## یاسخ طیفی یک ساختمان ۳ طبقه با مدل ساده جرم و فنر مقایسه با روش حل دستی

## مقدمه

در این گزارش پاسخ طیفی یک ساختمان سه طبقه با مدل ساده شده جرم و فنر استخراج می شود. برای کنترل صحت کارکرد نرم افزار از یک مثال حل شده که در جزوه درسی ارتعاشات تصادفی جناب آقای دکتر محسن غفوری آشتیانی-استاد یژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله– آمده است استفاده می شود.

مدل سازه در تصویر ۱ نشان داده شده است. واحدهای جرم و سختی بر حسب تن و کیلو نیوتن بر متر هستند. مدلسازی با استفاده از المان 11 Link و 21 Mass صورت می گیرد. شکل مدل معادل در تصویر ۲ نشان داده شده است. همچنین مختصات گردها، المانها و مشخصات Real Constant المانها، نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.



M1=1.0 Ton





یکل ۲

مراحل ساخت مدل همانند مثال AHR-10 است و به کاربر واگذار می شود. برای این مدل نیازی به تعریف مصالح نیست. برای مدلسازی از روش مستقیم ساخت گره ها و المانها استفاده نمائید. به خاطر داشته باشید برای تعریف هر المان ابتدا باید مشخصات آن در بخش:

Main Menu  $\rightarrow$  Preprocessor  $\rightarrow$  Create  $\rightarrow$  Element  $\rightarrow$  Element Attributes

انتخاب و سپس به کمک گزینه

Main Menu  $\rightarrow$  Preprocessor  $\rightarrow$  Create  $\rightarrow$  Element  $\rightarrow$  Thru Nodes

هر المان ساخته شود. المان Link 11 دو گرهی و المان Mass 21 یک گرهی است. مشخصات Real Constant المانها در جدول ۱ آورده شده است. شماره RC مطابق شکل ۲-d تعیین شده است. فواصل گرهها ۳ متر انتخاب شده اما بدون تأثیر در پاسخ است. تکیه گاهها شامل قید در سه جهت اصلی در گره ۱ و قید در جهات z و y برای گرهها ۲، ۳ و ۴ است، شکل ۲-e.

توضيحات	مقدار	نوع المان	شماره RC
در مقابل K	60 KN/m	Link 11	١
در مقابل K	120 KN/m	Link 11	٢
در مقابل K	180 KN/m	Link 11	٣
در مقابل Mass x	1.0 Ton	Mass 21	۴
در مقابل Mass x	1.5 Ton	Mass 21	۵
در مقابل Mass x	2.0 Ton	Mass 21	۶

جدول ۱ مشخصات Real Constant المانها

مدل نهایی ساخته شده در نرم افزار ANSYS در شکل ۳ نشان داده شده است.



ب- تکیه گاه ها شکل ۳ مدل ساخته شده در ANSYS، شمارهها RC هستند

برای انجام یک تحلیل طیفی ابتدا تحلیل مودال صورت گرفته و پریود طبیعی نرم افزار با مقادیر مثال عددی مقایسه می شود. سپس تحلیل طیفی انجام شده و مجدداً برای بسط مودها تحلیل مودی صورت می گیرد. در نهایت برای ترکیب اثرات طیفی مودها، تحلیل طیفی نهایی انجام شده و نتایج تحلیلی و مثال عددی مقایسه می شوند.

قبل از انجام تحلیل مودال به برنامه دستور داده می شود که داده های خروجی را در فایلی به نام out.txt ذخیره کند. برای این منظور وارد آدرس زیر شوید:

Utility Menu  $\rightarrow$  File  $\rightarrow$  Switch output to  $\rightarrow$  File ...

نام out.txt را تایپ کردہ و Ok کنید. حال تحلیل مودال را در آدرس زیر انتخاب کنید: Main Menu  $\rightarrow$  Solution  $\rightarrow$  Analysis Type  $\rightarrow$  New Analysis  $\rightarrow$  Modal

تعداد مودهای تحلیلی را در بخش زیر برابر ۳ انتخاب کنید:

Main Menu  $\rightarrow$  Solution  $\rightarrow$  Analysis Type  $\rightarrow$  Analysis Options

و گزینههای Expand Mode shape و Elcal را علامت بزنید، شکل ۴.

🔥 Modal Analysis			x
[MODOPT] Mode extraction method			
		Block Lanczos	
		C PCG Lanczos	
		C Supernode	
		C Subspace	
		C Unsymmetric	
		O Damped	
		O QR Damped	
No. of modes to extract		3	
[MXPAND]			
Expand mode shapes		Ves	
NMODE No. of modes to expand		3	
Elcalc Calculate elem results?		Ves	
[LUMPM] Use lumped mass approx?		∏ No	
[PSTRES] Incl prestress effects?		□ No	
ОК	Cancel	Help	
	× 1~ ·		

شکل ۴

پنجره دوم را نیز OK کنید.

	س زیر برابر ۵٪ قرار دهید:	دار میرایی را در آدر.
ANSYS Multiphysics Utility Menu		
<u>File Select List Plot PlotCtrls</u>	WorkPlane Parameters Macro MenuCtrls Help	
Toolbar		(*)
Main Menu		1- @
Preferences Preprocessor	· ·	
Solution		
		1 2
Load Step Opts	Damping Specifications	
Output Ctris	Damping Specifications	
مروع Damping	[ALPHAD] Mass matrix multiplier 0	
ExpansionPass	[BETAD] Stif. matrix multiplier 0	
Stop Solution	[DMPRAT] Constant damping ratio 0.05	
BE Management (CMS)		
	OK Cancel Help	Q
Manual Rezoning		2
Multi-field Set Up     ADAMS Connection		
Diagnostics		
	<u> </u>	40
Pick a menu item or enter a comm	and (SOLUTION) mat=1 [typ	e=2 re

سپس در بخش زیر تحلیل مودال را انجام دهید:

Main Menu  $\rightarrow$  Solution  $\rightarrow$  Solve  $\rightarrow$  Current Ls

مقادیر پریودهای تحلیل حاضر با نتایج بدست آمده از حل دستی در مثال آشتیانی در جدول ۲ مقایسه شدهاند. تطابق بین نتایج به خوبی دیده میشود. نتایج تحلیلی از فایل out.txt خوانده میشوند:

📃 out.txt ·	- Notepad							×
File Edit	Format View H	lelp						
	**** PARTI	CIPATION FACTO	OR CALCULATION ***	** X DIRE	CTION			•
MODE 1 2 3	FREQUENCY 0.730864 1.56261 2.32015	PERIOD 1.3682 0.63996 0.43101	PARTIC.FACTOR 1.9134 -0.80607 -0.43470	RATIO 1.000000 0.421265 0.227182	EFFECTIVE MASS 3.66129 0.649748 0.188965	MASS FRACTION 0.813619 0.958008 1.00000	TO TOTAL MASS 2.44086 0.433165 0.125977	
sum					4.50000		3.00000	
								••• •
								▶

– ثانيه	یر یودها	مقادير	مقايسه	۲	جدول
**	2	1	••		-

پريود حل دستی	پريود تحليلى	شماره مود
1.370	1.3682	١
0.640	0.63996	٢
0.431	0.43101	٣



برای کنترل دوم، مقادیر جرم مؤثر مودی حاصل از تحلیل با مثال عددی در جدول ۳ مقایسه شدهاند. این نتایج نیز در

فایل out.txt قابل استخراج است:

🧾 out.txt -	Notepad							×
File Edit	Format View H	lelp						
	**** PARTI	CIPATION FACTO	R CALCULATION ***	** X DIRE	CTION		RATTO FEE MASS	*
MODE 1	FREQUENCY 0.730864	PERIOD 1.3682	PARTIC.FACTOR 1.9134	RATIO 1.000000 0.421265	EFFECTIVE MASS 3.66129 0.649748	MASS FRACTION 0.813619	TO TOTAL MASS 2.44086	
3	2.32015	0.43101	-0.43470	0.227182	0.188965	1.00000	0.125977	
sum					4.50000		3.00000	
*								• at

نتایج بدست آمده نشاندهنده دقت خوب نتایج تحلیلی است.

جدول ۳ مقايسه مقادير جرم مؤثر مودي - تن				
	حل دستی	تحليلى	شماره مود	
	3.656	3.661	١	
	0.641	0.650	٢	
	0.188	0.189	٣	

حال نوبت به تحلیل طیفی را انتخاب کنید: Main Menu  $\rightarrow$  Solution  $\rightarrow$  Analysis Type  $\rightarrow$  New Analysis  $\rightarrow$  Spectrum

ANSYS Multiphysics Utility Menu			
<u>File Select List Plot PlotCtrls</u>	<u>W</u> orkPlane Pa <u>r</u> ameters <u>M</u> acro Me <u>n</u> uCtr	ls <u>H</u> elp	
□ ≌ ∎ Ø ≜ & ? ■			
Toolbar		۲	
SAVE_DB RESUM_DB QUIT	COM/RCRPH	8	
Main Menu G	[SPOPT] Spectrum Analysis Options	A	
<ul> <li>Preferences</li> <li>Preprocessor</li> <li>Solution</li> <li>Analysis Type</li> <li>New Analysis</li> <li>Contemportal Analysis Options</li> <li>Define Loads</li> </ul>	Sptype Type of spectrum	Single-pt resp     Multi-pt respons     D.D.A.M.     P.S.D.	
Load Step Opts     Physics	Elcalc Calculate elem stresses?	Vec	
	(for P.S.D. only) modeReuseKey for MODE file	∏ No	
ADAMS Connection     Diagnostics     General Postproc	OK Cancel	Help	
Pick a menu item or enter a command (SOLUTION)     mat=1     type=2     re			



حال نوع تحلیل طیفی و گزینه ELcal را در آدرس زیر انتخاب کرده و Ok کنید:

سایر مشخصات طیفی را در آدرس پنجره زیر انتخاب کنید. نوع طیف را شتاب و جهت آنرا در امتداد x تعریف کنید.

\Lambda ANSYS Multiphysics Utility Me	nu	
<u>File</u> <u>Select</u> <u>List</u> <u>Plot</u>	Plot <u>C</u> trls WorkPlane Parameters Macro M	le <u>n</u> uCtrls <u>H</u> elp
□₽₽₽₽₽₽	?	
Toolbar		
SAVE_DB RESUM_D	[SVTYP] Type of response spectr	Seismic accel
Main Menu	- applied to spectrum values	
<ul> <li>➡ Preferences</li> <li>➡ Preprocessor</li> <li>➡ Solution</li> <li>➡ Analysis Type</li> <li>➡ Define Loads</li> </ul>	[SED] Excitation direction SEDX, SEDY, SEDZ Coordinates of point - that forms line to define excitation direction	1 0 0
<ul> <li>□ Load Step Opts</li> <li>□ Output Ctrls</li> <li>□ Time/Frequenc</li> <li>□ Nonlinear</li> <li>□ Optimizer</li> </ul>	[ROCK] Rocking Spectrum CGX_CGY_CGZ Center of rotation -	0 0
علي المحالي محالي المحالي المحالي المحالي محالي محالي محالي محالي محالي محالي محالي محالي محالي محالي محالي محالي محالي محالي محالي	Of Tocking effect (global Cartesian) OMX,OMY,OMZ Angular velocity components -     (global Cartesian)	0 0 0
■ Show Stat ■ Show Stat ■ Erase Tab ■ Mode Cor	OK Cancel	Help
Pick a menu item or ente	r a command (SOLUTION)	mat=1 type=2 re



حال مقادیر فرکانس را مطابق جدول ۴ در بخش زیر وارد کنید. برای تطابق مقادیر طیفی با آنچه در مثال آمده است، شکل طیف بصورت پلکانی تعریف شده است.

	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	-
مقدار طیف شتاب- متر بر ثانیه به توان ۲	فرکانس – هرتز	رديف
3.57	0.1	١
3.57	1.0	٢
6.75	1.1	٣
6.75	2.0	۴
10.65	2.1	۵
10.65	3.0	۶

جدول ۴ مقادیر فرکانس و طیفی متناظر با مثال حل شده



به همین ترتیب مقادیر طیفی در بخش زیر وارد میشوند. در پنجره اول مقدار میرایی را مشخص کنید (٪۵) و در پنجره دوم مقابل مقادیر فرکانسی، مقادیر طیفی را وارد کنید.

🔨 ANSYS Multiphysics Utility Menu		
<u>File Select List Plot PlotCtrls</u>	<u>W</u> orkPlane Pa <u>r</u> ameters <u>M</u> acro Me <u>n</u> uCtrls <u>H</u> elp	
□ ☞ 🖬 🔊 🎒 🌆 🖉 ? 🛓	ē †   []]	
Toolbar		8
SAVE DB RESUM DB OUT	POWRGRPH	
Main Menu		
		11 <u>G</u>
	A Spectrum Values - Damping Ratio	X
	[SV] Spectrum Values	2
Analysis Type	Damping ratio for this curve -	
Define Loads		
Load Step Opts	- in ascending order from previous ratios	<u> </u>
Output Ctrls	Damping ratios for previously defined curves (up to 4 total)	- Per
	DAMP1 = 0.000	Ë.
	DAMP2 = 0.000	
Single Point	DAMP3 = 0.000	
	DAMP4 = 0.000 Maximum curve limit reached	
Spectr Values 🖾 سروع	OK Cancel	Help
Show Status		
Erase Table		
Mode Combine		
Cither		
Pick a menu item or enter a comm	and (SOLUTION) mat=1 [type:	=2 real=
There a menu item of enter a comm		-z jieai-

ANSYS Multiphysics Utility Menu				
<u>File Select List Plot PlotCtrls</u>	<u>W</u> orkPlane Pa <u>r</u> ameters <u>M</u> acro Me <u>n</u> uCtrls	<u>H</u> elp		
D 🛎 🖬 🗐 🎂 😰 💈 📬 🗐				
Toolbar			۲	
SAVE_DB RESUM_DB QUIT POWRGRPH				
Main Menu				
Preferences	∧ Spectrum Values		23	
Preprocessor	ISV1 Spectrum Values for Damping Ratio = 0.5000E-01			
Solution	FREQ1 = 0.1000 SV1 =	3.57		
	EPEC2 - 1 000 SV2 -			
		3.37		
	FREQ3 = 1.100 SV3 =	6.75		
	FREQ4 = 2.000 SV4 =	6.75		
	FREQ5 = 2.100 SV5 =	10.65		
Spectrum	FREO6 = 3.000 SV6 =	10.65		
□ Single Point		10.05		
Settings  Freq Table  Spectr Values  Show Status  Erase Table	OK Cancel	Hel	p	
Mode Combine     ExpansionPass     Other	V			
Pick a menu item or enter a comm	and (SOLUTION)	at=1 type	e=2 real=	



حال مدل را تحلیل کنید:

Main Menu  $\rightarrow$  Solution  $\rightarrow$  Solve  $\rightarrow$  Current Ls

برای بسط مودها لازم است یکبار دیگر تحلیل مودال را انتخاب کرده و گزینه زیر را فعال کنید: Main Menu  $\rightarrow$  Solution  $\rightarrow$  Analysis Type  $\rightarrow$  New Analysis  $\rightarrow$  Modal Main Menu  $\rightarrow$  Solution  $\rightarrow$  Analysis Type  $\rightarrow$  Expansion pass

ANSYS Multiphysics Utility Menu				
<u>File Select List Plot PlotCtrls</u>	<u>W</u> orkPlane Pa <u>r</u> ameters <u>M</u> acro	Me <u>n</u> uCtrls <u>H</u> elp		
Toolbar	]]		®	
SAVE DB RESUM DB QUIT F	OWRGRPH			
Main Menu	هال ،			
Preferences	▲ Expansion Pass			
Preprocessor     Solution	[EXPASS] Expansion pass	🔽 On		
□ Analysis Type	Reduced Order Model Expansion?	∏ No		
New Analysis			-4/	
ExpansionPass			3 -	
Define Loads			<b>*</b> 8	
Load Step Opts     SE Management (CMS)				
SE Management (CMS)     Results Tracking				
⊞ Solve				
⊞ Manual Rezoning     ≣ Multi field Set Up				
ADAMS Connection			-	
Diagnostics	ОК	Cancel Help		
Unabridged Menu     General Postproc				
Time∐iet Doetnro	- <u>-                                   </u>			
Pick a menu item or enter a command (SOLUTION) mat=1 type=2 real=				



ANSYS Multiphysics Utility Menu				
<u>File Select List Plot PlotCtrls Wo</u>	orkPlane Pa <u>r</u> ameters <u>M</u> acro Me <u>n</u> uCtrls <u>H</u> elp			
i 👘 差 🧣 🖓 🖶 🐨 🖬				
Toolbar		۲		
SAVE_DB RESUM_DB QUIT PO	WRGRPH			
Main Menu 🛞	1	1- 0		
Preferences				
Preprocessor     Solution	▲ Expand Modes	8		
Analysis Type	[MXPAND] Expand Modes			
Define Loads	NMODE No. of modes to expand 3			
□ Load Step Opts	FREQB,FREQE Frequency range 0			
Output Ctris     Time/Erequence	Elcalc Calculate elem results?			
ExpansionPass	SIGNIF Significant Threshold			
Single Expand	-only valid for SPRS and DDAM 0.001			
Expand Modes 🖂 شروع				
Other				
Stop Solution     SE Management (CMS)	OK Cancel	Help		
Results Tracking				
⊞ Solve				
Manual Rezoning				
Multi-field Set Up     ADAMS Connection				
Pick a menu item or enter a command (SOLUTION) mat=1 type=2 real=				

برای تعیین تعداد مودهایی که باید در تحلیل طیفی بکار روند وارد بخش زیر شوید:

حال مجدداً تحليل مودال را انجام دهيد.

. <del>.</del>						
ANSYS Multiphysics Utility Menu						
<u>File Select List Plot PlotCtrls W</u>	orkPlane Pa <u>r</u> ameters <u>M</u> acro Me <u>n</u> uC	tris <u>H</u> elp				
h 🖹 🖹 🖗 🕮 📲 🛍						
Toolbar		۲				
SAVE_DB RESUM_DB QUIT PC	WRGRPH					
		52				
Main Manu 🔗	C Spectrum Analysis					
Main Menu 🛞	[SPOPT] Spectrum Analysis Options	<u> </u>				
Preferences	Sptype Type of spectrum	0				
Preprocessor		Single-pt resp				
Solution		2 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				
Analysis Type		O Multi-pt respons				
New Analysis		o d.d.a.m.				
Analysis Options شروع						
Define Loads		O P.S.D.				
I Load Step Onts	NMODE No. of modes for solu					
B SE Management (CMS)	Elcalc Calculate elem stresses?	✓ Yes				
Deculte Tracking	(for P.S.D. only)					
	modeReuseKey for MODE file					
	modeledsekey for mode file	I NO				
Multi-field Set Up						
ADAMS Connection						
Diagnostics	OK Cance	Help				
General Postproc						
TimeHist Postpro						
	·					
Pick a menu item or enter a command (SOLUTION) mat=1 type=2 real=						
,	. ,	, , , , , ,				

دوباره نوع تحلیل را Spectrum انتخاب کنید و گزینه زیر را در بخش Analysis option انتخاب کنید:



**.**ر



روش ترکیب مودی در تحلیل طیفی را در بخش زیر انتخاب کنید. در اینجا روش SRSS انتخاب می شود:

مجددا تحلیل طیفی را انجام دهید.

دستورات ترکیب نتایج تحلیل طیفی در مودهای مختلف در فایلی به نام Jobname.MCOM ذخیره می شوند – Jobname دستورات ترکیب نتایج تحلیل طیفی در مودهای مختلف در فایلی به نام file است – که در بخش اید بازخوانی شود. روش بازخوانی آن است که ابتدا وارد بخش زیر شوید:

Main Menu  $\rightarrow$  General Postproc

حال وارد آدرس زیر شده و فایل file.MCOM را بخوانید:

Utilty Menu → File → Read input from... برای مقایسه با نتایج مثال عددی، مقادیر جابجایی طبقات که معادل با جابجایی گرههای مدل است در جدول ۵ مقایسه شدهاند. مقادیر جابجایی گرهی از آدرس زیر استخراج میشوند:

Main Menu  $\rightarrow$  General Postproc  $\rightarrow$  List Results  $\rightarrow$  Nodal Solution

A PRNSOL Command
File
PRINT U NODAL SOLUTION PER NODE
***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****
CALCULATED LOAD CASE= 0
THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE NODAL COORDINATE SYSTEMS
NODE UX 1 0.0000 2 0.77406E-01 3 0.15796 4 0.24327
MAXIMUM ABSOLUTE VALUES Node 4 Value 0.24327

چنانچه ملاحظه میشود تطابق خوبی بین نتایج وجود دارد.

ىتى – متر	حلیلی و مثال با حل دس	ں طبقات بین مدل ت	۵ مقایسه جابجایے	جدول
	جابجایی با حل دستی	جابجايي تحليلي	شماره گره-طبقه	
	0.244	0.2433	۲-۱	
	0.158	0.1580	۳-۲	
	0.0776	0.0774	۴-۳	

برای مقایسه دیگر مقادیر برش پایه ساختمان نیز مقایسه شدهاند. برش پایه را می توان از آدرس زیر در نرم افزار بدست آورد:

Main Menu  $\rightarrow$  General Postproc  $\rightarrow$  List Results  $\rightarrow$  Reaction Solution

A PRRSOL Command					<b>—</b>
File					
PRINT REACTION SOLUTI		ODE			
TRIMI REACTION SOLUTI		ODL			
***** POST1 STATIC I	REACTION S	OLUTION LISTI	NG <del>****</del>		
CALCULATED LOAD CASE	E= Ø				
THE FOLLOWING X Y Z	SOLUTIONS	ORE IN THE N	ODAL COORDIN	OTE SVOTEMS	
THE FOLLOWING A,1,2	301011043	HAL IN INL N	ODHE COONDIN	HIE SISTERS	
NODE FX	FY 0 0000	FZ A AAAA	MX	MY	MZ
2	0.0000	0.0000			
3	0.000	0.000			
4	0.0000	0.0000			
TOTAL VALUES	0 0000	0 0000	0 0000	0 0000	0 0000
VHLUE 13.933	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1					

مقدار برش پایه تحلیلی برابر 13.93 KN است و مقدار متناظر آن از حل دستی KN 13.92 است. که تطابق خوبی دارند.