



Dastnameh.ir

پایگاه علمی سازه های دریایی فراساحل و مهندسی زلزله

درجه افزونگی

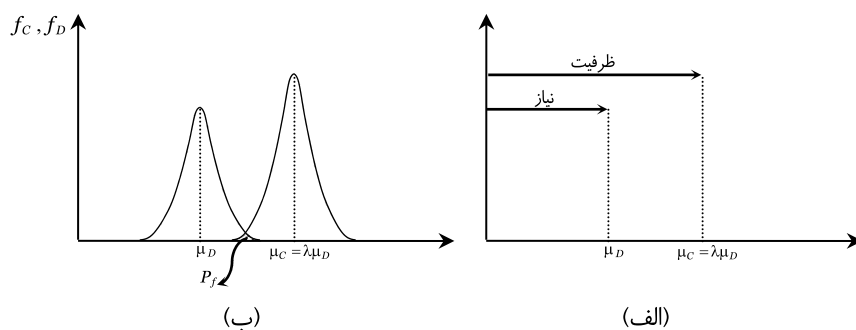
مدرس : تابش پور

این نوشتار بخشی از کتاب تفسیر استاندارد ۲۸۰۰،
جلد اول می باشد و استفاده از آن مجاز نیست.

نشر این جزوه صرفاً جنبه راهنمایی و ترویج داشته و
استفاده از آن در کارهای حرفه ای و تحقیقاتی مستلزم
بررسی بیشتر و اطمینان از صحت نوشتار می باشد.



در صورتی که مقدار نیاز بیشتر از ظرفیت باشد، شکست رخ می‌دهد. در شکل ۱۴.۱۲ مفهوم ضریب اطمینان و نیز نحوه تعیین احتمال شکست نشان داده است.



شکل ۱۴.۱۲ ضریب اطمینان (λ) بین ظرفیت و نیاز (الف) و تعریف احتمال شکست از روی چگالی احتمال نیاز و ظرفیت (ب)

با توجه به تعاریف بالا، حاشیه ایمنی به صورت مقابل تعریف می‌شود:

$$G = C - D \quad \text{احتمال شکست مساوی است با:}$$

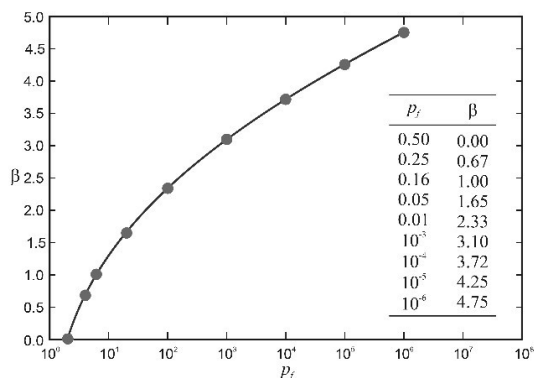
$$P_f = P(C - D < 0) = P(G < 0)$$

$$\mu_G = \mu_C - \mu_D \quad , \quad \sigma_G^2 = \sigma_C^2 + \sigma_D^2 \quad \text{می دانیم:}$$

$$P_f = \Phi\left(\frac{0 - \mu_G}{\sigma_G}\right) = \Phi(-\beta) \quad \text{احتمال شکست برابر است با:}$$

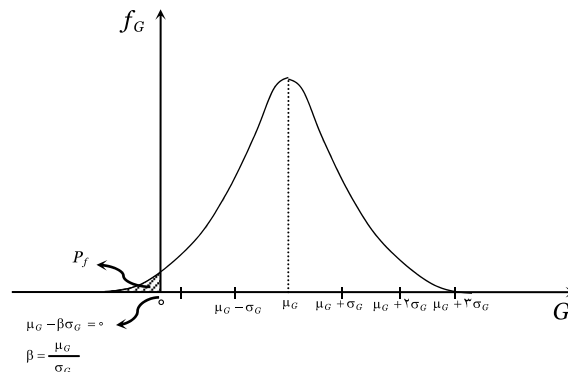
$$\beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G} \quad \text{شاخص قابلیت اعتماد به صورت مقابل تعریف می‌شود:}$$

در شکل ۱۵.۱۲ مقادیر متناظر شاخص قابلیت اعتماد با احتمال شکست رسم شده است.



شکل ۱۵.۱۲ ارتباط بین شاخص قابلیت اعتماد با احتمال شکست

بخشی از مفاهیم بالا در شکل ۱۶.۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۶.۱۲ ارتباط بین شاخص قابلیت اعتماد با احتمال شکست

اکنون خوب است که دوباره به تعاریف زیر توجه شود:

- قابلیت اعتماد: احتمال برآورده شدن شرط سالم ماندن سازه $(1 - P_f)$.
- درجه افزونگی یا نامعینی (Redundancy یا Robustness): توانایی تحمل تغییرات و نوسانات بدون اختلال در عملکرد. شاید واژه‌ی استحکام برای Robustness مناسب باشد.
- شکل‌پذیری: تحمل نیرو بدون فروریزش و با ازیاد تغییر شکل.

۷.۱۲ مقادیر آیین‌نامه‌ای احتمال شکست سالانه

با توجه به وضوح مقادیر احتمال شکست سالانه در آیین‌نامه‌های مرتبط با سازه‌های دریایی، در این‌جا به اختصار به چند نکته اشاره می‌شود. این مقدار بین 10^{-2} تا 10^{-6} بر حسب عوامل زیر در تغییر است:

- وجود یا عدم وجود خدمه در سازه
- میزان عواقب ناشی از شکست
- درجه‌ی افزونگی و نامعینی سازه

در جدول ۴.۱۲ احتمال شکست سالانه (P_f) بر اساس API و NORSOK در دو حالت با خدمه و بدون خدمه برای دو حالت کواریانس ارائه شده است.

جدول ۴.۱۲ احتمال شکست سالانه (P_f) بر اساس API و NORSOK

کواریانس ظرفیت $CoV(X_R)$	NORSOK			API	
	بدون خدمه	با خدمه (ULS)	با خدمه (ALS)	بدون خدمه	با خدمه
۰/۲	5×10^{-2}	1×10^{-3}	2×10^{-5}	5×10^{-2}	1×10^{-3}
۰/۱	3×10^{-2}	2×10^{-4}	6×10^{-5}	3×10^{-2}	2×10^{-4}



در جدول ۵.۱۲ سه تراز مختلف طراحی، حداکثر احتمال شکست سالیانه قابل قبول بر اساس ISO 19906 آورده شده است. ملاحظه می شود که این مقادیر بین 10^{-3} تا 10^{-5} است.

جدول ۵.۱۲ قابلیت اعتماد هدف برای ترازهای ULS و ALS بر اساس ISO 19906

تراز	حداکثر احتمال شکست سالیانه قابل قبول
L_1	1×10^{-5}
L_2	1×10^{-4}
L_3	1×10^{-3}

L_1 : دارای عواقب بالا یا دارای خدمه‌ی مستقر (Manned non-evacuated)
 L_2 : دارای عواقب متوسط یا دارای خدمه‌ی غیر مستقر یا بدون خدمه یا دارای خدمه‌ی غیر مستقر با عواقب کم
 L_3 : دارای عواقب کم برای سازه‌های بدون خدمه

در جدول ۶.۱۲ دسته‌بندی سه‌گانه‌ی DNV برای دو حالت عواقب کم خطر و عواقب خطرناک، احتمال شکست سالانه و شاخص قابلیت اعتماد متناظر، نشان داده شده است.

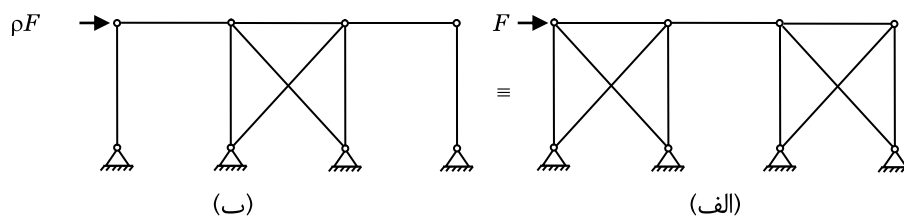
جدول ۶.۱۲ دسته‌بندی DNV شامل احتمال شکست سالانه (P_f) و شاخص قابلیت اعتماد هدف

نوع شکست	عواقب کم خطر	عواقب خطرناک
I. سازه‌ی با درجه‌ی افزونگی	$P_f = 10^{-3}$ $\beta = 3.79$	$P_f = 10^{-4}$ $\beta = 3.71$
II. هشدار جدی قبل از وقوع شکست در یک سازه بدون درجه‌ی افزونگی	$P_f = 10^{-4}$ $\beta = 3.71$	$P_f = 10^{-5}$ $\beta = 4.26$
III. بدون هشدار قبل از وقوع شکست در یک سازه بدون درجه‌ی افزونگی	$P_f = 10^{-5}$ $\beta = 4.26$	$P_f = 10^{-6}$ $\beta = 4.75$

۸.۱۲ بررسی چند مثال سازه‌ای

مثال ۱.۱۲

دو چیدمان متفاوت بادی مطابق شکل زیر را در نظر بگیرید و فرض کنید احتمال شکست سازه‌ی (الف) مساوی 10^{-3} و احتمال شکست سازه‌ی (ب) مساوی 10^{-6} می‌باشد. با فرض اینکه واریانس مساوی ۱۰ درصد میانگین است، مطلوب است تعیین ضریب ρ که باعث همسانی دو طرح می‌شود.





با توجه به مبانی قابلیت اعتماد می‌توان نوشت:

$$G = C - D = \lambda D - D = (\lambda - 1)D$$

$$\mu_G = (\lambda - 1)\mu_D$$

$$\sigma_G^2 = \lambda^2 \sigma_C^2 + \sigma_D^2 = (\lambda^2 + 1)\sigma_D^2$$

$$\sigma_G = \sqrt{\lambda^2 + 1} \sigma_D$$

$$\sigma_D \simeq 0.1 \mu_D$$

فرض قابل قبول:

$$\beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G}$$

می‌دانیم β به صورت روبرو تعریف می‌شود:

با جایگزینی μ_G و σ_G داریم:

$$\beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G} = \frac{(\lambda - 1)\mu_D}{\sqrt{\lambda^2 + 1} \times 0.1 \mu_D} = \frac{(\lambda - 1)}{0.1 \sqrt{\lambda^2 + 1}}$$

با توجه به اینکه احتمال شکست در سازه‌ی (الف) مساوی 10^{-3} داده شده است، می‌توان نوشت:

$$P_f = 10^{-3} \Rightarrow \beta = 370.9 = \frac{\lambda - 1}{0.1 \sqrt{\lambda^2 + 1}} \Rightarrow \lambda = ?$$

معادله بالا به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$(370.9 \times 0.1)^2 (\lambda^2 + 1) = (\lambda - 1)^2$$

$$0.0905(\lambda^2 + 1) - \lambda^2 + 2\lambda - 1 = 0 \Rightarrow -0.905\lambda^2 + 2\lambda - 0.905 = 0$$

$$\frac{-2 \pm \sqrt{4 - 4 \times 0.905 \times 0.905}}{2 \times (-0.905)} \Rightarrow \lambda = 1.57 \quad (1)$$

با توجه به اینکه احتمال شکست در سازه‌ی (ب) مساوی 10^{-6} داده شده است، می‌توان نوشت:

$$P_f = 10^{-6} \Rightarrow \beta = 475 = \frac{\lambda - 1}{0.1 \sqrt{\lambda^2 + 1}} \Rightarrow \lambda = ?$$

$$(475 \times 0.1)^2 (\lambda^2 + 1) = (\lambda - 1)^2$$

$$0.226(\lambda^2 + 1) - \lambda^2 + 2\lambda - 1 = 0 \Rightarrow -0.774\lambda^2 + 2\lambda - 0.774 = 0$$

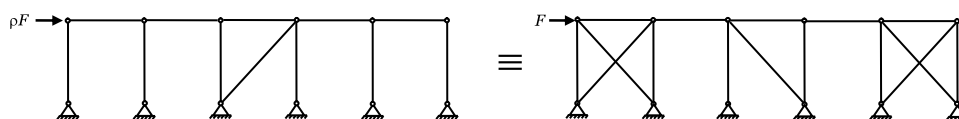
$$\frac{-2 \pm \sqrt{4 - 4 \times 0.774 \times 0.774}}{2 \times (-0.774)} \Rightarrow \lambda = 2.11 \quad (2)$$

اکنون می‌توان ضریب ρ را به صورت زیر محاسبه کرد:

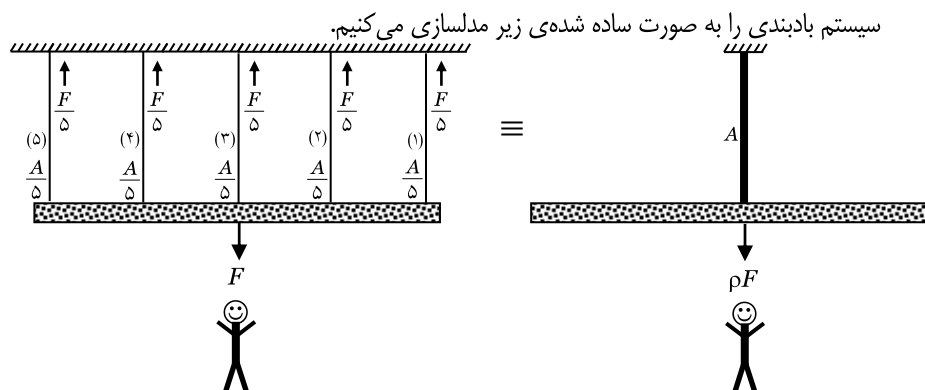
$$(1), (2) \Rightarrow \rho = \frac{2.11}{1.57} = 1.34$$

مثال ۲.۱۲

با فرض رفتار یک سان بادیها در کشش و فشار (مثلا مانند BRB) دو چیدمان بادیند مانند شکل زیر را در نظر بگیرید. اگر احتمال شکست هر عضو بادیند 10^{-3} باشد و بخواهیم دو سازه‌ی زیر دارای قابلیت اعتماد یکسانی باشند، مقدار ρ را تعیین کنید. فرض کنید واریانس مساوی ۱۰ درصد میانگین است.



حل



در صورتی که از ۵ عضو، ۲ عضو گسیخته شود، سیستم فرو می ریزد. این ترکیبات دوتایی به صورت زیر است:

۱ و ۲، ۱ و ۳، ۱ و ۴، ۱ و ۵ و ۲ و ۳، ۲ و ۴، ۲ و ۵ و ۳ و ۴، ۳ و ۵ و ۴ و ۵ و ۴ و ۵

ملاحظه می‌شود که ۱۰ ترکیب وجود دارد. توجه شود که در این صورت ضریب اطمینان مساوی است با:

$$\frac{5}{5-2} = 1/67$$

اگر احتمال شکست هر عضو $P_f = 10^{-3}$ باشد، برای سیستم تک عضوی، ضریب اطمینان $1/57$ حاصل می‌شود:

$$P_f = 10^{-3} \rightarrow \beta = 3/09 \rightarrow S \cdot F_0 = 1/57$$

با توجه به اینکه در سیستم ۵ عضوی، شرط فروریزش کل سیستم، شکست دو عضو می‌باشد و ده ترکیب

دو عضوی وجود دارد، در نتیجه احتمال فروریزش کل سیستم به صورت زیر تعیین می‌شود:

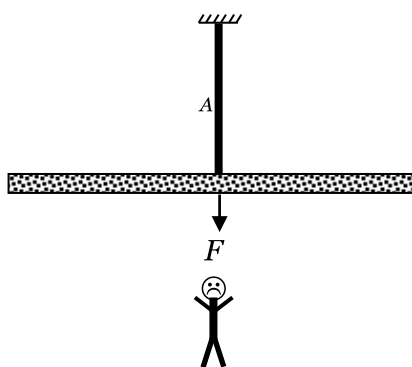
ترکیبات دو عضوی از پنج عضو $\times$ احتمال شکست عضو دوم $\times$ احتمال شکست عضو اول = احتمال فروریزش کل سیستم

در نتیجه، شاخص قابلیت اعتماد β به صورت زیر است:

$$P_f = 10^{-3} \times 10^{-3} \times 10 = 10^{-5} \rightarrow \beta = 4/26$$



بدیهی است که اگر سیستم تک عضوی برای همان نیروی مشابه سیستم پنج عضوی طراحی شود، قابلیت اعتماد کمتری دارد.



اکنون با معلوم بودن $\beta = 4/26$ می‌توان ضریب اطمینان متناظر را تعیین کرد:

$$\beta = 4/26 = \frac{\lambda - 1}{0.1 \times \sqrt{\lambda^2 + 1}} \Rightarrow \lambda = ?$$

$$(4/26 \times 0.1)^2 (\lambda^2 + 1) = (\lambda - 1)^2$$

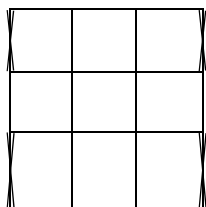
$$0.426^2 (\lambda^2 + 1) - \lambda^2 + 2\lambda - 1 = 0 \Rightarrow 0.181\lambda^2 - \lambda^2 + 2\lambda + 0.181 - 1 = 0$$

$$-0.819\lambda^2 + 2\lambda - 0.819 = 0$$

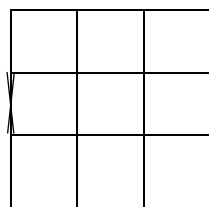
$$\frac{-2 \pm \sqrt{4 - 4 \times 0.819^2}}{2 \times (-0.819)} \Rightarrow \lambda = 1.92 \xrightarrow{\div 1.57} \rho = 1.22$$

۹.۱۲ جایگاه پیچش در درجه‌ی افزونگی

یکی از نکات مهم در خصوص درجه‌ی افزونگی، پیچش سازه در صورت حذف برخی اعضای لرزه‌بر است. مثلاً در شکل ۱۷.۱۲ (الف) حذف یکی از دهانه‌های بادبندی باعث پیچش شدید در سازه می‌شود در حالی که در شکل ۱۷.۱۲ (ب) با شکست یکی از دهانه‌های بادبندی، هرچند پیچش ایجاد می‌شود ولی شدت آن کمتر است.



(ب)



(الف)

شکل ۱۷.۱۲ دو پلان متفاوت در چیدمان بادبندی

در حال آماده‌سازی



۱۵

تفسیر استاندارد ۲۸۰۰

(ویرایش چهارم)

جلد چهارم

ساختمان‌های مصالح بتانی کلاف‌دار

به روش پرسش و پاسخ
شامل جارت‌ها و الگوریتم‌ها
مبانی قضاوت مهندسی

محمدرضا تابش پور
(عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف)



به زودی



۵

تفسیر استاندارد ۲۸۰۰

(ویرایش چهارم)

جلد اول

مبانی و مفاهیم

به روش پرسش و پاسخ
شامل نکات SAP و ETABS
شامل جارت‌ها و الگوریتم‌ها
مبانی قضاوت مهندسی

محمدرضا تابش پور
(عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف)



در حال آماده‌سازی



۲۷

تفسیر استاندارد ۲۸۰۰

(ویرایش چهارم)

جلد سوم

نکات فلسفی و کاربردی

به روش پرسش و پاسخ
شامل نکات SAP و ETABS
شامل جارت‌ها و الگوریتم‌ها
مبانی قضاوت مهندسی

محمدرضا تابش پور
(عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف)



زیر چاپ



۲۰

تفسیر استاندارد ۲۸۰۰

(ویرایش چهارم)

جلد دوم

ملاحظات دیوار پرکننده

به روش پرسش و پاسخ
شامل نکات SAP و ETABS
شامل جارت‌ها و الگوریتم‌ها
مبانی قضاوت مهندسی

محمدرضا تابش پور
(عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف)

