INSO
17728
1st.Edition
2014

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۷۷۲۸
چاپ اول
۱۳۹۲

اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن در سن اولیه و طرح‌ریزی مقاومت در سن بعدی- روش آزمون

Measuring early-age compressiv strength and projecting later-age strength- Test method

ICS: 91.100.30

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و / یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن در سن اولیه و طرح‌ریزی مقاومت در سن بعدی- روش آزمون»

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
ارشد، بهمن (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
دبیر:	
مشاور، عاطف (کارشناس مهندسی عمران)	شرکت تکین ساز آزما
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
امیری، احمد (کارشناس مهندسی عمران)	شرکت بنیاد بتن آذرآبادگان
بهکام، علیرضا (کارشناس مهندسی عمران)	شرکت معیارگستر صدر
پوربابا، مسعود (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه
تقی زادیه، نادر (کارشناس ارشد زمین شناسی)	آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی
حیدرپور، هادی (کارشناس مهندسی عمران)	کارشناس
روا، افشین (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
زیرک‌کار، سهراب (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	سازمان عمران شهرداری تبریز

سامانی، ایوب (کارشناس مهندسی عمران)	شرکت مهندسین مشاور خاک آب تحلیل
ظهوری، رضا (کارشناس مهندسی عمران)	بتن آماده لطفی
عدالتی، حسین (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	مجتمع تولیدی امامیه سپاه
فرشی حق رو، ساسان (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
مشک آبادی، کامبیز (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
موسایی، اصغر (کارشناس معماری)	آزمایشگاه عمران سنجش میزان
موسوی، محمد (کارشناس مهندسی عمران)	آزمایشگاه جهاد تحقیقات سهند
مهدیزاده، کامران (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	سازمان نظام مهندسی ساختمان استان آذربایجان شرقی
ولیزاده، وحید (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد ج
پیش گفتار و

۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۲
۴ اصول آزمون ۳
۵ وسایل آزمون ۴
۶ نمونه‌برداری ۴
۷ روش انجام آزمون مقاومت اولیه و طرح‌ریزی شده ۴
۸ روش تعیین معادله پیش‌بینی ۵
۹ تفسیر نتایج ۷
۱۰ گزارش آزمون ۸
۱۱ دقت و اریبی ۸
پیوست الف (اطلاعاتی) مثال کاربردی ۱۰

پیش گفتار

استاندارد «اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن در سن اولیه و طرح‌ریزی مقاومت در سن بعدی- روش آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط شرکت تکین ساز آزما تهیه و تدوین شده است و در چهارصد و هفتاد و سومین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۹۲/۱۱/۲۳ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ASTM C918/C918M:2013, Measuring early-age compressiv strength and projecting later-age strength- Test method

اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن در سن اولیه و طرح‌ریزی مقاومت در سن بعدی- روش آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای ساخت و عمل‌آوری نمونه‌های بتن و آزمون آن‌ها در سن اولیه می‌باشد. نمونه‌های بتن تحت شرایط عمل‌آوری متعارف[1]، نگهداری می‌شوند و پیشینه دمایی، اندازه‌گیری شده و برای محاسبه شاخص بلوغ[2] که با حصول مقاومت در ارتباط است، به کار می‌رود.

۱-۲ این استاندارد، همچنین برای طرح‌ریزی مقاومت بالقوه بتن در سنین بعدی با استفاده از نتایج آزمون‌های مقاومت فشاری در سن اولیه، کاربرد دارد.

۱-۳ طرح‌ریزی مقاومت، محدود به بتن‌هایی می‌شود که با استفاده از مواد و نسبت‌های یکسان برای تعیین معادله پیش‌بینی، به کار می‌روند.

یادآوری ۱- فواصل اطمینان ایجاد شده طبق بند ۹-۲، در ارزیابی مقاومت‌های طرح‌ریزی شده، مفید می‌باشند.

۱-۴ این استاندارد، برای تخمین مقاومت درجای[3] بتن، کاربرد ندارد. استاندارد ASTM C1074، روش‌هایی را برای تخمین مقاومت درجا با استفاده از شاخص بلوغ اندازه‌گیری شده در محل، ارائه می‌کند.

یادآوری ۲- یادآوری‌ها و زیرنویس‌های ارجاع داده شده در این استاندارد برای توضیح بیشتر مواد می‌باشند. یادآوری‌ها و زیرنویس‌ها (به استثنای موارد ذکر شده در جداول و شکل‌ها) نباید به عنوان الزامات این استاندارد، در نظر گرفته شود.

هشدار- در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی نوشته نشده است. در صورت وجود چنین مواردی، مسئولیت برقراری شرایط ایمنی و سلامتی مناسب و اجرای آن بر عهده کاربر این استاندارد است.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

1- Standard-curing conditions
2- Maturity index
3- In-place strength

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۴۸، بتن- تعیین مقاومت فشاری آزمونه‌های استوانه‌ای- روش آزمون

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۲۹، بتن- ساخت نمونه‌های استوانه‌ای و منشوری جهت تعیین مقاومت و چگالی بتن پیش‌آکنده در آزمایشگاه- آیین کار

2-3 ASTM C31/C31M, Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

2-4 ASTM C470/C470M, Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically

2-5 ASTM C617, Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens

2-6 ASTM C670, Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

2-7 ASTM C 1074, Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method

2-8 ASTM C1231/C1231M, Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد ASTM C1074، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز، به کار می‌رود:

۳-۱

مقاومت بالقوه[1]

مقاومتی که یک آزمونه در سن تعیین شده، تحت شرایط عمل‌آوری متعارف، به‌دست خواهد آورد.

۳-۲

معادله پیش‌بینی[2]

معادله‌ای که بیانگر رابطه خطی بین مقاومت فشاری و لگاریتم شاخص بلوغ است.

معادله پیش‌بینی مورد استفاده برای طرح‌ریزی مقاومت یک آزمونه، بر اساس مقاومت اندازه‌گیری شده آن در سن اولیه می‌باشد. شکل کلی معادله پیش‌بینی به کار رفته در این استاندارد، به صورت زیر می‌باشد:

$$S_M = S_m + b(\log M - \log m) \quad (۱)$$

که در آن:

S_M مقاومت طرح‌ریزی شده در شاخص بلوغ M؛

S_m مقاومت فشاری اندازه‌گیری شده در شاخص بلوغ m؛

b شیب خط؛

M شاخص بلوغ تحت شرایط عمل‌آوری متعارف، و؛

m شاخص بلوغ نمونه مورد آزمون در سن اولیه.

1- Potential strength
2- Prediction equation

یادآوری- معادله پیش‌بینی با انجام آزمون‌های مقاومت فشاری در سنین مختلف، محاسبه شاخص‌های بلوغ متناظر با سنین آزمون، و رسم مقاومت فشاری به عنوان تابعی از لگاریتم شاخص بلوغ، ایجاد می‌شود. بهترین خط برازش از طریق داده‌ها، کشیده شده و شیب این خط در معادله پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۳

مقاومت طرح‌ریزی شده[1]

مقاومت بالقوه که با استفاده از مقاومت اندازه‌گیری شده در سن اولیه و معادله پیش‌بینی تعیین شده، تخمین زده می‌شود.

۴ اصول آزمون

۴-۱ آزمونه‌های استوانه‌ای، مطابق با بخش‌های مرتبط استاندارد ASTM C31/C31M یا استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۲۹ آماده‌سازی و عمل‌آوری می‌شوند. دمای آزمونه در طول دوره عمل‌آوری پایش می‌شود. مقاومت فشاری نمونه‌ها در یک سن اولیه که بزرگتر از h ۲۴ می‌باشد، تعیین می‌شود، و پیشینه دمای بتن برای محاسبه شاخص بلوغ زمان آزمون، به کار می‌رود.

۴-۲ روشی برای دستیابی به یک سری از مقادیر مقاومت فشاری و شاخص‌های بلوغ متناظر با سنین مختلف، ارائه شده است. این داده‌ها برای تعیین معادله پیش‌بینی به‌کار رفته و متعاقباً برای طرح‌ریزی مقاومت‌ها در سنین بعدی، بر اساس مقاومت‌های اندازه‌گیری شده در سنین اولیه، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۴-۳ این استاندارد، روشی برای تخمین مقاومت بالقوه یک آزمونه خاص، بر اساس مقاومت اندازه‌گیری شده آن در یک سن اولیه برای مثال h ۲۴، ارائه می‌کند. نتایج آزمون در سن اولیه، اطلاعاتی در مورد تغییرات فرآیند ساخت بتن، برای استفاده در کنترل فرآیند، فراهم می‌کنند.

۴-۴ رابطه بین مقاومت آزمونه‌ها در سن اولیه و مقاومت اکتسابی در برخی از سنین بعدی، تحت شرایط عمل‌آوری متعارف، بستگی به مواد تشکیل‌دهنده بتن دارد. در این استاندارد، فرض شده است که یک رابطه خطی بین مقاومت و لگاریتم شاخص بلوغ وجود دارد. تجربه نشان داده است که یک تقریب قابل قبول برای سنین آزمون بین h ۲۴ و ۲۸ روز، تحت شرایط عمل‌آوری متعارف وجود دارد. کاربر این استاندارد باید تایید کند که داده‌های آزمون به‌کار رفته برای تعیین معادله پیش‌بینی، به‌طور مناسب توسط رابطه خطی نشان داده شده است یا نه. اگر رابطه اصولی بین مقاومت و لگاریتم شاخص بلوغ نتواند با یک خط مستقیم، تقریب زده شود، در صورتی که از یک معادله مناسب برای نشان دادن رابطه غیرخطی استفاده شود، اصول این استاندارد، قابل کاربرد می‌باشد.

1- Projected strength

۵ وسایل آزمون

۵-۱ تجهیزات و ابزارهای کوچک، برای ساخت آزمونه‌ها و اندازه‌گیری مشخصات بتن تازه، که باید مطابق با الزامات کاربردی استاندارد ASTM C31/C31M یا استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۲۹، باشند.

۵-۲ قالب‌ها، که باید مطابق با الزامات قالب‌های استوانه‌ای در استاندارد ASTM C470/C470M، باشند.

۵-۳ ثبات دما

۵-۳-۱ وسیله‌ای برای پایش و ثبت دمای آزمونه به صورت تابعی از زمان، موردنیاز می‌باشد. وسایل قابل قبول شامل ترموکوپل‌ها[1] یا رزیستورهای[2] وصل شده به ثبات‌های دیجیتالی یا نگارنده‌های پیوسته نمودار، می‌باشند. فواصل زمانی ثبت دما برای ابزارهای دیجیتالی، ۰/۵ h یا کمتر در ۴۸ h اول و ۱ h یا کمتر، برای زمان‌های بعد از آن می‌باشند. وسیله ثبت دما باید دقتی در حدود ۱ °C داشته باشد.

۵-۳-۲ وسایل جایگزین شامل ابزارهای پیشرفته موجود در بازار[3] می‌باشند، که به صورت خودکار ضریب زمان- دما یا سن معادل را همان طوری که در استاندارد ASTM C1074 تشریح شده است، محاسبه و نمایش می‌دهند.

یادآوری- ابزارهای پیشرفته موجود در بازار برای مقادیر مشخص از دمای مبنا برای ارزیابی ضریب زمان- دما یا مقدار Q برای ارزیابی سن معادل، به‌کار می‌روند. برای راهنمایی و توضیح بیشتر به پیوست استاندارد ASTM C1074، مراجعه شود.

۶ نمونه‌برداری

از بتن تازه مطابق با استاندارد ASTM C31/C31M یا استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۲۹، نمونه‌برداری کرده و ویژگی‌های آن را اندازه‌گیری نمایید.

۷ روش انجام آزمون مقاومت اولیه و طرح‌ریزی شده

۷-۱ آزمونه‌ها را مطابق روش عمل‌آوری متعارف در استاندارد ASTM C31/C31M یا استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۲۹، هر کدام که قابل اجرا باشد، قالب‌گیری و عمل‌آوری نمایید. هنگامی که قالب‌گیری آزمونه‌ها اتمام یافت، زمان را ثبت کنید.

۷-۲ حسگر[4] دما را در مرکز یکی از آزمونه‌های بتن نمونه برداری شده، جاسازی کنید. وسیله ثبت دما را فعال نمایید. حداقل به مدت ۲۴ h عمل‌آوری را ادامه دهید. دمای بتن را در تمام مدت دوره عمل‌آوری ثبت و حفظ کنید.

1- Thermocouples
2-Thermistors
3- Commercial maturity instruments
4- Sensor

۷-۳ کلاهک‌گذاری[1] و آزمون، پس از h ۲۴ قالب‌ها را از آزمونه‌ها باز کنید. آزمونه‌ها را مطابق با استاندارد ASTM C617 یا ASTM C1231/C1231M، کلاهک‌گذاری کنید.

۷-۳-۱ مقاومت نمونه‌های کلاهک‌گذاری شده (در صورت استفاده) پس از ۳۰min باید مساوی یا بزرگتر از مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای مورد آزمون، باشد.

۷-۳-۲ نمونه‌ها را زودتر از ۳۰min پس از کلاهک‌گذاری، آزمون نکنید.

۷-۴ مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای را مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۴۸ در سن h ۲۴ یا پس از آن، تعیین کنید. در زمان آزمون، مقاومت و سن را ثبت نمایید. سن نمونه‌های استوانه‌ای از زمان قالب‌گیری را با دقت min ۱۵ اندازه بگیرید. مقاومت در هر سن آزمون، باید میانگین حداقل دو نمونه استوانه‌ای باشد.

۷-۵ شاخص بلوغ در زمان آزمون را با استفاده از روش دستی تشریح شده در بخش توابع بلوغ، استاندارد ASTM C1074 یا با استفاده از یک ابزار پیشرفته، تعیین نمایید. شاخص بلوغ آزمونه‌ها در سن اولیه (m) را ثبت کنید.

۷-۶ هنگامی که از داده‌های معرف مقاومت فشاری و شاخص بلوغ، m، برای طرح‌ریزی مقاومت بتن در برخی از سنین بعدی، استفاده می‌شود، مقاومت طرح‌ریزی شده را با استفاده از معادله پیش‌بینی مشخص شده در بند ۸ تعیین نمایید.

۸ روش بسط معادله پیش‌بینی

۸-۱ برای هر بتن به‌کار رفته در اجرا، یک معادله پیش‌بینی بسط دهید. آزمونه‌ها را مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۲۹، آماده‌سازی کنید. با استفاده از روش ذکر شده در بند ۷ مقادیر مقاومت فشاری و شاخص‌های بلوغ متناظر در زمان آزمون را به‌دست آورید. این داده‌ها باید شامل آزمون‌هایی در سنین h ۲۴، ۳ روز، ۷ روز، ۱۴ روز و ۲۸ روز باشند. هر گاه سن مقاومت طرح‌ریزی شده فراتر از ۲۸ روز تعیین شده باشد، داده‌ها باید شامل آزمون‌هایی در سن موردنظر بعدی، باشد (به بند ۴-۴ مراجعه شود). مقاومت در هر سنی باید میانگین حداقل دو نمونه استوانه‌ای باشد.

۸-۱-۱ داده‌های میدانی به شرطی مجاز است، که آنها تمام اطلاعات ذکر شده در بند ۸-۱ را ارائه کنند و آزمونه‌ها مطابق با بخش عمل‌آوری متعارف در استاندارد ASTM C31/C31M، عمل‌آوری شوند.

۸-۲ ثابت b برای استفاده در معادله پیش‌بینی (به معادله ۱ مراجعه شود) با استفاده از یکی از دو روش جایگزین ذیل تعیین می‌شود: **الف**- با آنالیز رگرسیون[2] یا **ب**- با رسم دستی.

1- Capping
2- Regression

۸-۲-۱ آنالیز رگرسیون– مقادیر شاخص‌های بلوغ را با گرفتن لگاریتم، تبدیل کنید. میانگین مقاومت نمونه استوانه‌ای را در مقابل لگاریتم شاخص بلوغ رسم نمایید. بهترین خط برازش مستقیم نسبت به نقاط را با استفاده از یک برنامه کامپیوتری یا محاسباتی مناسب، حساب نمایید. معادله خط مستقیم به صورت زیر می‌باشد:

$$S_m = a + b \log m \qquad (۲)$$

که در آن:

S_m مقاومت فشاری در شاخص بلوغ m؛

a شیب خط؛

b شیب خط، و؛

m شاخص بلوغ.

بهترین خط برازش مستقیم را روی همان نمودار رسم نمایید، طوری که داده‌ها تایید کند که معادله صحیح، تعیین شده است.

۸-۲-۲ رسم دستی– یک برگ کاغذ نمودار نیمه لگاریتمی آماده کنید، طوری که محورy بیانگر مقاومت فشاری و مقیاس لگاریتمی (محورx) بیانگر شاخص بلوغ باشد (به یادآوری این بند مراجعه شود). مقادیر مقاومت را مطابق بند ۸-۱ در برابر شاخص بلوغ متناظر، رسم نمایید. بهترین خط برازش مستقیم را با رسم یک خط، طوری تعیین نمایید که فواصل قابل رویت بین نقاط و خط، کمینه شود. شیب خط، فاصله عمودی بین فصل مشترک خط با ابتدا و انتهای یک چرخه روی محور x، با یکاهای تنش می‌باشد (به شکل الف۱ مراجعه شود). این شیب مقدار b مورد استفاده در معادله پیش‌بینی می‌باشد (به معادله ۱ مراجعه شود).

یادآوری – مقیاس محور y و تعداد چرخه‌ها در کاغذ نمودار نیمه لگاریتمی بهتر است طوری انتخاب شود که داده‌ها تا جایی که امکان دارد فضای بیشتری از کاغذ را پر کند. هنگامی‌که شاخص بلوغ به‌صورت ضریب زمان- دما بر حسب ساعت- درجه بیان شود، معمولاً سه، چرخه مناسب می‌باشد. هر گاه شاخص بلوغ به‌صورت سن معادل بر حسب ساعت بیان شود، دو، چرخه مناسب است.

۸-۳ با استفاده از ثابت b و معادله (۱) مقاومت طرح‌ریزی شده را بر اساس نتایج آزمون در سن اولیه، تعیین کنید.

یادآوری ۲– هر گاه مطلوب باشد، دقت اولین برآورد b را بررسی کنید. آزمونه‌های مربوط به آن‌ها را برای آزمون در یک سن اولیه، بسازید، و مطابق روش عمل‌آوری متعارف در استاندارد ASTM C31/C31M، آن‌ها را عمل‌آوری کنید. پیشینه دمایی آن‌ها را ثبت نموده و در سن ۲۸ روزه آزمون کنید. مقدار b را مجدداً با استفاده از معادله (۳) تعیین نمایید:

$$b = \frac{\Sigma(S - S_m)}{\Sigma(\log M - \log\ m)} \qquad (۳)$$

که در آن:

S مقاومت فشاری اندازه‌گیری شده در شاخص بلوغ M؛

M شاخص بلوغ متناظر با آزمون در سن ۲۸ روزه؛

S_m مقاومت فشاری اندازه‌گیری شده در شاخص بلوغ m، و؛

m شاخص بلوغ متناظر در سن اولیه.

۹ تفسیر نتایج

۹-۱ مطابق بند ۱۱، تغییرپذیری مقاومت فشاری به‌دست آمده با این روش آزمون در سن اولیه، مساوی یا کمتر از مقدار به‌دست آمده با روش‌های آزمون کلاسیک[1] است. بنابراین، نتایج برای ارزیابی سریع تغییرپذیری برای کنترل فرآیندها و مشخص کردن اصلاحات موردنیاز، قابل استفاده می‌باشند. استفاده از نتایج این روش آزمون، برای پیش‌بینی ویژگی انطباق مقاومت‌ها در سنین بعدی، باید با احتیاط به‌کار برده شود، زیرا الزامات مقاومت در استانداردها و آیین‌نامه‌های موجود، بر اساس آزمون در سن اولیه نمی‌باشند.

۹-۲ یک فاصله اطمینان یک‌طرفه[2] برای مقاومت طرح‌ریزی شده جهت استفاده در تصمیم برای پذیرش بتن، در نظر بگیرید. فاصله اطمینان مبتنی بر تفاضل میان مقاومت‌های اندازه‌گیری شده و طرح‌ریزی شده، در یک سن مشخص، می‌باشد. معمولاً چنین فاصله‌ای ٪ ۹۵ سطح اطمینان در نظر گرفته می‌شود، و تصمیم برای پذیرش بتن مطابق با الزامات ویژگی خواهد بود، اگر شرایط زیر برآورده شوند:

$$S_M > (S_L + K) \qquad (۴)$$

که در آن:

S_M مقاومت طرح‌ریزی شده در سن مشخص؛

S_L حد پایین تعیین شده، به‌طور خاص، مقاومت تعیین شده در سن مشخص؛

$$K = \bar{d} + t_{0.95,\,n-1}\,\frac{s_d}{\sqrt{n}} \qquad (۵)$$

$\bar{d}$ میانگین تفاضل میان مقاومت‌های اندازه‌گیری شده و طرح‌ریزی شده؛

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_M - S)_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{n} \qquad (۶)$$

S مقاومت اندازه‌گیری شده پس از عمل‌آوری متعارف تا سن معین؛

d_i تفاضل بین i امین جفت مقادیر مقاومت؛

1- Traditional test methods
2- One-sided

n تعداد مقادیر جفت شده (S و S_M) به‌کار رفته در تحلیل؛

$t_{0.95,n-1}$ مقداری از توزیع t در سطح اطمینان ٪ ۹۵ برای درجات آزادی (n-1)، و؛

S_d انحراف معیار تفاضل میان مقاومت‌های اندازه‌گیری شده و طرح‌ریزی شده.

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i - \bar{d})^2}{(n-1)}} \qquad (۷)$$

۱۰ گزارش آزمون

۱۰-۱ گزارش نتایج آزمون در سن اولیه باید شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- شماره شناسایی آزمونه استوانه‌ای؛

ب- قطر آزمونه استوانه‌ای، برحسب mm؛

پ- مساحت سطح مقطع آزمونه استوانه‌ای، بر حسب mm^2؛

ت- حداکثر بار آزمون وارده بر نمونه استوانه‌ای، بر حسب N؛

ث- مقاومت فشاری آزمونه که با تقریب ۰٫۱ MPa محاسبه می‌شود؛

ج- نوع شکستگی آزمونه، اگر متفاوت از مخروط معمول، باشد؛

چ- سن نمونه استوانه‌ای در زمان آزمون؛

ح- دمای مخلوط اولیه با دقت ۱°C؛

خ- سوابق دمایی، و؛

د- روش حمل به‌کار رفته برای انتقال آزمونه‌ها به آزمایشگاه.

۱۰-۲ در صورتی که از داده‌های مقاومت در سن اولیه برای طرح‌ریزی مقاومت در سنین بعدی استفاده شود، گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- شاخص بلوغ نمونه‌ها در سن اولیه در زمان آزمون، m؛

ب- سن مقاومت طرح‌ریزی شده، و؛

پ- مقاومت طرح‌ریزی شده که با دقت ۰٫۱ MPa محاسبه می‌شود.

۱۱ دقت و اریبی[1]

۱۱-۱ دقت

داده‌های به‌کاررفته برای آماده‌سازی بیانیه‌های دقت با استفاده از اندازه‌گیری‌ها در سیستم SI، به‌دست آمده‌اند.

۱۱-۱-۱ ضریب تغییرات یک آزمایشگاه برای یک جفت آزمونه استوانه‌ای (با قطر ۱۵۰mm و طول ۳۰۰mm) که

1- Bias

از یک مخلوط قالب‌گیری شده‌اند، ٪ ۳٫۶ تعیین شده است. بنابراین، نتایج دو آزمون مقاومت، صحیح انجام شده توسط یک آزمایشگاه روی دو نمونه مجزای ساخته شده از یک مخلوط، نباید بیش از ٪۱۰ میانگین آن‌ها، اختلاف داشته باشند (به یادآوری این بند مراجعه شود).

۱۱-۱-۲ ضریب تغییرات چند روزه یک آزمایشگاه برای متوسط جفت آزمونه‌های استوانه‌ای (با قطر ۱۵۰mm و طول ۳۰۰mm) که از مخلوط‌های مجزا طی دو روز قالب‌گیری شده‌اند، ٪ ۸٫۷ تعیین شده است. بنابراین، نتایج دو آزمون مقاومت، صحیح انجام شده که هر یک شامل متوسط دو آزمونه استوانه‌ای ساخته شده از یک مخلوط با مواد و نسبت‌های یکسان در یک آزمایشگاه و در دو روز متفاوت است، نباید بیش از ٪ ۲۵ میانگین آن‌ها، اختلاف داشته باشند (به یادآوری این بند مراجعه شود).

یادآوری– این اعداد به ترتیب بیانگر حدود (1s %) و (d2s %)، همچنان که در استاندارد ASTM C670، تشریح شده است، می‌باشند.

۱۱-۲ اریبی

اریبی این روش آزمون قابل تعیین نمی‌باشد، به طوری که مقادیر به دست آمده صرفاً تحت شرایط این استاندارد، می‌توانند تعریف شوند.

پیوست الف
(اطلاعاتی)
مثال کاربردی

الف-۱ تعیین معادله پیش‌بینی

الف-۱-۱ یک رابطه معتبر بین مقاومت و شاخص بلوغ برقرار کنید، بتن باید از مواد واقعی ساخته شده باشد، از جمله، مواد مضاف که در عمل به کار برده می‌شوند. زمانی که داده‌های کارگاهی قابل قبول می‌باشند، معمولاً داده‌های اولیه قبل از شروع تولید در کارگاه، از آزمایشگاه دریافت می‌شود. آزمونه‌های مقاومت فشاری، معمولاً در آزمایشگاه ساخته و عمل‌آوری شده و در سنین ۲۴ h، ۳ روز، ۷ روز، ۱۴ روز و ۲۸ روز مورد آزمون قرار می‌گیرند. پیشنهاد می‌شود، حداقل ۱۴ آزمونه استوانه‌ای مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۸۱۲۹، ساخته و عمل‌آوری شوند.

الف-۱-۱-۱ داده‌های مثال— نمونه‌ای از داده‌های سن- مقاومت به‌دست آمده از آزمونه‌های استوانه‌ای (متوسط مقاومت دو آزمونه در هر سن) در زیر داده شده است:

جدول الف-۱ داده های مثال

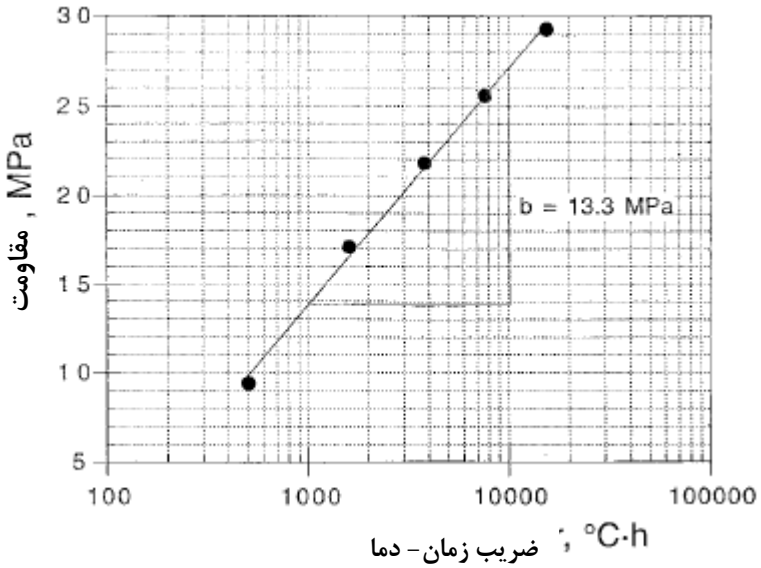
سن	میانگین مقاومت، بر حسب MPa
۲۴ h	۹/۴
۳ روز	۱۷/۱
۷ روز	۲۱/۸
۱۴ روز	۲۵/۶
۲۸ روز	۲۹/۳

الف-۱-۱-۲ در این مثال، ضریب زمان- دما با دمای مبنای ۰°C به عنوان شاخص بلوغ، به‌کار برده شده است. برای اطلاعات بیشتر به استاندارد ASTM C1074، مراجعه شود. ضریب زمان- دما از روی پیشینه دمایی اندازه‌گیری شده بتن با تقسیم سن به فواصل زمانی مناسب و مجموع حاصلضرب‌های فواصل زمانی و متوسط دماهای متناظر هر فاصله، محاسبه می‌شود. در این مثال فرض شده است، که دمای بتن قبل از باز کردن قالب‌ها ۲۱ °C و پس از آن ۲۳ °C می‌باشد. ضریب تجمعی زمان- دما در سنین متفاوت آزمون، محاسبه شده و در جدول الف۲ نشان داده شده است.

جدول الف۲- ضریب زمان- دما در سنین آزمون

سن روز	مقدار افزایش سن، (Δt) h	دما، (T) °C	مقدار افزایش ضریب زمان-دما $(T-0) \times (\Delta t)$ °C.h	ضریب تجمعی زمان-دما °C.h
۱	۲۴	۲۱	۵۰۴	۵۰۴
۳	۴۸	۲۳	۱۱۰۴	۱۶۰۸
۷	۹۶	۲۳	۲۲۰۸	۳۸۱۶
۱۴	۱۶۸	۲۳	۳۸۶۴	۷۶۸۰
۲۸	۳۳۶	۲۳	۷۷۲۸	۱۵۴۰۸

الف-۱-۲ داده‌های مقاومت نشان داده شده در بند الف-۱-۱-۱ و مقادیر ضریب زمان– دما، داده‌های شده در جدول الف۲ می‌توانند با استفاده از محورهای نیمه لگاریتمی رسم شوند، همچنان که توسط رسم کامپیوتری در شکل الف۱ نشان داده شده است.



شکل الف۱- نمونه‌ای از داده‌های مقاومت به‌صورت تابعی از لگاریتم زمان- دما و بهترین خط برازش مستقیم که معادله پیش بینی را ارائه می‌کند

الف-۱-۳ بهترین خط برازش مستقیم را از طریق نقاط رسم شده، تعیین نمایید. در این مثال، خط مستقیم توسط آنالیز رگرسیون با استفاده از یک برنامه کامپیوتری به‌دست آمده است. این خط، معادله پیش‌بینی را ارائه می‌دهد، که در آن رابطه بین مقاومت و ضریب زمان- دما برای این بتن خاص، فرض شده است. معادله این خط مستقیم به شکل زیر بیان می‌شود:

$$S_M = S_m + b(\log M - \log m) \quad \text{(الف-۱)}$$

که در آن S_M و S_m، مقادیر مقاومت به ازای ضریب زمان- دما به ترتیب برابر با M و m، می‌باشند.

الف-۱-۴ مقدار b، شیب معادله پیش‌بینی و فاصله عمودی بین فصل مشترک خط با ابتدا و انتهای یک چرخه روی محورx، می‌باشد (به شکل الف۱ مراجعه شود). برای این مثال خاص، b=۱۳/۳ می‌باشد، که نشان می‌دهد افزایش مقاومت، باعث افزایش ده برابری ضریب زمان- دما می‌شود.

الف-۱-۵ هر بتن ساخته شده از مواد و نسبت‌های یکسان که برای تعیین معادله پیش‌بینی، به‌کار برده می‌شوند، مقادیر مقاومت یکسانی در ارتباط با ضریب زمان- دما خواهد داشت.

الف-۲ مقاومت طرح‌ریزی شده

الف-۲-۱ با استفاده از معادله پیش‌بینی، مقاومت بتن کارگاهی را بر اساس مقاومت‌ها در سن اولیه، طرح‌ریزی کنید. از بتن تازه مطابق با استاندارد ASTM C31/C31M، نمونه‌برداری و آزمون کنید. حداقل سه آزمونه را قالب‌گیری کرده و مطابق با روش عمل‌آوری متعارف در استاندارد ASTM C31/C31M، عمل‌آوری کنید. برای پایش دمای بتن، وسیله ثبت دما را به یکی از آزمونه‌های استوانه‌ای، نصب نمایید. حداقل به مدت ۲۴ h عمل‌آوری را ادامه دهید.

الف-۲-۲ پس از حداقل ۲۴ h عمل‌آوری، بلافاصله قالب‌های آزمونه را باز کرده و آن‌ها را برای آزمون مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۴۸ آماده‌سازی کنید. در زمان آزمون سن نمونه را ثبت نمایید. با استفاده از این سن همراه با پیشینه دمایی ثبت شده، شاخص بلوغ (m) را در زمان آزمون، تعیین کنید. مقاومت فشاری در سن اولیه (S_m) را به‌صورت متوسط نمونه‌های استوانه‌ای مورد آزمون، گزارش کنید. سپس معادله پیش‌بینی را برای طرح‌ریزی مقاومت بتن ارائه شده توسط آزمونه‌ها، به‌کار برید.

الف-۲-۳ برای مثال:

الف-۲-۳-۱ آزمونه‌های مقاومت فشاری ساخته‌شده در کارگاه، به مدت ۲۴ h تحت شرایط متعارف و در پای‌کار، عمل‌آوری می‌شود. در سن ۲۴ h، قالب‌های آزمونه باز شده و کلاهک‌گذاری می‌شوند، و اجازه داده می‌شود تا کلاهک‌ها سخت شوند. نمونه‌های استوانه‌ای در سن ۲۶ h، مورد آزمون قرار می‌گیرند. متوسط مقاومت‌ها در این سن ۹٫۸ MPa می‌باشد.

الف-۲-۳-۲ ستون ۱ و ۲ در جدول الف۳، پیشینه دمایی ثبت شده را نشان می‌دهند، که از آزمونه‌های به‌کار رفته به دست آمده‌اند. ستون ۶، مقدار افزایش ضریب زمان- دما در طی هر فاصله سنی را نشان می‌دهد.

و ستون آخر، ضریب تجمعی زمان- دما را نشان می‌دهد. در سن ۲۶ h، ضریب تجمعی زمان- دما (m) برابر با ۶۱۶ ˚C.h می‌باشد.

جدول الف۳- سوابق دمایی نمونه و محاسبات برای تعیین ضریب زمان- دما در سن آزمون

سن h	دما ˚C	فاصله سنی، Δt h	متوسط دما در طول فاصله سنی ˚C	˚C -۰ دما ˚C	مقدار افزایش ضریب زمان-دما ˚C.h	ضریب تجمعی زمان-دما ˚C.h
۰	۲۱					
۱	۲۱	۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱
۲	۲۰	۱	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۴۲
۳	۲۰	۱	۲۰	۲۰	۲۰	۶۲
۴	۲۱	۱	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۸۲
۱۰	۲۴	۶	۲۲/۵	۲۲/۵	۱۳۵	۲۱۷
۱۱	۲۴	۱	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴۱
۱۲	۲۵	۱	۲۴/۵	۲۴/۵	۲۴/۵	۲۶۶
۱۴	۲۵	۲	۲۵	۲۵	۲۵	۳۱۶
۱۵	۲۶	۱	۲۵/۵	۲۵/۵	۲۵/۵	۳۴۱
۲۰	۲۶	۵	۲۶	۲۶	۱۳۰	۴۷۱
۲۱	۲۵	۱	۲۵/۵	۲۵/۵	۲۵/۵	۴۹۷
۲۲	۲۵	۱	۲۵	۲۵	۲۵	۵۲۲
۲۳	۲۴	۱	۲۴/۵	۲۴/۵	۲۴/۵	۵۴۶
۲۴	۲۴	۱	۲۴	۲۴	۲۴	۵۷۰
۲۵	۲۳	۱	۲۳/۵	۲۳/۵	۲۳/۵	۵۹۴
۲۶	۲۲	۱	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۲/۵	۶۱۶

الف-۲-۳-۳ ضریب‌زمان- دما پس از عمل‌آوری به‌مدت ۲۸ روز در دمای متعارف ۲۳، ˚C به‌صورت زیر می‌باشد:

$$M = (23 - 0)\ ^\circ\text{C} \times 28 \text{ روز} \times 24\ \text{h} = 15\,456\ ^\circ\text{C} \cdot \text{h} \qquad \text{(الف-۲)}$$

الف-۲-۳-۴ مقاومت ۲۸ روزه طرح‌ریزی شده، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$S_M = Sm + b(\log M - \log m)$
$S_M = 9.8 + 13.3 (\log 15\,546 - \log 616)$
$S_M = 9.8 + (4.189 - 2.790)$
$S_M = 9.8 + 18.6$
$S_M = 28.4$ MPa

بنابراین انتظار می‌رود، متوسط مقاومت فشاری آزمونه‌های عمل‌آوری شده در دمای ۲۳ ˚C و به مدت ۲۸ روز کامل، برابر با ۲۸/۴ MPa باشد، در صورتی که در سن ۲۸ روزه، مورد آزمون قرار بگیرد.