

هم زمان با پیشرفت فناوری طراحی و تولید وسایل، قطعات پیچیده و حساس، لزوم استفاده از روش‌های علمی مناسب برای کاهش هزینه، زمان و هم چنین پاسخگویی به مشکلات و نیازهای صنایع در این زمینه مطرح می‌باشد. زیرا نمی‌توان تنها با تکیه بر تجربیات، پاسخگویی طراحی و تولید ایده‌آل محصولات پیچیده و دقیق بود.

روش المان محدود می‌تواند به عنوان یک روش علمی برای حل مسائل متعدد و متنوع مهندسی در حالات مختلف پایدار، گذرا، خطی یا غیرخطی بکار گرفته شود. این روش بدون شک تحولی در صنعت جهان و نحوه نگرش به طراحی و آنالیز به وجود آورده است. حل مسائلی که توسط روش معمولی تحلیلی غیرممکن می‌نمود، قابلیت مدل‌سازی پروسه‌های واقعی، توانمندی روش در ارائه نتایج قابل اطمینان، کاهش هزینه‌های سنگین تست‌های عملی در پروسه‌هایی طراحی، سرعت بالای روش در حل مسائل و بالاخره افزایش قابلیت اطمینان و ایمنی در طراحی باعث شد تا این روش به عنوان جزء لاینفک پیشرفت صنعتی درآید.

در میان نرم‌افزارهایی که از روش المان محدود برای آنالیز مسائل مهندسی استفاده می‌کنند، نرم‌افزار SAP2000، با قابلیت‌های منحصر به فرد خود به عنوان یک نرم‌افزار بسیار دقیق تحقیقاتی و کاربردی در صنعت و دانشگاه شناخته شده است، به گونه‌ای که از نظر دارا بودن مثال‌های معتبر علمی و کاربردی قابل مقایسه با هیچ یک از نرم‌افزارهای المان محدود که هم‌اکنون در کشور استفاده می‌شوند، نمی‌باشد. سهولت در دستیابی و فهم نحوه کارکرد زیر برنامه‌های این نرم‌افزار موجب شده که جوامع دانشگاهی بین‌المللی، از آن بیش از نرم‌افزارهای دیگر در مقاله‌های علمی منتشر شده استفاده کنند. دقت فراوان این نرم‌افزار حل عددی و مقایسه آن با مثال‌های تحلیلی موجب شده که این نرم‌افزار به عنوان نرم‌افزار استاندارد مهندسی عمران انتخاب شود. ثنوری کامل این نرم‌افزار که مبتنی بر تحلیل غیر خطی المان محدود پیشرفته است، با استفاده از جدیدترین روابط و روش نگارش ریاضی در راهنمای آن موجود است.

همچنانکه هر یک از نرم‌افزارهای المان محدود دارای ویژگی‌های خاص و منحصر بفردی هستند که پارامتر شاخص آن نرم‌افزار محسوب می‌شود، نرم‌افزار SAP2000، نیز با داشتن چندین برتری نسبت به دیگر نرم‌افزارها، توانسته کاربران مبتدی تا حرفه‌ای را به استفاده از این نرم‌افزار ترغیب نماید، که از جمله آن می‌توان به توانایی مدل‌سازی و امکان تحلیل انواع مسائل پیچیده، پیش‌بینی تخریب ناشی از زمین‌لرزه بر روی بناها، تحلیل و بارگذاری دینامیکی مانند امواج آب و باد روی سازه‌ها، تحلیل و بارگذاری پل اشاره نمود.

مخاطبین اصلی کتاب حاضر، شرکت‌های مهندسی عمران، مهندسی مکانیک و به خصوص مهندسیین شاغل در مرکز تحقیق و توسعه و دانشجویان رشته‌های مهندسی در سال‌های آخر کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا می‌باشد.

هدف از تهیه مجموعه حاضر ارائه یک مرجع مناسب برای مخاطبین جهت آموزش بکارگیری صحیح این نرم‌افزار می‌باشد تا کاربر نتایج بدست آمده را پس از موشکافی علمی مورد استفاده مطمئن قرار دهد. بدیهی است که صرف وجود یک نرم‌افزار نمی‌تواند عامل مثبت تلقی شود بلکه بکارگیری صحیح آن همراه با ارزشیابی علمی نتایج بر اساس درایت کاربر می‌تواند این نرم‌افزار را به عامل نسبت و قابل اعتماد تبدیل کند. از همه صاحب‌نظران و اساتید، محققین، دانشجویان و کلیه عزیزانی که از این مجموعه استفاده می‌کنند تقاضا می‌شود با عنایت خاص خود ما را از معایب و نارسایی‌های موجود در چاپ اول کتاب که ممکن است از نظر دور مانده باشد مطلع نمایند تا در چاپ‌های بعدی اشکالات موجود رفع گردد.

تهران- بهار ۱۳۸۸

هاتف سرداری

فصل اول: ضوابط کلی ..... ۱

مثال ۱- بار حرارتی ..... ۳

مثال ۲- بار تکیه گاهی ..... ۱۶

مثال ۳- گیرداری موضعی ..... ۳۴

مثال ۴- نقطه کاردینال ..... ۴۴

مثال ۵- بارگذاری هارمونیک دائمی (حالت پایا) ..... ۵۶

مثال ۶- سختی شدگی کششی با استفاده از تحلیل P-Delta ..... ۷۰

مثال ۷- ارتعاش یک تار تحت کشش ..... ۸۶

مثال ۸- کمانش یک قاب صلب ..... ۹۷

مثال ۹- قاب خمشی دو بعدی تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی ..... ۱۰۷

مثال ۱۰- مفصل برشی و خمشی ..... ۱۴۰

مثال ۱۱- بارگذاری گام به گام اجرایی ..... ۱۵۴

مثال ۱۲- تغییر مکان های محوری بزرگ ..... ۱۶۷

مثال ۱۳- تغییر مکان های خمشی بزرگ ..... ۱۷۸

فصل دوم: مصالح و کیفیت بتن ..... ۱۹۱

مثال ۱- تیر مستقیم با بار استاتیکی ..... ۱۹۳

مثال ۲- تیر خمیده با بار استاتیکی ..... ۲۱۹

مثال ۳- تیر پیچشی با بار استاتیکی ..... ۲۳۵

مثال ۴- صفحه روی بستر الاستیک ..... ۲۴۶

مثال ۵- مسئله برج خنک کننده ASME، با فشار باد استاتیکی ..... ۲۵۶

مثال ۶- گرادیان حرارتی در سرتاسر ضخامت پوسته ..... ۲۷۰

مثال ۷- صفحه ارتروویپیک ..... ۲۸۱

مثال ۸- کمانش خارج از صفحه ..... ۲۹۷

مثال ۹- تغییر مکان های محوری بزرگ ..... ۳۱۵

مثال ۱۰- اعمال پیش تنیدگی به اعضای سطحی ..... ۳۲۶

فصل سوم: جزییات آرماتورگذاری ..... ۳۴۳

مثال ۱- استوانه جدار نازک ..... ۳۴۵

مثال ۲- تنش موثر خاک ..... ۳۵۶

فصل چهارم: مهار و وصله آرماتورها ..... ۳۶۷

مثال ۱- خاک تحت بار یکنواخت شالوده دایروی ..... ۳۶۹

مثال ۲- دیسک حلقوی دوار ..... ۳۸۱

فصل پنجم: روش های طراحی و ضوابط مقاومت ..... ۳۹۱

مثال ۱- میراگر سانی بوفالو با توان سرعتی غیرخطی ..... ۳۹۳

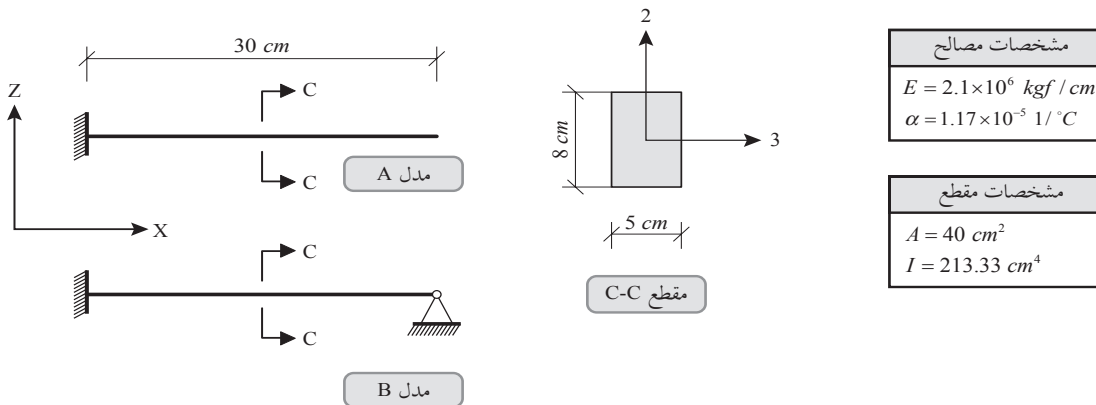
## مثال ۱- بار حرارتی

### تشریح مسئله:

انواع مختلفی از بارهای حرارتی قاب می‌تواند در SAP2000، مدل‌سازی شود. در این مثال بارهای حرارتی، با استفاده از یک تیر طره ساده و یک تیر طره مقید بررسی خواهد شد. مقطع تیر مورد نظر دارای عرض  $5\text{ cm}$  و ارتفاع  $8\text{ cm}$  می‌باشد. در SAP2000 سه نوع بارگذاری حرارتی می‌تواند روی یک المان قاب اعمال شود: تغییر ثابت در حرارت؛ تغییر طولی حرارت در طول المان در راستای محورهای محلی 1 و گرادیان حرارتی عمودی در طول المان (راستای محورهای محلی 2 و 3). در این مثال، هر سه نوع این بارگذاریها بطور مجزا روی هر دو نوع تیر طره ساده و تیر طره مقید اعمال می‌شوند. تغییر مکان انتهای آزاد مدل تیر طره ساده و عکس‌العمل انتهای مدل تیر طره مقید با نتایج حاصل از تحلیل دستی مقایسه می‌شود.

تغییر شکل‌های برشی در این تحلیل نادیده گرفته خواهند شد. در SAP2000 این گزینه با تنظیم متغیرهای تعریف شده برای خصوصیات مقطع بصورت مقدار 0 برای مساحت (برشی) صورت خواهد گرفت.

### هندسه و خصوصیات:



### بارگذاری:

حالت بار 1: افزایش به ازای  $30^\circ\text{C}$

حالت بار 2: تغییر در طول محورهای محلی شماره 1، به ازای  $1^\circ\text{C}$  در هر سانتیمتر از طول المان ( $30^\circ\text{C}$  در انتها)

حالت بار 3: گرادیان در طول محورهای محلی شماره 2، به ازای  $10^\circ\text{C}$  در هر سانتیمتر ( $80^\circ\text{C}$  در  $8\text{ cm}$  از ارتفاع مقطع)

**اهداف:**

- ۱- تعریف الگوهای گرهی
- ۲- اعمال افزایش حرارت
- ۳- اعمال گرادیان حرارتی عرضی
- ۴- محاسبه تغییر مکان در انبساط آزاد
- ۵- محاسبه نیروهای عکس العمل در حالت مهار شده در اثر بارگذاری حرارتی

**مقایسه نتایج:**

مقایسه نتایج تحلیل دستی و نتایج رایانه‌ای برای حالت‌های بارگذاری 1 و 2 با استفاده از روابط انبساط حرارتی استاندارد نشان داده شده است.

**مدل A: طره با انتهای آزاد**

حالت بارگذاری	پارامتر خروجی	SAP2000	مستقل	درصد اختلاف
1	$U_x$ (انتهای آزاد)، <i>cm</i>	0.01053	0.01053	0.00%
2	$U_x$ (انتهای آزاد)، <i>cm</i>	0.01053	0.01053	0.00%
3	$U_z$ (انتهای آزاد)، <i>cm</i>	-0.05265	-0.05265	0.00%

**مدل B: طره مقید شده**

حالت بارگذاری	پارامتر خروجی	SAP2000	مستقل	درصد اختلاف
1	$F_x$ (در نوک)، <i>kgf</i>	-29484.00	-29484.00	0.00%
2	$F_x$ (در نوک)، <i>kgf</i>	-29484.00	-29484.00	0.00%
3	$F_z$ (در نوک)، <i>kgf</i>	2620.750	2620.750	0.00%

**تحلیل رایانه‌ای مسئله:**

- ۱- سیستم واحد را به C, Cm, Kgf تغییر دهید.
- ۲- از منوی File، گزینه New Model را انتخاب کنید. جعبه New Model، ظاهر می‌شود.

- ۳- در این جعبه، جهت نمایش جعبه Quick Grid Line، روی دکمه Grid Only، کلیک کنید.
- ۴- در جعبه ظاهر شده، برگه Cartesian را مطابق شکل زیر تکمیل کرده و روی دکمه OK کلیک کنید.

The image shows a software dialog box titled "Quick Grid Lines". It has two tabs: "Cartesian" (which is selected) and "Cylindrical". The dialog is divided into several sections:

- Coordinate System Name:** A text box containing the word "GLOBAL".
- Number of Grid Lines:** Three input fields for "X direction" (value: 2), "Y direction" (value: 1), and "Z direction" (value: 1).
- Grid Spacing:** Three input fields for "X direction" (value: 30), "Y direction" (value: 1), and "Z direction" (value: 1).
- First Grid Line Location:** Three input fields for "X direction" (value: 0), "Y direction" (value: 0), and "Z direction" (value: 0).

At the bottom of the dialog, there are two buttons: "OK" and "Cancel".

- ۵- در پنجره نمای دو بعدی برای نمایش شبکه در پلان XZ، از منوی View، گزینه Set 2D View، را انتخاب کنید. جعبه Set 2D View، ظاهر می‌شود.
- ۶- در این جعبه:
- گزینه X-Z Plane، را علامت بزنید.
  - روی دکمه OK کلیک کنید.
- ۷- برای ترسیم المانهای Frame، از منوی Draw، گزینه Draw Frame/Cable/Tendon، را انتخاب کرده و مطابق هندسه مورد نظر المان تیر را رسم کنید.
- ۸- جهت تعویض مود ترسیم به مود انتخاب از منوی Draw، گزینه Set Select Mode، را انتخاب کنید.
- ۹- جهت نمایش جعبه Display Options for Active Window، از منوی View، گزینه Set Display Options، را انتخاب کنید.

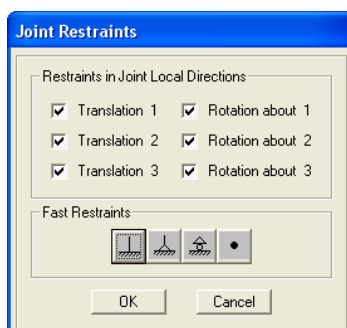
۱۰- در این جعبه:

- در جعبه Joints گزینه Labels را علامت بزنید.
- در جعبه Frames گزینه Labels را علامت بزنید.
- روی دکمه OK کلیک کنید.

۱۱- گره شماره 1 را انتخاب کنید.

۱۲- از منوی Assign، سپس زیر منوی Joints، گزینه Restraints را انتخاب کنید. جعبه Joint Restraints ظاهر می‌شود.

۱۳- مطابق شکل زیر، گزینه‌های نشان داده شده را علامت زده و روی دکمه OK کلیک کنید.



۱۴- مدل B، تنها تفاوتی که با مدل A، دارد در این است که مدل B، در گره شماره 2 غلتکی می‌باشد ولی در مدل A این گره آزاد است.

بنابراین تنها گام اضافی در مدل B بصورت زیر خواهد بود:

۱۵- گره شماره 2 را انتخاب کنید.

۱۶- از منوی Assign، سپس زیر منوی Joints، گزینه Restraints را انتخاب کنید. جعبه Joint Restraints ظاهر می‌شود.

۱۷- مطابق شکل زیر، گزینه‌های نشان داده شده را علامت زده و روی دکمه OK کلیک کنید.



۱۸- از منوی Define، گزینه Materials، را جهت نمایش جعبه Define Materials، انتخاب کنید. سپس روی دکمه Add New Material، کلیک کنید. جعبه Material Property Data، ظاهر می‌شود.

- این جعبه را بصورت شکل زیر تکمیل کنید.
- روی دکمه OK کلیک کنید تا جعبه Material Property Data، بسته شود.

۱۹- روی دکمه OK کلیک کنید تا جعبه Define Materials، بسته شود.

۲۰- از منوی Define، گزینه Section Properties، سپس زیر گزینه Frame Section، را جهت نمایش جعبه Frame Properties، انتخاب کنید.

۲۱- در جعبه Frame Properties، جهت نمایش جعبه Add Frame Section Property، روی دکمه Add New Property، کلیک کنید.

۲۲- در این جعبه:

- در جعبه Frame Section Property Type، گزینه Concrete، را انتخاب کنید.