

# تحقیق پیرامون ضریب دوره بهره‌برداری و اثر آن بر ملاحظات ایمنی و اقتصادی در طراحی ساختمان

محمدصادق معرفت\* و عباس طحانی\*\*

دانشکده فنی، دانشگاه تهران

(دریافت مقاله: ۸۰/۷/۷ - دریافت نسخه نهایی: ۸۲/۶/۱)

**چکیده** - در پروژه‌های مهندسی امروزی، ساختمانها عموماً برای عمر مفیدی برابر ۵۰ سال طراحی می‌شوند. این فرض می‌تواند برای ساختمانهای با عمر کوتاه، به هزینه‌های اضافی و برای ساختمانهای با عمر بلندتر، به کاهش سطح ایمنی بیانجامد. در این مقاله، روشی برای اعمال اثر دوره بهره‌برداری ارائه شده که در آن، ضریب دوره بهره‌برداری در مقادیر اسمی بارهای زنده، زلزله، باد و برف ضرب می‌شود. بررسیها نشان می‌دهد که اعمال این ضریب می‌تواند تا ۶۰ درصد از مقدار بار زلزله را برای ساختمانهای موقت بکاهد، و تا ۵۰ درصد بر مقادیر بارهای دوره‌ای، برای دوره‌های بهره‌برداری ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساله بیفزاید. بدین ترتیب، اثر دوره بهره‌برداری به گونه‌ای معنی‌دار در ملاحظات طراحی ساختمانها منعکس می‌شود.

**واژگان کلیدی:** دوره بهره‌برداری، دوره بازگشت، عمر مفید، ضریب دوره بازگشت، ضریب دوره بهره‌برداری، بار زلزله، زلزله طرح، بار برف، بار باد، بار زنده، طراحی سازه‌ای

## Study of the Service-life Factor and its Effects on Safety and Economic Considerations in Building Design

M. S. Marefat and A. Tahani

Department of Civil Engineering, University of Tehran

**Abstract:** In the current engineering practices, buildings are commonly designed for an effective lifetime of 50 years. This lifetime can increase the cost of buildings with short lifetimes and can reduce the safety level of buildings with large lifetimes. In this paper, a "service-life factor" has been defined. Applying this factor into the nominal values of live, earthquake, wind, and snow loads, the effect of service-lifetime is taken into consideration. The study shows that the magnitude of seismic load can be reduced by 60% and those of other periodic loads by 30% for temporary buildings. An increase of 50% in the periodic loads was also observed for service-lifetime of 150–200 years. These effects indicate a meaningful improvement in economy and safety of buildings if the service-life factor is considered.

**Keywords:** Service period, Return period, Effective lifetime, Return period factor, Seismic load, Snow load, Wind load, Live load, Structural design.

\*\* - کارشناسی ارشد

\* - دانشیار

A	پارامتر مقیاس در تابع ویبول	RPF <sub>W</sub>	ضریب دوره بهره برداری برای بار باد
C	پارامتر شکل در تابع ویبول	T	دوره بازگشت
$f_X(x)$	تابع چگالی احتمال متغیر تصادفی X	V	ضریب پراکندگی
$F_X(x)$	تابع تجمعی احتمال متغیر تصادفی X	X	متغیر تصادفی
L	عمر مفید	x	مقدار متغیر تصادفی
m	تعداد	$X_T$	بار متناظر با دوره بازگشت T
p	مقدار احتمال	$X_{50}$	بار متناظر با دوره بازگشت ۵۰ سال
q	مکمل مقدار احتمال	$\alpha$	پارامتر اول تابع گامبل
$R_K$	احتمال ریسک	u	پارامتر دوم تابع گامبل
RPF	ضریب دوره بازگشت	$\mu$	میانگین
RPF <sub>E</sub>	ضریب دوره بهره برداری برای بار زلزله	$\sigma$	انحراف معیار
RPF <sub>L</sub>	ضریب دوره بهره برداری برای بار زنده	$\gamma$	ثابت اولر
RPF <sub>S</sub>	ضریب دوره بهره برداری برای بار برف		

## ۱- مقدمه

سازه لزوماً ارتباطی با اهمیت آن ندارد. چه بسا که یک سازه موقت کارگاهی، محل کار دهها متخصص و یا انبار تجهیزات گرانبها باشد که در این صورت، علی‌رغم عمر مفید کوتاه، از اهمیت زیادی برخوردار است. برعکس ممکن است یک انبار برای مدت طولانی، هفتاد سال، طراحی شود، اما این عمر طولانی دلیلی بر اهمیت آن نباشد. اشکال دومی که در این خصوص به چشم می‌خورد این است که برای ساختمانهای با عمر مفید کمتر از دو سال، ضریب کاهش مساوی ۰/۸ پیشنهاد شده است که این ضریب با ملاحظات دوره بازگشت، قابل تایید نیست. به طوری که مقدار محاسبه شده در این مطالعه به عددی برابر ۰/۲۳ منتهی شده است. در مجموع تفکیک دو مقوله اهمیت و عمر مفید قابل تامل است.

گذشته از موارد فوق، آیین نامه‌ها عموماً هیچ توصیه‌ای برای اصلاح مقادیر بارهای زلزله، زنده، باد و برف براساس دوره بهره‌برداری به عمل نیاورده‌اند. بدین لحاظ، در این مقاله سعی شده است تا روشی برای دخالت دادن عمر مفید برای

امروزه در روشهای کلاسیک طراحی ساختمانها، مقادیر اسمی بارها عموماً براساس دوره بازگشتی<sup>۱</sup> برابر ۵۰ سال تعیین می‌گردد [ ۱ - ۹ ]. در این پروژه‌ها، بارگذاریهای دوره‌ای مهم عبارت اند از: بار زلزله، بار زنده، بار برف، و بار باد. در عمل بسیار اتفاق می‌افتد که یک پروژه مهندسی برای دوره‌ای کوتاهتر یا بلندتر طراحی شود. آشکار است که هر چه دوره بهره‌برداری و عمر مفید یک پروژه بزرگتر باشد، بارهای بزرگتری احتمال وقوع می‌یابد. در روشهای موجود، امکان اعمال اثر دوره بهره برداری در محاسبه بارهای دوره‌ای وجود ندارد. تنها در مورد زلزله اشاره‌ای به ساختمانهای موقت شده، که به دنبال مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، هنگام تعریف ضریب اهمیت، سازه‌ها به سه دسته تقسیم شده‌اند: مهم، معمولی، و کم اهمیت. یکی از موارد ساختمان کم اهمیت، ساختمانهای موقت با عمر مفید کمتر از دو سال است. اما باید توجه کرد که عمر مفید

به عنوان مثال، اگر بارگذاری مینا برای زلزله، زلزله‌ای با احتمال وقوع ۱۰ درصد در طول عمر مفید سازه تعیین شود [۶]، با توجه به عمر مفید مفروض ۵۰ سال خواهیم داشت:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - 0.1)^{1/50}} = 475$$

به عبارت دیگر، دوره بازگشت زلزله باید بیش از ۴۷۵ سال باشد تا در طول ۵۰ سال عمر مفید سازه، احتمال وقوع آن کمتر از ۱۰ درصد شود [۵].

### ۳- رابطه عمر مفید و مقدار اسمی بار

برای آنکه بتوان اثر عمر مفید سازه را در طراحی اعضا دخالت داد، ابتدا لازم است که مقادیر اسمی بارها را برحسب دوره بازگشت، و در نتیجه برحسب عمر مفید سازه به دست آورد.

به طور کلی بارهای متغیر با زمان را، به دلیل داشتن طبیعت دوره‌ای، می‌توان با تابعهای توزیع مقادیر حدی مدل کرد [۷]. مطابق مطالعات انجام شده، بارهای زنده و باد را می‌توان با توزیع حدی نوع ۱<sup>۱</sup> (توزیع گامبل) و بار برف را با توزیع حدی نوع ۲<sup>۲</sup> بیان کرد [۴ و ۵ و ۷ - ۹]. بر این پایه، قانون احتمال بارهای زنده، باد، و برف را می‌توان در بخشهای زیر ارائه کرد.

#### الف) بارهای زنده و باد با توزیع گامبل

تابع توزیع احتمال گامبل عبارت است از [۷]:

$$F_X(x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x-u)]\} \quad (۷)$$

در معادله بالا پارامترهای  $\alpha$  و  $u$  به ترتیب مبین خواص پراکندگی و میانی توزیع گامبل‌اند. حال اگر فرض کنیم که متغیر تصادفی  $X$ ، بار زنده و یا بار باد با دوره بازگشت  $T$  سال باشد، با ترکیب معادلات (۲) و (۷) خواهیم داشت:

$$q = F_X(x) \quad (۸)$$

$$R_K = 1 - p(O, L) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L \quad (۹)$$

با حل معادله بالا برحسب  $x$  می‌توان نوشت:

$$x = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[ -\ln \left(1 - \frac{1}{T}\right) \right] \quad (۱۰)$$

محاسبه بارهای دوره‌ای ارائه گردد. در این روش ضربی به نام ضریب دوره بازگشت<sup>۲</sup>، که به اختصار RPF خوانده می‌شود، تعریف می‌شود. با اثر دادن این ضریب در بارهای اسمی، بارهای متناظر با هر عمر مفیدی قابل محاسبه خواهد بود و امکان صرفه جوییهای مهم اقتصادی در ساختمانهای موقت فراهم خواهد شد و از کاهش سطح ایمنی در ساختمانهای با عمر طولانی، جلوگیری خواهد شد.

### ۲- رابطه دوره بازگشت بارها با عمر مفید سازه

می‌توان نشان داد که اگر  $p$  میانگین سالیانه احتمال وقوع باری بیشتر از بار با دوره بازگشت  $T$  سال باشد، معادله زیر برقرار خواهد بود [۸]:

$$p = \frac{1}{T} \quad (۱)$$

بنابراین اگر احتمال عدم وقوع این بار را با  $q$  نشان دهیم، داریم:

$$q = 1 - p = 1 - \frac{1}{T} \quad (۲)$$

اما احتمال اینکه باری بزرگتر یا مساوی بار با دوره بازگشت  $T$  مرتبه در  $L$  سال آینده به وقوع پیوندد، برابر است با [۸]:

$$p(m, L) = \frac{L!}{m!(L-m)!} \left(\frac{1}{T}\right)^m \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{L-m} \quad (۳)$$

حالت خاص این معادله به ازای  $m=0$  مبین عدم وقوع باری بزرگتر یا مساوی بار با دوره بازگشت  $T$  ساله در  $L$  سال آینده است که عبارت است از:

$$p(O, L) = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L \quad (۴)$$

حال با ترکیب معادلات (۲) و (۴)، احتمال وقوع باری بزرگتر از بار  $T$  ساله در  $L$  سال آینده، که با  $R_K$  یعنی درصد ریسک نشان داده می‌شود، به دست می‌آید:

$$R_K = 1 - p(O, L) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L \quad (۵)$$

با حل معادله اخیر برحسب  $T$ ، می‌توان دوره بازگشت بارها را برحسب عمر مفید  $L$ ، و درصد ریسک  $R_K$  تعیین کرد:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - R_K)^{1/L}} \quad (۶)$$

که در این رابطه،  $x$  مقدار اسمی بار زنده و یا بار باد، و  $T$  دوره بازگشت بار است.

### ب) بار برف با توزیع مقدار حدی نوع ۲

تابع توزیع احتمال ویبول عبارت است از  $[V]$

$$F_X(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{A}\right)^C\right] \quad (11)$$

که در این رابطه  $A$  و  $C$  به ترتیب پارامترهای مقیاس و شکل توزیع ویبول اند. مطابق استدلال مطرح شده در بخش قبل خواهیم داشت:

$$1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{A}\right)^C\right] = 1 - \frac{1}{T} \quad (12)$$

و با حل این معادله برحسب  $x$  می توان نوشت:

$$x = A \left[ -\ln\left(\frac{1}{T}\right) \right]^{1/C} \quad (13)$$

که در این رابطه  $x$  مقدار اسمی بار برف، و  $T$  دوره بازگشت بار است.

### ج) بار زلزله با توزیع مقدار حدی نوع ۲

براساس تحقیقات فراوانی که طی دو دهه اخیر به عمل آمده [۸ و ۹]، بارگذاری ناشی از زلزله یک متغیر تصادفی است که قانون توزیع احتمال آن از نوع توزیع مقدار حدی نوع ۲ است. بر این اساس، تابع چگالی احتمال بار زلزله عبارت است از:

$$F_X(x) = C \frac{x^{c-1}}{A^c} \exp\left[-\left(\frac{x}{A}\right)^C\right] \quad (14)$$

و تابع تجمعی احتمال نیز در معادله (۱۱) ارائه شده است. رابطه بین پارامترهای  $A$  و  $C$  با میانگین  $\mu$  و ضریب پراکندگی  $V$  (نسبت انحراف معیار به میانگین) عبارت است از:

$$\mu = A\Gamma + \frac{1}{C} \quad (15)$$

$$V = \frac{1}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{C}\right)} \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{C}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{C}\right)} \quad (16)$$

که در روابط اخیر،  $\Gamma$  تابع گاما است. اما طبق مطالعاتی که در بالا ذکر شد، ضریب پراکندگی بارهای ناشی از زلزله برابر  $2/3$  است [۹]. با جایگذاری این مقدار در معادله (۱۶) و حل این رابطه با سعی و خطا، پارامتر  $C$  برابر  $0.49$  به دست می آید. بدین ترتیب، قانون تجمعی احتمال بارهای ناشی از زلزله عبارت است از:

$$F_X(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{A}\right)^{0.49}\right] \quad (17)$$

و همانند بخشهای قبل می توان نوشت:

$$1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{A}\right)^{0.49}\right] = 1 - \frac{1}{T} \quad (18)$$

$$x = A \left( -\ln\left[\frac{1}{T}\right] \right)^{2.041} \quad (19)$$

که در این معادله،  $x$  مقدار اسمی بار زلزله و  $T$  دوره بازگشت است.

### ۴- طراحی براساس عمر مفید معین

همان طور که اشاره شد، مقادیر اسمی بارها، در آیین نامه‌ها، عموماً بر پایه یک عمر مفید ۵۰ ساله به دست آمده است. حال می توان برای هر عمر مفید دلخواهی، بارهای آیین نامه‌ای را در ضریبی بنام RPF (ضریب دوره بازگشت) ضرب کرده و مقدار اصلاح شده را در طراحی به کار برد. تعریف ضریب دوره بازگشت عبارت است از:

$$RPF = \frac{X_T}{X_{50}} \quad (20)$$

که  $X_T$  و  $X_{50}$  به ترتیب عبارت اند از مقدار بار متناظر با دوره بازگشت  $T$  سال و  $50$  سال. برای محاسبه این ضریب به ترتیب ذیل می توان عمل کرد.

#### الف) ضریب دوره بازگشت برای بار باد و بار زنده

در قسمت قبل ذکر شد که بارهای زنده و باد از توزیع گامبل پیروی می کنند و معادله (۱۰) برای توزیع گامبل به دست آمد. اما باتوجه به تعاریف  $\alpha$  و  $u$  داریم  $[V]$ :

که  $RPF_W$  ضریب دوره بازگشت باد و  $L$  عمر مفید سازه است. بدین ترتیب ضریب دوره بازگشت برای بارهای زنده و باد، به ترتیب طبق معادلات (۲۵) و (۲۷) قابل محاسبه خواهد بود.

### ب) ضریب دوره بازگشت برای بار برف

همان‌گونه که بیان شد، بار برف از تابع توزیع مقدار حدی نوع ۲ پیروی می‌کند. در بخش قبل معادله (۱۳) برای توزیع مذکور به دست آمد. اما باتوجه به تعریف پارامتر  $C$  داریم:

$$\frac{\Gamma(1+\frac{2}{C})}{\Gamma^2(1+\frac{1}{C})} = 1+V^2 \quad (28)$$

که در این معادله  $V$  ضریب تغییرات و  $\Gamma$  تابع گاماست [۷]. در مورد بار برف، ضریب تغییرات معادل  $0.26$  و دوره بازگشت بارها برابر عمر مفید سازه فرض می‌شود [۹]. بدین لحاظ می‌توان نوشت:

$$C=4.35 \quad (29)$$

حالا می‌توان مقدار ضریب دوره بازگشت،  $X_T/X_{50}$  را به کمک معادله (۲۰) برای بار برف تعیین کرد:

$$RPF_S = \frac{\left[-\ln\left(\frac{1}{L}\right)\right]^{0.23}}{\left[-\ln\left(\frac{1}{50}\right)\right]^{0.23}} = \frac{\left[-\ln\left(\frac{1}{L}\right)\right]^{0.23}}{1.37} \quad (30)$$

در عبارت بالا  $RPF_S$  ضریب دوره بازگشت برای بار برف و  $L$  عمر مفید سازه است.

با استفاده از معادلات (۲۵)، (۲۷) و (۳۰) این امکان فراهم می‌شود که بارهای اسمی آیین نامه‌ای باتوجه به عمر مفید سازه تصحیح شود.

### ج) ضریب دوره بازگشت برای بار زلزله

بدان گونه که در مراجع [۶ و ۸] بیان شده است، درصد ریسک در تعریف زلزله طرح برای آیین نامه ۲۸۰۰ ایران برابر

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} = \frac{\pi}{V\mu\sqrt{6}} \quad (21)$$

$$u = \mu - \frac{\gamma}{\alpha} = \mu - \frac{\gamma\mu V\sqrt{6}}{\pi} = \mu \left(1 - \frac{\gamma V\sqrt{6}}{\pi}\right) \quad (22)$$

بنابراین عکس حاصل ضرب  $\alpha u$  عبارت است از:

$$\frac{1}{\alpha u} = \frac{V\sqrt{6}}{\pi - \gamma V\sqrt{6}} = \frac{V}{1.28 - 0.577V} \quad (23)$$

که در معادلات بالا،  $V$  ضریب تغییرات،  $\mu$  میانگین،  $\sigma$  انحراف معیار، و  $\gamma$  ثابت اولر است.

در مورد بار زنده، ضریب تغییراتی برابر  $0.3$  اعمال می‌شود و دوره بازگشت، برابر دوره بهره‌برداری سازه فرض می‌شود [۴ و ۹] و لذا خواهیم داشت:

$$\frac{1}{\alpha u} = 0.27 \quad (24)$$

حال ضریب دوره بازگشت،  $RPF$  را می‌توان با جایگذاری در معادله (۲۰) به دست آورد:

$$RPF_L = \frac{1 - 0.27 \ln \left[ -\ln \left(1 - \frac{1}{L}\right) \right]}{1 - 0.27 \ln \left[ -\ln \left(1 - \frac{1}{50}\right) \right]} = \frac{1 - 0.27 \ln \left[ -\ln \left(1 - \frac{1}{L}\right) \right]}{2.053} \quad (25)$$

که  $RPF_L$  و  $L$ ، به ترتیب ضریب دوره بازگشت بار زنده و عمر مفید سازه است. در مورد بار باد، ضریب تغییرات برابر  $0.37$  است و در این مورد نیز دوره بازگشت بارها برابر عمر مفید فرض می‌شود [۲، ۳ و ۹]. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\frac{1}{\alpha u} = 0.346 \quad (26)$$

و نیز:

$$RPF_W = \frac{1 - 0.346 \ln \left[ -\ln \left(1 - \frac{1}{L}\right) \right]}{1 - 0.346 \ln \left[ -\ln \left(1 - \frac{1}{50}\right) \right]} = \frac{1 - 0.346 \ln \left[ -\ln \left(1 - \frac{1}{L}\right) \right]}{2.35} \quad (27)$$

محدودهٔ سالیان کمتر از ۵۰ است. این واقعیت نشانگر آن است که برای ساختمانهای با عمر مفید کوتاه، نظیر ساختمانهای موقت، اعمال اثر عمر مفید<sup>۴</sup> به شکلی معنی دار بر طراحی اثر می گذارد.

ملایم شدن شیب منحنیها، به ازای دوره‌های بهره‌برداری بزرگتر از ۵۰ سال، نشان می‌دهد که ضریب دورهٔ بازگشت حساسیت چندانی به دوره‌های بزرگتر نداشته و میزان افزایش بار از شتاب کمتری نسبت به بخش نخست برخوردار است.

گرچه شدت افزایش ضریب دورهٔ بازگشت به ازای دوره‌های بیش از ۵۰ سال کمتر از دوره‌های کوتاهتر است، اما این بدان معنی نیست که برای ساختمانهای با عمر مفید بیش از ۵۰ سال می‌توان اثر افزایش بارها را نادیده گرفت. در واقع، منحنیهای مذکور نشان می‌دهند که به ازای دوره‌های بزرگتر از ۵۰ سال، به ویژه در محدودهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰ سال، میزان افزایش بار می‌تواند تا حدود ۲۰ درصد نیز برسد.

به منظور مقایسه مطالعات این پروژه با سایر منابع، منحنی ارائه شده در یک مرجع نسبتاً جدید [۳] نیز، برای ضریب دورهٔ بازگشت باد، در شکل (۱) ارائه شده است. انطباق کامل نتایج ارائه شده در مرجع مذکور با منحنی ارائه شده در این مقاله، نشان از همسویی و توافق دو مطالعه دارد.

گرچه با استفاده از منحنیهای شکل (۱) امکان تصحیح بارهای زنده، باد، و برف بر مبنای دورهٔ سرویس ساختمان، به شکل دقیق فراهم می‌شود؛ اما در ملاحظات طراحی تمایل به ساده سازی وجود دارد. تامل در شکل (۱) نشان می‌دهد که می‌توان ساختمانها را بر پایهٔ دورهٔ بهره‌برداری به چند گروه تقسیم بندی کرد. مبنای این تقسیم بندی، عدم تغییر قابل توجه ضریب دورهٔ بازگشت در محدودهٔ سالیان مرتبط با آن است. بر پایه این ملاحظات، ساختمانها را می‌توان به پنج گروه با دوران بهره‌برداری کمتر از ۵ سال، ۵ تا ۲۰ سال، ۲۰ تا ۵۰ سال، ۵۰ تا ۱۰۰ سال، و ۱۰۰ تا ۲۰۰ سال، تقسیم کرد. ضرایب تصحیح بارها برای پنج گروه مذکور به ازای بارهای مختلف در جدول (۱) ارائه شده است.

۱۰٪ درصد است. بر پایه معادله (۶) می‌توان دورهٔ بازگشت  $T$  متناظر با دورهٔ بهره‌برداری  $L$  را چنین به دست آورد :

$$T = \frac{1}{1 - (0.9)^{1/L}} \quad (31)$$

با جایگذاری معادله (۳۱) در معادله (۱۹)، مقدار اسمی بار زلزله برحسب دوره بهره‌برداری ساختمان به شرح زیر به دست می‌آید :

$$x = A \left\{ -\ln \left[ 1 - (0.9)^{1/L} \right] \right\}^{2.041} \quad (32)$$

حال می‌توان ضریب دورهٔ بهره‌برداری<sup>۵</sup> را از محاسبه نسبت  $X_L/X_{50}$  به دست آورد، و ضریب تصحیح بار زلزله را تعیین کرد :

$$RPF_E = \frac{X_L}{X_{50}} = \frac{\left\{ -\ln \left[ 1 - (0.9)^{1/L} \right] \right\}^{2.041}}{\left\{ -\ln \left[ 1 - (0.9)^{1/50} \right] \right\}^{2.041}} \quad (33)$$

در معادله بالا،  $RPF_E$  ضریب دوره بهره‌برداری برای بار زلزله و  $L$  دورهٔ بهره‌برداری یا عمر مفید ساختمان است.

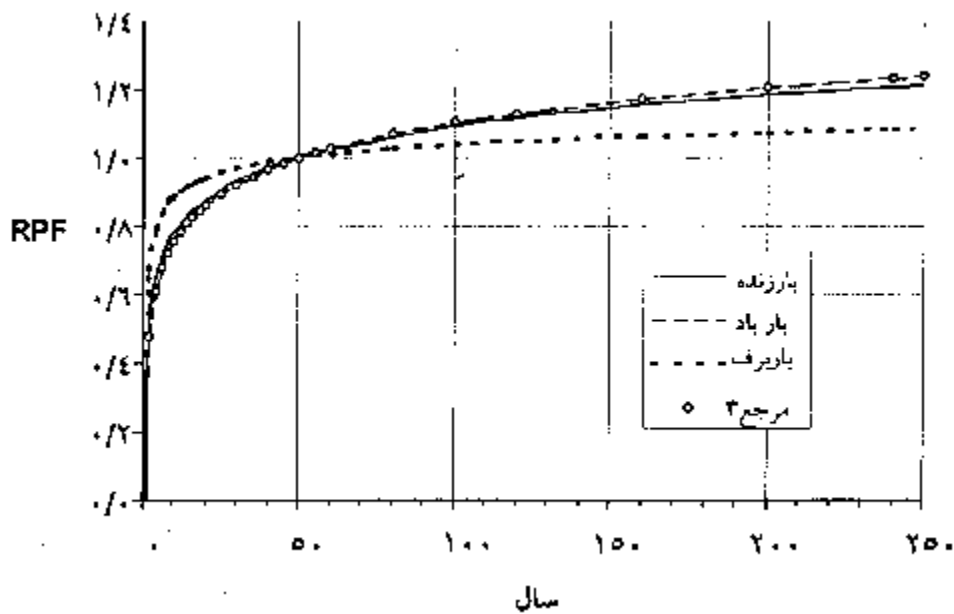
## ۵- بررسی ضریب دورهٔ بهره‌برداری برای بارهای

### زنده، برف، و باد

برای بررسی اثر عمر مفید بر مقادیر اسمی بارهای زنده، باد، و برف ضریب دورهٔ بازگشت بارهای مذکور در شکل (۱) رسم شده است. این منحنیها بر پایه معادلات (۲۵) و (۲۷) و (۳۰) به دست آمده‌اند. از بررسی این شکل می‌توان به نتایجی دست یافت که اهم آنها به شرح زیر است :

شکل کلی هر سه منحنی شبیه به هم بوده و دارای دو بخش است: بخش اول که دارای شیب تند است و از عمر مفید چند ساله شروع شده و تا حدود پنجاه سال ادامه می‌یابد؛ و بخش دوم منحنیها که با شیب نسبتاً ملایمی همراه بوده و از حدود پنجاه سال آغاز می‌شود و تا محدودهٔ دویست سال و بیشتر ادامه می‌یابد.

شیب تند منحنیها در بخش اول، نشانگر حساسیت نسبتاً زیاد ضریب دورهٔ بازگشت به تغییرات دورهٔ بهره‌برداری در



شکل ۱- ضریب دوره بهره‌برداری برای بارهای زنده، باد، و برف

جدول ۱- ضریب دوره بهره‌برداری برای انواع بارها

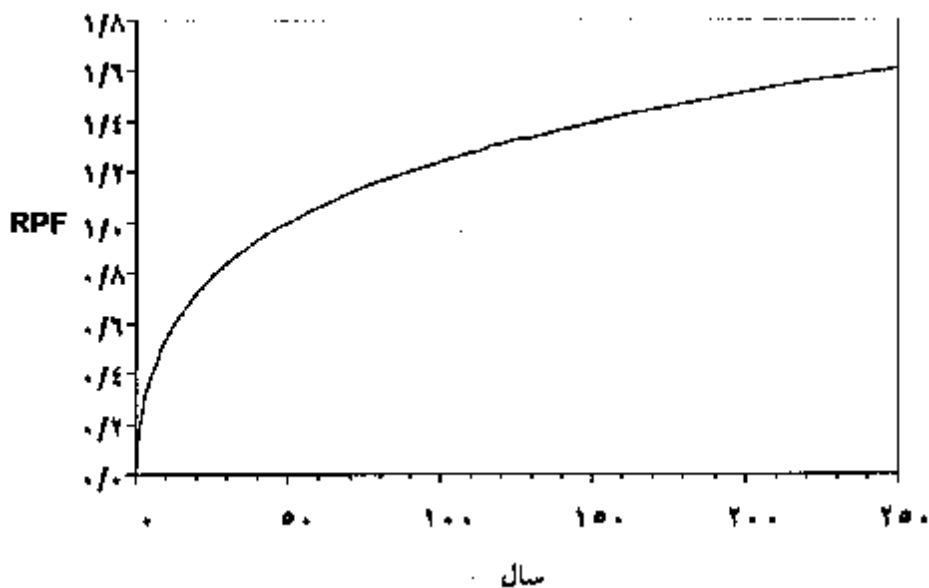
نوع بار	کمتر از ۵ سال	۵ تا ۲۰ سال	۲۰ تا ۵۰ سال	۵۰ تا ۱۰۰ سال	۱۰۰ تا ۲۰۰ سال
باد	۰/۶۵	۰/۸۵	۱	۱/۱۰	۱/۲۰
برف	۰/۸۰	۰/۹۵	۱	۱/۰۵	۱/۱۰
زنده	۰/۷۰	۰/۹۰	۱	۱/۱۰	۱/۲۰
زلزله	۰/۴۰	۰/۷۰	۱	۱/۲۵	۱/۵۰

جدول فوق نشان می‌دهد که اعمال اثر دوره بهره‌برداری بر مقادیر بارهای زنده، باد، و برف می‌تواند اثر مهمی بر ملاحظات اقتصادی و ایمنی بر جای بگذارد. برای دوره‌های کمتر از پنجاه سال، و به ویژه در محدوده پنج سال، مقدار کاهش بارها نسبت به مقادیر اسمی می‌تواند به ۳۵ درصد (در مورد بار باد) نیز برسد. این کاهش برای بارهای زنده و برف به ترتیب ۳۰ و ۲۰ درصد است. این میزان تغییر در مقادیر اسمی بارها می‌تواند باعث سبکتر شدن ساختمانها، کوچکتر شدن مقاطع، و صرفه‌جویی در هزینه‌ها شود. از سوی دیگر برای دوره‌های بهره‌برداری بیش از ۵۰ سال، به ویژه در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ سال، نادیده انگاشتن ضریب دوره بازگشت می‌تواند به تقلیل سطح ایمنی، نسبت به سطح مطلوب آیین نامه‌ای، بیانجامد. این

در حالی است که ساختمانهای با عمر بلند عموماً از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و حاشیه ایمنی بالاتری را می‌طلبند. نمونه‌ای از این‌گونه ساختمانها عبارت اند از بیمارستانها، دانشگاهها و ساختمانهای اداری مهم. باتوجه به عدم اعمال چنین ضرایبی در آیین نامه‌های فعلی، پیشنهاد افزودن ضریبی به نام ضریب دوره بهره‌برداری شایان توجه است.

## ۶- بررسی ضریب دوره بهره‌برداری برای زلزله

باتوجه به تفاوت نسبتاً زیاد ضریب دوره بهره‌برداری بار زلزله با بارهای زنده، برف، و باد، و نیز اهمیت زلزله در شرایط ایران، اثر زلزله به طور جداگانه بررسی می‌شود. شکل (۲) نمودار تغییرات ضریب دوره بهره‌برداری بار زلزله را برای



شکل ۲- ضریب دوره بهره‌برداری برای بار زلزله

نکات فوق‌گویی این واقعیت است که مقدار بار زلزله به دوره طرح بسیار حساس است. این حساسیت را می‌توان به طبیعت پدیده زلزله نسبت داد. به طوری که بیان شد ضریب تغییرات بار زلزله ۲۳۰ درصد است که در حد قابل توجهی از ضرایب تغییرات بارهای دوره‌ای دیگر بزرگتر است. توصیه‌های به عمل آمده برای تصحیح بار زلزله، در مورد پنج دسته ساختمان در جدول (۱) منعکس شده است.

#### ۷- نتیجه‌گیری

در مباحث به عمل آمده، اثر دوره بهره‌برداری (عمر مفید) ساختمانها بر مقدار بارهای زنده، برف، باد، و نیز زلزله مورد بررسی قرار گرفت. بررسیها نشان داد که ملحوظ کردن دوره بهره‌برداری برای ساختمانهایی با عمر مفید کوچک می‌تواند به کاهش مهمی در مقادیر بارها، و در نتیجه صرفه جویی اقتصادی بیانجامد. از سوی دیگر نادیده گرفتن دوره بهره‌برداری برای ساختمانهایی با عمر مفید بیش از پنجاه سال می‌تواند باعث کاهش سطح ایمنی پروژه در مقایسه با ایمنی مطلوب باشد. بر این اساس می‌توان ضریبی به نام ضریب دوره بهره‌برداری تعریف کرد. مقادیر مختلف این ضریب برای بارهای زنده، باد،

دوره‌های مختلف نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که مقادیر این ضریب در حد قابل توجهی با مقادیر ضرایب بارهای زنده، برف، و باد تفاوت دارد. مقدار ضریب زلزله برای دوره‌های کوچکتر از پنج سال به حدود ۰/۴۰ می‌رسد که مبین کاهش در حدود ۶۰ درصد در مقدار بار آیین‌نامه‌ای است. همچنین، مقدار این ضریب برای دوره‌های بلندتر، نظیر ۱۰۰ و ۱۵۰ سال به اعدادی نظیر ۱/۲۵ و ۱/۵ بالغ می‌شود، که بیانگر افزایشی قابل توجه است. اگر بیاد داشته باشیم که بار زلزله در اکثر شرایط ایران بر طراحی ساختمانها حاکم است، این مقدار تفاوت، غیر قابل اغماض جلوه‌گر خواهد شد. تذکر این نکته لازم است که ضرایب محاسبه شده در این نوشتار، با حفظ سطح ریسک مورد نظر آیین‌نامه به دست آمده‌اند.

برای روشن شدن اهمیت اقتصادی این ملاحظات، نویسندگان اقدام به طراحی یک سازه قاب شکل دو دهانه، هر دهانه ۶ متر، دو طبقه، ارتفاع هر طبقه ۴ متر، کردند. سازه از نوع بتن مسلح و با مشخصات معمول در ایران انتخاب شد. طراحی سازه مذکور با فرض دوره بهره‌برداری پنج ساله با کاهش مصرف فولاد به اندازه ۶۰ درصد در مقایسه با طراحی آیین‌نامه‌ای منجر شد [۱].



برف، و زلزله، در این نوشتار ارائه شده است. به نظر می رسد که با اعمال این ضریب، روشهای متداول طراحی ساختمانها

## واژه نامه

1. return period
2. return period factor
3. service lifetime
4. effective lifetime
5. service lifetime factor
6. extreme value distribution –type I
7. extreme value distribution –type II

## مراجع

1. طحانی، ع.، "طراحی و بررسی ایمنی مقاطع بتن آرمه براساس عمر مفید"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، گروه عمران، ۱۳۷۷.
2. Dyrbye, C., and Hansen, S.-O., *Wind loads on structures*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
3. Whalen, T.-M., and Simiu, E., "Assessment of Wind Load Factors for Hurricane Prone Region," *J. Struct. Safety*, 20, pp.271-281, 1998.
4. Chalk, P.-L., and Corotis, R.-B., "Probability model for Design Live Loads," *J. Struct. Division, ASCE*, No. ST10, Oct., 1980.
5. طاهری بهبهانی، ع.ا.، "نگرشی فلسفی به ضوابط محاسباتی ساختمانها در برابر زلزله"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۷۶.
6. مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان،
7. Ang, A., H., and Tang, W.H, *Probability concepts in engineering Planning and Design*, Vol. 1 & 2. John wiley & Sons, Inc., 1986.
8. سیمافر، ش.، هیدرولوژی مهندسی، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند تبریز ۱۳۷۳.
8. Galambos, T.V., Ellingwood, J., MacGregor, J.G., and Cornell, C.A., "Probability Based Load Criteria: Assessment of Current Design Practice.", "*J. Struct. Division, ASCE*, Vol. 108, No. ST5., pp. 966, May, 1982.
9. Israel, M; Ellingwood, B., and Corotis, R.-B., "Reliability Based Code Formulations for Reinforced Concrete Buildings," *J. Structural Engineering*. Vol. 113, No.10, Oct. 1987.