امیرالمومنین علی (ع):

ما تکیه‌گاه میانه‌ایم، عقب‌ماندگان به ما می‌رسند، و پیش تاختگان به ما باز می‌گردند

نهج البلاغه / حکمت ۱۰۹

دانشکده : عمران و معماری

گروه : عمران

کالیبراسیون آئین‌نامه فولاد ایران (روش حالات حدی) با استفاده از نظریه قابلیت اعتماد و الگوریتم ژنتیک

دانشجو :

سعید شکیبامهر

استاد راهنما :

دکتر وحیدرضا کلات جاری

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : عمران و معماری

گروه : عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سعید شکیبامهر

تحت عنوان:

کالیبراسیون آئین‌نامه فولاد ایران (روش حالات حدی) با استفاده از نظریه قابلیت اعتماد و الگوریتم ژنتیک

در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۸ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
دکتر وحید رضا کلات جاری		دکتر محمد حسین طالب پور	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
دکتر علی کیهانی		دکتر مهدی گلی	
دکتر سیدمهدی توکلی			

*** تقدیم به پدر و مادر مهربانم ***

تشکر و قدردانی:

با تشکر از زحمات بی دریغ استاد ارجمندم جناب آقای

دکتر وحیدرضا کلات جاری

تعهد نامه

اینجانب **سعید شکیبامهر** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی عمران – سازه** دانشکده **عمران و معماری** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه: **" کالیبراسیون آئین‌نامه فولاد ایران (روش حالات حدی) با استفاده از نظریه قابلیت اعتماد و الگوریتم ژنتیک"** تحت راهنمائی **دکتر وحیدرضا کلات‌جاری** متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه‌های رایانه‌ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

با توسعه تئوری ایمنی سازه‌ها در سال‌های اخیر، بسیاری از سازمان‌های نویسنده آئین‌نامه روش حالات حدی را مبنای کار خود قرار داده‌اند. این روش یک روش طراحی، مبتنی بر مفاهیم احتمالات است که منجر به طراحی یک سازه ایمن‌تر و در عین حال اقتصادی‌تر نسبت به روش‌های دیگر می‌شود. در آخرین ویرایش آئین نامه فولاد ایران نیز روش حالات حدی به عنوان مبنای اصلی طراحی عنوان شد. با وجود تغییرات زیادی که در ویرایش ۱۳۹۲ صورت پذیرفته است، همچنان ضرایب بار و مقاومت تا حدود زیادی همانند آئین‌نامه AISC LRFD 2010 لحاظ گردیده است. فلسفه تعیین ضرایب جزئی ایمنی در روش حالات حدی بر اساس اصول آمار و احتمالات است و به عوامل متعددی نظیر شرایط اقتصادی ، اجتماعی و دیگر شرایط مؤثر بر ساخت و ساز مانند خصوصیات آماری فولاد مصرفی و غیره بستگی دارد. بنابراین با توجه به اینکه که شرایط فوق در کشورمان ایران با ایالات متحده متفاوت است، ممکن است استفاده از ضرایب جزئی ایمنی آئین‌نامه AISC نتیجه مورد انتظار را به همراه نداشته باشد. در این پایان نامه با توجه به شرایط اقلیمی و خصوصیات آماری مصالح موجود در کشور عزیزمان و با اتخاذ روشهای مناسب قابلیت اعتماد که از دقت کافی برخوردار باشند سطح ایمنی اعضای طرح شده توسط آئین‌نامه فولاد ایران مشخص شده است. همچنین با استفاده از روش بهینه یابی GA ، ضرایب افزایش بار و تقلیل ظرفیت آئین‌نامه فولاد ایران متناسب با فضای احتمالاتی حاکم بر سازه‌های فولادی به نحوی تعیین می‌شوند که ایمن‌ترین و اقتصادی‌ترین طراحی حاصل گردد. در انتها با انجام آنالیز حساسیت در مورد پارامترهای آماری، میزان تأثیر گذاری این پارامترها بر سطح ایمنی اعضاء و عملکرد آئین‌نامه بررسی می‌شود.

کلمات کلیدی: روش حالات حدی، نظریه قابلیت اعتماد، کالیبراسیون، ضرایب جزئی ایمنی، الگوریتم ژنتیک

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱- مفاهیم ایمنی ساختمانی ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- دیدگاه تاریخی ۲
۱-۳- مفهوم واژه خرابی و ایمنی در سازه ۵
۱-۴- تأمین ایمنی و انواع روشهای طراحی ۹
۱-۴-۱- روش تنش مجاز ۱۰
۱-۴-۲- روش طراحی مقاومت نهایی یا طراحی پلاستیک ۱۱
۱-۴-۳- روش حالات حدی ۱۱
۱-۵- ضرورت بروز رسانی آئین نامه ها و اهداف پایان نامه ۱۲

۲- تئوری قابلیت اعتماد ۱۶
۲-۱- مقدمه ۱۶
۲-۲- تئوری قابلیت اعتماد ۱۶
۲-۳- توابع حالت حدی (توابع عملکرد) ۱۷
۲-۳-۱- تعیین حالات حدی مناسب، جهت تحلیل ایمنی یک آئین نامه ۲۰
۲-۴- حالت بنیادی ۲۲
۲-۴-۱- احتمال گسیختگی ۲۲
۲-۴-۲- فضای متغیرهای حالت ۲۳
۲-۵- انواع روش های محاسبه شاخص ایمنی ۲۵
۲-۵-۱- مفهوم شاخص ایمنی ۲۵
۲-۵-۲- روش *FORM* ۲۷
۲-۵-۳- روش *SORM* ۳۱
۲-۵-۴- روش شبیه سازی مونت کارلو ۳۲

۳- مدل های سازه ای بار و مقاومت ۳۶
۳-۱- مقدمه ۳۶
۳-۲- مدل های سازه ای بار ۳۶
۳-۲-۱- انواع بارها ۳۶
۳-۲-۲- مدل های کلی بار ۳۸

۳-۳- بار مرده ۳۹
۳-۴- بار زنده ۴۰
۳-۴-۱- بار زنده طراحی (اسمی) ۴۰
۳-۴-۲- بار زنده پایدار (ثابت) ۴۱
۳-۴-۳- بار زنده ناپایدار (گذرا) ۴۲
۳-۴-۴- حداکثر بار زنده ۴۳
۳-۵- بارهای محیطی ۴۴
۳-۵-۱- بار باد ۴۴
۳-۵-۲- بار برف ۴۹
۳-۵-۳- زلزله ۵۱
۳-۶- ترکیب بار ۵۵
۳-۶-۱- تغییرات زمانی ۵۵
۳-۶-۲- قانون ترک استرا ۵۷
۳-۷- مدل های مقاومت ۵۸
۳-۷-۱- پارامترهای مقاومت ۵۹
۳-۷-۲- تیرهای فلزی گرم نورد شده (رفتار غیر مرکب) ۶۱
۳-۷-۳- ستونهای فلزی ۶۴
۳-۷-۴- اعضای کششی ۶۵

۴- آئین نامه های طراحی ۶۸
۴-۱- مقدمه ۶۸
۴-۲- نقش یک آئین نامه در فرایند ساخت ۶۸
۴-۳- سطوح آئین نامه ۷۱
۴-۳-۱- سطح یک آئین نامه ها ۷۱
۴-۳-۲- سطح دو آئین نامه ها ۷۱
۴-۳-۳- سطح سه آئین نامه ها ۷۱
۴-۳-۴- سطح چهار آئین نامه ها ۷۲
۴-۴- روش توسعه آئین نامه ۷۲
۴-۴-۱- هدف آئین نامه ۷۳
۴-۴-۲- موضوع آئین نامه ۷۵

۴-۴-۳- تابع تقاضا و فرکانس تقاضا..... ۷۸
۴-۴-۴- نزدیکی به هدف (فضای اندازه گیری)..... ۷۹
۴-۴-۵- شکل آئین نامه..... ۸۲
۴-۵- کالیبراسیون ضرایب اطمینان جزیی یک آئین نامه سطح I..... ۸۴
۴-۵-۱- کالیبراسیون ضرایب اطمینان جزئی به روش مستقیم..... ۸۶
۴-۵-۲- کالیبراسیون ضرایب اطمینان جزئی به روش سعی و خطا..... ۸۹

۵- کالیبراسیون آئین نامه فولاد ایران ۹۱
۵-۱- مقدمه..... ۹۱
۵-۲- هدف آئین نامه..... ۹۱
۵-۲-۱- حالات حدی مورد استفاده..... ۹۲
۵-۲-۲- ترکیبات بار..... ۹۳
۵-۲-۳- تعیین پارامترهای احتمالاتی بار..... ۹۳
۵-۲-۴- پارامترهای آماری مقاومت..... ۹۷
۵-۳- موضوع آئین نامه..... ۱۰۲
۵-۳-۱- شاخص قابلیت اعتماد هدف..... ۱۰۲
۵-۴- تابع تقاضا و فرکانس تقاضا..... ۱۰۴
۵-۴-۱- نسبت تاثیر بارها به اثرات بار مرده..... ۱۰۴
۵-۵- نزدیکی به هدف (فضای اندازه گیری)..... ۱۰۵
۵-۶- شکل آئین نامه..... ۱۰۵
۵-۷- تحلیل قابلیت اعتماد اعضای طرح شده توسط آئین نامه فولاد ایران..... ۱۰۶
۵-۷-۱- تعیین حالات حدی..... ۱۰۸
۵-۷-۲- تعیین شاخص قابلیت اعتماد..... ۱۱۷
۵-۷-۳- کالیبراسیون ضرایب بار و مقاومت..... ۱۱۸
۵-۸- آنالیز حساسیت..... ۱۲۳
۵-۸-۱- بررسی تاثیر تغییر پارامترهای آماری بار مرده..... ۱۲۴
۵-۸-۲- بررسی تاثیر تغییر پارامترهای آماری بار زنده لحظه ای..... ۱۲۵
۵-۸-۳- بررسی تاثیر تغییر پارامترهای آماری بار زنده حداکثر..... ۱۲۷
۵-۸-۴- بررسی تاثیر تغییر پارامترهای آماری بار برف سالیانه..... ۱۲۹
۵-۸-۵- بررسی تاثیر تغییر پارامترهای آماری بار باد..... ۱۳۱

۵-۸-۶- بررسی تاثیر تغییر پارامترهای آماری بار زلزله ۱۳۴
۵-۸-۷- بررسی سطح ایمنی حالت های مختلف اعضای فشاری و خمشی ۱۳۷
۵-۸-۸- آنالیز حساسیت نسبت بار برف اسمی به بار مرده اسمی ۱۳۹
۵-۸-۹- آنالیز حساسیت نسبت بار زنده اسمی به بار مرده اسمی ۱۴۰
۵-۸-۱۰- آنالیز حساسیت نسبت نیروها و لنگر ناشی از بار باد به اثرات بار مرده ۱۴۱
۵-۸-۱۱- آنالیز حساسیت نسبت نیروها و لنگر ناشی از بار زلزله به اثرات بار مرده ۱۴۲

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۴۶
۶-۱- نتایج ۱۴۶
۶-۲- پیشنهادات ۱۴۷
۶-۳- مراجع ۱۴۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- تندیس حکاکی شده قانون همورابی ۴
شکل ۱-۲- یک تیر با تیه گاه های ساده ۵
شکل ۱-۳- توسعه مفصل پلاستیک در یک تیر ۶
شکل ۱-۴- کمانش موضعی در یک تیر فلزی ۶
شکل ۱-۵- حمال پیوسته پل ۸
شکل ۱-۶- کرنش دائمی ۸
شکل ۱-۷- تشکیل یک پیچیدگی در یک تیر فلزی پیوسته ۸
شکل ۱-۸- ترک ها در یک تیر بتن آرمه ۹
شکل ۲-۱- تابع چگالی بار، مقاومت و حاشیه ایمنی ۱۸
شکل ۲-۲- تابع چگالی احتمال بار (Q) و مقاومت (R) ۲۲
شکل ۲-۳- دامنه ایمن و دامنه گسیختگی در یک فضای حالت دو بعدی ۲۴
شکل ۲-۴- نمایش سه بعدی یک تابع چگالی توأم ممکن ۲۴
شکل ۲-۵- شاخص ایمنی، به عنوان کوتاه ترین فاصله در فضای متغیرهای اصلاح شده ۲۶

شکل ۲-۶- نمایش دو تابع حالت حدی خطی و غیر خطی..... ۳۱
شکل ۳-۱- ایدآل سازی بارهای وارد بر یک سازه به عنوان متغیر B_i..... ۳۸
شکل ۳-۲- تغییر در شدت بار زنده ناشی از ازدحام جمعیت..... ۴۱
شکل ۳-۳- میانگین حداکثر بار زنده ۵۰ ساله به عنوان یک تابع از سطح تأثیر..... ۴۴
شکل ۳-۴- هیستوگرام سرعت پایه معمولی باد در شهر تهران..... ۴۷
شکل ۳-۵- هیستوگرام بیشترین سرعت پایه باد در شهر تهران..... ۴۷
شکل ۳-۶- هیستوگرام سرعت پایه معمولی باد در شهر مشهد..... ۴۸
شکل ۳-۷- هیستوگرام بیشترین سرعت پایه باد در شهر مشهد..... ۴۸
شکل ۳-۸- گزارشهای زمانی برای مؤلفه های مختلف بار..... ۵۶
شکل ۳-۹- جمع آثار بارها..... ۵۶
شکل ۴-۱- هزینه کل C_T بر حسب شاخص ایمنی β..... ۸۰
شکل ۴-۲- روابط میان بار اسمی، بار میانگین و بار ضریب دار..... ۸۴
شکل ۵-۱- مقایسه شاخص قابلیت اعتماد اعضاء قبل و بعد از کالیبراسیون..... ۱۲۲
شکل ۵-۲- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار مرده بر سطح ایمنی اعضاء..... ۱۲۴
شکل ۵-۳- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار مرده بر میزان شایستگی آئین نامه..... ۱۲۴
شکل ۵-۴- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار مرده بر سطح ایمنی اعضاء..... ۱۲۵
شکل ۵-۵- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار مرده بر میزان شایستگی آئین نامه..... ۱۲۵
شکل ۵-۶- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار زنده لحظ های بر سطح ایمنی اعضاء..... ۱۲۶
شکل ۵-۷- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار زنده لحظه ای بر شایستگی آئین نامه ۱۲۶
شکل ۵-۸- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار زنده لحظه ای بر سطح ایمنی اعضاء..... ۱۲۷
شکل ۵-۹- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار زنده لحظه ای بر شایستگی آئین نامه..... ۱۲۷
شکل ۵-۱۰- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار زنده حداکثر بر سطح ایمنی اعضاء..... ۱۲۸
شکل ۵-۱۱- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار زنده حداکثر بر شایستگی آئین نامه..... ۱۲۸
شکل ۵-۱۲- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار زنده حداکثر بر سطح ایمنی اعضاء..... ۱۲۹
شکل ۵-۱۳- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار زنده حداکثر بر شایستگی آئین نامه..... ۱۲۹
شکل ۵-۱۴- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار برف سالیانه بر سطح ایمنی اعضاء..... ۱۳۰
شکل ۵-۱۵- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار برف سالیانه بر شایستگی آئین نامه..... ۱۳۰
شکل ۵-۱۶- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار برف سالیانه بر سطح ایمنی اعضاء ۱۳۱
شکل ۵-۱۷- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار برف سالیانه بر شایستگی آئین نامه..... ۱۳۱

شکل ۵-۱۸- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار باد بر سطح ایمنی اعضاء.....۱۳۲
شکل ۵-۱۹- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار باد بر میزان شایستگی آئین نامه.....۱۳۳
شکل ۵-۲۰- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار باد بر میزان شایستگی آئین نامه.....۱۳۳
شکل ۵-۲۱- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار باد بر سطح ایمنی اعضاء.....۱۳۴
شکل ۵-۱۸- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار زلزله بر سطح ایمنی اعضاء.....۱۳۵
شکل ۵-۱۹- نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار زلزله بر میزان شایستگی آئین نامه.....۱۳۵
شکل ۵-۲۰- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار زلزله بر سطح ایمنی اعضاء.....۱۳۶
شکل ۵-۲۱- نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار زلزله بر میزان شایستگی آئین نامه.....۱۳۶
شکل ۵-۲۶- مقایسه سطح ایمنی اعضای گروههای ۱، ۲ و ۳، قبل و بعد از کالیبراسیون.....۱۳۷
شکل ۵-۲۷- مقایسه سطح ایمنی اعضای گروه ۴، قبل و بعد از کالیبراسیون.....۱۳۷
شکل ۵-۲۸- مقایسه سطح ایمنی اعضای گروه ۵، قبل و بعد از کالیبراسیون.....۱۳۸
شکل ۵-۲۹- مقایسه سطح ایمنی اعضای گروه ۱۱ و ۱۲، قبل و بعد از کالیبراسیون.....۱۳۸
شکل ۵-۳۰- مقایسه سطح ایمنی اعضای گروه ۱۳، قبل و بعد از کالیبراسیون.....۱۳۸
شکل ۵-۳۱- مقایسه سطح ایمنی اعضای گروه ۱۵، قبل و بعد از کالیبراسیون.....۱۳۸
شکل ۵-۳۲- نتایج آنالیز حساسیت نسبت Sn/Dn بر سطح ایمنی اعضاء.....۱۳۹
شکل ۵-۳۲- نتایج آنالیز حساسیت نسبت Ln/Dn بر سطح ایمنی اعضاء.....۱۴۰
شکل ۵-۳۲- نتایج آنالیز حساسیت نسبت wn/Dn بر سطح ایمنی اعضاء.....۱۴۱
شکل ۵-۳۲- نتایج آنالیز حساسیت نسبت En/Dn بر سطح ایمنی اعضاء.....۱۴۲

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ : مقادیر متناظر شاخص ایمنی β و احتمال گسیختگی P_f ۲۶
جدول ۳-۱ : پارامترهای آماری مربوط به بار مرده ۳۹
جدول ۳-۲ : داده های آماری برای بار زنده پایدار به عنوان یک تابع از سطح تأثیر ۴۲
جدول ۳-۳ : تعدادی از آمارگیری های نمونه از بار زنده ۴۳
جدول ۳-۴ : ضریب تغییرات حداکثر بار زنده ۵۰ ساله ۴۴
جدول ۳-۵: سرعت و فشار مبنای باد توسط سازمان هواشناسی کشور ۴۵
جدول ۳-۶: پارامترهای آماری مربوط به سرعت باد در ۸ شهر از ۴ پهنهٔ کشور ۴۷
جدول ۳-۷: داده های آماری سرعت باد در تحقیقات الینگوود ۴۸
جدول ۳-۸: پارامترهای آماری متغیرهای اثر بار باد ۴۹
جدول ۳-۹: پارامترهای احتمالاتی بار برف ۵۰
جدول ۳-۱۰: پارامترهای احتمالاتی بار برف توسط کیانگ هو لی ۵۱
جدول ۳-۱۱: توصیف آماری مقاومت سازه های ساخته شده از اجزای فولادی گرم نورد شده ۶۲
جدول ۳-۱۲: پارامترهای پیشنهاد شده بر اساس کار *Bartlett* و همکارانش. ۶۳
جدول ۳-۱۳: پارامترهای پیشنهاد شده بر اساس کار شایانفر و همکارانش. ۶۴
جدول ۳-۱۴: پارامترهای احتمالاتی F_{cr} ۶۵
جدول ۳-۱۵: پارامترهای احتمالاتی اعضای کششی ۶۵
جدول ۵-۱: پارامترهای احتمالاتی بار زنده جهت تحلیل قابلیت اعتماد ۹۴
جدول ۵-۲: مشخصات احتمالاتی بار برف ۹۵
جدول ۵-۳: مشخصات احتمالاتی بار باد ۹۶
جدول ۵-۴: مشخصات احتمالاتی بار زلزله ۹۶
جدول ۵-۵: پارامترهای آماری برای اعضای کششی ۹۷
جدول ۵-۶: پارامترهای احتمالاتی مقاومت ستون ها بر اساس کارهای آقای شایانفر ۹۹
جدول ۵-۷: پارامترهای احتمالاتی مقاومت ستون ها بر اساس مبحث دهم ۹۹
جدول ۵-۸: پارامترهای مقاومت خمشی اعضاء بر اساس کار شایانفر و همکارانش. ۱۰۰
جدول ۵-۹: پارامترهای پیشنهاد شده برای مدلسازی مقاومت برشی. ۱۰۱
جدول ۵-۱۰: پارامترهای احتمالاتی متغیرهای تصادفی بار ۱۰۱
جدول ۵-۱۱: پارامترهای احتمالاتی متغیرهای تصادفی مقاومت اعضای سازه ای ۱۰۱
جدول ۵-۱۲: شاخصهای قابلیت اعتماد پیشنهاد شده توسط *jcss* ۱۰۳
جدول ۵-۱۳: محدوده شاخص ایمنی بر اساس گزارش کمسیون *IABSE* ۱۰۳
جدول ۵-۱۴: وزن مقادیر مختلف نسبت بار زنده به بار مرده ۱۰۴
جدول ۵-۱۵: وزن مقادیر مختلف نسبت بار برف به بار مرده ۱۰۵

جدول ۵-۱۶: وزن مقادیر مختلف نسبت نیروها ناشی از بارهای جانبی به اثرات بار مرده..... ۱۰۵
جدول ۵-۱۷: دسته بندی اعضای سازه ای جهت تحلیل قابلیت اعتماد ۱۰۶
جدول ۵-۱۸: نتایج تحلیل قابلیت اعتماد اعضای مبحث دهم قبل از کالیبراسیون..... ۱۱۷
جدول ۵-۱۹: نتایج تحلیل قابلیت اعتماد مبحث دهم بعد از کالیبراسیون ۱۲۱
جدول ۵-۲۰: مقایسه ضرایب بار و مقاومت آئین نامه، قبل و بعد از کالیبراسیون ۱۲۳
جدول ۵-۲۱: نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار مرده ۱۲۴
جدول ۵-۲۲: نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار مرده ۱۲۵
جدول ۵-۲۳: نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار زنده لحظه ای ۱۲۶
جدول ۵-۲۴: نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار زنده لحظه ای ۱۲۷
جدول ۵-۲۵: نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار زنده حداکثر ۱۲۸
جدول ۵-۲۶: نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار زنده حداکثر ۱۲۸
جدول ۵-۲۷: نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار برف سالیانه ۱۳۰
جدول ۵-۲۸: نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار برف سالیانه ۱۳۰
جدول ۵-۲۹: نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار باد..... ۱۳۲
جدول ۵-۳۰: نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار باد..... ۱۳۳
جدول ۵-۳۱: نتایج آنالیز حساسیت ضریب انحراف بار زلزله..... ۱۳۵
جدول ۵-۳۰: نتایج آنالیز حساسیت ضریب تغییرات بار زلزله..... ۱۳۶
جدول ۵-۳۳: نتایج آنالیز حساسیت نسبت Sn/Dn بر سطح ایمنی اعضاء ۱۳۹
جدول ۵-۳۳: نتایج آنالیز حساسیت نسبت Ln/Dn بر سطح ایمنی اعضاء ۱۴۰
جدول ۵-۳۳: نتایج آنالیز حساسیت نسبت wn/Dn بر سطح ایمنی اعضاء ۱۴۱
جدول ۵-۳۳: نتایج آنالیز حساسیت نسبت En/Dn بر سطح ایمنی اعضاء..... ۱۴۲

فصل اول

مفاهیم ایمنی ساختمانی

۱- مفاهیم ایمنی ساختمانی

۱-۱- مقدمه

منابع زیادی از عدم قطعیت به صورت ذاتی در طراحی سازه‌ها وجود دارد. بر خلاف آنچه ما اغلب فکر می‌کنیم، پارامترهایی همچون بارگذاری و ظرفیت‌های انتقال بار اعضای سازه‌ای مقادیر معینی نیستند (کمیت‌های کاملاً شناخته شده نیستند). آنها متغیرهای تصادفی هستند و بنابراین نمی‌توانند ایمنی مطلق (احتمال گسیختگی صفر) را داشته باشند. بنابراین سازه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که عملکرد آنها همراه با یک احتمال معینی از گسیختگی همراه باشد. جامعه انتظار دارد پل‌ها و ساختمان‌هایی که ساخته می‌شوند با یک تراز ایمنی معقول طراحی شوند. در عمل این انتظارات با بکارگیری ضوابط اجرایی طراحی از قبیل مقادیر حداقل مقاومت، حداکثر خیز مجاز و ... تامین می‌شود. مفاد آئین‌نامه‌ها بالاجبار معیارهای طراحی را به گونه‌ای در نظر می‌گیرند که عملاً تعدادی از منابع عدم قطعیت در طراحی را شامل می‌شوند. این گونه معیارها اغلب به عنوان معیار طراحی ایمنی پایه شناخته می‌شوند.

ایمنی یک سازه عبارت است از توانایی سازه برای انجام اهداف طراحی خود در دوره عمر مشخص شده سازه. اغلب ایمنی یک سازه معادل با احتمالی که یک سازه گسیخته نخواهد شد تا هدف از ساخت خود را تامین نماید گرفته می‌شود. منظور از گسیختگی در اینجا گسیختگی فاجعه بار نخواهد بود بلکه در اینجا بکار می‌رود تا نشان دهد که سازه طبق آنچه مطلوب است انجام وظیفه می-نماید. [1]

۱-۲- دیدگاه تاریخی

خیلی از روش‌های ارزیابی سلامت سازه‌ها، متجاوز از چند قرن است که مورد استفاده می‌باشند. قدیمی‌ترین آئین‌نامه شناخته شده ساختمانی در بین النهرین مورد استفاده قرار گرفت. این آئین‌نامه

به دستور همورابی[1] پادشاه شهر بابل قدیم تدوین شد. او حدود ۱۷۵۰ سال قبل از میلاد مرد. مفاد این آئین‌نامه بر روی سنگ حکاکی شدند و این سنگ‌های حکاکی شده در موزه لور پاریس فرانسه نگهداری می‌شوند. (شکل ۱-۱ یک تصویر مستند از این موضوع را نشان می‌دهد). مسئولیت‌های تعریف شده بستگی به پیامدها و نتایج گسیختگی داشت. اگر یک ساختمان فرو می‌ریخت و یک پسر از مالک ساختمان کشته می‌شد آنگاه باید پسر سازنده ساختمان کشته می‌شد، اگر غلام مالک ساختمان کشته می‌شد آنگاه باید غلام سازنده ساختمان کشته می‌شد و غیره.

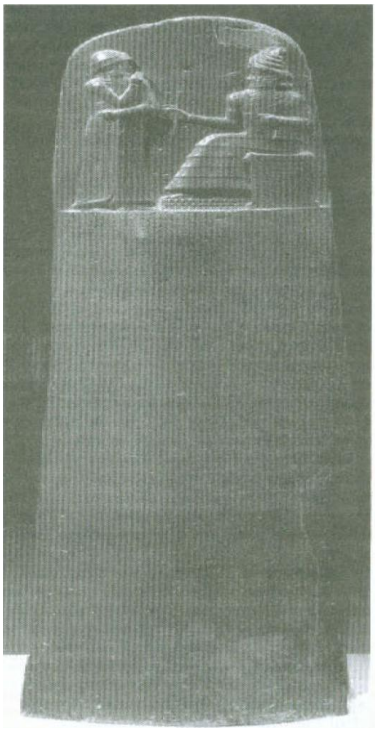
در طول قرن‌ها، علم طراحی و اجرای سازه‌ها از سازندگان قبل به بعد منتقل شد. روش‌های استفاده شده به صورت سعی و خطا بودند. به مرور زمان قوانین طبیعت توسط بشر بهتر فهمیده می‌شد و تئوریهای ریاضی مواد و رفتار سازه‌ها تدوین می‌شد و لذا پایه‌های منطقی‌تری برای طراحی سازه‌ها ارئه می‌گردید. این تئوری‌ها در شروع، این چهارچوب را فراهم آوردند که برای به کمیت در آوردن سلامت و ایمنی سازه‌ها باید روش‌های احتمالاتی را به کار بست. اولین فرمول بندی ریاضی مسأله سلامت سازه‌ها را می‌توان به مایر[2] در سال ۱۹۲۶ ، استرلتزکی[3] در سال ۱۹۴۷ و ویرزبیکی[4] در سال ۱۹۳۶ نسبت داد. آنها تصدیق کردند که پارامترهای بار و مقاومت متغیرهای تصادفی هستند و بنابراین برای هر سازه یک احتمال معین گسیختگی وجود دارد. ایده‌های آنها بعداً توسط فرودنتال[5] در سال ۱۹۵۰ و ۱۹۵۶ میلادی توسعه داده شد. فرمول‌های ارائه شده توسط آنها توابع پیچیده‌ای بودند که ارزیابی آنها به صورت دستی بسیار مشکل بود. کاربردهای عملی تحلیل ایمنی غیر ممکن بود تا اینکه بعداً توسط گروه پل سازان ارتش کرنل[6] و لیند[7] در سال ۱۹۶۰ میلادی و بعدها در سال ۱۹۷۰ میلادی محقق شد.

---

[1] *hammurabi*
[2] *Mayer*
[3] *Streletzki*
[4] *Wierzbicki*
[5] *Freudenthal*
[6] *Cornell*
[7] *Lind*

کرنل و همکارانش در سال ۱۹۶۹ میلادی یک شاخص ایمنی لنگر دوم را پیشنهاد دادند. در سال ۱۹۷۴ هسوفر[1] و لیند یک تعریف با فرمت یکسان از شاخص ایمنی را ارائه نمودند. در سال ۱۹۷۸ نیز راکویتز[2] و فیسلر[3] یک روش عددی کار آمد برای محاسبه شاخص ایمنی ارئه کردند.

در اواخر سال ۱۹۷۰ میلادی روش‌های ایمنی به بلوغ خود رسیدند و به لحاظ کاربردی از قبیل توسعه و تدوین آئین‌نامه‌های جدید طراحی مورد استفاده واقع شدند. مطالعات تئوریک توسط افراد مختلف از قبیل *Baker* و *Thoftchristensen* در سال ۱۹۸۲ ، *Augusti*، *Barrata* و *Casciati* در سال ۱۹۸۷، *Thoft-christensen* و *Murotsu* در سال ۱۹۸۶ و *Ayyub* و *McCuen* در سال ۱۹۹۷ و *M urzewski* در سال ۱۹۸۹ و *Marek*، *Gustar* و *Anagnos* در سال ۱۹۹۶ توسعه داده شد.



شکل ۱-۱- تندیس حکاکی شده قانون هموربی[4]

ذکر این نکته مهم است که در حال حاضر در اکثر آئین‌نامه‌های مبتنی بر ایمنی، از مفاهیم

---

[1] *Hasofer*
[2] *Ruckwitz*
[3] *Fissler*

[4] تندیس حکاکی شده در بالا، همورابی، دریافت کننده قانون آفتاب را نشان می دهد. خود قانون بر روی وجوه سنگ در زیر تندیس حکاکی شده است.