

بسم الله الرحمن الرحيم

بهینه‌سازی چندهدفه طراحی سازه‌ها بر مبنای خسارت‌های لرزه‌ای در چرخه عمر

علی قاسم‌اف

پروژه‌نگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

مرداد ۱۴۰۵

فهرست مطالب

مقدمه

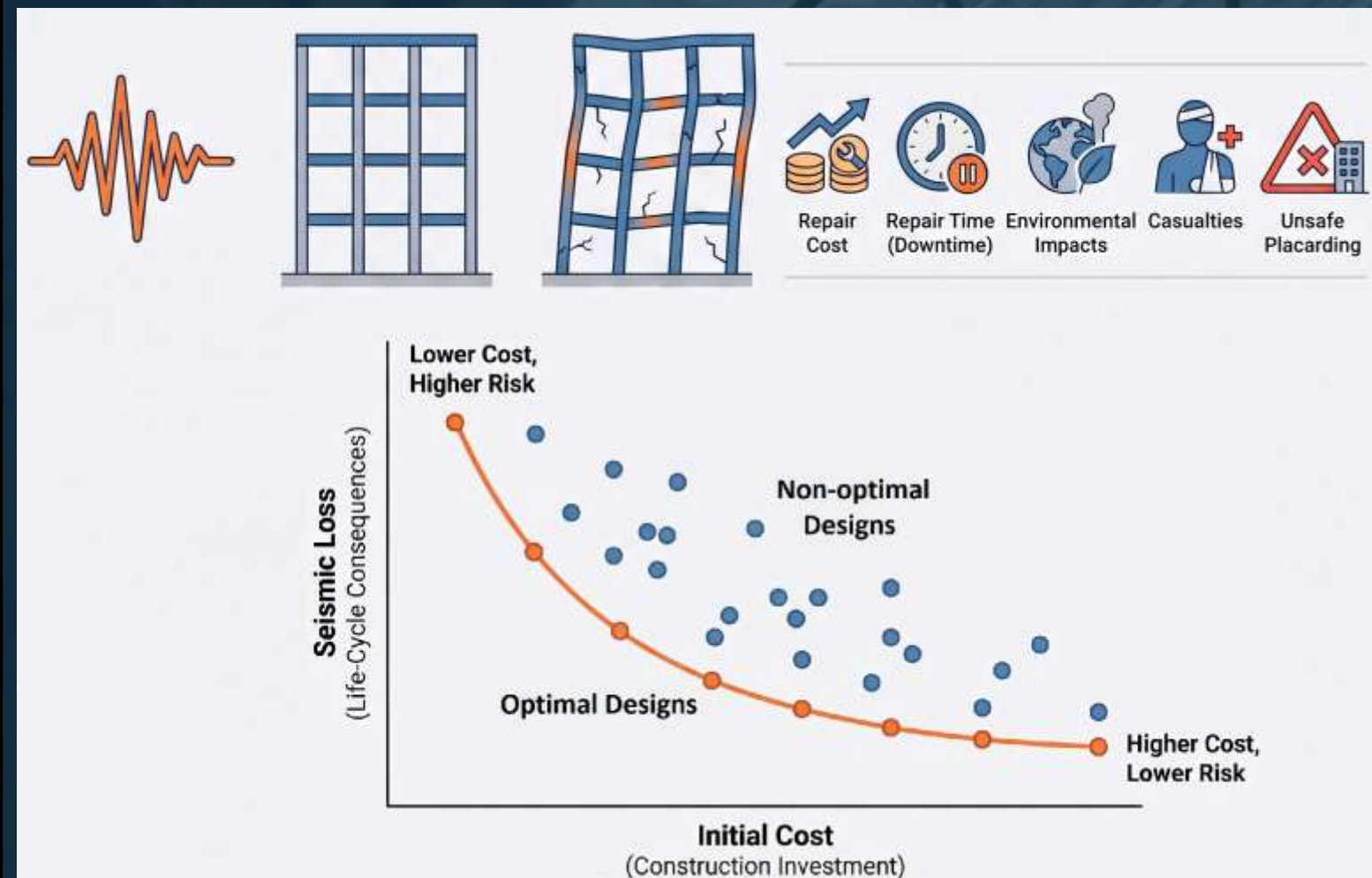
ارزیابی خسارت لرزه‌ای

آنالیز چرخه عمر

بهینه سازی طراحی

مطالعه موردی و نتایج عددی

بحث و جمع بندی



• هدف عملکردی: عملکرد مشخص تحت سطح خطر مشخص

عملکرد ← کیفی ← بیان عملکرد بر حسب سطوح عملکردی گسسته
CP و LS، IO

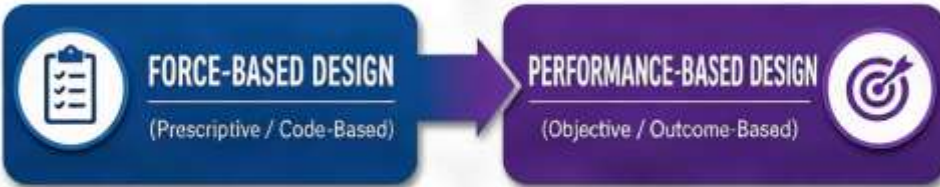
← کمی ← بیان عملکرد بر حسب مقادیر کمی خسارت از
هزینه‌های تعمیر، زمان تعمیر، تلفات و ...

عملکرد ← قطعی

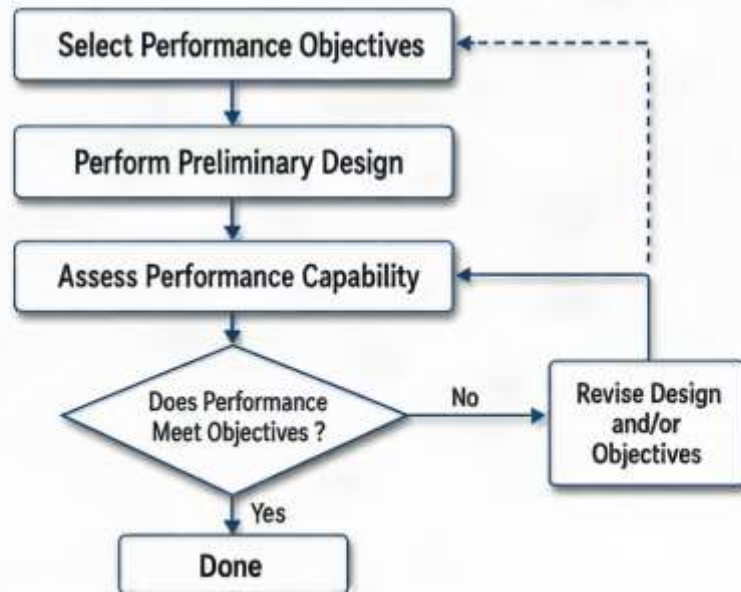
← احتمالی ← متوسط فرکانس سالیانه وقوع یک حالت
حدی (MAF)
خسارت سالیانه مورد انتظار (EAL)

سطح خطر ← طیف‌های پاسخ شتاب با احتمالات فراگذشت مشخص
(MCE / BSE-2N، DBE / BSE-1N)

1990s LESSONS
High Economic Losses
(Northridge & Kobe Earthquakes)



PERFORMANCE-BASED DESIGN PROCESS



• آیین نامه ها/راهنماهای عملکردی

- SEAOC-Vision2000 (1995)
- ATC-40 (1996)
- FEMA-273, 274 (1997)
- FEMA-356 (2000)
- ASCE 31-03 (2003)
- ASCE 41-23 (2007-2023)

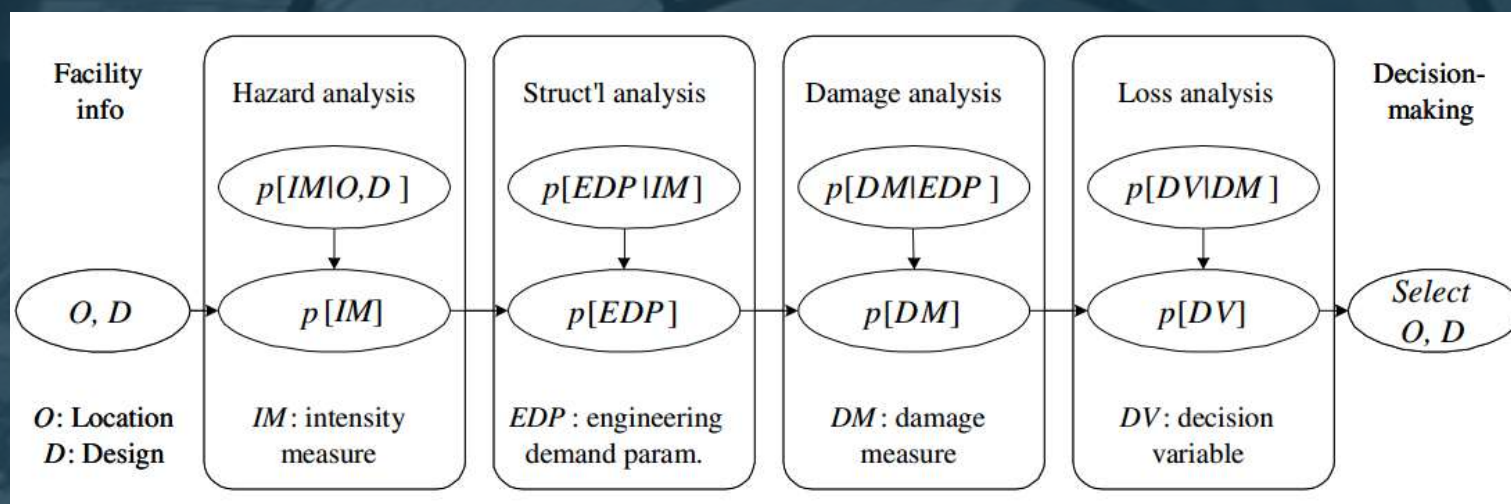
بیان خسارت‌ها به صورت کیفی

- ATC-13 (1985)
- FEMA-227, 228 (1992)
- FEMA-HAZUS (1997-2024)
- FEMA P-58 (2012-2026)

بیان خسارت‌ها به صورت کمی

• مبنای فنی روش: چارچوب PEER

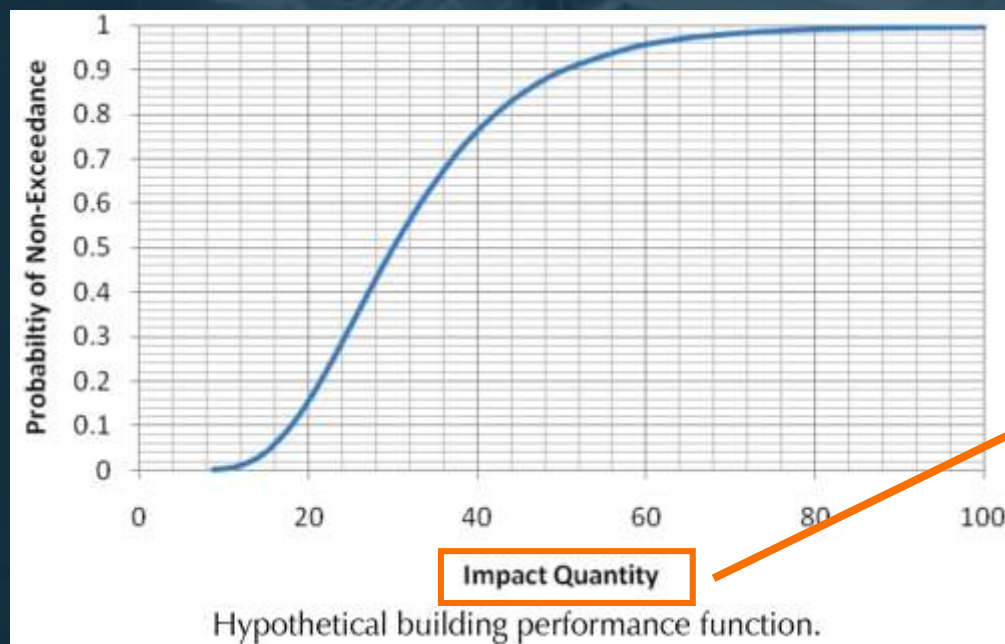
• یک روش کلی و جامع جهت تعیین خسارت‌های لرزه‌ای به شکل احتمالی (کرنل و کراوینکلر، ۲۰۰۰)



$$\lambda(DV) = \int_{IM} \int_{DM} \int_{EDP} p(DV|DM) \cdot p(DM|EDP) \cdot p(EDP|IM) \cdot \lambda(IM) \cdot dDM \cdot dEDP \cdot dIM$$

• انتگرال گیری عددی براساس روش مونت کارلو (یانگ و همکاران، ۲۰۰۹)

- استفاده از توابع شکنندگی و پیامد برای هر یک از اجزا سازه‌ای و غیرسازه‌ای جهت ارائه حالت‌های آسیب ممکن و پیامدهای متناظر با هر حالت آسیب
- بیان عملکرد کلی سازه با استفاده از توابع عملکردی (آسیب پذیری) برحسب تلفات، هزینه‌های تعمیر و تعویض، زمان تعمیر و اعلام ناامنی



DV

- هزینه تعمیر
- زمان تعمیر
- تلفات
- اثرات زیست محیطی
- اعلام ناامنی

انواع روش‌های ارزیابی عملکرد/خسارت

- براساس شدت (Intensity-Based)

ارزیابی عملکرد محتمل یک ساختمان تحت یک زلزله با شدت تحریک (شتاب طیفی) مشخص، مثلاً DBE یا MCE

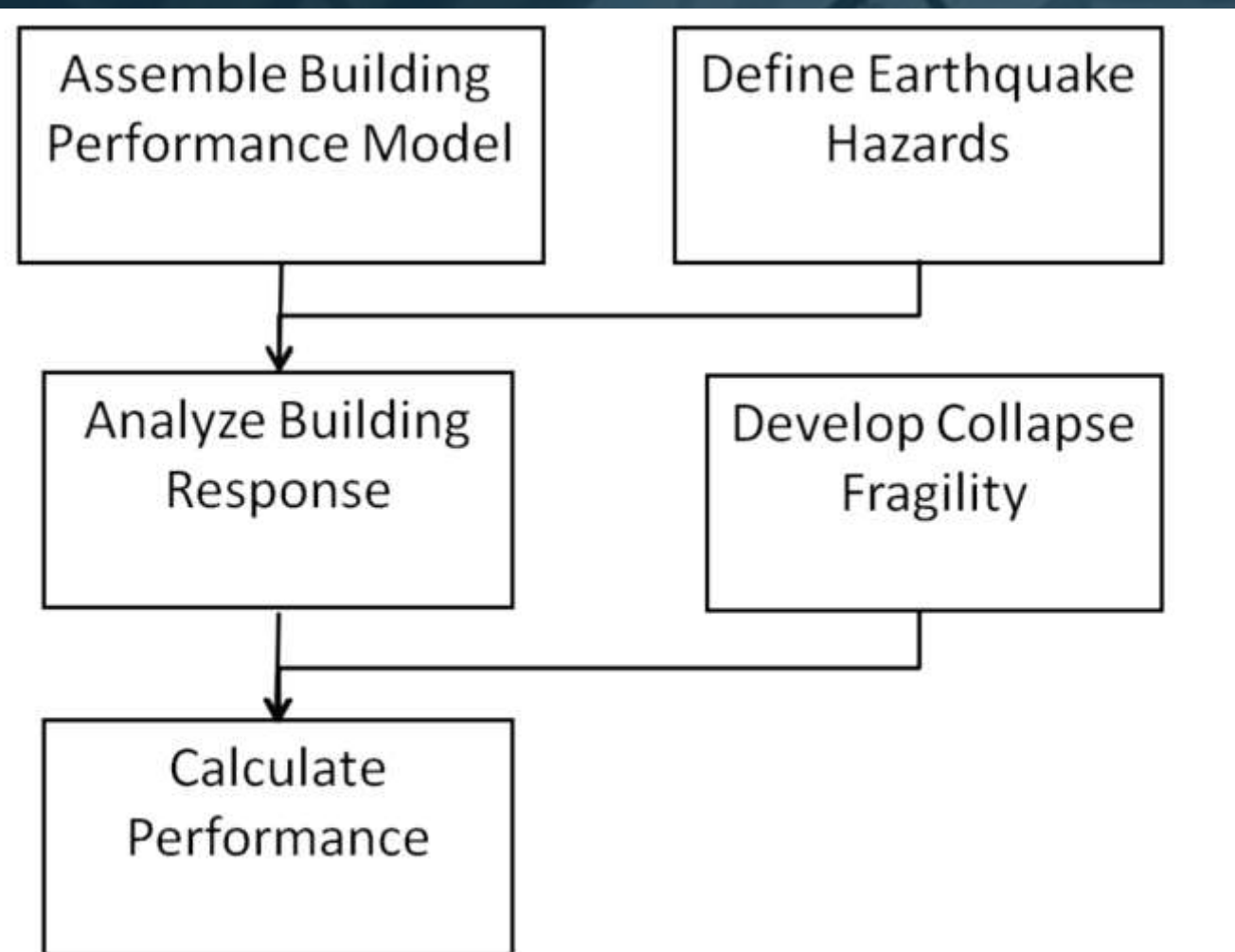
- براساس سناریو (Scenario-Based)

ارزیابی عملکرد محتمل یک ساختمان تحت یک سناریو زلزله با بزرگی و موقعیت مشخص نسبت به سایت

- براساس زمان (Time-Based)

ارزیابی عملکرد محتمل یک ساختمان طی یک دوره زمانی مشخص (مثلاً ۱ سال یا ۵۰ سال) با لحاظ تمام زلزله‌هایی که می‌تواند در آن بازه زمانی رخ دهد و در نظر گرفتن احتمال هر رخداد

مراحل ارزیابی عملکرد/خسارت



Flowchart of the performance assessment methodology

Example Fragility Groups for a Two-Story Steel Frame Office Building

Fragility Classification Number	Description	Demand Parameter
B1035.001	Structural steel moment connections	Story drift ratio parallel to frame
B2022.001	Exterior curtain walls	Story drift ratio parallel to wall
C1011.001	Interior wall partitions	Story drift ratio parallel to wall
C3032.001	Suspended ceilings	Floor acceleration
D1014.011	Traction elevators	Peak ground acceleration
D3031.000	Chillers	Floor acceleration
E2022.001	Modular office workstations	Floor acceleration
E2022.112	Filing cabinets	Floor velocity

• ایجاد مدل عملکردی ساختمان

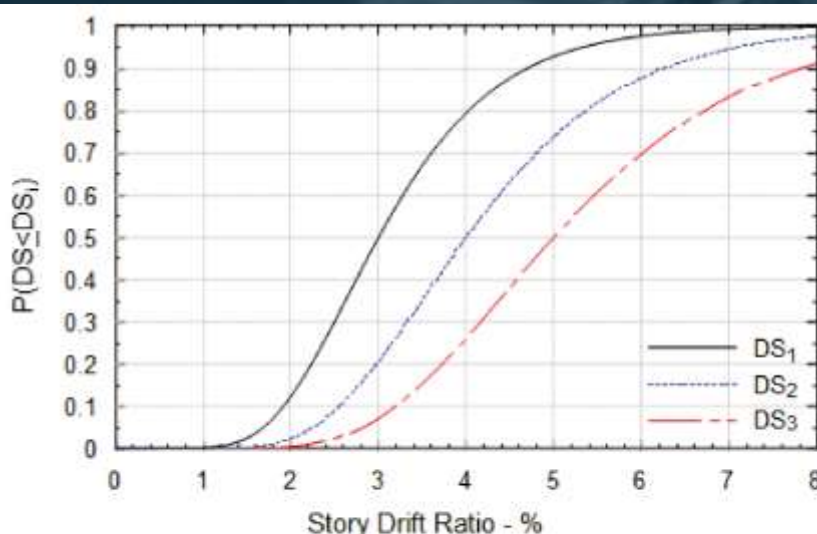
• گروه‌های شکنندگی

• گروه‌های عملکردی

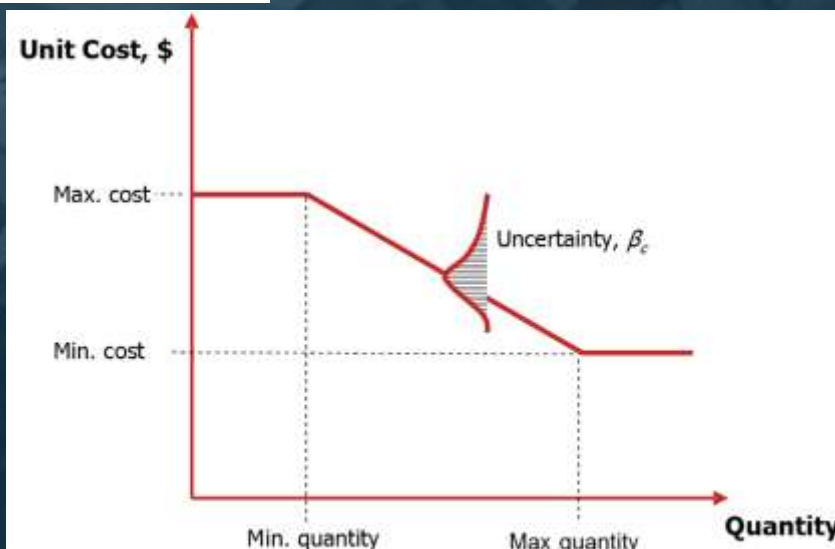
• توابع شکنندگی

• توابع پیامد

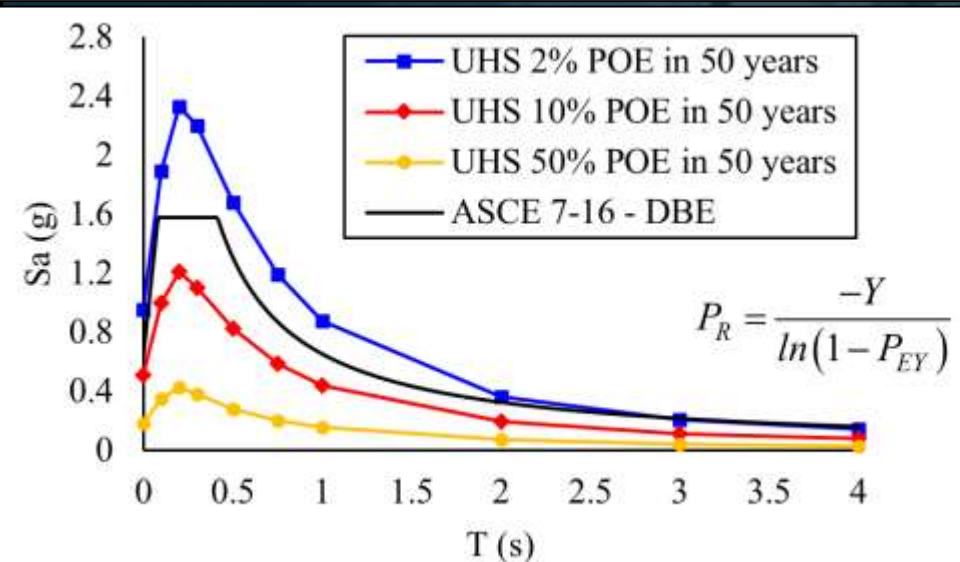
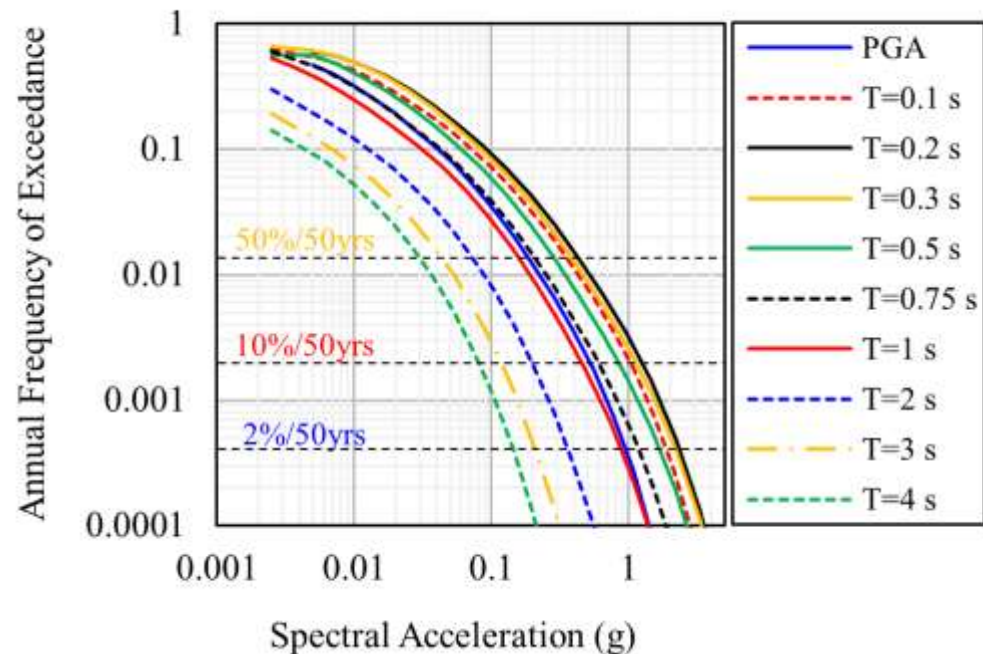
• مدل جمعیتی



Example family of fragility curves for special steel moment frame beam-column connections.



Typical consequence function for repair costs.



تعریف خطرات زلزله

ارزیابی براساس شدت

طیف پاسخ شتاب مشخص (MCE، DBE و ...)

ارزیابی براساس سناریو

طیف پاسخ شتاب بدست آمده با استفاده از روابط گاهنگی

براساس مؤلفه‌های بزرگی (M) و فاصله (R)

ارزیابی براساس زمان

مجموعه طیف‌های پاسخ شتاب بدست آمده از منحنی‌های خطر

لرزه‌ای در محدوده‌ای از فرکانس سالیانه وقوع

$$V = C_1 C_2 S_a(T_1) W_1 \qquad F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=2}^{ns+1} w_i h_i^k} V \qquad S = \frac{S_a(T_1) W}{V_{y1}} \geq 1$$

$$\Delta_i^* = H_{\Delta i}(S, T_1, h_i, H) \times \Delta_i, \qquad i = 1, 2, \dots, ns$$

$$\ln(H_{\Delta i}) = a_0 + a_1 T_1 + a_2 S + a_3 \frac{h_{i+1}}{H} + a_4 \left(\frac{h_{i+1}}{H}\right)^2 + a_5 \left(\frac{h_{i+1}}{H}\right)^3$$

$$a_i^* = H_{ai}(S, T_1, h_i, H) \times PGA, \qquad i = 2, 3, \dots, ns + 1$$

$$\ln(H_{ai}) = a_0 + a_1 T_1 + a_2 S + a_3 \frac{h_i}{H} + a_4 \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 + a_5 \left(\frac{h_i}{H}\right)^3$$

$$v_i^* = H_{vi}(S, T_1, h_i, H) \times v_{si}, \qquad i = 2, 3, \dots, ns + 1$$

$$\ln(H_{vi}) = a_0 + a_1 T_1 + a_2 S + a_3 \frac{h_i}{H} + a_4 \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 + a_5 \left(\frac{h_i}{H}\right)^3$$

$$v_{si} = PGV + 0.3 \frac{T_1}{2\pi} \left(\frac{V_{y1}}{W_1/g} \Gamma_1\right) \left(\frac{\delta_i}{\delta_r}\right)$$

$$\Delta_r = \begin{cases} 0 & \Delta \leq \Delta_y \\ 0.3(\Delta - \Delta_y) & \Delta_y < \Delta < 4\Delta_y \\ \Delta - 3\Delta_y & \Delta \geq 4\Delta_y \end{cases}$$

• آنالیز پاسخ ساختمان

روش‌های تحلیل سازه

• تحلیل تاریخچه پاسخ غیرخطی

• تحلیل ساده شده

پارامترهای پاسخ یا تقاضا (EDP)

• نسبت دریافت در هر دو جهت اصلی

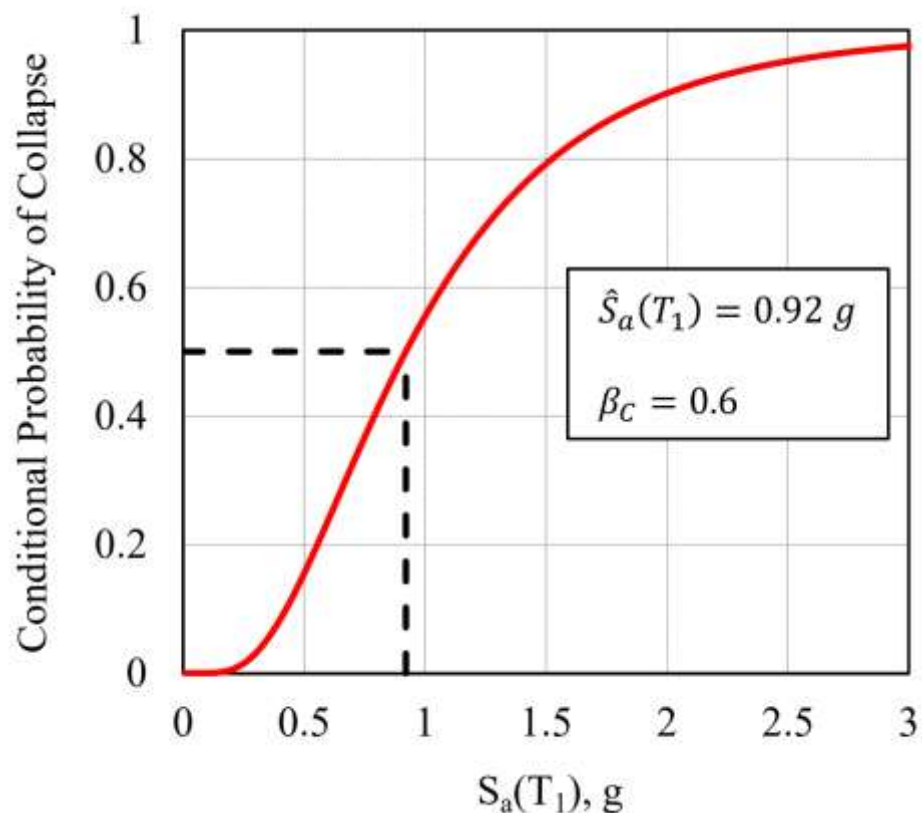
• سرعت کف

• شتاب کف

• نسبت دریافت ماندگار

ایجاد شکنندگی فروریزش

- احتمال فروریزش سازه به عنوان تابعی از شدت زلزله
- مودهای فروریزش سازه
- آنالیز تاریخچه پاسخ غیرخطی (IDA یا مجموعه محدود از آنالیزها)
- تبدیل نتایج آنالیز پوش اور به IDA با ابزار SPO2IDA
- براساس قضاوت (سازه‌های طراحی شده مطابق آیین نامه)

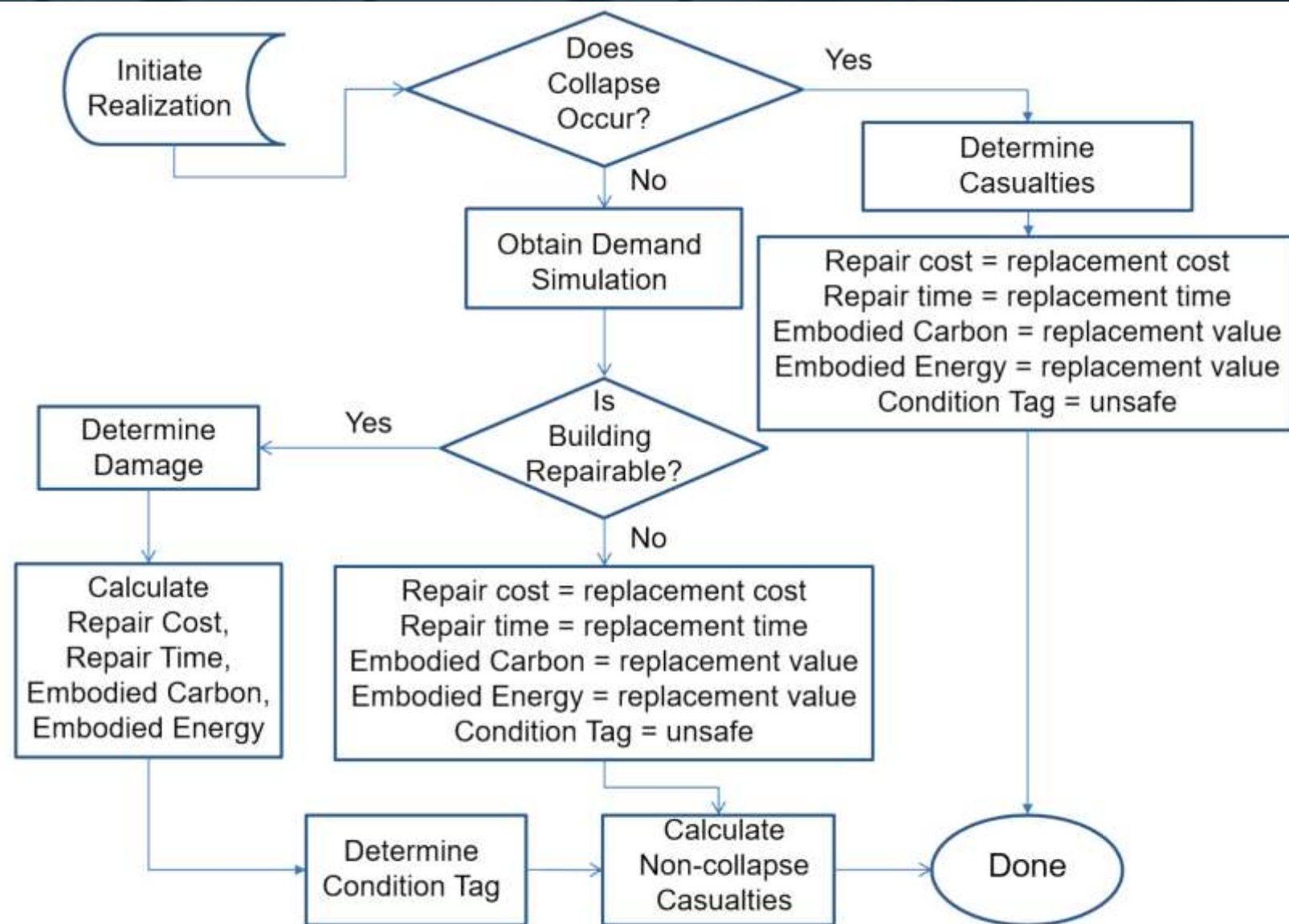
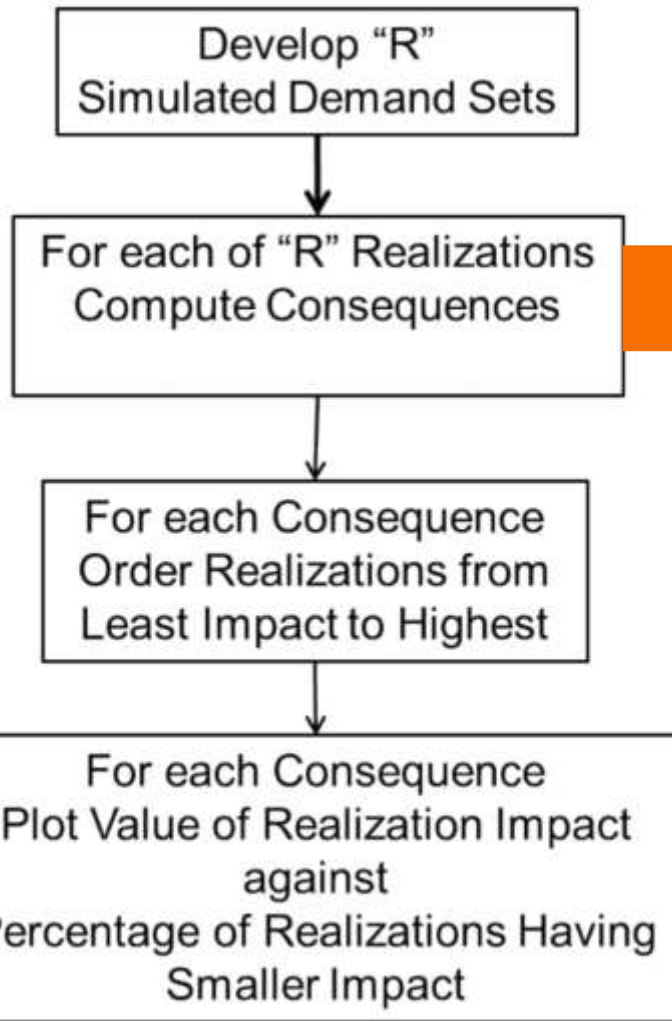


Sample Collapse Modes, Collapse Floor Area Ratios, and Probabilities of Fatalities and Serious Injuries for a Hypothetical 4-story Building

Collapse Modes					
	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5
Probability of Collapse Mode	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Probability of Fatality	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
Probability of Serious Injury	0	0.1	0.1	0.1	0.1
Collapse Floor Area Ratios					
Roof	1.0	0	0	0	0
Floor 4	1.0	0	0	0	1.0
Floor 3	1.0	0	0	1.0	0
Floor 2	1.0	0	1.0	0	0
Floor 1	1.0	1.0	0	0	0

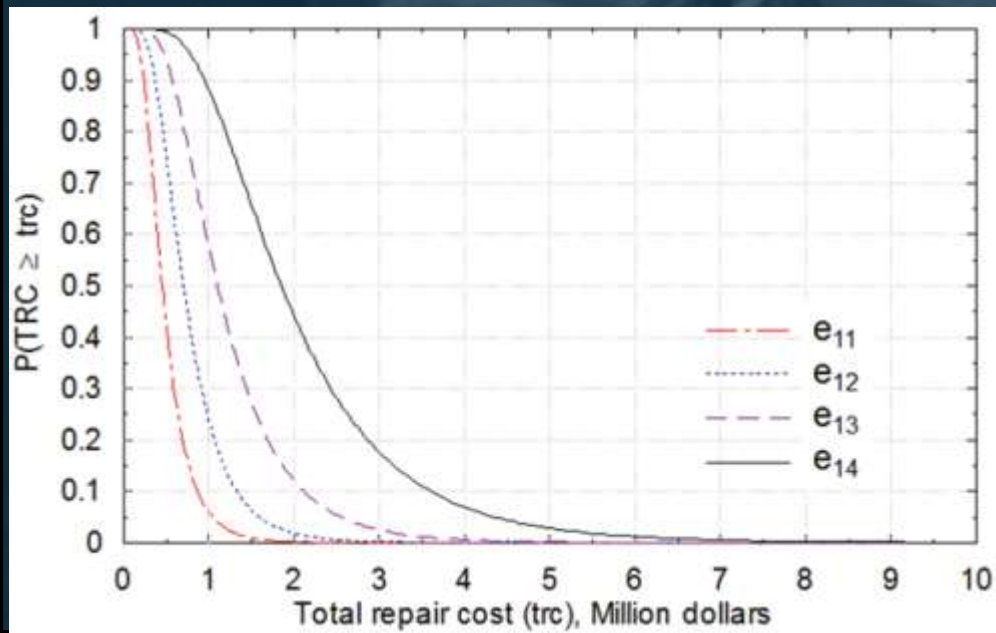
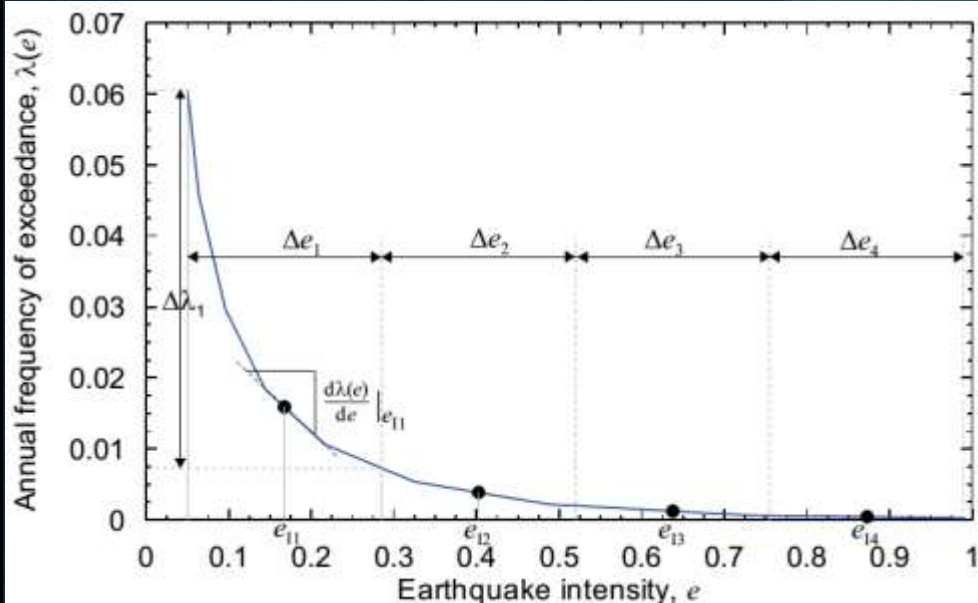
محاسبه عملکرد

- استفاده از فرآیند شبیه سازی مونت کارلو برای لحاظ عدم قطعیت های ذاتی در فاکتورهای مؤثر بر عملکرد سازه
- محاسبه عملکرد سازه طی یک فرآیند خیلی تکرار شونده برای هر کدام از تعداد زیاد (صدها تا هزاران) تحقق
- هر تحقق یک خروجی از عملکرد ممکن برای ساختمان با لحاظ یک ترکیب از مقادیر ممکن از هر فاکتور غیرقطعی



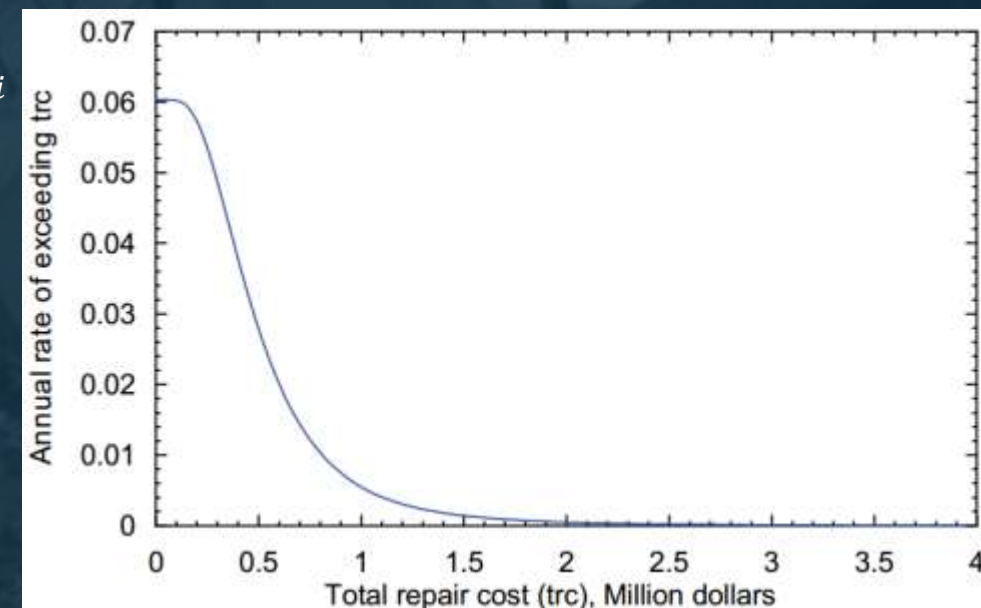
محاسبه عملکرد در ارزیابی براساس زمان

تعیین عملکرد محتمل با لحاظ تمام شدت‌های تحریک که ممکن است در یک دوره زمانی مشخص تجربه شود و سپس وزن دهی خروجی از هر شدت به وسیله احتمال آن که چنین تحریکی رخ دهد.



$$\sum_{i=1}^4 P(TRC > trc | E = e_i) \Delta \lambda_i$$

وزن دهی احتمال
خسارت در هر
شدت براساس نرخ
وقوع همان شدت



• آیین‌نامه‌های متداول معمولاً فروریزش و ایمنی جانی را کنترل می‌کنند، اما لزوماً خسارت اقتصادی آینده را به‌خوبی کاهش نمی‌دهند.

• در بسیاری از پروژه‌ها، سهم خسارت‌های تعمیر، توقف بهره‌برداری و آسیب به اجزای غیرسازه‌ای از هزینه اولیه فراتر می‌رود.

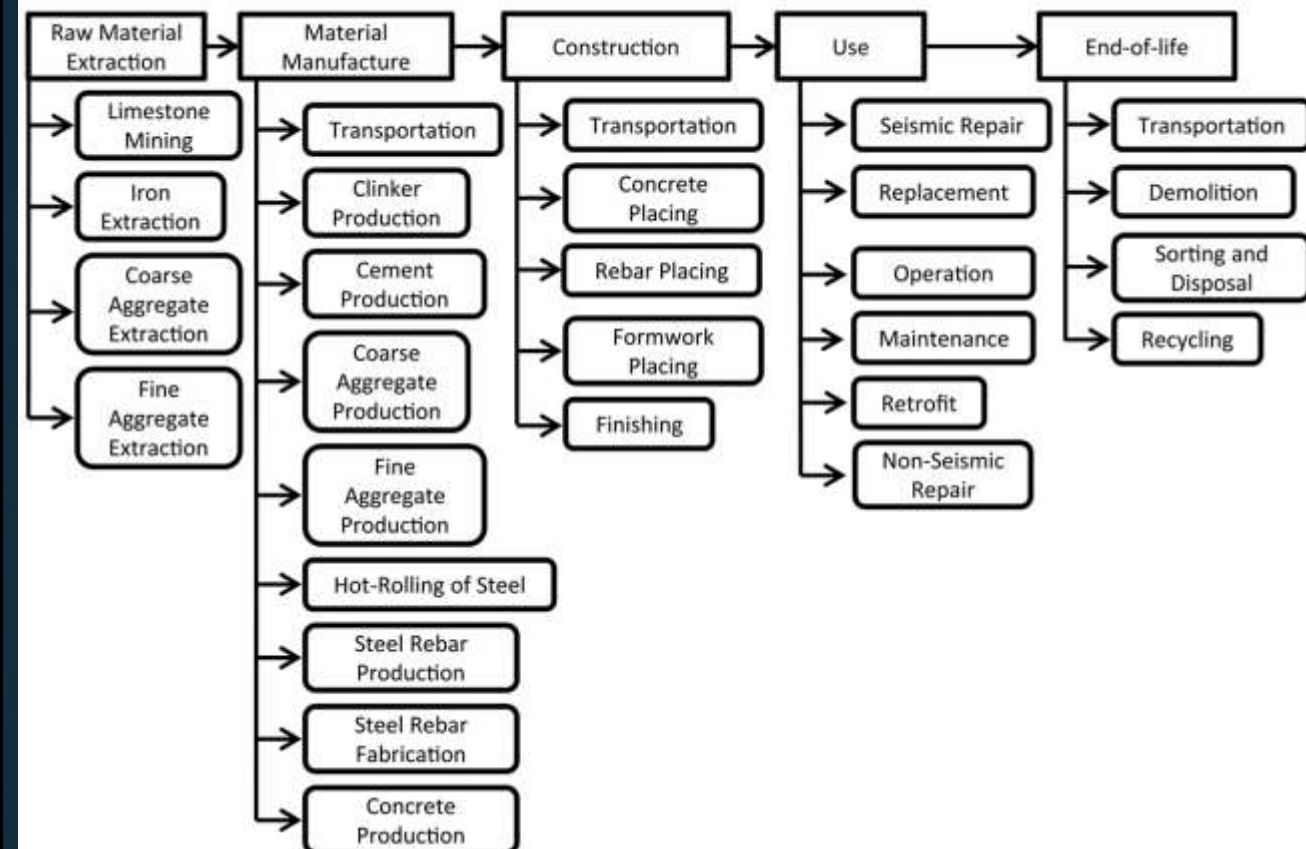
• برای طراحی بهینه باید در کنار **هزینه اولیه ساخت، خسارت‌های لرزه‌ای عمر** را لحاظ کرد.

Code-compliant doesn't guarantee cost-optimal over a building's lifespan.



Traditional prescriptive codes focus on single-hazard life safety, ignoring the long-term economic imbalance of earthquake damage. True efficiency requires optimizing for Life-Cycle Cost (LCC)

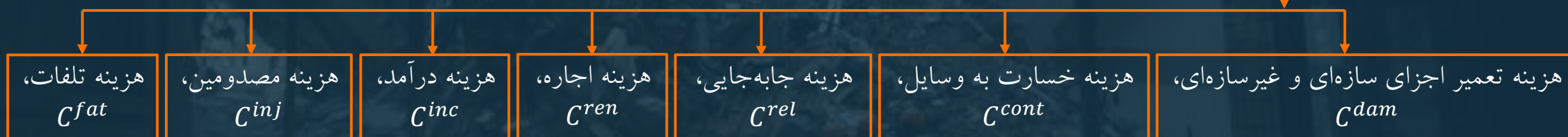
Life-Cycle Stages



- ابزاری جهت وارد کردن ملاحظات اقتصادی در فرآیند تصمیم‌گیری
- شامل در نظر گرفتن هزینه‌های اولیه و آینده یک سرمایه‌گذاری

$$(C_{0S}(X) + C_{0NS} + C_{0C})A_F$$

$$C_{LC}(t, X) = C_{IN}(X) + C_M(t, X) + C_{LSD}(t, X)$$



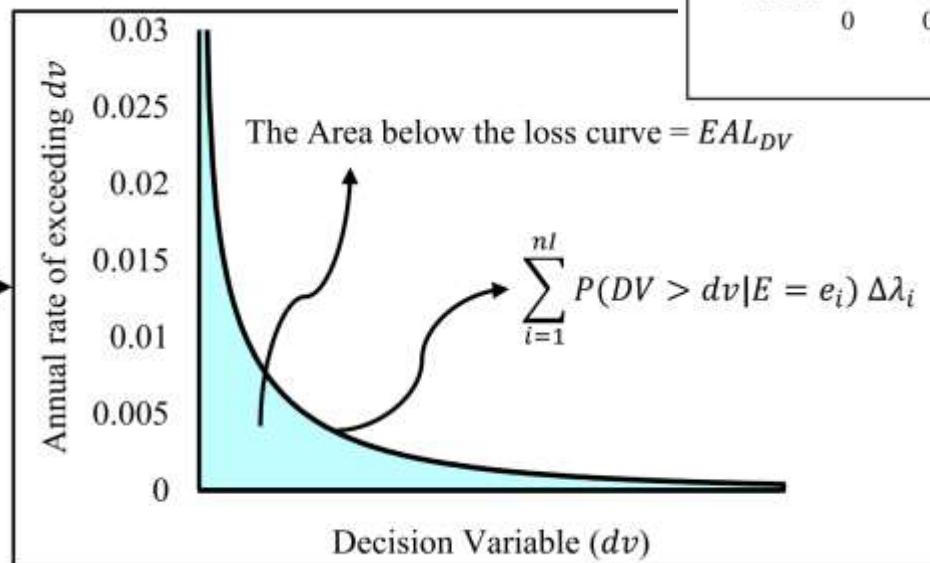
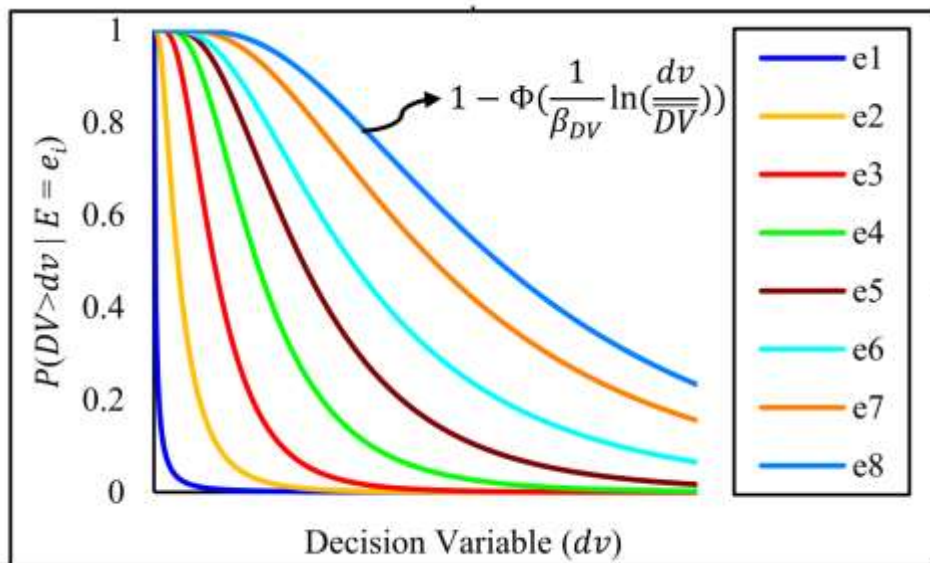
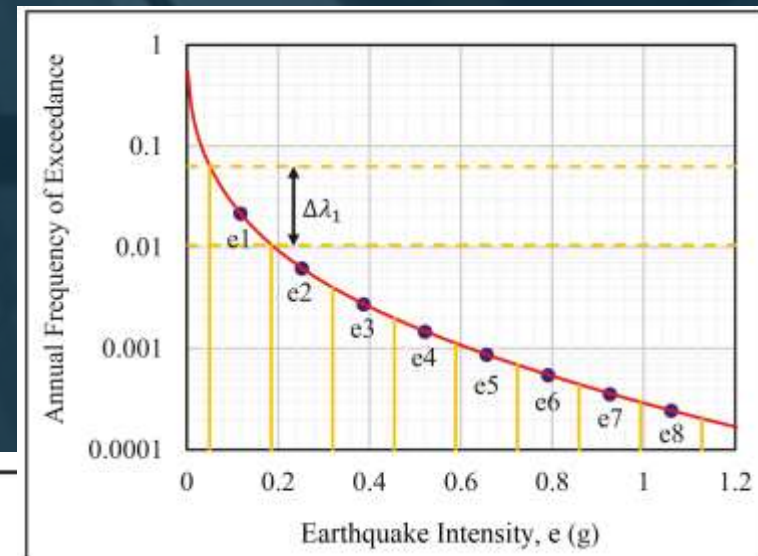
$$C_{LSD}(t, X) = C_{LSD}(t = 1, X) \times \frac{1 - (1 + i)^{-t}}{i} \xrightarrow{t \rightarrow \infty} C_{LSD}(t, X) = \frac{C_{LSD}(t = 1, X)}{i}$$

$$C_{LSD}(t = 1, X) = EAL_{STR} + EAL_{NSD} + EAL_{NSA} + EAL_{CON} + EAL_{REL} + EAL_{INC} + EAL_{RENT} + EAL_{MinorInj} + EAL_{MajorInj} + EAL_{Fat}$$

$$EAL_{DV} = \int_{DV} P(DV > dv) dDV$$

$$P(DV > dv) = \int_{\lambda} P(DV > dv | E = e) d\lambda(e) \approx \sum_{i=1}^{nl} P(DV > dv | E = e_i) \Delta\lambda_i$$

$$P(DV > dv | E = e_i) = 1 - P(DV < dv | E = e_i) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{\beta_{DV}} \ln \left(\frac{dv}{\overline{DV}} \right) \right]$$



$$\begin{aligned} &\text{Find} && X = [x_1, x_2, \dots, x_{ng}]^T, && x_i \in D_i \\ &\text{to minimize} && F(X) = [f_1(X), f_2(X), \dots, f_m(X)]^T \\ &\text{subject to} && g_j(X) \leq 0, && j = 1, 2, \dots, p \end{aligned}$$

• متغیرهای طراحی و هدف مسئله

• بهینه سازی ابعاد (Size) ← سازه‌های قاب

• بهینه سازی شکل (Shape)

• بهینه سازی هندسه (Topology) { سازه‌های خریابی

• تعداد اهداف

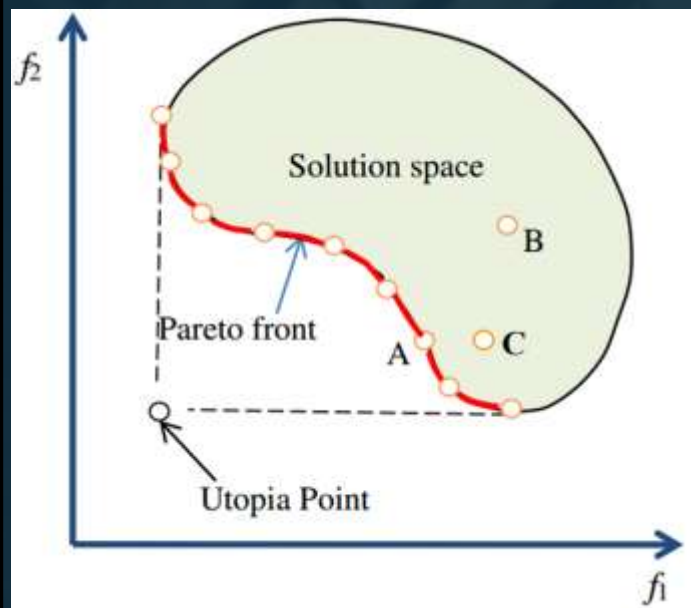
• بهینه سازی تک هدفه ← وزن سازه، هزینه اولیه، مجموع هزینه‌های اولیه و خسارت لرزه‌ای (هزینه چرخه عمر)

• بهینه سازی چند هدفه ← هزینه اولیه + تقاضای لرزه‌ای
هزینه اولیه + یکنواختی دریافت

• نحوه بیان قیود
هزینه اولیه + هزینه خسارت لرزه‌ای عمر (بهینه سازی هزینه چرخه عمر)

• بهینه سازی قطعی (DBO)

• بهینه سازی براساس قابلیت اطمینان (RBO)



- بهینه‌سازی چند هدفه با اهداف ناسازگار

- فقط یک جواب بهینه وجود ندارد؛ بلکه مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه وجود دارد (جبهه پارتو) که هر کدام در یک هدف نسبت به دیگری برتر هستند

- روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی

- استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری (Metaheuristic)

MOACO، MOPSO، NSGA-II

ماهیت تصادفی، الهام گرفته از پدیده‌های طبیعی و جمعی
بر پایه یک جمعیت از جواب‌ها در هر تکرار الگوریتم
قابلیت حل انواع مسائل بهینه‌سازی

ضوابط بهینگی، روش‌های برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی

لزوم بیان صریح توابع هدف، قیود و حساسیت آن‌ها بر حسب متغیرهای طراحی
از نظر محاسباتی کارآمد
مسائل قابل حل محدود

- استفاده از روش‌های کلاسیک

Find

to minimize

subject to

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_{ng}]^T, \quad x_i \in D_i$$

$$F(X) = [C_{IN}(X), C_{LSD}(t, X)]^T$$

$$g_G(X) = \frac{A_{UC}}{A_{LC}} - 1 \leq 0,$$

$$g_S(X) = \frac{R_u}{\phi R_n} - 1 \leq 0,$$

$$g_D(X) = \frac{C_d \Delta_i^E}{\Delta_a} - 1 \leq 0,$$

$$g_{SCWB}(X) = 1 - \frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} \leq 0$$

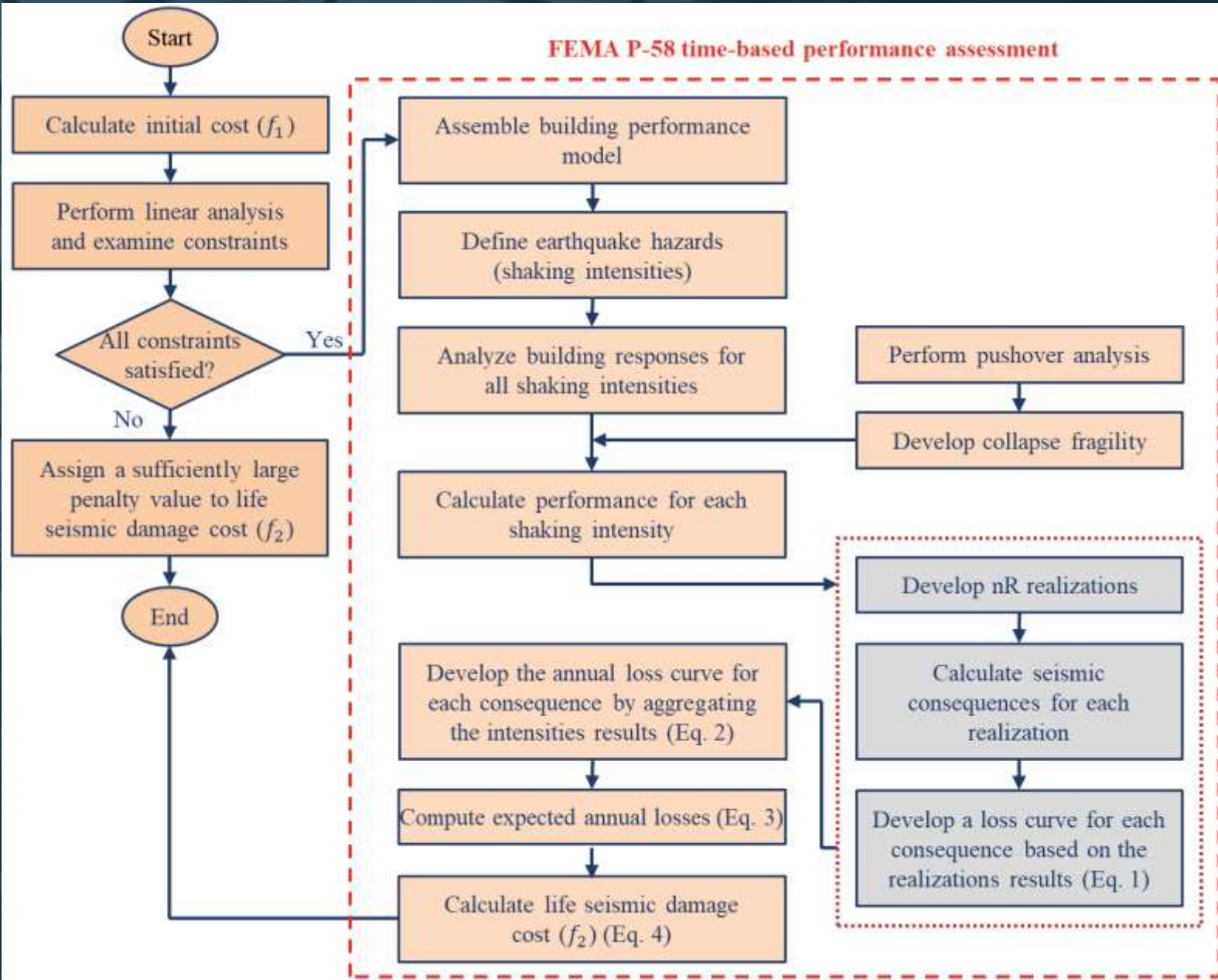
$$P(DV > dv|E = e_i) = 1 - P(DV < dv|E = e_i)$$

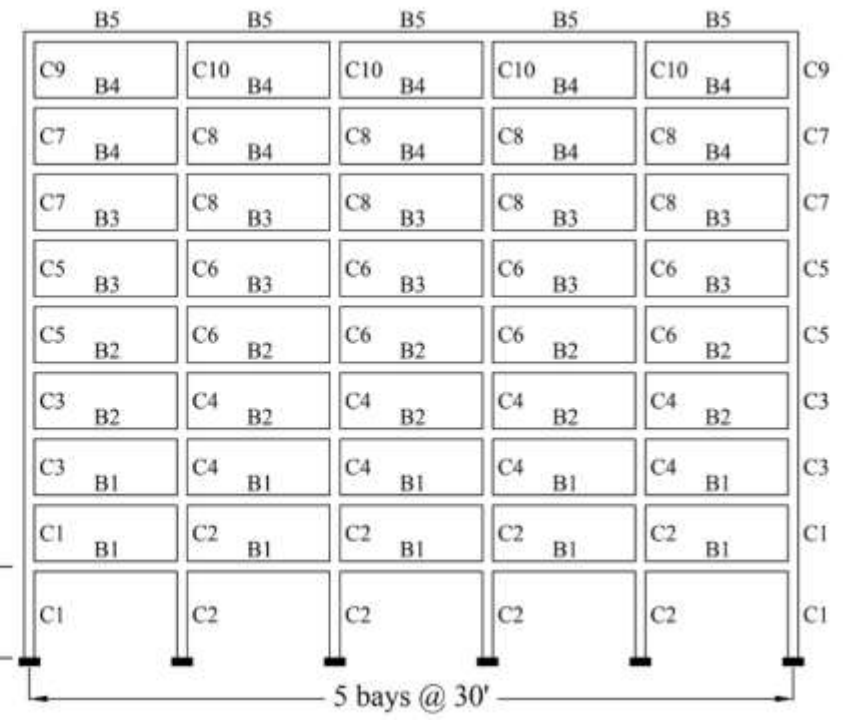
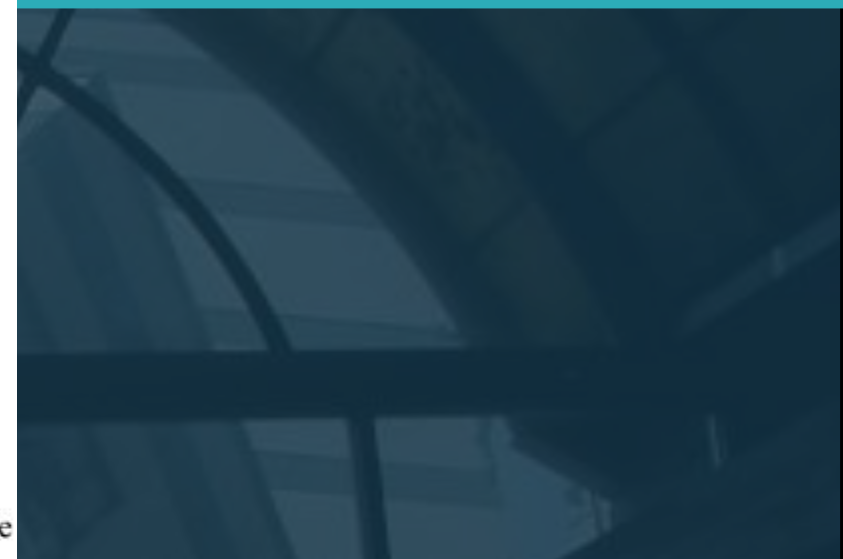
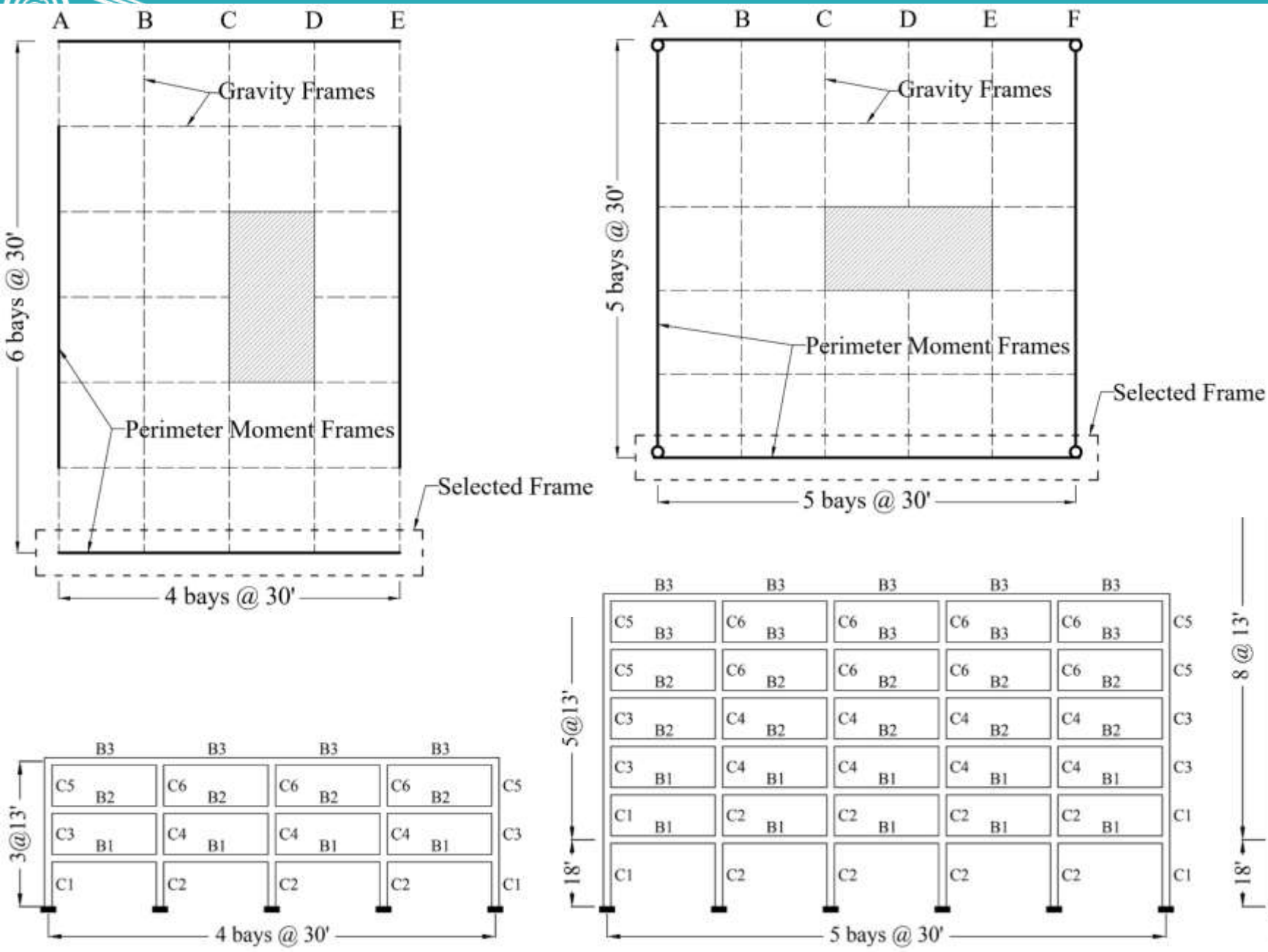
$$= 1 - \Phi \left[\frac{1}{\beta_{DV}} \ln \left(\frac{dv}{\overline{DV}} \right) \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

$$P(DV > dv) \approx \sum_{i=1}^{nl} P(DV > dv|E = e_i) \Delta \lambda_i \quad (\text{Eq. 2})$$

$$EAL_{DV} = \int_{DV} P(DV > dv) dDV \quad (\text{Eq. 3})$$

$$C_{LSD}(t, X) = \frac{1 - (1 + i)^{-t}}{i} \sum_j EAL_{DV_j} \quad (\text{Eq. 4})$$

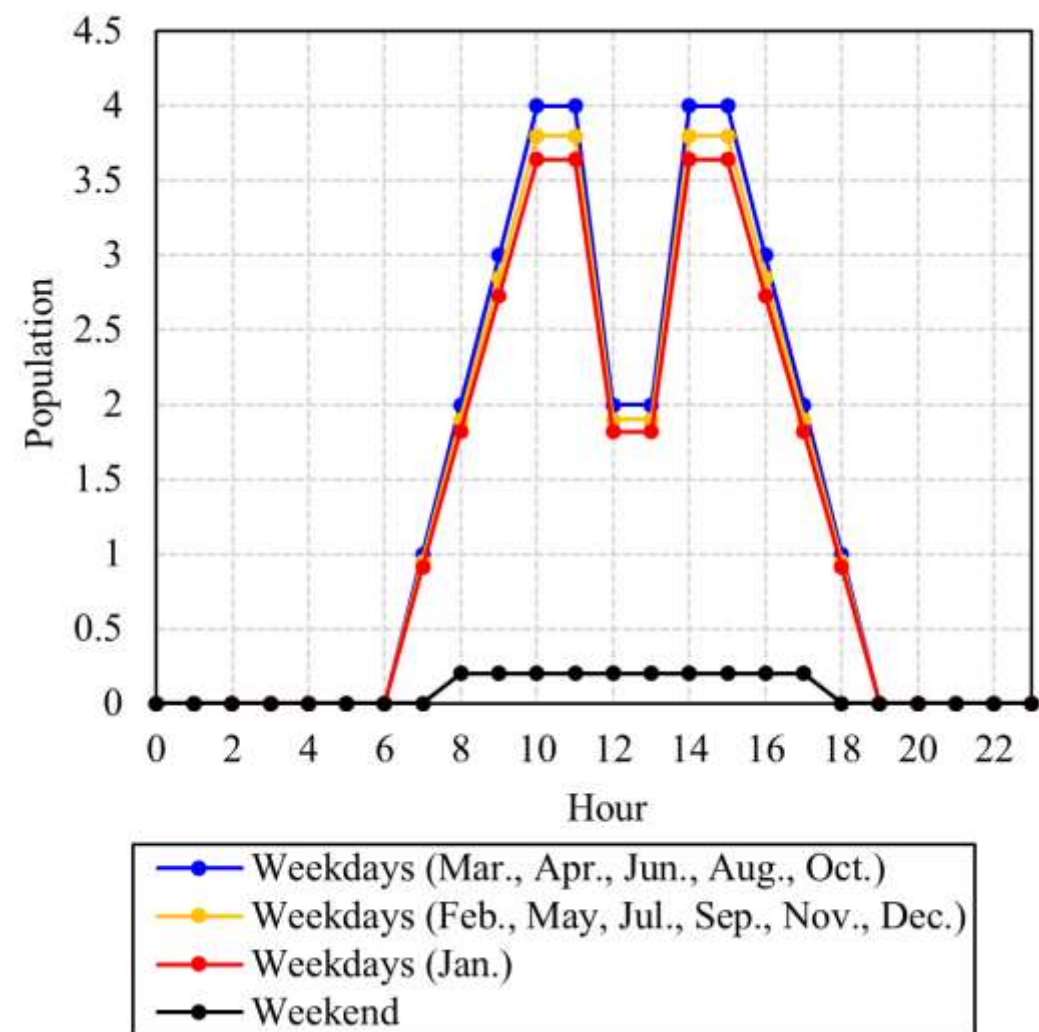




هزینه‌ها براساس شاخص ارائه شده در RSMeans بر مبنای ارزش دلار در سال ۲۰۲۰ می‌باشد.

نرخ بازگشت سرمایه: 7%

هزینه زمان از کار افتادگی: \$0.31/ft²/day



Basic information of C1 archetypes for loss estimation using FEMA P-58

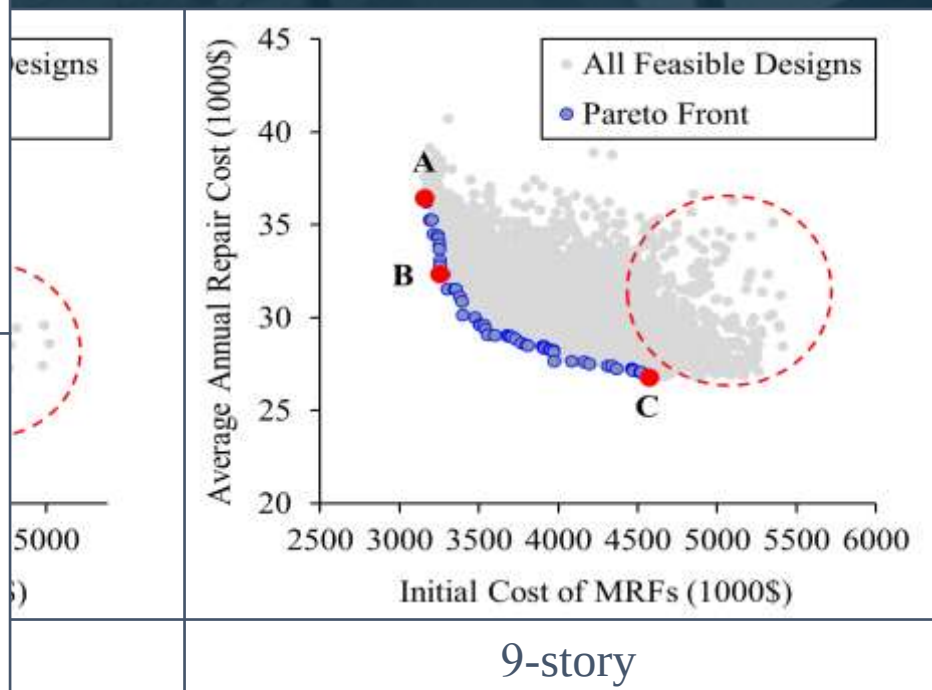
Structure	3-story	6-story	9-story
Floor area (sq. ft.)	64,800	135,000	202,500
Building replacement cost, BRC (\$)	11,664,000	24,300,000	36,450,000
Building replacement time (days)	650	750	810
Max. workers per sq. ft.	0.001	0.001	0.001
Total loss threshold (% BRC)	50	50	50
Carbon emissions replacement (kg)	4,063,462	8,465,547	12,698,320
Embodied energy replacement (MJ)	56,230,861	117,147,627	175,721,441

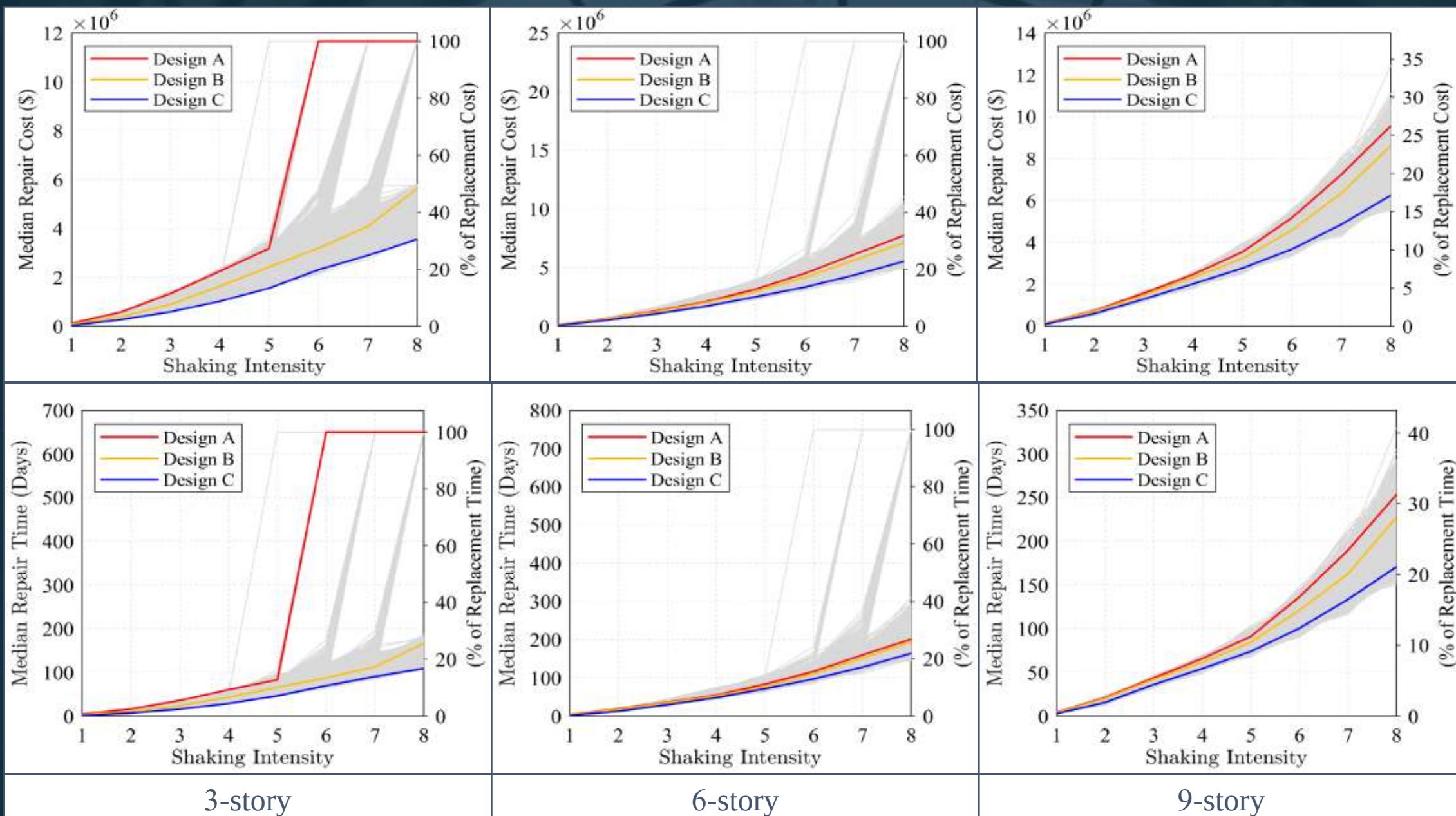
Building component fragilities and quantities used in the seismic performance assessment								مطالعه موردی و نتایج عددی		
Floors	Fragility ID	Name	EDP	Unit	Quantity ¹					
					3-story	6-story	9-story			
All ²	B1031.001	Bolted shear tab gravity connections	IDR	1 EA	0-0	0-4	0-4			
All	B1035.021 (22) ³	Moment connections (beam one side)	IDR	1 EA	4-4	4-0	4-0			
All	B1035.031 (32) ³	Moment connections (beam both sides)	IDR	1 EA	6-6	8-8	8-8			
All	B2022.002	Curtain walls	IDR	30 SF	86.4-129.6	112.5-112.5	112.5-112.5			
All	C1011.001a	Interior partitions	IDR	100 LF	0-64-12-06	11-25-11-25	11-25-11-25			
								Quantity ¹		
			Floors	Fragility ID	Name	EDP	Unit	3-story	6-story	9-story
All	C2011.031b	Concrete slabs								
All	C3011.002a	Concrete beams								
All	C3021.001a	Concrete columns	All	D4011.023a	Fire sprinkler water piping	PFA	1000 LF	4.32	4.5	4.5
All	C3027.002	Fire sprinkler risers	All	D4011.053a	Fire sprinkler drop	PFA	100 EA	2	2	2
All	C3032.004a	Suspended ceiling	All	D5012.023c	Low voltage switchgear	PFA	225 AP	3	3	3
All	C3032.004b	Suspended ceiling	All	E2022.001	Modular office work stations	PFA	1 EA	151	158	158
All	C3032.004c	Suspended ceiling	All	E2022.023	Desktop computers	PFA	1 EA	48	50	50
All	C3034.002	Independent bookcases	All	E2022.106a	Bookcase	PFV	1 EA	43	45	45
All	D2021.013a	Cold water distribution	All	E2022.124a	Lateral filing cabinet	PFV	1 EA	17	18	18
All	D2021.013b	Cold water distribution	1st	B1031.011a (b, c) ⁴	Steel column base plates	IDR	1 EA	10-10	12-12	12-12
All	D2021.023a	Cold water distribution	1st	D1014.011	Traction elevator	PFA	1 EA	0	4	6
All	D2021.023b	Cold water distribution	1st	D1014.021	Hydraulic elevator	PFA	1 EA	2	0	0
All	D2022.013a	Hot water distribution	1st	D5011.013c	Transformer/primary service	PFA	225 AP	6	14	20
All	D2022.013b	Hot water distribution	1st	D5012.013d	Motor control center	PFA	1 EA	3	5	8
All	D2022.023a	Hot water distribution	1st	D5012.033c	Distribution panel	PFA	225 AP	3	5	8
All	D2022.023b	Hot water distribution	-5	B1031.021a (b, c) ⁴	Welded column splices	IDR	1 EA	10-10	12-12	12-12
All	D2031.013b	Safety glass	Roof	B3011.011	Concrete tile roof	PFA	100 SF	58.32	60.75	60.75
All	D3041.011c	HVAC chiller	Roof	D3031.013c	Chiller	PFA	75 TN	3	5	8
All	D3041.012c	HVAC chiller	Roof	D3031.023c	Cooling tower	PFA	75 TN	3	5	8
All	D3041.032c	HVAC air handling unit	Roof	D3052.013f	Air handling unit	PFA	8000CFM	6	12	18
All	D3041.041b	VAV boxes	Roof	D5012.023c	Low voltage switchgear	PFA	225 AP	3	3	3

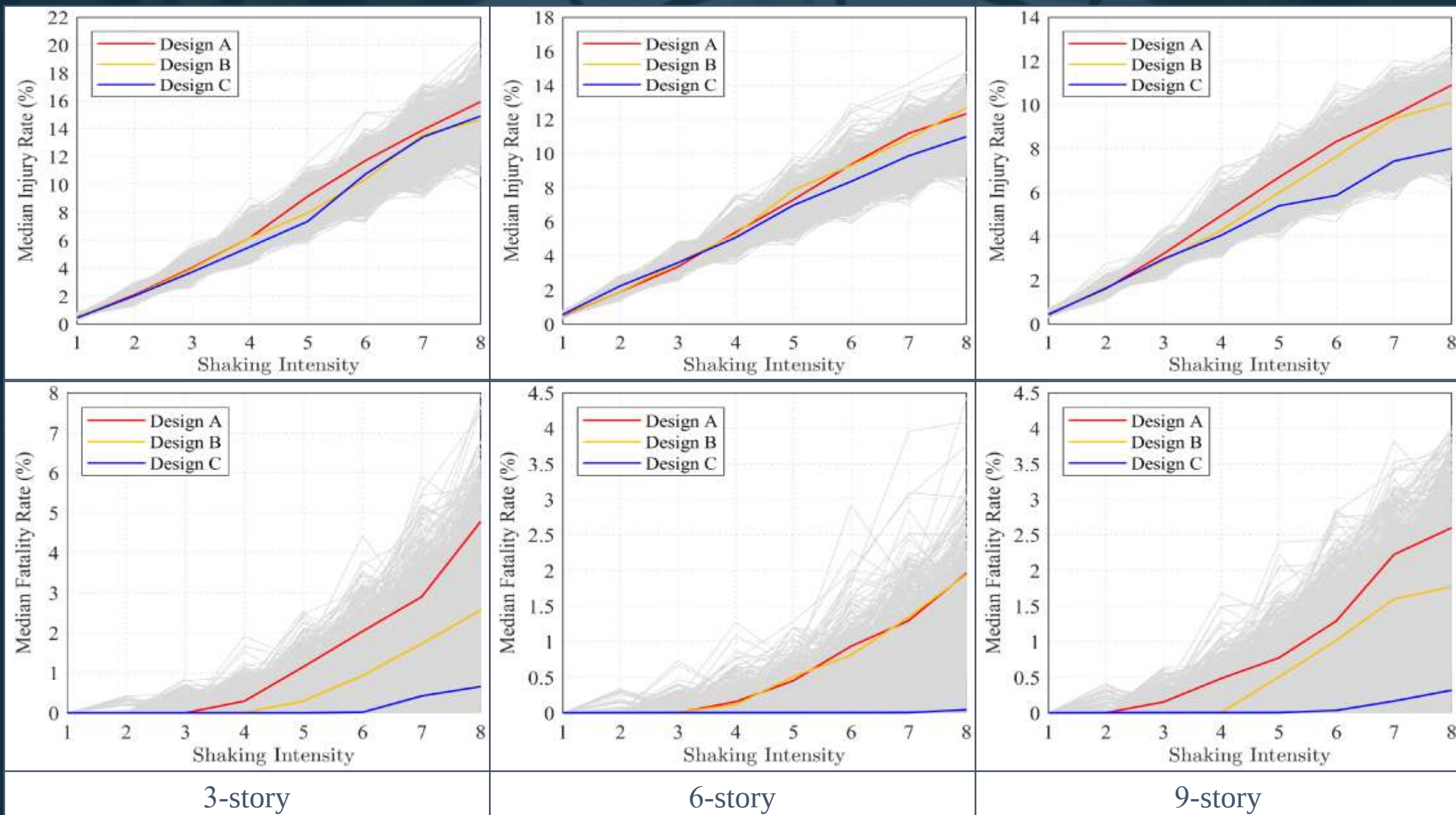
Specifications of optimal design options for 9-story building

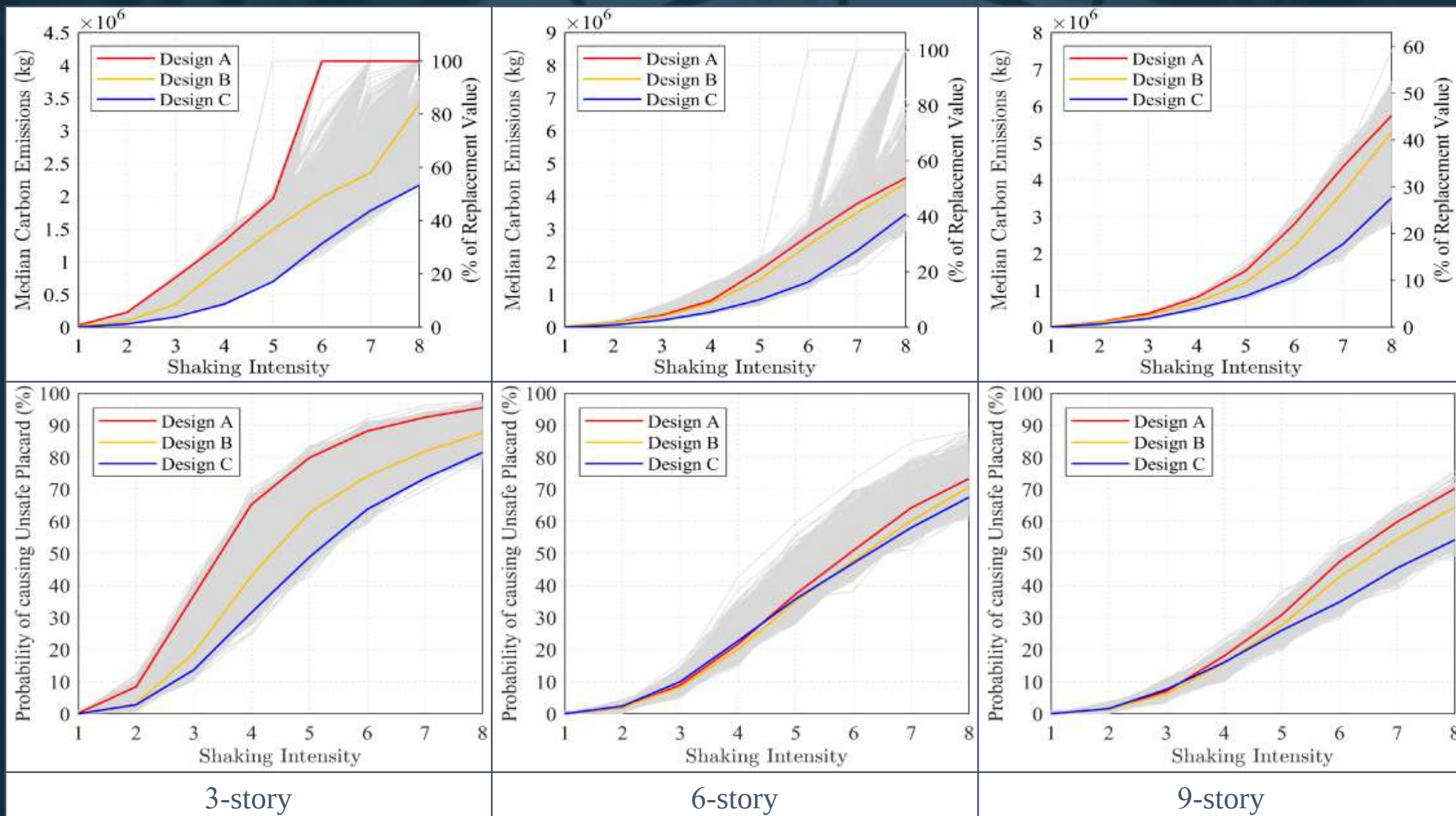
Design		A	B	C
Element group	C1	W14X283	W14X257	W14X665
	C2	W14X370	W14X455	W14X808
	C3	W12X252	W12X252	W12X252
	C4	W14X370	W14X426	W14X665
	C5	W12X230	W12X252	W12X230
	C6	W14X342	W14X342	W14X455
	C7	W14X145	W14X159	W14X211
	C8	W14X311	W14X233	W14X455
	C9	W14X82	W14X159	W14X176
	C10	W14X159	W14X193	W14X342
	B1	W33X141	W33X141	W33X141
	B2	W30X132	W30X124	W30X132
	B3	W30X124	W30X124	W30X124
	B4	W24X94	W27X102	W24X131
	B5	W21X50	W21X50	W24X76
MRFs weight (kips)		1473.85	1521.88	2136.95
Initial cost of MRFs (U.S. dollars)		3,154,039	3,256,823	4,573,073
Average annual repair cost (U.S. dollars)		36,445	32,349	26,801
Average annual repair time (days)		0.96	0.89	0.72
Annual downtime cost (U.S. dollars)		60,264	55,870	45,198
NPV of annual costs (U.S. dollars)		1,381,557	1,260,271	1,028,557
Total cost (U.S. dollars)		4,535,596	4,517,094	5,601,630

direct cost (\$)	NPV of annual costs (\$)	Total cost (\$)
9,887	682,129	1,170,777
2,053	435,500	1,032,175
7,633	298,514	1,499,161
5,573	944,186	2,652,848
2,225	851,686	2,636,104
3,018	614,429	4,594,936
0,264	1,381,557	4,535,596
5,870	1,260,271	4,517,094
5,198	1,028,557	5,601,630



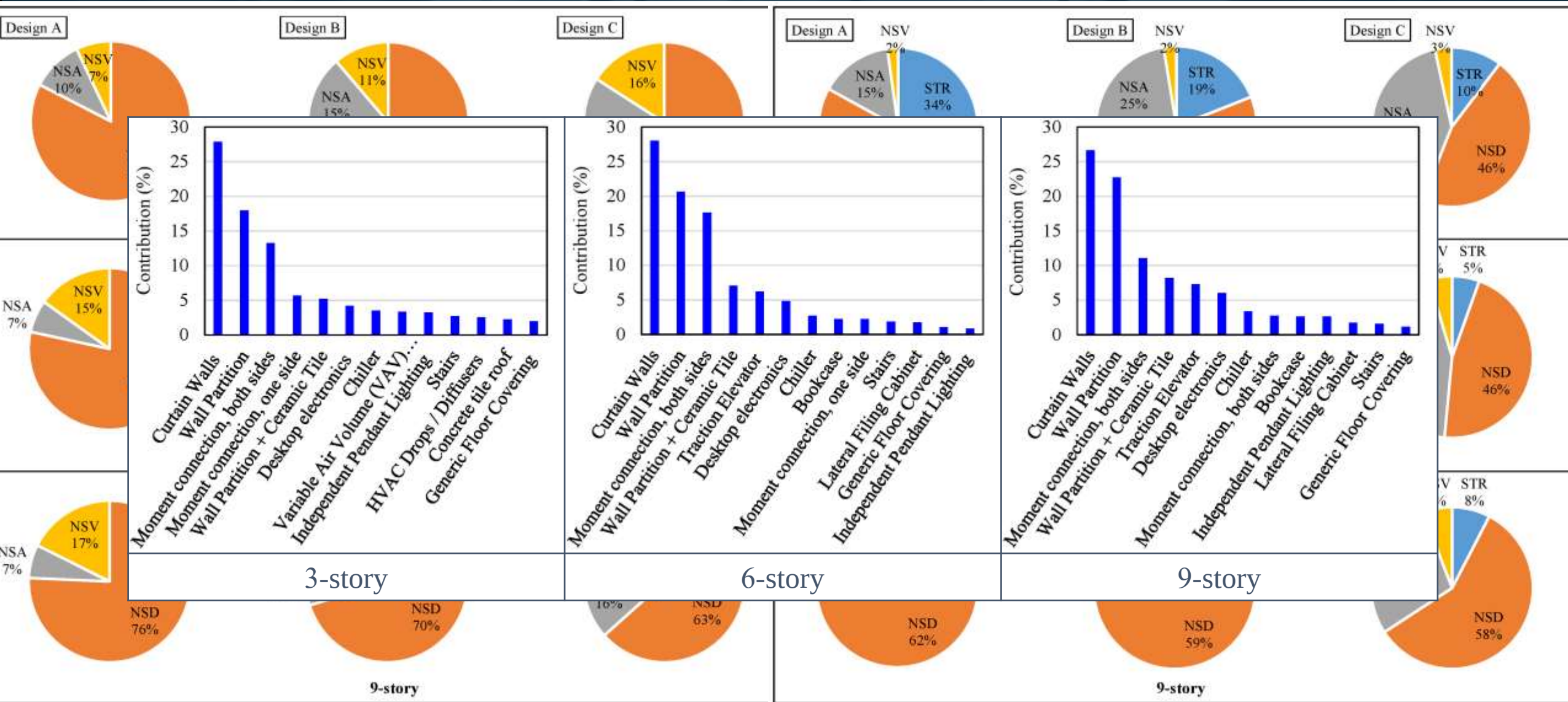




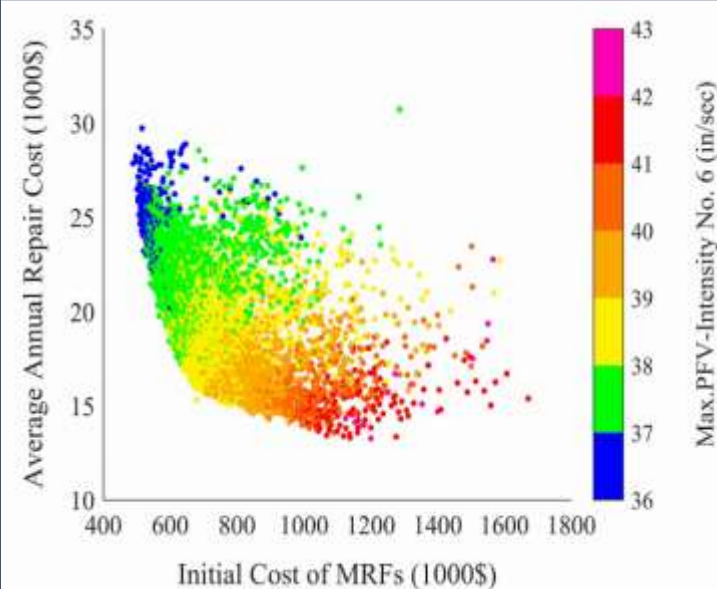
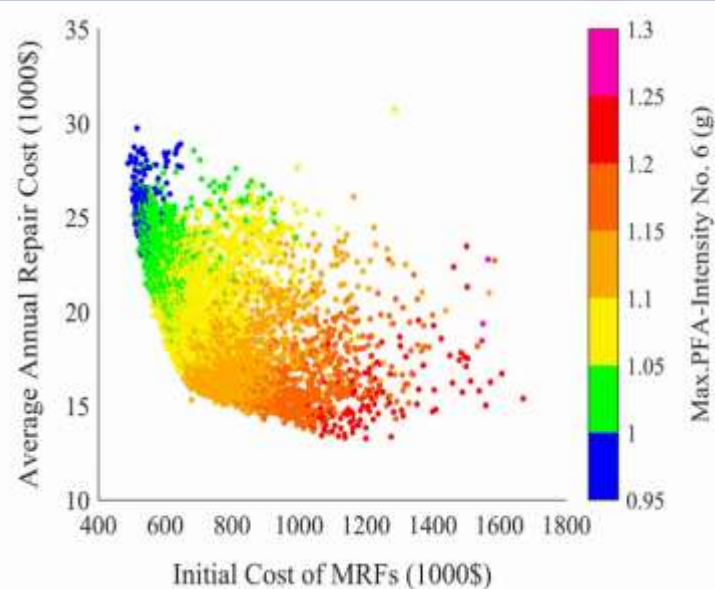
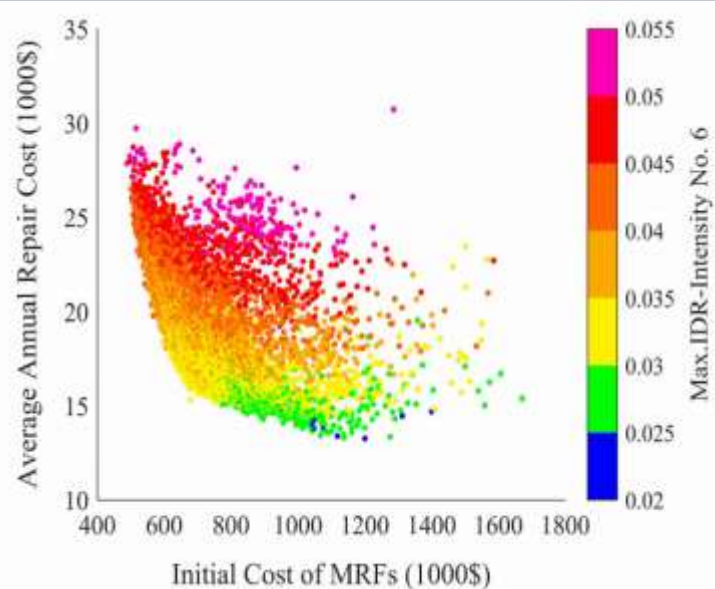


Shaking Intensity No. 2 ($\approx 29\%$ POE in 50 years)

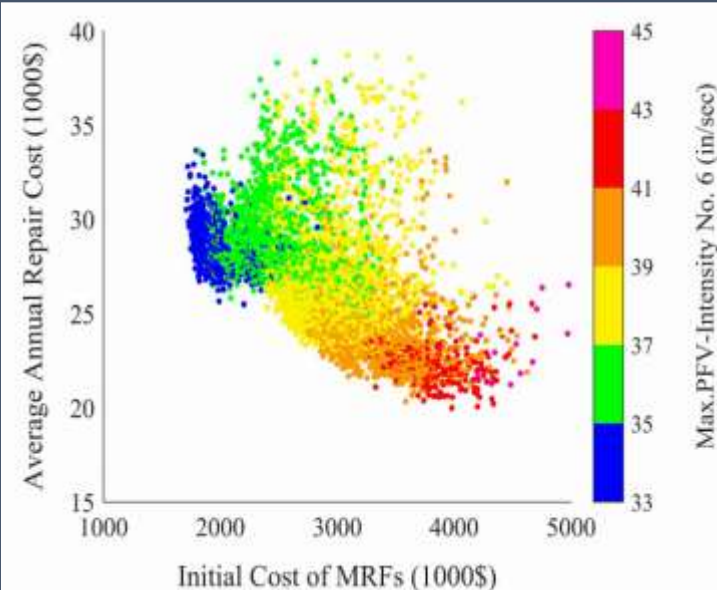
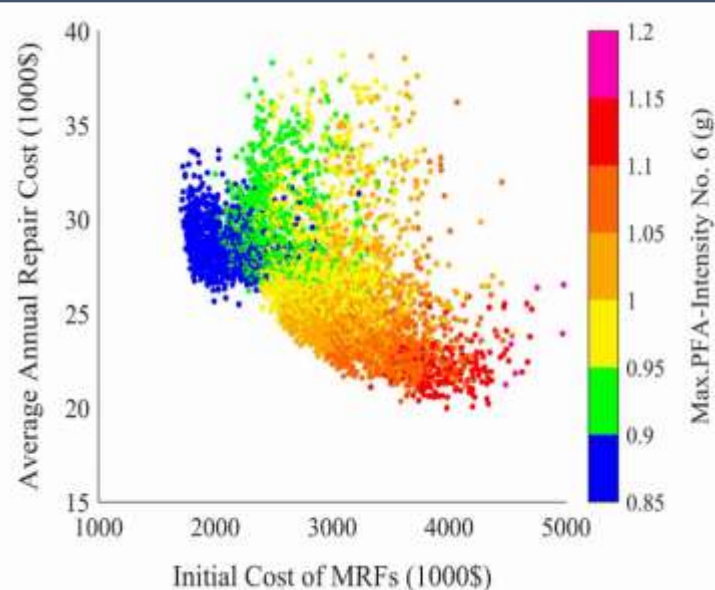
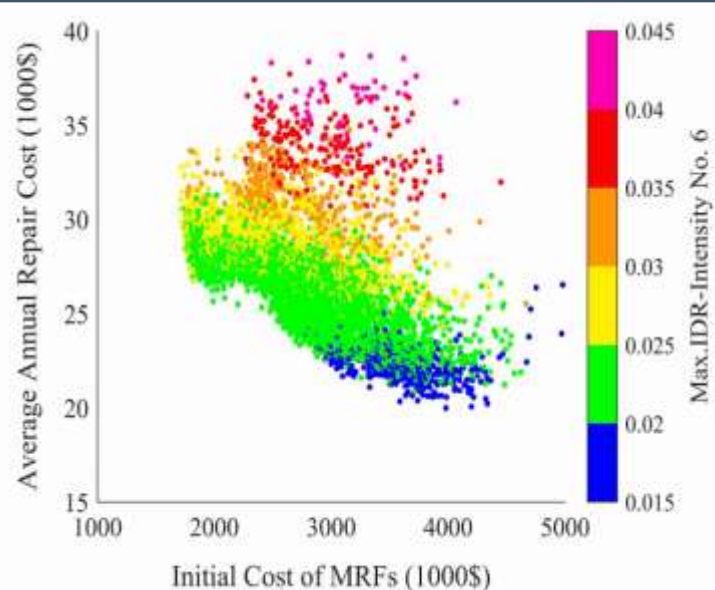
Shaking Intensity No. 6 ($\approx 3\%$ POE in 50 years)



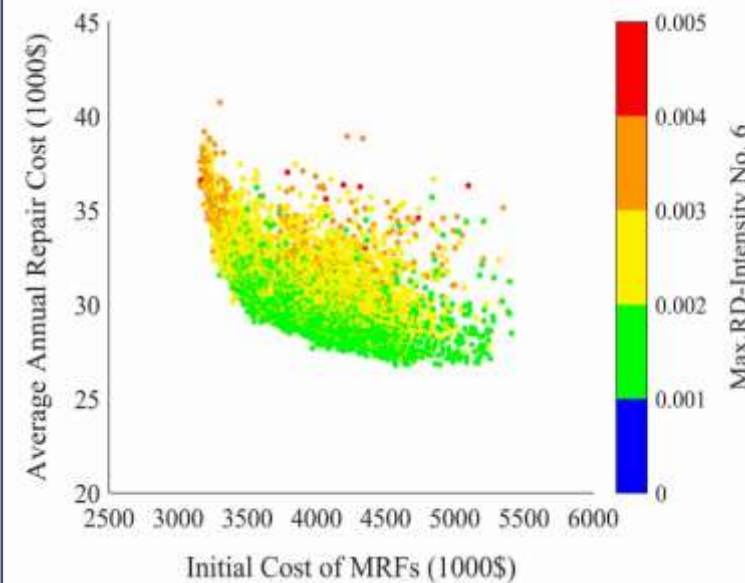
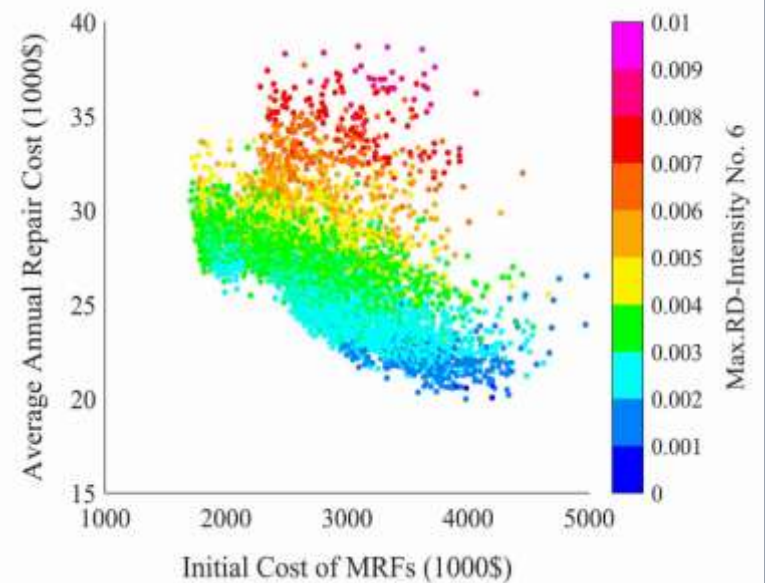
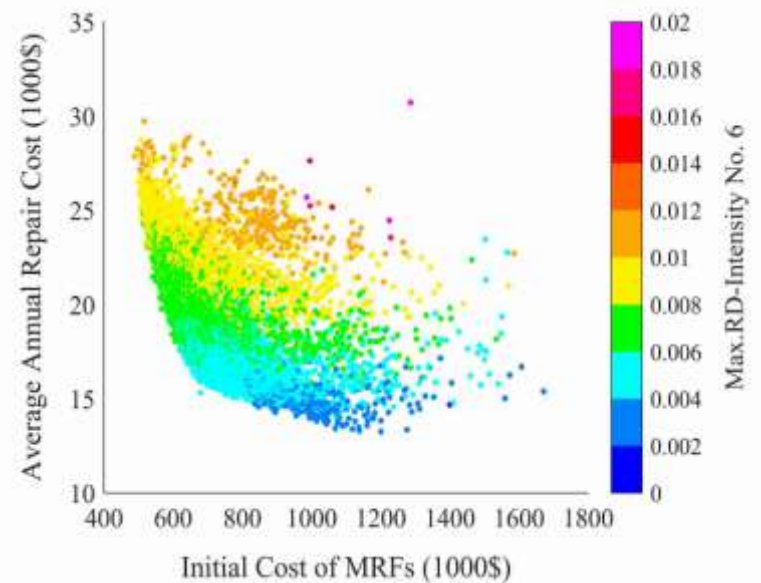
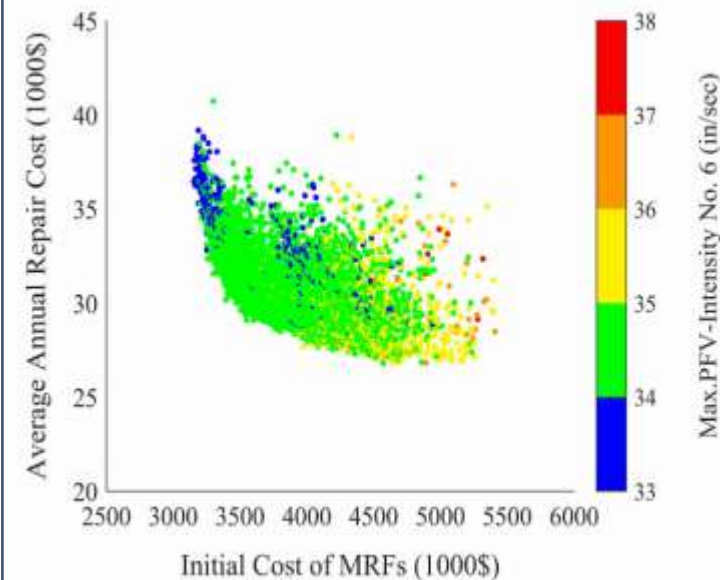
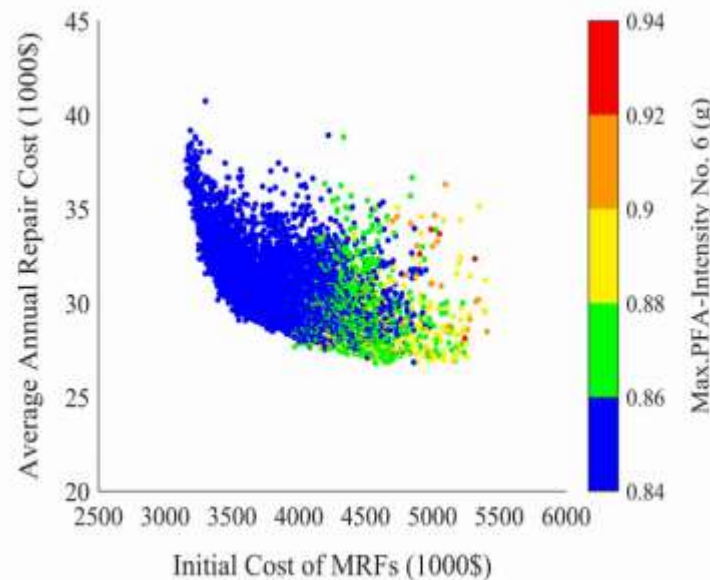
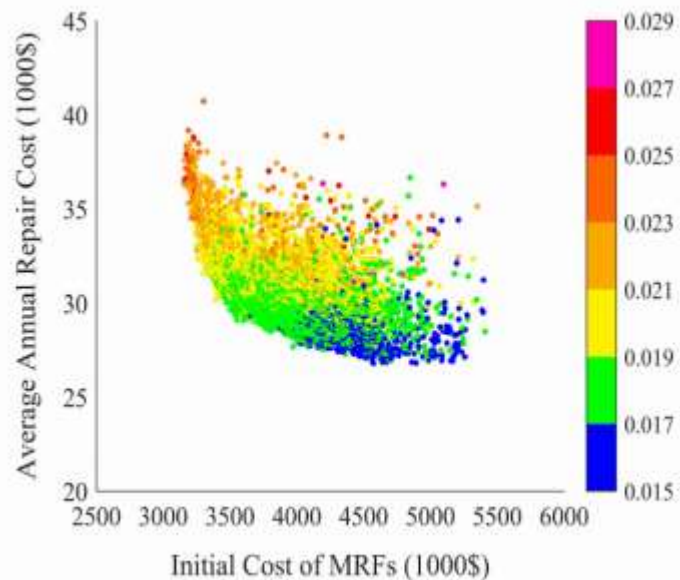
3-story



6-story



9-story



3-story

6-story

9-story

- برای طرح‌های بهینه با افزایش هزینه اولیه/وزن سازه، خسارت لرزه‌ای وارد بر سازه کاهش می‌یابد.
- در یک هزینه‌ی اولیه ثابت با کاهش هزینه تعمیر سالیانه، حداکثر دریافت سازه کاهش می‌یابد، در نتیجه طرح‌های بهینه پارتو نسبت به دیگر طرح‌ها حداکثر دریافت کمتری دارند.
- با افزایش هزینه اولیه در طراحی‌های بهینه پارتو، علیرغم افزایش دو پارامتر تقاضای شتاب و سرعت طبقه با کاهش دریافت هزینه خسارت لرزه‌ای کاهش می‌یابد.
- انتخاب یک طراحی بهینه با حداقل هزینه‌ی اولیه می‌تواند ساختمان را تحت شدت‌های لرزه‌ای بالا (مثلاً رخداد‌های با احتمال وقوع ۳٪ در ۵۰ سال) به وضعیت غیرقابل تعمیر برساند.

- بخش قابل توجهی از هزینه تعمیر ساختمان در شدت‌های لرزه‌ای پایین به اجزای غیرسازه‌ای حساس به دریافت مانند پارتیشن‌های داخلی و دیوارهای خارجی اختصاص دارد (مثلاً حدود ۷۰٪ تحت شدت لرزه‌ای با ۲۹٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال). با افزایش شدت زلزله، سهم اجزای NSD کاهش یافته و در مقابل سهم اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای حساس به شتاب افزایش می‌یابد.
- به طور کلی افزایش هزینه‌ی اولیه سازه منجر به افزایش سهم اجزای NSA در هزینه تعمیر ساختمان می‌شود.



با سپاس فراوان از توجه شما