می شود. این بدین معنی است که اگر دوره تاخیر کاهش یابد، آنگاه باید نرخ گرم شدن آسته تری اعمال شود و این امر نه تنها به دلیل تغییر ناگهانی دما، بلکه به خاطر حصول اطمینان از مقاومت کافی بلند مدت می باشد. هرگز نباید از عمل آوری با بخار برای سیمان پرآلومین استفاده کرد، زیرا شرایط گرم و مرطوب تاثیر مخربی بر مقاومت این نوع سیمان دارد.



شکل شماره (۱۰) : دوره متداول عمل آوری با بخار

نتیجه گیری مبتنی بر روش های کیورینگ بتن

۱- نظر بر اینکه روند توسعه مقاومت سیمان پرتلند پوزولانی به درجه فعال بودن پوزولان و نسبت سیمان پرتلند در مخلوط بستگی دارد، لذا کارخانه‌های تولید کننده سیمان پرتلند پوزولانی بایستی مشخصات کامل سیمان و درجه فعال بودن پوزولان را بصورت کامل به اطلاع مصرف کنندگان برسانند.

۲- زمان لازم برای عمل‌آوردن را نمی توان به سادگی توصیه نمود و لیکن معمولا" حداقل مدت هفت روز را برای بتن ساختن شده با سیمان پرتلند معمولی توصیه می‌نمایند و حداقل مدت ده روز را برای بتن ساختن شده با سیمان پرتلند پوزولانی معمولی توصیه میشود.

۳- با توجه با اندازه و شکل سازه، مدت زمان عمل آوری سازه‌ها متفاوت می‌باشد و در این راستا دال‌ها و سقف‌های تیرچه بلوک که دارای ضخامت کمتر و سطح بیشتر هستند، نسبت به تیرها و ستون‌ها و فونداسیون ساختمان، نیازمند مدت زمان عمل آوری بیشتر و مناسب‌تر می باشد.

ویژگی‌های مختلف بتن، اعم از مقاومت در برابر چرخه‌ی انجماد و ذوب شدن آب، مقاومت، مقاومت در برابر آب، مقاومت در برابر فرسایش و ثبات حجم و یا افزایش دوام و عمر بتن به این نکته بستگی دارد که کیورینگ تا زمانی که واکنش هیدراسیون در حال انجام است، ادامه پیدا کند.

طول مدت زمان کیورینگ به ویژگی‌های مختلفی از جمله نوع سیمان مورد استفاده، مواد مورد استفاده در مخلوط، مقاومت مورد نظر، اندازه و شکل سنگدانه‌ها، آب و هوای محیط و شرایط محیطی در آینده بستگی دارد. کیورینگ بتن می‌تواند بین چند روز تا چند ماه طول بکشد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش به نوعی بیانگر گوشه‌ای از زحمات کلیه‌ی کارکنان پروژه ساخت راه‌آهن چابهار به زاهدان (قطعه۲) می‌باشد که خالصانه برای آبادانی **ایران عزیز** زحمات فراوانی کشیده‌اند. بدین وسیله نویسندگان این پژوهش از مهندسین **مهدی مقدم** و **مهدی حاجی‌هاشمی** (مدیریت برنامه‌ریزی و کنترل پروژه موسسه پایدارسازن)، **حمید غریبی** و **حمید مصطفی نژاد** (مشاورین نظارت طاها)، **حسین برخورداری** و **حسین تمیمی** (نظارت هگزا)، **مرتضی البرزی** و **محمدرضا اوجاقی** (واحد اجرا)، **اصغر بامری** (نقشه بردار)، **حسن کیانی** و **محمد عمر رئیسی** (عملیات خاکی)، **علی طیب** (کنترل پروژه کارگاه)، **هادی عباسی چکان، احسان شفاهی، ابراهیم جاویدطلب، طاها سعیدی، رضا بازوند، منصور بلوچزهی، سینا کرمی، محمد شیروانی** و **سایر همکاران** و زحمت‌کشان فعال پروژه کمال تشکر و قدردانی را داریم.