

ارزیابی قابلیت اعتماد ترکیب بارهای شامل بار باد
در آیین نامه بارگذاری ایران

Original Article

آرمان کاکایی (دانشجوی دکتری)

محمد رشید سلیمی (استادیار)

روشنک آماده (دانشجوی کارشناسی ارشد)

کاهران نوبخت وکیلی (مربی)

آزاد یزدانی* (استاد)

گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان

بار باد از جمله بارهای با عدم قطعیت زیاد و وابسته به موقعیت ساختگاه می باشد. بنابراین ضروری است که در تدوین و تنظیم آیین نامه ها، شرایط اقلیمی و پارامترهای آماری مربوط به مناطق مختلف به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرند. در این پژوهش بر اساس یک مطالعه پارامتریک به ارزیابی سطح قابلیت اعتماد ترکیب های بار باد در محبت ششم (ویزایش ۱۳۹۲) پرداخته شده است. برای دستیابی به این امر، پارامترهای آماری بار باد برای نواحی مختلف ایران بررسی گردید و سپس شاخص قابلیت اعتماد تیرهای فولادی در مود خمشی برای آن نواحی محاسبه و با مقدار شاخص قابلیت اعتماد هدف مقایسه شده است. نتایج نشان می دهند که شاخص قابلیت اعتماد در محبت ششم نسبت به شاخص قابلیت اعتماد هدف، پایین تر است. یکی از دلایل پایین بودن شاخص قابلیت اطمینان تا حد زیادی ناشی از تخمین دست پایین سرعت مبنای باد نسبت به مقدار تجربی آن می باشد.

واژگان کلیدی: تحلیل قابلیت اعتماد، آیین نامه بارگذاری ایران، ترکیبات بار، پارامترهای آماری، بار باد.

۱. مقدمه

آیین نامه ها بر پایه قابلیت اعتماد اهمیت فراوانی پیدا کرده است و آیین نامه های زیادی همچون آیین نامه ساختمان های فولادی آمریکا^[۱]، آیین نامه بارگذاری آمریکا^[۲]، آیین نامه پل ها در بزرگراه های آمریکا^[۳] و همچنین آیین نامه کشورهای اروپایی^[۴] و آیین نامه های کانادا^[۵-۸] بر مبنای این روش تدوین شده اند. نسل جدید آیین نامه ها بصورت حالت حدی تدوین شده اند و برای هر حالت حدی حاشیه ایمنی با اعمال ضرابی در بار و مقاومت حاصل می گردد. در دو دهه اخیر روش طراحی بر اساس ضراب افزایش بار و کاهش مقاومت برای ساختمان های فولادی توسعه چشمگیری داشته است. در تدوین این آیین نامه ها بر اساس نظریه قابلیت اعتماد با در نظر گرفتن مشخصات آماری پارامترها و لحاظ نمودن عدم قطعیت های مربوط به آن ها، ضراب بار و مقاومت به گونه ای محاسبه می گردد تا سطح مطلوبی از قابلیت اعتماد یا همان قابلیت اعتماد هدف حاصل گردد.

با وجود اینکه آیین نامه ها معمولاً بر پایه نظریه قابلیت اعتماد تدوین شده اند، در هر صورت لازم است در دوره های مختلف مورد ارزیابی مجدد قرار بگیرند. این امر می تواند ناشی از شناخت بیشتر از وضعیت بار و مقاومت سازه و در نتیجه بروزسانی پارامترهای آماری این متغیرها و همچنین فرمول بندی مجدد آیین نامه ها در راستای کاهش و یا حذف ناسازگاری ها و تلاش برای دستیابی به سطوح ایمنی یکنواخت در آیین نامه های سازه ای باشد.^[۹]

از اهداف اصلی آیین نامه های طراحی سازه، دستیابی به یک طرح ایمن و اقتصادی است که بتواند نیازهای سازه را با توجه به موقعیت اجتماعی، اقتصادی و استراتژیک آن تامین کند. لازمه دستیابی به این اهداف داشتن درک درستی از بارهای وارد بر سازه و همچنین عناصر مقاوم در مقابل این بارها می باشد. از آنجا که مقدار بارهای وارد بر سازه و همچنین پارامترهای مربوط به مقاومت بصورت غیر قطعی و احتمالاتی هستند، بنابراین ضروری است که در تنظیم آیین نامه ها ماهیت تصادفی آن ها در نظر گرفته شود. روش های مبتنی بر نظریه قابلیت اعتماد چهارچوبی را در اختیار قرار می دهند که بر اساس آن می توان عدم قطعیت های مختلف در تحلیل و طراحی سازه ها را وارد محاسبات کرد. قابلیت اعتماد یک سازه به صورت توانایی سازه در به انجام رساندن عملکرد مطلوب مورد نظر طراحی برای یک طول عمر مشخص تعریف می گردد. بنابراین قابلیت اعتماد معمولاً برابر با احتمال سالم ماندن سازه برای دستیابی به عملکرد هدف می باشد.^[۱]

مفاهیم تحلیل قابلیت اعتماد را می توان هم برای تنظیم آیین نامه های طراحی جدید و هم برای ارزیابی آیین نامه های موجود به کار برد. در چند دهه اخیر تدوین

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۱۰/۸، اصلاحیه ۱۳۹۹/۴/۲۲، پذیرش ۱۳۹۹/۷/۲۰.

DOI:10.24200/J30.2020.54912.2685

Archive of SID

برف در ایران وجود ندارد، برای این بارها از اطلاعات سایر مراجع و تحقیقات صورت گرفته، استفاده شده است. از مهمترین این تحقیقات می‌توان به کارهای نواک و کالینز^[۱] و الینگوود و همکاران^[۱۶] اشاره کرد که مقادیر پیشنهاد شده برای این بارها در آیین‌نامه بارگذاری آمریکا بر اساس نتایج بدست آمده در کارهای این محققین می‌باشند. با توجه به اینکه بار باد از عدم قطعیت نسبتاً زیادی برخوردار است و وابسته به موقعیت ساختگاه می‌باشد و همچنین در ترکیب بارهای بررسی شده در این مطالعه نقش اساسی دارد، برای این بار از داده‌های آماری ایران و همچنین روابط آیین‌نامه مبحث ششم^[۱۱] استفاده شده است. بر اساس آیین‌نامه بارگذاری ایران فشار بار باد (p) بر روی جزء یا کل سطح یک ساختمان به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$p = I_w q C_e C_p C_g \quad (1)$$

در این رابطه q فشار مبنای باد، I_w ضریب اهمیت برای بار باد C_e ضریب بادگیری، C_g ضریب اثر جهشی باد و C_p ضریب فشار خارجی می‌باشند. فشار مبنای باد بر اساس رابطه زیر بیان می‌شود.

$$q = \frac{1}{\rho} \rho V^2 \quad (2)$$

که ρ چگالی هوا و برابر یک عدد ثابت است و V سرعت باد برحسب کیلومتر بر ساعت است. با توجه به رابطه‌های ۱ و ۲ ناشی از عدم قطعیت در سرعت باد و همچنین عدم قطعیت در ضرایب فشار مبنای باد می‌باشد. در هر صورت بیشترین عدم قطعیت مربوط به عدم قطعیت در تخمین سرعت باد می‌باشد. آیین‌نامه مبحث ششم سرعت مبنای باد را برای دوره بازگشت پنجاه ساله بیان کرده است و برای ۵۸ ایستگاه مقادیر سرعت مبنای باد را در دوره بازگشت ۵۰ ساله تعیین کرده است. در این مطالعه برای این ۵۸ ایستگاه داده‌های آماری بالای بیست سال آن‌ها جمع‌آوری شده است و بر اساس آن پارامترهای آماری استخراج شده است. بر اساس پیشینه سرعت ماهیانه باد، حداکثر سرعت سالیانه باد برای سال‌های مختلف در هر ایستگاه محاسبه شده و بر اساس آن پارامترهای آماری سرعت باد برای دوره بازگشت ۵۰ سال به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$F_{V_{50}}(V) = [F_V(V)]^{50} \quad (3)$$

که V و V_{50} به ترتیب سرعت باد حداکثر سالیانه و سرعت باد حداکثر در ۵۰ سال و F_V تابع توزیع تجمعی متغیر تصادفی (V) می‌باشند. با در نظر گرفتن توزیع حدی نوع اول (گامبل) برای سرعت باد و توسعه رابطه ۳، پارامترهای آماری برای سرعت ۵۰ ساله باد طبق روابط زیر محاسبه می‌شوند.^[۱۶]

$$\bar{V}_{50} = \bar{V} \left(1 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} CoV_V \cdot Ln 50 \right) \quad (4)$$

$$\bar{V}_{50} \cdot CoV_{50} = \bar{V} \cdot CoV_V \quad (5)$$

که CoV و \bar{V} به ترتیب برابر با ضریب تغییرات و میانگین می‌باشند. همچنین در محاسبه مقدار ضریب تغییرات عدم قطعیت‌های مربوط به مشاهده و نمونه‌گیری لحاظ گردیده است. جدول ۱ مقادیر محاسبه شده برای پارامترهای آماری سرعت باد در دوره بازگشت ۵۰ ساله بر اساس داده‌های آماری گردآوری شده از سایت سازمان هواشناسی کشور^[۱۷] را نشان می‌دهد. این پارامترهای آماری شامل میانگین و ضریب تغییرات هستند که برای همه ایستگاه‌های موجود در آیین‌نامه محاسبه

آیین‌نامه‌های تحلیل و طراحی سازه‌ها در ایران از آیین‌نامه‌های سایر کشورها الهام گرفته‌اند. به عنوان نمونه ویرایش ۱۳۹۲ آیین‌نامه فولاد ایران^[۱۸] انطباق بیشتری نسبت به آیین‌نامه فولاد آمریکا^[۲] دارد و همچنین آیین‌نامه بارگذاری ایران^[۱۱] تا حدود زیادی مشابه آیین‌نامه بارگذاری آمریکا^[۳] می‌باشد. این امر در صورتی است که شرایط اقلیمی و جغرافیایی و همچنین شرایط صنعت ساخت و ساز در ایران متفاوت با سایر کشورها است. بنابراین ضروری است به سمت وضعیتی پیشرفت که بتوان اطلاعات و داده‌های مربوط به شرایط بارگذاری و همچنین شرایط مربوط به تولید مصالح و مقاومت سازه را در ایران در تنظیم مقررات ملی ساختمان دخیل کرد. متأسفانه به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات آماری کافی و همچنین نوباً بودن علم قابلیت اعتماد سازه‌ها در ایران پژوهش‌های محدودی در این زمینه صورت گرفته است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعات صورت گرفته بر روی توزیع تنش فولاد مصرفی در ایران^[۱۱، ۱۲]، بررسی و ارزیابی ترکیب‌های بار بر اساس مبحث ششم^[۱۳، ۱۴] و همچنین ارزیابی قابلیت اعتماد اعضای فولادی در مودهای مختلف شکست خمشی، کششی و فشاری^[۱۵] اشاره کرد. لازم به ذکر است که بیشتر این مطالعات بر مبنای مدل‌سازی و طراحی الگوهای معمول ساختمان‌های فولادی کشور و سپس ارزیابی قابلیت اعتماد برای ترکیب بارهای کنترل‌کننده در مودهای مختلف شکست صورت گرفته است. به همین دلیل برای ترکیب بارهایی که کمتر غالب شده‌اند، ارزیابی صورت نگرفته است. تاکنون مطالعه‌ای گسترده‌بی بر روی ترکیب‌های بار شامل بار باد صورت نگرفته است، این در حالی است که بار باد از مهمترین بارها در طراحی سازه‌ها می‌باشد. علاوه بر این که ترکیب‌های بار شامل بار باد در طراحی سازه می‌توانند ترکیب بار کنترل‌کننده باشند، بار باد از جمله بارهای با عدم قطعیت زیاد نیز هستند. این عدم قطعیت‌ها تأثیر زیادی بر روی شاخص ایمنی سازه‌ها دارند. داده‌های آماری مربوط به بار باد به طور کامل وابسته به موقعیت ساختگاه هستند و نمی‌توان برای یک منطقه گسترده که دارای تغییرات زیادی در سرعت باد می‌باشند فقط از یک سری پارامتر آماری ثابت استفاده کرد. ضرایب بار باد در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان^[۱۱] با الهام از آیین‌نامه مقررات ملی ساختمان کانادا^[۶] در نظر گرفته شده است. این در حالی است که کشور ایران به لحاظ اقلیمی و شرایط آب و هوایی دارای تنوع گسترده‌بی می‌باشد. با توجه به اینکه شرایط جوی ایران و عدم قطعیت‌های مربوط به بار باد در ایران در تعیین این ضرایب نقشی نداشته‌اند، لذا استفاده از آن‌ها می‌تواند منجر به طراحی‌های محافظه‌کارانه و غیر اقتصادی و یا از طرف دیگر طراحی‌های غیر ایمن گردد. در این مطالعه قابلیت اعتماد ضرایب بار باد استفاده شده در مبحث ششم به صورت پارامتریک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور داده‌های آماری بار باد در کل مناطق کشور جمع‌آوری و توزیع‌های آماری مناسب و پارامترهای مربوطه به آن‌ها استخراج شده است. با استفاده از چهارچوب‌های مفهومی و روابط پایه در تحلیل قابلیت اعتماد سازه‌ها، شاخص قابلیت اعتماد برای مود خمشی در تیرها محاسبه گردیده و با شاخص قابلیت اعتماد هدف مقایسه شده است. در ادامه اثر مقدار سرعت مینا بر روی قابلیت اعتماد بررسی خواهد شد. همچنین با توجه به تغییرات صورت گرفته در پیش‌نویس ویرایش چهارم (۱۳۹۶) مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، به ارزیابی سطح قابلیت اعتماد ویرایش جدید این آیین‌نامه نیز پرداخته می‌شود.

۲. مدل‌سازی احتمالاتی متغیرهای تصادفی بار و

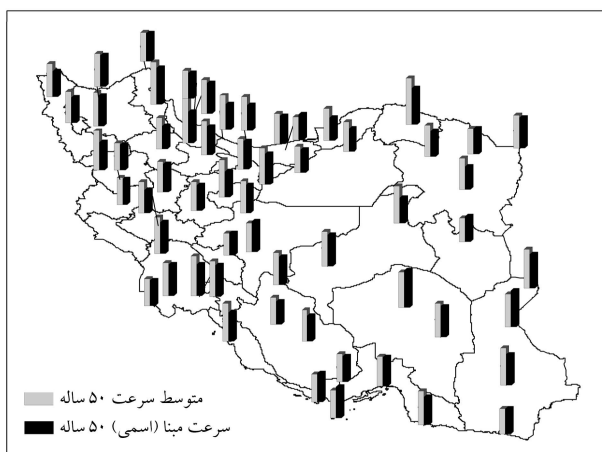
مقاومت

۲.۱. مدل‌سازی احتمالاتی بارها

در این پژوهش با توجه به اینکه داده کافی و قابل اعتماد برای بارهای مرده، زنده و

جدول ۱. داده‌های آماری سرعت باد در دوره بازگشت ۵۰ ساله.

C_oV_{50}	V_{rn}	متوسط سرعت ۵۰ ساله		ایستگاه	C_oV_{50}	V_{rn}	متوسط سرعت ۵۰ ساله		ایستگاه
		(Km/h)	(m/s)				(Km/h)	(m/s)	
۰/۱۱۵۲۱۳	۱۱۰	۱۳۰/۳۶۷۹	۲۸/۷۱۳۳۲	اصفهان	۰/۱۶۹۶۷۴	۸۰	۱۱۰/۲۶۴۳	۳۰/۶۲۸۹۷	ترتیب حیدریه
۰/۱۶۴۸۷	۱۱۰	۱۳۹/۴۷۹	۳۸/۷۴۴۱۶	امیدیه	۰/۱۷۰۸۳۱	۸۰	۱۰۹/۲۹۶۷	۳۰/۳۶۰۱۹	خرم‌آباد
۰/۱۶۱۳۲۷	۱۱۰	۱۱۵/۹۳۱۴	۳۲/۲۰۳۱۸	اهواز	۰/۱۶۸۶۲۶	۸۰	۱۰۹/۰۶۲۹	۳۰/۲۹۵۲۴	زنجان
۰/۱۷۷۴۸۹	۱۱۰	۱۳۲/۲۳۰۹	۳۶/۷۳۰۸	ایران‌شهر	۰/۱۴۹۸۵۱	۸۰	۹۲/۱۶۱۳۲	۲۵/۶۰۰۳۷	سمنان
۰/۱۷۶۸۰۵	۱۰۰	۱۰۸/۵۶۲۲	۳۰/۱۵۶۱۷	بابلسر	۰/۱۷۰۸۳۱	۸۰	۱۰۴/۳۴۴۱	۲۸/۹۸۴۴۷	شاهرود
۰/۱۸۰۹۱۹	۱۱۰	۱۱۹/۳۶۹۹	۳۳/۱۵۸۳۱	بیم	۰/۱۵۴۹۲۲	۸۰	۷۷/۹۴۲۰۷	۲۱/۶۵۰۵۸	شهرکرد
۰/۱۴۲۵۳۸	۱۱۰	۱۲۱/۰۷۱۹	۳۳/۶۳۱۰۸	بندرازلی	۰/۱۴۲۵۳۸	۸۰	۹۵/۳۲۱۹۵	۲۶/۴۷۸۳۲	شیراز
۰/۱۵۵۳۸۷	۱۰۰	۱۰۳/۳۲	۲۸/۷	بندرعباس	۰/۱۹۷۶۵۳	۸۰	۱۱۳/۴۲۸۷	۳۱/۵۰۷۹۸	گرگان
۰/۱۷۵۸۲۵	۱۰۰	۱۳۳/۲۹۵۳	۳۷/۰۲۶۴۸	بوشهر	۰/۱۱۵۲۱۳	۹۰	۹۴/۲۹۰۴۵	۲۶/۱۹۱۷۹	آبادان
۰/۱۵۴۰۹۳	۱۰۰	۱۰۳/۱۷۶۹	۲۸/۶۶۰۲۴	پارس‌آباد	۰/۱۴۷۳۲۸	۹۰	۱۰۱/۰۰۴۵	۲۸/۰۵۶۸	اراک
۰/۱۲۵۰۳۶	۱۱۰	۱۱۴/۶۹۱۷	۳۱/۸۵۸۸۱	تبریز	۰/۱۵۴۰۷۲	۹۰	۱۰۸/۳۰۸۳	۳۰/۰۸۵۶۴	ارومیه
۰/۱۲۹۶۶۵	۱۰۰	۱۰۸/۹۰۹۵	۳۰/۲۵۲۶۴	تهران	۰/۱۳۷۴۳۱	۹۰	۹۸/۲۵۹۸	۲۷/۲۹۴۳۹	بندر لنگه
۰/۱۸۴۲۱۵	۱۰۰	۱۱۹/۲۰۸۳	۳۳/۱۱۳۴۲	جاسک	۰/۱۲۰۸۷۸	۹۰	۸۳/۱۳۹۲۵	۲۳/۰۹۴۲۴	بیرجند
۰/۱۲۹۸۹۲	۱۱۰	۹۹/۵۳۱۴	۲۷/۶۴۷۶۱	جزیره سیری	۰/۱۵۳۷۸۳	۹۰	۹۰/۳۵۱۹۹	۲۵/۰۹۷۷۸	چابهار
۰/۱۱۵۴۷۳	۱۰۰	۹۸/۹۴۴۳۳	۲۷/۴۸۴۵۴	جزیره کیش	۰/۱۷۲۸۴۵	۹۰	۱۱۸/۵۲۳۵	۳۲/۹۲۳۱۹	خوی
۰/۱۶۸۲۱۲	۱۱۰	۱۲۹/۷۸۵۸	۳۶/۰۵۱۶۲	دزفول	۰/۱۶۵۳۷	۹۰	۱۲۲/۱۷۰۷	۳۳/۹۳۶۲	رامسر
۰/۱۴۹۶۱۴	۱۱۰	۱۱۷/۷۷۷۵	۳۲/۷۱۵۹۸	سرخس	۰/۱۵۵۱۵۱	۹۰	۹۹/۹۵۲۹۱	۲۷/۷۶۴۷	رشت
۰/۱۸۷۹۲۳	۱۰۰	۱۴۰/۷۲۸۶	۳۹/۰۹۱۲۸	سقز	۰/۱۵۸۲۹۷	۹۰	۱۱۱/۱۰۴	۳۰/۸۶۲۲۱	سبزوار
۰/۱۵۲۱۲۹	۱۰۰	۱۱۸/۱۰۰۸	۳۲/۸۰۵۷۷	قزوین	۰/۱۴۰۰۲۶	۹۰	۹۶/۷۳۷۵۵	۲۶/۸۷۱۵۴	سنندج
۰/۱۸۱۲۱۴	۱۰۰	۱۱۵/۴۲۶۲	۳۲/۰۶۲۸۲	کاشان	۰/۱۹۷۰۹۸	۹۰	۱۲۹/۵۰۲۳	۳۵/۹۷۲۸۵	طیس
۰/۱۴۴۳۵۷	۱۱۰	۱۲۰/۰۳۸۵	۳۳/۳۴۴۰۱	مراغه	۰/۱۸۴۱۳۶	۹۰	۱۰۹/۲۶۸۳	۳۰/۳۵۲۳	فسا
۰/۱۴۵۳۸۲	۱۰۰	۱۱۰/۳۵۸۵	۳۰/۶۵۵۱۳	همدان	۰/۱۰۰۳۲۵	۹۰	۸۰/۴۸۳۸۴	۲۲/۳۵۶۲۲	قائم‌شهر
۰/۱۵۴۲۷۵	۱۱۰	۱۲۳/۵۲۲۶	۳۴/۳۱۱۸۳	یزد	۰/۱۷۰۴۶۴	۹۰	۱۳۱/۰۹۸۸	۳۶/۴۱۶۳۳	قم
۰/۱۵۳۹۲۲	۱۳۰	۱۵۲/۰۷۸۲	۴۲/۲۴۳۹۵	اردبیل	۰/۱۱۵۲۱۳	۹۰	۹۵/۱۸۲۴۶	۲۶/۴۳۹۷۵	کرمانشاه
۰/۱۸۶۳۶	۱۳۰	۱۶۵/۸۵۵۱	۴۶/۰۷۰۸۵	بجنورد	۰/۱۳۴۱۱۹	۹۰	۸۸/۶۴۹۹	۲۴/۶۲۴۹۷	مشهد
۰/۱۶۰۳۳۲	۱۲۰	۱۳۷/۷۵۳۷	۳۸/۲۶۴۹۲	زابل	۰/۱۵۸۴۵	۹۰	۱۱۸/۲۸۴۵	۳۲/۸۵۶۸۲	نوشهر
۰/۱۲۰۲۲۲	۱۳۰	۱۱۶/۷۸۰۶	۳۲/۴۳۹۰۷	زاهدان	۰/۱۴۱۲۹۹	۱۰۰	۱۱۳/۵۵۶	۳۱/۵۴۳۳۴	آباده
۰/۱۲۵۰۳۶	۱۳۰	۱۲۵/۸۴۳۸	۳۴/۹۵۶۶۲	کرمان	۰/۱۴۸۹۸۷	۱۱۰	۱۲۹/۸۳۳۵	۳۶/۰۶۴۸۶	آبعلی
۰/۱۷۰۹۵۳	۱۳۰	۱۶۶/۳۷۰۲	۴۶/۲۱۳۹۴	منجیل	۰/۱۴۹۶۱۴	۱۱۰	۱۲۶/۴۷۱۷	۳۵/۱۳۱۰۴	آغاچاری



شکل ۱. میزان سرعت مبنا و میانگین سرعت آماری در دوره بازگشت ۵۰ ساله برای شهرهای مختلف.

شده‌اند. همچنین در جدول مقادیر اسمی سرعت باد در ۵۰ سال که همان مقادیر سرعت مبنا در آیین‌نامه می‌باشد، با عبارت V_{rn} نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱ مقادیر بار مبنای باد (مقدار اسمی) و میانگین سرعت باد آماری ثبت شده در ایستگاه‌های مختلف کشور نشان داده شده است. نمودارهای میله‌ای خاکستری رنگ مقادیر متوسط آماری بار باد در دوره بازگشت ۵۰ ساله و نمودارهای میله‌ای سیاه رنگ مقادیر سرعت مبنای آیین‌نامه که آن هم برای دوره بازگشت ۵۰ ساله تعریف شده است، را نمایش می‌دهند. همانگونه که از شکل نیز پیداست در اغلب ایستگاه‌ها میزان سرعت آماری بیشتر از میزان سرعت پیشنهادی آیین‌نامه یا همان مقدار اسمی سرعت می‌باشد. در این مطالعه کشور ایران بر اساس سرعت مبنای طرح داده شده در آیین‌نامه به پنج ناحیه تقسیم شده است. همه ایستگاه‌هایی که دارای سرعت مبنای یکسان می‌باشند به صورت یک ناحیه در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به اینکه در مبحث ششم فقط یک ایستگاه دارای سرعت مبنای ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت است، لذا آن را به طور جداگانه لحاظ نکرده و با ایستگاه‌های با سرعت ۱۳۰ کیلومتر بر ساعت در یک ناحیه طبقه‌بندی

جدول ۲. پارامترهای آماری مربوط به سرعت در ۵۰ سال.

ناحیه	سرعت اسمی	متوسط سرعت	ضریب	
			تغییرات	اریبی
۱	۸۰	۱۰۱/۵	۰/۱۷	۱/۲۷
۲	۹۰	۱۰۴/۲	۰/۱۵	۱/۱۶
۳	۱۰۰	۱۱۴/۵	۰/۱۶	۱/۱۶
۴	۱۱۰	۱۲۰/۹	۰/۱۵	۱/۱
۵	> ۱۲۰	۱۴۴/۱	۰/۱۵	۱/۱۱

جدول ۳. پارامترهای آماری مربوط به بارهای مختلف در دوره بازگشت ۵۰ سال.

ضریب تغییرات	بار باد					بار مرده
	ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	ناحیه ۴	ناحیه ۵	
ضریب تغییرات	۰/۴	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۱
ضریب اریبی	۱/۱۳	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۸۶	۱/۰۵

جدول ۴. پارامترهای آماری مقاومت. [۱۹]

پارامترهای مقاومت	ضریب	
	تغییرات	اریبی
M	۰/۱	۱/۱۰
F	۰/۰۵	۱/۰
P	۰/۰۶	۱/۰۲
D	۰/۰۴	۱/۰۵
R	۰/۱۲	۱/۱۲

شده‌اند. پارامترهای آماری مربوط به سرعت در پنجاه سال برای نواحی مختلف مطابق جدول ۲ می‌باشند. با وجود آن که بیشترین عدم قطعیت مربوط به بار باد وابسته به سرعت است، ولی سایر ضرایب نیز همچون ضریب بادگیری (C_e)، ضریب اثر جهشی باد (C_g) و ضریب فشار خارجی (C_p) دارای عدم قطعیت هستند و لازم است آن‌ها را به صورت متغیر تصادفی مدل کرد. فشار سرعت مینا باید با استفاده از این ضرایب انتقال باید تا فشار اعمالی به سطح سازه به دست آید.

ضریب انتقال توسط پژوهشگران زیادی محاسبه شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به تحقیقات الینگوود و تکی [۱۸] اشاره نمود که مقادیر ۰/۷ و ۰/۲۱ را به ترتیب برای ضریب اریبی و ضریب تغییرات پیشنهاد کرده‌اند. همچنین بارتلت و همکاران [۱۹] نیز که بر روی آیین نامه بارگذاری کانادا مطالعات گسترده‌ای انجام داده‌اند، این مقادیر را برابر ۰/۶۸ و ۰/۲۲ در نظر گرفته‌اند. در این مطالعه مقادیر ۰/۷ و ۰/۲۱ برای ضریب اریبی و ضریب تغییرات متغیر تصادفی ضریب انتقال در نظر گرفته شده است که اختلاف اندکی با مقادیر ارائه شده توسط بارتلت و همکاران [۱۹] دارد. در نهایت با داشتن مقادیر پارامترهای آماری مربوط به سرعت و ضریب انتقال می‌توان پارامترهای آماری بار باد را با استفاده از روابط زیر بدست آورد.

$$B_W = B_T \times B_V \quad (6)$$

$$CoV_W = \sqrt{CoV_T^2 + 4CoV_V^2} \quad (7)$$

در روابط ذکر شده B_T ، B_V و B_W به ترتیب برابر با ضرایب اریبی نظیر انتقال، سرعت در ۵۰ سال و بار باد می‌باشند. لازم به ذکر است ضریب اریبی به صورت نسبت مقدار میانگین پارامتر آماری به مقدار اسمی آن تعریف می‌گردد. همچنین CoV_T ، CoV_V و CoV_W به ترتیب برابر با ضریب انحراف معیار انتقال، سرعت در ۵۰ سال و بار باد هستند. پارامترهای آماری بارهای مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. این مقادیر برای بارهای مرده، زنده و برف در همه نقاط ایران به صورت یکسان فرض شده‌اند و بار باد به پنج ناحیه اشاره شده تقسیم‌بندی شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد پارامترهای آماری ناحیه‌های دو با سه و همچنین چهار با پنج تقریباً برابرند و در تحلیل قابلیت اعتماد به یک نتیجه منجر خواهند شد.

۲.۲. مدل سازی مقاومت

مقاومت یک عضو وابسته به مقاومت مصالح تشکیل دهنده، هندسه و ابعاد مقطع می‌باشد. از آنجا که همه این پارامترها دارای عدم قطعیت هستند، لازم است که این پارامترها را به صورت متغیر تصادفی مدل شوند. در تیر تحت خمش مقاومت به صورت یک متغیر تصادفی (R_m) طبق رابطه زیر مدل می‌گردد.

$$R_m = R_n M F P \quad (8)$$

که در آن M نشان دهنده عدم قطعیت در مصالح، F نشان دهنده عدم قطعیت در ساخت و P نشان دهنده عدم قطعیت در مدل‌سازی و روش تحلیل می‌باشد. همچنین R_n مقاومت اسمی است. با توجه به اینکه در طراحی سازه‌های مقاطع مشخصی به صورت نورد شده وجود دارد و نمی‌توان برای هر مشخصات هندسی، مقطع دقیقاً متناظر با آنرا استفاده نمود، انتخاب مقطع نیز دارای عدم قطعیت است.

به این منظور، یک پارامتر اضافی دیگر به نام پارامتر گسسته سازی^۱ برای لحاظ کردن این عامل در نظر گرفته شده است. [۲۰] پارامترهای آماری این متغیرها در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به رابطه ۸ پارامترهای آماری مقاومت بر اساس روابط زیر محاسبه می‌گردد.

$$B_R = B_m B_f B_p B_d \quad (9)$$

از مقادیر اسمی بارها بصورت رابطه زیر در نظر گرفت.

$$Q_m = c \sum B_i Q_i \quad (14)$$

که B_i مقدار ضریب اریبی بار Q_i و c ثابتی است که بارها را به اثرات آن تبدیل می‌کند. در واقع اعمال این پارامتر به این دلیل است که در طراحی مقدار خود بارها به عنوان نیروی طراحی وارد نمی‌شوند بلکه اثر آنها همانند لنگر خمشی، نیروی برشی لحاظ می‌شود. همچنین بر اساس فلسفه طراحی در حالت حدی نهایی مقاومت کاهش یافته را برابر با بارهای ضریب‌دار در نظر می‌گیرند.

$$\varphi R_n = c \sum \gamma_i Q_i \quad (15)$$

که در رابطه ۱۵، φ و γ_i به ترتیب ضریب کاهش مقاومت و ضرایب افزایش بار هستند. طبق تعریف، ضریبی به نام ضریب کالیبراسیون را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد.

$$C_\varphi = \frac{\sum \gamma_i Q_i}{\sum B_i Q_i} \quad (16)$$

با ترکیب کردن روابط ۱۴ تا ۱۶ نسبت R_m/Q_m برای تیرها به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{R_m}{Q_m} = \frac{R_m}{\varphi R_n} C_\varphi \quad (17)$$

با قرار دادن رابطه ۱۷ در رابطه ۱۳ شاخص قابلیت اعتماد برای تیرها تحت اثر خمش طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{C_oV_R^2 + C_oV_Q^2}} \text{Ln} \left[\left(\frac{R_m}{R_n} \right) \frac{C_\varphi}{\phi} \right] \quad (18)$$

که در آن R_m/R_n ضریب اریبی مقاومت می‌باشد. C_oV_Q به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$C_oV_Q = \frac{\sqrt{\sum (B_i Q_i C_oV_{Q_i})^2}}{\sum B_i Q_i} \quad (19)$$

۲.۳. شاخص قابلیت اعتماد هدف

آیین‌نامه‌ها به گونه‌ای تهیه می‌شوند که بتوانند حداقل نیازهای سازه را با توجه به موقعیت اجتماعی، اقتصادی و سایر پارامترهای تعیین‌کننده دیگر تامین شود. در آیین‌نامه‌های مبتنی بر طراحی بر اساس قابلیت اطمینان برای دستیابی به سطح ایمنی مورد نیاز از شاخصی به نام شاخص قابلیت اطمینان هدف (β_{Target}) استفاده می‌کنند. این شاخص را می‌توان برای سیستم‌های سازه‌بی، اجزای سازه‌بی، مودهای مختلف شکست و حالات مختلف حدی و برای یک طول عمر معین تعیین نمود. شاخص قابلیت اعتماد هدف معمولاً بر اساس پیامدهای ناشی از تخریب همچون هزینه‌های ناشی از خرابی، ترمیم و مقاوم‌سازی و همچنین نوع شکست و درجه اهمیت سازه مشخص می‌شود. آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مختلفی به بررسی و تعیین این شاخص پرداخته‌اند. به‌عنوان نمونه، آیین‌نامه اروپا^[۵] شاخص قابلیت اطمینان را در سه کلاس قابلیت اطمینان و با در نظر گرفتن سه سطح برای پیامدهای ناشی از تخریب محاسبه کرده است. این نتایج برای دوره‌های زمانی یک ساله و ۵۰ ساله ارائه شده است. لازم به ذکر است این کلاس‌بندی‌ها با قابلیت اطمینان

$$C_oV_R = (C_oV_m^2 + C_oV_f^2 + C_oV_p^2 + C_oV_d^2)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

که B و C_oV نشان دهنده ضریب اریبی و ضریب انحراف معیار متغیرها می‌باشند.

۳. تحلیل قابلیت اعتماد

۳.۱. فرمول‌بندی روش تحلیل قابلیت اعتماد برای تیرهای خمشی

قابلیت اعتماد عبارت از احتمال عملکرد مطلوب و عدم خرابی تحت شرایط مشخص شده در مدت زمان معین است. بنابراین شناخت مودهای خرابی و تعیین صریح مرز خرابی برای تمایز رفتار قابل قبول و غیر قابل قبول از اولین اقداماتی است که در روش احتمالاتی قابلیت اعتماد باید مورد توجه قرار گیرد.^[۱۹] این مرز به لحاظ ریاضی اغلب توسط یک «تابع حالت حدی» یا «تابع عملکرد» نشان داده می‌شود. هر حالت حدی در حقیقت مرزی بین عملکرد مطلوب و نامطلوب یک سازه است. با فرض آنکه R بیانگر مقاومت و Q نشان دهنده اثرات بار باشد، تابع عملکرد یا تابع حالت حدی به صورت زیر قابل تعریف می‌باشد.

$$L(R, Q) = R - Q \quad (11)$$

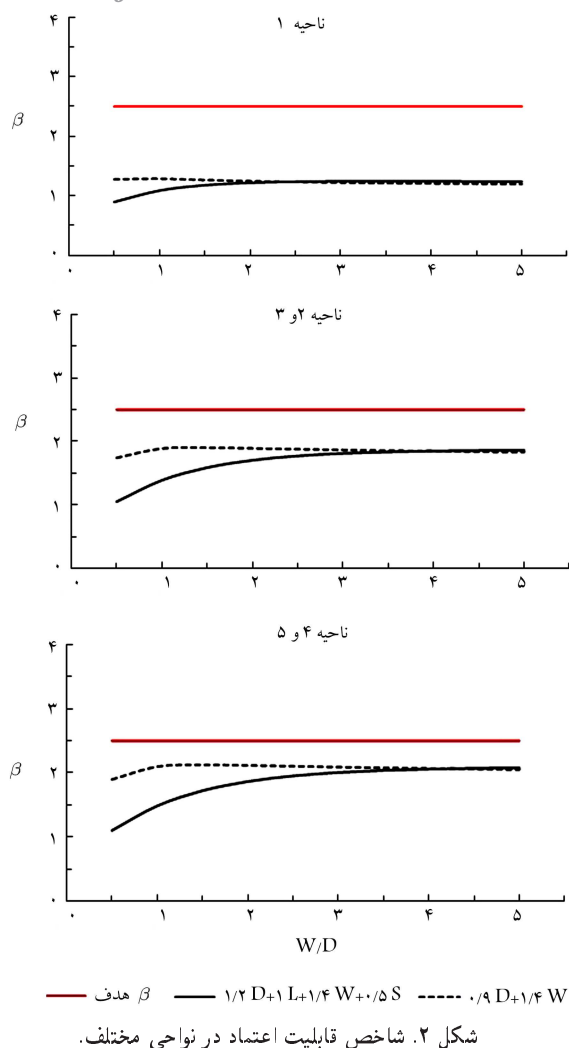
در رابطه بالا L تابع حالت حدی می‌باشد به طوری که اگر $L \geq 0$ باشد، سازه ایمن می‌باشد (عملکرد مطلوب) و چنانچه $L < 0$ باشد، سازه ایمن نخواهد بود (عملکرد نامطلوب) احتمال خرابی، P_f ، برابر احتمال وقوع عملکرد نامطلوب تعریف می‌شود و به صورت ریاضی این احتمال بر حسب تابع حالت حدی بیان می‌گردد. اگر R و Q هر دو متغیرهای تصادفی پیوسته باشند و توابع چگالی احتمالی آن‌ها به ترتیب برابر $f_R(r)$ و $f_Q(q)$ باشند آنگاه احتمال خرابی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.^[۱]

$$P_f = P(R - Q < 0) = \iint_{L(R, Q) < 0} f_{R, Q}(r, q) dr dq \quad (12)$$

که در رابطه فوق $f_{R, Q}(r, q)$ برابر با تابع چگالی احتمال مشترک میان متغیرهای تصادفی R و Q می‌باشد. در صورتی که متغیرهای تصادفی R و Q مستقل از هم باشند، تابع چگالی احتمال برابر $f_{R, Q}(r, q) = f_R(r) f_Q(q)$ خواهد شد. در آیین‌نامه‌های سازه‌ای برای دستیابی به سطح ایمنی مورد نیاز ایمنی از شاخصی به نام شاخص قابلیت اعتماد^۲ استفاده می‌شود. از این شاخص می‌توان برای ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف طراحی، انواع شکست‌ها و غیره استفاده نمود. بر مبنای توضیحات آیین‌نامه فولاد آمریکا^[۱] شاخص قابلیت اعتماد β با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{C_oV_R^2 + C_oV_Q^2}} \text{Ln} \left[\frac{R_m}{Q_m} \right] \quad (13)$$

که در آن R_m میانگین مقاومت، Q_m میانگین اثرات بار و همچنین C_oV_R و C_oV_Q به ترتیب برابر با ضریب انحراف معیار بار و مقاومت می‌باشند. رابطه ۱۳ برای محاسبه شاخص قابلیت اعتماد یک رابطه تقریبی است و فقط میانگین و انحراف معیار توزیع‌ها را وارد محاسبات می‌کند ولی در هر صورت در مسائل بررسی آیین‌نامه‌ها این اطلاعات کافی می‌باشند.^[۱۶، ۲] میانگین اثرات بار را می‌توان با استفاده



شکل ۲ نتایج تحلیل قابلیت اعتماد را برای نواحی در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها خط ثابت مقدار شاخص قابلیت اعتماد هدف را نشان می‌دهد که برابر با ۲/۵ می‌باشد. همچنین تغییرات شاخص قابلیت اعتماد نسبت تغییرات مقدار بار باد به بار مرده برای ترکیب بارهای باد نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های نشان داده شده می‌توان دریافت که برای همه نواحی بررسی شده شاخص قابلیت اعتماد نسبت به شاخص قابلیت اعتماد هدف پایین‌تر است. اگر شاخص قابلیت اعتماد برای نسبت بار W/D برابر با ۳ که در ارزیابی و تنظیم آیین‌نامه‌ها بر اساس روش قابلیت اعتماد مقدار رایجی است [۱۸] در نظر گرفته شود، شاخص قابلیت اعتماد در هر دو ترکیب بار ذکر شده برای ناحیه ۱ برابر با ۱/۳، در نواحی ۲ و ۳ برابر با ۱/۹ و در نواحی ۴ و ۵ برابر با مقدار ۲ می‌باشد.

پایین بودن شاخص قابلیت اعتماد در محث ششم برای ترکیب‌های بار باد به نظر می‌رسد ناشی از تخمین دست پایین مقدار سرعت مبنای باد در این آیین‌نامه است. همانگونه که از جدول ۱ و شکل ۱ پیداست مقادیر آماری (داده‌های تجربی) سرعت باد در ۵۰ سال نسبت به مقدار سرعت مبنای در نظر گرفته شده در آیین‌نامه در اغلب ایستگاه‌ها بیشتر است که این امر سبب افزایش ضریب اریبی سرعت باد و در نتیجه افزایش ضریب اریبی بار باد و کاهش شاخص قابلیت اعتماد می‌گردد. نکته قابل توجه آن است که شاخص قابلیت اعتماد در نواحی

با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و هزینه‌های نسبی ایمنی صورت گرفته است. همچنین دستورالعمل ایزو [۲۱] با همین فلسفه، ولی با در نظر گرفتن چهار سطح برای پیامدهای تخریب مقداری را برای شاخص قابلیت اعتماد هدف تعیین نموده است. الینگوود و همکاران [۱۶] برای اعضای فولادی و ترکیبات مختلف بارگذاری مقادیر قابل اطمینان هدف را پیشنهاد داده‌اند. آن‌ها شاخص قابلیت اعتماد هدف را برای ترکیب‌های بار ثقلی (مرده، زنده و برف) برابر ۳، ترکیب‌های بار ثقلی و بار باد برابر ۲/۵ و ترکیب‌های بار ثقلی و بار زلزله برابر با ۱/۷۵ در نظر گرفتند. این مقادیر در مطالعات مختلف نیز مورد استفاده قرار گرفته است. [۲۳، ۲۲] همچنین در آیین‌نامه ۱۹۹۴ AISC LRFD [۲۴] نیز از همین مقادیر استفاده شده است. در هر دو ویرایش جدیدتر آیین‌نامه بارگذاری آمریکا یعنی ASCE/SEI-۱۰ [۲] و ASCE/SEI-۱۶ [۲۵] مقادیر شاخص قابلیت اعتماد هدف را بر اساس نوع شکست و میزان خسارت و برای سازه‌هایی با درجه اهمیت متفاوت ارائه داده‌اند. مقادیر ذکر شده در این آیین‌نامه‌ها بر اساس شکست عضو (برای همه بارها به غیر از بار زلزله) و شکست سیستم سازه‌یی (برای بار زلزله) می‌باشند. آیین‌نامه فولاد آمریکا [۲۴] نیز برای اعضای سازه‌ای تحت شکست در حالت حدی نهایی مقدار ۲/۶ را برای شاخص قابلیت اعتماد هدف پیشنهاد می‌دهد. در این مطالعه برای ترکیب‌های بار باد بر اساس تحقیقات الینگوود و همکاران [۱۶] مقدار ۲/۵ برای این شاخص در نظر گرفته می‌شود. این مقدار با مقدار در نظر گرفته شده در آیین‌نامه فولاد آمریکا نیز همخوانی دارد.

۳.۳. ترکیبات بار باد در آیین‌نامه بارگذاری ایران

بر اساس آیین‌نامه بارگذاری ایران [۱۱] ترکیبات بار شامل بار باد بصورت زیر می‌باشند.

$$۱) 1/2 D + 1/6 L + 0/7 W$$

$$۲) 1/2 D + 1/0 L + 1/4 W + 0/5 S$$

$$۳) 0/9 D + 1/4 W$$

این سه ترکیب بار شامل، بار مرده (D)، بار زنده (L)، بار برف (S) و بار باد (W) می‌باشند که پارامترهای آماری این بارها در جدول ۳ ارائه شده است. در ترکیب بار شماره ۱ بار باد به صورت بار همراه ۲ به بار برف اضافه شده است، در واقع ترکیب بار شماره ۱ ترکیب بار برف است، چون بار برف بیشترین ضریب را دارد و بار اصلی ۴ است. در ترکیب بار شماره ۲ بار باد بار اصلی می‌باشد و سایر بارها همچون بار زنده و بار برف بار همراه می‌باشند. در ترکیب بار شماره ۳ نیز بار باد بار اصلی است. این ترکیب بار جزو مواردی است که بارها به صورت معکوس بر هم اثر کاهش دهنده داشته باشند یعنی حالتی که بار باد اثر خنثی‌کننده ۵ و کاهش بر بار ثقلی دارد. لازم به ذکر است که در پیش‌نویس ویرایش چهارم ۱۳۹۶ محث ششم مقررات ملی ساختمان ضریب بار باد از ۱/۴ به ۱/۶ افزایش یافته است که این امر سبب افزایش ایمنی در این ترکیب بارها می‌شود.

در این مطالعه قابلیت اعتماد ترکیب‌های بار باد (ترکیب‌هایی که بار باد در آن‌ها بار اصلی است) بررسی می‌شود. برای این منظور نسبت بار زنده به بار مرده و همچنین بار برف به بار مرده برابر با مقدار ثابت ۵/۰ در نظر گرفته شده است و برای بار باد این نسبت به صورت متغیر بین صفر تا ۵ لحاظ شده است تا بتوان تغییرات شاخص قابلیت اعتماد نسبت به تغییرات نسبت بار باد به بار مرده لحاظ گردد. لازم به ذکر است که این نسبت‌ها برابر با نسبت واقعی بارها بر همدیگر نیستند بلکه نسبت اثرات آن‌ها است.

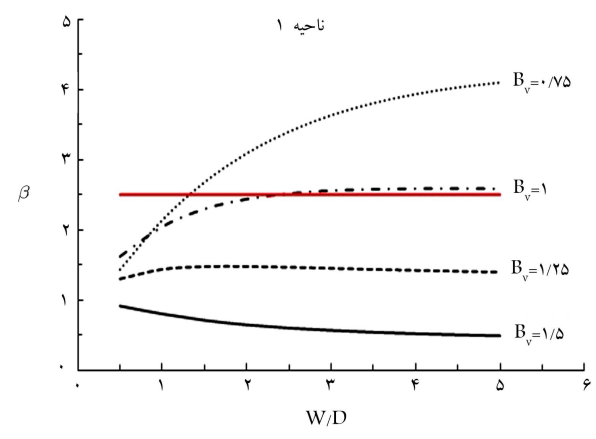
با سرعت بیشتر از ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت برابر با ۲ می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار شاخص قابلیت اعتماد به مقدار نسبت بار باد به بار مرده حساس نیست و برای نسبت‌های مختلف بار باد به بار مرده (به ویژه برای نسبت‌های بیشتر از ۲) مقادیر تقریباً ثابتی برای شاخص قابلیت اعتماد به دست می‌آید.

در شکل ۳ شاخص قابلیت اعتماد برای نسبت‌های مختلف ضریب اریبی سرعت باد در ترکیب بار شماره ۲ و برای ناحیه ۱ رسم شده است. همان‌طور که از شکل پیداست افزایش مقدار ضریب اریبی سبب کاهش قابلیت اعتماد می‌گردد. در حالتی که ضریب اریبی سرعت برابر با مقدار ۱ است، یعنی حالتی که سرعت مینا برابر با سرعت آماری (سرعت تجربی) در نظر گرفته می‌شود شاخص قابلیت اعتماد برابر با شاخص قابلیت اعتماد هدف می‌گردد. در پیش‌نویس ویرایش چهارم (۱۳۹۶) مبحث ششم مقررات ملی ساختمان در محاسبه بار باد، تغییراتی صورت گرفته است. از جمله این تغییرات می‌توان به افزایش ضریب بار باد و همچنین افزایش سرعت مینا در ایستگاه‌های مختلف اشاره کرد. در شکل ۴ با لحاظ کردن این تغییرات، مقدار شاخص قابلیت اعتماد برای نواحی اشاره شده محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهند که سطح قابلیت اعتماد در این پیش‌نویس افزایش پیدا کرده است.

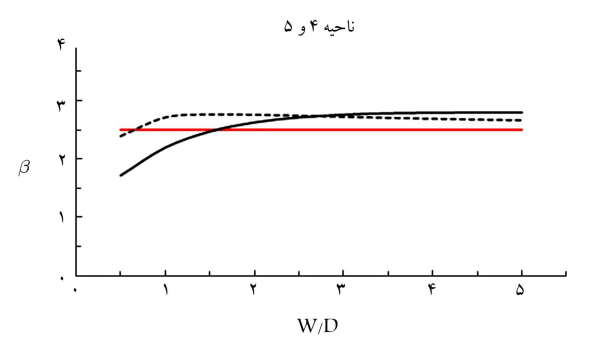
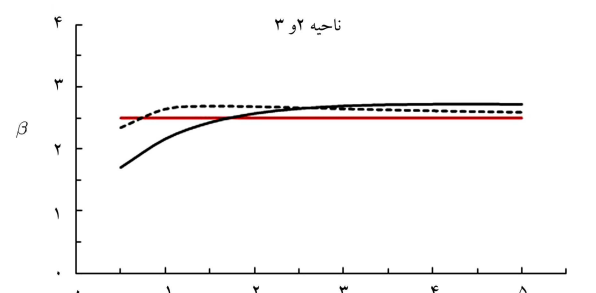
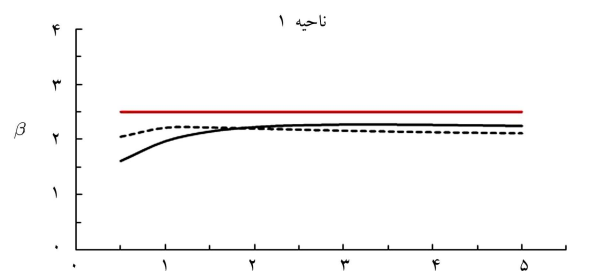
البته این امر با توجه به افزایش مقادیر سرعت مینا و افزایش ضریب بار باد قابل پیش‌بینی بود. ولی همان‌طور که از شکل نیز پیداست، سطح قابلیت اعتماد در ناحیه ۱ در پیش‌نویس ویرایش جدید نیز باز هم مقداری کمتر از سطح قابلیت اعتماد هدف است، در حالیکه برای نواحی دیگر سطح قابلیت اعتماد بیشتر از سطح قابلیت اعتماد هدف است که نشان دهنده این امر است که این پیش‌نویس برای نواحی با سرعت بالاتر مقداری محافظه‌کارانه عمل می‌کند.

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه به ارزیابی سطح قابلیت اعتماد ترکیب بارهای بار باد در آیین‌نامه مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲) پرداخته شد. با توجه به اینکه بیشترین عدم قطعیت مربوط به سرعت باد است و همچنین سرعت باد کاملاً وابسته به مکان ساختگاه می‌باشد، داده‌های آماری سرعت باد برای ایستگاه‌های مختلف کشور استخراج شده و پارامترهای آماری برای سرعت در دوره بازگشت ۵۰ ساله محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهند که برای اغلب ایستگاه‌ها آیین‌نامه بارگذاری ایران مقداری کمتری را نسبت به مقدار سرعت آماری (مقادیر تجربی) به عنوان سرعت مینا در نظر می‌گیرد. همچنین با استفاده از روش تحلیل قابلیت اعتماد و روابط پایه‌ای محاسبه شاخص قابلیت اعتماد، رابطه‌ای برای مقدار شاخص قابلیت اعتماد استخراج شد. در این مطالعه کشور ایران به ۵ ناحیه بر اساس سرعت مینای باد تقسیم‌بندی شد و برای همه نواحی شاخص قابلیت اعتماد محاسبه شد. نتایج حاکی از آن است که قابلیت اعتماد ترکیبات بار باد در همه نواحی نسبت به شاخص قابلیت اعتماد هدف پایین‌تر است. یکی از دلایل پایین بودن شاخص قابلیت اعتماد به نظر می‌رسد به علت تخمین دست پایین سرعت مینای طرح نسبت به مقدار آماری آن باشد. همچنین مشاهده می‌شود که آیین‌نامه بارگذاری ایران در مناطق با سرعت مینای پایین‌تر غیر محافظه‌کارانه است و سطح قابلیت اعتماد پایین‌تری نسبت به مناطق با سرعت مینای بالا دارد.



شکل ۳. شاخص قابلیت اعتماد برای نسبت‌های مختلف ضریب اریبی.



شکل ۴. شاخص قابلیت اعتماد در نواحی مختلف بر اساس پیش‌نویس ویرایش چهارم مبحث ششم

— هدف β — $1/2 D+1 L+1/4 W+0.5 S$ - - - $0.9 D+1/6 W$

با سرعت مینای بار باد کمتر، پایین‌تر است که می‌تواند ناشی از این امر باشد که در این مناطق، آیین‌نامه سرعت باد را به مراتب کمتر از مقدار تجربی آن در نظر می‌گیرد. به عنوان نمونه شاخص قابلیت اعتماد برای نواحی دارای سرعت باد ۸۰ کیلومتر بر ساعت برابر با ۱/۳ است، در حالی که این مقدار برای نواحی

1. Discretization factor
2. Reliability index
3. companion load
4. principle load
5. counteracting effect

(References) منابع

1. Nowak AS, Collins KR., *Reliability of Structures*, New York: CRC Press; 2013.
2. LRFD A. *Specification for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL. 2010.
3. American Society of Civil Engineers. Minimum design loads for buildings and other structures, standard ASCE/SEI 7-10", Amer Soc Of Civil Engin, 2013.
4. Specifications LB, "American association of state highway and transportation officials (AASHTO)", washington DC, USA, 2012.
5. EN 1990, "Eurocode-basis of structural design", Brussels, Belgium: European Committee for Standardization, 2002.
6. NBCC, "National building code of canada", Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Ottawa, 1995.
7. CSA, "Limit states design of steel structures", Standard CSAS16.1- b95, Canadian Standards Association, Rexdale, 1995.
8. CSA, "Concrete materials and methods of construction", Standard CSA-A23.1-00, Canadian Standards Association, Rexdale, 2000.
9. Melchers, R.E. and Beck, A.T. "Structural reliability analysis and prediction. John Wiley & Sons (2018).
10. INBC. "Iranian national building code (INBC), part 10: Design and construction of steel", Ministry of Housing and Urban Development, Tehran, Iran; 2013.
11. INBC. "Iranian national building code (INBC), part 6: Design loads for buildings, ministry of housing and urban development", Tehran, Iran; 2013.
12. Shayanfar, M.A., Barkhordari, M.A. and Rahmadian, M. "probabilistic modeling of steel in Iran for reliability analysis of Iranian structural steel code", The First National Conference on Engineering and Management of Infrastructures, Iran, Tehran (in persion) (2009).
13. Kordlou, M. and Moarefzade, M.R. "reliability based code calibration of load and resistance factor in Iranian structural steel code.", *the 6th National Conference on civil Engineering*, Iran, Semnan, (in persion) (2011).
14. Mahmoudkalayeh, S., Mahsuli, M. and Ghasemi, H. Reliability-based evaluation and calibration of load combinations for the design of steel building structures of Iran", M.Sc. Thesis, Sharif University of Technology, Department of Civil Engineering, Iran, Tehran, (in persion) (2018).
15. Moghadam, M. and Keshtegar, B. "reliability assessment of steel structures based on Iranian structural steel code", *2nd Conference of Steel and Structures*, Iran, Tehran (in persion) (2011).
16. Ellingwood B. "Development of a probability based load criterion for American national standard A58: Building code requirements for minimum design loads in buildings and other structures", US Department of Commerce, National Bureau of Standards (1980).
17. IRIMO I. Iran Meteorological Organization. <http://irimo.ir/eng/wd/720-Products-Services.html> (2019).
18. Ellingwood, Bruce R. and Paulos Beraki Tekie. "Wind load statistics for probability-based structural design", *Journal of Structural Engineering*, **125**(4), pp. 453-463 (1999).
19. Bartlett FM, Hong HP, Zhou W. "Load factor calibration for the proposed 2005 edition of the national building code of Canada: Statistics of loads and load effects", *Canadian Journal of Civil Engineering*, **30**(2), pp. 429-39 (2003).
20. Bartlett, FM., Dexter, RJ., Graeser, MD. and et al. "Updating standard shape material properties database for design and reliability", *Engineering Journal-American Institute of Steel Construction Inc*, **40**(1), pp. 2-14 (2003).
21. ISO 2394, I.S.O. "General principles on reliability for structures", Zurich: ISO, 1998.
22. Taly, Narendra., *Highway Bridge Superstructure Engineering: LRFD Approaches to Design and Analysis*, CRC Press (2014).
23. Chen, Wai-Fah, and Seung-Eock Kim., *LRFD Steel Design Using Advanced Analysis*, **13**, CRC press (1997).
24. LRFD A. American Institute of Steel Construction (AISC)., *Load and Resistance Factor Design*, Chicago: AISC (1994).
25. American Society of Civil Engineers (ASCE). "Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures", ASCE/SEI 7-16 (2016).