



راهنمای بتن‌ریزی در هوای گرم

مؤلفان:

محمد شکرچی زاده نیکلاس علی لیبر

فرشته سادات ثابت ایمان مهدی پور

شرکت مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران (مینا)

انتشارات پندار پارس

عنوان و نام پدیدآور : راهنمای بتن‌ریزی در هوای گرم / مولفان محمد شکرچی‌زاده... (و دیگران)؛ [برای] شرکت مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران (مینا).

مشخصات نشر : تهران : پندار پارس، ۱۳۹۱.

مشخصات ظاهری : ۱۴۴ ص.: مصور، جدول، نمودار.

شابک : ۶۰۰۰ ریال : ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۲۹-۲۰-۲

وضعیت فهرست نویسی : فیا

پادداشت : مولفان محمد شکرچی‌زاده، نیکلاس علی‌لیبر، فرشته‌سادات ثابت، ایمان مهدی‌پور.

پادداشت : کتابخانه.

موضوع : بتن

موضوع : بتن - هوا

شناسه افزوده : شکرچی‌زاده، محمد، ۱۳۳۹ -

شناسه افزوده : گروه مینا

رده بندی کنگره : / ۳۰۳۹۱۴۳۹TA

رده بندی دیویی : ۱۳۶/۶۲۰

شماره کتابشناسی ملی : ۲۹۱۴۲۶۶

انتشارات پندارپارس



دفتر فروش: انقلاب، ابتدای کارگر جنوبی، کوی رشتچی، شماره ۱۴، واحد ۱۶ www.pendarepars.com

تلفن: ۶۶۵۷۲۳۳۵ - تلفکس: ۶۶۹۲۶۵۷۸ همراه: ۰۹۱۲۲۴۵۲۳۴۸ info@pendarepars.com

نام کتاب : راهنمای بتن‌ریزی در هوای گرم

ناشر : انتشارات پندار پارس، با همکاری شرکت مینا

تالیف : محمد شکرچی‌زاده، نیکلاس علی‌لیبر، فرشته‌سادات ثابت، ایمان مهدی‌پور

چاپ نخست : مهر ۹۱

شمارگان : ۱۵۰۰ نسخه

لبنوگرافی، چاپ، صحافی : ترام‌ستج، صالحان، خیام

قیمت : ۶۰۰۰ تومان شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۲۹-۲۰-۲

هرگونه کپی برداری، تکثیر و چاپ کاغذی یا الکترونیکی از این کتاب بدون اجازه ناشر تخلف بوده و پیگرد قانونی دارد *

*** تمامی حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به شرکت مینا می‌باشد ***

دیباچه

بتن، مصالح اصلی در بیشتر سازه‌ها و فراسازه‌هایی است که در نقاط مختلف دنیا و در شرایط گوناگون آب و هوایی ساخته می‌شوند. از سوی دیگر، کیفیت نهایی بتن به صورت گسترده‌ای تحت تأثیر شرایط اجرای سازه‌های بتنی قرار می‌گیرد؛ به‌طوری‌که در یک سازه‌ی بتنی، افزایش عمر بهره‌برداری، افزون بر آنکه تابع طراحی و استفاده از مصالح مناسب است، به شرایط اجرای آن نیز وابسته است. به همین دلیل است که تولید و گسترش تکنولوژی استفاده از بتن، در کانون توجه شرکت‌های مهندسی تراز اول جهانی قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، پهنه‌بندی جغرافیایی کشور ما به نحوی است که بخش عمده‌ای از آن در شرایط آب و هوایی گرم و خشک قرار دارد و این شرایط از مشکلات رایج در ساخت سازه‌ها، به‌ویژه در نواحی کویری مرکزی ایران و نواحی حاشیه‌ی خلیج فارس محسوب می‌شود؛ به‌گونه‌ای که این شرایط می‌تواند با تأثیرات منفی بر خواص بتن تازه و سخت‌شده همراه باشد. همچنین ترکیب عواملی مانند بادهای موسمی، نوسانات زیاد دمای هوا و رطوبت نسبی کم، باعث بروز ترک‌های حرارتی در بتن می‌شود. به همین دلیل باید برای رعایت استانداردهای طراحی سازه‌های بتنی، در اجرای آنها تدبیرات بیشتری اندیشیده شود.

گروه مپنا از آغاز تأسیس در سال ۱۳۷۱، با مهندسی، ساخت تجهیزات و احداث نزدیک به ۵۰,۰۰۰ مگاوات پروژه‌های نیروگاهی در قالب پروژه‌های خاصه یافته، در دست احداث و آتی خود که نزدیک به ۸۶ درصد از ظرفیت نصب شده‌ی نیروگاه‌های کشور را تشکیل می‌دهند مشارکت داشته است. این گروه بیشترین نقش را در توسعه‌ی ظرفیت نیروگاهی به عهده گرفته و از این طریق امکان رشد و توسعه‌ی صنعتی را فراهم ساخته است. همچنین گروه مپنا تنها سازنده‌ی تمامی تجهیزات اصلی نیروگاه‌های حرارتی، از جمله توربین‌های گاز و بخار، تجهیزات جانبی توربین، پره توربین، ژنراتور، بویلرهای بازیاب حرارتی (HRSG)، بویلرهای معمولی و تجهیزات جانبی آنها تحت لیسانس شرکت‌های معتبر جهانی در ایران می‌باشد. در این حوزه‌ها، گروه مپنا نخستین و بزرگ‌ترین پیمانکار عمومی نیروگاهی در خاورمیانه و غرب آسیا، نخستین و بزرگ‌ترین سازنده‌ی تمامی تجهیزات اصلی نیروگاهی در این مناطق و نخستین و بزرگ‌ترین سرمایه‌گذار طرح‌های نیروگاهی خصوصی در کشور محسوب می‌شود. جذب پیشرفته‌ترین فناوری و دانش فنی در تمام حوزه‌های فعالیت صنعتی را می‌توان از دستاوردهای گروه مپنا برشمرد.

گروه مپنا با برخورداری از توانمندی‌ها و فناوری‌های بیان شده و برای ایفای رسالت‌های اجتماعی خویش از یک سو و گسترش کسب و کار در حوزه‌هایی که مزیت رقابتی دارد از سوی دیگر، تهیه‌ی دستورالعمل بتن‌ریزی در شرایط هوای گرم را در دستور کار خود قرار داده است. کتاب "راهنمای بتن‌ریزی در هوای گرم" که به سفارش گروه مپنا و با حمایت‌های مادی و معنوی آن و با همکاری "انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران" به‌عنوان یک مرکز تحقیقاتی پیشرو منتشر می‌شود، به

منظور نشر دانش، در دسترس جامعه‌ی علمی و تخصصی کشور قرار می‌گیرد. انتظار می‌رود که این کتاب مورد استقبال محققان و طراحان علاقه‌مند واقع گردد و ضمن آنکه زمینه‌ای برای تحقیق و انتشار بیشتر متون علمی در این زمینه را فراهم می‌سازد، به توسعه‌ی این فناوری حیاتی در داخل کشور کمک کند.

هجده سال تلاش در زمینه‌ی جذب و تولید تکنولوژی‌های پیشرفته و به‌کارگیری آن برای توسعه‌ی ملی، گروه مپنا را به یک بنگاه اقتصادی دانش بنیان تبدیل کرده است. انتشار کتاب در زمینه‌ی فناوری‌هایی که گروه مپنا در آن سرآمدی ملی و منطقه‌ای دارد، ایفای بخشی از رسالت‌های اجتماعی سازمان از طریق نشر دانش است. معاونت تحقیق و توسعه‌ی گروه مپنا امیدوار است در انجام این وظیفه، با دریافت نظرات و پیشنهادها از حمایت جامعه‌ی علمی-تخصصی کشور بهره‌مند گردد.

شهریور ۱۳۹۱

محسن حامدی

معاونت تحقیق و توسعه گروه مپنا

فهرست

۱	فصل اول پیش‌گفتار
۲	۱-۱ تعریف هوای گرم
۲	۲-۱ مشکل‌های احتمالی بتن‌ریزی در هوای گرم
۵	۱-۲ آب و هوای گرم در ایران
۷	فصل ۲ تأثیر شرایط هوای گرم بر ویژگی‌های بتن تازه
۸	۱-۲ آب مورد نیاز
۱۰	۲-۲ افت اسلامپ
۱۱	۳-۲ عوامل تأثیرگذار بر افت اسلامپ
۱۱	۱-۳-۲ دما
۱۳	۲-۳-۲ زمان اختلاط و حمل بتن
۱۶	۳-۳-۲ افزودنی‌های شیمیایی و معدنی
۱۷	فصل ۳ تأثیر شرایط هوای گرم بر ویژگی‌های بتن سخت‌شده
۱۷	۱-۳ ریزساختار
۱۸	۱-۱-۳ ترک‌خوردگی داخلی
۱۸	۲-۱-۳ ناهمگنی ژل سیمان
۱۹	۲-۳ اثر دمای عمل‌آوری بر مقاومت بتن
۲۱	۳-۳ جمع‌شدگی پلاستیک
۲۵	تأثیر عوامل محیطی بر جمع‌شدگی پلاستیک
۲۷	۴-۳ ترک‌خوردگی حرارتی
۲۹	۵-۳ ترک‌خوردگی جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدن
۳۰	۶-۳ خزش
۳۰	۷-۳ دوام
۳۱	۱-۷-۳ نفوذپذیری
۳۱	۲-۷-۳ حمله‌های سولفاتی
۳۲	۳-۷-۳ واکنش‌های قلیایی سنگدانه‌ها
۳۳	فصل ۴ رفتار مصالح تشکیل‌دهنده بتن در هوای گرم
۳۳	۱-۴ سیمان
۳۴	۱-۱-۴ اجزای اصلی
۳۵	۲-۱-۴ اجزای فرعی
۳۶	۳-۱-۴ نرمی سیمان

۳۷	۴-۱-۴ هیدراتاسیون و سخت‌شدگی
۴۰	۴-۱-۵ تأثیر دما بر فرآیند هیدراتاسیون سیمان
۴۱	تأثیر بر سرعت هیدراتاسیون
۴۲	تأثیر بر درجه‌ی پایانی هیدراتاسیون
۴۳	تأثیر بر طبیعت فرآورده‌های هیدراتاسیون
۴۴	تأثیر بر ساختار ژل سیمان
۴۶	۴-۲-۲ مراد افزودنی معدنی و سیمان‌های آمیخته
۴۷	۴-۲-۲-۱ افزودنی‌های با فعالیت کم یا خنثی
۴۷	۴-۲-۲-۲ مراد افزودنی پوزولانی
۴۷	طبقه‌بندی
۴۷	خاکستر بادی
۴۸	دوده‌ی سیلیس
۴۹	پوزولان‌های طبیعی
۴۹	هیدراتاسیون و گیرش
۵۰	ریزساختار
۵۱	روند کسب مقاومت
۵۲	۴-۲-۳ افزودنی‌های سیمانی
۵۳	هیدراتاسیون
۵۳	ریزساختار
۵۵	روند کسب مقاومت
۵۶	۴-۲-۴ سیمان‌های آمیخته
۵۷	۴-۳-۲ افزودنی‌های شیمیایی
۵۷	۴-۳-۲-۱ افزودنی‌های کاهنده‌ی آب
۵۸	۴-۳-۲-۲ افزودنی‌های دیرگیرکننده
۶۰	۴-۳-۲-۳ فوق روان‌کننده‌ها
۶۳	۴-۳-۴ افزودنی‌های کنترل‌کننده‌ی زمان گیرش
۶۴	۴-۴-۱ سنگدانه
۶۴	۴-۴-۱-۱ مقدار سنگدانه‌ها
۶۵	۴-۴-۱-۲ صلیبیت سنگدانه‌ها
۶۷	فصل ۵ روش‌های بتن‌ریزی در هوای گرم
۶۸	۵-۱ طرح مخلوط

۷۱	۲-۵ کنترل کارایی
۷۲	۵-۲-۱ افزایش اسلامپ آغازین بتن
۷۳	۵-۲-۲ کاهش دمای بتن
۷۵	تخمین دمای بتن
۷۶	۵-۲-۲ راهکارهای کاهش دمای بتن
۷۶	استفاده از سنگدانه سرد شده
۷۷	استفاده از آب سرد
۷۹	سرد کردن سیمان
۸۰	استفاده از نیتروژن مایع
۸۰	استفاده از یخ
۸۴	۵-۲-۴ بازیابی کارایی
۸۵	بازیابی کارایی با آب
۸۸	بازیابی کارایی با فوق روان سازها
۹۳	۵-۳ ساخت و تحویل بتن
۹۴	ساخت و اختلاط
۹۵	۵-۴ جای‌دهی و پرداخت بتن
۹۷	تجهیزات جای‌دهی
۹۷	تجهیزات تراکم
۹۸	آماده‌سازی کارهای جنبی
۹۸	جای‌دهی و پرداخت
۹۹	ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک
۱۰۰	۵-۵ عمل‌آوری و حفاظت
۱۰۱	آمادگی برای حفاظت و عمل‌آوری بتن
۱۰۲	عمل‌آوری پوسته‌ای بتن‌های مسطح
۱۰۳	ماده‌ی کاهنده‌ی تبخیر
۱۰۳	عمل‌آوری بتن در قالب
۱۰۵	۶-۵ کنترل و بازرسی
۱۰۹	فصل ۶ تمهیدات لازم برای بتن حجیم
۱۰۹	۶-۱ سیستم‌های پیش‌سرمایش
۱۱۰	۶-۲ سیستم‌های پس‌سرمایش
۱۱۰	۶-۲-۱ جای‌گذاری لوله‌های تعبیه شده

۱۱۰.....	مصالح
۱۱۱.....	فاصله‌ی میان لوله‌ها
۱۱۱.....	طراحی سیستم لوله‌ها
۱۱۱.....	تعمیرات در زمان جای‌دهی بتن
۱۱۱.....	۲-۲-۶ امکانات خنک‌کنندگی و پمپ‌کردن
۱۱۱.....	سیستم پمپ
۱۱۲.....	سیستم سرمایش
۱۱۲.....	دیگر روش‌های کاربردی برای خنک‌کردن آب
۱۱۲.....	۳-۲-۶ کنترل عملیات جریان
۱۱۲.....	۴-۲-۶ خنک‌کردن سطحی
۱۱۳.....	۳-۶ عایق‌کاری سطح
۱۱۴.....	روند افزایش تنش
۱۱۴.....	روند کسب مقاومت
۱۱۴.....	۱-۳-۶ گرادیان حرارتی
۱۱۵.....	۲-۳-۶ مصالح
۱۱۵.....	سطوح افقی
۱۱۶.....	سطوح قالب‌بندی شده
۱۱۶.....	لبه‌ها و کنج‌ها
۱۱۶.....	۳-۳-۶ ملزومات جغرافیایی
۱۱۷.....	پیوست ۱ مراجع
۱۲۹.....	پیوست ۲ چک‌لیست بتن‌ریزی در هوای گرم
۱۲۹.....	طرح مخلوط
۱۲۹.....	ساخت بتن
۱۳۰.....	جابه‌جایی و تحویل بتن
۱۳۱.....	بتن‌ریزی و جای‌دهی بتن
۱۳۲.....	عمل‌آوری
۱۳۳.....	آزمایش و بازرسی

سختن مؤلفان

بتن پرکاربردترین ماده‌ی ساختمانی در جهان است، به گونه‌ای که پس از آب بیشترین مصرف به این ماده اختصاص دارد و سالیانه حدود شش میلیارد تن از آن به مصرف می‌رسد. سازه‌های بتنی در بیشتر نقاط دنیا ساخته می‌شوند اما در برخی از این مناطق دوره‌های طولانی مدت گرما و سرما بسیار متداول است. نقشه‌ی پهنه‌بندی شرایط آب‌وهوایی ایران نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد از مساحت ایران را مناطق گرم و خشک یا گرم و مرطوب تشکیل می‌دهد. هوای گرم با تسریع روند تبخیر رطوبت در بتن تازه و افزایش سرعت هیدراتاسیون سیمان، می‌تواند باعث ایجاد مشکلاتی در اختلاط، اجرا و عمل‌آوری بتن شود. این مشکلات تأثیرات منفی بر کارایی و مشخصات بتن تازه و سخت شده به همراه خواهد داشت. افزون بر این، مشکلات دیگری نیز در بتن‌ریزی در هوای گرم وجود دارد که بیشتر به علت افزودن آب به بتن برای تأمین کارپذیری در کارگاه ایجاد می‌شود. افزایش آب، روانی بتن را افزایش داده اما باعث کاهش خواص مکانیکی و دوام بتن خواهد شد. از سوی دیگر تقریباً تمام ساخت‌وساز موجود در حواشی خلیج فارس در شرایط گرم و مرطوب انجام می‌شود. در این منطقه ترکیب عواملی مانند بادهای موسمی، نوسانات زیاد دمای هوا و رطوبت نسبی کم، باعث تسریع در آغاز جمع‌شدگی پلاستیک و جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدن می‌شود. به همین علت برای دستیابی به ملزومات طراحی شده برای بتن باید تمهیدات خاصی اندیشیده شود.

در بسیاری از کشورهایی که شرایط هوای گرم در آن محتمل است، دستورالعمل‌هایی برای تولید بتن و کنترل کیفیت آن در شرایط هوای گرم تهیه شده است. با این حال علی‌رغم اینکه بخش مهمی از ساخت و سازهای کشور در شرایط هوای گرم انجام می‌پذیرد اما متأسفانه دستورالعمل جامعی برای بتن‌ریزی در شرایط هوای گرم در ایران وجود ندارد. در این راستا انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران به عنوان یک مرکز تحقیقاتی پیشرو که رسالت خود را افزایش دانش عمومی و تخصصی مهندسی در حوزه مواد و مصالح ساختمانی می‌داند بر آن شد تا مجموعه‌ی مدونی از اطلاعات مورد نیاز دانشجویان، محققان، مهندسان و صنعتگران را فراهم نموده و در اختیار آنها قرار دهد. این کتاب که با حمایت مادی و معنوی شرکت مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران (مپنا) تهیه شده است کوششی در راستای افزایش دانش طراحان، پیمانکاران و کارفرمایان دست‌اندرکار ساخت و ساز و بهبود کیفیت سازه‌های بتنی در شرایط هوای گرم است.

هدف از تألیف کتاب حاضر، معرفی مشکلات بتن‌ریزی در هوای گرم بر خواص بتن تازه و سخت شده بوده و روش‌های مقابله با آن را بیان می‌کند. روش‌های اجرایی مطرح شده شامل روش‌های آماده‌سازی مصالح و فرآیندهای مورد استفاده در ساخت و عمل‌آوری بتن می‌باشد. این کتاب در ۶ فصل و یک پیوست تهیه گردیده است. فصل نخست به معرفی هوای گرم و مشکلات احتمالی بتن‌ریزی در هوای گرم اختصاص یافته است. تأثیر شرایط هوای گرم بر مشخصات بتن تازه در

فصل دوم مورد بررسی قرار گرفته است. فصل سوم به بررسی تأثیر شرایط هوای گرم بر مشخصات بتن سخت شده می پردازد. پس از آن رفتار مصالح تشکیل دهنده بتن در هوای گرم در فصل چهارم بررسی شده است. در فصل پنجم و ششم نیز روش های بتن ریزی در هوای گرم و تمهیدات لازم برای بتن حجیم مورد بحث قرار گرفته است. در پیوست نیز چکلیست بتن ریزی در هوای گرم قرار داده شده است.

نویسندگان بر خود لازم می دانند از گروه مهنا که با نشر کتاب حاضر گامی برای گسترش اطلاعات و افزایش دانش عمومی برداشته است، به ویژه جناب آقای دکتر حامدی و مهندس خرازی، نهایت تشکر و قدردانی را به عمل آورند. همچنین لازم است تا از کمک های بی دریغ آقای مهندس علی پورضرابی و نیز خانم مهندس مرال جلیلی کارشناسان انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران که با کمک آنان تهیه ی این کتاب مقدور گردید کمال تشکر و قدردانی ابراز گردد.

با تمامی کوششی که در تدوین و نگارش این کتاب صورت گرفته است اما مطالب آن عاری از لغزش و کاستی نیست. خواهشمند است نظرات و پیشنهادهای سازنده ی خود را به پست الکترونیکی (nalibre@ut.ac.ir) ارسال نمایید.

انستیتو مصالح ساختمانی

پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران

محمد شکرچی زاده

نیکلاس علی لیبر

فرشته سادات ثابت

ایمان مهدی پور

فصل اول

پیش‌گفتار

ساختمان‌های بتنی و دیگر انواع سازه‌ها در بیشتر نقاط دنیا ساخته می‌شوند. در برخی از این مناطق، دوره‌های طولانی مدت گرم و سرما بسیار متداول است. با این وجود، آب و هوای حاکم در بیشتر مناطق معتدل که مورد سکونت انسان است، خنک و مرطوب است. در این مناطق، هرچند وجود دوره‌های طولانی مدت سرما در انتظار نیست، اما باید توجه نمود که آغاز چنین وضعیت آب و هوایی بیشتر ناکهانی بوده و در چنین شرایطی، فرصت کافی حتی برای به‌کارگیری ابتدایی‌ترین اقدامات برای کاهش عوارض نامطلوب ناشی از وضعیت بد آب و هوایی وجود ندارد. برخلاف موانع موجود از نظر آب و هوایی در این مناطق، شرکت‌های تولید بتن آماده باید بتن‌های با کیفیت مناسب تولید کنند.

وضعیت آب و هوایی موجود در کارگاه، خواه گرم باشد یا سرد، مرطوب یا خشک، آرام یا طوفانی، می‌تواند با شرایطی که بتن براساس آن طراحی شده است و یا با شرایط آزمایشگاهی که بتن در آن نگهداری و آزمایش شده است تفاوت زیادی داشته باشد. بنابراین در بیشتر موارد غیر ممکن است که ویژگی‌های بتن را بر مبنای شرایط آزمایشگاهی تعیین نمود و انتظار داشت همان شرایط به‌طور کامل در کارگاه به‌دست آید.

هوای گرم با سرعت بخشیدن به روند تبخیر رطوبت بتن تازه و افزایش سرعت هیدراتاسیون سیمان، باعث ایجاد مشکل‌هایی در اختلاط، اجرا و عمل‌آوری بتن می‌شود. این مشکلات می‌تواند تأثیر منفی بر ویژگی‌ها و کارایی بتن داشته باشد. دمای بتن، ترکیبات سیمان و اندازه‌ی ذرات آن و افزودنی‌های استفاده شده، عوامل تأثیرگذار بر سرعت هیدراتاسیون سیمان هستند. دمای زیاد هوای محیطی در کنار گرمای ناشی از هیدراتاسیون سیمان می‌تواند با افزایش دمای بتن، اثر منفی بر مقاومت نهایی مخلوط بتنی داشته باشد. گیرش اولیه‌ی بتن گرم نیز بسیار سریع است و می‌تواند باعث کاهش کارپذیری بتن گردد. همچنین نباید از تأثیر هوای گرم بر نیروی انسانی غافل ماند، زیرا در صورتی که عوامل اجرایی و نظارت، برای مدت طولانی و بدون حفاظت مناسب در شرایط هوای سرد یا گرم قرار گیرند، نمی‌توان انتظار داشت که بتن اجرا شده از کیفیت مناسبی برخوردار باشد.

۱-۱ تعریف هوای گرم

تعریف ساده‌ای برای هوای گرم در هنگام بتن‌ریزی وجود ندارد. تنها مسئله‌ای دارای اهمیت، تعیین محدودیتی برای دما نیست چرا که مشکل‌های به‌وجود آمده در هنگام بتن‌ریزی در یک روز گرم، شرجی و آرام نسبت به مشکل‌های به‌وجود آمده در هنگام بتن‌ریزی در روزی با دمای هوای کمتر، رطوبت کمتر و بادهای زیاد، کمتر است. در شرایط اخیر تمایل تبخیر آب موجود در سطح بتن بیشتر خواهد بود. بنابراین در هنگام تعریف شرایط هوای گرم، افزون بر عامل دما، عوامل دیگری مانند رطوبت محیط، وزش باد و مانند آن، که بر سرعت تبخیر آب از سطح بتن و یا سرعت واکنش‌های هیدراتاسیون اثر می‌گذارند نیز باید در نظر گرفته شود.

از این پس در این گزارش، "شرایط هوای گرم" به هر ترکیبی از شرایط هوایی زیر گفته می‌شود که با افزایش سرعت از دست‌رفتن رطوبت و سرعت بخشیدن به هیدراتاسیون سیمان، تأثیر منفی بر کیفیت بتن تازه یا سخت‌شده بگذارد. این شرایط در زیر نام برده شده‌اند:

- دمای زیاد هوای محیط
- دمای زیاد بتن
- کم بودن رطوبت نسبی
- باد با سرعت زیاد
- تابش مستقیم خورشید

با افزایش سرعت وزش باد، تأثیر عواملی مانند دمای زیاد هوا، تابش مستقیم خورشید و کم‌بودن رطوبت نسبی، شدید می‌شود. مشکل‌های ناشی از شرایط هوای گرم هنگام بتن‌ریزی در مناطق گرم استوایی و مناطق گرم و خشک، در همه‌ی طول سال و در دیگر مناطق آب و هوایی، بیشتر در تابستان پیش می‌آید. ترک‌خوردگی اولیه ناشی از جمع‌شدگی حرارتی بیشتر در فصل بهار و پاییز به‌علت نوسانات زیاد دمای هوا در طول شبانه‌روز، شدیدتر است. اقدامات احتیاطی لازم در روزی آفتابی به‌همراه وزش باد، مهم‌تر و سختگیرانه‌تر از اقدامات احتیاطی لازم در روزی آرام و مرطوب است، حتی اگر دمای هوا در دو روز ثابت باشد.

۲-۱ مشکل‌های احتمالی بتن‌ریزی در هوای گرم

هوای گرم بر ویژگی‌هایی از بتن که آن را به یک مصالح ساختمانی مناسب تبدیل کرده است تأثیر منفی می‌گذارد. برای فهم بهتر این موضوع، تأثیرهای هوای گرم بر بتن در دو فاز بتن تازه و بتن

سخت شده بررسی می‌گردد. ویژگی‌های بتن تازه به‌طور عمده تحت تأثیر وضعیت آب و هوایی است. مشکل‌های احتمالی بتن تازه و در بتن در سنین اولیه شامل موارد زیر است:

- افزایش آب مورد نیاز،
- سرعت بخشیدن به افت اسلامپ و تمایل به افزایش آب به بتن در کارگاه،
- افزایش سرعت گیرش بتن و دشوار شدن کار کردن با بتن، تراکم و پرداخت آن و نیز افزایش خطر تشکیل درز سرد،
- نیاز جدی به عمل‌آوری سریع،
- افزایش احتمال ترک‌خوردگی در اثر جمع‌شدگی پلاستیک،
- دشوار شدن کنترل مقدار هوای موجود در بتن.

هوای گرم بر خواص بتن سخت‌شده نیز تأثیر می‌گذارد. خواص بتن سخت‌شده از جمله مقاومت فشاری، نفوذپذیری، پایداری ابعادی و مقاومت بتن در برابر هوازدهی، فرسودگی و تهاجم مواد شیمیایی، به این عوامل بستگی دارد: انتخاب و کنترل مناسب مصالح و نسبت‌بندی مخلوط، دمای اولیه بتن، سرعت وزش باد، تابش خورشید، دمای محیط و شرایط رطوبتی محیط در هنگام تولید، اجرا و عمل‌آوری بتن.

مشکل‌های ایجاد شده برای بتن سخت‌شده‌ای که در معرض "هوای گرم" قرار دارد در زیر نام برده شده‌اند:

- کاهش مقاومت ۲۸ روزه و نیز مقاومت در سنین بالاتر به‌علت دمای زیاد بتن در زمان بتن‌ریزی یا در سنین اولیه،
- افزایش امکان جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدن و ترک‌های ناشی از اختلاف درجه حرارت به‌دلیل خنک شدن کل سازه یا به‌دلیل اختلاف درجه حرارت موجود در سطح مقطع عضو،
- کاهش دوام به‌دلیل ترک‌خوردگی،
- یکنواخت نبودن شکل ظاهری بتن در مواردی مانند درز سرد یا نداشتن یکنواختی رنگ بتن به‌دلیل تفاوت در سرعت هیدراتاسیون سیمان یا تفاوت در نسبت آب به سیمان محموله‌های گوناگون بتن،
- افزایش امکان خوردگی آرماتور به‌دلیل نفوذ عوامل خوردنده.

افزون بر مشکل‌های اصلی ذکر شده، مشکل‌های دیگری نیز در بتن‌ریزی در هوای گرم وجود دارد که بیشتر به‌علت افزودن آب به بتن برای فراهم کردن کارپذیری در کارگاه است. افزایش آب، روانی بتن را افزایش داده اما به دلایل زیر باعث کاهش کیفیت بتن خواهد شد:

- افزایش احتمال جداشدگی سنگدانه‌ها در بتن تازه به‌دلیل کاهش لزجت،

- کاهش مقاومت به دلیل افزایش نسبت آب به مواد سیمانی،
- افزایش نفوذپذیری و کاهش دوام بتن به دلیل افزایش تخلخل ریزساختار بتن،
- افزایش تمایل بتن به جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن و بروز ترک‌های نامطلوب.

باید توجه کرد که مشکل‌های آتی ایجاد شده که ناشی از افزودن آب به بتن می‌باشند، با مشکل‌های آغازین که به‌طور مستقیم به دلیل آب و هوای گرم ایجاد می‌شود تفاوت دارند. در حقیقت، در صورتی که با انجام کنترل کیفیت مناسب در کارگاه، جلوی افزایش پیش‌بینی نشده‌ی آب به بتن گرفته شود، می‌توان مشکل‌های آتی را رفع نمود اما باز هم به دلیل شرایط آب و هوای گرم احتمال دارد مشکل‌هایی در بتن سخت‌شده پدید آید که کاهش تأثیر منفی آن نیازمند پیش‌بینی تمهیداتی است.

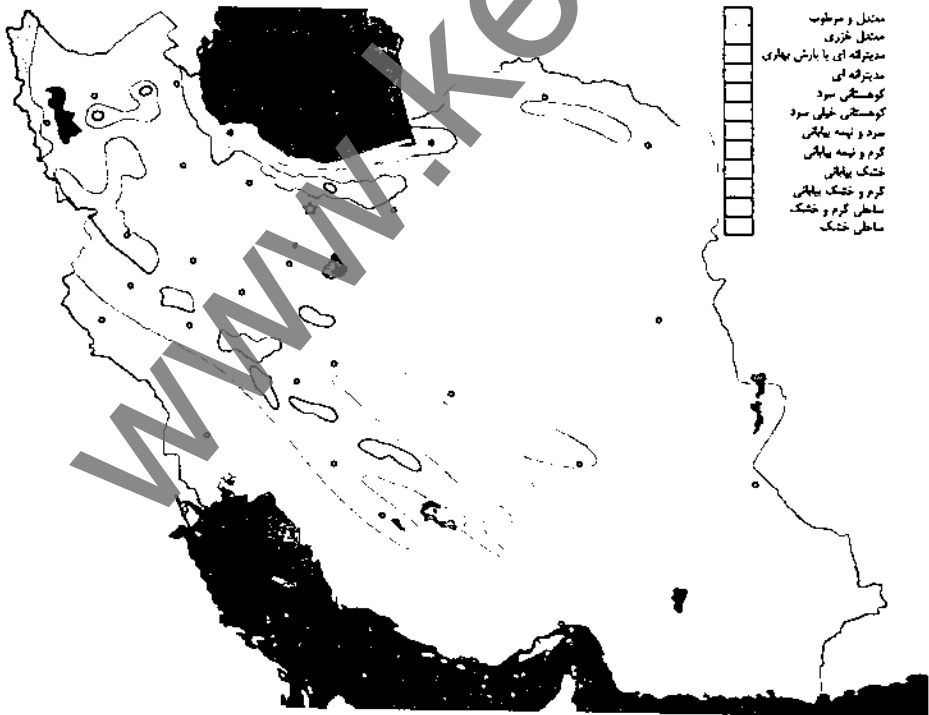
همان‌گونه که پیش از این ذکر شد دمای زیاد هوا در همه‌ی مراحل تولید و اجرای بتن، تأثیر منفی بر مقاومت بلند مدت و دوام بتن دارد. برخی تأثیرهای ناشی از هوای گرم بر بتن، در جدول ۱-۱ آورده شده است. این تأثیرها ناشی از هوای گرم، سرعت بخشیدن واکنش هیدراتاسیون و حرکت رطوبت از داخل بتن و تبخیر از سطح آن است. در مورد اخیر، رطوبت نسبی و سرعت باد دارای تأثیر قابل توجهی هستند.

جدول ۱-۱- برخی مشکل‌های ناشی از هوای گرم در فرآیند تولید و اجرای بتن

مرحله	تأثیر
ساخت بتن	افزایش آب مورد نیاز برای دستیابی به سطح کارایی مشخص
	افزایش مشکل‌ها در کنترل درصد هوای بتن تازه
حمل و نقل	کاهش مقدار آب در اثر تبخیر
	افزایش نرخ افت کارایی بتن
جای‌دهی، پرداخت و عمل‌آوری بتن	کاهش مقدار آب در اثر تبخیر
	افزایش نرخ افت کارایی بتن
	افزایش سرعت گیرش بتن
	افزایش احتمال ایجاد ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک
بلند مدت	افزایش دمای بتن در هنگام هیدراتاسیون که باعث افزایش احتمال ترک‌خوردگی و کاهش مقاومت بلند مدت بتن خواهد شد
	کاهش مقاومت بتن
	کاهش دوام بتن
	ظاهر ناهمگون بتن

۱-۲-۱ آب و هوای گرم در ایران

ایران در منطقه‌ای خشک واقع شده و در بیشتر نواحی آن آب با سرعت زیاد تبخیر می‌شود. آب و هوای گرم برای بتن‌ریزی مشکل‌هایی را ایجاد می‌کند. بنابراین شرایط گرم آب و هوایی که پیش از این تعریفی برای آن ارائه شد، از مشکل‌های رایج در ساخت‌وساز به‌ویژه در نواحی کویری مرکزی ایران و نواحی جنوبی در حاشیه خلیج فارس به‌شمار می‌آید. برای نمونه، برپایه‌ی اطلاعات جمع‌آوری شده از سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۰ در ایستگاهی نزدیک به خلیج فارس بیشترین دمای هوا، ۴۹ درجه سانتیگراد در مریاد و شهریار است. نزدیک به ۷۵٪ از طول سال، دمای هوا از ۲۰ درجه سانتیگراد فراتر رفته و میانگین بیشترین دما به ۴۴ درجه سانتیگراد می‌رسد. گرم‌ترین روزهای سال در روزهای آرام تابستان و یا در روزهایی که بادهای ملایم شمالی می‌وزند و در زمانی که گرد و غبار و رطوبتی برای جلوگیری از تابش مستقیم خورشید وجود ندارد پیش می‌آید. بیشترین رطوبت نسبی در این ناحیه ۸۷ درصد است که در دی ماه اتفاق می‌افتد اما در تابستان تا ۱۰ درصد هم کاهش می‌یابد. سرعت باد از ۳/۵ متر بر ثانیه در آبان ماه تا ۲۹ متر بر ثانیه در خرداد ماه متغیر است.



شکل ۱-۱- نقشه‌ی پهنه‌بندی آب‌وهوایی ایران

توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی آب و هوایی ایران در شکل ۱-۱ مشخص می‌کند که بیش از ۵۰ درصد از مساحت ایران را مناطق گرم و خشک یا گرم و مرطوب تشکیل می‌دهد. شرایط آب و هوایی مناطق گرم و خشک که در مرکز، جنوب و غرب ایران واقع شده‌اند تأثیر منفی بر خواص بتن تازه و سخت شده می‌گذارد. ترکیب عواملی مانند بادهای موسمی، نوسانات زیاد دمای هوا و رطوبت نسبی کم باعث سرعت بخشیدن در آغاز جمع‌شدگی پلاستیک، جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدن و ترک‌های حرارتی می‌شود. به همین علت برای دستیابی به ملزومات طراحی شده برای بتن، باید تمهیدات بیشتری اندیشیده شود. عمل‌آوری، بزرگ‌ترین چالش موجود در مناطق گرم و خشک بوده و مدیریت مناسب آن تأثیر زیادی در تولید بتن با کیفیت دارد. از سوی دیگر، همه‌ی ساخت‌وساز موجود در حواشی خلیج فارس تا اندازه‌ای در شرایط گرم و مرطوب انجام می‌شود. رطوبت موجود در این شرایط آب و هوایی که خیلی بیشتر از آب و هوای گرم و خشک است، به هیدراتاسیون سیمان کمک می‌کند. اما خوردگی آرماتورهای موجود در بتن، به دلیل خیس و خشک‌شدن‌های متناوب ناشی از پاشش آب دریا و اثر سرعت‌دهنده‌ی کلر موجود در محیط، به عنوان عوامل اصلی تخریب مطرح می‌باشد.

در آب و هوای گرم و خشک مانند آنچه در ایران مشاهده می‌شود، اگر سرعت تبخیر از سرعت حرکت آب حاصل از آب‌انداختگی به سطح بتن بیشتر باشد، ترک‌های حاصل از جمع‌شدگی پلاستیک گسترش می‌یابد. افزون بر این، اگر ترک‌های حاصل از جمع‌شدگی هم ایجاد نشود، باز هم خشک‌شدن سطح بتن باعث کاهش مقاومت سایشی و افزایش کخلخل و نفوذپذیری در نزدیک سطح بتن خواهد شد.

در چنین شرایطی تنها با انجام اقدامات پیشگیری‌کننده در برخورد با مشکل‌ها است که می‌توان به اجرای کارهای بتنی در شرایط مناسب ادامه داد. در بسیاری از کشورهایی که شرایط هوای گرم در آن قابل پیش‌بینی است، راهکارها و راهنمایی برای تولید بتن در این شرایط موجود است. متأسفانه راهکار ملی برای بتن‌ریزی در شرایط هوای گرم ایران وجود ندارد. در این کتاب به معرفی مشکل‌های ناشی از بتن‌ریزی در هوای گرم پرداخته و روش‌های مقابله با این مشکل‌ها را معرفی می‌کنیم. روش‌های اجرایی مطرح شده شامل روش‌های آماده‌سازی مصالح و فرآورده‌های مورد استفاده در ساخت و عمل‌آوری بتن است. تأثیر مخرب ناشی از هوای گرم با به‌کارگیری روش‌های کنترلی اشاره شده در این کتاب تا اندازه‌ای قابل توجهی کاهش می‌یابد.