عمل‌آوری بتن (کیورینگ): چرا حیاتی است و چگونه آن را درست انجام دهیم؟

یکی از مهم‌ترین مراحل در تضـــمین کیفیت نهایی بتن، عمل‌آوری یا کیورینگ بتن اســـت. اگرچه بتن‌ریزی دقیق و طرح اختلاط اصـــولی حیاتی هســـتند، اما بدون عمل‌آوری صـــحیح، بتن به مقاومت و دوام مطلوب خود نخواهد رســـید. در این مقاله، با تعریف دقیق کیورینگ، عوامل مؤثر، روش‌های مختلف و مزایا و معایب هر روش آشنا خواهید شد تا در پروژه‌های عمرانی بهترین تصمیم را بگیرید.

Figure ۱ عمل آوری

عمل‌آوری بتن چیست و چرا اهمیت دارد؟

کیورینگ بتن به مجموعه اقداماتی گفته می‌شـــود که با هدف حفظ رطوبت و دمای مناســـب در بتن تازه‌ریخته شـــده انجام می‌شود تا واکنش‌های هیدراتاسیون سیمان کامل شده و بتن به خواص نهایی خود دست یابد.

عمل‌آوری صحیح منجر به:

- افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن

- کاهش ترک‌های سطحی ناشی از جمع‌شدگی

- ارتقاء دوام در برابر یخ‌زدگی، سایش، حملات شیمیایی و...

عوامل مؤثر بر کیفیت عمل‌آوری بتن

• دمای محیط و بتن: دمای پایین روند کسب مقاومت را کند می‌کند و دمای بالا موجب تبخیر سریع آب می‌شود.

• رطوبت نسبی هوا: هرچه رطوبت کمتر و جریان باد بیشتر باشد، بتن بیشتر در معرض از دست دادن آب است.

• نوع سیمان و طرح اختلاط: سیمان‌های زودگیر یا دیرگیر، افزودنی‌ها و نسبت آب به سیمان تأثیر مستقیم بر فرآیند کیورینگ دارند.

• ابعاد عضو بتنی: دال‌های نازک سریع‌تر رطوبت از دست می‌دهند و نیازمند مراقبت بیشترند.

• زمان شروع و مدت کیورینگ: آغاز کیورینگ باید بلافاصله پس از گیرش اولیه بتن باشد بسته به شرایط می تواند تا چندین روز ادامه یابد.

Figure ۲ کیورینگ(عمل آوری)

تعریف آبا

مطابق بند ۷-۷ آبا (جلد دوم) عمل آوری بتن به تفصیل توضیح داده شده است.

عمل آوری بتن به مجموعه ای از اقدامات یا تدابیری گفته می شود که برای رسیدن به مقاومت و دوام مورد نظر باید بر روی بتن ریخته و متراکم شده، انجام شود. هیدراته شدن سیمان به رطوبت نیاز دارد اما دمای بتن بر آهنگ آن اثرگذار است. در دمای کمتر از ۵ درجه سلسیوس آهنگ هیدراته شدن آنقدر کاهش می یابد که از نظر مهندسی می توان آن را متوقف تلقی نمود

در مواردی که در حین عمل آوری بتن دمای هوا افت شدید داشته باشد، و به زیر ۵+ سلسیوس برسد هیدراته شدن سیمان ممکن است دچار اختلال شود و برای جلوگیری از آن نیاز به گرما رسانی می باشد.

روش‌های کیورینگ بتن و مقایسه آن‌ها

- کیورینگ با آب

انواع: آب‌پاشی مداوم، غرقاب‌سازی، غوطه‌وری (برای قطعات کوچک)

مزایا: تأمین رطوبت مداوم، افزایش مقاومت نهایی

معایب: نیاز به آب و نیروی انسانی زیاد، دشواری در اجرا روی سطوح قائم

Figure ۳کیورینگ با آب

- کیورینگ با پوشش مرطوب

جنس پوشش‌ها: گونی، خاک‌اره، ماسه، حصیر

مزایا: حفظ رطوبت با مصرف کمتر آب، مناسب برای سطوح قائم

معایب: نیاز به خیس نگه داشتن دائم، احتمال باقی‌ماندن اثر روی سطح

Figure ٤کیورینگ با پوشش مرطوب

- ترکیبات کیورینگ

نوع: رزینی یا پلیمری، اسپری‌شونده، یا ورق پلاستیکی

مزایا: اجرای سریع، مناسب پروژه‌های بزرگ

معایب: کاهش چسبندگی لایه‌های بعدی در صورت عدم پاکسازی، نیاز به اجرای دقیق

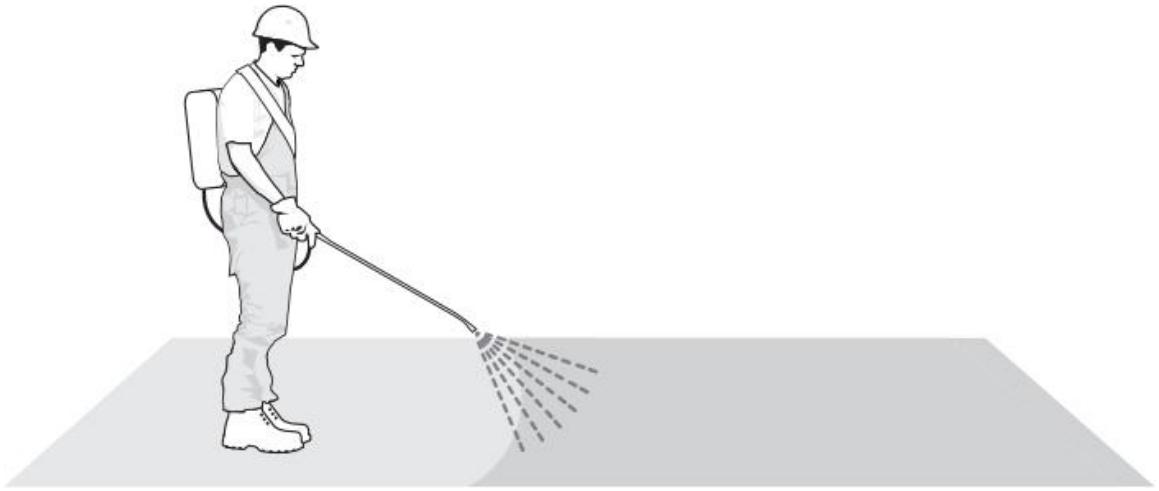

Figure ٥ترکیبات کیورینگ

- بخاردهی

انواع: بخاردهی معمولی و اتوکلاو

مزایا: کسب مقاومت سریع، مناسب برای قطعات پیش‌ساخته

معایب: نیاز به تجهیزات و کنترل دقیق دما، هزینه بالا

Figure ٦ عمل آوری با بخاردهی

- کیورینگ الکتریکی

کاربرد: در مناطق بسیار سرد یا برای قطعات خاص

مزایا: جلوگیری از یخ‌زدگی بتن، تسریع عمل‌آوری

معایب: پرهزینه، نیاز به تجهیزات خاص

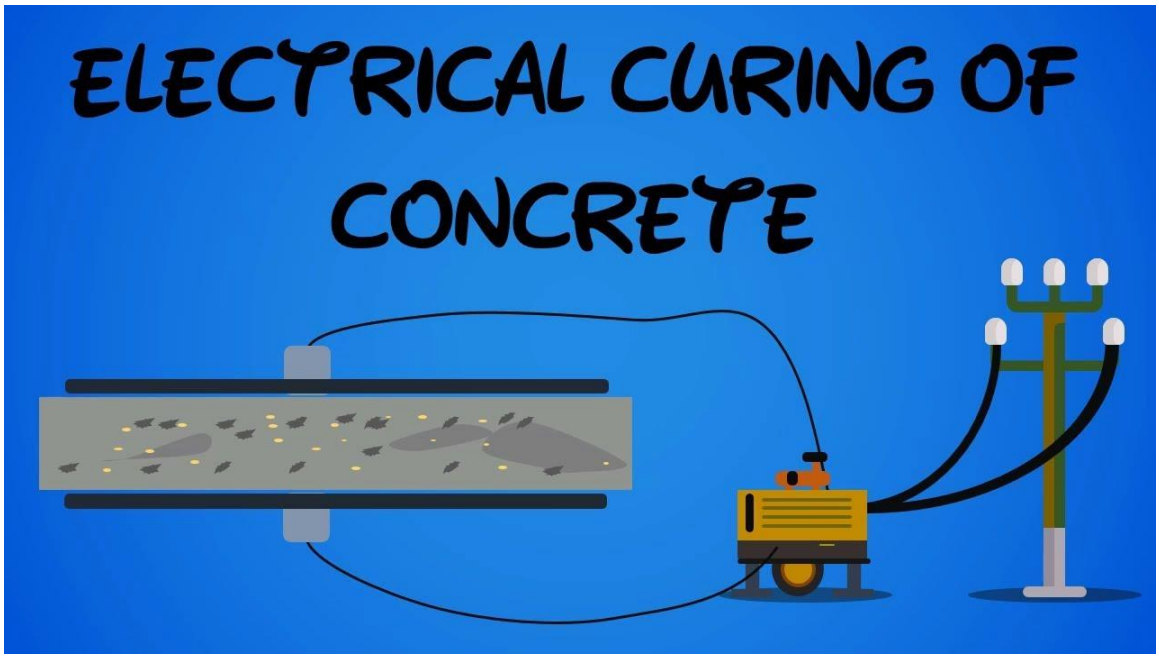

Figure ۷کیورینگ الکتریکی

جدول مقایسه‌ای روش‌های کیورینگ

روش کیورینگ	مزایا	معایب
آب‌دهی مداوم	بهترین کیفیت عمل‌آوری، مقاومت بالا	مصرف زیاد آب، نیروی انسانی زیاد
پوشش مرطوب	مصرف کمتر آب، مناسب سطوح قائم	نیاز به خیس نگه داشتن دائم
ترکیبات کیورینگ	اجرای سریع، مناسب پروژه‌های بزرگ	نیاز به پاک‌سازی سطح قبل از لایه‌های بعدی
بخاردهی	کسب مقاومت سریع، مستقل از شرایط محیطی	نیاز به تجهیزات و کنترل دقیق دما
الکتریکی	عملکرد مناسب در هوای سرد	پرهزینه، تجهیزات خاص

راهنمای انتخاب بهترین روش کیورینگ

- برای دال‌های وسیع: غرقاب یا آب‌پاشی خودکار بهترین گزینه است.

- برای سطوح عمودی یا کم‌آب: پوشش‌های مرطوب یا ترکیبات عمل‌آوری پیشنهاد می‌شود.

- در هوای سرد: بخاردهی یا گرمایش الکتریکی.

- در قطعات پیش‌ساخته: بخاردهی صنعتی برای افزایش سرعت تولید.

روش های رطوبت رسانی غیرمستقیم در آبا:

در شیوه های رطوبت رسانی غیرمستقیم، از یک ماده جاذب آب به عنوان واسطه حفظ رطوبت و هم نین رطوبت رسانی استفاده می شود. هر چه میزان جذب آب در واحد سطح این ماده بیشتر باشد، برای عمل آوری رطوبتی، مناسب تر است. این موارد را عینا از آبا برایتان آورده ایم تا بیشتر از آن آگاه شوید.

الف) چتایی (پارچه کنفی) خیس:

استفاده از یک یا دو لایه چتایی خیس در سطوش افقی و یا حتی عمودی بسیار معمول است. چتایی باید از نوع درجه یک، با تار و پود بهم چسبیده باشد، به نحوی که نور به راحتی از آن عبور نکند. همپوشانی چتاییها به میزان ۰.۱ متر ضرورت دارد. همچنین توصیه می شود در صورت استفاده از لایه دوم چتایی خیس، این لایه عمود بر جهت لایه زیرین باشد. چتایی باید در تمام مدت عمل آوری، به ویژه در محیط گرم و خشک و بادخیز، خیس نگهداشته شود. لایه های چتایی باید تا حد امکان به سطح بتن ب سبد و امکان عبور جریان هوا در زیر چتایی از بین برود.

ب) افته پنبه ای یا حصیر

حصیر طبیعی که از گیاهان تهیه شده و بافته های پنبه ای یا سایر مواد جاذب برای عمل آوری رطوبتی غیرمستقیم به کار برده م یشود. این مواد هرچه سنگینتر و ضخیمتر و دارای جذب آب بیشتری باشند، مفیدتر و کارآتر خواهند بود و تثبیت آنها نیز ساده تر است. همپوشانی، تداوم خیس بودن و تثبیت آنها و سایر موارد مانند چتایی خیس است.

ج) کاه، پوشال و خاک اره

موادی جاذب، مانند کاه، پوشال و خاک اره، چنانچه خیس و دارای ضخامت کافی باشند برای عمل آوری رطوبتی مناسب هستند. توصیه می شود حداقل ضصامت این مواد در سطح بتن ۳۲ میلیمتر باشد.

جداول مهم آبا در مورد عمل آوری

جدول ۷-۴ تعریف رده‌های عمل‌آوری با توجه به اهمیت

شرایط	رده عمل‌آوری			
	۱	۲	۳	۴
دستیابی به درصد مقاومت فشاری مشخصه	– (۱)	۳۵	۵۰	۷۰

(۱) برای زمان گیرش بتن کمتر از ۵ ساعت و دمای سطح بتن بیش از ۵ درجه سلسیوس و هوای مرطوب (شرجی) بدون باد و آفتاب (رده عمل‌آوری «۱»)، مدت زمان عمل‌آوری حداقل ۱۲ ساعت در نظر گرفته می‌شود.

Figure ۸تعریف ردههای عملآوری با توجه به اهمیت

جدول ۷-۶ حداقل مدت عمل‌آوری برای رده‌های مختلف عمل‌آوری با توجه به دمای سطح بتن و روند کسب مقاومت آن (۱)

دمای متوسط سطح بتن (درجه سلسیوس)	حداقل مدت عمل‌آوری بر حسب روز برای روندهای کسب مقاومت بتن								
	سریع (تند) $r \geq ۰/۵$			متوسط $۰/۵ > r \geq ۰/۳$			کند (آهسته) $۰/۳ > r \geq ۰/۱۵$ (۲)		
	رده ۲	رده ۳	رده ۴	رده ۲	رده ۳	رده ۴	رده ۲	رده ۳	رده ۴
$t \geq ۲۵$	۱	۲	۳	۲	۳	۵	۳	۵	۶
$۲۵ > t \geq ۱۵$	۱	۲	۵	۳	۴	۹	۵	۷	۱۲
$۱۵ > t \geq ۱۰$	۲	۳	۷	۴	۷	۱۳	۸	۱۲	۲۱
$۱۰ > t \geq ۵$	۳	۴	۹	۵	۹	۱۸	۱۱	۱۸	۳۰

r: نسبت مقاومت فشاری ۲ روزه به ۲۸ روزه

t: دمای متوسط سطح بتن

(۱) چنانچه دمای متوسط روزانه در مدت عمل‌آوری بیش از ۳۰ درجه سلسیوس شود، استفاده از حداقل مدت زمان عمل‌آوری ارایه شده، محافظه‌کارانه می‌باشد.

(۲) چنانچه رشد مقاومت بتن کندتر باشد لازم است از شیوه‌های مستقیم یا غیرمستقیم برای دستیابی به درصدی از مقاومت ۲۸ روزه مورد نظر استفاده نمود.

Figure ۹ حداقل مدت عمل آوري

جدول ۷-۵ تعریف رده‌های عمل‌آوری با توجه به شرایط محیطی

رده عمل‌آوری	شرایط محیطی
۱	صرفا برای عمل‌آوری اولیه
۲	شرایط محیطی خوب پس از پایان عمل‌آوری (دارای رطوبت نسبی میانگین هوا بیش از ۸۰ درصد و به‌دور از باد و تابش مستقیم آفتاب)
۳	شرایط محیطی متوسط پس از مدت عمل‌آوری (دارای رطوبت نسبی میانگین بین ۴۰ تا ۸۰ درصد یا گاه دارای باد و تابش مستقیم آفتاب)
۴	شرایط محیطی ضعیف پس از پایان مدت عمل‌آوری (رطوبت نسبی کمتر از ۴۰ درصد یا دارای باد و تابش مستقیم آفتاب)
چنانچه در هر مورد، شرایط رویاروئی «مهاجم» باشد، یا اهمیت عضو بتنی از نظر دوام در این شرایط بیشتر باشد، رده عمل‌آوری ۲ یا ۳ را باید یک درجه افزایش داد.	

Figure ۱۰ تعریف رده هاي عمل آوري با توجه به شرايط محيطي

جمع‌بندی

کیورینگ بتن نه‌تنها یک مرحله ساده پس از بتن‌ریزی نیست، بلکه عنصری کلیدی در تضمین کیفیت نهایی بتن است. انتخاب روش مناسب، توجه به شرایط محیطی و اجرای دقیق، تضمین‌کننده عمر مفید و عملکرد مطلوب سازه خواهد بود.