

مراحل طراحی غیر خطی TMD

بر اساس آیین نامه طراحی لرزه ای



مدرس دوره

قربان علیزاده

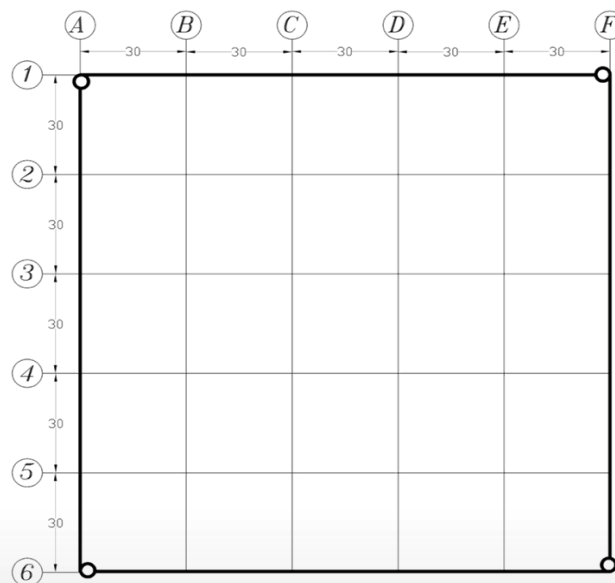
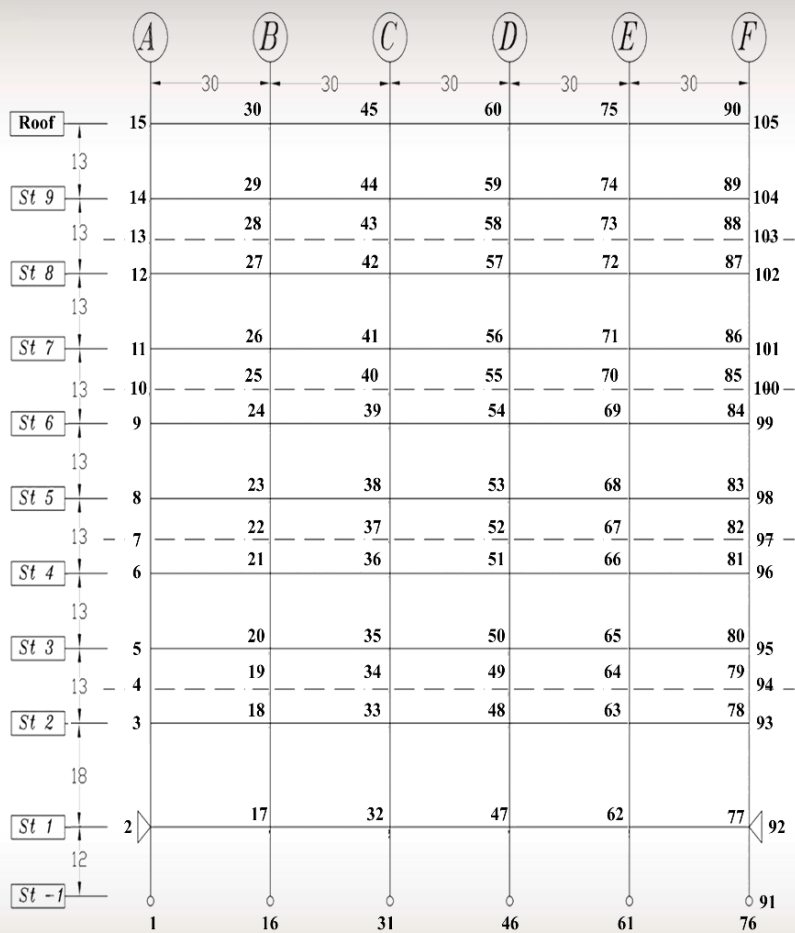
دانشجوی دکتری زلزله

پنجم



مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

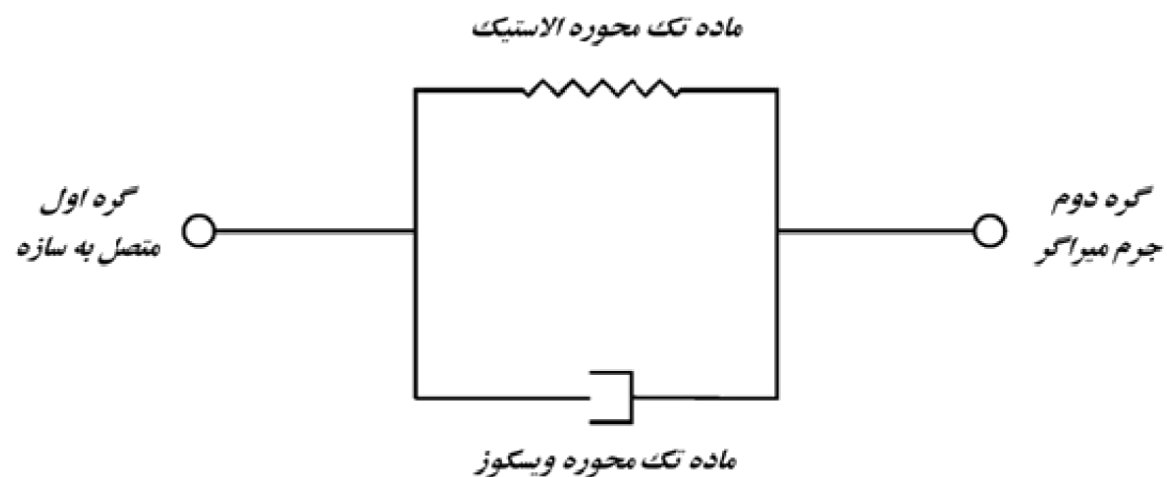
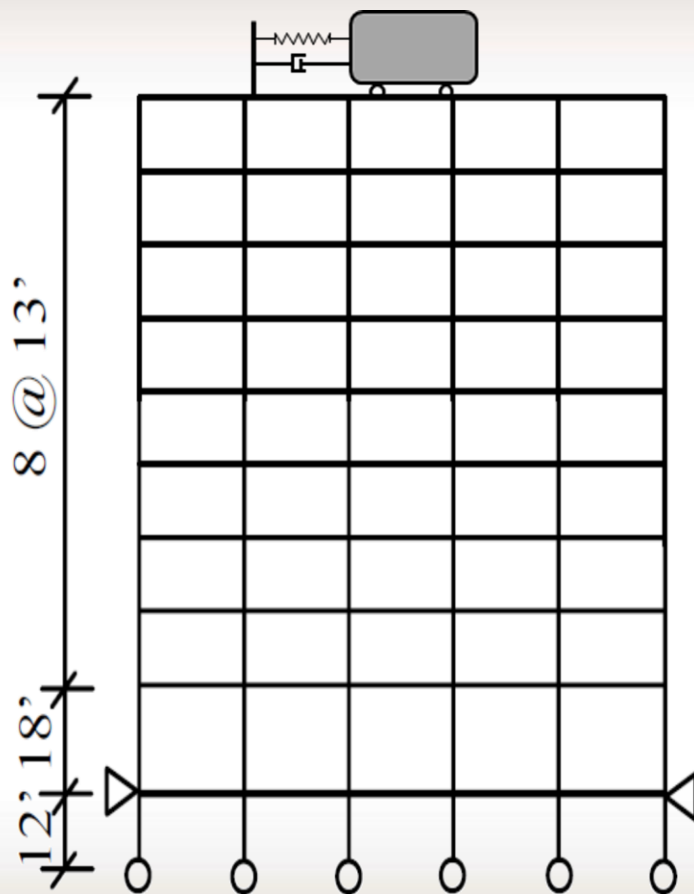
جلسه اول : مدلسازی سازه





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

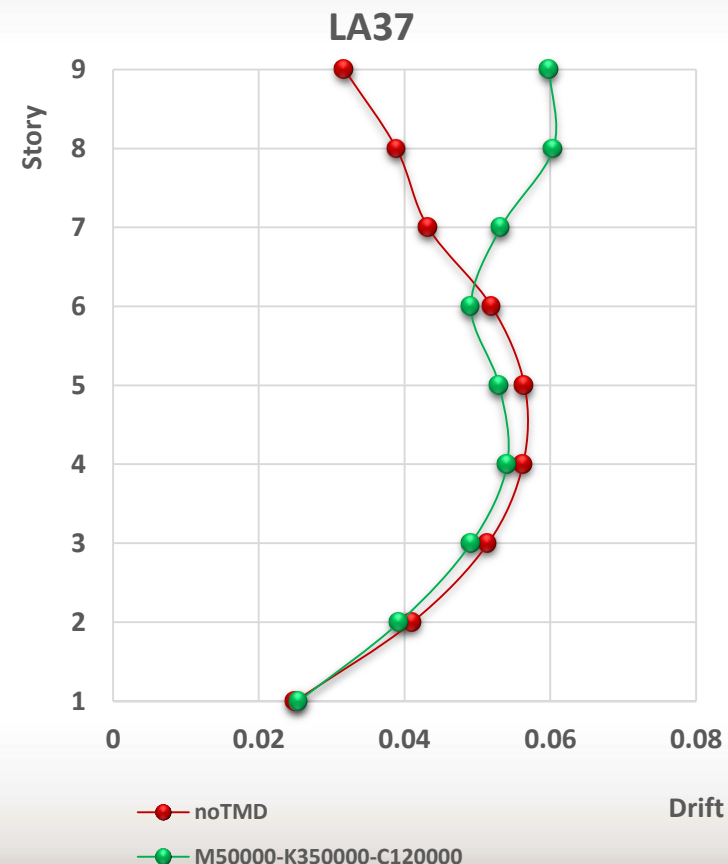
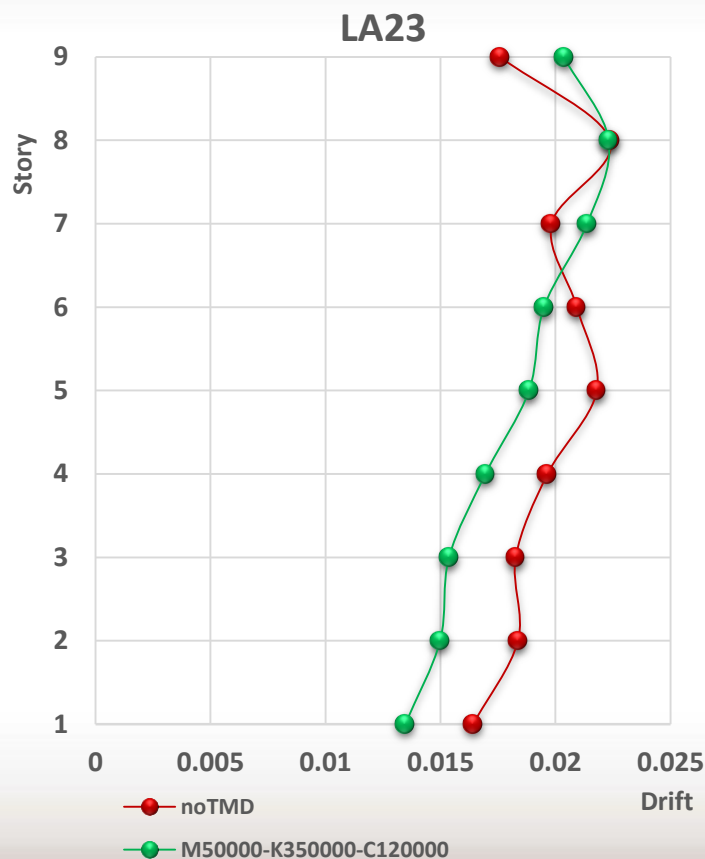
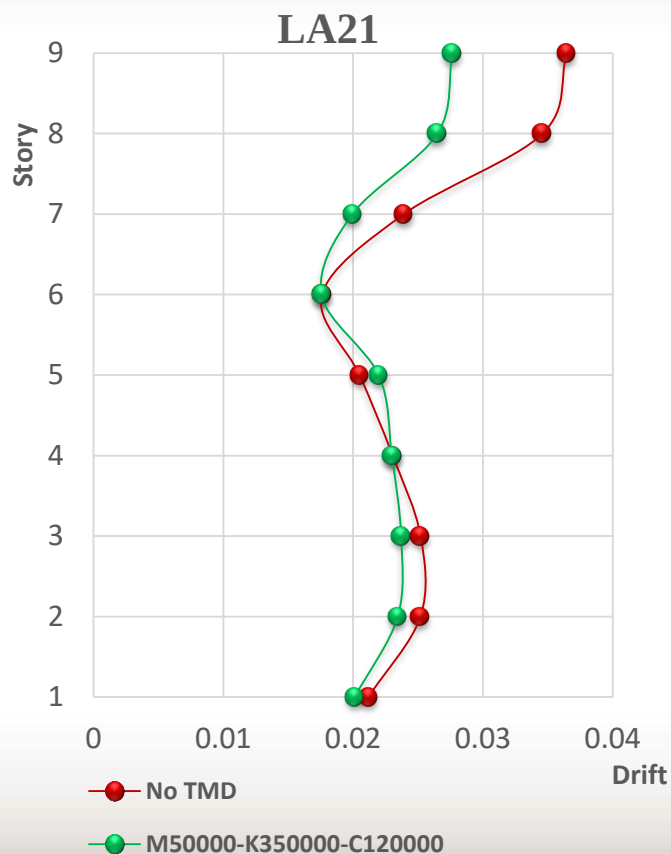
جلسه ۲: مدلسازی TMD





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

جلسه ۲: مدلسازی TMD





جلسه ۲ : مدلسازی TMD

۱- چطور می توان میراگری یافت که بهنگام وقوع یک زلزله بهترین عملکرد را داشته باشد؟

۲- آیا می توان میراگری یافت که برای چند زلزله کارایی داشته باشد؟ چطور؟

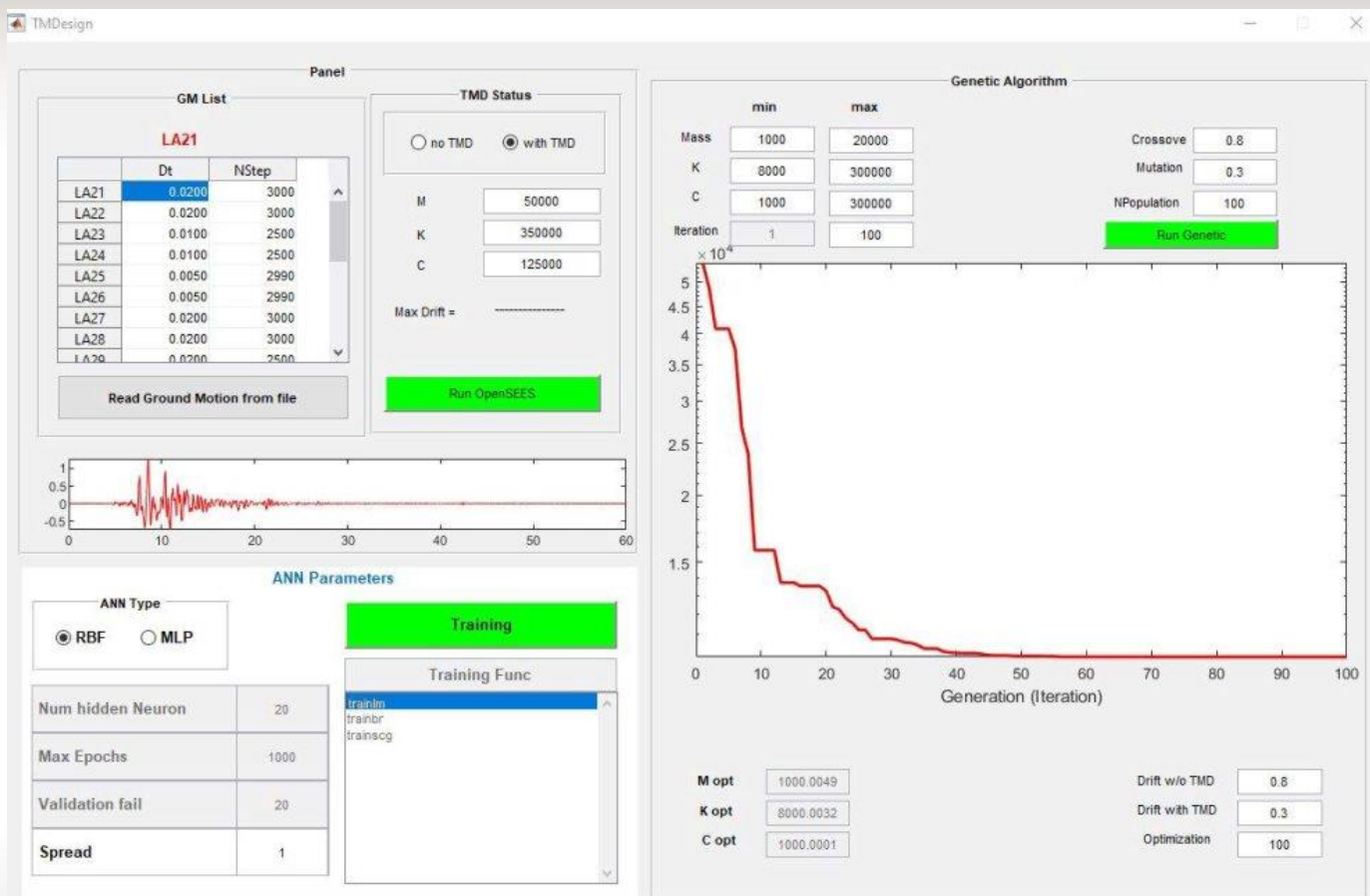


مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

جلسه ۳: کدنویسی الگوریتم

ژنتیک در نرم افزار

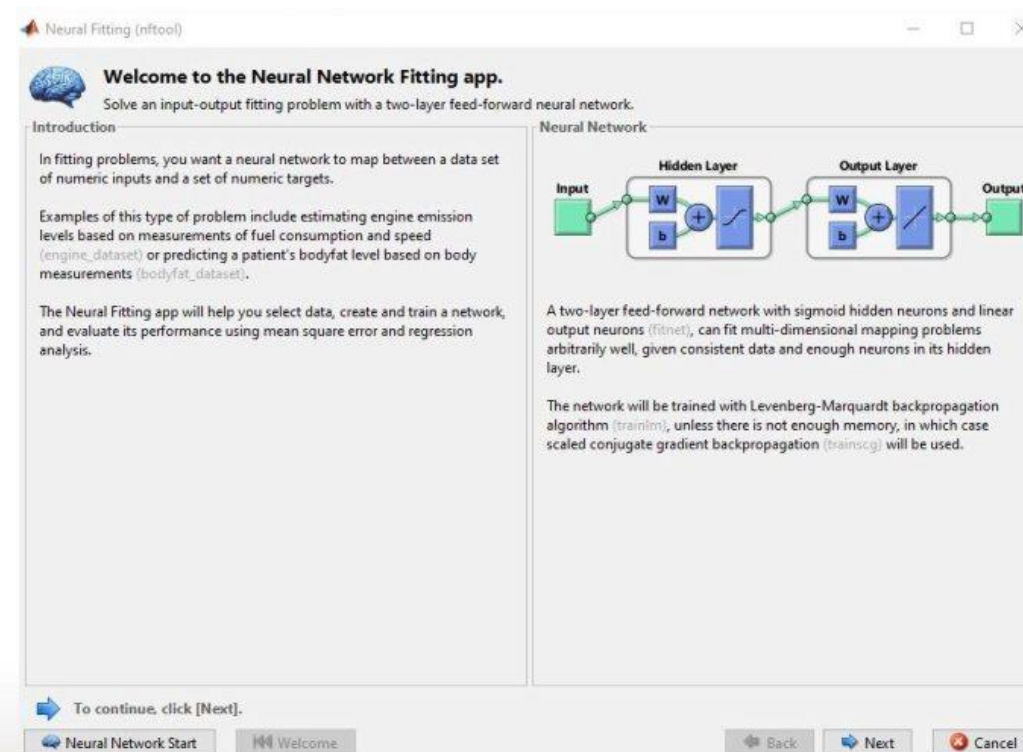
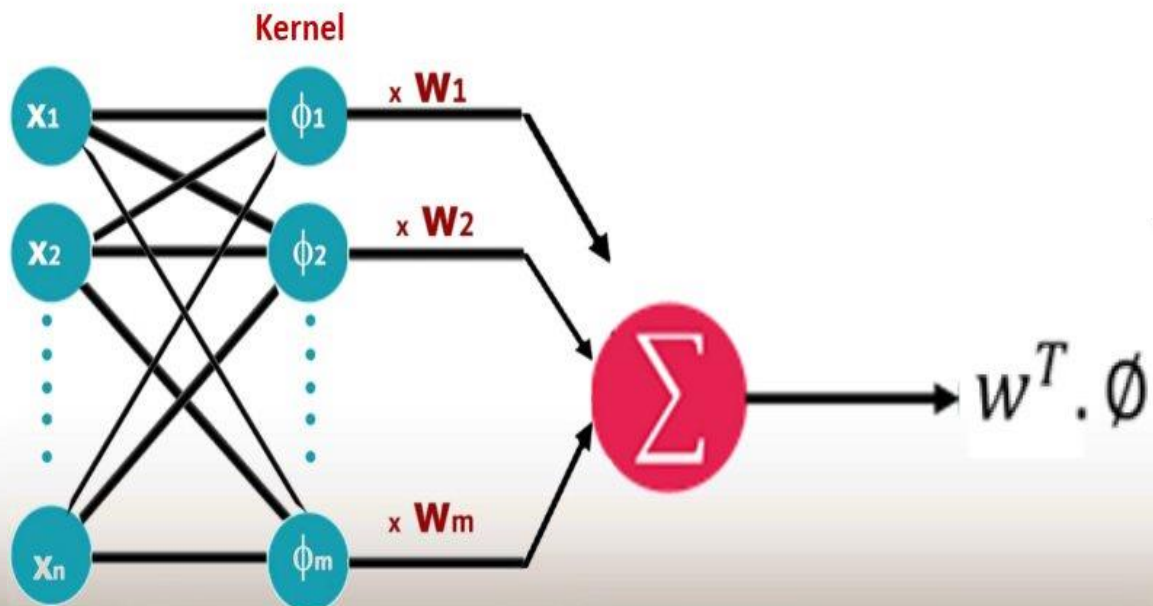
MATLAB





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

جلسه ۴: کدنویسی شبکه عصبی در نرم افزار MATLAB





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

TMDDesign

Select GM & Run OpenSEES

GM List

Select Ground Motion Please

	Dt	NStep
LA21	0.0200	3000
LA22	0.0200	3000
LA23	0.0100	2500
LA24	0.0100	2500
LA25	0.0050	2990
LA26	0.0050	2990
LA27	0.0200	3000
LA28	0.0200	3000
LA29	0.0200	2500

Read Ground Motion from file

TMD Status

☐ no TMD ☒ with TMD

M 50000
K 350000
C 125000

Max Drift =

Run OpenSEES

ANN Parameters

ANN Type

☒ RBF ☐ MLP

Num Hidden neuron 20
Epoch 1000
Validation fail 20
Spread 1

Training

Training Func

trainlm
trainbr
trainscg

Design TMD

	min	max	bit
Mass	3000	57000	7
K	8000	1000000	9
C	1000	1000000	10
Iteration	1	100	

Objective Function

☒ Max Drift in 1 GM
☐ Mean Drift in All GM

Crossover 0.8
Mutation 0.3
NPopulation 100

Run Genetic

Drift w/o TMD 0.8
Drift with TMD 0.3
Optimization 100

M opt
K opt
C opt

جلسه ۵ : استفاده از شبکه

عصبی بعنوان تحلیلگر سریع

بجای OpenSEES



مراحل روش طراحی غیرخطی TMD مطابق آیین نامه لرزه ای

گام ۱- ایجاد مدل غیرخطی سازه و میراگر جرمی.

۲-۵-۳-۲ شتابنگاشت‌هایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا، در هنگام زلزله، باشند.

گام ۲- انتخاب ۷ رکورد زلزله سازگار با شرایط زمین ساختی سازه مورد مطالعه.

گام ۳- آموزش شبکه عصبی مصنوعی برای یک تابع هدف مشخص

– تعیین یک بازه مناسب برای دامنه تغییرات پارامترهای TMD شامل جرم (M)، سختی (K) و میرایی (C).
– انتخاب تعداد n_m جرم، n_k سختی و n_c میرایی در محدوده بازه های تعیین شده

– تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه مجهز به میراگر جرمی در هر یک از N حالت

– تشکیل ماتریس های ورودی و هدف و انجام آموزش شبکه عصبی

– تست شبکه عصبی برای هر زلزله.

گام ۴- اجرای الگوریتم ژنتیک با استفاده از شبکه های عصبی آموزش داده شده و یافتن پارامترهای بهینه



اهمیت انتخاب صحیح تابع هدف ؟

- آموزش شبکه عصبی برای تخمین پاسخ سازه بکار رفته در تابع هدف
- جستجوی پارامترهای TMD با الگوریتم ژنتیک برای حداقل کردن تابع هدف

حداکثر دریافت طبقه i ام تحت زلزله j

$$F = \text{Max} \left[\frac{\sum_{j=1}^7 D_{ij}}{7} \right]$$




مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

چرا شبکه عصبی مصنوعی؟

- ماهیت تکرار در روش بهینه سازی عددی الگوریتم ژنتیک
- زمانبر بودن تحلیل دینامیکی غیرخطی

مثال : زمان لازم برای طراحی TMD با الگوریتم ژنتیک در دو حالت با و بدون استفاده از شبکه عصبی

- فرضیات مسئله :
 - ۱- مدت زمان یک تحلیل غیر خطی برابر ۳ دقیقه
 - ۲- تعداد تکرار تحلیل در هر گام الگوریتم ژنتیک ۲۵۰ تکرار
 - ۳- تعداد گامهای الگوریتم ژنتیک ۱۰۰ گام



مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

- فرضیات مسئله: }
۱- مدت زمان یک تحلیل غیر خطی برابر ۳ دقیقه
۲- تعداد تکرار تحلیل در هر گام الگوریتم ژنتیک ۲۵۰ تکرار
۳- تعداد گامهای الگوریتم ژنتیک ۱۰۰ گام

الف - بدون استفاده از شبکه عصبی

- ← برای یک زلزله $\text{Time} = 3 \times 250 \times 100 = 75'000$ دقیقه = ۵۲ شبانه روز
- ← برای ۷ زلزله $\text{Time} = 7 \times 52 = 364$ روز = ۱ سال

ب - با استفاده از شبکه عصبی (هر تحلیل حدود ۰.۰۰۳ ثانیه)

- ← برای یک زلزله $\text{Time} = 0.003 \times 250 \times 100 = 75$ ثانیه
- ← برای ۷ زلزله $\text{Time} = 7 \times 75 = 525$ ثانیه = ۹ دقیقه



مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

تعیین بازه مناسب برای دامنه تغییرات پارامترهای TMD

TMDDesign

Select GM & Run OpenSEES

GM List

Select Ground Motion Please

	Dt	NStep
LA21	0.0200	3000
LA22	0.0200	3000
LA23	0.0100	2500
LA24	0.0100	2500
LA25	0.0050	2990
LA26	0.0050	2990
LA27	0.0200	3000
LA28	0.0200	3000
LA29	0.0200	2500

Read Ground Motion from file

TMD Status

☐ no TMD ☒ with TMD

M 50000
K 350000
C 125000

Max Drift =

Run OpenSEES

ANN Parameters

ANN Type

☒ RBF ☐ MLP

Num Hidden neuron 20

Epoch 1000

Validation fail 20

Spread 1

Training

Training Func

trainlm
trainbr
traincog

Design TMD

min max bit

Mass	3000	57000	7
K	8000	1000000	9
C	1000	1000000	10
Iteration	1	100	

Objective Function

☒ Max Drift in 1 GM
☐ Mean Drift in All GM

Crossover 0.8
Mutation 0.3
NPopulation 100

Run Genetic

M opt
K opt
C opt

Drift w/o TMD 0.8
Drift with TMD 0.3
Optimization 100

	min	max	bit
Mass	3000	57000	7
K	8000	1000000	9
C	1000	1000000	10
Iteration	1	100	

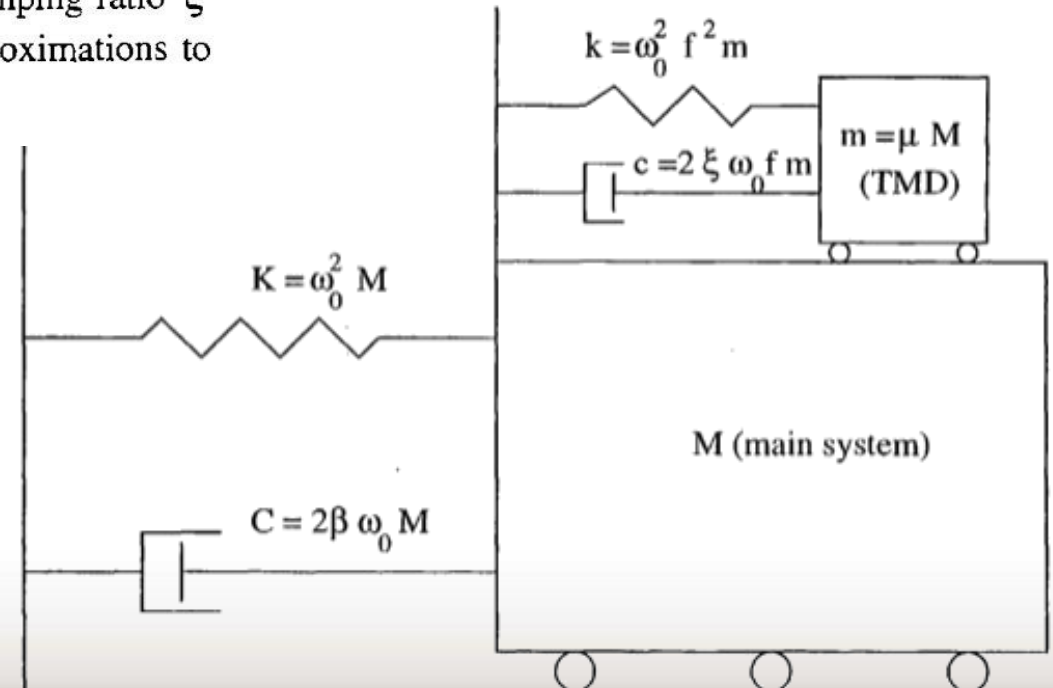


روش محاسبه خطی پارامترهای بهینه TMD در سازه SDOF

For design purposes, it may be convenient to present the optimum TMD parameters by simple equations rather than tables. Curve fitting was used to find f and ξ in terms of μ and β . For an undamped structure, the tuning ratio f is found to be equal to $1/(1+\mu)$ and the damping ratio ξ equal to $\sqrt{\mu/(1+\mu)}$. For a damped structure, the following equations give close approximations to the f and ξ values presented in Table 3.2:

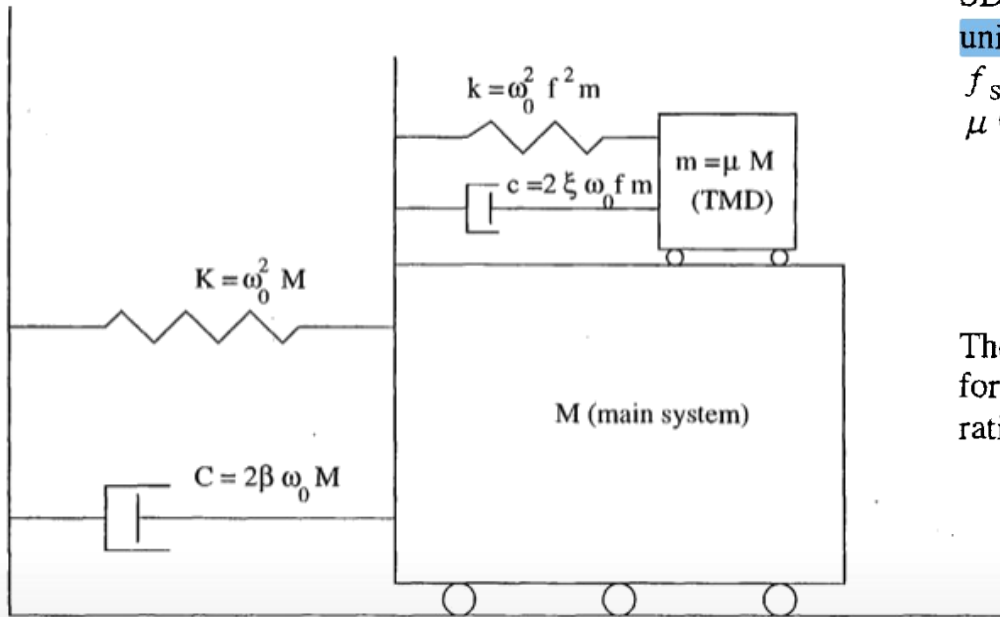
$$f = \frac{1}{1+\mu} \left[1 - \beta \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}} \right] \quad (3.4)$$

$$\xi = \frac{\beta}{1+\mu} + \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}} \quad (3.5)$$





روش محاسبه خطی پارامترهای بهینه TMD – صادق فهیم



It was found that the tuning ratio f for a MDOF system is nearly equal to the tuning ratio for a SDOF system for a mass ratio of $\mu \Phi$, where Φ is the amplitude of the first mode of vibration for a unit modal participation factor computed at the location of the TMD; i.e., $f_{\text{MDOF}}(\mu) = f_{\text{SDOF}}(\mu \Phi)$. The equation for the tuning ratio is obtained from equation (3.4) by replacing μ by $\mu \Phi$. Thus,

$$f = \frac{1}{1 + \mu \Phi} \left[1 - \beta \sqrt{\frac{\mu \Phi}{1 + \mu \Phi}} \right] \quad (4.2)$$

The TMD damping ratio is also found to approximately correspond to the damping ratio computed for a SDOF system multiplied by Φ , i.e. $f_{\text{MDOF}}(\mu) = \Phi f_{\text{SDOF}}(\mu)$. The equation for the damping ratio is obtained by multiplying equation (3.5) by Φ

$$\xi = \Phi \left[\frac{\beta}{1 + \mu} + \sqrt{\frac{\mu}{1 + \mu}} \right] \quad (4.3)$$



مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

پارامترهای بهینه TMD

بروش Sadek-Fahim

Story	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Phi-OPS	-0.000356583	-0.00060846	-0.000861577	-0.00112062	-0.00136698	-0.00159657	-0.00182832	-0.00205228	-0.00222528	
										Σ
Mass (Kg.Sec^2 / m)	51402	50494	50494	50494	50494	50494	50494	50494	54393	459253
M.φ	18.32907937	30.7233268	43.50446904	56.58458628	69.02428812	80.61720558	92.31919008	103.6278263	121.039655	615.8
M.φ^2	0.006535838	0.01869376	0.03748245	0.063409819	0.094354821	0.128711012	0.168789022	0.212673315	0.269347124	1.0
φ									1.370	
M1	379173									
$f = \frac{1}{1 + \mu\Phi} \left[1 - \beta \sqrt{\frac{\mu\Phi}{1 + \mu\Phi}} \right]$ $\xi = \Phi \left[\frac{\beta}{1 + \mu} + \sqrt{\frac{\mu}{1 + \mu}} \right]$										
μ	β	μ*Φ	1+μ*Φ	f	ξ	M	K	C	Period	W0
نسبت جرمی	درصد میرایی سازه			ωd/ω0		TMD	TMD	TMD		
0.50%	2%	0.0069	1.0069	0.9916	0.124	1895.867	13964	1275	2.2956	2.737
15%	2%	0.2055	1.2055	0.8227	0.519	56875.996	288357	132857		



تشکیل ماتریس های ورودی و هدف

$$\left. \begin{array}{l} N_m = 7 \text{ تعداد جرمهای انتخابی} \\ N_k = 9 \text{ تعداد سختی های انتخابی} \\ N_c = 10 \text{ تعداد میرایی های انتخابی} \end{array} \right\} N = N_m * N_k * N_c = 630 \text{ تعداد کل میراگرها}$$

$$P = \begin{bmatrix} M1 & M2 & M3 & \dots & M630 \\ K1 & K2 & K3 & \dots & K630 \\ C1 & C2 & C3 & \dots & C630 \end{bmatrix}$$

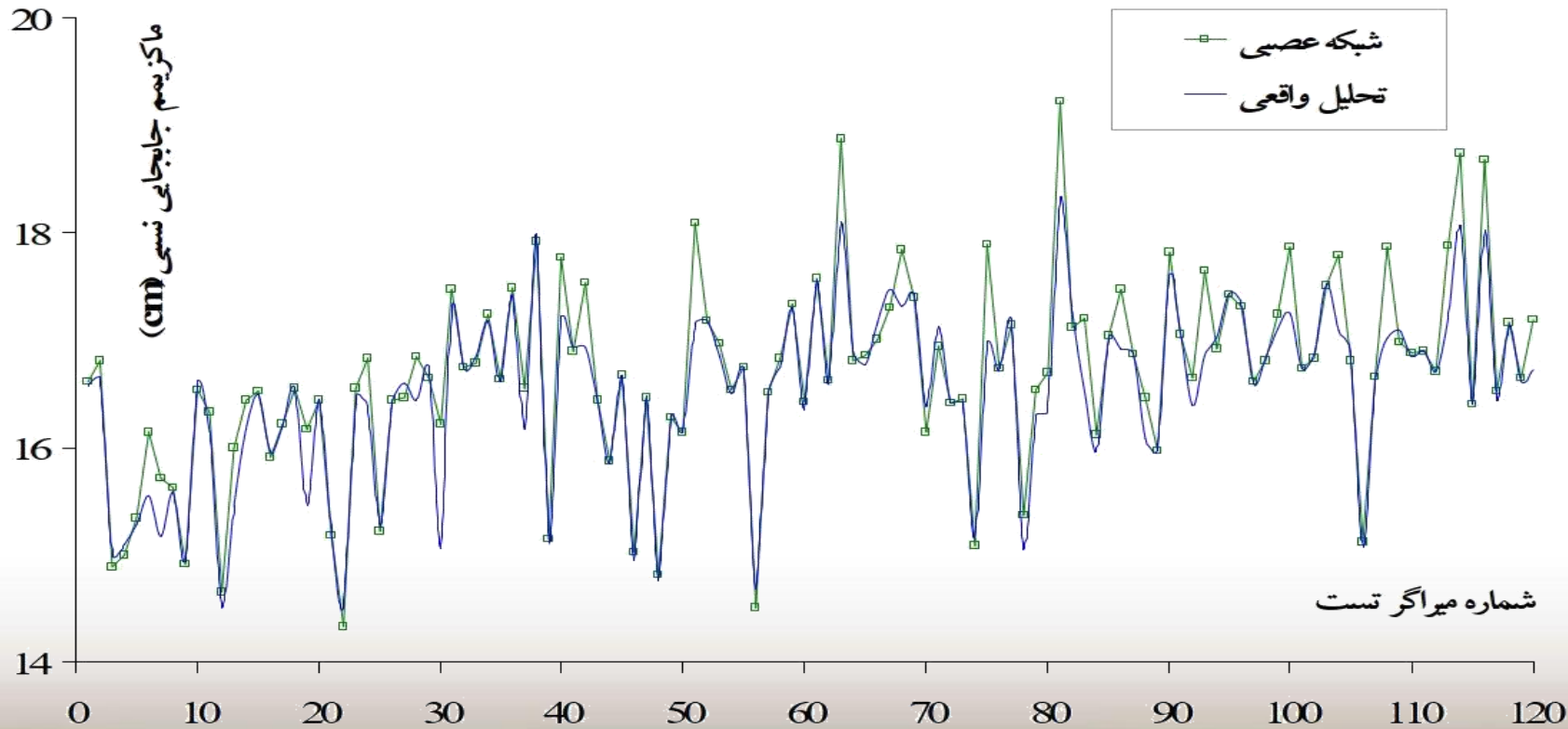
$$T = \begin{bmatrix} Dr1 & Dr2 & Dr3 & \dots & Dr630 \end{bmatrix}$$



مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

تست شبکه عصبی برای هر زلزله

La34	La33	La31	La28	La25	La22	La21	زلزله
۱۲/۶	۵/۱	۹/۲	۰/۲	۰/۹	۷/۷	۱۲/۷	حداکثر خطا (%)
۱/۲	۰/۳	۱/۷	۰/۰۴	۰/۲	۱/۲	۱/۱	میانگین خطا (%)





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

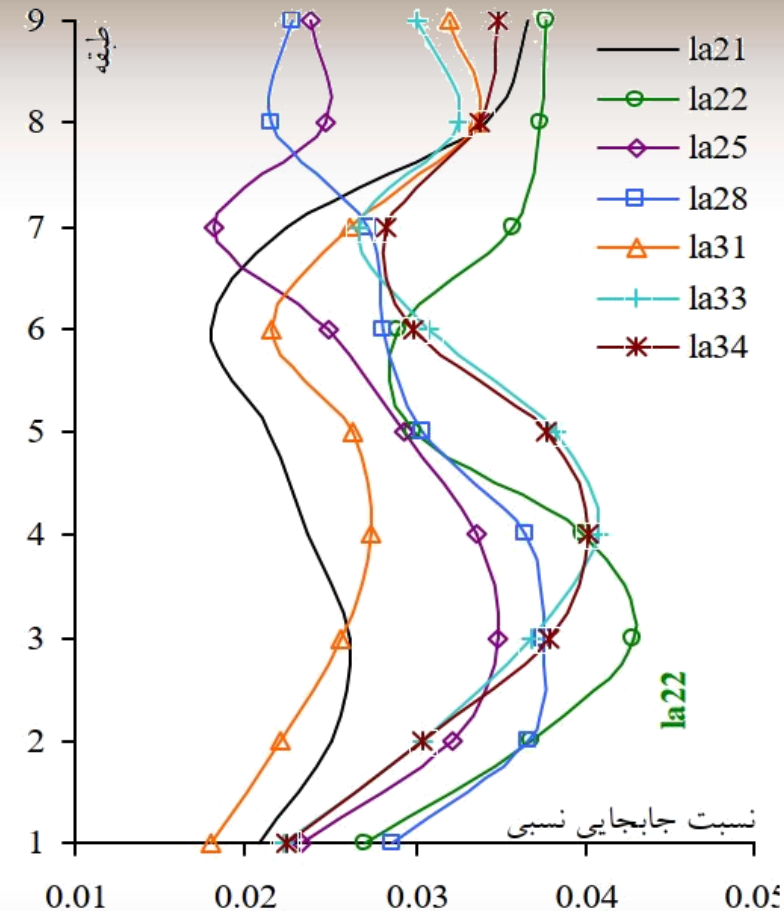
طراحی TMD براساس دو فلسفه

فلسفه ۱- طراحی TMD برای حداقل کردن پاسخ زلزله ای که بیشترین اثر را در سازه کنترل نشده دارد.

فلسفه ۲- طراحی TMD برای حداقل کردن متوسط پاسخ حاصل از ۷ زلزله



انتخاب قویترین زلزله گروه براساس حداکثر پاسخ Drift در سازه کنترل نشده

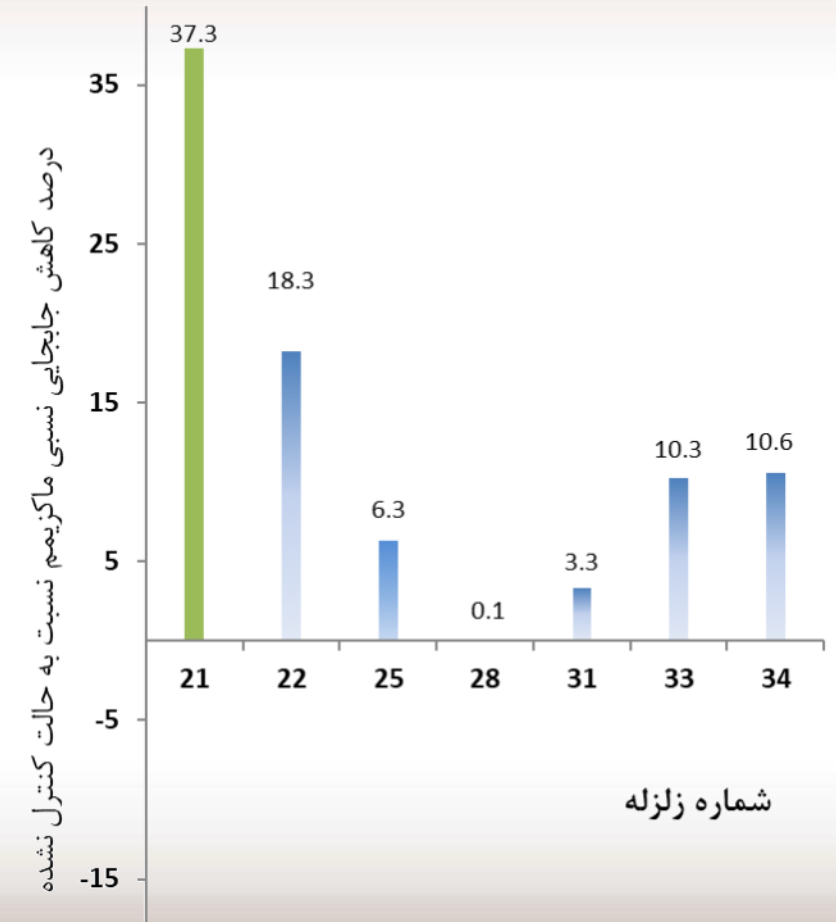
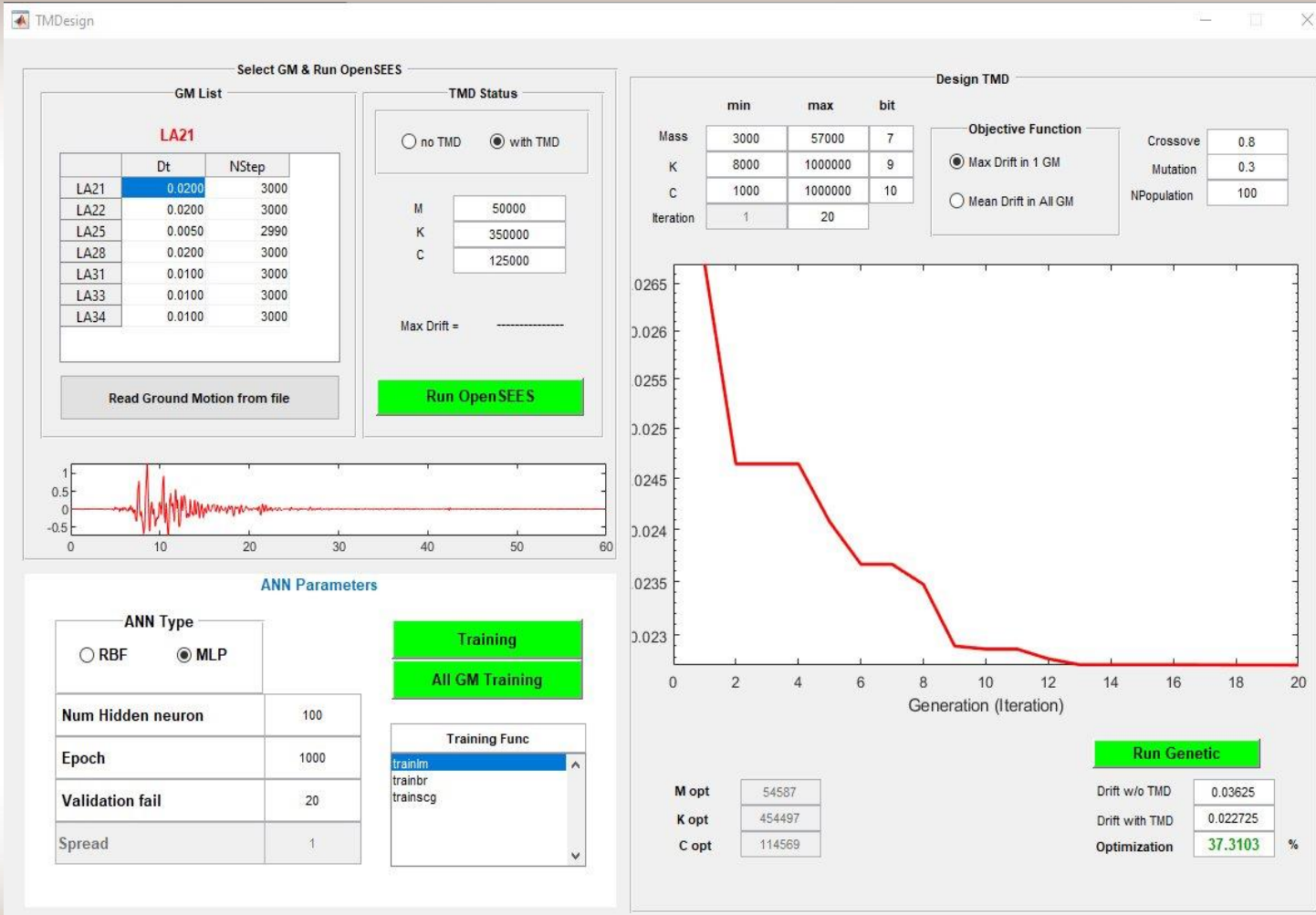


پروفیل حداکثر نسبت جابه جایی نسبی طبقات
در سازه کنترل نشده



مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

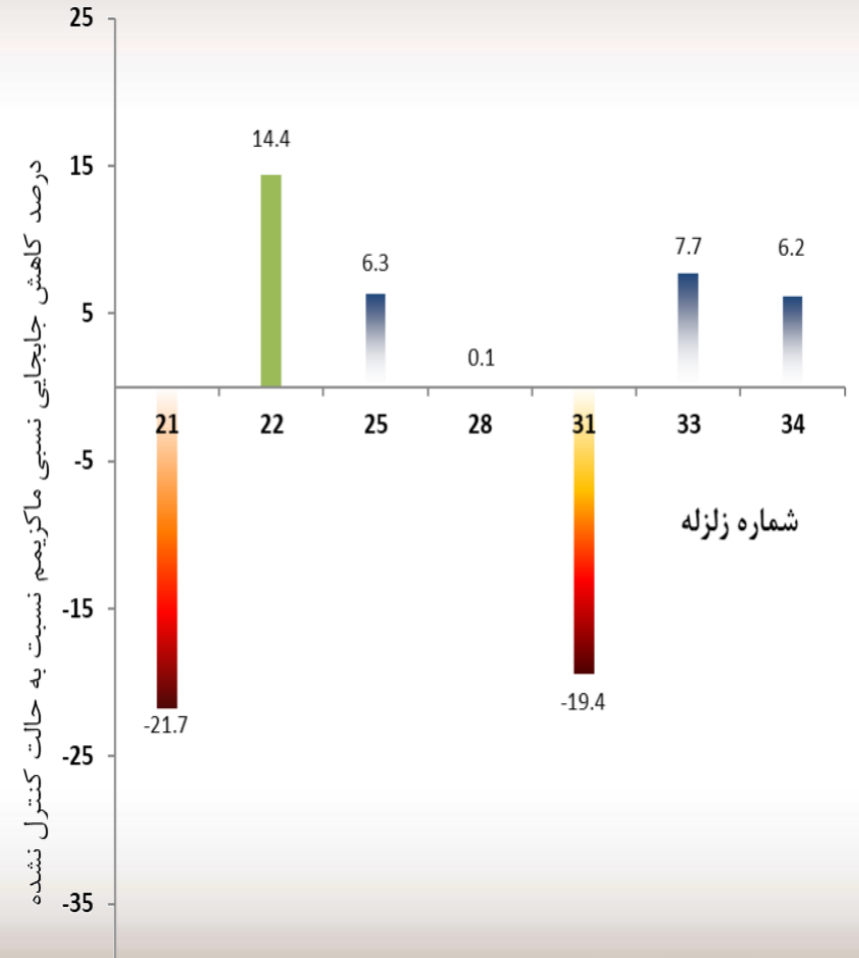
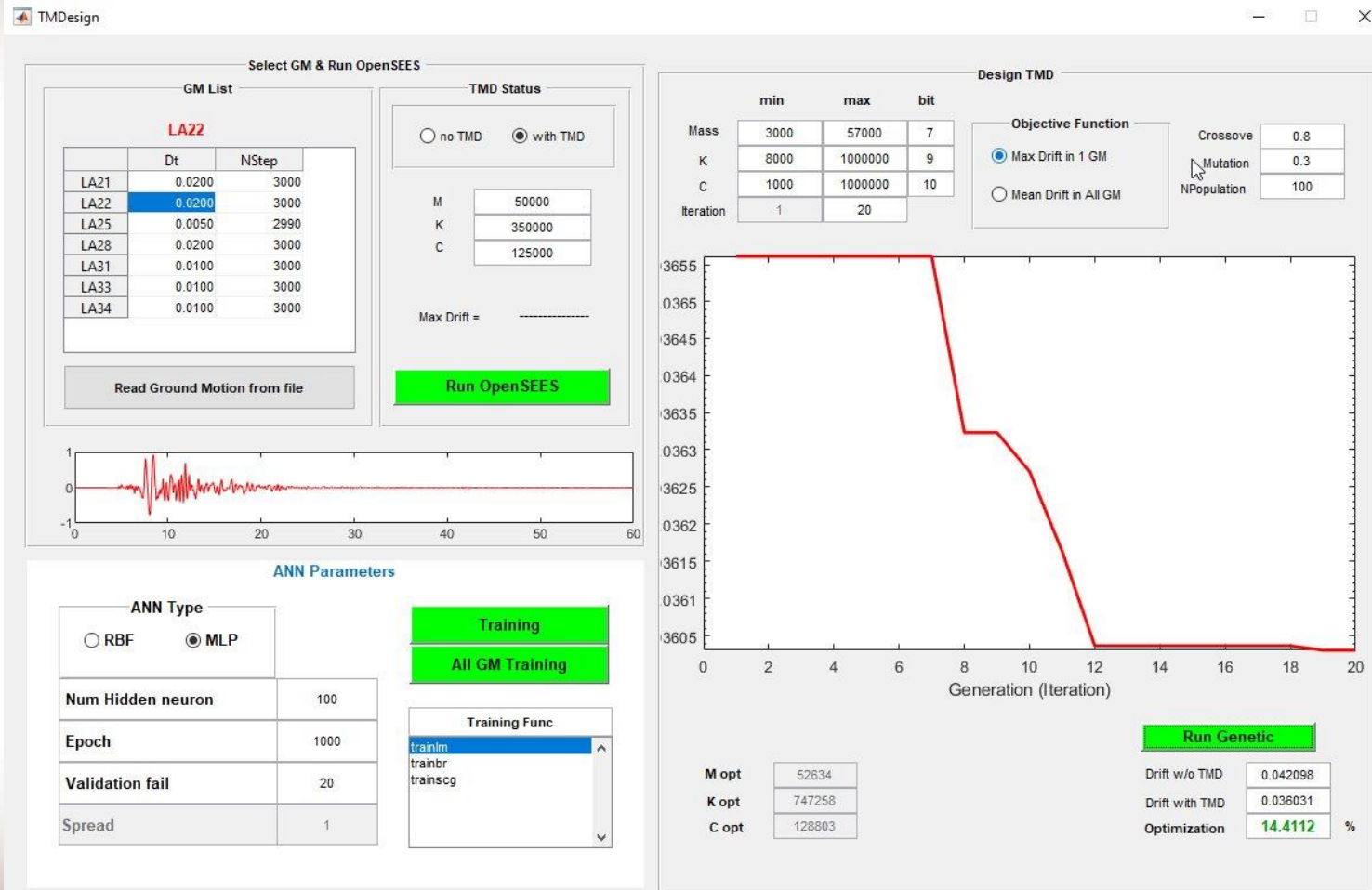
طراحی TMD برای LA21





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

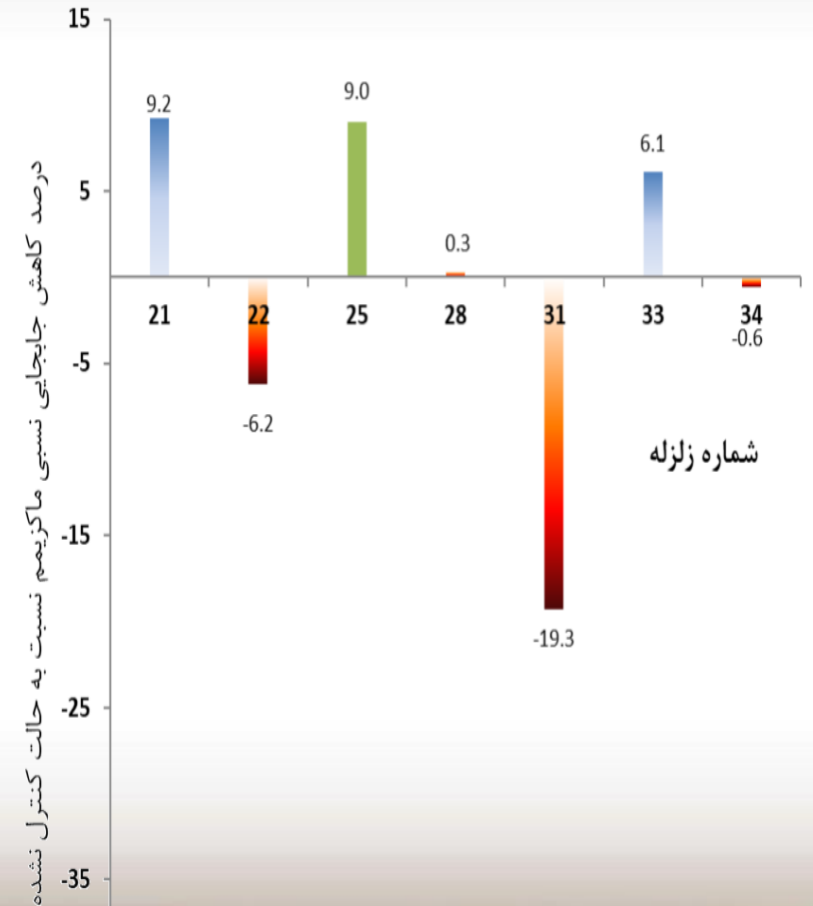
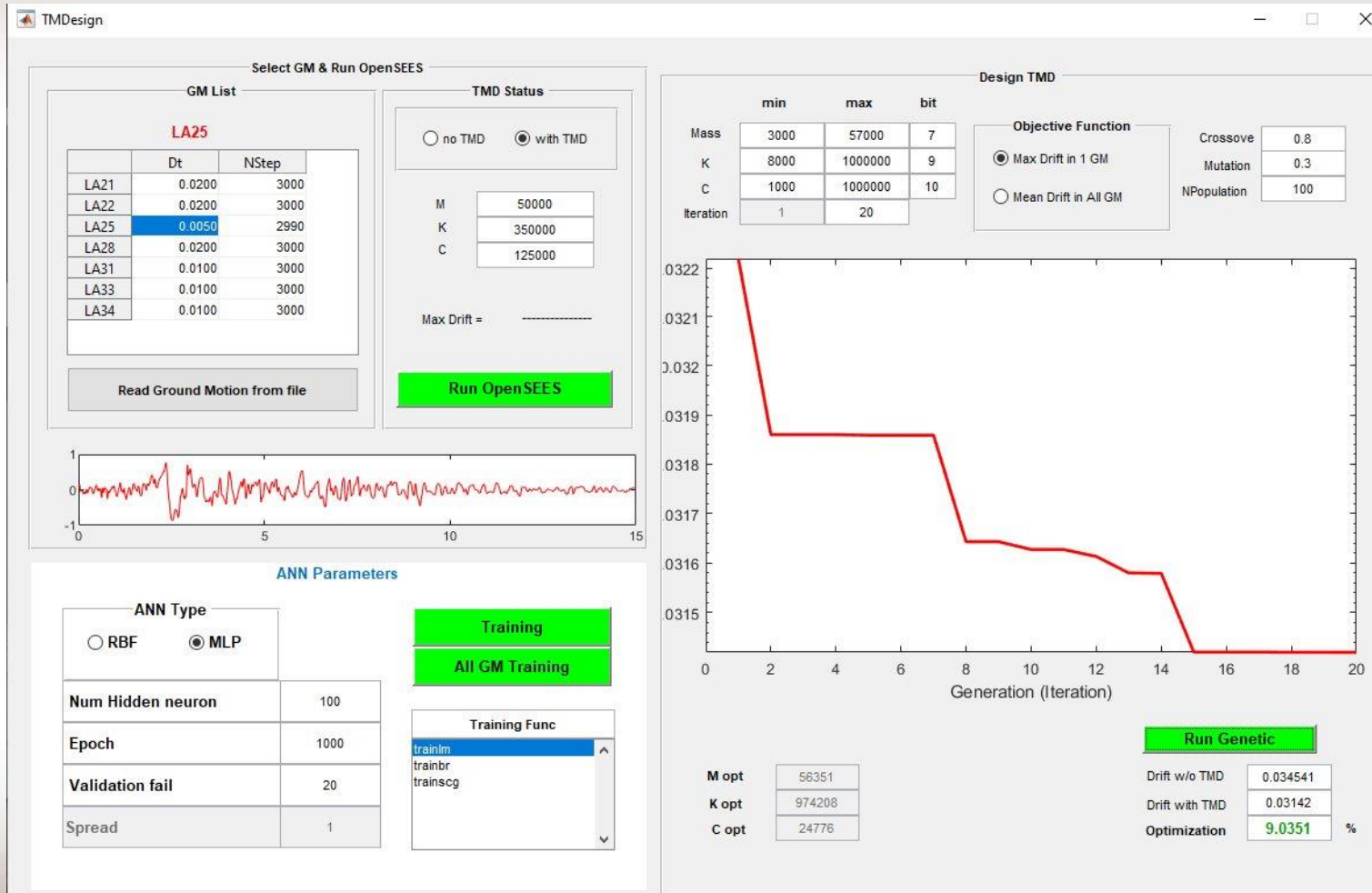
طراحی TMD برای LA22 – قویترین زلزله





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

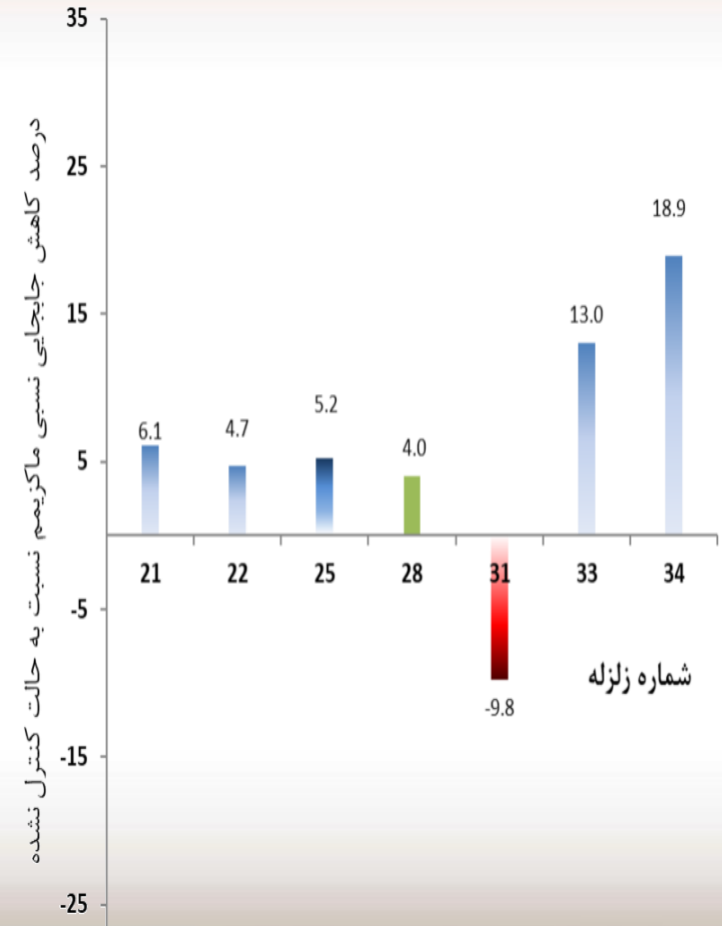
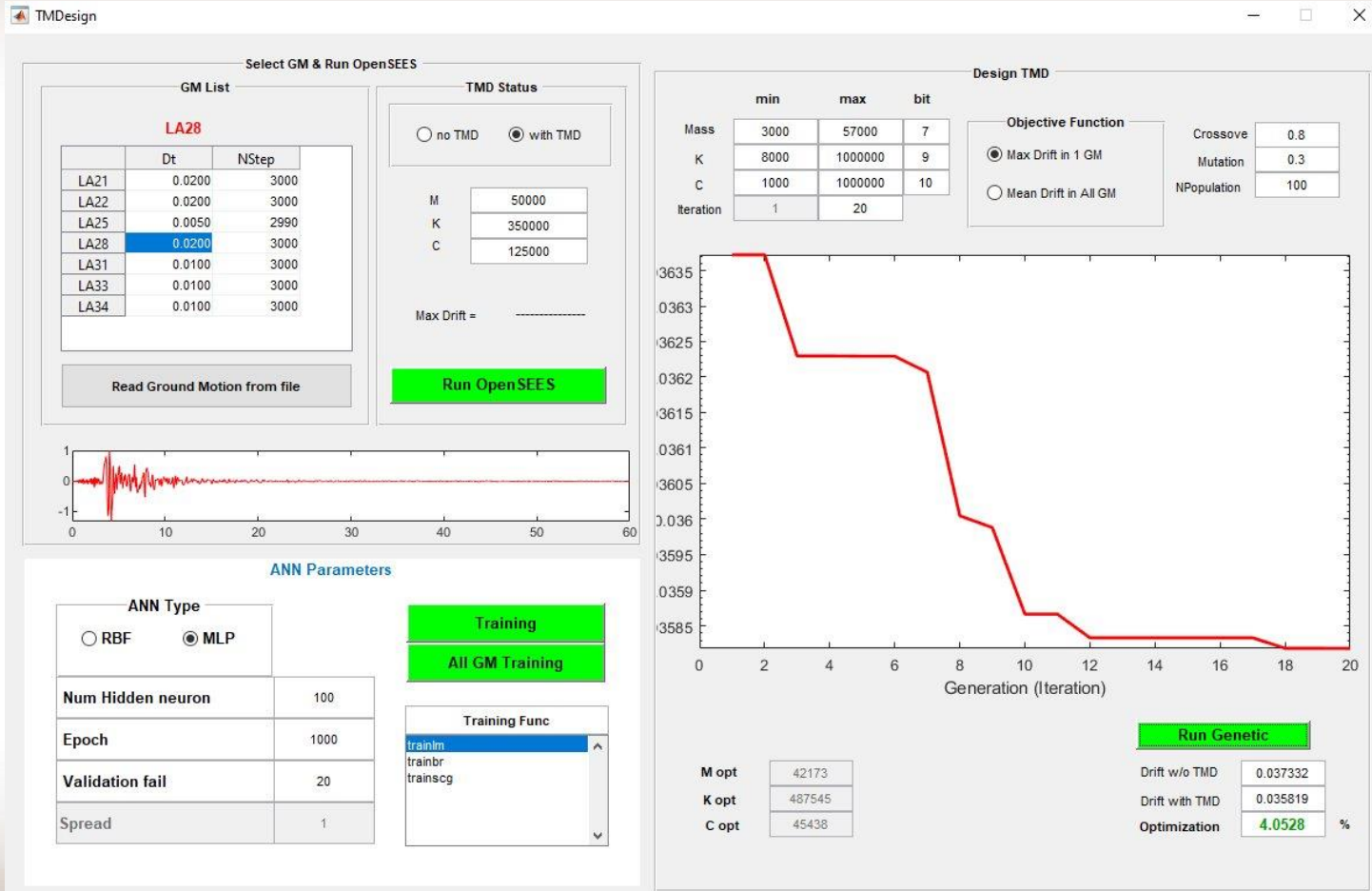
طراحی TMD برای LA25





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

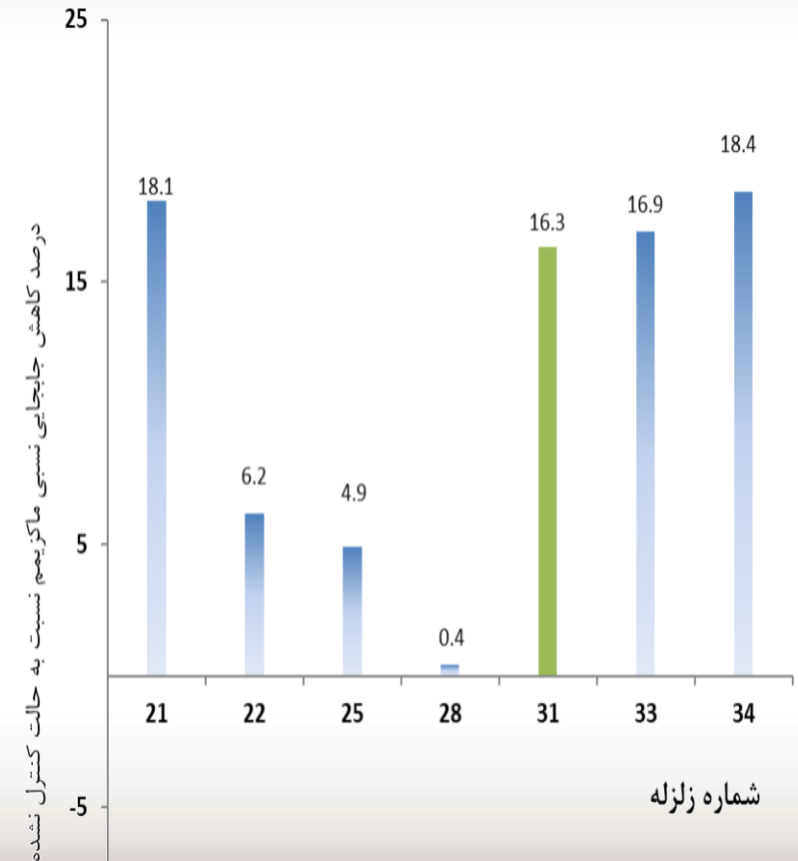
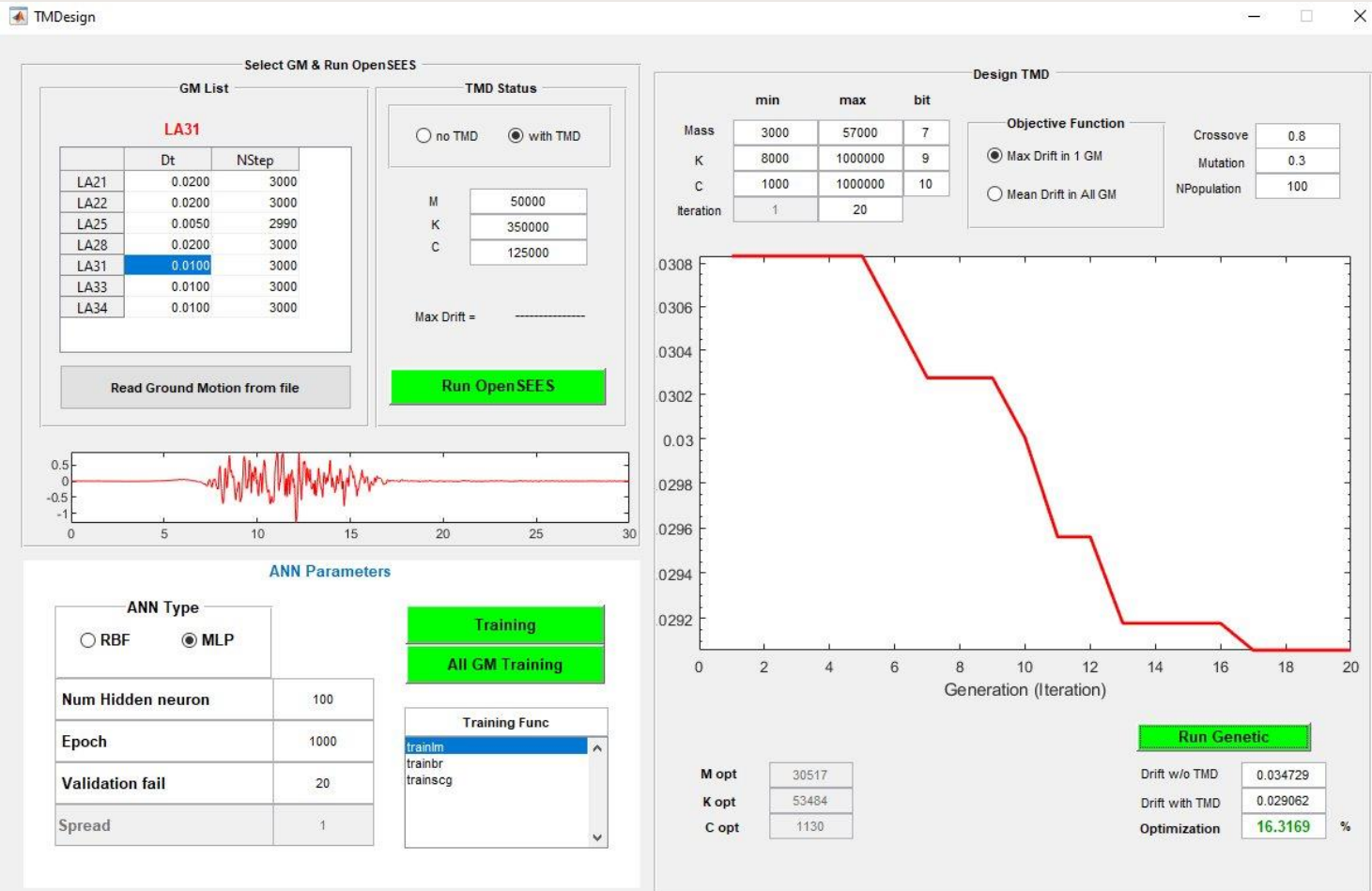
طراحی TMD برای LA28





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

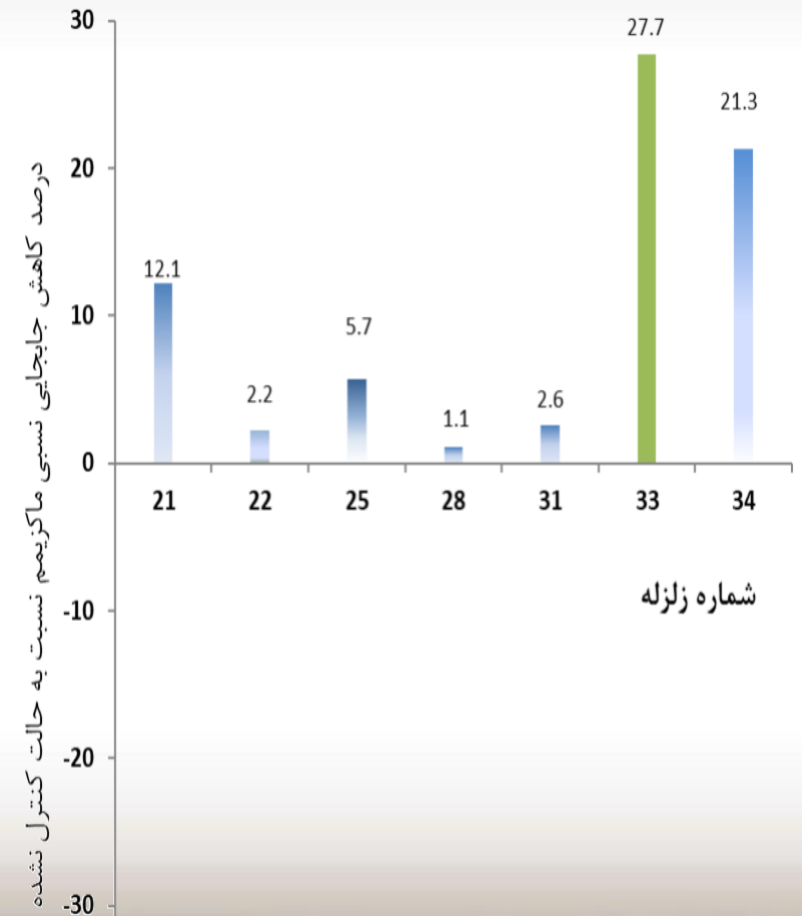
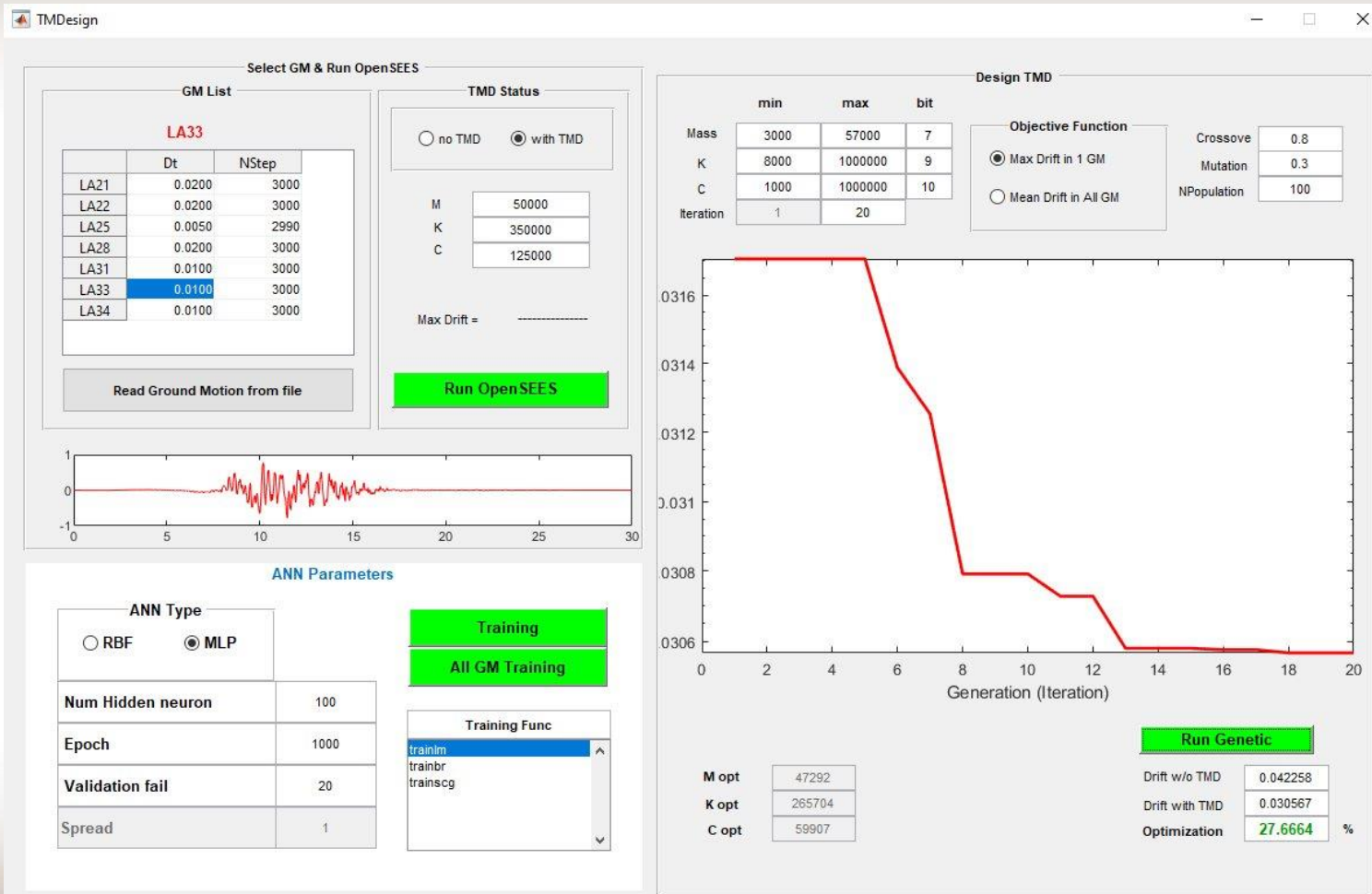
طراحی TMD برای LA31





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

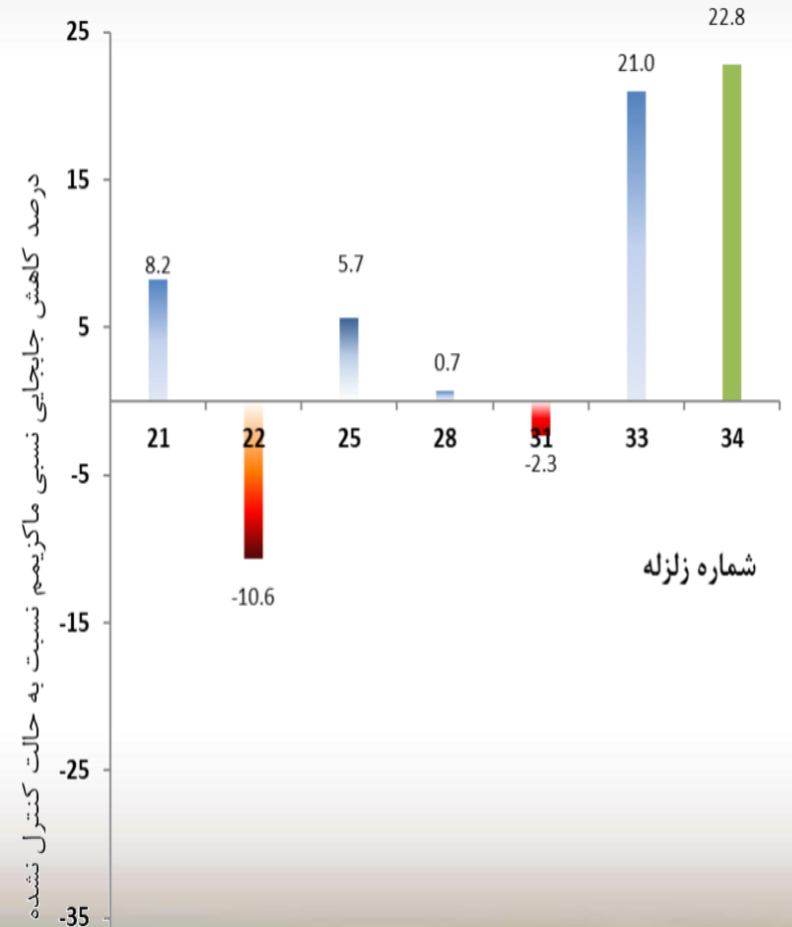
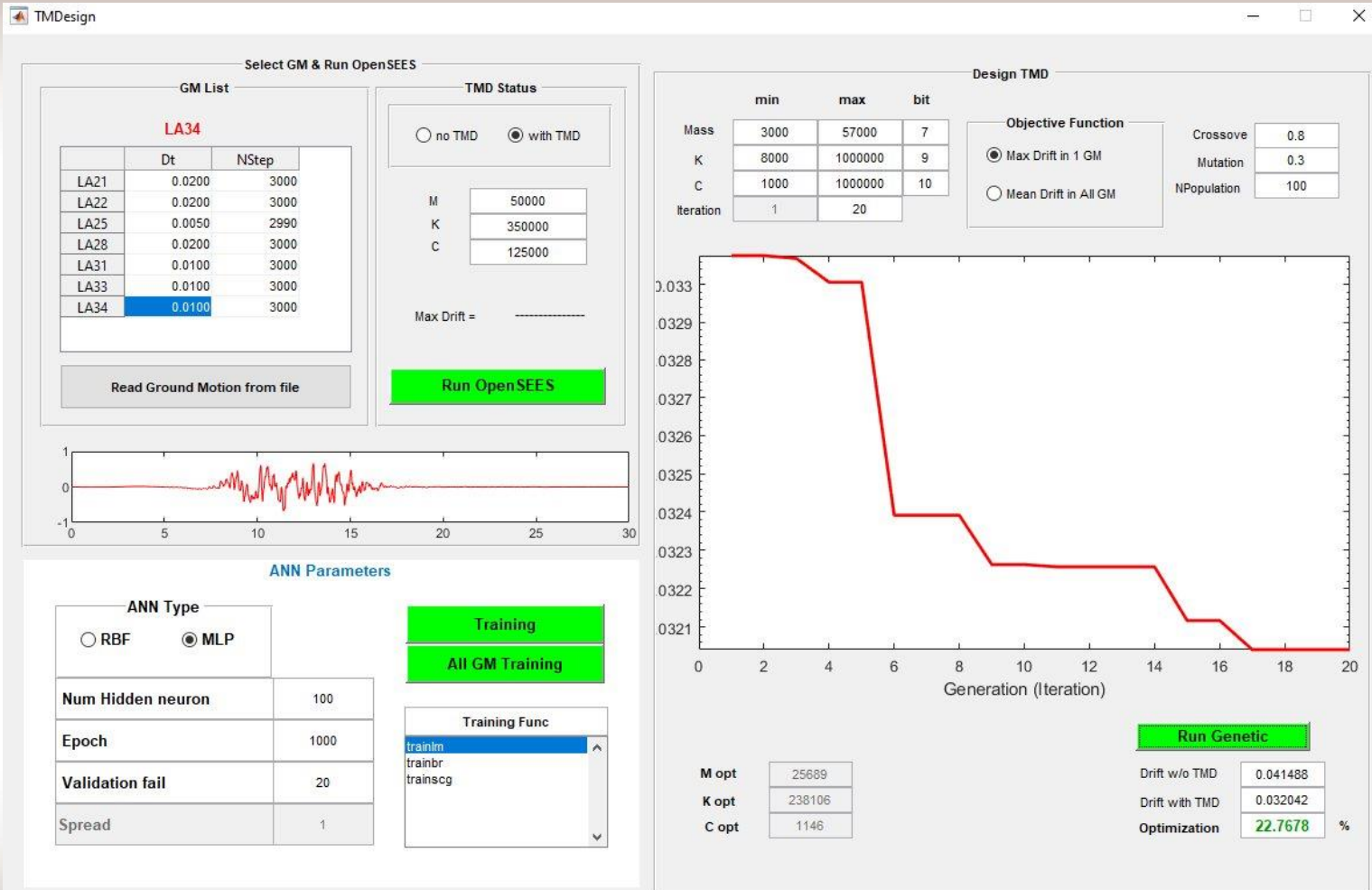
طراحی TMD برای LA33





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

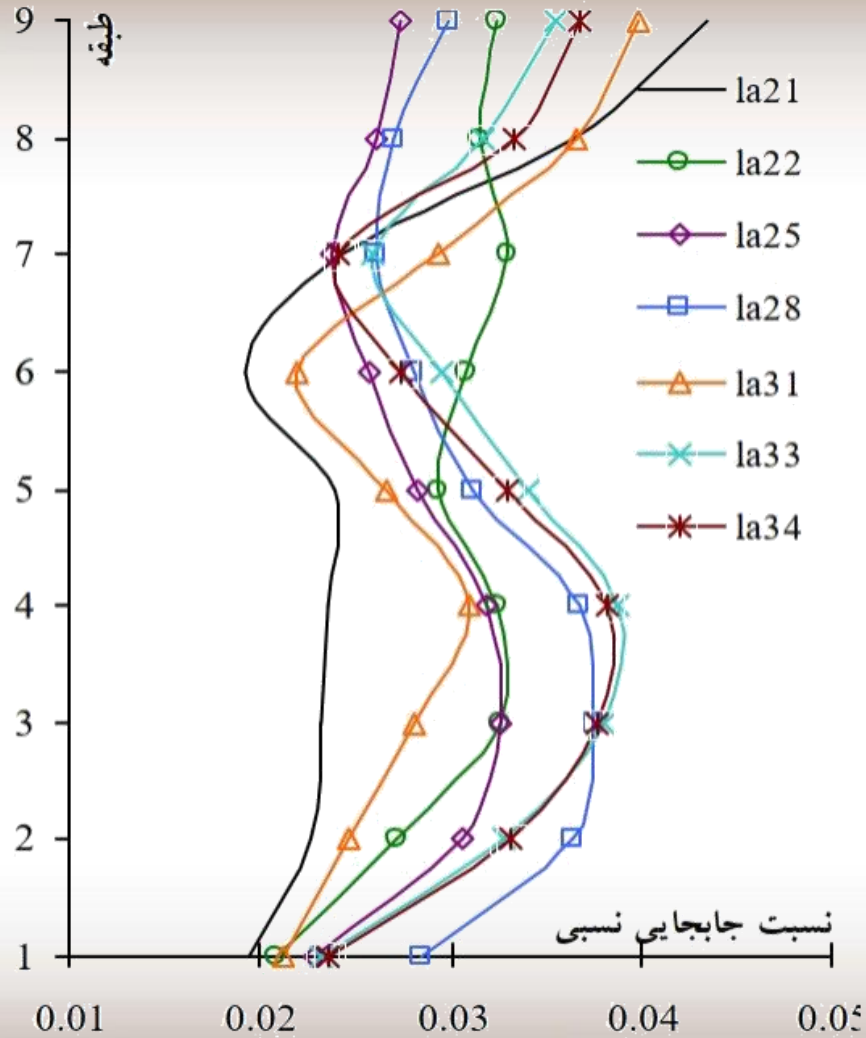
طراحی TMD برای LA34





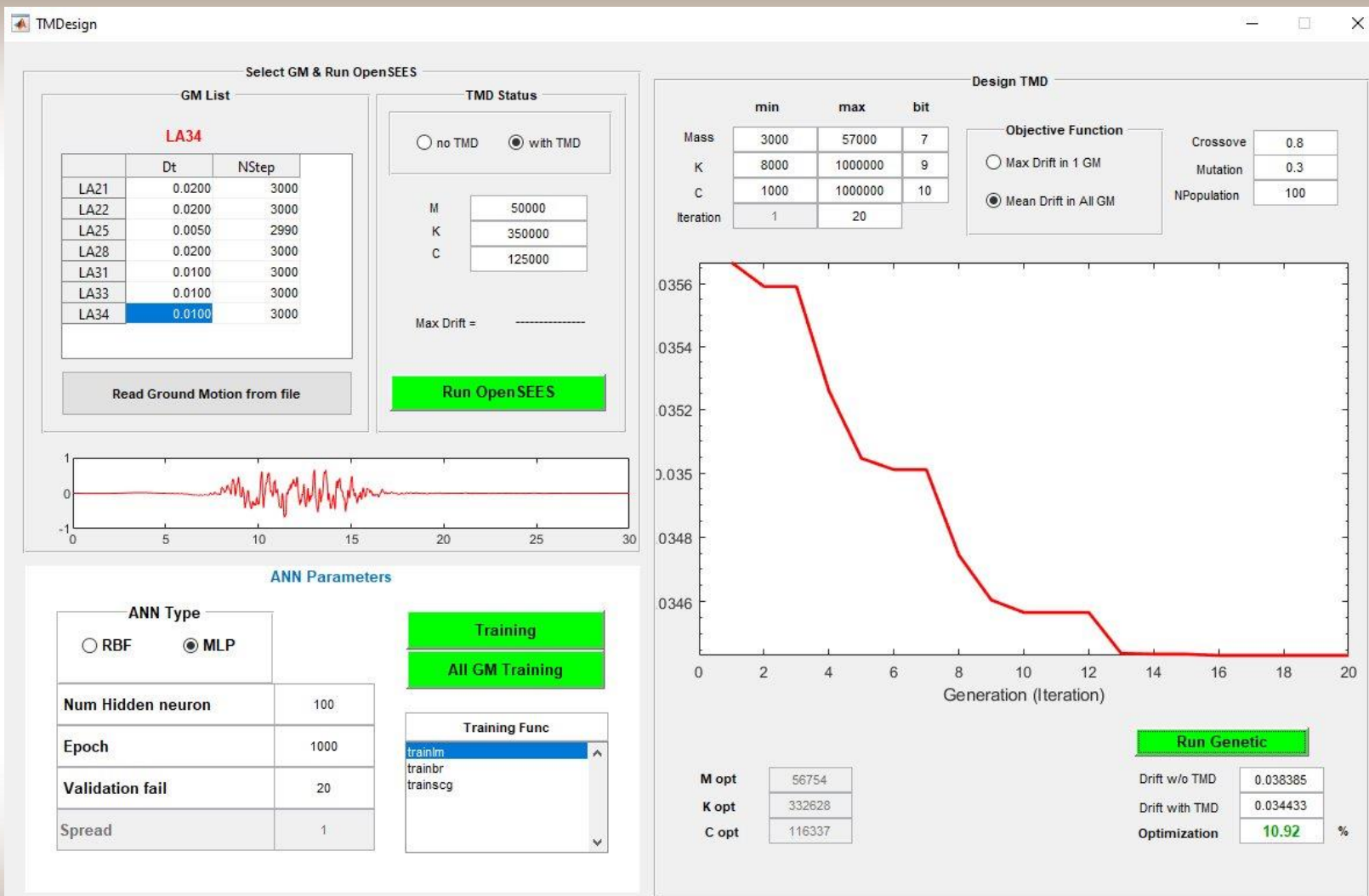
مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

پروفیل حداکثر Drift طبقات در سازه مجهز به میراگر بهینه شده برای زلزله LA22





مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

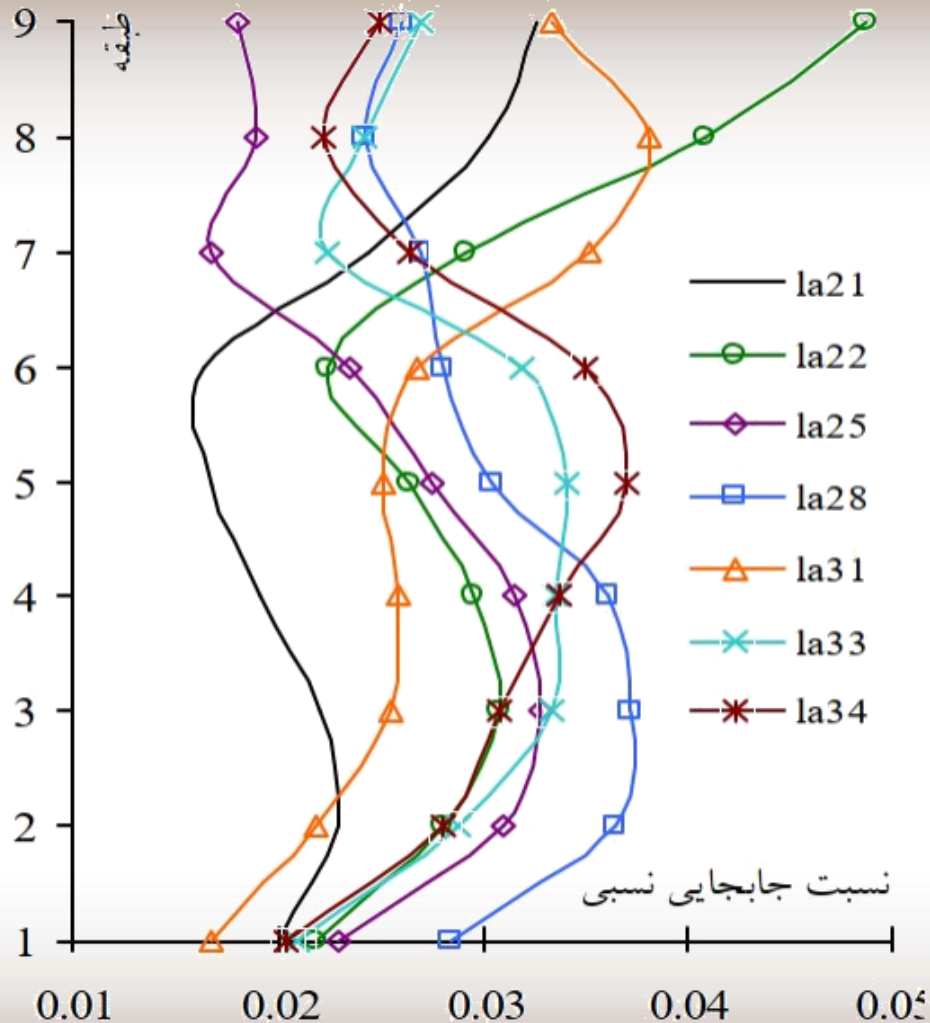


طراحی TMD برای

میانگین پاسخ ۷ زلزله



مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای



پروفیل حداکثر Drift طبقات در
سازه مجهز به میراگر بهینه شده براساس
پاسخ ۷ زلزله



مراحل طراحی غیرخطی میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) براساس آیین نامه طراحی لرزه ای

پروفیل مقایسه ای میانگین Drift مابین

۱- سازه کنترل نشده

۲- سازه کنترلی با میراگر بهینه شده براساس LA22

۳- سازه کنترلی با میراگر بهینه شده براساس

میانگین ۷ زلزله

