

ارزیابی قابلیت اطمینان سازه برای ساختمان های بتن آرمه در معرض خوردگی

چکیده

کورنل و همکارانش در سال 2002، یک معیار احتمالاتی پیشنهاد دادند و توسط تولنتینو و همکارانش گسترش یافت، در این مقاله، برای بررسی اثرات استهلاک مواد در بلندمدت به علت خوردگی ساختمان های بتن آرمه واقع در ساحل اقیانوس آرام مکزیک، از این معیار استفاده می کنیم. تغییرات همزمان ظرفیت و تقاضای سازه را در طول زمان، به روش عبارات ریاضی فرم بسته، با توجه به معیار بررسی می کنیم. همچنین قابلیت اطمینان سازه از لحاظ شاخص های جایگزین نیز ارائه شده است: الف) تعداد خرابی و شکست مورد انتظار در یک بازه زمانی و ب) فاکتورهای اطمینان به عنوان توابع زمان، در فرم طراحی ضریب تقاضا و ظرفیت. در این مقاله، به منظور اینکه خرابی سازه ناشی از خوردگی را در نظر بگیریم، شاخص های قابلیت اطمینان را توسعه داده ایم. هر دو عدم قطعیت شناختیک و کتره ای را نیز در نظر گرفته ایم. در پایان قابلیت اطمینان سازه ای برای یک ساختمان چهار طبقه در خلیج آکاپولو مکزیک، تحت عنوان مجموعه ای از زمین لرزه های واقعی و ثبت شده، را ارزیابی کردیم

1. مقدمه

بتن آرمه یکی از رایج ترین مصالح ساختمانی است، با این حال هنگامی که آن ها پس از یک دوره زمانی در برابر هجوم عوامل متجاوز همچون یخبندان یا برف در نواحی ساحلی قرار می گیرند و یا اینکه در محلهایی با سطح بالایی از آلودگی واقع شده اند به قابلیت اطمینان با سطحی غیر قابل قبول حساس می شوند. فاکتورهایی که روی خوردگی

بتن آرمه های فولاد تاثیر می گذارد شامل دما، رطوبت، اسیدشدگی اقیانوس و آلودگی های هوایی است. هر از کدام از آن ها بسته به شرایط، خوردگی را شروع یا پیشرفت می دهند.

خرابی سازه های بتن آرمه با توجه به خوردگی، به علت افت ظرفیت سازه ناشی از خرابی خواص است که بر چسبندگی بتن، ترک خوردگی بخش ها و یاحتی پکیدگی بتن اثر می گذارد (آندراده و همکاران 1993، یوآپینک و ویرس 1998، کاستاندا 1997)

هزینه سالانه خوردگی در سراسر جهان حدودا 1.8 تریلیون دلار آمریکا است که به 3 تا 4 درصد از تولید ناخالص داخلی (GDP) کشورهای صنعتی منتهی می شود (اشمیت، 2009). ابزارهای مبتنی بر قابلیت اطمینان به عنوان معیاری برای برنامه ریزی بازرسی و نگهداری زیرساخت ها و سازه های متاثر از خوردگی، جهت کاهش مشکلات اجتماعی و اقتصادی ناشی از بتن های آرمه ارائه می شود با توجه به اینکه ظرفیت و تقاضای سازه در طول زمان به علت خرابی ناشی از خوردگی متفاوت است، برنامه ریزی به صورت دقیق، بستگی به برآورد قابلیت اطمینان سازه دارد.

2. خوردگی بتن های آرمه

خوردگی ناشی از نفوذ کلرید اغلب در سازه هایی رخ می دهد که در معرض محیط های دریایی قرار دارند. یون کلرید در آب دریا وجود دارد: به طوری که باد بصورت نسیم، این یون ها را به سمت سازه های نزدیک به دریا می برد. در بخش های 1-2 و 2-2، چندین تعریف پایه مرتبط با فرایند خوردگی مرور می شود.

2.1 زمان شروع خوردگی

مدل سازی نفوذ یون کلرید در بتن دشوار است، با این حال معمولا از قانون انتشار (قانون فیک) استفاده می شود. اگر فرض کنیم، غلظت کلریدها در سطح بتن و ضریب انتشار برای بتن، مستقل هستند، در این صورت با عبارت زیر روبرو هستیم:

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = D_c \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

که در آن $C(x,t)$ نشان دهنده غلظت یون کلرید، به صورتی که درصدی از وزن بتن، در فاصله x از سطح بتن پس از زمان t در معرض منبع کلرید قرار می‌گیرد و همچنین ضریب انتشار کلرید است.

فرض بر این است، فرایند خوردگی زمانی آغاز می‌شود که غلظت کلرید در محلی که آرماتور قرار دارد به مقدار بحرانی برسد، سپس زمان شروع خوردگی، به صورت زیر محاسبه می‌شود (ذف - کریستینسن، 2001)

$$T_i = \frac{d^2}{4D_c} \left\{ \operatorname{erf}^{-1} \left(\frac{C_{cr} - C_0}{C_i - C_0} \right) \right\}^{-2} \quad (2)$$

غلظت متعادل در سطح بتن، غلظت اولیه کلرید، هر دو به صورت درصدی از وزن بتن بیان می‌شوند، d ضخامت پوششی و erf تابع خطا است.

2.1.1 ضریب انتشار

ضریب انتشار، یکی از مهم‌ترین متغیرهای معادله 2 است. به منظور تقریب خوب از، ضروری است که از نسبت آب به سیمان (W/C)، دما (Φ) و مواد افزودنی آگاهی داشته باشیم (ینسن و همکاران، 1999).

ذف و کریستینسن در سال 2001، برای ضریب انتشار، عبارات زیر را پیشنهاد دادند:

$$D_c = 11.146 - 31.025(w/c) - 1.941\Phi + \dots \\ \dots + 38.212(w/c)^2 + 4.48(w/c)\Phi + .024\Phi^2 \quad (3)$$

2.2 شروع ترک خوردگی بتن به علت خوردگی

کریستینسن و ذفت، مدل ساده زیر را برای تعیین کاهش قطر آرماتور فولاد پیشنهاد دادند

$$d(t) = d_0 - c_{corr} i_{corr} (t - T_i) \quad (4)$$

که در آن قطر اولیه و میانگین نرخ خوردگی یکساله است. هنگامی که میزان تولید اکسید بالا است، فشار روی دیواره‌های بتنی اطراف تقویت‌کننده میلگردهای فولادی ایجاد می‌شود. ذفت و کریستینسن، به منظور شناخت زمان وقوع ترک خوردگی بتن، بر اساس مطالعات لیو و ویرس، عبارات زیر را بیان کردند:

$$\Delta t_{crak} = \frac{W_{crit}^2}{2k_{rust}} \quad (5)$$

که در آن جرم بحرانی لازمه زنگ‌زدگی برای ایجاد ترک خوردگی، ضریبی متناسب با نرخ خوردگی یکساله و همچنین قطر آرماتور است.

$$W_{crit} = \frac{\rho_{steel}}{\rho_{steel} - \alpha \rho_{rust}} (W_{porous} + W_{expan}) \quad (6)$$

$$k_{rust} = 7.039E - 5 \left(\frac{1}{\alpha} \right) \pi d_0 i_{corr} \quad (7)$$

$$W_{porous} = \pi \rho_{rust} t_{por} d_0 \quad (8)$$

$$W_{expan} = \pi \rho_{rust} (d_0 - 2t_{por}) t_{crit} \quad (9)$$

نشان دهنده چگالی فولاد، چگالی زنگ زدگی، و (لیو و ویرس 1998): حجم زنگ زدگی مورد نیاز برای پر کردن حفره، حجم خوردگی لازم برای پر کردن فضا به دلیل انبساط بتن؛ ضخامت در سطح معادل با تخلخل واحد، ضریب انبساط هنگامی که ترک خوردگی شروع می‌شود.

در معادله (9):

$$t_{crit} = \frac{c f_t}{Ec} \left(\frac{a^2 + b^2}{b^2 - a^2} + V_c \right) \quad (10)$$

$$a = (d_0 + 2t_{por}) / 2 \quad (11)$$

$$b = c + (d_0 + 2t_{por}) / 2 \quad (12)$$

C نشان دهنده پوشش، مقاومت کششی بتن، مدول الاستیسیته، نسبت پواسون، a قطر آرماتور و b فاصله شعاعی از مرکز آرماتور تا پوشش است.

3. ارزیابی قابلیت اطمینان سازه

به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان سازه، از مفهوم نرخ سالیانه خرابی سازه استفاده می کنیم، و آن را به تعداد خرابی ها در یک بازه زمانی مربوط به تخریب (ناشی از خوردگی) از هر دو تقاضای لرزه‌ای سازه و ظرفیت سازه برای شدت داده شده، بسط می دهیم.

3.1 تخمین خرابی در یک فاصله زمانی

متوسط نرخ خرابی یکساله، نشان دهنده تعداد دفعات مورد انتظار در سال است که ظرفیت سازه (C) با حالت حدی مشخصی در ارتباط است و با توجه به اثرات بارهای مربوط به حوادث زلزله با تمام شدت‌های ممکن، بیش از حد مورد انتظار شود. همچنین به صورت زیر محاسبه می شود (کرنل 1968، استوا 1968)

$$v_F(c) = \int_0^{\infty} \left| \frac{dv(y)}{dy} \right| P[c < S|y] dy \quad (13)$$

قدر مطلق مشتق منحنی خطر زلزله، و احتمال اینکه ظرفیت سازه C (مربوط به حالت حدی) کوچکتر از تقاضای سازه S با شدت داده شده y باشد.

تعداد خرابی مورد انتظار در طی فاصله زمانی برابر با نرخ خرابی یکساله بصورت یکپارچه و در یک بازه زمانی است. اگر تغییرات ظرفیت سازه و تقاضای لرزه‌ای با شدت داده شده در نظر گرفته شود، آن گاه تعداد خرابی‌های مورد انتظار و ارزیابی شده در فاصله زمانی به صورت زیر بیان می شود (تولنتیو و همکاران، 2002):

$$E[\eta_F(t, \Delta t)] = \int_t^{t+\Delta t} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \left| \frac{dv(y)}{dy} \right| P[C(\tau) < S(\tau)|y, \tau] \cdots \\ \cdots f_C(c|\tau) f_S(s|y, \tau) dy dc ds d\tau \quad (14)$$

احتمال شرطی مربوط به خرابی است هنگامی که شدت y رخ دهد، نشان‌دهنده تابع چگالی شرطی مربوط به ظرفیت سازه در لحظه‌هاست، و تابع چگالی شرطی تقاضای سازه برای شدت مشخص y در لحظه است.

معادله 14 را می‌توانیم به روش انتگرال عددی حل کنیم، با این حال در این پژوهش، معادلات 13 و 14 به وسیله یک رویکرد ساده با مفروضات زیر حل می‌شود (کورنل وهمکاران، 2002: الف) منحنی خطرات محیطی $v(y)$ ، که به صورت تابع و حول شدت مورد نظر است، k و r پارامترهایی هستند که منحنی خطر زلزله را برازش می‌کند. ب) ظرفیت سازه به صورت لگاریتم نرمال با میانگین و انحراف معیار لگاریتم طبیعی برابر است. ج) تابع مقدار میانه تقاضای سازه حول شدت مورد نظر، و a و b منحنی تقاضای سازه را برازش می‌کند. تقاضای سازه یک توزیع لگاریتم نرمال با انحراف معیار لگاریتم طبیعی برای شدت مشخص y برابر با در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به مفروضات a ، b و c و معرفی سهم عدم قطعیت شناختیک، مقدار موردانتظار تعداد خرابی در پایان بازه زمانی به صورت زیر بیان می‌شود (تورس و رویز 2007)

$$\eta_F(t, \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} k(y_{C,t})^{-r} \exp \left[\frac{r^2}{2b(\tau)^2} \left(\sigma_{\ln D|y_{C,t}}^2 + \dots \right. \right. \\ \left. \left. \dots + \sigma_{\ln C|\tau}^2 + \sigma_{UD|\tau}^2 + \sigma_{UC|\tau}^2 \right) \right] d\tau \quad (15)$$

که در آن داریم:

$$y_{\hat{C}, D, \tau} = \left[\frac{\hat{C}(t)}{a(t)} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (16)$$

شدت بار محیطی مرتبط با ظرفیت میانه، در لحظه است، و به ترتیب واریانس لگاریتم طبیعی تقاضای سازه برای شدت داده شده و ظرفیت سازه با حالت حدی مورد نظر هستند، همچنین و به ترتیب واریانس عدم قطعیت شناختیک مرتبط با تقاضای سازه و ظرفیت سازه هستند.

به منظور اینکه تعداد مورد انتظار خرابی را بدست آوریم، تغییرات زمانی تقاضا و ظرفیت سازه را باتوجه به خوردگی برای شدت داده شده در نظر می گیریم و همچنین لازم است که مفروضات زیر را لحاظ کنیم (علاوه بر فرضیات a,b,c و d)

(d) میانه ظرفیت سازه () باتوجه به حالت خوردگی، بصورت خطی در زمان تغییر می کند:

$$\hat{C}_{corr}(\tau) = \alpha + \beta \cdot t \quad (17)$$

(e) میانه تقاضای سازه () که حالت خوردگی را در یک بازه زمانی در نظر می گیرد، به صورت زیر است

$$\hat{D}_{corr}(\tau) = (e + f \cdot t) \cdot y^b \quad (18)$$

تمامی مفروضات a,b,c,d,e و همچنین انتگرال گیری معادله 15 را در یک بازه زمانی در نظر می گیریم، سپس تعداد خرابی مورد انتظار باتوجه به تغییرات تقاضا و ظرفیت سازه برای شدت داده شده به صورت زیر بیان می شود:

$$\pi_{F_{corr}}(t, \Delta t) = k \cdot \left[y_{\hat{C}_{corr}, \hat{D}_{corr} | \tau} \right]^r \cdot \exp \left[\frac{r^2}{2b^2} \cdot (\sigma^2_{\ln D} | y_{C,t} + \dots \right. \\ \left. \dots + \sigma^2_{\ln C | t} + \sigma^2_{UD | t} + \sigma^2_{UC | t} \right) \right] \cdot \Omega_{corr}(t, \Delta t) \quad (19)$$

به طوری که

$$\Omega_{corr}(t, \Delta t) = \frac{b}{(b-r)\beta} \cdot [\alpha + \beta \cdot t] \cdot \left[\frac{(e+ft) \cdot \beta}{-f\alpha + e\beta} \right]^{-\frac{r}{b}} \dots \\ \dots [-f[X; Y; Z; x(t)] + f[X; Y; Z; x(t + \Delta t)]] \dots \\ \dots \left[1 + \frac{\beta \cdot \Delta t}{\alpha + \beta \cdot t} \right]^{1-\frac{r}{b}} \quad (20)$$

مقدار مورد انتظار از تعداد خرابی، باتوجه به حالت خوردگی در یک بازه زمانی است، ضریب خوردگی برای تعداد خرابی مورد انتظار در پایان بازه زمانی است (تولنتینو و رویز، 2015) که تغییرات ظرفیت سازه و تقاضای سازه برای

حالت خوردگی داده شده نیز در نظر گرفته می‌شود. تابع فوق هندسی ضمنی در معادله 20 به صورت زیر حل می‌شود (سیبورن 1991):

$$F(A; B; C; z(t)) = 1 + \frac{AB}{C}z + \frac{A(A+1) \cdot B(B+1)}{2!C(C+1)}z^2 \dots$$

$$\dots + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(A)_n (B)_n}{(C)_n} \frac{z^n}{n!} \quad (21)$$

که در آن داریم:

$$A = 1 - \frac{r}{b}; \quad B = -\frac{r}{b}; \quad C = 2 - \frac{r}{b} \quad (22, 23 \text{ and } 24)$$

$$z(t) = \frac{f(\alpha + \beta \cdot t)}{f\alpha - e\beta} \quad (25)$$

$$z(t + \Delta t) = \frac{f(\alpha + \beta(t + \Delta t))}{f\alpha - e\beta} \quad (26)$$

C, A و Z اعداد حقیقی و B مقدار صحیح دربر می‌گیرند.

3.2 فاکتور اطمینان

در فرم طراحی ضریب تقاضا و ظرفیت (DCFD) فرض می‌شود که (احتمال سالانه در سطح عملکرد بیش از حد نباشد) برابر با (هدف عملکرد) است. در این مقاله، تعداد خرابی‌های مورد انتظار در پایان بازه زمانی را برابر با مقدار پیش‌فرض ضرب در بازه زمانی در نظر می‌گیریم، آن‌گاه شرایط زیر ایجاد می‌شود:

$$\eta_F(t, \Delta t) = v_0 \cdot \Delta t \quad (27)$$

تعداد خرابی مورد انتظار با سطح اطمینان X، برای بازه زمانی خاص به صورت زیر است (تورس و رویز 2007):

$$\eta_F(t, \Delta t) = \hat{\eta}_F(t, \Delta t) \cdot \exp(K_{x|t} \cdot \sigma_{\eta L}) \quad (28)$$

به طوی که داریم:

$$\sigma_{\eta U} = \frac{r}{b} \sqrt{\sigma_{UD|t}^2 + \sigma_{UC|t}^2} = \frac{r}{b} \cdot \sigma_{UT|t} \quad (29)$$

با جایگذاری معادلات 19 و 28 و 29 در :

$$k \left[\frac{\hat{C}_{corr}(t)}{\hat{D}_{corr}(t)} \right]^{-r} \cdot \exp \left[\frac{r^2}{2b^2} \left(\sigma_{\ln D|y_{C,t}}^2 + \sigma_{\ln C|t}^2 \right) \right] \cdots$$

$$\cdots \exp \left(K_{x|t} \cdot \frac{r}{b} \cdot \sigma_{UT|t} \right) \cdot \Omega_{corr}(t, \Delta t) \leq v_0 \cdot \Delta t \quad (30)$$

با حل و جداسازی عبارات، مورد زیر حاصل می‌شود:

$$\lambda_{conf_{corr}}(t, \Delta t) \leq \frac{\phi \cdot \hat{C}_{corr}}{\gamma \cdot \hat{D}_{corr}^{v_0}} \cdot \left[\frac{\Omega_{corr}(t, \Delta t)}{\Delta t} \right]^{\frac{b}{r}} \quad (31)$$

به طوری که داریم:

$$\hat{D}_{corr}^{v_0} = [e + f \cdot t] \cdot (y_{v_0})^{\frac{b}{r}} \quad (32)$$

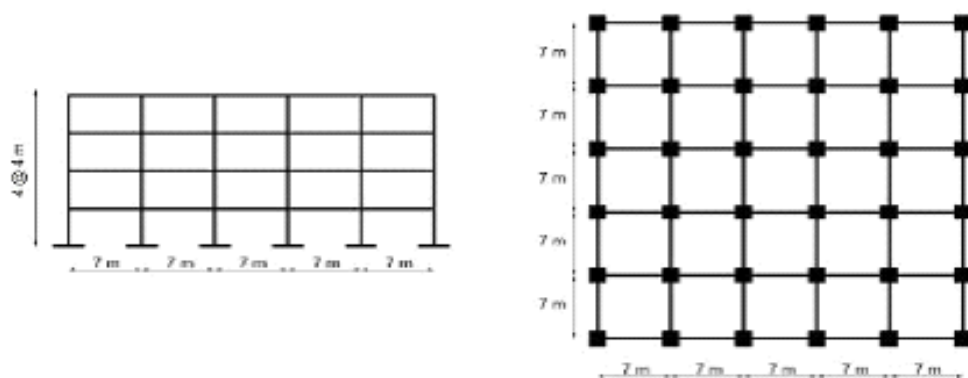
$$\phi = \exp \left[-\frac{r}{2b} \left(\sigma_{\ln C,T}^2 + \sigma_{CU}^2 \right) \right] \quad (33)$$

$$\gamma = \exp \left[\frac{r}{2b} \left(\sigma_{\ln D,T|y}^2 + \sigma_{DU}^2 \right) \right] \quad (34)$$

به طوری که فاکتور اطمینان در بازه زمانی است که حالت خوردگی را نیز در نظر می‌گیرد.

4. مثالی گویا

در این بخش ضریب اطمینان، باتوجه به خوردگی برای یک ساختمان واقع در آکاپولکو در مکزیک مورد ارزیابی قرار گرفته است. سازه منظم بتن آرمه دارای چهار طبقه با هفت متر فاصله بین ستون است (شکل 1 را ببینید). ساختمان مطابق با کد ساختمانی (RCDF-2004) در شهری از مکزیک طراحی شده است. از ضریب شکل پذیری $Q=3$ استفاده می‌شود.



شکل-1- ارتفاع و پلنت سازه آنالیز شده

4.1 خوردگی ساختمان

همان طور که در بخش 2 ذکر شد، چندین بازه زمانی مربوط به خوردگی وجود دارد، زمان شروع خوردگی (معادله 2 و 3). فرض کنید مقادیر زیر وجود دارد:

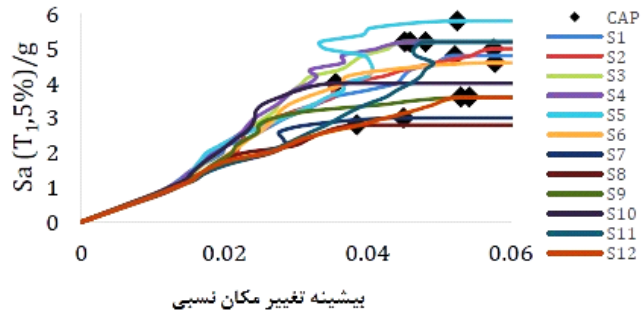
(کاستانداو همکاران سال 1997)

آنگاه، نتایج، هنگامی که ترک خوردگی بتن آغاز می شود، (معادله 5) برابر با 46 سال دوم زمان موردنظر است فرض می کنیم، آنگاه نتایج برابر با 9 سال است.

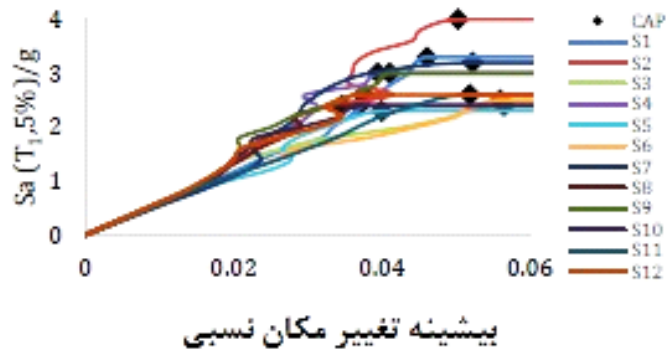
در پژوهش حاضر، قصد داریم قابلیت اطمینان سازه را پس از 46، 55، 75 و 100 سال از ساخت ساختمان را ارزیابی کنیم.

4.2 ارزیابی ظرفیت سازه در طول زمان

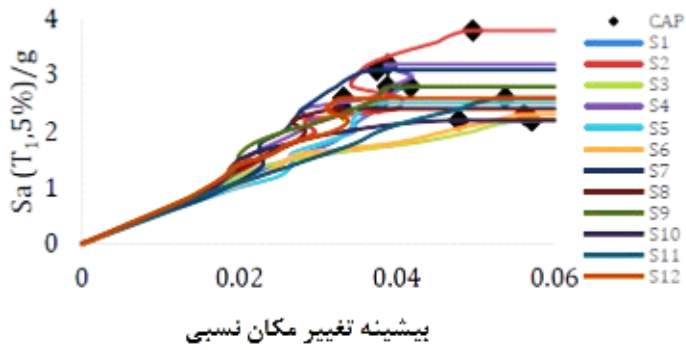
ظرفیت سازه را به روش تحلیل دینامیکی افزایشی (IDAs) ارزیابی می کنیم. شکل های 2 (a, b, c, d) نشان دهنده تغییر تدریجی ظرفیت سازه طبقه بحرانی (طبقه سوم) برای هر ثبت (Sها) به ترتیب برای بازه های زمانی 0, 46, 55, 75, 100 هستند. IDA ها با استفاده از نرم افزار 2D Drain اصلاح شده انجام می شود.



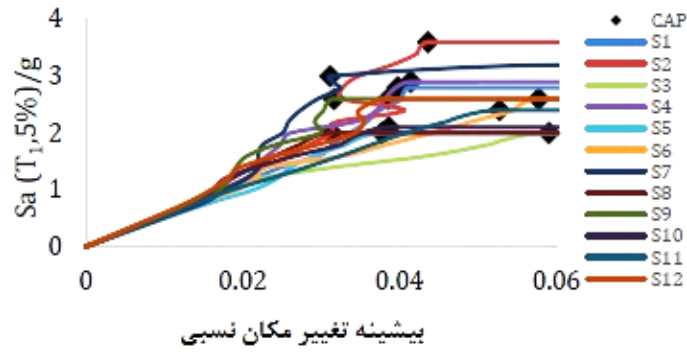
46-0(a) سال



55(b) سال



75(c) سال

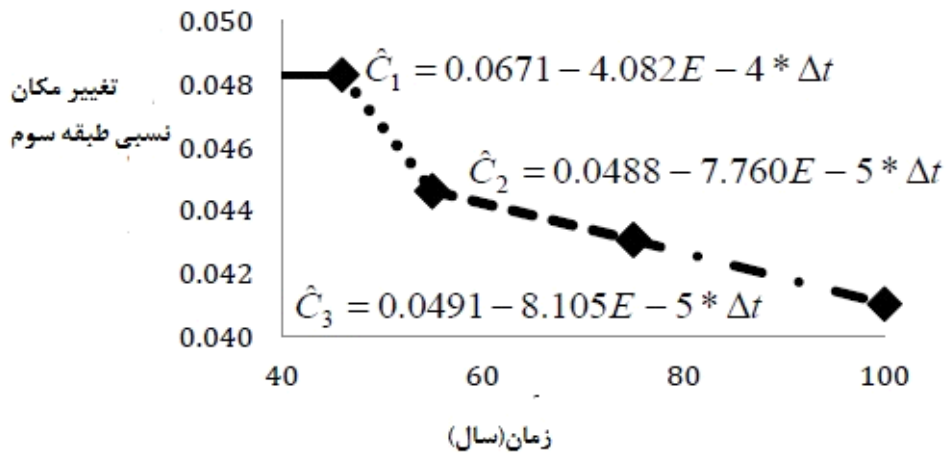


100(d) سال

شکل-2- نتایج IDAs برای بازه های زمانی مختلف

باتوجه به تصاویر بالا درمی یابیم که سختی سازه و مقاومت سازه در انتهای بازه های زمانی در نظر گرفته شده، به دلیل خوردگی کاهش می یابد.

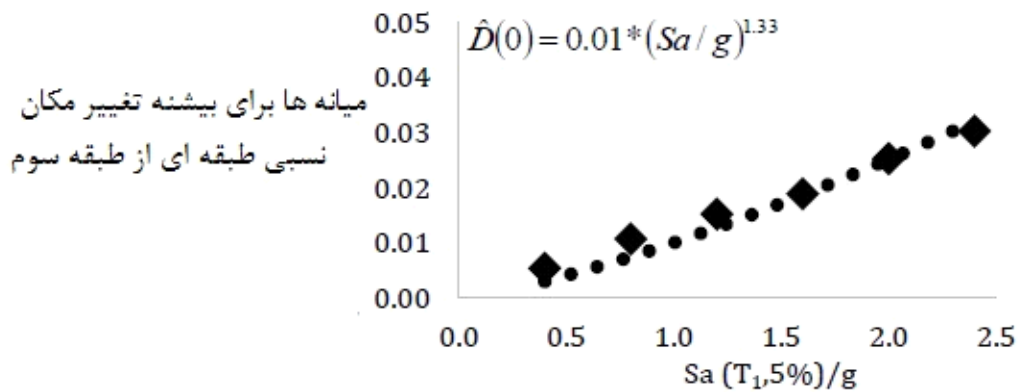
ظرفیت هر سازه با توجه به آنالیز ناپایداری دینامیکی در مرحله بعد حاصل می شود (وامواتسیکو و کرنل 2002) انحراف معیار لگاریتم طبیعی در پایان بازه های زمانی 0-46، 55، 75 و 100 به ترتیب برابر با 0.15، 0.17، 0.19 و 0.22 است. در شکل 3 مقدار میانه ظرفیت سازه متناظر با بازه های زمانی مورد نظر است.



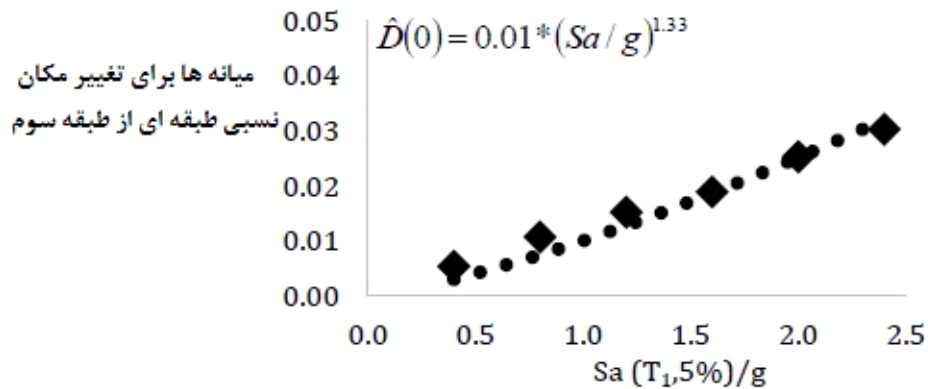
شکل-3- میانه ظرفیت سازه، متناظر با بازه های زمانی مختلف

4.3 بررسی تقاضای سازه برای شدت داده شده، در طول زمان

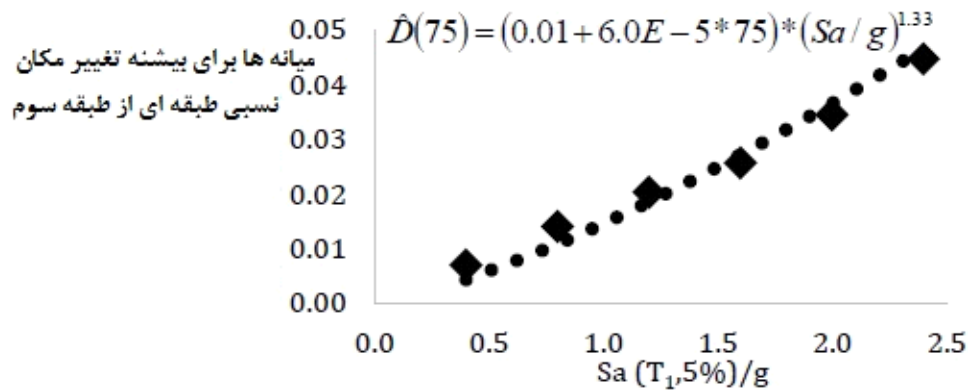
ارزیابی تقاضای سازه، به روش تحلیل دینامیکی غیر خطی گام به گام در زمان انجام می‌شود. سازه براساس 12 نوع جنبش زمینی است. در شکل 4 (d,c,b,a) مقادیر میانه تقاضای سازه به ترتیب متناظر با سال‌های 0، 55، 75، 100 است. انحراف معیار لگاریتم طبیعی برای سال‌های 0-46، 55، 75 و 100 به ترتیب 0.18، 0.21، 0.21 و 0.24 حاصل شده است.



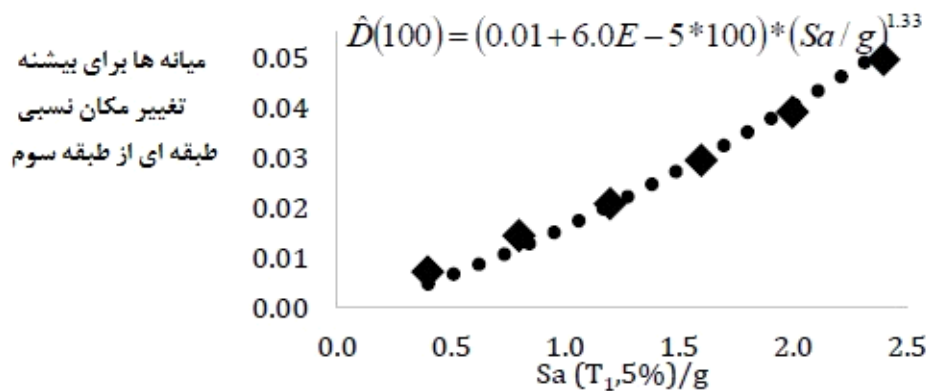
سال 46-0(a)



سال 55(b)



75(c) سال

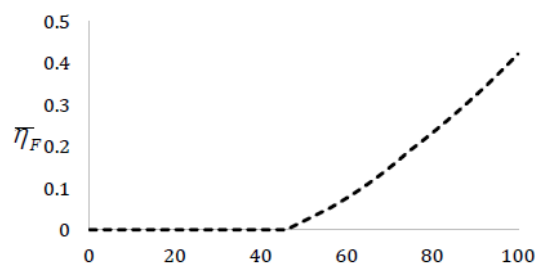


100(d) سال

شکل 4- توابع متناظر با مقادیر میانه تقاضای سازه

4.4 ضریب اطمینان و تعداد خرابی های مورد انتظار در طول زمان

تعداد خرابی های مورد انتظار در پایان بازه های زمانی مورد نظر (معادله 19) در شکل 5 ارائه شده است. عدم قطعیت شناختیک مرتبط با تقاضای سازه و با ظرفیت سازه برابر 0.2 فرض شده است. پارامترهای k و r منحنی خطر زلزله را متناظر با شدت مرتبط با حالت حدی فرو ریزش برآزش می کند (حد تغییر مکان نسبی جانبی طبقه)



زمان (سال)

شکل-5- تعداد خرابی های مورد انتظار در طول زمان

4.5 ضریب اطمینان در طول زمان

ضریب اطمینان (و معادله 31)، نرمال شده را نسبت به به ضریبی که سازه در آن هنگام ساخته می شود(، در

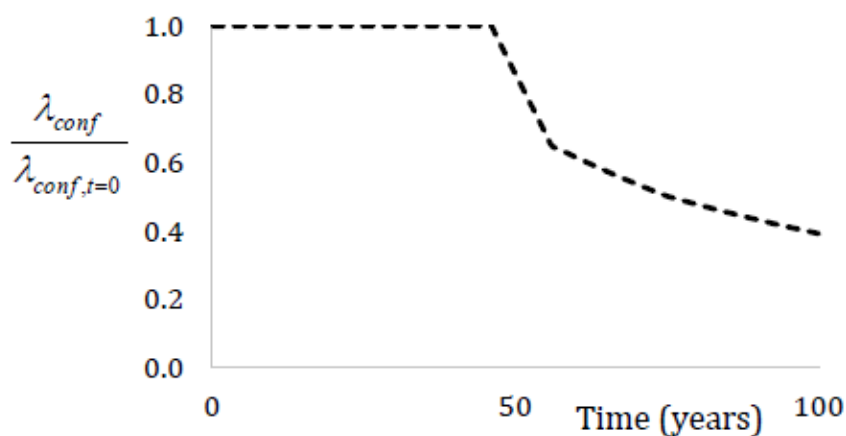
شکل 6 نشان داده شده است. رفتار ضریب اطمینان با توجه به چهار گام زیر در شکل ارائه شده است

• از سال 0 تا 46 نفوذ کلرید اتفاق افتاده است، اما خطری سازه را تهدید نمی کند (2) در گام دوم، حدود 46 سال پس

از ساخت ساختمان، خوردگی آرماتور فولادی شروع می شود، (3) بین سالهای 45 و 55 تخریب فولاد دچار خوردگی

و ترک خوردگی پوشش بخش های بتن آرمه اتفاق افتاده است (4) پس از 55 سال، بخش هایی از قبل ترک خورده

اند و خوردگی فولاد ادامه می یابد.



شکل-6- ضریب اطمینان نرمال شده نسبت به مقدار ضریب اولیه

5. نتیجه گیری

برای سازه های بتن آرمه هایی که به محیط های ساحلی نزدیک هستند و درجایی که نفوذ کلرید رخ می دهد، اهمیت عارضه خوردگی را بیان کردیم.

در مثالی گویا نشان دادیم که ضریب اطمینان ساختمان، پس از 75 سال از ساخت ساختمان به نیمی از مقدار اصلی خود رسید.

6. سپاسگزاری

نویسنده از به خاطر پشتیبانی اقتصادی در طی مطالعات Eng. M خودتشکر می کند. سپاس و قدرانی خود را به DGAPA-UNAM به خاطر حمایتش تحت پروژه PAPIIT-IN102114 تقدیم می کند.

7. REFERENCES

- Cornell, C.A. (1968)
“Engineering seismic hazard analysis”
Bulleting of the Seismological Society of America, 58, 1583-1606.
- Cornell, C.A., Jalayer, F., Hamburger, R.O., Foutch D.A., (2002)
“The probabilistic basis for the 2000 SAC/FEMA Steel moment frame guidelines”
ASCE Journal of Structural Engineering, 128, 526-533.
- Esteva, L. (1968)
“Bases para la formulación de decisiones de diseño sísmico”
PhD thesis, UNAM, Mexico. In Spanish
- Liu, Y., and Weyers, R.E. (1998).
“Modeling the time-to-corrosion cracking in chloride contaminated reinforced concrete structures”
ACI Materials Journal, 95-M65.
- Thoft-Christensen, P. (2001)
“What happens with reinforced concrete structures when the reinforcement corrodes”
Conference on “Life-Cycle cost analysis and design of civil infrastructure systems”, 35–46.
- Tolentino, D., Ruiz, S. E., and Torres, M.A. (2012)
“Simplified closed-form expressions for the mean failure rate of structures considering structural deterioration”
Structure and Infrastructure Engineering, 8(5), 483-496.
- Tolentino, D., and Ruiz, S. E. (2015)
“Time-dependent confidence factor for structures with cumulative damage”,
Earthquake Spectra, 31, 441-461.
- Torres, M.A., and Ruiz, S.E. (2007)
“Structural reliability evaluation considering capacity degradation over time”
Engineering Structures, 29, 2183-2192.
- Vamvatsikos, D., and Cornell, A. (2002)
“Incremental dynamic analysis”
Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 31, 491-514.