

مروری بر کاربرد احتمالات در مهندسی زلزله (دوره بازگشت)

بخشی از این مطالب در یکی از جلسات سازه‌های فراساحلی و بر اساس ادبیات API2014 تدریس می‌شود.
(مباحث تکمیلی: کتاب سازه‌های فراساحلی)

Seismic Design Procedures and Criteria for Offshore Structures

ANSI/API RECOMMENDED PRACTICE 2EQ
FIRST EDITION, NOVEMBER 2014

ISO 19901-2:2004 (Modified), Petroleum and natural gas industries—Specific requirements for offshore structures—

Part 2: Seismic design procedures and criteria

پرسش ۶: منظور از زلزله شدید چیست؟ (متفاوت با ELE که بهتر است به اسم بسیار شدید باشد در نشریه ۰۵۲)
پاسخ: زلزله شدید معمولاً متناظر با خطر پذیری ۱۰٪ در عمر مفید سازه (۵۰ سال) می‌باشد. بدین ترتیب دوره بازگشت این زلزله برابر ۵۰۰ سال می‌باشد. به این زلزله، زلزله طرح یا DBE (Design Base Earthquake) گفته می‌شود.

نشریه ۰۵۲

طراحی لرزه‌ای بر مبنای دو سطح خطر زلزله، به ترتیب برای دو حالت حدی نهایی^۱ (ULS) برای مقاومت و سختی و حالت حدی تصادفی یا غیر عادی^۲ (ALS) برای اطمینان از برآورده شدن الزامات مربوط به مقاومت باقیمانده و استهلاک انرژی انجام می‌شود.
سطح خطر برای طراحی در حالت حدی نهایی، زلزله شدید^۳ (ELE) و برای طراحی در حالت حدی غیر عادی، زلزله نادر^۴ (ALE) تعریف می‌شود.

extreme level earthquake

ELE

Earthquake with a severity which the structure should sustain without major damage.

NOTE The ELE event is comparable to the extreme environmental event in the design of fixed structures which is described in API 2A-WSD, 22nd Edition and ISO 19903. When exposed to an ELE, a structure is supposed to retain its full capacity for all subsequent conditions.

abnormal level earthquake

ALE

Intense earthquake of abnormal severity under the action of which the structure should not suffer complete loss of integrity.

NOTE The ALE event is comparable to the abnormal event in the design of fixed structures which are described in API 2A-WSD and ISO 19903. When exposed to the ALE, a manned structure is supposed to maintain structural and/or floatation integrity for a sufficient period of time to enable evacuation to take place.

طراحی لرزه‌ای بر مبنای دو سطح خطر زلزله، به ترتیب برای دو حالت حدی نهایی برای اطمینان از برآورده شدن الزامات (ALS) مقاومت و سختی و حالت حدی تصادفی یا غیر عادی. مربوط به مقاومت باقیمانده و استهلاک انرژی انجام میشود.

Extreme Level Earthquake زلزله (بسیار) شدید

Abnormal Level Earthquake زلزله نادر

پرسش ۴۲: مهمترین توزیع‌های آماری که در مباحث تحلیل ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرند را شرح دهید.

پاسخ: توزیع‌های پواسون و نمایی

پرسش ۴۳: توزیع پواسون را توضیح دهید.

پاسخ: توزیع پواسون کاربرد زیادی در مسایل مهندسی دارد. رخداد برخی از وقایع تصادفی در فضای پیوسته زمان یا مکان با استفاده از این توزیع مدل سازی می‌شوند. به عنوان نمونه تعداد بلایای طبیعی در یک مدت مشخص (مثلاً

یک سال) را می‌توان یک متغیر تصادفی با توزیع پواسون فرض کرد. در این قبیل مثالها هر چند بازه رخداد (زمان یا

مکان) پیوسته است ولی متغیر تصادفی بصورت گسسته می‌باشد. با تعریف متغیر تصادفی توزیع پواسون به صورت

مکان) پیوسته است ولی متغیر تصادفی بصورت گسسته می‌باشد. با تعریف متغیر تصادفی توزیع پواسون به صورت

X_t که در آن t بازه زمانی (مکانی) است، این توزیع به شکل زیر می‌باشد:

$$P_{X_t}(x) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} \quad (1)$$

λ بیانگر تعداد متوسط رخداد در بازه واحد می باشد. مقادیر متوسط و واریانس توزیع پواسون عبارتند از:

$$\mu_x = \lambda t \quad (2)$$

$$\delta_x^2 = \lambda t \quad (3)$$

در مباحث تحلیل ریسک معمولاً بازه زمانی واحد برابر یک سال در نظر گرفته می شود و در نتیجه $T = \frac{1}{\lambda}$ مساوی دوره بازگشت می شود.

مسئله ۳: فرض کنید زلزله ای با بزرگی مشخص بطور متوسط هر صد سال یک بار رخ می دهد، مقادیر زیر را تعیین کنید.

الف - احتمال آنکه در صد سال هیچ زلزله ای رخ ندهد.

ب - احتمال آنکه در صد سال فقط یک زلزله رخ دهد.

ج - احتمال آنکه در صد سال حداقل یک زلزله رخ دهد.

حل :

الف - بازه واحد را یک سال در نظر می گیریم، در نتیجه مقدار متوسط رخداد در یک سال بصورت $\lambda = 0.01$ بوده و طول دوره $t = 100$ می باشد:

$$P_{X_t}(x=0) = \frac{(0.01 \times 100)^0 e^{-0.01 \times 100}}{0!} = 0.37$$

$$P_{X_t}(x=1) = \frac{(0.01 \times 100)^1 e^{-0.01 \times 100}}{1!} = 0.37 \quad \text{ب-}$$

$$P_{X_t}(x \geq 1) = 1 - p_{X_t}(0) = 1 - 0.37 = 0.63 \quad \text{ج-}$$

مسئله ۴: در مسئله ۳ احتمال وقوع فقط یک زلزله در طول ۵۰ سال را بیابید.

حل : در توزیع پواسون $t = 50$ بوده و:

$$P_{X_t}(x=1) = \frac{(0.01 \times 50)^1 e^{-0.01 \times 50}}{1!} = 0.3$$

مسئله ۵: احتمال عدم رخداد زلزله در طول دوره بازگشت آن چقدر است؟

حل : دوره بازگشت برابر T فرض می شود ($\lambda = \frac{1}{T}$) و

$$P_{X_t}(x=0) = \frac{\left(\frac{1}{T} \times T\right)^0 e^{-\frac{1}{T} \times T}}{0!} = e^{-1} = 0.37$$

مسئله ۶: عمر مفید یک سازه ۵۰ سال است، اگر بخواهیم احتمال رخداد زلزله در این مدت برابر ۱۰٪ باشد باید زلزله با چه دوره بازگشتی در نظر گرفته شود:

حل : احتمال عدم رخداد زلزله برابر ۰/۹ می باشد، در نتیجه:

$$P_{X_t}(x=0) = \frac{(\lambda \times 50)^0 e^{-\lambda \times 50}}{0!} = 0.9$$

$$\lambda = 2.107 \times 10^{-3} \quad \text{سال / زلزله}$$

$$\therefore T = \frac{1}{\lambda} = 475 \quad \text{سال}$$

مسئله ۷: مسئله ۶ را برای سطح احتمال ۵٪ حل کنید.

حل :

$$P_{X_t}(x=0) = \frac{(\lambda \times 50)^0 e^{-\lambda \times 50}}{0!} = 0.95$$

$$\lambda = 1.026 \times 10^{-3} \quad \text{سال / زلزله}$$

$$\therefore T = \frac{1}{\lambda} = 975 \quad \text{سال}$$

مسئله ۸: مسئله ۶ را با فرض عمر مفید ۱۰۰ سال حل نمایید.

حل :

$$P_{X_t}(x=0) = \frac{(\lambda \times 100)^0 e^{-\lambda \times 100}}{0!} = 0.9$$

$$\lambda = 1.054 \times 10^{-3} \quad \text{سال / زلزله}$$

$$\therefore T = \frac{1}{\lambda} = 950 \quad \text{سال}$$

مسئله ۹: مسئله ۷ را با فرض عمر مفید ۱۰۰ سال حل کنید.

حل :

تابش پور

$$P_{X_t}(x=0) = \frac{(\lambda \times 100)^0 e^{-\lambda \times 100}}{0!} = 0.95$$

$$\lambda = 5.129 \times 10^{-3} \quad \text{سال / زلزله}$$

$$\therefore T = \frac{1}{\lambda} = 1950 \quad \text{سال}$$

مسأله ۱۰: سازه‌ای در منطقه با لرزه‌خیزی بالا واقع شده است. بطور متوسط در هر صد سال، ده زلزله مخرب روی می‌دهد. در چنین زلزله‌ای احتمال خرابی سازه ۱٪ می‌باشد، احتمال شکست سازه (P_f) در طول عمر مفید ۵۰ سال چقدر است؟

حل:

$$\lambda = \frac{10}{100} = 0.1 \quad \text{سال / زلزله}$$

$$P_{X_t}(x) = \frac{(0.1 \times 50)^x e^{-0.1 \times 50}}{x!} = 6.738 \times 10^{-3} \times \frac{5^x}{x!}$$

با فرض مستقل بودن شکست در هر زلزله می‌توان نوشت:

$$P(x \text{ زلزله / شکست سازه}) = [P(\text{یک زلزله / شکست سازه})]^x = (0.01)^x$$

$$P_f = \sum_{x=1}^{\infty} 6.738 \times 10^{-3} \times \frac{5^x}{x!} \times (0.01)^x = 6.738 \times 10^{-3} \sum_{x=1}^{\infty} \frac{(0.05)^x}{x!}$$

با توجه به رابطه:

$$e^y = 1 + y + \frac{y^2}{2!} + \frac{y^3}{3!} + \dots = 1 + \sum_{x=1}^{\infty} \frac{y^x}{x!}$$

می‌توان نوشت:

$$P_f = 6.738 \times 10^{-3} (e^{0.05} - 1) = 0.000345$$

پرسش ۴: توزیع نمایی را شرح دهید.

پاسخ: اهمیت این توزیع به خاطر ارتباط آن با توزیع پواسون می‌باشد. برای یک توزیع پواسون مشخص، فاصله

زمانی T بین دو رخداد متوالی، دارای توزیع نمایی به شکل زیر می‌باشد:

$$f_T(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t} & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (۴)$$

و تابع توزیع تجمعی آن به صورت:

$$F_T(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5)$$

می باشد. مقادیر متوسط و واریانس این توزیع عبارتند از:

$$\mu_T = \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

$$\sigma_T^2 = \frac{1}{\lambda^2} \quad (7)$$

مسئله ۱۱: دوره بازگشت یک زلزله، صد سال می باشد، احتمال آنکه اولین زلزله در مدتی بیشتر از صد سال رخ دهد چقدر است؟

حل:

$$P(T > 100) = 1 - P(T \leq 100) = 1 - [1 - e^{-0.01 \times 100}] = 0.37$$

مسئله ۱۲: در مسئله قبلی احتمال آنکه اولین زلزله در مدتی بیشتر از پنجاه سال رخ دهد چقدر است؟

حل:

$$P(T > 50) = 1 - P(T \leq 50) = 1 - [1 - e^{-0.01 \times 50}] = 0.61$$

هر دو مثال فوق را می توان با توجه به توزیع پواسون نیز حل نمود.

$$P(X > 255) = 1 - 0.0869 = 0.131$$

پرسش ۴۵: منظور از زلزله شدید چیست؟

پاسخ: منظور از زلزله شدید، همان زلزله طرح (دوره بازگشت ۴۷۵ سال) می باشد.

پرسش ۴۶: در چه صورتی تلفات جانی به حداقل می رسد؟

پاسخ: در صورتی که سازه در زلزله شدید (دوره بازگشت ۴۷۵ سال) فرو نریزد.

پرسش ۴۷: منظور از زلزله های خفیف و متوسط چیست؟

پاسخ: منظور همان زلزله سطح بهره برداری است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال عمر مفید سازه، بیشتر از ۹۹/۵

درصد باشد.

جدول ۲.۱ خطر متناظر با سطوح عملکرد لرزه ای در طراحی ساختمان معمولی برای زلزله ۵۰۰ ساله

هدف عملکردی	احتمال	دوره بازگشت (سال)	سطح زلزله طرح
قابلیت بهره برداری	۵۰٪ در ۳۰ سال	۴۳ (۶۰)	Frequent (رایج، بسیار خفیف، خفیف)
کنترل خرابی	۵۰٪ در ۵۰ سال	۷۲ (۱۰۰)	Occasional (گاه گاه، خفیف، متوسط)
ایمنی جانی	۱۰٪ در ۵۰ سال	۴۷۵ (۵۰۰)	Rare (نادر، شدید)
عدم فروریزش	۱۰٪ در ۱۰۰ سال	۹۷۵ (۱۰۰۰)	Very Rare (بسیار نادر، بسیار شدید) (ELE)
حفظ ایستایی	۲٪ در ۵۰ سال	۲۴۷۵ (۲۵۰۰)	Max. Considered or Max. Credible (MCE) (بیشینه زلزله ممکن، شدیدترین زلزله ممکن) (ALE)

پرسش: شاخص بندی کمی زلزله در Vision 2000 چگونه است؟

پاسخ: شدت زلزله به صورت کمی با جملات احتمالاتی در Vision 2000 مطابق جدول (۷-۱) تعریف می شود.

جدول ۷.۱ بیان کمی زلزله های مختلف

Earthquake Classification	Recurrence Interval	Probability of Occurance
Frequent (متداول، رایج)	43 years	50% in 30 years
Occasional (متوسط)	72 years	50% in 50 years
Rare (نادر)	475 years	10% in 50 years
Very Rare (بسیار نادر) (ELE)	970 years*	10% in 100 years

for the maximum deterministic event * need not exceed mean + 1 standard deviation

(نیازی نیست از مجموع میانگین بعلاوه انحراف معیار برای روش بیشتر متعین باشد.)

پرسش ۱۵: منظور از زلزله بسیار شدید چیست؟ (ELE)

پاسخ: معمولاً زلزله ۱۰۰۰ ساله (احتمال وقوع ۵٪ در ۵۰ سال) را زلزله بسیار شدید می‌نامند.

پرسش ۱۶: بند «۱-۱-پ» آیین‌نامه ۲۸۰۰ را بازنویسی کنید.

پاسخ: ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد (حیاتی) باید شرط زیر را برآورده کند:

- در زلزله شدید، قابلیت بهره‌برداری بی‌وقفه داشته باشد.

پرسش ۱۷: منظور از زلزله متوسط چیست؟

پاسخ: معمولاً زلزله با دوره بازگشت ۲۵۰ ساله (احتمال وقوع ۲۰٪ در ۵۰ سال، یا ۲۲۵ ساله) را زلزله متوسط می‌نامند.

پرسش ۱۸: براساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ اگر بیشینه شتاب زلزله طرح (زلزله ۵۰۰ ساله) برابر A در نظر گرفته شود، آنگاه شتاب

متناظر با بیشینه زلزله ممکن و زلزله بسیار شدید و زلزله متوسط و زلزله خفیف چه قدر است؟

جدول ۳.۱ شتاب بیشینه زلزله‌های مختلف

اسم	شتاب	زلزله
ALE	1.4A	بیشینه زلزله ممکن
ELE	1.2A	زلزله بسیار شدید
	A	زلزله شدید
	0.8A	زلزله متوسط
	A/6	زلزله خفیف

پرسش ۱۹: براساس IBC رابطه بین بیشینه زلزله ممکن و زلزله بسیار شدید با زلزله شدید چگونه است؟

پاسخ: این رابطه مطابق جدول زیر می‌باشد.

جدول ۴.۱ شتاب بیشینه زلزله‌های مختلف مطابق IBC

شتاب	زلزله
1.5A	بیشینه زلزله ممکن
1.25A	زلزله بسیار شدید
A	زلزله شدید