

در تهیه این گزارش از مطالب مندرج در مرجع ۱ استفاده شده است. هدف این مقاله ارائه یک چارچوب کاربردی برای محاسبه شاخص تاب آوری لرزه ای و تاثیر زیان اقتصادی (مستقیم و غیرمستقیم)، اجتماعی و محیط زیستی بر این شاخص است. تا قبل از این مطالعه عمده مطالعات برای برآورد شاخص تاب آوری لرزه ای صرفا از زیان اقتصادی مستقیم استفاده می کردند. اضافه شدن اثرات زیان اقتصادی غیر مستقیم، اجتماعی و محیط زیستی وجه تمایز این مطالعه با مطالعات قبلی است.

زیان اقتصادی مستقیم یا C_d

نسبت کل زیان اقتصادی مستقیم یا C_i برابر است با مجموع نسبت زیان اقتصادی مستقیم یا C_{1i} ^۱ و نسبت زیان وارد بر دارایی های داخلی (دارایی ها، تجهیزات، ماشین آلات، کالاهای، مبلمان، سیستمهای داخلی (مانند سرورها) و هر چیزی که داخل یک ساختمان (چه مسکونی، چه تجاری، چه صنعتی یا عمومی مانند موزه ها و کتابخانه ها) قرار دارد) یا C_{2i} ^۲. مطابق تعریف برای محاسبه C_{1i} نسبت هزینه تعمیرات سازه به هزینه اولیه ساخت سازه محاسبه می شود. ضمنا برای محاسبه C_{2i} باید نسبت هزینه تعمیر یا جایگزینی دارایی های آسیب دیده به ارزش کل دارایی های داخلی را محاسبه کرد. در ادامه نسبت زیان نرمالایز شده برابر است با :

$$C_d = \sum_{i=1}^4 C_i \left(\frac{1 + \delta}{1 + r} \right)^t P(DS_i)$$

f: نرخ تنزیل سالانه (شاخص محاسبه ارزش فعلی دارایی های آینده)

δ : نرخ استهلاک سالانه (کاهش ارزش یک دارایی فیزیکی (مثل ساختمان)، به دلیل عوامل فیزیکی (فرسودگی، استفاده) و عوامل اقتصادی (کهنگی فناوری) در طول زمان)

a: اندیس متناظر با حالت های حدی خسارت

t: فاصله زمانی بین احداث ساختمان و زمانی که ساختمان زلزله را تجربه می کند.

$P(DS_i)$: احتمالی رسیدن به حالت حدی معین برگرفته از منحنی شکنندگی

برای محاسبه C_{1i} و C_{2i} می توان از جدول ۱ که برای سازه های بتن آرمه استفاده کرد.

جدول ۱: نسبت C_{1i} و C_{2i} باری قاب خمشی بتن آرمه [2]

Damage State	Slight	Moderate	Extensive	Complete
$C_{1i}(\%)$	10	40	70	100
$C_{2i}(\%)$	0	0	30	95

زیان اقتصادی غیر مستقیم یا C_{id}

برای محاسبه زیان اقتصادی غیر مستقیم در اثر بسته شدن کسب و کار، زیان از دست رفتن اجاره بها و ... می توان از نسبت زین نرمالایز شده مستقیم که توسط ضریب α که در واقع نسبت زیان غیر مستقیم اقتصادی به زیان اقتصادی مستقیم است، اصلاح می شود، استفاده کرد. این ضریب بین ۰/۴ تا ۱/۰ در تغییر است. این روشی ساده در برآورد اثر زیان اقتصادی غیر مستقیم است.

$$C_{id} = \alpha C_d$$

زیان اقتصادی کل همپایه شده یا L_E

نسبت زیان اقتصادی کل همپایه شده برابر است با جمع نسبت های محاسبه شده برای خسارت مستقیم و غیرمستقیم :

$$L_E = C_d + C_{id}$$

زیان اجتماعی (کشته شدگان و اثرات آن بر زندگی اجتماعی)

¹ direct economic loss ratio

² indoor assets loss ratio

برای برآورد زیان اجتماعی می توان از شاخص آسیب دیدگان و تاثیر آن بر زندگی اجتماعی استفاده کرد. آسیب دیدگی در اثر زلزله دو منشا دارد:

- ۱- خسارت و فروریزش ساختمان در اثر زلزله و یا عوامل ثانویه پس از زلزله
 - ۲- اثرات اجتماعی خرابی ها (کمبود غذا، نابسامانی های اجتماعی و ...) و خرابی های زیست محیطی (زمین رانش و سونامی)
- بخش اول به آسیب دیدگی مستقیم و بخش دوم به آسیب دیدگی غیر مستقیم مرتبط است. برای محاسبه این زیان ابتدا لازم است نسبت گشته شدگان مستقیم یا D_d و نسبت زخمی شدگان مستقیم یا D_h محاسبه شود. دو رابطه برای محاسبه این دو نسبت در ادامه آمده است :

$$D_d = \sum_{i=1}^4 \beta \gamma_{di} P(DS_i)$$

$$D_h = \sum_{i=1}^4 \beta \gamma_{hi} P(DS_i)$$

β : ضریب چگالی جمعیت در ساختمان در هر لحظه از شبانه روز

γ_{di} : نرخ مرگ

γ_{hi} : نرخ زخمی شدن

جدول ۲: نرخ مرگ γ_{di} و نرخ آسیب دیدگان γ_{hi} [2]

Damage State	Slight	Moderate	Extensive	Complete
$\gamma_{di}(\%)$	0	0.1	1	30
$\gamma_{hi}(\%)$	0.05	3	5	70

در ادامه لازم است نسبت مرگ و زخمی شدن غیر مستقیم نیز محاسبه شود که معمولاً مشابه خسارت اقتصادی، آن را نسبتی از نسبت زیان مستقیم در نظر می گیرند. به عبارتی :

$$D_{id} = \alpha_d D_d$$

$$D_{ih} = \alpha_d D_h$$

α_d : نسبت آسیب دیدگی غیر مستقیم به مستقیم برگرفته از اطلاعات هر زلزله به وقوع پیوسته در نهایت زیان اجتماعی برابر است با :

$$L_c = D_d + D_h + D_{id} + D_{ih}$$

زیان محیط زیستی

این زیان تابع دو عامل نرخ رهاسازی CO_2 و یا نسبت انرژی مصرف شده برای تخریب و بازسازی ساختمان متناظر با هر حالت حدی خسارت است. برای محاسبه نرخ رهاسازی CO_2 می باید از نسبت انتشار CO_2 در فرآیند بازسازی ساختمان به کل انتشار شده در بدو تولید ساختمان در نظر گرفت. بنابراین زیان محیط زیستی برابر است با:

$$L_{En} = \sum_{i=1}^4 E_i P(DS_i)$$

E_i : نسبت همپایه شده انرژی براساس ستون آخر جدول ۳

جدول ۳: ضریب تاثیر محیط زیستی [3]

Damage State	Repair Measure	Environmental Impacts		
		Co2 emission (kg/m ³)	Energy Consumption (MJ/m ³)	Ratio E

Slight	Injecting epoxy resin	60	1401	0.05
Moderate	Patching	376	2762	0.1
Extensive	Concrete Jacketing	Concrete: 376 Steel: 9749	Concrete: 2762 Steel: 245757	0.4
Complete	Replacement			1.15

زیان همپایه شده کل

در ادامه و برای محاسبه نسبت زیان همپایه شده لازم است اثر زیان اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی با ضرایب وزنی با هم ترکیب شوند. این ضرایب وزنی در واقع نسبت زیان همپایه شده مورد نظر به کل زیان همپایه شده است.

$$L = \alpha_E L_E + \alpha_C L_C + \alpha_{En} L_{En}$$

$$\alpha_E = \frac{L_E}{L_E + L_C + L_{En}}$$

$$\alpha_C = \frac{L_C}{L_E + L_C + L_{En}}$$

$$\alpha_{En} = \frac{L_{En}}{L_E + L_C + L_{En}}$$

در ادامه و با مشخص بودن زیان اقتصادی، زیان کل و شاخص تاب آوری لرزه ای می توان بکمک جدول ۴ درباره سازه تصمیم گیری کرد:

جدول ۴: رتبه بندی وضعیت سازه از حیث بازیابی براساس شاخص تاب آوری [4T 5 , 6]

Rating	Economic Loss LE (%)	Total Loss L (%)	Resilience Indicator R	Performance Specification
I : Intact	[0,4)	[0,5)	[0.95,1)	The loss of the building is minimum and recovery process can be finished in a very short time. The comprehensive function is fully operated, representing that the safety function and decorative aesthetic function of the building continue to maintain.
II : Easy-recovery	[4, 15)	[5,20)	[0.9,0.95)	The loss is within a small range, and recovery process can be finished in a short time. The comprehensive function is basically operated, representing that the safety and normal use function continue to maintain, and decorative aesthetic function can be maintained through minor maintenance or no maintenance.
III : Recoverable	[16,30)	[20,40)	[0.8,0.9)	The loss is large, and recovery process should take some time. The basic function is normally operated, representing that the safety and normal use function continue to maintain.
IV : Difficult recovery	[30,40)	[40,70)	[0.5,0.8)	The loss is significantly large, and recovery process should take a lot of time. The safety function is operated, representing that only the safety function continues to maintain.
V : Unrecoverable	[40,50)	[70,100)	(0,0.5)	The loss is tremendously huge, and recovery process is very time-consuming or even impossible to proceed. The safety function finally loses, representing that the building function totally loses.

مراجع

1. Jia, S., & Zhan, D. (2024). Quantitative method for seismic resilience assessment of individual buildings. *Structures*, 64, 106588. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106588>
2. Xie LL, Ma Y, Zhai CH. Performance-Based Seismic Design and Design Ground Motion. Beijing: Science Press; 2009.
3. Qu Z, He S, Fu H. Computational evaluation of the functional loss and recovery of individual buildings. *J Perform Constr Facil* 2020;34(3):04020042. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001444](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001444).
4. FEMA P-58. Seismic Performance Assessment of Buildings Volume 1-methodology Second Edition. Washington DC: Federal Emergency Management Agency; 2018.
5. Li YM, Fu ZJ, Tan P, Shang JY, Mi P. Life cycle resilience assessment of RC frame structures considering multiple-hazard. *Structures* 2022;44:1844–62.
6. Opabola EA, Galasso C. A probabilistic framework for post-disaster recovery modeling of buildings and electric power networks in developing countries. *Reliab Eng Syst Saf* 2024;242:109679.



نوید سیاه پلو Navid Siahpolo

Vice-Chancellor of Research and Technology
Khuzestan ACECR, Institute for Higher Education

siahpolo@acecr.ac.ir

Phone No :+986133345826 Local 204