# بررسی تطبیقی روش‌های تعیین سرعت باد و بارگذاری سازه‌ها در آئین‌نامه‌های ساختمانی ایران و ژاپن



علیرضا توانا
دانشجوی دکترای عمران،
دانشگاه توکیو، ژاپن
A.tavana@bridge.t.u-tokyo.ac.jp

## ۱- چکیده

بار باد یکی از مهم‌ترین بارهای محیطی است که باید در طراحی و ساخت سازه‌ها مورد توجه قرار گیرد. محاسبات این بار در سال ۱۳۹۲ به‌طور رسمی در قالب فصل ششم مقررات ملی ساختمان ایران بازنگری و به‌روز شد. از آنجا که این فصل نسبتاً جدید است، هنوز در بسیاری از بخش‌ها جای بهبود دارد. در مقابل، کشور ژاپن با سابقه‌ای طولانی در زمینه ایمنی سازه و قرارگیری در یکی از پر حادثه‌ترین مناطق جهان از نظر وقوع طوفان‌ها و بادهای شدید، آئین‌نامه‌ای دقیق، جامع و توسعه‌یافته برای بار باد دارد. در این مقاله، آئین‌نامه‌های ایران و ژاپن در بخش‌های مختلف از جمله تعیین سرعت طراحی باد، محاسبه ضرایب فشار داخلی و خارجی، ضریب جهش و نیروهای وارد بر اعضای سازه‌ای مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد که آئین‌نامه ژاپن، با ارائه جداول و روش‌های شفاف‌تر، به کاربران امکان درک دقیق‌تری از الزامات طراحی را می‌دهد. این امر نه‌تنها ایمنی را تأمین می‌کند، بلکه از طراحی‌های غیرضروری و پرهزینه‌ی محافظه‌کارانه نیز جلوگیری می‌نماید. در نهایت، با توجه به رویکرد نگارندگان آئین‌نامه ایران در استقبال از پیشنهادات، با الهام از نقاط قوت آئین‌نامه ژاپن و ضمن توجه به محدودیت‌های اجرایی و اقتصادی ایران، می‌توان زمینه را برای اعمال تغییرات تدریجی و هدفمند جهت ارتقای دقت و کارایی مقررات ملی فراهم آورد.

## ۲- مقدمه

طراحی سازه‌های مقاوم در برابر بارهای ناشی از باد، یکی از چالش‌های اصلی مهندسی عمران در مناطق بادخیز به شمار می‌رود. در مناطقی که در معرض طوفان‌ها، گردبادها و تندبادهای شدید قرار دارند، توجه به تأثیر باد در طراحی سازه نه‌تنها از نظر ایمنی، بلکه از منظر اقتصادی نیز حائز اهمیت است. برای دستیابی به طراحی‌های ایمن و مقرون‌به‌صرفه، تدوین آئین‌نامه‌هایی دقیق و متناسب با شرایط اقلیمی و سازه‌ای هر کشور ضروری است. این آئین‌نامه‌ها باید مبتنی بر داده‌های تجربی، تحلیل‌های آماری، مدل‌سازی عددی و بررسی‌های میدانی باشند[۱,۲].

در این مطالعه، ضوابط مربوط به بارگذاری باد در آئین‌نامه‌های ساختمانی ایران و ژاپن به‌صورت تطبیقی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. آئین‌نامه ایران که در سال ۱۳۹۲ در قالب ویرایش جدید مبحث ششم مقررات ملی ساختمان منتشر شده است، تلاش کرده با حفظ سادگی و کاربردی‌بودن، ضوابط قابل قبولی برای طراحی سازه‌ها در برابر باد ارائه دهد[۱]. در مقابل، آئین‌نامه ژاپن، که متعلق به کشوری با سابقه طولانی در مواجهه با بلایای طبیعی به‌ویژه طوفان‌های شدید است، به‌صورت مفصل‌تر و با جداول و نمودارهای دقیق‌تری به تحلیل اثر باد در شرایط مختلف پرداخته است[۲]. این تفاوت در رویکرد، می‌تواند در روند طراحی، هزینه ساخت و ضریب اطمینان سازه‌ها تاثیرگذار باشد. خوشبختانه، نگاه نگارندگان آئین‌نامه ایران به گونه‌ای است که امکان بازنگری و اصلاح بر اساس تجربیات جدید و پیشنهادات کارشناسانه وجود دارد، و این زمینه را برای بهره‌گیری از تجارب بین‌المللی، از جمله آئین‌نامه ژاپن، فراهم می‌سازد.

در مطالعه‌ی کاکایی و همکاران در سال ۱۴۰۰ [۳] ترکیبات بار باد بر اساس تحلیل قابلیت اعتماد بررسی شده و نتیجه گرفته شده که سطح ایمنی ترکیبات بار باد در آئین‌نامه ایران کمتر از مقدار هدف است. یکی از دلایل اصلی این موضوع، کمتر در نظر گرفتن سرعت مبنای باد عنوان شده است، موضوعی که اهمیت بازنگری دقیق در این بخش از آئین‌نامه را دوچندان می‌کند. پژوهش کوان و کریم [۴] به مقایسه جامع آئین‌نامه‌های بین‌المللی بار باد و ارزیابی اثرات آن‌ها بر ساختمان‌های بلند پرداخته است. این مطالعه با تحلیل مفاد آئین‌نامه‌های مختلف، به تفاوت‌ها و شباهت‌های موجود در الزامات پایداری و بهره‌برداری در جهت‌های باد طولی و عرضی می‌پردازد و بر اهمیت درک این تفاوت‌ها در تدوین یا تطبیق آئین‌نامه‌ها تأکید دارد.

در این مقاله، در همین راستا، جنبه‌های مختلف آئین‌نامه‌های ایران و ژاپن از جمله روش تعیین سرعت طراحی باد، ضرایب فشار، و نیروهای وارد بر اعضای سازه‌ای مورد تحلیل تطبیقی قرار گرفته‌اند. هدف آن است که با تکیه بر تحلیل این تفاوت‌ها، راهکارهایی برای بهبود دقت، شفافیت و کارایی آئین‌نامه ایران در چارچوب شرایط اجرایی کشور پیشنهاد گردد.

## ۳- مقایسه بارگذاری باد در دو آئین‌نامه ایران و ژاپن

مقایسه حاضر به‌صورت نظام‌مند و با هدف تحلیل تطبیقی دو آئین‌نامه ایران و ژاپن در زمینه بارگذاری باد انجام شده است. تمرکز اصلی این مطالعه بر دو محور کلیدی است: نخست، نحوه تعیین سرعت باد مبنای طراحی که شامل ضرایب اصلاح‌کننده برای دوره بازگشت، جهت باد، فصل و ضریب ارتفاع و ناهمواری زمین است؛ و دوم، روش محاسبه بار باد وارد بر سازه که مواردی نظیر ضرایب فشار خارجی و داخلی و ضریب جهش را در بر می‌گیرد. در ادامه، هر یک از این دو محور در قالب زیرعنوان‌های جداگانه بررسی خواهند شد تا تفاوت‌ها و شباهت‌های موجود بین دو آئین‌نامه به‌صورت دقیق و کاربردی مشخص گردد.

### ۳-۱- سرعت مبنای باد و ضرایب اصلاح‌کننده در آئین‌نامه‌های ایران و ژاپن

در آئین‌نامه ژاپن، سرعت مبنای باد به‌صورت میانگین ۱۰ دقیقه‌ای در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین هموار و با دوره بازگشت ۱۰۰ سال تعریف می‌شود. این رویکرد، که متکی بر سوابق طولانی‌مدت بادهای شدید است، ارزیابی دقیق‌تری از شرایط باد در مناطق مختلف را امکان‌پذیر می‌سازد. آئین‌نامه ژاپن همچنین با ارائه دو نقشه مجزا برای دوره‌های بازگشت ۱۰۰ و ۵۰۰ سال، انعطاف‌پذیری و دقت انتخاب بیشتری را برای شرایط خاص طراحی فراهم می‌آورد. در مقابل، در آئین‌نامه ایران، سرعت مبنا بر اساس داده‌های ساعت ۸ صبح ۵۸ ایستگاه منتخب سازمان هواشناسی کشور و با دوره بازگشت ۵۰ سال تعیین شده و در قالب جدول ارائه می‌گردد. بدیهی است که استفاده از نقشه، به دلیل پوشش جغرافیایی پیوسته، دقت و جامعیت به‌مراتب بیشتری را نسبت به جداول ایستگاهی در طراحی سازه‌ها فراهم می‌کند. در ادامه، ضرایب اصلاح‌کننده‌ای بررسی می‌شوند که جهت تعدیل این سرعت مبنا با توجه به شرایطی نظیر توپوگرافی، ارتفاع و نوع زمین در هر دو آئین‌نامه به‌کار گرفته می‌شوند.

#### ۳-۱-۱- ضریب تبدیل دوره بازگشت و ضریب جهت باد و ضریب فصل

در آئین‌نامه ژاپن، امکان تبدیل سرعت مبنا بین دوره‌های بازگشت مختلف از طریق فرمول شماره ۱ فراهم شده است که برای طراحی سازه با سطوح

جدول ۱- دسته بندی انواع زمین در دو آئین‌نامه ایران و ژاپن

| انواع زمین در آئین‌نامه ژاپن | انواع زمین در آئین‌نامه ایران |
|---|---|
| دسته یک: دریا، دریاچه، سطوح صاف | زمین باز: ساختمان ها و درختان پراکنده و یا دریاچه و دریا و یا کنار ساحل |
| دسته دو: دشت، چمنزار، زمین زراعی با موانع کم | |
| دسته سه: حاشیه شهرها، ساختمانهای کوتاه یا ساختمان‌های بلند پراکنده | |
| دسته چهار: مناطق شهری، مناطقی با ساختمانهای بلند (۴ تا ۹ طبقه) | زمین پرتراکم: زمین حومه شهری، شهری و جنگل پرتراکم |
| دسته پنج: مرکز شهر با ساختمان‌های بلند متراکم (بیش از ده طبقه) | |

اهمیت متفاوت کاربرد دارند. در مقابل، آئین‌نامه ایران تنها سرعت باد با دوره بازگشت ۵۰ سال را ارائه می‌دهد و فاقد ابزاری برای تبدیل به دوره‌های بازگشت دیگر است، که می‌تواند در طراحی سازه‌های حساس محدودیت ایجاد کند.

$$K_{RW} = ۰.۶۳(\frac{U_{۵۰۰}}{U_{۰}} - ۱) \ln t_R - ۲.۹ \frac{U_{۵۰۰}}{U_{۰}} + ۳.۹ \quad (۱)$$

$U_{۵۰۰}$ سرعت باد ده دقیقه در ده متری سطح زمین با دوره بازگشت پانصد سال بر زمین هموار، $U_{۰}$ سرعت مبنای باد است و همچنین $t_R$ دوره بازگشت دلخواه است.

### ۳-۱-۲- ضریب جهت باد و ضریب فصل

تفاوت قابل توجهی در ضریب جهت باد در دو آئین‌نامه دیده می‌شود. آئین‌نامه ژاپن برای هر یک از ۱۴۲ ایستگاه خود، ضریب اصلاح ($K_D$) را برای هشت جهت اصلی باد با استفاده از آزمایش‌های تونل باد یا شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) تعیین کرده است. در مقابل، آئین‌نامه ایران فاقد ضریب جهت باد است؛ این خلأ می‌تواند منجر به طراحی‌های یکنواخت غیر اقتصادی شده و یا ایمنی سازه را در برابر بادهای غالب منطقه به شکل دقیقی تامین نکند. نکته مهم، تراکم بالای ایستگاه‌های باد در ژاپن است؛ کشوری با کمتر از یک‌چهارم وسعت ایران تقریباً سه برابر ایستگاه‌هایی برای اندازه‌گیری سرعت و جهت باد، در اختیار دارد.

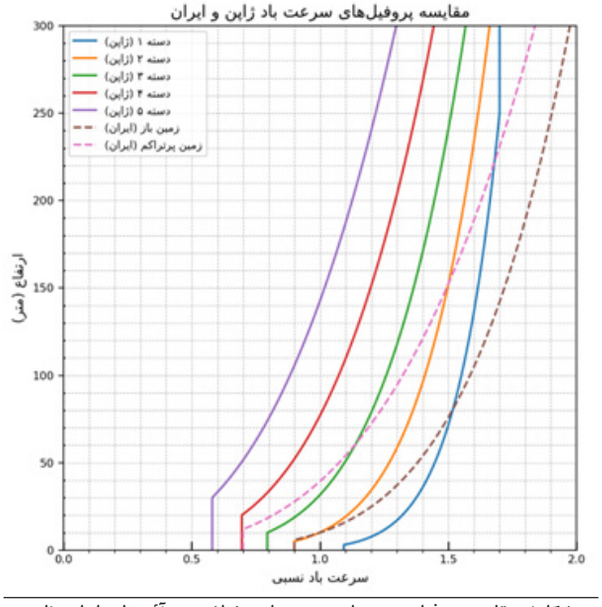
آئین‌نامه ژاپن برای فصل زمستان نقشه‌ای از ضرایب کمتر از ۱ ارائه داده است و برای فصول دیگر ضریب فصل را برابر ۱ در نظر می‌گیرد. این بخش ممکن است متناقض به‌نظر برسد، زیرا معمولاً باد در زمستان قوی‌تر است اما در ژاپن بادهای پرقدرت در فصل طوفان می‌وزند که معمولا در تابستان و پاییز رخ می‌دهد و نه در زمستان. طبق آئین‌نامه ژاپن، تنها یکی از ضرایب جهت یا فصل را می‌توان اعمال کرد زیرا در فصل سرد ژاپن بادها غالباً از شمال غرب و در فصل گرم از شرق و جنوب شرق می‌وزند. ضریب تغییرات فصلی نیز در آئین‌نامه ایران لحاظ نشده است.

### ۳-۱-۳- ضریب نمای ارتفاع (پروفیل سرعت) و ضریب ناهمواری زمین (توپولوژی)

آئین‌نامه ژاپن برای پنج دسته‌بندی مختلف زمین ضریب‌های مشخصی ارائه می‌دهد. در مقابل، آئین‌نامه ایران دو نوع زمین را در نظر گرفته و رویکرد متفاوت و ساده‌تری دارد. این دسته بندی در جدول ۱ آورده شده است. در آئین‌نامه ژاپن همچنین شدت تلاطم برای هر نوع زمین نیز مشخص شده، ولی آئین‌نامه ایران به این موضوع نمی‌پردازد. جدول (۱)

### دسته پنج: مرکز شهر با ساختمان‌های بلند متراکم (بیش از ده طبقه)

با توجه به فرمولهای دو آئین‌نامه، هر هفت پروفیل سرعت در شکل ۱ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب تصحیح ایران با افزایش ارتفاع به‌صورت محافظه‌کارانه‌تری افزایش می‌یابد و برای سطوح باز مانند دریا در ارتفاع پایین ضریب تصحیح ایرانی محافظه‌کارانه‌تر است. در صورت تأمین ایمنی تفکیک به دسته‌های بیشتر به روش آئین‌نامه ژاپن می‌تواند از هزینه ساخت سازه بکاهد.




شکل ۱- مقایسه پروفیل سرعت باد در زمین‌های مختلف در دو آئین‌نامه ایران و ژاپن

برای ناهمواری زمین، آئین‌نامه ژاپن توصیه می‌کند که برای ناهمواری های خاص، از شبیه‌سازی CFD استفاده شود و در صورت عدم امکان، روش‌های ساده‌تر جدول‌مند استفاده شود. اگر شیب کمتر از ۷.۵ درجه یا نسبت فاصله به ارتفاع ناهمواری $x/h$ خارج از بازه تعیین شده در جداول باشد، اثر ناهمواری نادیده گرفته می‌شود. در غیر این صورت از فرمول زیر استفاده می‌شود.

(۲)

$$E_g = (C_1 - 1)\left\{C_2\left(\frac{Z}{H_s} - C_2\right) + 1\right\}\exp\left\{-C_2\left(\frac{Z}{H_s} - C_2\right)\right\} + 1 \quad and \quad E_g \geq 1$$

جدولی برای تعیین پارامترهای $C_1$، $C_2$ و $C_3$ بر حست شیب و x/h داده شده است. همچنین فرمول مشابهی برای در نظرگرفتن تلاطم داده شده است که در آئین‌نامه ایران در نظرگرفته نمی‌شود. Z ارتفاع از زمین و $H_s$ ارتفاع ناهمواری است. در آئین‌نامه ایران اما توضیحات کمی تقریبی‌تر است. اگر ناهمواری ۱ کیلومتر یا ۲۰ برابر ارتفاع سازه امتداد یابد باید در نظرگرفته شود. اگر کمتر از یک کیلومتر باشد و یا ارتفاع سازه کمتر از ۱۰۰ متر باشد می‌توان ضریب اصلاحی را با میانیابی بین زمین صاف و پیچیده محاسبه کرد. برای سازه‌های روی برآمدگی فرمول سه پارامتری زیر برای سه نوع زمین (تپه دو بعدی، پرتگاه دو بعدی و تپه سه‌بعدی) آورده شده است.

(۳)

$$E_g = \left\{1 + \Delta S_{max}\left(1 - \frac{|x|}{KL_h}e^{\left(\frac{-\alpha z}{L}\right)}\right)\right\}^2$$

که در آن $\Delta S_{max}$ ضریب خیز، α ضریب کاهش و K عدد ثابت است که برای سه نوع بلندی مذکور در جدولی تعیین شده اند. $\Delta S_{max}$ در رابطه خطی با شیب ناهمواری تغییر می‌کند.

## ۳-۲- بارگذاری باد

پس از تعیین سرعت و فشار مبنای باد، گام بعدی در طراحی سازه‌ها، محاسبه‌ی ضرایب تصحیح برای فشارناشی از باد بر اجزای مختلف ساختمان است. در این زمینه، آئین‌نامه ژاپن رویکردی نظام‌مند و چندمرحله‌ای را در پیش گرفته و برای تحلیل بار باد، مجموعه‌ای از ضرایب مؤثر را به صورت تفکیک‌شده تعریف می‌کند. این ضرایب، شامل ضرایب فشار خارجی، فشار داخلی، و ضریب جهش بوده و در نهایت به محاسبه‌ی بار مؤثر بر سازه منجر می‌شوند. این ضرایب در فرمول زیر آورده شده‌اند.

(۴)

$$C_D = C_{pe1} - C_{pe2}$$

$$C_R = C_{pe} - C_{pi}$$

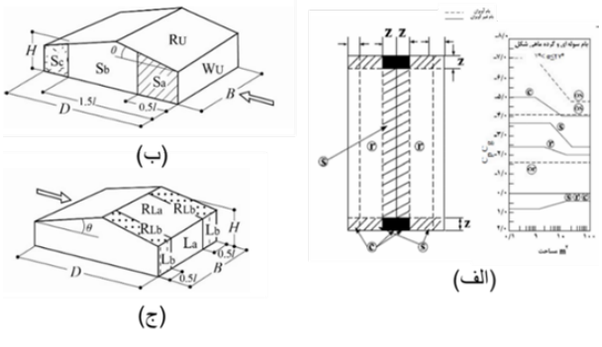
$$\widehat{C_C} = \widehat{C_{pe}} - C^*_{pi}$$

ضرایب $C_{pe1}$ فشار خارجی رو به باد و $C_{pe2}$ فشار خارجی پشت به باد، $C_{pe}$ فشار خارجی بر بام، $C_{pi}$ فشار داخلی، ($\widehat{C_C}$) ضریب جهش باد، $C_{pe}$ ضریب جهش فشار خارجی و $\widehat{C_{pi}}$* ضریب تاثیر نوسانات فشارهای داخلی است.

### ۳-۲-۱- ضریب فشار خارجی

در آئین‌نامه ایران، ضرایب فشار خارجی بر سطوح به‌طور مستقیم برای سرعت باد یک ثانیه‌ای و بر اساس انجام آزمایش‌های تونل باد ارائه شده‌اند. این ضرایب در دو حالت کلی تنظیم شده‌اند: باد عمود بر سازه و باد موازی. برای باد موازی با سازه بدون توجه به زاویه سقف، یک ضریب ارائه شده است. در حالت باد عمودی، زاویه‌ی سقف تعیین‌کننده است و ضرایب برای محدوده‌های مشخصی از جمله ۰،۵،۳۰،۴۵ و ۹۰ درجه ارائه شده‌اند. برای اجزای سازه‌ای و پوسته‌های خارجی سقف‌های با زاویه کمتر یا مساوی ۷ درجه، ضرایب جداگانه‌ای برای سطوح تعریف شده است. همچنین، نمودارهای جداگانه‌ای برای سقف‌های تخت و شیروانی با زوایای مختلف در نظر گرفته شده است. در آئین‌نامه ژاپن از طرفی، طبقه‌بندی ضرایب به صورت نظام‌مندتری انجام شده است. برای هریک از دیواره‌های رو به باد، پشت به باد و دیواره‌های جانبی جداولی بر اساس ابعاد (مانند عمق در مقایسه با ارتفاع یا عرض در مقایسه با ۶ برابر ارتفاع) و زاویه سقف تعریف شده است. ساختار کلی آئین‌نامه ژاپن انعطاف‌پذیری بیشتری در مدلسازی هندسه‌های پیچیده فراهم می‌کند. برای سقف‌های تخت و شیروانی، آئین‌نامه ژاپن علاوه بر زاویه‌ی سقف، نسبت ابعاد ساختمان را نیز در نظر می‌گیرد. در مورد سقف‌های شیروانی و یک‌طرفه، ضرایب فشار با دقت زاویه‌ای بالا (به‌صورت گام‌های ۵ درجه بین ۱۰ تا ۴۵ درجه) ارائه شده‌اند. همچنین انواع متنوعی از سقف‌ها از جمله سقف‌های هرمی، قوسی و گنبدی به‌طور مجزا بررسی و ضرایب خاص هریک تعریف شده‌اند. این تنوع، ضمن افزایش دقت، فرایند طراحی را برای هندسه‌های پیچیده ساده‌تر می‌کند. در مقابل، آئین‌نامه ایران تنها یک نمودار کلی برای تعیین ضرایب فشار سقف ارائه می‌دهد. به‌عنوان نمونه، برای سقف‌های شیروانی صرفاً یک مجموعه ضرایب وجود دارد که همه حالات مختلف را پوشش نمی‌دهد. این سادگی ممکن است منجر به خطاهای محاسباتی یا طراحی بیش از حد محافظه‌کارانه شود، چراکه طراح ناچار است در مواجهه با ابهام، شرایط بحرانی‌تری را در نظر بگیرد.

برای روشن‌ترشدن این تفاوت، در ادامه رویکرد دو آئین‌نامه را در محاسبه‌ی بار باد بر سقف‌های شیروانی به‌صورت موردی مقایسه خواهیم کرد. همان طور که نوشته شده بود در آئین‌نامه ایران شکل ۲_الف برای این مدل سقف آورده شده و برای محاسبه ضرایب بر سطوح مختلف از نمودار استفاده می‌شود. در آئین‌نامه ژاپن ابتدا سطوح در شکل ۲_ب و ۲_ ج آورده شده سپس ضرایب مقاطع رو به باد و پشت به باد سقف در جداول ۲ و ۳ آورده شده اند. این مقایسه نشان دهنده دقت و وضوح آئین‌نامه ژاپن است. جدول (۲)




شکل ۲- فشار خارجی بر سقف شیروانی الف) ضریب ترکیبی بر مقاطع مختلف در آئین‌نامه ایران ب) مقاطع مشخص شده رو به باد در آئین‌نامه ژاپن ج) مقاطع مشخص شده پشت به باد در آئین‌نامه ژاپن

جدول ۳- جدول محاسبه بار باد در مقطع سقف پشت به باد $R_{Lb}$,$R_{La}$

| زاویه بام | $R_{La}$ | $R_{Lb}$ | |
|---|---|---|---|
| | | ۶H>B | ۶H<B |
| (۱۰,۱۵] | ۰٫۶- | ۰٫۶- | ۱٫۱- |
| [۱۵,۴۵] | ۰٫۶- | ۰٫۶- | ۱٫۴- |

جدول ۲- جدول محاسبه بارباد در مقطع سقف رو به بادR_U

| زاویه سقف | مثبت | منفی | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | H<D | | | D<H | | |
| | | B>6H | B=4H | B<2H | B>6H | B=4H | B<2H |
| ۱۰ | ۰ | ۰٫۹- | ۰٫۸- | ۰٫۸- | ۱٫۲- | ۱٫۱- | ۱٫۰- |
| ۱۵ | ۰ | ۰٫۶- | ۰٫۶- | ۰٫۶- | ۰٫۹- | ۰٫۸- | ۰٫۷- |
| ۲۰ | ۰٫۱ | ۰٫۴- | ۰٫۴- | ۰٫۴- | ۰٫۷- | ۰٫۶- | ۰٫۵- |
| ۲۵ | ۰٫۱ | ۰٫۳- | ۰٫۳- | ۰٫۲- | ۰٫۵- | ۰٫۴- | ۰٫۳- |
| ۳۰ | ۰٫۲ | ۰٫۲- | ۰٫۱ | ۰ | ۰٫۴- | ۰٫۳- | ۰٫۲- |
| ۳۵ | ۰٫۳ | ۰٫۱- | ۰ | ۰ | ۰٫۲- | ۰٫۱- | ۰ |
| ۴۰ | ۰٫۴ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰٫۱- | ۰٫۱- | ۰ |
| ۴۵ | ۰٫۴ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |

### ۳-۲-۲- فشار داخلی ضریب جهش و موارد تکمیلی

در آئین‌نامه ایران، ضریب فشار داخلی برای سه نوع ساختمان (بدون بازشو، با بازشوی معمولی، با بازشوی بزرگ) به‌ترتیب برابر ۰٫۱۵-، ۰٫۳- و ۰٫۷- تعریف شده است. در مقابل، آئین‌نامه ژاپن فقط برای ساختمان‌های بدون بازشوی غالب، مقادیر ۰ یا ۰٫۴- را ارائه می‌دهد.

در بخش بارگذاری بر اجزا، آئین‌نامه ایران توضیحات کیفی درباره دیوارهای داخلی، سقف‌های غشایی، خرپاها و کابل‌ها ارائه داده و برای جزئیات به کتاب راهنما ارجاع داده است. این رویکرد، هرچند متداول، می‌تواند در عمل به‌دلیل عدم دسترسی یکسان، منجر به ناهماهنگی‌هایی در طراحی شود. در مقابل، آئین‌نامه ژاپن به‌صورت دقیق‌تر و با ارائه جداول بر اساس شکل و جنس سطح، مقاطع مختلف شامل دایره‌ای، بیضوی، مثلثی، شش‌ضلعی و مشبک را پوشش داده است. این رویکرد تنوع و دقت بیشتری را در طراحی فراهم می‌سازد، در حالی که آئین‌نامه ایران بر مقاطع مستطیلی تمرکز دارد و ممکن است در شرایطی محدودیت ایجاد کند. در آئین‌نامه ایران، ضرایب جهش به‌طور کلی تعیین شده‌اند: ۲ برای کل ساختمان، ۲٫۵ برای فشار خارجی و ۲ برای فشار داخلی؛ با امکان اصلاح در نواحی مرتفع. آئین‌نامه ژاپن برای هر مقطع، جدول دقیق ضرایب ارائه می‌دهد که بر اساس ویژگی‌های هندسی تنظیم شده‌اند. این بخش در آئین‌نامه ایران تنها دو صفحه اما در آئین‌نامه ژاپن بیش از یازده صفحه را شامل می‌شود.

در مورد ارتعاشات ناشی از باد، آئین‌نامه ایران تنها یک فرمول کلی ارائه داده، اما آئین‌نامه ژاپن روش محاسبه دقیق بارگردبادی و نحوه در نظر گرفتن آن در طراحی را شرح می‌دهد. آئین‌نامه ایران در اینجا خاتمه می‌یابد و محاسبه بار با استفاده از یک فرمول کلی تبدیل سرعت مبنا به فشار مبنا و تصحیح آن انجام میشود حال آن که آئین‌نامه ژاپن با راهنمای محاسبات انواع بار بر انواع سازه‌ها، توضیح ضرایب، ترکیب بارها، معرفی کاربرد CFD و بررسی پاسخ ارتعاشی و خستگی، پوشش جامع‌تری ارائه می‌دهد.

## ۴- جمع‌بندی

در این مقاله، آئین‌نامه‌های ایران و ژاپن از نظر نحوه محاسبه سرعت پایه و بارگذاری باد مقایسه شدند. یکی از تفاوت‌ها به روش تعیین سرعت باد طراحی بازمی‌گردد؛ آئین‌نامه ژاپن ضرایب دقیق‌تری برای ارتفاع و ناهمواری زمین ارائه می‌دهد. همچنین، آئین‌نامه ایران فاقد ضرایبی برای دوره بازگشت، جهت باد و فصل است. محاسبات شدت تلاطم نیز در آئین‌نامه ایران لحاظ نشده است.

آئین‌نامه ژاپن در محاسبه ضرایب تصحیح فشار باد نیز ساختارمندتر و جزئی‌تر عمل می‌کند. ضرایب فشار خارجی و داخلی، ضریب جهش، و اثرات پدیده‌هایی چون ارتعاشات گردبادی به‌صورت دقیق و همراه با جداول کامل در این آئین‌نامه ارائه شده‌اند. همچنین، وجود راهنمای گام‌به‌گام در انتهای آئین‌نامه ژاپن موجب افزایش شفافیت و کاربردپذیری آن در عمل می‌شود.

درمجموع، تحلیل تطبیقی نشان می‌دهد که آئین‌نامه ژاپن، علیرغم پیچیدگی ظاهری، با فراهم آوردن چارچوبی دقیق و جامع، امکان طراحی ایمن، اقتصادی و بهینه را برای مهندسان فراهم می‌سازد. این امر به‌ویژه در کاهش محافظه‌کاری‌های غیرضروری و افزایش قابلیت اطمینان سازه‌ها نمود پیدا می‌کند. بهره‌گیری هوشمندانه از تجربیات آئین‌نامه‌ی ژاپن و تطبیق گزینشی آن با شرایط اقلیمی، اجرایی و اقتصادی ایران، می‌تواند نقشه راهی مؤثر برای ارتقای مستمر دقت، ایمنی و کارایی در طراحی سازه‌های کشور ترسیم کند.

## ۵- مراجع

[۱]وزارت راه و شهرسازی. مبحث ششم مقررات ملی ساختمان - بارهای وارد بر ساختمان. چاپ دوم، تهران: دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲.

[۲]انجمن مهندسان معمار ژاپن (AIJ). AIJ Recommendations for Loads on Buildings,نسخه ۲۰۱۵، توکیو، سازمان معماری ژاپن، ۲۰۱۵.

[۳] کاکائی، آرمان؛ سلیمی، م.ر.؛ آماده، ر.؛ نوبخت وکیلی، کامران و یزدانی، آزاد. «ارزیابی قابلیت اعتماد ترکیبات بار باد بر اساس مقررات ملی ساختمان ایران International Journal of Civil Engineerin ، دوره ۳۷، شماره ۲، صفحات ۱۱- ۲۰۲۱،۱۸.

[۴] کوان، دائه و کریم، احسان، «مطالعه تطبیقی آئین‌نامه‌ها و استانداردهای بین‌المللی مهم بار باد و اثرات باد بر ساختمان‌های بلند»، مهندسی سازه‌ها، جلد ۵۱، صفحات ۲۳-۳۵، ۲۰۱۳.