INSO
13884
1st. Edition
2017

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

استاندارد ملی ایران
۱۳۸۸۴
چاپ اول
۱۳۹۵

بتن- طراحی براساس عمر بهره‌برداری- دوام سازه‌های بتنی- آیین کار

Concrete - Durability - Service Life Design of Concrete Structures - Code of Practice

ICS: 91.080.40

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج ، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸- ۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: http://www.isiri .gov.ir

به‌نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه 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 حوز های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و موسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که موسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین‌ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]،کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول تضمین کیفیت فرآورده‌ها و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای فرآورده‌های تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به‌منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای فرآورده‌های کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه-بندی آن را اجباری نماید. هم‌چنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و موسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سامانه‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان‌ها و موسسات را بر اساس ضوابط نظام تایید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تایید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی 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

«بتن- طراحی براساس عمر بهره‌برداری-دوام سازه‌های بتنی- آیین کار»

رییس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
رئیس قاسمی، امیرمازیار (کارشناسی ارشد مهندسی عمران)	مرکز تحقیقات راه ،مسکن وشهرسازی
دبیر:	
داری پور، علی (کارشناسی مهندسی معدن)	اداره کل استاندارد استان ایلام
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
سیادت ،محمدرضا (کارشناسی ارشد معماری)	سازمان برنامه وبودجه
حاتمی، شیما (کارشناسی مهندسی عمران)	سازمان نظام مهندسی ایلام
طولابی، سعید (دکترای مهندسی عمران)	هیئت علمی دانشگاه ایلام
آشوری،کاظم (کارشناسی مهندسی شیمی)	انجمن صنفی کارفرمایان
علی بیگی، محمود (کارشناسی ارشد زبانشناسی)	جهاد دانشگاهی واحد استان ایلام
منصوری، محمد (کارشناسی مهندسی عمران)	اداره‌کل نوسازی مدارس ایلام
همتی، مهناز (کارشناسی مهندسی شیمی)	اداره کل استاندارد استان ایلام
ویراستار:	
عباسی رزگله، محمد حسین (کارشناسی مهندسی مواد-سرامیک)	سازمان ملی استاندارد ایران

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران	ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد	ج
پیش‌گفتار	ه
مقدمه	و
۱ هدف ودامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف	۲
۴ اختصارات و کوته‌نوشت‌ها	۷
۵ مبنای طراحی	۹
۶ تأیید و بررسی طول عمر طراحی	۱۲
۷ اجرا	۲۱
۸ نگه‌داری و شرایط ارزیابی	۲۳
۹ عملیات در صورت عدم انطباق	۲۴
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) اساس طراحی	۲۵
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) اثبات طول عمر طراحی	۲۷
پیوست پ (آگاهی‌دهنده) اجرا	۳۲
پیوست ت (آگاهی‌دهنده) ارزیابی شرایط نگه‌داری	۳۴
پیوست ث (آگاهی‌دهنده) راهنمای یک پیوست ملی	۳۵
کتاب‌نامه	۳۶

پیش‌گفتار

استاندارد «بتن- طراحی براساس عمر بهره‌برداری- دوام سازه‌های بتنی- آیین کار» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در ششصد و سی و پنجمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۵/۱۱/۱۸ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

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

ISO 16204: 2012, Durability- Service Life Design of Concrete Structures

مقدمه

این استاندارد براساس اصول ارائه شده در استانداردهای ISO 2394، اصول کلی در قابلیت اطمینان سازه، ISO 13823، اصول کلی در طراحی سازه‌ها برای پایایی، وfib۱ «آیین‌نامه طراحی براساس عمر بهره‌برداری» [۱] (امروزه، MC_SLD ۲در مقررات مدل fib سال ۲۰۱۰ اجرا می‌شود) [۲]. این دو استاندارد به‌وسیله ISO/TC 98، قواعدی برای طراحی سازه‌ها، آماده شده‌اند.

روش حالت‌های‌حدی[۳]، همان‌طور که در ISO 2394 بسط داده شده است، جهت ایجاد و هماهنگ‌سازی استانداردهای ملی و منطقه‌ایی برای طراحی سازه در سراسر جهان مورد تأیید و استفاده قرار گرفته است.

هدف ISO 2394 فراهم آوردن چارچوبی برای ایجاد استانداردهایی به منظور پیش بینی طول‌عمر اجزای یک سازه و اطمینان از این موضوع که این اصول در استانداردهای ویژه‌ی مصالح که به‌وسیله دیگر کمیته‌های فنی ایزو توسعه یافته‌اند، لحاظ شده‌اند.

هدف fib MC-SLD اجرای اصول استاندارد ISO 2394 در طرح طول‌عمر سازه‌های بتنی است.

این استاندارد بین المللی طراحی انجام شده برای فعالیت‌های زیست‌محیطی منجر به فرسودگی بتن و فولاد مورد استفاده را به‌سازی می‌نماید.

نمودار گردشی در شکل۱جریان تصمیمات و فعالیت‌های طراحی مورد نیاز در یک فرآیند طراحی طول عمر منطقی با یک سطح قابلیت اطمینان انتخابی را نشان می‌دهد. دو راهبرد اتخاذ شده است. در راهبرد اول: سه سطح از سطوح پیچیده مشخص شده است. در مجموع چهار انتخاب موجود است.

راهبرد ۱- طراحی برای مقاومت در برابر فرسودگی:

سطح ۱- روش احتمالاتی‌کامل (انتخاب ۱)؛

سطح ۲- روش ضریب‌جزئی (انتخاب ۲)؛

سطح ۳- روش فرض بر کفایت ۴(انتخاب ۳).

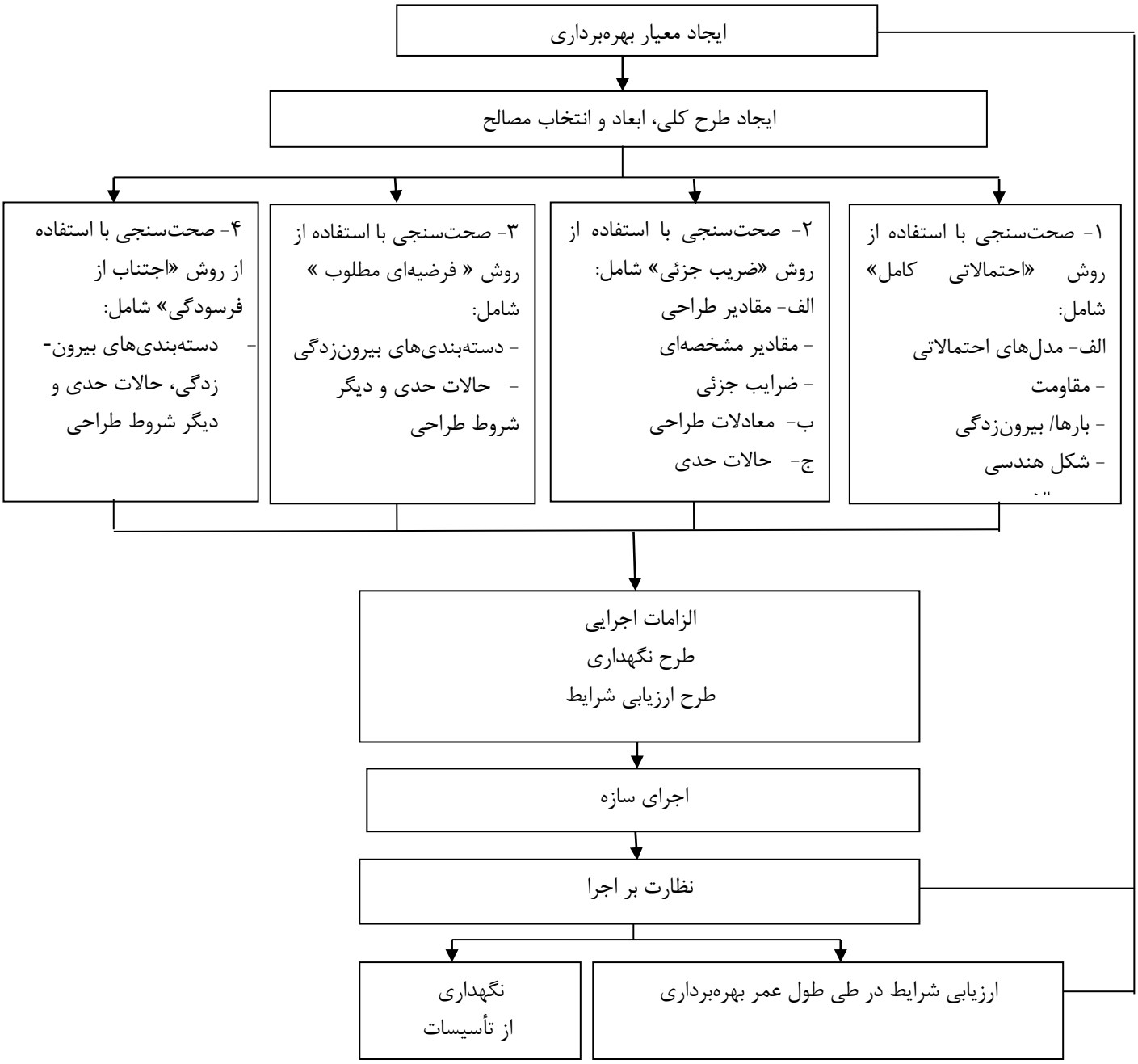
راهبرد ۲- روش اجتناب از فرسودگی (انتخاب ۴).

1- The International Federation for Structural Concrete

2 - Model Code for Service Life Design

3 - Limit-States Method

۴- آیین نامه ساختمان استرالیا «روش فرض بر کفایت» را تهیه کرده است تا نشان دهد که یک بنا حداقل معیار بهره‌وری انرژی قابل اطلاق در یک منطقه اقلیمی را دارا می‌باشد یا نه. ۶۷



شکل۱- نمودار گردشی طراحی طول عمر

در بند ۶ سازوکارهای فرسودگی نشان داده شده‌اند:

- خوردگی القا شده با کربناسیون؛
- خوردگی القا شده با کلرید؛
- یخ زدگی/ گرم‌شدن بدون استفاده از عامل‌های ضدیخ و یا آب دریا؛
- یخ زدگی/ گرم‌شدن با استفاده از عامل‌های ضدیخ و یا آب دریا.

برای این سازوکار مدل‌های ریاضی وجود دارند که مقبولیت گسترده‌ای دارند.

سازوکارهای دیگر فرسودگی یا سایشی که عبارتند از:

- حمله شیمیایی؛ و
- واکنش قلیایی سنگدانه‌ها.

عمدتاً با جزییات به آنها پرداخته نشده است، چرا که در حال حاضر مدل‌های ریاضی پذیرفته شده‌ای برای سازوکار آن‌ها وجود ندارد.

برای کامل‌کردن این استاندارد، با استفاده از اصول کلی بند ۵، باید مدل‌های مفقود تهیه و تدوین شوند.

این استاندارد شامل چهار پیوست آگاهی‌دهنده که سوابقی را جهت کاربرد در طراحی طول‌عمر ارائه می‌دهد و یک پیوست آگاهی‌دهنده دیگر که تهیه یک پیوست ملی محتمل را رهنمون می‌سازد.

بتن- طراحی براساس عمر بهره‌برداری-دوام سازه‌های بتنی- آیین کار

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین اصول کلی برای تایید پایداری سازه‌های بتنی در ارتباط با موضوع‌های زیر است:

۱-۱ عوامل محیطی شناخته شده یا قابل پیش بینی که باعث فرسودگی مصالح شده و در نتیجه منجر به شکست عملکرد آن‌ها می‌شود.

۱-۲ فرسودگی مصالح، بدون اثرپذیری از شرایط محیطی پیرامون سازه که خود فرسایشی نامیده می‌شود.

یادآوری- به عنوان مثال افزودن کلریدها در مخلوط بتن ممکن است به مرور زمان باعث فرسودگی آن شود بدون آن‌که کلرید اضافی از محیط وارد بتن شود.

این استاندارد برای استفاده گروه‌های استانداردسازی ملی به هنگام ایجاد یا تنفیذ ملزومات جهت پایایی سازه‌های بتنی طراحی شده است. اما ممکن است برای موارد زیر نیز به‌کار گرفته شود:

- برای ارزیابی طول عمر باقی مانده سازه‌های موجود؛ و
- برای طراحی طول عمر سازه‌های جدید که پارامترهای کمی در سطوح قابلیت اطمینان و پارامترهای طراحی که در پیوست این استاندارد آورده شده را دارا می‌باشند.

خستگی ناشی از تنش دوره‌ای در گستره‌ی اهداف این استاندارد نمی‌باشد.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به‌صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

درصورتی‌که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۵۵۳: سال ۱۳۹۰، اصول طراحی سازه‌ها برای قابلیت پایایی

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۲۷۰: سال ۱۳۸۹، فولاد برای تقویت و پیش‌تنیدن بتن

۲-۳ استاندارد ملی ایران شماره ۸-۱۸۳۳۰: سال ۱۳۹۲، محصولات و سامانه‌هایی برای محافظت و تعمیر سازه‌های بتنی

2-4 ISO 2394, General principles on reliability for structures

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۵۲۸: سال ۱۳۹۵، اصول کلی قابلیت اعتماد سازه ها، با استفاده از استاندارد ISO 2394: 2015 تدوین شده است.

2-5 ISO 22965-1, Concrete- Part 1: Methods of specifying and guidance for the specifier

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۲۲۸۴: سال ۱۳۸۸، بتن- قسمت ۱- راهنمای نگارش مشخصات فنی با استفاده از استاندارد ISO 22965-1:2007 تدوین شده است.

2-6 ISO 22965-2, Concrete- Part 2: Specification of constituent materials, production of concrete and compliance of concrete

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۲۲۸۴: سال ۱۳۸۸، بتن- قسمت ۲- مشخصات مواد تشکیل دهنده، تولید و پذیرش
با استفاده از استاندارد ISO 22965-2:2007 تدوین شده است.

2-7 ISO 22966, Execution of concrete structures

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات با تعاریف زیر به‌کار می‌رود:

۳-۱

متغیر اصلی

Basic variable

بخشی از یک دسته‌ی خاصی از متغیرهای نمایانگر کمیات فیزیکی هستند، که تاثیرات محیطی و عملیاتی، ویژگی‌های مصالح شامل ویژگی‌های خاک و مقادیر هندسی را مشخص می‌کنند.

۳-۲

مقدار مشخصه (X_k یا R_k)

Characteristic value

مقداری است از ویژگی مصالح یا محصول که دارای احتمال توصیه شده‌ای است که در یک سری آزمون نامحدود فرضی به‌دست نمی‌آید.

یادآوری۱- به‌طور کلی این مقدار متناظر با یک کسر خاصی از توزیع آماری فرضی است و از ویژگی خاص مصالح یا محصول می‌باشد.

یادآوری۲- در بعضی شرایط یک مقدار اسمی به‌عنوان مقدار مشخصه استفاده می‌شود.

۳-۳

مقدار مشخصه یک ویژگی هندسی (a_k)

Characteristic value of a geometrical property

مقداری که معمولا متناظر است با ابعادی که در طراحی مشخص شده‌اند.

یادآوری- مقادیر مربوطه از کمیت‌های هندسی ممکن است با تعدادی از کسرهای تعیین شده توزیع آماری مرتبط باشند.

۴-۳

مقدار مشخصه یک فعالیت (F_k)

Characteristic value of an action

مقدار معرف اصلی است.

یادآوری- مقدار آن انتخابی است:

- بر یک اساس آماری، به‌طوری‌که این مقدار را می‌توان چنان در نظر گرفت که دارای یک احتمال ویژه‌ای است که در طول یک دوره مرجع به سمت مقادیر نامطلوب نخواهد رفت.
- از روی یک تجربه اکتسابی؛ و یا
- از روی محدودیت‌های فیزیکی.

[برگرفته از زیربند ۲-۳-۱۲ استاندارد ISO 2394: 1998]

۵-۳

معیار طراحی

Design criteria

قواعد کمی هستند که برای هر حالت حدی شرایط مورد نظر را توصیف می‌کنند.

۶-۳

طول عمر طرح

Design service life

دوره‌ای فرضی است که در طول آن یک سازه یا بخشی از آن برای هدف در نظر گرفته شده، مورد استفاده قرار گیرد و نگه‌داری لازم، بدون نیاز به تعمیر اساسی، پیش بینی شده باشد.

۷-۳

شرایط طرح

Design situation

مجموعه‌ای از شرایط فیزیکی نمایانگر یک بازه زمانی مشخص که در آن طراحی نشان می‌دهد که از حالت-های حدی مربوطه تخطی نشده است.

[برگرفته از زیربند ۲- ۲-۱ استاندارد ISO 2394: 1998]

۸-۳

مقدار طراحی یک ویژگی هندسی (a_d)

Design value of a geometrical property

به‌طور کلی یک مقدار اسمی است.

یادآوری۱- آنجا که مرتبط هستند، مقادیر کمیت‌های هندسی ممکن است با تعدادی از کسرهای تعیین شده‌ی توزیع آماری مطابق باشند.

یادآوری۲- مقدار طراحی یک ویژگی هندسی، به‌طور کلی برابر با مقدار مشخصه است. با این‌حال ممکن است در مواردی که حالت حدی مورد نظر خیلی حساس به مقدار ویژگی هندسی باشد، با آن متفاوت برخورد شود. بیشتر این مقدار را می‌توان از یک پایه‌ی آماری به‌دست آورد، آن هم با استفاده از مقداری که مربوط به یک کسر متناسب‌تر است(به عنوان مثال مقداری نایاب)، تا مقداری که برای مقدار مشخصه به‌کار می‌رود.

۹-۳

مقدار طراحی شده یک فعالیت(F_d)

Design value of an action

مقدار به‌دست آمده از حاصل‌ضرب مقدار عامل[1] در ضریب جزئی[2] γf یا γF است.

[برگرفته از زیربند ۲- ۳- ۱۶ استاندارد ISO 2394:1998]

۱۰-۳

ارزش طراحی ویژگی یک ماده یا محصول (X_d یا R_d)

Design value of material or product property

مقدار به دست آمده از تقسیم مقدار مشخص بر یک ضریب جزئی γm یا γM است و یا در موارد خاص، از طریق دترمینان مستقیم به‌دست می‌آید.

یادآوری - زیربند ۲-۴-۵ را ببینید.

[برگرفته از زیربند ۲- ۴- ۳ استاندارد ISO 2394:1998]

۱۱-۳

مشخصات اجرایی

Execution specification

این اسناد شامل همه‌ی نقشه‌ها، داده‌های فنی و شرایط لازم برای اجرای یک پروژه خاص می‌باشند.

یادآوری- مشخصات اجرایی تنها یک سند نیست، بلکه بر یک مجموعه کلی از اسناد مورد نیاز برای اجرای یک کار که توسط طراح به سازنده ارائه شده است دلالت می‌کند و شامل مشخصات پروژه‌ی ارائه شده جهت تکمیل و کسب شرایط موردنیاز این استاندارد است. هم چنین به مقررات ملی درباره محل مورد استفاده اشاره می‌کند.

[برگرفته از زیربند ۳-۸ استاندارد ISO 22966: 2009]

۱۲-۳

بازدید و بررسی

Inspection

---

1 - Representative value
2 - Partial facto

ارزیابی‌انطباق که از طریق مشاهدات و قضاوت مناسب با استـــفاده از سنجش، آزمون یا اندازه‌گیری انجام می‌شود.

[برگرفته از زیربند ۳- ۸- ۲ استاندارد ISO 9000: 2005]

۱۳-۳

حالت حدی

Limit state

حالتی که سازه در فراسوی آن دیگر نمی‌تواند معیار طراحی موردنظر را برآورده نماید.

یادآوری- حالات حدی، حالات مطلوب را از حالات نامطلوب جدا می‌کند.

[برگرفته از زیربند ۲- ۲- ۹ استاندارد ISO 2394:1998]

۱۴-۳

نگه‌داری از تأسیسات

Maintenance

مجموعه‌ای از فعالیت‌ها که برنامه‌ریزی می‌شوند تا در طی طول عمر یک سازه به منظور فراهم آوردن شرایط قابلیت اطمینان انجام گیرند.

۱۵-۳

مشخصات پروژه

Project specification

سند منحصر به یک پروژه که شرایط قابل اجرا در آن پروژه خاص را توصیف می‌کند.

[برگرفته از زیربند ۳- ۱۵ استاندارد ISO 22966: 2009]

۱۶-۳

دوره مرجع

Reference period

یک دوره‌زمانی منتخب که به عنوان مبنایی برای ارزیابی مقادیر فعالیت‌های متغیر همچون وابستگی ویژگی-های مصالح به زمان و غیره، استفاده می‌شود.

[برگرفته از زیربند ۲- ۲- ۸ استاندارد ISO 2394: 1998]

۱۷-۳

قابلیت اطمینان

Reliability

توانایی یک سازه یا عضو سازه‌ای به منظور برآوردن نیازهای مشخص شده است که شامل طرح طول عمری می‌باشد که برای آن طراحی شده است.

یادآوری ۱- قابلیت اطمینان معمولا به‌صورت احتمالاتی بیان می‌شود.

یادآوری ۲- قابلیت اطمینان، ایمنی و قابلیت بهره‌برداری و پایایی یک سازه را پوشش می‌دهد.

[برگرفته از زیربند ۲- ۲-۷ استاندارد ISO 2394:1998]

۱۸-۳

اختلاف قابلیت اطمینان

Reliability differentiation

اقدامات در نظر گرفته شده برای بهینه‌سازی اجتماعی- اقتصادی منابع مورداستفاده در کارهای مربوط به ساخت‌وساز است که تمام عواقب موردانتظار از شکست پروژه‌ها و هزینه‌های کار ساخت و ساز را در نظر می-گیرد.

۱۹ -۳

بازسازی

Repair

فعالیت‌های انجام شده برای حفظ و یا بازگرداندن عملکرد یک سازه است، که فراتر از بحث حفظ و نگه‌داری تاسیسات است.

۲۰-۳

مقدار ارائه شده یک فعالیت (F_{rep})

Representative value of an action

مقدار استفاده شده برای اثبات یک حالت حدی است.

یادآوری- مقادیر ارائه شده شامل مقادیر مشخصه، مقادیر ترکیبی، مقادیر وافر، مقادیر نیمه پایدار است اما ممکن است، شامل دیگر مقادیر نیز باشد.

[برگرفته از زیربند ۲- ۳- ۱۱ استاندارد ISO 2394:1998]

۲۱-۳

مقاومت

Resistence

ظرفیت یک عضو یا جزء و یا یک سطح مقطع از یک عضو یا جزء از یک سازه است، جهت مقاومت در برابر فعالیت‌هایی که منجر به فرسودگی می‌شوند.

۲۲-۳

حالت حدی قابلیت بهره‌برداری

Serviceability limit state

حالتی که متناظر با شرایطی است که فراتر خدمات معین مورد نیاز برای یک سازه یا یک عنصر سازه‌ای است.

[برگرفته از زیربند ۲- ۲ – ۱۱ استاندارد ISO 2394: 1998]

۲۳-۳

معیار قابلیت بهره‌برداری

Serviceability criterion

معیار طراحی برای حالت حدی قابلیت بهره‌برداری است.

۲۴-۳

حالت حدی نهایی

Ultimate limit state

حالتی که با فروریزش یا سایرگسیختگی‌های سازه‌ای همراه است.

یادآوری- به‌طور کلی متناظر با حداکثر مقاومت در مقابل حمل بار یک سازه یا یک عنصر سازه‌ای است اما در برخی موارد متناظر با حداکثر تغییر شکل یا فشار وارده می‌باشد.

[برگرفته از زیربند ۲- ۲ – ۱۰ استاندارد ISO 2394: 1998]

۴ اختصارات و کوته‌نوشت‌ها

۴-۱ اختصارات

SLD	Service Life Design	طراحی طول عمر
SLS	Serviceability limit state	حالت حدی قابلیت بهره‌برداری
ULS	Ultimate limite state	حالت حدی نهایی

۴-۲ حرف‌های اصلی:

F	action in general	فعالیت به طورکلی
R	resistance	مقاومت

S	action effect	اثر فعالیت
T	temperature	دما
X	basic variable	متغیر مبنا
a	geometric quantity	کمیت هندسی
P	probability	احتمال
t	time	زمان
X	distance	فاصله
a	ageing factor	ضریب کهنگی
Δ	margin	حاشیه
L	partial factor	ضریب‌جزئی
γc	partial factor for concrete	ضریب‌جزئی برای بتن
γf	partial factor for actions without taking account of model uncertainties	ضریب‌جزئی برای فعالیت‌ها، بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل
γF	partial factor for actions, also accounting for model uncertainties and dimensional variations	ضریب‌جزئی از فعالیت‌ها همراه با محاسبه عدم قطعیت مدل و تغییرات ابعادی
Γm	partial factors for a material property, taking account only of uncertainties in the material property	ضریب‌جزئی برای یک ویژگی از مصالح که فقط با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت در خاصیت ماده انجام می‌شود.
γM	partial factors for a material property, taking account of uncertainties in the material property itself and in the design model used	ضریب‌های‌جزئی برای یک ویژگی از مصالح که با محاسبه عدم‌قطعیت در خاصیت خود مصالح و طراحی مدل استفاده شده انجام می‌شود.

γ_{Rd}	partial factor associated with the uncertainty of the resistance model, plus geometric deviations if these are not modelled explicitly	ضریب‌جزئی به همراه عدم‌قطعیت مقاومت مدل، به‌علاوه انحرافات هندسی است، در صورتی‌که صریحاً در مدل لحاظ نشده باشند.

۳-۴ زیرنویس

app	apparent	ظاهری
crit	critical	بحرانی
d	design value	مقدار طراحی
dep	depassivation	بی‌اثر کردن رویینگی
ini	initiation	شروع
k	characteristic value	مقدار مشخصه
prop	propagation	انتشار
nom	nominal value	مقدار اسمی
rep	representative value	مقدار ارائه شده
SL	service life	طول عمر

۵ مبنای طراحی

۵-۱ الزامات

۵-۱-۱ الزامات پایه

Basic Requirements

طرح طول عمر (SLD) سازه‌های بتنی باید مطابق با اصول کلی داده شده در استاندارد ISO 2394 [3] و استاندارد ISO 13823 [7] باشد.

مقررات تکمیلی برای سازه‌های بتنی که در این استاندارد ملی داده شده نیز باید به‌کار گرفته شود.

عمر مفید همچنین باید :

- بدنبال اصول کلی برای طرح احتمالاتی طول عمر سازه‌های بتنی که در استاندارد ISO 2394[3] مشخص شده، باشد، (روش احتمال کامل)؛
- از روش ضریب‌جزئی داده شده در این استاندارد استفاده شود؛
- از روش فرض مطلوب داده شده در این استاندارد استفاده شود؛
- براساس روش اجتناب از فرسودگی که در این استاندارد تعیین شده استفاده شود.

معیارهای قابلیت بهره‌برداری مربوط به پایایی باید برای هر پروژه مشخص شود و در این مورد با مشتری به توافق رسید.

یادآوری- راهنمایی برای انتخاب معیارهای قابلیت بهره‌برداری همراه با مقادیر هدف مناسبِ قابلیت اطمینان در پیوست ج ISO 2394: 1998 [3]، پیوست الف fib MC-SLD [1] و در آیین‌نامه مدل احتمالاتی JCSS [6] ارائه شده است.

۵- ۱- ۲ مدیریت قابلیت اطمینان[1]

مدیریت قابلیت اطمینان باید مطابق با اصول کلی داده شده در استاندارد ISO 2394 [3] باشد.

یادآوری- این مقررات در بند ۴ استاندارد ISO 2394 [3] آورده شده‌اند.

به‌عنوان راهنمایی برای تمایز قابلیت اطمینان، این استاندارد به طبقه‌بندی‌های کلی زیر اشاره می‌کند:

- دسته‌های پیامد[2] CC1، CC2 و CC3؛
- دسته‌های قابلیت اطمینان[3] RC1 ، RC2 و RC3.

سه دسته پیامدها مربوط به پیامدهای کوچک، متوسط و بزرگ از شکست یا ناکافی بودن قابلیت بهره‌برداری بتن است.

سه دسته قابلیت اطمینان ممکن است در ارتباط با سه دسته پیامد باشد.

یادآوری ۱- تمایز سه سطحی مطابق با بند۲-۴ استاندارد ISO 2394: 1998 [3] است.

یادآوری۲- بندهای۸-۵ و ۸-۶ استاندارد ISO 13823 [7]، یک تمایز چهارسطحی برای تمایز پیامدهای شکست را به‌کار می‌گیرد.

سطح مورد نیاز قابلیت اطمینان ممکن است از طریق اندازه‌گیری‌های مربوط به، به عنوان مثال، استحکام طرح و اقدامات مربوط به تضمین کیفیت منطبق بر طراحی، اجرا و هم‌چنین بازرسی/نگه‌داری در طول عمر یک سازه به‌دست آید.

یادآوری- استاندارد ISO 22966[4] سه دسته‌بندی اجرایی EXC1, EXC2, EXC3 را برای روش مدیریت کیفیت تعریف می‌کند که برای استحکام مورد نیاز آن از دسته اول به دسته سوم افزایش یافته است.

به‌علاوه، برای طرح طول عمر، پیوست ت، ارزیابی شرایط را در طی طول عمر به چهارسطح طبقه می‌کند که شامل CAL3,CAL2,CAL1,CAL0 می‌باشند.

۵ – ۱- ۳ طول عمر طراحی، پایایی و مدیریت کیفیت

طراحی طول عمر، پایایی و مدیریت کیفیت باید مطابق با اصول کلی موجود در استاندارد ISO 2394[3] باشد.

یادآوری- این مقررات در بند ۴ استاندارد ISO 2394: 1998 [3] آمده است.

---

1 - Rliability management
2 - Consequences classes
3 - Reliability classes

دوره‌ای فرضی است که در طول آن یک سازه یا بخشی از آن برای هدف در نظر گرفته شده، مورد استفاده قرار گیرد و نگه‌داری لازم، بدون نیاز به تعمیر اساسی، پیش بینی شده باشد.

طول عمر طرح با استفاده از سه بند زیر تعریف می‌شود:

- تعریفی از حالات حدی مربوطه؛
- دوره‌ای چند ساله؛
- سطحی از قابلیت اطمینان برای نگذراندن هر حالت حدی مرتبطی در این دوره.

پایایی یک سازه در مقابل شرایطی محیط باید به‌گونه‌ای باشد که در طول‌عمر طرح آن مناسب باقی بماند. این الزامات ممکن است در یک یا ترکیبی از روش‌های زیر مطلوب باشد:

- با طراحی سامانه‌های حفاظتی و سبک‌سازی؛
- با استفاده از مصالحی که، اگر به خوبی نگه‌داری شده باشند، در طول عمر طرح دچار انحطاط و فساد نشوند؛
- با ایجاد ابعادی که در طول عمر طرح فرسودگی آن قابل جبران باشد؛
- با انتخاب طول عمر کوتاهتری برای عناصر سازه‌ای که هر زمان نیاز بود یک یا چندین بار در طی طول‌عمر طرح جایگزین شوند؛
- در ترکیب با بازرسی مناسب در فواصل ثابت یا وابسته به شرایط به همراه فعالیت‌های نگه‌داری مناسب؛

در همه‌ی موارد بالا، الزامات قابلیت اطمینان برای دوره‌های کوتاه، یا بلندمدت باید بررسی شود؛

۵- ۲ اصول طراحی در حالت حدی[1]

طراحی در حالت حدی باید مطابق با اصول کلی داده شده در استاندارد ISO 2394 [3] باشد.

یادآوری_ این مقررات در بند ۵ استاندارد ISO 2394: 1998 [3] آمده است.

۵- ۳ متغیرهای پایه[2]

۵-۳-۱ عملیات و اثرهای زیست محیطی

مقادیر مشخصه از فعالیت‌ها برای استفاده از SLD باید:

- برمبنای داده‌های به‌دست آمده برای یک پروژه خاص باشند؛
- از حوزه تجربی به‌دست آمده باشند؛
- یا از مقالات مربوط به‌دست آمده باشد.

1 - principles of limit state design
2 - basic variables

فعالیت‌های دیگر، در صورتی که مرتبط باشند، باید در مشخصات طرح مربوطه برای یک پروژه خاص تعریف شوند. در یک پیوست ملی، عملیات‌هایی منحصر به SLD جهت استفاده از این استاندارد، ممکن است داده شوند.

۵-۳- ۲ ویژگی‌های محصول و ماده

خواص ماده و محصول باید مطابق با اصول داده شده در استاندارد ISO 2394 [3] تعریف شوند.

یادآوری- این مقررات در بند۶ استاندارد ISO 2394:1998 [3] آمده است.

مقادیر مشخصه از ویژگی‌های محصولات و مواد برای استفاده در SLD باید:

- بر مبنای داده‌های به‌دست آمده برای یک پروژه خاص باشند؛ یا
- از حوزه تجربی به‌دست آمده باشند؛ و یا
- از مقالات مربوط به آن تهیه شده باشد.

مشخصات مواد و محصولات بسته به مدل فرسودگی استفاده شده، تعیین خواهد شد. اگر مدل‌های مختلف با مفروضات اساسی متفاوت برای نگاشت مشخصات مواد و هم‌چنین در SLD به‌کار گرفته شود، باید یک فرآیند بررسی جهت اطمینان یافتن از اینکه مدل انتخابی و داده‌های به‌کار گرفته شده سازگار هستند، ایجاد شود.

۵- ۳- ۳ داده‌های هندسی[1]

مقادیر طراحی داده‌های هندسی برای SLD باید مطابق با استاندارد ISO 2394[3] باشد و یا براساس اندازه-گیری‌های که روی سازه یا عنصرکامل انجام شده.

یادآوری- این مقررات در بند ۶ استاندارد ISO 2394:1998[3] آمده است.

انحرافات مجاز هندسی را استاندارد ISO 22966[4]، بیان می‌کند. اگر در طراحی انحراف مجاز محدودتری فرض شود، باید فرضیات طراحی با استفاده از اندازه‌گیری‌هایی که روی عنصر یا سازه کامل انجام می‌گیرد، صحت‌سنجی شوند.

۵- ۴ تحقیق و اثبات

۵ – ۴- ۱ اثبات به‌وسیله روش احتمالاتی کامل

اصول کلی برای طول عمر احتمالاتی سازه‌های بتنی در استاندارد ISO 2394 [3] به شرح ذیل می‌باشد.

به‌طور خاص سه اصل زیر باید به‌کار گرفته شود:

- مدل‌های احتمالاتی باید به‌کار روند که نتایج منطقی و ارائه شده آنها از اعتبار کافی برخوردار باشد؛

1- Geometric data

- ضرایب مدل‌ها به‌کار گرفته شود و عدم‌قطعیت مرتبط با آنها با استفاده از آزمون‌ها، مشاهدات و یا به‌صورت تجربی باید قابل سنجش باشد؛
- برای ارزیابی پارامترهای فعالیت و مصالح، عدم قطعیت مرتبط با مدل‌ها و شیوه‌های آزمون باید روش‌های آزمون تجدید پذیر و مرتبط مد نظر قرار گیرند.

۵- ۴- ۲ اثبات با استفاده از روش ضریب جزئی

ممکن است SLD مطابق با اصول کلی روش‌های عامل جزئی که در استاندارد ISO 2394 [3] داده شده، اجرا شود.

یادآوری- این مقررات در بند ۹ استاندارد ISO 2394: 1998 [3] آمده است.

مدل‌های مشابه همان‌گونه که برای روش احتمالاتی‌کامل استفاده شده است، اما براساس مقادیر طراحی، باید برای روش ضریب جزئی استفاده شود. مختصرسازی‌ها بر روی طرف امن مجاز می‌باشد.

روش ضریب جزئی بهسازی عدم قطعیت‌ها و تغییرات نشأت‌گرفته از علل گوناگون را از هم جدا می‌کند. در فرآیند تأییدِ تعریف شده در این استاندارد، مقادیر طراحی متغیرهای اساسی اولیه به شرح زیر بیان شده است:

مقادیر طراحی یک فعالیت به‌طور کلی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F_d = \gamma f \times F_{rep} \qquad (۱)$$

که در آن:

F_{rep} مقدار ارائه شده یک فعالیت است؛

γf ضریب ایمنی جزئی برای فعالیت است.

مقادیر طراحی ویژگی مصالح یا محصول، به‌طور کلی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Rd = Rk / \gamma m \qquad (۲)$$

یا جایی که عدم قطعیت در مدل مقاومت در نظر گرفته شده است فرمول به صورت زیر خواهد بود:

$$Rd = Rk/\gamma M = Rk/(\gamma m \times \gamma Rd) \qquad (۳)$$

که در آن:

Rk مقدار مشخصه‌ی مقاومت است؛

γm ضریب جزئی برای یک ویژگی مصالح است؛

γRd ضریب جزئی مرتبط با عدم قطعیت مدل‌مقاومت به‌علاوه انحرافات هندسی است در صورتی‌که این‌ها به‌صورت صریح مدل نشده باشند؛

$\gamma M = \gamma m \times \gamma Rd$ ضریب جزئی برای ویژگی یک ماده است که برای عدم قطعیت مدل و متغیرهای ابعادی در نظر گرفته می‌شود.

برای آن‌که مقادیر طراحی کمیت‌های هندسی به‌عنوان متغیرهای اساسی در نظر گرفته شوند، به‌طور کلی باید مستقیماً از طریق مقادیر طراحی شان (a_d) بیان می‌شوند.
به هنگام استفاده از روش ضریب جزئی باید ثابت شود وقتی که مقادیر طراحی برای فعالیت‌ها و یا اثرات فعالیت‌ها و مقاومت در مدل‌های طراحی استفاده می‌شوند، از قابلیت اطمینان هدف برای عدم عبور از حالت-حدی در طی طول‌عمر طرح، تجاوز نمی‌شود.
در ضرایب جزئی باید بندهای زیر را در نظر گرفت:

- امکان انحرافات نامطلوبِ مقادیر فعالیت از مقادیر ارائه شده؛
- امکان انحراف نامطلوب ویژگی‌های مصالح و محصول تولیدی از مقادیر ارائه شده؛
- عدم قطعیت‌های مدل وانحرافات ابعادی.

مقادیرعددی برای ضرایب جزئی باید در یکی از روش‌های زیر تعیین شود:

- براساس بررسی آماری داده‌های تجربی و مشاهدات زمینه‌ای بر طبق زیربند ۵-۴-۱؛
- براساس واسنجی تجارب طولانی مدت روش‌ساخت.

۵-۴- ۳ تأیید به‌وسیله روش فرض بر کفایت مطلوب

روش فرض بر کفایت مجموعه ای از قوانین برای:

- ابعادگذاری؛
- انتخاب مصالح و محصولات؛
- و روش‌های اجرایی است،

که نشان می‌دهد هدف قابلیت اطمینان برای فراتر رفتن از حد حالت حدی در بازه زمانی طراحی، هنگامی‌که سازه بتنی یا جزئی از آن در موقعیت‌های طراحی قرار می‌گیرد، نیست.
الزامات خاص طراحی، انتخاب مصالح واجرا برای روش فرض بر کفایت باید از یکی از دو روش زیر تعیین شود:

- بر اساس بررسی آماری داده‌های تجربی و مشاهدات میدانی مربوطه مطابق با الزامات ذکر شده در زیربند ۵-۴-۱؛
- براساس واسنجی[1] تجارب طولانی مدت روش ساخت.

محدودیت‌های تأیید مقررات، به عنوان مثال دامنه نوع سیمان‌ها که تحت پوشش واسنجی هستند، باید به صورت شفاف ذکر شوند.

۵- ۴-۴ اثبات به‌وسیله روش اجتناب از فرسودگی

روش اجتناب از فرسودگی نشان می‌دهد که فرآیند فرسودگی به علت چهاربند زیر اتفاق نخواهد افتاد:

- جداسازی عملیات زیست محیطی از سازه یا جزئی از آن به عنوان مثال با استفاده از روکش‌های فلزی یا غشایی؛

1 - Calibration

- استفاده از مصالح غیرواکنشگر، برای مثال استفاده از فولادهای ضدزنگ یا سنگدانه‌های قلیایی غیر واکنشگر؛
- جداسازی واکنشگرها، برای مثال نگه‌داشتن سازه یا جزئی ازآن پایین‌تر از درجه بحرانی رطوبت؛
- سرکوب واکنش‌های زیان‌آور، برای مثال با استفاده از روش‌های الکتروشیمی می‌توان این‌کار را انجام داد.

شرایط موردنیاز ویژه برای طراحی، انتخاب مصالح و اجرای عملیات برای روش اجتناب از فرسودگی ممکن است به‌طور ویژه‌ای در روشی مشابه روش فرض بر کفایت، تعیین شود.
محدودیت‌هایی برای اعتبار مفاد باید به روشنی بیان شود.

۶ تأیید و بررسی طول عمر طراحی

۶-۱ خوردگی القا شده با کربناسیون[1]- بتن بدون ترک

۶-۱-۱ روش احتمالاتی کامل

۶-۱-۱-۱ حالت حدی: بی‌اثر کردن رویینگی[2]

الزامات زیر باید احراز شود:

$$p\{\} = p_{dep.} = p\{a - x_c(t_{SL}) < 0\} < p0 \qquad (۴)$$

که در آن:
$p\{\}$ احتمال رخ دادن بی‌اثر کردن رویینگی است؛
a پوشش بتن، برحسب میلی‌متر است؛
$x_c(t_{SL})$ عمق کربناسیون در زمان t_{SL}، برحسب میلی‌متر است؛
t_{SL} طول عمر طراحی، برحسب سال است؛
$p0$ احتمال شکست هدف است.
متغیرهای a و$x_c(t_{SL})$ باید در یک روش احتمالاتی کامل تعیین شوند.

یادآوری- حالت حدی بی‌اثر شدن رویینگی فقط مربوط به سازه‌هایی است که رطوبت کافی برای یک فرآیند خوردگی را دارا می‌باشند.

۶-۱-۱-۲ مدل طراحی

ممکن است چنین تصور شود که نفوذ جبهه کربناسیون از معادله زیر تبعیت می‌کند:

$$x_c(t) = W \times k \times t \qquad (۵)$$

1 - Carbonation-induced corrosion
2 - Depassivation

که در آن:

k یک عامل نشان‌دهنده مقاومت اصلی مخلوط بتن انتخابی(مانند نسبت آب به سیمان، نوع سیمان و افزودنی‌های آن) را تحت شرایط مذکور و تحت تأثیر شرایط زیست محیطی پایه (مثل میانگین رطوبت نسبی و غلظت CO_2) بر روی نفوذ کربناسیون را نشان می‌دهد. آن همچنین تأثیراجرای عملیات را نشان می‌دهد.

W شرایط متغیر اقلیمی مثل دما و رطوبت را برای اجزای ویژه‌ی بتن، در طی طراحی طول عمر را نشان می‌دهد.

برای طراحی یک سازه جدید، ضریب‌های W و K ممکن است از داده‌های مقالات و یا سازه‌های موجود به دست آیند، که در آن ترکیب بتن و شرایط اجرا و ارائه آن شبیه به سازه جدید مورد انتظار باشد.

هنگام ارزیابی طول عمر باقی مانده یک سازه موجود، مقادیر Wو K ممکن است مستقیماً از اندازه گیری‌های سازه به دست آیند. از مدل‌های دیگر نیز ممکن است استفاده شود، مشروط بر آن‌که اصول اساسی فرموله شده در زیربند ۵-۴-۱در آن احراز شوند.

۶- ۱- ۱- ۳ حالات حدی: پوسته پوسته شدن و ترک خوردگی القا شده با خوردگی

با توجه به ترک خوردگی، تابع حالت حدی اساسی زیر باید ایجاد شود:

$$p\{\} = p_{crack} = p\{\Delta r_{(R)} - \Delta r_{(S)}(t_{SL}) < 0\} < p0 \qquad (۶)$$

که در آن:

$p\{\}$ احتمال رخ دادن ترک‌خوردگی القا شده با کربناسیون است؛

$\Delta r_{(R)}$ حداکثر افزایش شعاع آرماتور القا شده با خوردگی است که می‌تواند به‌وسیله بتن بدون تشکیل ترک-ها در سطح بتن اصلاح شود، بر حسب µm است؛

$\Delta r_{(S)}(t_{SL})$ افزایش شعاع میلگرد به علت تقویت خوردگی در زمان tSL ، بر حسب µm است؛

t_{SL} طول عمر طراحی است؛

p0 احتمال شکست هدف است.

یک روش جایگزین طراحی به شکل زیر می‌باشد:

$$p\{\} = p_{crack} = p\{t_{SL} - t_{ini} - t_{prop} > 0\} < p0 \qquad (۷)$$

که در آن:

P{} احتمال رخ دادن ترک‌خوردگی القا شده با کربناسیون است؛

t_{SL} طول عمر طراحی، برحسب سال است؛

t_{ini} دوره آغازین(دوره‌ای تا هنگام وقوع بی‌اثرشدگی رویینگی آرماتور) برحسب سال است؛

t_{prop} دوره انتشار(دوره خوردگی فعال) است؛

$p0$ احتمال شکست هدف است.

متغیرهای$\Delta r_{(R)}$ و$\Delta r_{(S)}(t_{SL})$ یا متغیرهایt_{ini} وt_{prop} در یک روش احتمالاتی کامل باید تعیین شوند، روش-های دیگر نیز ممکن است استفاده شوند به شرطی که اصول پایه فرموله شده در زیربند ۵-۴-۱ انجام گیرد.

مدت زمان شروع ترک‌خوردگی ممکن است از طریق سازه‌های موجود که در ترکیب بتن وجود دارند، تخمین زده شود.

عملیات اجرایی در معرض شرایط مشخص قراردادن سازه، مشابه به شرایط مورد انتظار برای سازه مورد نظر است.

۶- ۱- ۲ روش ضریب جزئی

۶- ۱- ۲- ۱ حالت حدی: بی‌اثر کردن رویینگی

تابع حالت حدی زیر باید انجام شود:

$$a_d - x_{c,d}(t_{SL}) \geq 0 \qquad (۸)$$

که در آن:

a_d مقدار طراحی پوشش بتن، برحسب میلی‌متر است؛

$x_{c,d}(t_{SL})$ مقدار طراحی عمق کربناسیون در زمان t_{SL}، برحسب میلی‌متر است؛

مقدار طراحی پوشش بتن a_d از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$a_d = a_{nom} - \Delta a \qquad (۹)$$

که در آن:

a_{nom} مقدار غیر واقعی برای پوشش بتن، برحسب میلی‌متر است؛

Δ_a حد ایمنی (انحراف مجاز) پوشش بتن است، برحسب میلی‌متر است.

مقدار طراحی عمق کربناسیون در زمان$x_c ,d(t_{SL})$,t_{SL} از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$x_{c,d}(t_{SL}) = x_{c,k}(t_{SL}) \times \gamma_f \qquad (۱۰)$$

که در آن:

$x_{c,k}(t_{SL})$ مقدار مشخصه از عمق کربناسیون در زمانt_{SL} برحسب میلی‌متر است، برای مثال مقدار میانگین عمق کربناسیون.

γ_f ضریب جزئی ایمنی عمق کربناسیون است.

روش‌های دیگر ممکن است استفاده شود، به‌شرط آن‌که اصول اساسی که در زیربند ۵-۴-۲ فرموله شده‌اند، انجام گیرد.

۶- ۱- ۳ روش فرض بر کفایت

در این روش یک مبادله‌ی ضریب‌های هندسی (پوشش بتنی برای تقویت) مصالح (که به‌طور غیرمستقیم مربوط به مشخصه‌های انتشار و اتصال است) و جنبه‌های اجرایی (تراکم و به عمل‌آوردن بتن) به‌کار برده می‌شود.

۶- ۱- ۴ روش اجتناب از فرسودگی

به طورکلی، اگر بی‌اثر کردن رویینگی به سبب مقاومت نامحدود بتن در برابر کربناسیون یا بارگیری زیست محیطی صفر و یا مقاومت خوردگی نامحدود آرماتور، اتفاق افتد، اجتناب حاصل می‌شود.

۶-۲ خوردگی القا شده با کلرید- بتن بدون ترک

۶-۲-۱ روش احتمالاتی کامل

۶-۲-۱-۱ حالت حدی: بی‌اثر کردن رویینگی

تابع حدی زیر باید انجام شود:

$$p\{\} = p_{dep.} = p\{C_{crit} - C_{(a,tSL)} < 0\} < p0 \qquad (۱۱)$$

که در آن:

$p\{\}$ احتمال رخ دادن بی‌اثر کردن رویینگی است؛

C_{crit} محتوای کلرید بحرانی، برحسب درصد جرم ماده چسبان [1] است؛

$C_{(a,tSL)}$ محتوای کلرید در عمق a و زمان t، برحسب درصد جرم ماده چسبان است؛

a پوشش بتنی، بر حسب میلی‌متر است؛

t_{SL} طول عمر طراحی، بر حسب سال است؛

p0 احتمال شکست هدف است.

متغیرهای a, C_{crit} و $C_{(a,\,t_{SL})}$ باید در یک روش احتمالاتی‌کامل مشخص شده باشد.

یادآوری- اگر محتوای ماده چسبان ترکیب واقعی بتن شناخته شده نباشد، محتوای کلرید بحرانی ممکن است مربوط به جرم بتن باشد.

۶-۲-۱-۲ مدل طراحی

نفوذ کلریدها ممکن است در یک محیط آبی فرض شود که از معادله زیر تبعیت می‌کند:

$$C(x,t) = C_s - (C_s - C_i)\times\left[\text{erf}\left(\frac{x}{2\times\sqrt{D_{app}(t)\times t}}\right)\right] \qquad (۱۲)$$

در قانون دوم نفوذ تعدیل شده‌ی فیک[2]، ضریب‌ها به صورت زیر هستند:

$C(x,t)$ محتوای کلریدهای یک بتن در عمق x (سطح سازه: $x = 0$ mm) در زمان t، برحسب درصد جرم ماده چسبان است؛

Cs محتوای کلرید در سطح بتن، برحسب درصد جرم ماده چسبان است؛

Ci محتوای اولیه کلرید بتن، برحسب درصد جرم ماده چسبان است؛

x عمق و محتوای کلریدهای مزتبط با آن $C(x,t)$ ، برحسب میلی متر است؛

$D_{app}(t)$ ضریب ظاهری نفوذ کلرید در بتن [سال/mm^2] بر زمان t. به فرمول ۱۳ مراجعه شود؛

t زمان در معرض قرارگرفتن، بر حسب سال است؛

erf تابع خطا است.

---

1 - Mass of binder
2 - Fick

$$D_{app}(t) = D_{app}(t_0)\left(\frac{t_0}{t}\right)^{\alpha} \qquad (۱۳)$$

که در آن:

$D_{app}(t_0)$ ضریب نفوذ ظاهری اندازه‌گیری شده در یک زمان مرجع t_0 است؛

α ضریب کهنگی است که در طول دوره‌ی ضریب نفوذ ظاهری، کاهش می‌یابد. بسته به نوع ماده چسبان و شرایط زیست محیطی، ضریب کهنگی به احتمال زیاد بین ۰٫۲و ۰٫۸ باشد.

یادآوری- ضریب نفوذ ظاهری پس از دوره t قرارگیری در معرض کلرید$D_{app}(t)$، یک ضریب نفوذ هم ارز ثابت را نشان می‌دهد که در مقایسه با ضریب نفوذ اندازه‌گیری شده برای یک سازه‌ای که در دوره زمانی t در معرض محیط کلریدی قرارگرفته است، پروفایل کلریدی مشابهی را نشان می‌دهد.

کاهش ضریب نفوذ ظاهری به چند دلیل زیر ممکن است اتفاق بیفتد:

- واکنش‌های پیوسته ماده چسبان ؛
- تأثیر کاهش مکش مویرگی آب در ناحیه سطحی آن در زمان مشخص؛
- قابلیت اشباعی بتن؛ و
- اثر کلریدهای نفوذی از آب دریا یا نمک‌های ضد یخ (که منجر به تبادل یون و بدنبال آن انسداد خلل و فرج در لایه‌ی سطحی می‌شود).

برای طراحی یک سازه جدید، ضرایب $D_{app}(t0)$وα , C_s, Ci ممکن است از سازه‌های موجود اقتباس گردند که در آن ترکیب بتن، شرایط اجرایی و در معرض‌گیری شبیه به سازه‌های جدید باشد.

هنگام ارزیابی طول عمر باقیمانده یک سازه موجود، عوامل، به استثناء α، ممکن است به‌طور مستقیم از اندازه‌گیری‌های انجام شده روی سازه به‌دست آیند.

برای هر دو مقوله طراحی سازه‌های جدید و ارزیابی باقیمانده عمر سازه‌های موجود، ضریب کهنگی،α، باید از مشاهدات زمینه‌ای حاصل از سازه‌ها به‌دست آید که در آن ترکیب بتن و شرایط محیطی و اجرا، مشابه با سازه‌های واقعی آن‌هاست. حداقل در دو بازه زمانیِ در معرض قرارگیری (با یک فاصله زمانی کافی بین مشاهدات) جهت محاسبه ضریب کهنگی، مشاهداتی مورد نیاز است.

مدل‌های دیگر نیز ممکن است استفاده شوند، به‌شرط آن‌که اصول اساسی فرموله شده در زیربند ۵-۴-۱ انجام شده باشد.

۶-۲-۱- ۳ حالات حدی پوسته پوسته شدن و ترک خوردگی القا شده با خوردگی

زیربند ۶-۱-۱- ۳ را ببینید.

۶-۲-۲ روش عامل جزئی

زیربند ۶-۱-۲ ببینید.

۶-۲- ۳ روش فرض بر کفایت

زیربند ۶-۱-۳ ببینید.

۶-۲-۴ روش اجتناب از فرسودگی

زیربند ۶-۱-۴ را ببینید اما نفوذ کلریدی را جایگزین کربناسیون کنید.

۶-۳ تأثیر شیارها روی خوردگی آرماتور (تقویت خوردگی)

قابلیت اطمینان سازه‌ایِ کمینه برای یک سازه‌ی بتنی ترک‌خورده‌ی تقویت‌شده باید در مقایسه با قابلیت اطمینان کمینه‌ی یک سازه ترک نخورده مقدار قابل مقایسه‌ای باشد.

یک روش ساده شده به وسیله اکثر استانداردهای عملیاتی استفاده می‌شود. این مسئله نشان می‌دهد که خوردگی آرماتور متاثر از پهناهای ترک، تحت یک مقدار مشخصه‌ی قطعی نیست. بسته به شدت شرایط زیست محیطی و حساسیت سازه، این پهنای معین ترک با یک مقدار مشخصه (٪۵ کسرک[1] بالایی) در محدوده ۰٫۲تا ۰٫۴ میلی‌متر قرار می‌گیرد.

مشابه با روش داده شده دربند های ۶-۱و۶-۲، با توجه به قابلیت سرویس‌دهی/ کاربردپذیری باید حوادث ناخواسته شناسایی شود (SLS). بعلاوه، باید بررسی شود که آیا حدود نهایی تحت تأثیر خوردگی پیوسته آرماتور در ناحیه ترک خورده قرار دارد یا خیر.

در شرایط محیطی سخت (به عنوان مثال انواع رویارویی‌های XD3/XS3 همان‌طور که در استـــاندارد ISO 22965-1 [4]تعریف شده است)، اگر کاربردپذیری یا استحکام سازه تحت تأثیر قرار گرفت و اگر بررسی و مداخله‌ای نتواند انجام شود، یک اجتناب از فرسودگی مورد نیاز است/ توصیه می‌شود.

۶-۴ خطر بی‌اثر کردن روییِنگی در فولاد پیش تنیده[2]

برای جلوگیری از بی‌اثر کردن روییِنگی در فولاد پیش تنیده در سطحی از قابلیت اطمینان ULS قوانین کاربردی مرتبط که در زیربندهای ۶-۱، ۶-۲ و ۶-۳ ارائه شده‌اند، باید اعمال شوند.

ازآنجایی که خوردگی فولاد از پیش تنیده شده می‌تواند بدون هشدار قبلی باعث یک فروریزش ناگهانی سازه شود از طریق ترک‌خوردگی و خردشدگی همراه با آرماتور معمولی شود، به طور طبیعی یک سطح بالاتری از قابلیت اطمینان برای فرا نرفتن از حالت حدی بی‌اثر کردن روییِنگی نیاز است. شکل ۵- ۱ را ببینید.

۶-۵ تهاجم یخ زدگی/گرم شدگی

۶-۵- ۱ روش احتمالاتی کامل

۶-۵-۱-۱حالت‌حدی: آسیب یخ‌زدگی/گرم‌شدگی باعث از دست رفتن موضعی خواص مکانیکی، ترک خوردگی، پوسته پوسته شدن و از دست رفتن سطح مقطع- بدون عامل‌های ضدیخ یا آب دریا می‌شود.

تابع حالت حدی زیر باید انجام شود:

$$p\{\} = p_{freeze/thaw\ damage} = p\{\ T(t < t_{SL}),\ S_{CR} - S_{ACT}(t < t_{SL}) < 0\} < p0 \qquad (۱۴)$$

1 - Fractile

2- Pre-stressed steel

که در آن:

$p\{\}$ احتمال رخ دادن آسیب ناشی از یخ زدگی/گرم شدگی است؛

S_{CR} درجه بحرانی اشباع شدن [-] است؛

S_{ACT} قابلیت واقعی اشباع در زمان t [-]است؛

$T(t)$ دمای بتن در زمان t، بر حسب °C است؛

t_{SL} طول عمر طراحی، بر حسب سال است؛

$p0$ احتمال شکست هدف است.

متغیرهای S_{CR} و $S_{ACT}(t)$ کمیت‌هایی هستند، که باید در روش احتمالاتی‌کامل تعیین شوند.

ممکن است روش‌های دیگری استفاده شوند، به‌شرط آن‌که اصول اساسی فرموله شده در زیربند ۵-۴-۱ انجام شده باشند.

یادآوری- با ذکر یک مثال، روش طراحی و تعیین کمیت‌ها از کمیت‌های معین، یک روش طراحی کاربردی در پیوست ب از fib MC SLD[۱] آورده شده است.

۶-۵-۱- ۲ معادله حالت حدی برای نمک- پوسته پوسته شدن سطحِ القا شده با یخ زدگی یا گرم‌شدگی- با عوامل یخ زدا و یا آب دریا

تابع حالت حدی زیر باید انجام شود:

$$p\{\} = p_{scaling} = p\{T(t \le t_{SL}) - T_R(RH, n_{cycles}, t, Cl\text{-}, ...) < 0\} < p0 \qquad (۱۵)$$

که در آن :

$p\{\}$ احتمال اینکه پوسته پوسته شدن رخ دهد؛

$T_{(t)}$ دمای بتن در زمان t، برحسب °C است؛

$T_R(t,\ldots)$ دمای یخ زدگی بحرانی برای پوسته پوسته شدن در زمان t، برحسب °C است؛

t_{SL} طول عمر طراحی است، بر حسب سال است؛

$Cl\text{-}$ محتوای کلرید است، برحسب درصد جرم ماده چسبان است؛

RH درصد رطوبت نسبی است؛

n_{cycles} تعداد سیکل‌های یخ زدگی/گرم شدگی است؛

$p0$ احتمال شکست هدف است.

متغیرهای TوT_R باید در یک روش احتمالاتی کامل تعیین شوند.

فرمول (۱۵) براساس این فرض است که پوسته پوسته شدن در همان‌لحظه‌ای اتفاق می‌افتد که دمای سطح بتن به زیر نقطه بحرانی برسد، مقاومت پوسته‌شدگی با T_R نشان داده می‌شود.

تصور بر این است که این سطح بحرانی از تغییرات مقاومتی پوسته شدگی در مقابل زمان، بسته به شرایط در معرض قرار گیری و نوع بتن باشد.

روش‌های دیگر ممکن است استفاده شود، به‌شرط آن‌که اصول اساسی فرموله شده در زیربند ۵-۴-۱ انجام شوند.

یادآوری- با ذکر یک مثال، روش طراحی و تعیین کمیت‌ها از کمیت‌های فوق‌الذکر، یک روش طراحی کاربردی در پیوست ب از fib MC SLD[۱] آورده شده است.

۶-۵-۱- ۳ حالات حدی: تغییر شکل القا شده با یخ زدگی/گرم شدگی

با توجه به ظرفیت حمل بار و تغییرات شکل، باید طراحی اثر تغییرات موضعی در خواص مکانیکی ناشی از آسیب یخ زدگی/گرم شدگی را شامل شود.

۶- ۵- ۲ روش عامل جزئی

تابع حالت حدی زیر نیاز به انجام معادله زیر را دارد:

$$S_{CR,d} - S_{ACT,d}\,(t < t_{SL}) \geq 0 \qquad (۱۶)$$

که در آن:

$S_{CR,d}$ مقدار طراحی مربوط به درجه بحرانی اشباع است؛

$S_{ACT,d}\,(t < t_{SL})$ مقدار طراحی مربوط به درجه واقعی اشباع در زمان t است؛

t_{SL} طول عمر طراحی است، بر حسب سال است؛

مقدار طراحی مربوط به درجه بحرانی اشباع باید طبق معادله زیر محاسبه شود:

$$S_{CR,d} = S_{CR,min} - \Delta S_{CR} \qquad (۱۷)$$

که در آن:

$S_{CR,min}$ مقدار مشخصه از درجه بحرانی اشباع است (مقدار حداقل)؛

ΔS_{CR} حاشیه درجه بحرانی اشباع است.

مقدار طراحی مربوط به درجه واقعی اشباع در زمان t و$S_{ACT,d(t)}$ باید به صورت زیر محاسبه شوند:

$$S_{ACT,d(t)} = S_{ACT,k(t)} + \Delta S_{ACT} \qquad (۱۸)$$

که در آن:

$S_{ACT,k(t)}$ مقدار مشخصه‌ی درجه واقعی اشباع در زمان t است؛

ΔS_{ACT} حاشیه درجه واقعی اشباع (بارگزاری) است.

روش‌های دیگر ممکن است استفاده شوند، به‌شرط آن‌که اصول اساسی فرموله شده در زیربند ۵-۴-۱ انجام شود.

یادآوری- با ذکر یک مثال، روش طراحی یک روش طراحی کاربردی در پیوست پ از fib MC SLD[۱] آورده شده است.

۶-۵- ۳ روش فرض بر کفایت

در این روش به‌طور معمول، براساس واسنجی برای یک تجربه بلندمدت تعداد بیشتری از راه حل‌های زیر موردنیاز است:

- محدودیت‌هایی برای تخلخل بتن (به‌طور مرسوم با نسبت آب/سیمان نشان داده می‌شود)؛

- فضای موجود برای انبساط آب در حال انجماد (ایجاد هوا)؛
- انتخاب نوع سیمان و سنگدانه‌ها.

۶- ۵- ۴ روش اجتناب از فرسودگی

به‌طور کلی جلوگیری دست یافتنی است اگر به سبب مقاومت ماده یا بار زیست محیطی صفر، فرسودگی ناشی از یخ زدگی/گرم شدگی اتفاق نیفتد.

یادآوری- با توجه به عدم یخ زدگی و یا سطوح رطوبت زیر S_{CR} ، از هر واکنش زیان بار به علت یخزدگی برای بیشتر سازه ها اجتناب خواهد شد.

۶-۶ حمله شیمیایی

۶-۶-۱ حمله اسیدی

۶-۶-۱-۱ روش احتمالاتی کامل

در زمان انتشار این استاندارد بین المللی، یک روش احتمالاتی کامل برای SLD امکان‌پذیر نبود، چون هیچ مدل وابسته به زمانی با اجماع بین المللی کلی برای این فرآیند فرسودگی در دسترس نبود.

۶- ۶-۱- ۲ روش ضریب جزئی

زیربند ۶- ۶-۱-۱ ببینید.

۶- ۶-۱- ۳ روش فرض بر کفایت

در این روش، براساس واسنجی جهت تجربه بلندمدت، معمولا یک یا بیش از یک راه‌حل زیر موردنیاز است:

- محدودیت‌هایی برای تخلخل بتن (به‌طور مرسوم با نسبت آب / سیمان بیان می‌شود)؛
- سیمان‌های کامپوزیت یا استفاده از افزودنی‌هایی مانند فوم سیلیکا، خاکستر، تفاله؛
- نوع سنگدانه‌ها.

۶-۶-۱-۴ روش اجتناب از فرسودگی

براساس کلینگر پرتلند[1]، محلول‌هایی با PH بیشتر از تقریباً ۶٫۵ برای خمیر سیمان زیان‌بار به حساب نمی-آیند. در صورت حمله شدید اسیدی، باید اندود و یا پوشش‌های با دوامی برای اجتناب از تماس مستقیم اسید با سطح بتن تهیه شوند.

۶-۶-۲ حمله سولفات

زمانی که خمیر سیمان سفت شده است مورد حمله سولفات قرار می‌گیرد، دو سازوکار اجتناب می‌تواند رخ دهد: تشکیل اترینگیت[2] / گچ و تشکیل تائوماسیت[3].

1- Prtland clinker
2- Ettringite
3- Thaumasite

اترینگیت(سولفوآلومینات از C_3A) و تشکیل گچ از کلسیم باعث انبساط می‌شود ودر نتیجه می‌تواند در خمیر سفت شده اختلال ایجاد کند.
در حضور کربنات‌کلسیم و در دمای پایین (۵°C تا ۸°C) تائوماسیت می‌تواند شکل بگیرد، که باعث اختلال در خمیر سیمان سفت شده‌ی بدون انبساط می‌شود.

۶-۶-۲- ۱ روش احتمالاتی کامل

در زمان انتشار این استاندارد بین المللی، یک روش احتمالاتی کامل برای SLD امکان پذیر نبود چون هیچ مدل وابسته به زمانی با اجماع بین المللی کلی برای این فرآیند فرسودگی در دسترس نبود.

۶-۶-۲-۲ روش ضریب جزئی

زیربند ۶-۶-۲-۱ ببینید.

۶-۶-۲-۳ روش فرض بر کفایت

در این روش، براساس واسنجی جهت تجربه بلندمدت، معمولا یک یا بیش از یک راه‌حل زیر موردنیاز است:

- حداکثر مقدار C_3A در سیمان. سیمان‌های با C_3A کمتر از ۳ تا ۵ درصد و با خاکستر کوره سیمان بیشتر از ٪۶۰، اغلب به‌عنوان مقاوم در برابر سولفات در نظر گرفته می‌شوند؛
- سیمان‌های کامپوزیت یا استفاده از افزودنی‌هایی مثل فوم سیلیکا و یا خاکستر و تفاله؛
- محدودیت‌هایی برای تخلخل بتن(به‌طور مرسوم با درصد آب/سیمان نشان داده می‌شود)؛
- اجتناب از سنگدانه‌های سنگ آهک یا پرکننده‌ها در صورت خطر تشکیل تائوماسیت.

۶-۶-۲- ۴ روش اجتناب از فرسودگی

برای محافظت در برابر حمله‌ی سولفات، به وجود یون‌های سولفات و C_3A در جزء بتنی نیاز است. اگر یک یا هردوی این شرایط زیر غلظت‌های مشخص باشند، واکنش‌های جلوگیری از فرسودگی اتفاق می‌افتد.
در صورت حمله شدید اسیدی، باید اندود و یا پوشش‌های با دوامی برای اجتناب از تماس مستقیم اسید با سطح بتن تهیه شوند.

۶-۷ واکنش قلیایی سنگدانه‌ها

واکنش قلیایی سنگدانه‌ها شامل واکنش‌های شیمیایی مضر بین قلیاها در خمیر و سیلیس یا در ترکیبات کربناتی در سنگدانه است.

۶-۷-۱ روش احتمالاتی کامل

در زمان انتشار این استاندارد بین المللی، یک روش احتمالاتی کامل برای SLD امکان پذیر نبود چون هیچ مدل وابسته به زمانی با اجماع بین المللی کلی برای این فرآیند فرسودگی در دسترس نبود.

۶-۷- ۲ روش ضریب جزئی

زیربند ۶-۷-۱ ببینید.

۶-۷- ۳ روش فرض بر کفایت

در این روش، براساس واسنجی جهت تجربه بلندمدت، معمولا یک یا بیش از یک راه‌حل زیر موردنیاز است:

- حداکثر مقدار قلیاها که از سیمان و دیگر منابع نشأت گرفته است. حاصل جمع قلیاها اغلب به به صورت Na_2O نشان داده می‌شود که برابر است با $Na_2O + 0,658 \times K_2O$؛
- سیمان‌های کامپوزیت یا استفاده از افزودنی‌هایی مثل سیلیکا یا خاکستر و تفاله؛
- استفاده از لیتیم نیتریت/هیدروکسید و دیگر افزودنی‌های شیمیایی؛
- محدودیت‌هایی برای واکنش‌پذیری قلیایی سنگدانه.

به دلیل اختلاف‌های محتمل در زمین‌شناسی[1] محلی، باید از انتقال تجربه از یک منطقه به منطقه دیگر مراقبت کرد.

۶-۷-۴ روش اجتناب از فرسودگی

جهت فراهم‌کردن یک واکنش قلیایی سنگدانه‌ای، نیاز است که سنگدانه واکنش‌پذیر، رطوبت کافی و خصلت قلیایی در جزء بتنی وجود داشته باشند. اگر یک یا تعداد بیشتری از این شرایط وجود نداشته باشند، جلوگیری از واکنش دست یافتنی خواهد بود.

یادآوری- استفاده از اندود و پوشش‌های بادوام ممکن است از نفوذ قلیاهایی (مصالح قلیایی) از محیط خارجی جلوگیری کند.

۷ اجرا

۷-۱ عمومی

SLD منطبق بر این استاندارد، فرض را بر این می‌گذارد که الزامات اجرا و مدیریت کیفیت معین شده در استاندارد ISO 22966 [4] برآورده خواهد شد.

۷-۲ مشخصات اجرا

مشخصات اجرا باید داده‌های فنی و الزامات یک پروژه ویژه‌ای را در بر بگیرد که جهت تکمیل و تعدیل الزامات استاندارد ISO 22966 [4] فراهم شده است.

مشخصات اجرا باید شامل همه اطلاعات ضروری و الزامات فنی برای اجرای کارها و موافقت نامه‌ها در طول اجرای عملیات باشد.

بنابراین مشخصات اجرا باید همه مفروضات برای مصالح، عملیات اجرایی و کنترل شرایط ایجاد شده در SLD ویژه را با الزامات خاص جابه‌جا کند.

1- Geology

۷-۳ قالب‌بندی

دیگر الزامات امکان‌پذیر غیر از آنهایی که در استاندارد ISO 22966 [4] فهرست شده‌اند، باید در مشخصات اجرا ذکر شوند.

۷-۴ مصالح

۷-۴-۱ آرماتورها

باید الزامات انواع آرماتورها بجز آرماتورهای فولاد معمولی منطبق با استاندارد ۱۳۲۷۰ (گالوانیزه، ضد زنگ، پوششی، غیر فلزی و ...) در مشخصات اجرا بیان شوند.

۷-۴-۲ پیش تنیدگی[1]

باید الزامات سامانه‌های پس‌کششی[2] غیر از سامانه‌های اشاره شده در استاندارد ISO 22966 [4] (غلاف پلاستیکی،رشته غیرفلزی و...) در مشخصات اجرا بیان شود.

۷-۴-۳ بتن

بتن باید طبق استانداردهای ISO 22965-1 و ISO 22965-2 مشخص شود.

مشخصات اجرا باید در بردارنده‌ی الزامات اضافی محتمل برای مدل‌های SLD به‌کار رفته باشد.

اگر قرار باشد روش‌های آزمونی، نمونه برداری، که دراستاندارد ISO 22965 به آنها اشاره نشده برای نمونه گیری به‌کار گرفته شوند، این روش‌های آزمون و تفسیر آماری نتایج آنها باید در مشخصات اجرا بیان شود.

۷-۴-۴ شکل هندسی

اصطلاح «انحراف مجاز»[3] در استاندارد ISO 22966 [4] در انحرافات هندسی[4] ممکن است برحسب صدک ۵٪ بیان شود.

دیگر فرضیات ممکن در انحرافات هندسی که در SLD به‌کار رفته، غیر از موارد ذکر شده در استاندارد ISO 22966 [4]، باید در مشخصات اجرایی بیان شود.

یادآوری- فرض بر این است که الزامات انحرافات هندسی داده شده در رده ۱ استاندارد ISO 22966 [4] موجود در بند ۱۰، ارتباط مستقیمی با فرضیه‌های طراحی داشته باشند، حال آن‌که مواردی که در استاندارد ISO 22966 [4]، «پیوست ز»، معین شده‌اند این‌گونه نیستند.

۷-۵ بررسی

ارزیابی انطباق کار تکمیل شده باید انجام و نتایج آن ثبت شود.

---

1 -Pre-stressing
2- Post-tensioning
3 - Permitted deviation
4 - Geometrical tolerance

مشخصات اجرا ممکن است با توجه به جزئیات SLD واقعی، الزامات « مستندسازی حین ساخت »[1] را ارائه دهد.

چنین جزئیاتی ممکن است سند پارامترهای ورودی مستقیم به‌دست آمده‌ای باشند که در مدل‌های SLD به‌کار رفته‌اند، مانند ضرایب نفوذی و ضخامت پوششی برای آرماتورها.

۶-۷ عملیات در صورت عدم انطباق

اگر بررسی معلوم کند که مفروضات SLD اصلی در طول ساخت و ساز برآورده نشده‌اند، عملیات‌های داده شده در بند ۹ باید انجام شوند.

۸ نگه‌داری و شرایط ارزیابی

۸-۱ بخش عمومی

SLD منطبق بر این استاندارد، فرض را بر این می‌گذارد که شرایط مورد نیاز برای حفظ و نگه‌داری و ارزیابی شرایط داده شده در استاندارد ملی ایران شماره ۸-۱۸۳۳۰ برآورده خواهد شد.

پیوست ت در خصوص میزان بازرسی/نظارت سازه در طول عمر آن مشاوره می‌دهد. در اینجا چهار «سطح ارزیابی شرایط» به‌عنوان راهنما برای تمایز قابلیت اطمینان جهت استفاده در طراحی، شرح داده شده است.

۸-۲ نگه‌داری

در این استاندارد، اصطلاح نگه‌داری تأسیسات به فعالیت‌های اطلاق می‌شود که به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند تا طی طول عمر سازه به منظور اطمینان از تکمیل و اجرای مفروضات SLD انجام گیرند.

یک طرح نگه‌داری باید نوع و فراوانی فعالیت‌های پیش‌بینی شده را بیان کند. طرح نگه‌داری باید براساس مفروضات طراحی باشد و با توجه به نتایج بررسی سازه‌ی تکمیل شده، به روز شود.

یادآوری۱- استاندارد ISO 15686-1: 2011[8] راهنمایی بیشتری را در مورد محتویات یک طرح نگه‌داری ارائه می-دهد.

یادآوری۲- طرح نگه‌داری می‌تواند فعالیت‌هایی مانند نظافت عمومی، زه‌کشی، افزایش بتونه‌کاری، جایگزینی قطعات و...را شامل شود.

۸-۳ ارزیابی شرایط

۸-۳-۱ طرح ارزیابی شرایط

طرح ارزیابی شرایط باید نشان دهد که:

- چه نوعی از بررسی / نظارت موردنیاز است؛
- چه قطعاتی از سازه باید، بررسی/نظارت شوند؛
- فراوانی بررسی‌ها؛

1 - As-built-documentation

- معیارهای اجرایی که باید برآورده شوند؛
- سندسازی نتایج؛
- اقدام در صورت عدم انطباق با معیارهای اجرایی (بند۹ را ببینید.).

۸- ۳- ۲ بررسی و نظارت طی طول عمر

در این استاندارد، «بررسی» به معنای ارزیابی فعالیت‌هایی برای ارزیابی انطباق داده‌های طراحی برای فعالیت‌ها و یا خصوصیات مصالح و یا محصولات مورداستفاده در SLD طی یک دوره پایه در طول عمر سازه، است. در حالی‌که نظارت به معنای فعالیت‌های مشابه است اما به طور مستمر.

ارزیابی انطباق ممکن است توسط مشاهدات بصری و قضاوت‌های همراه با آن انجام شود به‌طوری‌که به‌وسیله اندازه‌گیری‌ها، آزمون‌ها و سنجش به‌نحو مناسب قابل انجام است.

۹ اقدام در صورت عدم‌انطباق

اگر بازرسی پس از اتمام ساخت وساز ویا طی طول عمر آن نشان دهد که مفروضات SLD اصلی برآورده نشده‌اند، باید یک یا چندی از فعالیت‌های زیر انجام شود:

- دامنه بررسی عملکرد باید برای بهبود کیفیت و ارائه داده‌ها گسترده‌تر شود.
- باید یک تجدید محاسبه کامل یا جزئی از SLD اصلی برای ارزیابی طول عمر باقیمانده سازه انجام شود. محاسبات جدید باید با داده‌ی فعالیت‌ها، مصالح و محصولات مشتق شده از سازه‌ای که مورد ارزیابی قرارگرفته، تکمیل شوند. طراحی مجدد باید با شرایط موردنیاز داده شده در بند ۵ مطابقت داشته باشد.
- سازه باید جهت برگشت به عملکردش با معیارهای طراحی تعمیر و تقویت شود. تعمیر باید بر اساس محاسبات مجدد جزئی یا کامل SLD اصلی باشد که در بند ۵ بیان شده است.
- سازه باید در مقابل کاهش عملکرد، محافظت شود. حفاظت باید براساس محاسبات مجدد SLD اصلی همانطور که در بند ۵ بیان شده، باشد.
- سازه باید مجاز به منسوخ شدن قبل از موعد در نظر گرفته شده، باشد.

با توجه به پیوست الف-۲ معیارهای قابلیت استفاده بودن برای به‌کارگیری در طول ارزیابی پروژه، باید بعد از توافق با مالک مشخص شود.

یادآوری- برای سازه‌های موجود، هزینه‌های دستیابی به یک سطح قابلیت اطمینان بالاتر معمولا در مقایسه با سازه‌های در دست طراحی بسیار بالاترست. به این دلیل سطح قابلیت اطمینان مورد نظر برای طراحی مجدد طول عمر سازه‌های موجود معمولا کمتر است.

پیوست الف

(آگاهی دهنده)

اساس طراحی

الف-۱ راهنمایی زیربند ۵- ۱-۱، الزامات اساسی

استانداردهای بتنی بین المللی و ملی به طور مرسوم الزامات رسیدن به طول عمر مطلوب را بر اساس روش-های فرضیه‌ای و اجتناب از فرسودگی ارائه می‌دهند.

چنین الزامات مؤثری باید توسط دستگاه عهده‌دار استاندارد سنجیده شوند. این استاندارد بین‌المللی راهنمایی را برای چنین سنجشی ارائه می‌دهد.

استاندارد ISO 22966-1 یک مثال از چگونگی تمایز بارهای زیست‌محیطی را با توجه به فرسودگی سازه به-وسیله ۱۷ «کلاس رویارویی» ارائه می‌دهد. دسته بندی‌های مشابهی توسط استانداردهای CEN اروپایی در طراحی سازه‌های بتنی اتخاذ می‌شود.

این دسته‌بندی در طبیعت کیفی بوده و به‌وسیله دستگاه استاندارد ملی، اغلب به‌طور مستقیم به الزامات « روش فرض بر کفایت » و «اجتناب از فرسودگی» در استانداردهای عملیاتی متصل است.

اگر قرار است طرح‌های طول‌عمر اصلاح شده بیشتری با استفاده از مدل‌سازی فرسودگی انجام شود، این دسته بندی بار زیست‌محیطی باید مربوط به ضریب‌های کمی باشد، به عنوان مثال غلظت‌های سطح کلرید برای سازه‌های دریایی.

زمان انتشار این استاندارد، چنین پارامترهای کمی در هیچ استاندارد عملیاتی قابل دسترسی نیستند. از اینرو اطلاعات باید به‌وسیله اندازه‌گیری سازه‌های موجود و بررسی متونی همچون fib Bulletin شماره ۳۴ – MC SLD [1] و گزارش فنی جامعه بتن[1] [9] به دست آیند.

مفهومی دیگر که مربوط به اثبات حالت‌های حدی بوده و مرتبط با پایایی می‌باشد، در راهنمای مقاله F برای هدایت محصولات ساختمانی[10] در جامعه اروپایی[2] توصیف شده است که این عمل در اصطلاح استفاده از «آزمون‌های شکنجه»[3] نامیده می‌شود.

این روش نشان می‌دهد که مصالح و یا جزئی که در شرایط آزمون قرار می‌گیرد بی‌شک در شرایطی سخت‌تر از رویارویی واقعی طی طول عمر طراحی خواهد بود. اگر مصالح، آزمون را گذراندند، تأییدیه نیز پذیرفته می-شود، هرچند که هم‌چنان مرز آن ناشناخته است.

تعدادی از آزمون‌های انبساط /انقباض برای بتن در این دسته قرار می‌گیرند.

نمی‌توان نتیجه‌گیری کرد که چون مصالح در مقابل چنین «آزمون‌های شکنجه» طاقت فرسایی تحمل نیاورده‌اند، پس نمی‌توانند در رویارویی با شرایط واقعی نیز دوام بیاورند.

---

1 - Concret Society Thecnical Report
2 - Construction Products Directive of the European Community
3 - Torture Tests

در زمان انتشار این استاندارد، کمیته استانداردسازی اروپا (CEN) در حال بررسی روی یک مفهوم به نام روش پایداری هم‌ارز[1](EDP)[11] بود. این بررسی نشان داد که، به موضوع ترکیب یک ماده که در استاندارد عملیاتی به آن پرداخته نشده است، ممکن است با یک مرجع که دارای اجرای بلندمدت اثبات شده است، قابل مقایسه باشد.

مقایسه بر اساس آزمون انجام می‌شود. بر اساس نتایج این آزمون‌ها، باید نتایج عملکرد ماده مورد نظر در پایان طول عمر طراحی ارزیابی شود و سپس نتایج با مرجع مقایسه شود. این چنین برون‌یابی نتایج آزمون شامل استفاده از مدل‌سازی است؛

EDP فرض را بر این می‌گذارد که این مدل‌سازی طبق مقررات داده شده در نهاد استانداردسازی ملی انجام شده است.

الف-۲ راهنمایی زیربند ۳-۱-۵، طول عمر طراحی

طول عمر طراحی یک سازه باید مطابق با خواسته مالک و در محدوده ارائه شده توسط استاندارد ملی باشد.

جدول الف ۱- مثال‌هایی از طول عمر طراحی (بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۵۵۳: ۱۳۹۰[3])

رده	مدت‌کار طرح ملی	مثال
۱	۱تا ۵	ساختمان‌ها وسازه‌های دیگر، متفاوت از فهرست آنها در زیر
۲	۲۵	جایگزینی بخش‌های سازه ای مثل شاه تیر جرثقیل، تکیه گاه‌ها
۳	۵۰	ساختمان‌ها وسازه‌های دیگر، متفاوت از فهرست آنها در زیر
۴	۱۰۰ یا بیشتر	ساختمان‌های تاریخی و سایر سازه‌های خاص یا ساختمان‌های مهم، پل‌های بزرگ

جدول باید با دقت استفاده شود.

برخی از ساختمان‌ها، به عنوان مثال، کارخانه‌ها، مطابق با ماشین‌آلات نصب شده، اغلب یک طول عمر اقتصادی دارند. از طرف دیگر، بخش‌های سازه‌ای ساختمان‌های مسکونی، همانگونه که در جدول نشان داده شده، عرفا یک طول عمر پیش‌بینی شده‌ی بیش از ۵۰سال دارند

الف-۳ راهنمای زیربند ۵-۳-۱، مدیریت کیفیت

هدف مدیریت کیفیت و کنترل اندازه‌گیری‌ها در طراحی، طرح جزئیات، اجرا و طی طول عمر سازه‌ای که در این استاندارد موردنیاز است، حذف شکست ناشی از خطاهای فاحش و اطمینان بخشی از مقاومت مفروض در طراحی می‌باشد.

1- Equilavent Durability Procedure

پیوست ب

(آگاهی دهنده)

تایید طول عمر طراحی

ب-۱ راهنمای بند ۶، تایید طول عمر طراحی

این استاندارد تنها مدل‌های تایید طول عمر را برای مواردی ارائه می‌دهد که یک سازوکاری بر فرسودگی سازه غالب است. اگر به اثرهای برهم‌کنش فیزیکی برخورد شود(به عنوان مثال ترک‌خوردگی و خردشدگی به علت خوردگی آرماتور که با عمل‌های انقباض/ انبساط توام شده است). باید مدل‌های پیچیده‌تری به‌کار برده شود.

ب-۲ راهنمای زیربند ۶-۱-۱-۱، حالت حدی: بی‌اثر کردن رویینگی به علت کربناسیون

در زمان انتشار این استاندارد، هیچ مدلی با اجماع گسترده بین‌المللی در دسترس نبود که بتواند طول دوره خوردگی تا زمان ترک‌خوردگی و خردشدگی و یا رخ دادن فرسودگی سازه را پیش بینی کند. وقتی‌که اثر خوردگی آرماتور بعد از بی‌اثر کردن رویینگی در آن در نظر گرفته شود، شکافتگی تنش‌ها در جایی از آرماتور که به خاطر اثرات دیگر بارها یا عملیات‌های مکانیکی پوشیده شده نیز باید در نظر گرفته شوند. هرجایی که تنش‌های متصل در آرماتور وجود داشته باشد، «تنش‌های ناگهانی»[1] نیز در بتن مشابه به آنهایی که ناشی از انبساط خوردگی محصولات هستند، بوجود می‌آید که در نهایت منجر به تشکیل نوع مشابه‌ای از ترک-خوردگی و خردشدگی در سطح پوشش می‌شوند.

به این دلایل، طرح‌های طول عمر به‌طور معمول با حالت حدی بی‌اثر کردن رویینگی (رسیدن به یک کاهش در مقدار PH ۸-۹ در سطح میلگرد) انجام می‌شوند.

به‌طور معمول اولین نتیجه مستقیم گذراندن این حالت حدی این است که تعمیر و ارزیابی‌های حفاظتی آتی ممکن است هزینه‌های بالاتری به همراه داشته باشد. بنابراین این حالت حدی حفاظتی به‌طور معمول به یک سطح اطمینان متناظر در جهت کاهش سرعت در مقابل شکست ارتباط داده می‌شـود که اغلب در محدوده 10^{-1} تا 10^{-2} است، همچنین fib MC SLD [1] را ملاحظه کنید.

اگر مدت زمان طول عمر با سطوح کمتری از قابلیت اطمینان برای حالت حدی بی‌اثر کردن رویینگی تعریف شود، باید به این واقعیت توجه داشت که بخش قابل توجهی از جمعیت دراین مورد نیز اغلب، حالت حدی ترک‌خوردگی و خردشدگی را به معنای یکسان درک کرده‌اند.

برای ایجاد خوردگی آرماتور یک سطح معینی از رطوبت نیاز است. برای عناصر سازه‌ای که صرفا در معرض محیط نسبتاً خشک داخلی قرار می‌گیرند، یک حالت حدی «بی‌اثر کردن رویینگی» ممکن بی‌ربط باشد چرا که هیچ گونه خوردگی گسترده‌ای ایجاد نکند.

---

1 - bursting stress

ب-۳ راهنمای زیربند ۶-۱-۱-۲، مدل طراحی-کربناسیون

با توجه به فرمول ۵، نفوذ جبهه کربناسیون متناسب است با ریشه دوم زمان ($t^{0.5}$)
برای سازه‌هایی که در معرض شرایط آب و هوایی مرطوب قرار دارند مناسب‌ترین منحنی نفوذ مشاهده شده-ی جبهه کربناسیون ممکن است از طریق یک مقدار کمی که توان آن کمتر از ۰٫۵ است به‌دست آید.
در پیوست بfib MC SLD[1]، اطلاعات بیشتری را در مورد چگونگی تأثیر شرایط آب و هوایی در ضریب-های موثر بر K,W و توان ارائه می‌دهد.
هر دو عامل عدم قطعیت داده‌ها و مدل باید در طراحی در نظر گرفته شود.
به هنگام استخراج محصول K,W از سازه‌های موجود، هر چه سازه کهنه‌تر باشد، تاثیر عدم قطعیت‌ها کاهش خواهد یافت.
مروری بر دیگر مدل‌های مورد استفاده، و یک پایگاه داده با کمیت‌های حمایت‌کننده، در نشریه فنی جامعه بتنی[1] ارائه شده است.

ب-۴ راهنمای زیربند ۶-۱-۱-۳، حالت حدی: ترک خوردگی و خرد شدگی القا شده با کلراید

خوردگی آرماتور منجر به ترک خوردگی،خرد شدگی و فرسودگی می‌شود که این مسئله تا حد زیادی به شرایط زیست محیطی در سطح بتن بستگی دارد. شرایط میکرو زیست‌محیطی ممکن است به‌طور قابل ملاحظه‌ای در طول سطح بتن در عناصر سازه‌ای متفاوت باشد. نامطلوب‌ترین شرایط میکرو زیست‌محیطی، شرایط آب وهوایی خشک و مرطوب پیاپی و یا انباشته شدن عامل‌های خورنده است (برای مثال، کلریدهای ایجاد شده از آب دریا یا ناشی از نمک‌های ضدیخ) اثرات خوردگی ماکروسل ممکن است میزان خوردگی بالایی را در نواحی به‌وجود آورند که شرایط میکرو زیست‌محیطی کمتر شدیدی دارند. برای درجات معینی از خوردگی، خطر ترک‌خوردگی و خردشدگی به شکل هندسی سطح مقطع بستگی دارد. بیشتر مناطق سطح مقطعی آسیب‌پذیر، به عنوان مثال لبه‌های تیر، باید به عنوان مناطق مهم برای طراحی انتخاب شوند.
اولین روش‌ها برای تعیین کمیت متغیرهای (t_{SL})، $\Delta r_{(S)}$ و $\Delta r_{(R)}$ در فرمول۶ وجود دارد. بیشتر مدل‌های متناظر به صورت تجربی به دست آمده‌اند که اغلب بر اساس داده‌های محدود و به طبع آن ناکافی بوده‌اند. هنوز جزئیات همبستگی بین میزان خوردگی/کیفیت بتن/میکرو زیست‌محیط تعیین نشده است. شرایط مشابهی برای حالت‌های حدی خردشدگی و سایش به‌کار می‌رود. fib TG 5.6 در اولین دوره انتشار خود، برای تاثیرگذاری، به هنگام آماده سازیfib MC SLD [1]، یک دلفیک اوراکل[2] را سازماندهی نمود.
نتیجه‌ای از خروجی مربوط به رویارویی از این دلفیک اوراکل درپیوست ش fib MC SLD [1] آورده شده است. همراه با مدل‌های موجود که توصیفگر دوره‌ی راه‌اندازی بوده و از این طریق دوره انتشاری که به صورت کلی سنجیده شده، ممکن است محاسبات احتمالاتی با توجه به ترک خوردگی القا شده با خوردگی، فروریختگی و فرسودگی سازه‌های بتنی انجام شود. فرمول ۶ را ببینید.

1 - Concrete Society Thecnical Publication
2 - Delphic Oracle

ب-۵ راهنمایی زیربند ۶-۱-۲-۱، روش ضریب جزئی- حالت حدی: نفوذ پذیری

مقدار اسمی برای پوشش بتنی، دادن بعد معین به سازنده در مشخصات اجرایی است. فرض شده است که مقدار میانگین عمق پوشش ارائه شده است. در حاشیه امنیت، Δa حداقل استفاده شده به عنوان مبنا برای عمر مفیداست (در استانداردهای بین‌المللی اغلب با کسر ٪۹۵ فرض شده است).

در استاندارد [4]، مقدار Δa = ۱۰mm است اگر مقادیری دیگری در مشخصات اجرا معین نشده باشد. با ذکر مثال، روش طراحی و تعیین از کمیت‌های داده شده، یک روش طراحی داده شده، قابل استفاده در پیوست پ [۱] است.

ب-۶ راهنمایی زیربند ۶-۱، روش فرض بر کفایت-کربناسیون

برای طول عمر طراحی معین، الزامات پایه باتوجه به حداقل پوشش برای آرماتور، مقادیر حدی بتن به عنوان مثال حداکثر نسبت آب/سیمان، محدودیت پهنای ترک و سطح حداقلی مهارت در بیشتر دستورالعمل‌های عملیاتی بتن داده شده‌اند.این مجموعه الزامات باید طبق بند ۵ تأیید شوند.

یک مثال از چنین اثباتی در Maage and Smeplass [12]، داده شده است.

ب-۷ راهنمایی زیربند ۶-۲-۱-۱، حالت حدی : بی‌اثر کردن رویینگی- خوردگی القا شده با کلراید

همانندکربناسیون، هنگامی که این استاندارد انتشار یافته، مدل‌هایی با اجماع گسترده بین‌المللی برای پیش-بینی طول دوره خوردگی تا ترک‌خوردگی، خردشدگی یا فرسودگی سازه وجود نداشته است. به این دلیل طول عمر طرح‌ها به‌طور معمول بر مبنای حالت حدی بی‌اثر کردن رویینگی هستند(رسیدن به یک غلظت بحرانی از کلرید در سطح آرماتورها.) هم‌چنین مانند کربناسیون، این حالت حدی نسبتاً محافظه‌کارانه است بنابراین به‌طور معمول با توجه به سطح اطمینان متناظر، کاهش سرعت در مقابل شکست اغلب از 10^{-1} تا 10^{-2} است. همچنین پیوست ب-۲ و fib MC SLD [1] را ببینید.

ب-۸ راهنمایی زیربند ۶-۲-۱-۲، مدل طراحی- نفوذ کلرید

fib MC SLD [1] اطلاعات بیشتری در مورد استفاده از مدل داده شده در فرمول ۱۲ و تأثیر شرایط مختلف بحث شده فوق‌الذکر را ارائه می‌دهد.

عدم قطعیت داده‌ها و مدل باید در طراحی در نظر گرفته شوند.

ضریب نفوذ «ظاهری» بعد از یک دوره زمانی t رویارویی با کلرید، Dapp(t)، یک ضریب نفوذ معادل ثابت را نشان می‌دهد که یک نمای کلریدی مشابه را ارائه می‌دهد. این ضریب همانند ضریب سازه‌ای است که در زمان t در معرض محیط کلریدی قرار گرفته است.

از اینرو با حل کردن فرمول ۱۳ برای زمان رویارویی در سئوال و سپس وارد کردن این ضریب نفوذ ظاهری در فرمول ۱۲، فرمول ۱۲ نیز حل می‌شود.

جزئیات بیشتر این فرآیند به‌وسیله Magge و دیگران [13] ارائه شده است.

هنگامی‌که عامل Dapp(t0) از سازه های موجود مشتق می‌شود، هر چه سازه‌ای جدیدتر باشد، تأثیر این عدم قطعیت‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت.
هم‌چنین این همان موردی است که ضریب نفوذ مرجع از یک آزمون آزمایشگاهی کوتاه مدت بر روی گونه-های جدید استخراج می‌شود. بنابراین این مورد تأثیرهای اجرایی یا سنی را نشان نخواهد داد و اگر برای طراحی استفاده شود به‌طور معمول نتیجه آن در طراحی، غیراقتصادی خواهد بود.
هر چقدر فاصله زمانی مشاهده شده کوتاهتر باشد، عدم قطعیت در تعیین عامل سن α افزایش می‌یابد.
باید عدم قطعیت در استفاده از عامل سنα برای طراحی جهت دوره‌های طول عمر که بسیار فراتر از آن چیزی است که از طریق مشاهده ارائه می‌شود و برای استخراج α استفاده می‌شود نیز در نظر گرفته شود.
در یک مدل معین، غلظت کلرید سطح Cs، به دلایل کاربردی، در زمان در معرض قرارگیری ثابت فرض شده است. این درست نیست چرا که یک دوره ساخت و ساز مورد نیاز است. به هرحال اغلب فرض شده است که این دوره ساخت در مقایسه با طول عمر یک طراحی نسبتاً کوتاه است و تأثیر این ساده‌سازی در نتیجه طراحی محدود است. مدل‌های پیچیده‌تر که دوره ساخت Cs مدل‌سازی شده است نیز اغلب اوقات استفاده می‌شوند.
یک Cs واقعی برای طراحی‌های جدید باید بر مبنای مشاهدات زمینه‌ای روی سازه‌های موجود با ترکیب مصالح مشابه، اجرا و در معرض قرارگیری مشابه باشد. برای ارزیابی طول عمر باقی‌ماند، ممکن است Cs به-طور مستقیم از سازه‌ی مورد سئوال به دست آید.
محتوای کلرید بحرانی، C_{crit}، هنگامی‌که بی‌اثر کردن رویینگی آرماتور اتفاق می‌افتد، نیز یک متغیر وابسته است که به ضریب‌هایی مثل مشخصات فولاد، نوع سیمان و افزودنی‌ها و درصد رطوبت و نقص‌ها در محل تماس بین فولاد و خمیر و...وابسته است. برای طراحی عملی، باید یک توزیع واقعی به‌کار رود. دانش پایه در این ویژگی هنوز محدود است و بیشتر اعداد گزارش شده در مقالات بر اساس مشاهدات زمینه‌ای هستند. اغلب این مشاهدات در جدول‌هایی با دامنه‌های کیفی تحت عناوین «خطر ناچیز خوردگی»، «امکان خطر خوردگی» و...گروه‌بندی شده‌اند. هنگام انجام یک عمر مفید احتمالاتی، شفاف ساختن ضروری است آیا حالت حدی واقعی، مربوط به وقوع خوردگی است (بر اساس پراکندگی آماریC_{crit})، یا مربوط به یک مقدار قطعی محافظه‌کارانه، به عنوان مثال «خطر جزئی» یا «خطر محتمل».
برای سازه‌های که رویارویی دوره‌ای با کلریدها دارند، به‌ویژه آنهایی که نمک‌های ضدیخ را صرفاً در طول زمستان استفاده می‌شود، یون‌های کلرید در لایه سطحی فقط از طریق انتشار انتقال نمی‌یابند. بلکه اثرات دیگری همچون مکش مویرگی، پاکسازی و..نیز به ایفای نقش می‌پردازند. هر چه بتن نفوذناپذیرتر و سیکل‌ها کوتاهتر شوند، عمق این لایه سطحی کاهش خواهد یافت. پیشنهادهایی در خصوص نحوه رسیدن به چنین موقعیت‌هایی در fib MC SLD[1] و در مقالات پیشین ارائه شده است.
مروری بر دیگر مدل‌ها و یک بانک اطلاعاتی برای پشتیبانی از پارامترها در نشریه فنی جامعه بتن[1] شماره ۶۱ [9] اراده شده است

1- Concret Society Technical Publication

ب-۹ راهنمایی زیربند ۶-۳، تأثیر شیارها بر خوردگی آرماتور

میزان خوردگی در نواحی شیارهای مقطعی آرماتور، شدیداً وابسته به ریز اقلیم در سطح بتن و جهت‌گیری سطح بتن است. سخت‌ترین شرایط در مورد سطوح افقی بتن رخ می‌دهد و شیارها و نفوذ کلرید از سمت بالا اتفاق می‌افتد. به‌طور معمول طول عمر طراحی بیشتر از ۱۰سال است، حمله مکرر کلریدها (برای مثال سطح پارکینگ در نواحی که نمک‌های ضدیخ استفاده می‌شوند) فعالیت های حفاظتی ویژه را برای جلوگیری از نفوذ سریع کلریدها به داخل آرماتور می‌طلبد (به عنوان مثال آسترکشی یا پوشش‌های پل‌زنی شیارها). در مورد سطوح عمودی و زیرطاق‌ها با اسپری کلرید یا آب حاوی کلرید که از طریق شیارها تراوش نمی‌کند، یک پوشش بتنی با کیفیت بالا و محدودیت پهنای شیار معمولی، بدون حفاظت‌های اضافی، طول عمر (بیشتر از۵۰ سال) را تضمین می‌کند.

در مورد خوردگی القا شده با کربناسیون، یک پوشش بتنی با کیفیت بالا و محدودیت پهنای شیار معمولی، بدون حفاظت‌های اضافی، طول عمر (بیشتر از۵۰ سال) را تضمین می‌کند.

ب-۱۰ راهنمایی زیربند۴-۶، خطر بی‌اثر کردن رویینگی با توجه به فولاد از پیش تنیده شده

fib Bulletin 33[14]، سامانه‌های چند مانع را برای حفاظت از سامانه‌های از پیش‌تنیده شده توصیف می-کند.

این نشریه سه «سطح حفاظت» متفاوت را توصیف می‌کند. برای اطمینان از یکپارچگی اجزا، هر چه شرایط رویارویی برای سازه سخت‌تر باشد، موانع بیشتری توصیه می‌شود.

فرض بر آن است که این سامانه‌ها معیارهای مطلوب طراحی با مرزهای کافی را دارا می‌باشند و ممکن است طبق بند ۵ به‌عنوان الزامات « فرضیه‌ای مطلوب» بر اساس شیوه «اجتناب از فرسودگی» طبقه بندی شوند.

ب-۱۱ راهنمایی زیربند ۳-۵-۶، روش فرض بر کفایت- حمله یخ زدگی/گرم شدگی

برای سازه‌هایی که در معرض یخ‌زدگی قرار دارند و در مقایسه با سطح اشباع بحرانی، پتانسیل بالایی برای رطوبت دارا می‌باشند، طراحی طبق روش فرض بر کفایت، یک روش عادی است.

به عنوان یک مثال، ISO 22965-1 مجموعه‌ای از الزامات در خصوص ترکیب بتن برای چنین سازه‌هایی را نشان می‌دهد:

نوع سیمان و حداکثر نسبت آب / سیمان؛

حداقل مقاومت و یا حداقل محتوی بتن؛

مصالح مقاوم در برابر یخ زدگی/گرم شدگی؛

هواکشی، یا اگر از نظر مقررات ملی مجاز باشد، شرح کافی عملکرد توسط آزمون یخ زدگی/گرم شدگی (پوسته پوسته شدن)

مجموعه‌ای از الزامات براساس یک تجربه میدانی بلند مدت در اکثر استانداردهای ملی، محلی و بین‌المللی یافت می‌شوند.

به علت پیچیدگی در اجرای طراحی طبق «روش کاملاً احتمالاتی»، واسنجی این الزامات « روش فرض بر کفایت » به طور معمول براساس روش «اجتناب از فرسودگی» می‌باشد که اغلب براساس روشی است که اصطلاحاً «آزمون‌های شکنجه» نامیده می‌شوند. پیوست الف-۱ را ببینید.

به‌طور معمول، معیارهای پذیرش همراه با چنین نتایج آزمونی بر اساس از دست دادن جرم به وسیله پوسته پوسته شدن (آسیب سطحی) یا کاهش در ضریب دینامیکی[1] (آسیب درونی) است.

زمانی که الزامات بر اساس استفاده از آزمون‌های شکنجه روی نمونه‌های جدید است (به عنوان مثال بر مبنای پوسته پوسته شدن یا آسیب درونی) فرض می‌شود که مقاومت بتن در برابر یخ‌زدگی/گرم‌شدگی در طول زمان کاهش پیدا نمی‌کند. این فرضیه برای ماده چسبان با یک محتوای تفاله کوره‌های مرتفع زیاد و جایی که سازه در معرض کربناسیون قرار دارد، مورد تردید است.

1 - Dynamic modulus

پیوست پ

(آگاهی‌دهنده)

اجرا

پ-۱ راهنمایی زیربند ۷-۲، مشخصات اجرا

استاندارد ISO 22966 [4]، به محصولات و اجرای استاندارد برای بتن، آرماتور، سامانه‌های پیش تنیده شده و ساختمان های پیش ساخته و ..اشاره می‌کند.

مشخصات ویژگی‌های مربوط به عمر مفید این مصالح و اجزا باید در این مشخصات ذکر شوند.

بسته به روش استفاده شده در SLD، مشخصات اجرایی، الزامات انتخاب مصالح، اجرا و ارزیابی شرایط طی طول عمر سازه را ارائه می‌دهد.

پ-۲ راهنمایی زیربند ۷-۳، بررسی- شناسنامه

«اسناد ساخت» پارامترهای ورودی مستقیم به مدل‌های SLD باید فرضیه‌های طراحی را تأیید کند و احتمالاً مبنایی را برای فعالیت‌های تکمیلی در اختیار قرار دهد. هم‌چنین ممکن است که بعنوان مبنای ارزیابی شرایط سازه طی طول عمر آن استفاده شود. چنین استنباط کلی از «اسناد ساخت» غالباً « شناسنامه» نامیده می‌شود.

پ-۳ راهنمایی زیربند ۷-۶-۳، بتن

برای تعریف یک مجموعه از حداقل الزامات عملکرد بتن، یک استاندارد محصولِ تهیه شده طبق اصول داده شده در این استاندارد بعنوان یک مرجع موردنیاز است. استاندارد ISO 22966 این نقش را ایفا می‌کند.

اگرSLD بر مبنای مشخصات اجرایی بتن باشد، ممکن است که به‌وسیله ملزوماتی جایگزین شود که ترکیب بتن را یا در مرحله طراحی بر اساس تجربه قبلی و یا پس از آزمون اولیه در مرحله ساخت و ساز محدود می-کنند. باید در مشخصات بتن ذکر شود که آیا ملزومات بتن مقادیر مشخصه می‌باشند یا مقادیر موردنظر.

اگرSLD براساس دیگر ویژگی‌های مصالح باشد تا آنهایی که با استانداردهای مرسوم بتن مثل استاندارد ISO 22965 (به عنوان مثال نوع سیمان، نسبت آب به ماده چسبان ، محتوای سیمان، خواص سنگدانه و...) سر و کار دارند، و این SLD به اثبات این ویژگی‌های مصالح در طول ساخت و ساز بستگی داشته باشد، مشخصات اجرایی باید به روش‌های آزمون مرتبط و تفسیر آماری این نتایج(برای مثال مقادیر مشخصه و مقادیر هدف) اشاره کند. مشخصات هم‌چنین باید نشان دهد که آیا از نمونه‌های آزمون، عملکرد خواسته شده یا نمونه‌ها از سازه گرفته می‌شوند.

ممکن است مشخصات مصالح اضافه‌ای، برای مثال، ضریب نفوذ کلرید یا مقاومت کربناسیون معکوس باشد.

پ-۴ راهنمایی زیربند۷-۶-۴، شکل هندسی

تلرانس‌های هندسی دسته ۱ تلرانس از استاندارد ISO 22966 [4]،که در بند ۱۰ داده شده‌اند، برای رسیدن به سطح موردنیاز از امنیت در فرضیه‌های طراحی به‌طور قابل توجهی موردنیاز هستند. این‌ها مربوط به SLD و ضریب‌های جزئی داده شده برای مصالح هستند که در طراحی تحمل بار استفاده می‌شوند.

به نظر می‌رسد که رواداری‌های داده شده در استاندارد ISO 22966: 2009 [4]، پیوست ح دارای تاثیر ساختار جزئی هستند.

پیوست ت

(آگاهی‌دهنده)

نگه‌داری و ارزیابی شرایط

ت-۱ راهنمایی زیربندهای ۸-۱و۸-۲-عمومی- نگه‌داری و ارزیابی شرایط

برای عمر مفید طرح، سطح نظارت در طول استفاده از سازه یا جزء موردنظر قطعی است که این در جهت رسیدن به سطح مناسبی از قابلیت اطمینان است. یکی از سطوح ارزیابی شرایط (CAL)[1] در طول عمر در جدول ت-۱ آمده است که ممکن است به‌کار برده شود.

جدول ت ۱- سطوح ارزیابی شرایط

سطح	مشخصات	الزامات
CAL3	بازرسی توسعه یافته	بررسی نظام‌مند نظارت مرتبط برای پروسه(ها)ی فرسودگی که در SLD مهم هست (هستند)
CAL2	بازرسی عادی	بررسی بصری منظم توسط پرسنل صلاحیت‌دار
CAL0	بازرسی عادی	نه نظارت نظام‌مند و نه بررسی
CAL1	بدون بازرسی	بررسی غیر ممکن،برای مثال به سبب عدم دسترسی

این راهنما در استاندارد ISO 15686-7:2006 [15] ارائه شده است.

در ساخت و ساز روزانه، CAL1 اغلب مناسب‌ترین سطح است و تبعات آن برای مدیریت قابلیت اطمینان برای SLD در نظر گرفته شود.

اگر بازرسی گسترده باشد، CAL3 طی طول عمر سازه اعمال می‌شود، در صورتی که انتظارات برای طول عمر محقق نشوند، خود مالک امکان استفاده از فعالیت‌های پیشگیرانه را دارد. بنابراین امکان تبعات عملکرد غیر-قابل قبول کاهش می‌یابد. این CAL برای به‌کارگیری تبعات آزادتر و قابلیت اطمینان همراه با آن بازتر است.

از طرف دیگر، وقتی‌که هیچ بررسی در طول عمر امکان‌پذیر نیست CAL0، مالک هیچ یادآوریی پیش از عبور از حالت حدی مربوطه را دریافت نمی‌کند. برای چنین سازه‌هایی باید یک قابلیت اطمینان بالاتر (طبقه قابلیت اطمینان سخت گیرانه‌تر) در طول عمر طراحی اعمال شود.

ت-۲ راهنمایی زیربند ۸-۳-۱، طرح ارزیابی وضعیت

طول عمر یک جزء یا یک سازه همواره به یک یا چند تابع الزامی از آن سازه یا جزء مرتبط می‌باشد.

1 - Condition Assessment Level

فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده در بررسی/ نظارت، باید بر ارزیابی داده‌های طراحی به‌کار رفته در این مدل‌های فرسودگی متمرکز شود.

پیوست ث

(آگاهی‌دهنده)

راهنمایی بر یک پیوست ملی

انتظار می‌رود که اکثریت سازه‌های بتنی جدید در آینده نیز برای طول عمر طبق روش «فرضیه‌ای مطلوب» و روش «اجتناب از فرسودگی» طراحی شوند.

این به آن معنی است که ارگان‌های دخیل در استانداردسازی باید چنین روش‌های از پیش تعیین شده‌ای را فراهم آورند، خواه به صورت یک پیوست ملی برای این استاندارد یا به صورت استانداردهای ملی مجزا.

چنین روش‌های از پیش تعیین شده‌ای (که مقادیر اجزا بتن، عمق پوشش سطح آرماتور، پهنای شیار را محدود می‌کنند) باید با توجه به مفاد داده شده در این استاندارد تأیید شود.

توصیه می‌شود که این اثبات بر اساس ارزیابی طول عمر باقیمانده سازه‌های بتنی با رویارویی طراحی مشابه باشد.

برای عملیاتی کردن این استاندارد جهت طراحی سازه‌های جدید طبق روش «احتمالاتی کامل» و روش «ضریب جزئی»، پیوست ملی باید ضریب‌های تعیین شده در مورد سطح اطمینان و دیگر ضریب‌های طراحی را برای تکمیل مقررات داده شده در این استاندارد فراهم کند.

موضوع‌هایی که پیوست ملی باید پوشش دهد ممکن شامل یک یا چند مورد از موارد زیر باشد:

- الزامات روش فرض بر کفایت واسنجی شده طبق ملزومات این استاندارد؛
- الزامات روش اجتناب از فرسودگی واسنجی شده طبق ملزومات این استاندارد؛
- چگونگی انتخاب داده‌های ورودی برای مدل‌های فرسودگی به هنگام اجرای عمر مفید در سازه‌های جدید طبق روش «ضریب جزئی: و روش «احتمالاتی کامل»؛
- ضریب‌های جزئی که به هنگام اجرای عمر مفید روی سازه‌های جدید طبق روش «ضریب جزئی» استفاده می‌شود؛
- مقررات ویژه برای مدیریت قابلیت اطمینان؛
- سطح موردنیاز قابلیت اطمینان برای حالت های حدی مختلف؛
- مقررات ویژه برای مدیریت کیفیت.

کتاب‌نامه

[1] fib bulletin no. 34, Model Code for Service Life Design (MC-SLD), International Federation for Structural Concrete (fib), Case Postale 88, CH-1015 Lausanne, Switzerland. 2006

[2] fib bulletin no. 65 and 66, Model Code 2010 — Final draft, International Federation for Structural Concrete (fib), Case Postale 88, CH-1015 Lausanne, Switzerland. 2006

[3] ISO 2394:1998, General principles on reliability for structures

[4] ISO 22966:2009, Execution of concrete structures

[5] ISO 9000:2005, Quality management systems — Fundamentals and vocabulary

Joint Committee on Structural Safety (JCSS) "Probabilistic Model Code", 2000, www.jcss.ethz.ch

[6] Joint Committee on Structural Safety (JCSS) *"Probabilistic Model Code"*, 2000, www.jcss.ethz.ch

[7] ISO 13823:2008, *General principles on the design of structures for durability*

[8] ISO 156 8 6-1, *Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework*

[9] Bamforth P., *"Enhancing reinforced concrete durability"*. Concrete Society Technical Report no. 61. London, UK, 2004

[10] Guidance paper F to the European Construction Products Directive, *Durability and the Construction Products Directive*. http://ec.europa.eu/atoz_en.htm

[11] Draft CEN Technical Report, *Principles of the Equivalent Durability Procedure*. (Secretariat CEN TC-104/SC-1, DIN, mailing address: 10772 Berlin, Germany

[12] Maage M., Smeplass S., *"Carbonation – A probabilistic approach to derive provisions for EN 206-1*" DuraNet, Third workshop, Tromsø, Nor way, June 2001. Reported in "Betongkonstruksjoners Livsløp" report no 19, Nor wegian Road Administration, P.O.Box 8142, 0033 Oslo (in English)

[13] Maage M. et al., Service life prediction of existing concrete structures exposed to marine environment.ACI Mater. J. 1996 November-December, 93 (6) 602–608 [American Concrete Institute, Michigan, USA.]

[14] fib Bulletin no. 33 *"Durability of post-tensioning tendons"*, International Federation for Structural Concrete (fib), Case Postale 88, CH-1015 Lausanne, Switzerland. 2005

[15] ISO 15 6 8 6- 7, *Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice*