

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## تقدیم به همسرانمان

که سایه مهربانیشان سایه ساز زندگیمان می باشد، آن ها که اسوه صبر و  
تکل بوده و مشکلات مسیر را برایمان تسهیل نموده اند...



## پیشگفتار

امروزه با توجه به گسترش روز افزون روش های جدید طراحی همچون طراحی بر اساس عملکرد و همچنین روش های نوین بهسازی و مقاوم سازی در سازه ها، استفاده از نرم افزار قدرتمندی که توانایی بالایی در انجام تحلیل های غیر خطی دارد از اهمیت بالایی برخوردار است. نرم افزار **Perform-3D** که توسط شرکت **CSI** وابسته به دانشگاه برکلی کالیفرنیا منتشر شده است، توانایی بالایی در مدل سازی و تحلیل های غیر خطی دارد. این نرم افزار با توجه به المان های بسیاری که در اختیار کاربران قرار داده، توانسته است علاوه بر کاربرد عملی در بهسازی و مقاوم سازی سازه ها، به یکی از پرکاربردترین نرم افزار های کشور در حوزه ی پژوهش در رشته های سازه و زلزله قرار گیرد. قدرت مدلسازی و سرعت بالای آنالیز این نرم افزار باعث شده تا پژوهش های تحلیلی زیادی با استفاده از این نرم افزار صورت پذیرد. با توجه به کاربرد روز افزون این نرم افزار و همچنین نبود منبعی مناسب که بتواند به صورت گام به گام روند مدلسازی و تحلیل های غیر خطی را توضیح دهد، نویسندگان این کتاب را بر آن داشت تا بخشی از تجربیات چندین ساله ی خود را به صورت مختصر و با زبان ساده به رشته ی تحریر در آورند. در کتاب حاضر تلاش شده است تا به صورت گام به گام و جامع تمامی نکاتی که برای مدلسازی هر نوع سیستم سازه ای نیاز است توضیح داده شود.

تحلیل ها و واژه های پرکاربرد در مهندسی سازه و زلزله هر یک به صورت فصلی جدا مورد بررسی قرار گرفته و پس از آشنایی و توضیحات مربوطه روند انجام آن ها به صورت گام به گام توضیح داده شده است. در نگارش این کتاب سعی شده است تا با روشی منحصر به فرد در هر فصل مدلسازی یک سیستم نوین سازه ای به همراه یک روش تحلیل غیر خطی توضیح داده شود. در واقع هر فصل شامل دو قسمت می باشد:

**قسمت اول :** مدلسازی سیستم های نوین سازه ای با بیان نکات آیین نامه ای نشریه ی ۳۶۰، جزئیات مدلسازی، ویژگی ها مزایا و معایب سیستم های نوین سازه ای.

**قسمت دوم:** معرفی تحلیل های مختلف غیر خطی و تعریف اصطلاحات و واژه های پرکاربرد در این تحلیل ها و سپس انجام این تحلیل ها بر روی سازه ی مدلسازی شده در قسمت الف.

در این کتاب روند مدلسازی سیستم های سازه ای چون قاب خمشی بتنی به همراه دیوار برشی، قاب خمشی فولادی به همراه مهاربند واگرا، قاب فولادی دارای مهاربند زانویی و کمانش ناپذیر، ساختمان های دارای جداساز لرزه ای، میراگر های ویسکوز و اصطکاک و ... به صورت گام به گام و بیان نکات آیین نامه ای توضیح داده شده است. همچنین مهندسان و پژوهشگران می توانند روند انجام تحلیل های استاتیکی غیر خطی، دینامیکی غیر خطی افزایشند، خرابی پیشرونده، مکانیسم، شاخص خسارت، شاخص تنومندی، منحنی های شکنندگی، ضریب رفتار، تغییر مکان هدف و... را به صورت گام به گام فراگیرند.

تلاش نویسندگان این کتاب بر این بوده تا اندوخته های خود را به صورتی بی عیب و نقص ارائه کنند تا در زمینه های مختلف مهندسی و پژوهشی موثر باشد. در ادامه از تمامی دوستان و استاتیدی که ما را در نگارش این کتاب یاری رساندند به خصوص جناب آقای **مهندس سید میلاد هاشمی نژاد** کمال تشکر و قدر دانی را می داریم. در خاتمه از تمامی اساتید، دانشجویان و مهندسان عزیزی که این کتاب را مطالعه می کنند درخواست می نمایم تا ما را از نظرات و پیشنهادات اصلاحی بهره مند سازند.

حمیدرضا توکلی  
Tavakoli@nit.ac.ir  
Majid\_moradi68@yahoo.com

## کلیات

### آشنایی با نرم افزار Perform-3D

این نرم افزار یکی از نرم افزار های اجزاء محدودی می باشد که توسط شرکت CSI وابسته به دانشگاه برکلی کالیفرنیا ساخته و منتشر شده است. این نرم افزار با هدف بهسازی و طراحی بر اساس عملکرد طراحی شده است و دستورالعمل بهسازی FEMA در آن به گونه ای نهادینه شده است که کاربر به راحتی می تواند از دستورالعمل های این آیین نامه در قسمت های مختلف استفاده نماید. در زیر به طور خلاصه مزایای این نرم افزار نام برده شده است:

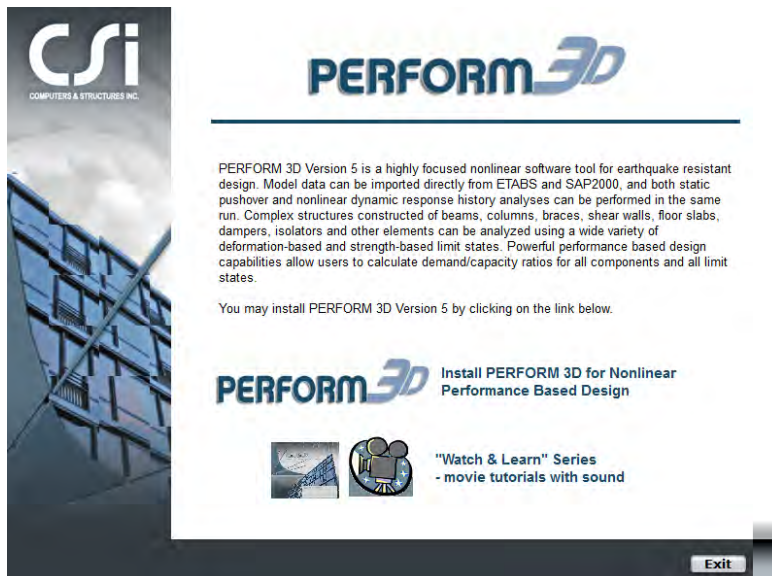
- محیط کاملاً گرافیکی
- امکان مدلسازی دو بعدی و سه بعدی
- وجود ابزار های خاص برای مدلسازی المان های مختلف
- دسته بندی قسمت های مختلف برای تسهیل در امر مدلسازی
- تفکیک مصالح و المان ها ی فولادی و بتنی
- وجود مقاطع استاندارد آیین نامه های مختلف
- عدم محدودیت در مدلسازی اعضا و سازه ها
- تعریف المان غیر خطی تیر و ستون بر اساس مفصل پلاستیک متمرکز و مفصل پلاستیک فایبر و اندر کنش های مختلف
- مدلسازی انواع اتصالات، چشمه ی اتصال، ناحیه ی صلب اتصال
- مدلسازی انواع جداساز ها
- مدلسازی انواع میراگر های ویسکوز
- مدلسازی میان قاب ها
- مدلسازی سازه های بتنی و فولادی
- مدلسازی دیوار برشی
- مدلسازی دال ها
- مدلسازی و تعریف مفصل پلاستیک خمشی و برشی
- امکان مدلسازی و ترکیب خواص مختلف
- انجام انواع تحلیل های استاتیکی خطی و غیر خطی
- انجام نواع تحلیل های تاریخچه زمانی خطی و غیر خطی
- انجام تحلیل های دینامیکی تحت بار های سیکلیک
- سرعت بسیار بالا در تحلیل

## ii مدل‌سازی و تحلیل غیرخطی با استفاده از نرم افزار PERFORM\_3D

- دسته بندی منو ها برای استفاده ی راحت تر از خروجی ها
- نمایش اشکال مودی بدون نیاز به تعریف حالات بار
- خروجی منحنی های هیستریزیس تک تک اعضا
- نمایش خروجی بالانس انرژی و انرژی تک تک گروه های المانی
- نمایش گرافیکی و تاریخچه زمانی برش پایه، جابجایی بام، جابجایی نسبی و...
- ثبت نقاط اکسترمم برش پایه، جابجایی بام، جابجایی نسبی و...
- نمایش گرافیکی میزان دوران مفاصل پلاستیک و نسبت دوران بر اساس سطوح عملکرد
- نمایش گرافیکی منحنی های نیروی ایجاد شده در اعضا
- استفاده از ابزار های تعریف شده برای محاسبه ی تغییر مکان هدف و جابجایی تقاضا
- و...

### نحوه ی نصب نرم افزار Perform-3d

این نرم افزار را می توانید از سایت های معتبر داخلی و خارجی دانلود نمایید و یا از مراکز فروش نرم افزار تهیه نمایید. پس از تهیه، فایل نصبی این نرم افزار را اجرا نمایید. در صفحه ی باز شده (شکل ۱) بر روی گزینه ی **Install PERFORM 3D for Nonlinear Performance Based Design** کلیک نمایید.



**CSI**  
COMPUTERS & STRUCTURES INC.

# PERFORM 3D

PERFORM 3D Version 5 is a highly focused nonlinear software tool for earthquake resistant design. Model data can be imported directly from ETABS and SAP2000, and both static pushover and nonlinear dynamic response history analyses can be performed in the same run. Complex structures constructed of beams, columns, braces, shear walls, floor slabs, dampers, isolators and other elements can be analyzed using a wide variety of deformation-based and strength-based limit states. Powerful performance based design capabilities allow users to calculate demand/capacity ratios for all components and all limit states.

You may install PERFORM 3D Version 5 by clicking on the link below.

**PERFORM 3D** Install PERFORM 3D for Nonlinear Performance Based Design

"Watch & Learn" Series  
- movie tutorials with sound

Exit



### iii کلیات

در صفحه ی باز شده بر روی گزینه ی Install در بخش Standalone Installation کلیک نمایید:

The screenshot shows a vertical list of five installation options, each with a title bar and a button:

- Readme Document** (Show button): This document describes the enhancements and changes made to this version from previous versions.
- Installation Instructions** (Show button): Please read the Installation Instructions prior to clicking any of the install buttons. This software may be run using a Standalone license on the workstation or a Network license retrieved from a License Manager program. In either case, the software is protected by a license manager system, for which a License File must be present.
- Standalone Installation** (Install button): Run the Standalone Installation to install the software on a workstation. Remove all USB keys prior to running this option.
- License Manager Installation** (Install button): Run the License Manager Installation if you wish to retrieve a license over a network, even if you have only a single license.
- USB Key Driver Installation** (Install button):

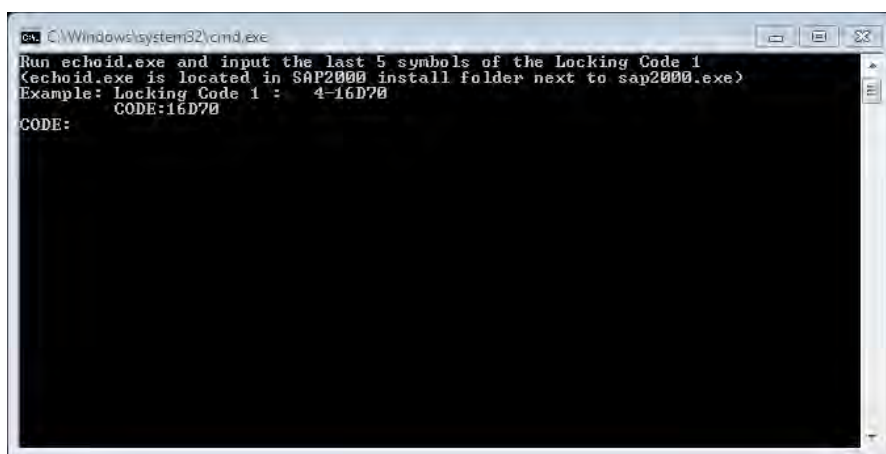
شکل ۲

پس از انتخاب این گزینه روند نصب نرم افزار اجرا می شود. پس از چند بار فشردن دکمه ی Next و همچنین انتخاب محل نصب، نرم افزار را نصب نمایید. سعی کنید نرم افزار را در محل پیشفرض خود نصب کنید در غیر این صورت نرم افزار نمی تواند مقاطع استاندارد را شناسایی کند. از آنجایی که اکثر این نرم افزار ها قفل شکسته هستند باید با استفاده از روشی مطمئن آن ها را کرک کرد. برای این منظور فایل کرک نرم افزار را دانلود نمایید. اکثرا فایل کرک شامل یک فایل Generator.bat هستند. این فایل را اجرا نمایید:

## مدلسازی و تحلیل غیرخطی با استفاده از نرم افزار PERFORM\_3D **iv**

27242	4/1/2015 10:22 PM
27242.txt	4/1/2015 10:23 PM
cgen.log	4/1/2015 10:22 PM
generator.bat	11/30/2011 10:05 ...
lsc.exe	2/24/2009 11:14 AM
lsc0.exe	2/24/2009 11:14 AM

شکل ۳



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Run echoid.exe and input the last 5 symbols of the Locking Code 1
(echoid.exe is located in SAP2000 install folder next to sap2000.exe)
Example: Locking Code 1 : 4-16D70
        CODE:16D70
CODE:
```

شکل ۴

در صفحه ی باز شده می بایست کد نرم افزاری مربوط به سیستم عاملتان را وارد نمایید. برای این منظور به پوشه ای که نرم افزار را نصب کرده اید بروید و فایل Echoid.exe را باز کنید:

## ٧ کلیات

commute.dat	1/12/2007 8:00 AM	DAT File	1 KB
echoid.dat	4/24/2008 3:21 PM	DAT File	1 KB
echoid.exe	1/12/2007 8:00 AM	Application	596 KB
lcommute.exe	8/1/2006 7:00 AM	Application	64 KB
License Agreement.pdf	10/18/2010 10:36 ...	Adobe Acrobat D...	1,171 KB
License Request Form.pdf	6/8/2011 12:25 PM	Adobe Acrobat D...	305 KB
License Trouble Shooting Guide - Netwo...	3/19/2010 4:33 PM	Microsoft Word 9...	6,495 KB
License Trouble Shooting Guide - Netwo...	3/19/2010 5:34 PM	Microsoft Word 9...	2,412 KB
License Trouble Shooting Guide - Standa...	3/19/2010 5:35 PM	Microsoft Word 9...	4,898 KB
License Trouble Shooting Guide - Standa...	3/19/2010 5:36 PM	Microsoft Word 9...	1,526 KB
lsapiw32.dll	8/1/2006 7:00 AM	Application extens...	704 KB
lsdecode.exe	8/1/2006 7:00 AM	Application	304 KB
lserverc	1/27/2016 9:50 AM	File	1 KB
lsbwrap.dll	9/14/2006 1:32 PM	Application extens...	60 KB
Perform-3D.exe	7/10/2012 10:47 AM	Application	30,018 KB
Perform-3D_Install_Instructions.pdf	6/7/2011 11:50 AM	Adobe Acrobat D...	987 KB
Perform3DTrialLicense.exe	7/10/2012 10:47 AM	Application	310 KB
Perform3DTrialLicense.exe.manifest	6/24/2011 1:30 PM	MANIFEST File	2 KB
Pf3dEngine64V500.exe	6/6/2011 11:35 AM	Application	3,435 KB
rcommute.exe	8/1/2006 7:00 AM	Application	44 KB
ReadMe.pdf	6/8/2011 4:14 PM	Adobe Acrobat D...	148 KB
slmdemo.exe	8/1/2006 7:00 AM	Application	64 KB
WCommute.exe	8/1/2006 7:00 AM	Application	328 KB
wechoid.exe	8/1/2006 7:00 AM	Application	708 KB
WRCommute.exe	8/1/2006 7:00 AM	Application	1,192 KB

شکل ٥

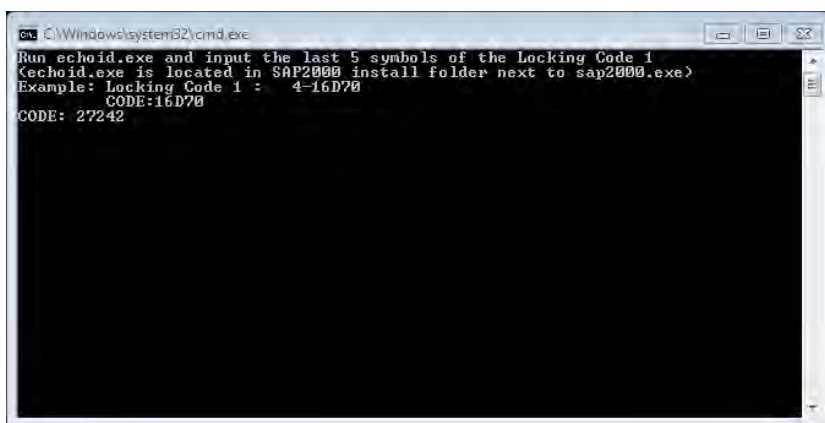
```
C:\Program Files (x86)\Computers and Structures\PERFORM\PERFORM-3D 5\Program\echoid.exe
Sentinel RMS Development Kit 8.0.6.0 Host Locking Code Information Utility
Copyright (C) 2006 SafeNet, Inc.

Locking Code 1 : 4-27242
Locking Code 2 : 0-0
```

شکل ٦

## vi مدلسازی و تحلیل غیرخطی با استفاده از نرم افزار PERFORM\_3D

در صفحه ی ایجاد شده در مقابل عبارت 1 Locking Code بعد از خط تیره ۵ کاراکتر (ترکیبی از حرف و عدد) نوشته شده است. این پنج کاراکتر را در صفحه ی Generator.bat در مقابل عبارت CODE وارد نمایید و دکمه ی Enter را فشار دهید. دقت کنید که عدد اول و خط تیره را وارد ننمایید.

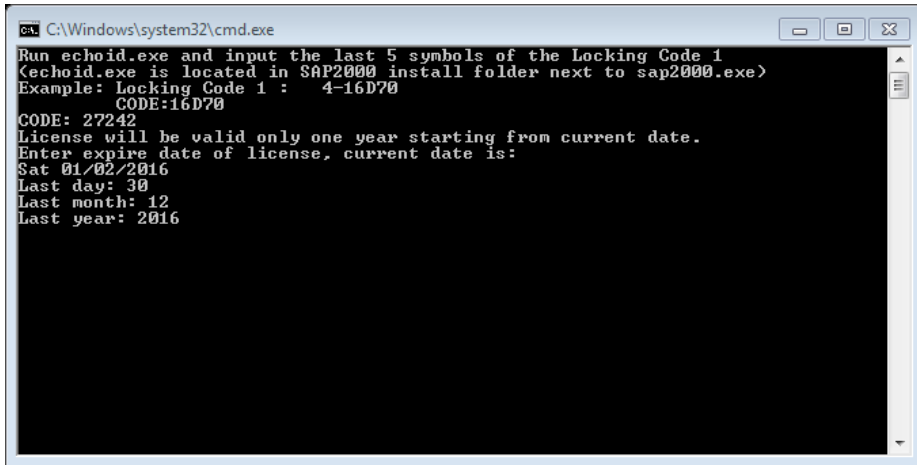


```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Run echoid.exe and input the last 5 symbols of the Locking Code 1
(echoid.exe is located in SAP2000 install folder next to sap2000.exe)
Example: Locking Code 1 : 4-16D70
        CODE:16D70
CODE: 27242
```

شکل ۷

در این مرحله می بایست آخرین تاریخی را که می خواهید نرم افزار فعال باشد را وارد نمایید. دقت نمایید در قسمت Current date تاریخ روز نوشته شده است، تاریخی که می بایست وارد کنید باید در همان سال باشد. به طور مثال اگر در سال ۲۰۱۶ هستید حد اکثر تاریخی را که می توانید وارد کنید ۲۰۱۶/۱۲/۳۰ خواهد بود. تاریخ مورد نظر را وارد کنید:

## vii کلیات




```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Run echoid.exe and input the last 5 symbols of the Locking Code 1
(echoid.exe is located in SAP2000 install folder next to sap2000.exe)
Example: Locking Code 1 : 4-16D70
        CODE:16D70
CODE: 27242
License will be valid only one year starting from current date.
Enter expire date of license, current date is:
Sat 01/02/2016
Last day: 30
Last month: 12
Last year: 2016
```

شکل ۸

پس از وارد کردن تاریخ Enter را فشار دهید. در این قسمت باید شماره ی نرم افزار پرفورم را وارد نمایید. به طور مثال اگر در مقابل عبارت 5 Perform3D مقدار ۱۰ نوشته شده است این مقدار را در مقابل عبارت Software Choice نوشته و دکمه ی Enter را فشار دهید. پس از این مرحله یک فایل با نام Iservrc\_۲۷۲۴۲\_۲۰۱۶\_۳۰\_۱۲\_۵\_Perform3D و یا Iservrc در پوشه ی فایل کرک در کنار فایل Generator.bat ساخته خواهد شد. فایل ساخته شده را به Iservrc تغییر نام داده و در پوشه ای که نرم افزار در آن است کپی کنید. پس از این مرحله قفل نرم افزار شکسته شده و نرم افزار قابل استفاده خواهد بود.

### آشنایی با محیط نرم افزار Perform-3D

نرم افزار Perform-3D از دو بخش مدلسازی و حالت آنالیز تشکیل شده است. بخش مدلسازی که با منوی گرافیکی  نمایش داده می شود شامل قسمت های زیر است:



#### Overall information for Structure

این قسمت شامل اطلاعات کلی در مورد مدل سازه ای می باشد.



#### Nodes

این قسمت شامل ابزار هایی برای رسم گره ها، اختصاص جرم، اختصاص قیود تکیه گاهی و... می باشد.

## viii مدلسازی و تحلیل غیرخطی با استفاده از نرم افزار PERFORM\_3D



### Component Properties

این قسمت در واقع مهمترین گام در مدلسازی المان ها می باشد. در این قسمت خصوصیات خطی و غیر خطی المان ها تعریف می شود.



### Elements

این قسمت شامل ابزار هایی جهت رسم المان ها، اختصاص مقاطع المان ها و اختصاص محور های محلی می باشد.



### Frames

این قسمت شامل ابزار هایی جهت دسته بندی گره ها در گروه های مختلف می باشد.



### Load Patterns

این قسمت شامل ابزار هایی جهت اختصاص بار های ثقلی، گره ای و المانی و .. می باشد.



### Import/Export Structure data

این بخش شامل ابزاری جهت فراخوانی اطلاعات سازه ای مانند گره ها، جرم ها، المان ها و بارها از نرم افزارهایی همچون Sap2000 می باشد.



### Drift and Deflections

این قسمت شامل تعیین نقاط و معیار های تغییر مکان جانبی و انحنا در سازه می باشد.



### Structure Sections

این قسمت شامل ساخت مقاطع سازه ای جهت اطلاع از نحوه ی توزیع بار ها مختلف در سازه می باشد



### Limit State

این قسمت شامل تعیین نقاط حدی در سطوح عملکرد های مختلف می باشد.



### Inactive elements task

این قسمت شامل ابزاری جهت غیر فعال کردن المان های مختلف در برابر بار های ثقلی می باشد. بخش مربوط به آنالیز و خروجی ها با عنوان Analysis Phase شامل گزینه های زیر می باشد:



### Set Up Load Cases

این قسمت شامل ساخت الگو های باری استاتیکی، دینامیکی و ... می باشد.



### Run Analyses

این قسمت شامل تنظیمات پارامتر های اجرای آنالیز و انجام آن می باشد.



### Mode properties

ابزاری جهت ارائه پریود مودها، نمایش اشکال مودی و ... می باشد



### Energy Balance

ابزاری جهت مشاهده ی خروجی مربوط به بالانس انرژی می باشد.



### Limit State

ابزاری جهت تعیین حالات حدی مربوط به سطوح مختلف عملکرد برای نمایش گرافیکی می باشد.



### Deflected Shape

ابزاری جهت مشاهده ی رفتار سازه در طی اعمال بار و همچنین نحوه ی تشکیل مفاصل پلاستیک می باشد.



### Time Histories

ابزاری جهت مشاهده ی گرافیکی و ذخیره ی خروجی های مربوط به برش پایه، تغییر مکان ها، جابجایی نسبی و ... می باشد.



### Hysteresis Loop

ابزاری جهت نمایش خروجی های مربوط به منحنی های هیستریزیس اعضا می باشد.



### Moment and Shear Diagrams

ابزاری جهت نمایش دیاگرام های برش و لنگر در اعضا می باشد.



### General Pushover Plot

ابزاری جهت نمایش منحنی ظرفیت و محاسبه ی جابجایی تقاضا می باشد.



### Target displacement Pushover Plot

ابزاری جهت مشاهده منحنی برش پایه و محاسبه ی تغییر مکان هدف می باشد.



### Usage Ratio Graph

ابزاری جهت رسم گراف های نسبت کاربردی در برابر جابجایی نسبی و ضریب بار

x مدل‌سازی و تحلیل غیرخطی با استفاده از نرم افزار PERFORM\_3D

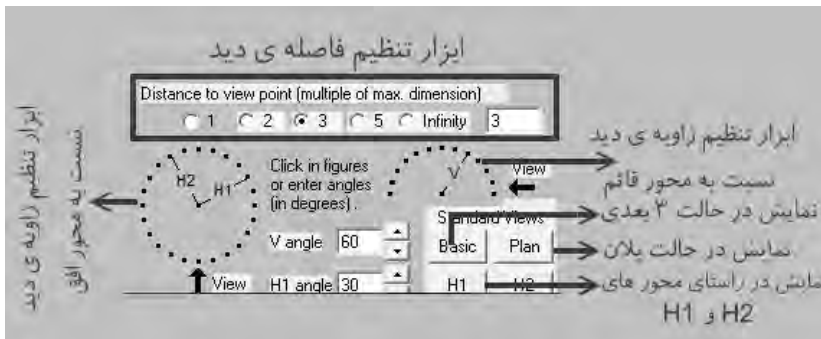


### Combinations and envelopes

ابزاری جهت ترکیب نتایج آنالیزهای مختلف و نسبت‌های کاربردی بر اساس روش‌های مختلف ترکیب بار می‌باشد.

### ابزار نمایش در نرم افزار Perform-3D

ابزار نمایش صفحه در نرم افزار Perform-3D به صورت زیر می‌باشد:



شکل ۹



# فهرست مطالب

## فصل ۱ تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه‌ی بتنی دارای دیوار برشی ۱

۱.۱	مقدمه	۲
۲.۱	مشخصات مدل	۲
۳.۱	ایجاد فایل اولیه برای مدل	۴
۴.۱	ایجاد گره‌ها	۶
۵.۱	سازماندهی گره‌ها	۹
۶.۱	اختصاص نواحی تکیه گاهی به گره‌ها	۹
۷.۱	ایجاد دیافراگم صلب در طبقات	۱۰
۸.۱	اختصاص جرم طبقات	۱۲
۹.۱	رسم المان‌های سازه‌ای	۱۴
۱۰.۱	تعریف مقاطع المان‌های سازه‌ای	۱۸
۱۱.۱	اختصاص مقاطع به المان‌ها	۵۳
۱۲.۱	تعریف معیارهای پذیرش دیوار برشی	۵۵
۱۳.۱	اختصاص محورهای محلی به المان‌ها	۶۰
۱۴.۱	بارگذاری ثقلی	۶۲
۱۵.۱	معرفی تغییر مکان نسبی طبقات	۶۶
۱۶.۱	تعریف مقاطع سازه‌ای	۶۷
۱۷.۱	تعریف حالت‌های حدی	۶۸
۱۸.۱	تعریف حالت حدی جابجایی نسبی	۷۲
۱۹.۱	تعریف حالت‌های بارگذاری	۷۳
۲۰.۱	تنظیم و اجرای تحلیل	۷۷
۲۱.۱	خروجی‌ها و بررسی نتایج حاصل از تحلیل	۷۹

## فصل ۲ تغییر مکان هدف و ضریب رفتار ۸۵

- ۱.۲ آشنایی با تغییر مکان هدف ۸۶
- ۲.۲ روش محاسبه ی تغییر مکان هدف (روش ضرایب نشریه ی ۳۶۰ و FEMA-356) ۸۸
- ۳.۲ روش محاسبه جابجایی تقاضا (روش آیین نامه ی ATC-40) ۹۰
- ۴.۲ ضریب رفتار ۹۱
- ۵.۲ کاربرد ضریب رفتار ۹۲
- ۶.۲ محاسبه ی ضریب رفتار ۹۳
- ۷.۲ محاسبه ی تغییر مکان هدف با استفاده از نرم افزار PERFORM-3D ۹۵
- ۸.۲ محاسبه ی تغییر مکان هدف به صورت مستقیم (بر اساس فرمول نشریه ی ۳۶۰) ۱۰۳
- ۹.۲ محاسبه ی جابجایی تقاضا با استفاده از روش طیف ظرفیت ۱۰۵
- ۱۰.۲ محاسبه ی ضریب رفتار سازه ۱۱۱

## فصل ۳ تحلیل دینامیکی افزایشدهی قاب فولادی دارای مهاربند واگرا ۱۱۵

- ۱.۳ مشخصات سازه ای قاب فولادی ۱۱۶
- ۲.۳ صفحه ی ایجاد مدل ۱۱۸
- ۳.۳ ایجاد گره ها ۱۱۸
- ۴.۳ اختصاص خواص گره ای ۱۱۹
- ۵.۳ ترسیم المان های سازه ای ۱۲۱
- ۶.۳ تعریف مقاطع المان تیر ۱۲۳
- ۷.۳ تعریف مقاطع المان ستون ۱۳۷
- ۸.۳ تعریف مقاطع المان مهاربند ۱۴۵
- ۹.۳ اختصاص مقاطع به المان های سازه ای ۱۵۲
- ۱۰.۳ اختصاص محور های محلی به المان های سازه ای ۱۵۴
- ۱۱.۳ اختصاص بار گسترده به المان های تیر ۱۵۴
- ۱۲.۳ معرفی تغییر مکان نسبی طبقات ۱۵۶
- ۱۳.۳ تعریف نواحی حدی برای المان ها ۱۵۶
- ۱۴.۳ مقطع سازه ای ۱۶۱
- ۱۵.۳ تعریف حالت بارگذاری ثقلی ۱۶۲
- ۱۶.۳ تعریف حالت بارگذاری دینامیکی ۱۶۲
- ۱۷.۳ تنظیم و اجرای تحلیل ۱۶۵

## فصل ۴ بررسی وقوع مکانیزم در قاب فولادی دارای مهاربند زانویی ۱۷۱

- ۱.۴ آشنایی با مهاربند زانویی ۱۷۲
- ۲.۴ مشخصات مدل ۱۷۴
- ۳.۴ مدلسازی ۱۷۴
- ۴.۴ تعریف مقاطع و المان ستون ۱۷۸
- ۵.۴ تعریف مقاطع و المان تیر و زانویی ۱۸۲
- ۶.۴ تعریف مقطع مهاربند ۱۸۶
- ۷.۴ رسم المان ها و اختصاص محور های محلی ۱۸۷
- ۸.۴ اختصاص مقاطع به المان ها ۱۸۷
- ۹.۴ انجام فرایندهای تکمیلی در مدلسازی ۱۸۸
- ۱۰.۴ ایجاد حالت بارگذاری و تنظیم پارامتر های تحلیل ۱۸۹
- ۱۱.۴ بررسی نتایج ۱۹۰

## فصل ۵ بارگذاری سیکلیک در قابهای دارای مهاربند کمانش ناپذیر ۱۹۵

- ۱.۵ آشنایی با مهاربند کمانش ناپذیر (BRB) ۱۹۶
- ۲.۵ مزایا و معایب مهاربند کمانش ناپذیر ۱۹۹
- ۳.۵ مدلسازی اولیه ۱۹۹
- ۴.۵ معرفی مقطع مورد استفاده برای مهاربند کمانش ناپذیر ۲۰۰
- ۵.۵ مدلسازی مهاربند کمانش ناپذیر ۲۰۱
- ۶.۵ مدلسازی قسمت الاستیک مهاربند کمانش ناپذیر ۲۱۳
- ۷.۵ ترکیب خواص الاستیک و پلاستیک مهاربند کمانش ناپذیر ۲۱۳
- ۸.۵ رسم مهاربند و اختصاص مقطع به آن ۲۱۵
- ۹.۵ تعریف بار دوره ای (CYCLIC) ۲۱۷

## فصل ۶ آنالیز شکنندگی در سازه های دارای جداساز لرزه ای ۲۲۱

- ۱.۶ مقدمه ای بر جداساز لرزه ای ۲۲۲
- ۲.۶ طراحی جداساز لرزه ای لاستیکی با هسته ی سربی ۲۲۹
- ۳.۶ طراحی و مدلسازی جداساز لرزه ای لاستیکی با هسته ی سربی ۲۳۳
- ۴.۶ مدلسازی جداساز لرزه ای در نرم افزار PERFORM-3D ۲۴۳
- ۵.۶ مبانی تهیه منحنی های شکنندگی ۲۵۳
- ۶.۶ روشهای مختلف تولید منحنی های شکست ۲۵۵
- ۷.۶ مراحل تولید منحنی شکنندگی به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی ۲۵۷

- ۸.۶ تئوری احتمال منحنی شکنندگی ۲۵۷
- ۹.۶ تولید منحنی شکنندگی ۲۶۰
- ۱۰.۶ انجام آنالیز شکنندگی در سازه‌ی مدلسازی شده ۲۶۰

## فصل ۷ آنالیز خسارت در سازه‌های دارای میراگر ویسکوز ۲۷۱

- ۱.۷ مقدمه‌ای بر میراگر ویسکوز ۲۷۲
- ۲.۷ نحوه‌ی مدلسازی میراگر ویسکوز در نرم افزار PERFORM-3D ۲۸۰
- ۳.۷ آنالیز خسارت ۲۸۱
- ۴.۷ معرفی برخی از شاخص‌های خسارت ۲۸۲
- ۵.۷ معرفی مدل ۲۸۵
- ۶.۷ انتقال اعضا به گروه ۲۸۶
- ۷.۷ مدلسازی میراگر ویسکوز ۲۸۸
- ۸.۷ انجام آنالیز خسارت در سازه ۳۰۰

## فصل ۸ آنالیز خرابی پیشرونده در سازه‌های دارای میراگر اصطکاکی ۳۰۷

- ۱.۸ میراگر اصطکاکی ۳۰۸
- ۲.۸ شاخص‌های عملکرد میراگر ۳۱۰
- ۳.۸ نحوه‌ی طراحی میراگر اصطکاکی ۳۱۱
- ۴.۸ بار بهینه لغزش ۳۱۱
- ۵.۸ تعیین محدوده بار لغزش ۳۱۳
- ۶.۸ طراحی و مدلسازی نرم افزاری میراگر اصطکاکی پال ۳۱۳
- ۷.۸ خرابی پیشرونده ۳۲۹
- ۸.۸ تحلیل استاتیکی غیر خطی پوش دان ۳۳۱
- ۹.۸ شاخص استواری ۳۳۵
- ۱۰.۸ محاسبه‌ی شاخص استواری بر اساس روش سختی در سازه‌ی مدل سازی شده ۳۳۸

## فصل ۹ مثال‌های کاربردی از مدلسازی المان‌های پر کاربرد ۳۳۷

- ۱.۹ مدلسازی المان‌ها با استفاده از مفصل فایبر ۳۳۸
- ۲.۹ مدلسازی چشمه‌ی اتصال ۳۴۶
- ۳.۹ مدلسازی اتصال مفصلی ۳۵۴
- ۴.۹ مدلسازی تیر با اتصال مقطع کاهش یافته (RBS) ۳۶۰

### منابع و مراجع ۳۷۳