تحلیل سازه‌ها

گروه مهندسی عمران

از مجموعه کتاب‌های آمادگی کارشناسی ارشد ماهان

سیامک هوشیار خوشدل

ماهان

هوشیار خوشدل، سیامک ۱۳۴۹
تحلیل سازه‌ها/ سیامک هوشیار خوشدل
مشاوران صعود ماهان: ۱۴۰۱
۲۶۳ص: جدول، نمودار
ISB/N: 978-600-458-820-1
فهرستنویسی بر اساس اطلاعات فیپا.
فارسی ـ چاپ اول
ریاضی مهندسی کلیه رشته‌ها
سیامک هوشیار خوشدل
ج ـ عنوان
کتابخانه ملی ایران ۳۲۵۵۳۸۵

انتشارات مشاوران صعود ماهان

❐ نام کتاب: ..... تحلیل سازه ها
❐ مدیران مسئول: ..... هادی و مجید سیّاری
❐ مولف: ..... سیامک هوشیار خوشدل
❐ مدیر تولید محتوا: ..... سمیه بیگی
❐ ناشر: ..... مشاوران صعود ماهان
❐ نوبت و تاریخ چاپ: ..... چاپ اول/ ۱۴۰۱
❐ تیراژ: ..... ۱۰۰۰ نسخه
❐ قیمت: ..... ۲/۷۹۰ /۰۰۰ ریال
❐ شابک: ..... ISBN ۹۷۸-۶۰۰-۴۵۸-۸۲۰-۱

انتشارات مشاوران صعود ماهان: تهران ـ خیابان ولیعصر، بالاتر از تقاطع ولیعصر مطهری، پلاک ۲۰۵۰
تلفن: ۸۸۱۰۰۱۱۳ و ۸۸۴۰۱۳۱۳

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به موسسه آموزش عالی آزاد ماهان می‌باشد. و هرگونه اقتباس و کپی‌برداری از این اثر بدون اخذ مجوز پیگرد قانونی دارد.

سخن ناشر

«به نام حق»

در آغاز ایستاده‌ایم و به آغاز می‌نگریم

کلمه نزد خدا بود که بر زبان ما جاری شد

و

پاک‌ترین آفریدنی انسان، همین کلمه شد ...

کلمات را کنار هم می‌نشانیم

کلمات «جمله» می‌شوند،

بر ذهن و دل ما می‌نشینند

راهی می‌گشایند درست

دری می‌بندند که به بیراهه می‌رود ...

عزممان را جزم نوشتن کردیم

تا با زلال کلمه

دست و دل و روحمان را از «نمی‌دانم» ها بزداییم ...

تنها فکر کردیم

باهم فکر کردیم

و تنها و با هم نوشتیم و نوشتیم و نوشتیم ...

و هر گاه خسته شدیم به آواز خواندیم که:

ای بی‌خبر بکوش که صاحب خبر شوی ...

خبر، این است:

در آغاز ایستاده‌ایم و به آغاز می‌نگریم ...

فهرست

۹ ♦ فصل اول – معینی و پایداری سازه‌ها
تعادل سازه‌ها
قیدها
ناپایداری ایستایی
ناپایداری هندسی داخلی
ناپایداری هندسی خارجی
پایداری
درجه نامعینی سازه‌ها
روابط برآورد درجه نامعینی سازه‌ها
روش فضای بسته K
سوالات طبقه بندی شده فصل اول
پاسخ تشریحی سوالات فصل اول

۳۱ ♦ فصل دوم- استاتیک قاب‌ها و خرپاها
کلیات
نکاتی در مورد خرپاها
سوالات طبقه بندی شده فصل دوم
۴۲ ♦ سوالات آزمون سراسری سال۸۹
پاسخ تشریحی سوالات فصل دوم

۵۵ ♦ فصل سوم- خط تاثیر
۳-۱- مقدمه
۳-۲- رسم خط تاثیر با استفاده از بار واحد
۳-۳- اصل مولر- برسلاو
سوالات طبقه بندی شده فصل سوم
۶۶ ♦ سوالات آزمون سراسری سال۸۹
پاسخ تشریحی سوالات فصل سوم

۷۵ ♦ فصل چهارم- روش‌های سطح لنگر و تیر مزدوج
۴-۱- روش سطح لنگر
۴-۲- روش تیر مزدوج
سوالات طبقه بندی شده فصل چهارم
پاسخ تشریحی سوالات فصل چهارم
۹۱ ♦ فصل پنجم- روش بار واحد
کلیات و روابط روش بار واحد
سوالات طبقه بندی شده فصل پنجم
۱۰۱ ♦ سوالات آزمون سراسری سال۸۹
پاسخ تشریحی سوالات فصل پنجم

۱۱۵ ♦ فصل ششم- محاسبه خیز و شیب
کلیات و روابط روش بار واحد
سوالات طبقه بندی شده فصل ششم
۱۲۵ ♦ سوالات آزمون سراسری سال۸۹
پاسخ تشریحی سوالات فصل ششم

۱۳۷ ♦ فصل هفتم- قضایای کاستگلیانو و قانون بتی- ماکسول
۷-۱- قضیه تغییر شکل کاستگلیانو
۷-۲- قانون بتی- ماکسول
سوالات طبقه بندی شده فصل هفتم
۱۴۵ ♦ سوالات آزمون سراسری سال۸۹
پاسخ تشریحی سوالات فصل هفتم

۱۵۵ ♦ فصل هشتم- روش‌های سازگاری
کلیات و روابط روشهای سازگاری
سوالات طبقه بندی شده فصل هشتم
پاسخ تشریحی سوالات فصل هشتم

۱۷۷ ♦ فصل نهم- روش‌های سختی
کلیات و روابط روش‌های سختی

سوالات طبقه بندی شده فصل نهم
۱۸۵ ♦ سوالات آزمون سراسری سال۸۹
پاسخ تشریحی سوالات فصل نهم
۱۹۳ ♦ فصل دهم- روش‌های پخش لنگر خمشی و شیب افت
۱۰-۱- روش پخش لنگر
۱۰-۲- روش شیب- افت
سوالات طبقه بندی شده فصل دهم
پاسخ تشریحی سوالات فصل دهم

۲۱۵ ♦ فصل یازدهم- تقارن و پادتقارن
کلیات
سوالات طبقه بندی شده فصل یازدهم
۲۲۳ ♦ سوالات آزمون سراسری سال۸۹
پاسخ تشریحی سوالات فصل یازدهم

۲۳۱ ♦ پاسخ‌نامه کلیدی

۲۳۵ ♦ آزمون ۹۳-۹۰

۲۶۳ ♦ منابع و مآخذ

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

سخن مولف

با توجه به افزایش روزافزون داوطلبان کنکور کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مجموعه حاضر حاوی تست‌های طبقه‌بندی‌شده کنکورهای سراسری و آزاد و همچنین تست‌های تالیفی که دربرگیرنده نکات کلیدی و بااهمیت این درس و نحوه به‌کارگیری آن‌ها در حل سریع تست‌های پیچیده تحلیل سازه‌ها می‌باشد، گردآوری شده است. در این کتاب سعی شده تا مطالب حجیم دروس تحلیل سازه‌های (۱) و (۲) به‌صورت طبقه‌بندی‌شده در ذهن دانشجویان عزیز نقش بسته و در برخورد با هر تست بهترین و کوتاه‌ترین راه‌حل ممکن را انتخاب نمایند. روند ارایه تست‌ها در هر فصل از آخرین سوالات ارایه شده در کنکورها آغاز و سپس سوالات سال‌های قبل به ترتیب آورده شده است. به این ترتیب در ابتدای هر فصل، دانشجو با نحوه طرح تست‌های سال‌های اخیر، چه از نظر فصول پرکاربرد مورد توجه طراحان سوال و چه از نظر ماهیت و شکل طرح سوال آشنا می‌شود. امید است این مجموعه بتواند گامی در جهت اعتلای علمی دانشجویان و کمک به تحلیل ساده‌تر مسایل سازه‌ای در شرایط مختلف هندسی و بارگذاری بردارد.

در خاتمه از همه دست‌اندرکاران تهیه این کتاب که به نحوی در به ثمر رسیدن آن نقش داشته‌اند، آقای دکتر سیاری و آقای مهندس سیاری مدیران محترم ماهان، به خصوص آقای مهندس روشناس و سرکار خانم شیخ‌الاسلامی قدردانی می‌نمایم. همچنین لازم می‌دانم از پدر و مادر عزیزم که در تمام طول تحصیل مشوق اصلی اینجانب بوده و در حل مشکلات راه، همواره یار و یاورم بوده‌اند، تشکر و قدردانی نمایم.

سیامک هوشیار خوشدل
دکترای تخصصی مهندسی عمران

فصل ۱

معینی و پایداری سازه‌ها

آنچه در این فصل می‌خوانیم:

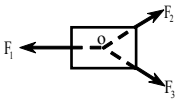
تعادل سازه‌ها
قیدها
ناپایداری ایستایی
ناپایداری هندسی داخلی
ناپایداری هندسی خارجی
پایداری
درجه نامعینی سازه‌ها
روابط برآورد درجه نامعینی سازه‌ها
روش فضای بسته K

معینی و پایداری سازه‌ها

۱-۱- تعادل سازه‌ها

۱- سازه در حال تعادل، سازه‌ای است که هر سه معادله تعادل؛ $\sum F_x = 0$ و $\sum F_y = 0$ و $\sum M = 0$ برای آن ارضا گردند.

البته اعضای دو نیرویی (با دو نیروی مساوی و مختلف‌الجهت $P \leftarrow \square \rightarrow P$) و سه نیرویی (با سه نیروی متقارب) نیز حالات خاصی از تعادل هستند.



۱-۲-انواع قیدها

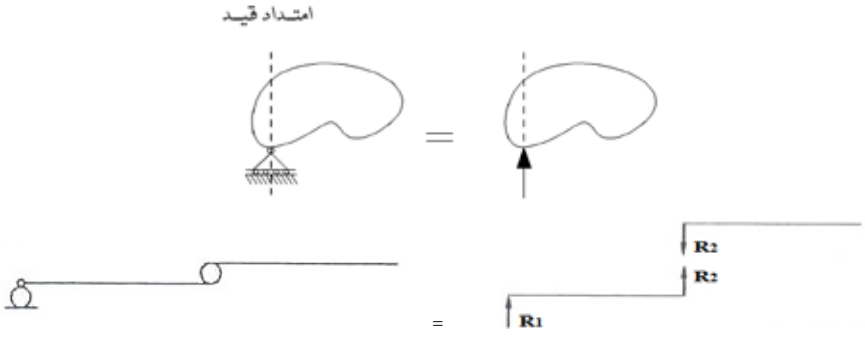
۱-۲-۱- قید میله‌ای:

اگر به یک تکیه‌گاه مفصلی، یک میله دو سر مفصل وصل کنیم ، قید میله‌ای تشکیل می‌شود. کابل هم می‌تواند با یک تکیه‌گاه ساده ترکیب شده و قید میله‌ای تشکیل دهد. در این حالت تکیه‌گاه را فقط توسط یک نیروی عکس‌العمل در راستای میله مدل می‌کنیم.

توجه: طول قیدهای میله‌ای مهم نیست، فقط امتداد آنها مهم است.

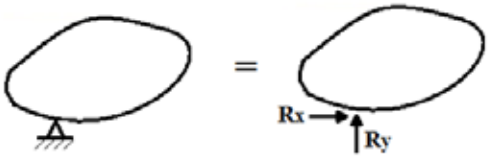
۱-۲-۲- قید غلطکی (مفصل متحرک):

این تکیه‌گاه فقط جلوی حرکت جسم را در راستای عمود بر سطح اتکا می‌گیرد. پس این تکیه‌گاه با یک نیرو در راستای عمود بر سطح اتکای آن مدل می‌شود.



۱-۲-۳- قید مفصلی (مفصل ثابت):

این قید مانع از حرکت‌های انتقالی در هر راستا می‌شود. بنابراین با دو نیروی عمود بر هم مدل می‌شود.



۱-۲-۴- قید لغزشی (مفصل برشی - یا لغزنده گیردار):
این قید جلوی حرکت جسم متکی به آن را در جهت عمود بر سطح اتکا می‌گیرد. همچنین توسط این تکیه‌گاه دوران جسم نیز مقید می‌شود. پس این تکیه‌گاه با یک نیرو و یک گشتاور مدل می‌شود.

۱-۲-۵- تکیه‌گاه فنری ارتجاعی:
این نوع تکیه‌گاه فقط یک عکس‌العمل در راستای فنر ایجاد می‌کند.

در واقع تکیه‌گاه فنری مانند تکیه‌گاه غلطکی است با این تفاوت که سختی آن بی‌نهایت نیست!

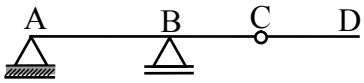
۱-۲-۶- تکیه گاه فنر دورانی:

این نوع تکیه گاه هم فقط یک عکس‌العمل دارد که به صورت یک لنگر خواهد بود.

K_θ : سختی پیچشی دورانی

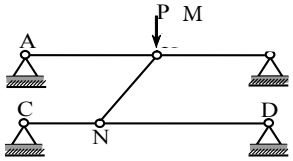
۱-۲-۷- قید کامل (گیردار، فیکس):
این تکیه‌گاه از هر نوع حرکت انتقالی و دورانی در صفحه جسم جلوگیری می‌کند. بنابراین با دو نیرو و یک گشتاور مدل می‌شود.
یک قید کامل معادل سه قید میله‌ای غیرمتقارب و غیرموازی است.

۱-۳- ناپایداری ایستایی: در صورتی‌که درجه نامعینی سازه منفی باشد که به معنی عدم وجود قیدهای لازم جهت حفظ تعادل سازه است، سازه ناپایدار ایستایی محسوب می‌شود.
مانند سازه مقابل با درجه نامعینی (۱-)که به علت عدم وجود یک تکیه‌گاه در نقطه ۱، ناپایدار است.

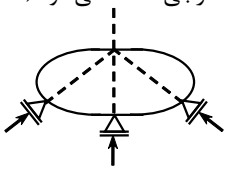


۱-۴- ناپایداری هندسی داخلی: در حالتی‌که هندسه داخلی سازه، باعث عدم ارضای شرایط تعادل در حالاتی از بارگذاری‌های محتمل شود، سازه ناپایدار داخلی است.

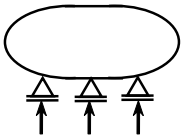
به عنوان نمونه در سازه شکل زیر، با فرض اعمال بار قائم P به نقطه M ، شرایط تعادل $\sum F_y = 0$ در گره M حکم می‌کند که نیرویی در عضو MN ایجاد شود. حال آنکه در گره N ، فقط دو عضو افقی عضو MN را همراهی نموده و امکان ارضای شرایط تعادل قائم $\sum F_y = 0$ نخواهد بود. پس سازه ناپایدار هندسی داخلی است.



۱-۵- ناپایداری هندسی خارجی: در حالتی‌که مولفه‌های واکنش تکیه‌گاهی سازه یا در یک نقطه همگی متقارب باشند و یا به موازات یکدیگر قرار گیرند، حالت ناپایداری هندسی خارجی حادث می‌شود (اشکال زیر) .



مولفه‌های تکیه‌گاهی متقارب



مولفه‌های تکیه‌گاهی موازی

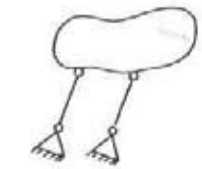
۱-۶-پایداری:

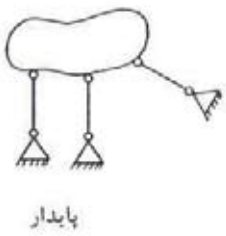
۱-۶-۱-پایداری جسم صلب

۱) برای پایداری یک جسم صلب، وجود حداقل یک قید کامل و یا معادل آن یعنی حداقل ۳ قید میله‌ای غیرمتقارب و غیرموازی ضروری است.

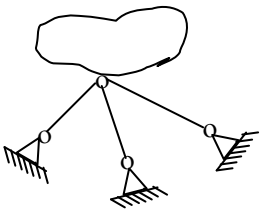
۲) اگر فقط دو قید از ۳ قید میله‌ای موازی باشند و قید سوم غیرموازی با آنها باشند، آن میله‌ها هیچ‌گاه نمی‌توانند متقارب باشند.

۳) اگر تعداد قیدها کافی نباشد، سازه را ناپایدار مکانیکی و اگر آرایش قیدها مناسب نباشد ناپایدار هندسی می‌نامند.

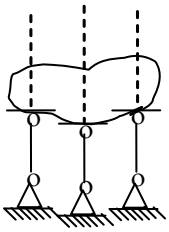




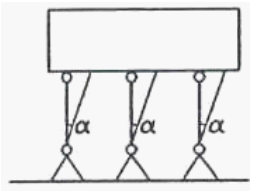
ناپایداری هندسی



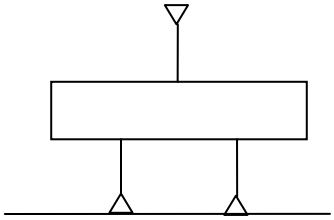
ناپایداری هندسی



نکته: در ناپایداری هندسی آنی، یک حرکت ولو کوچک باعث از بین رفتن مشکل هندسی شده و سازه پایدار می‌شود و اما در ناپایداری هندسی دائم، هر حرکتی ولو بزرگ نمی‌تواند مشکل هندسی را مرتفع کند.



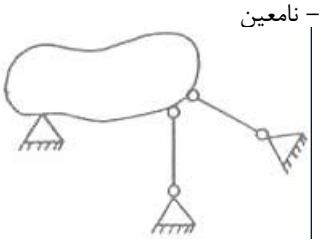
ناپایداری هندسی دایمی



ناپایداری هندسی آتی

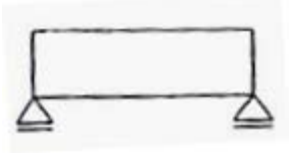
نکته: اگر جسمی علاوه بر تعداد مورد نیاز قید اضافی داشته باشد، نامعین بوده و درجه نامعینی همان تعداد قیدهای اضافی است.

[۱] پایدار – نامعین



نکته: در سیستم های ناپایدار نیز به شرط تعادل می‌توان درجه نامعینی را تعیین کرد. در حالت کلی اگر بتوان همه مجهولات قیدی یک سازه را فقط از طریق معادلات تعادل تعیین کرد، آن را ایزواستاتیک یا معین استاتیکی و در غیر این صورت هایپراستاتیک یا نامعین استاتیکی می‌نامند. تعداد مجهولات اضافی نیز همان درجه نامعینی سازه است.

ناپایداری نامعین



ناپایداری معین

نکته: ناپایداری‌های مکانیکی همواره معین هستند چون تعداد قیدهایشان همیشه کمتر از تعداد مورد نیاز است (فقط در مورد یک جسم صلب).
ناپایداری‌های هندسی همواره نامعین هستند. برای تعیین درجه نامعینی ابتدا حداقل قیدهایی را چنان اضافه می‌کنیم که مشکل هندسی آنها برطرف شود. سپس درجه نامعینی آنها را تعیین می‌کنیم.

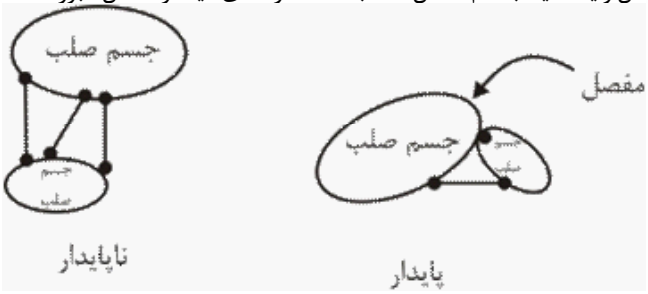
بنابراین در حالت کلی برای یک جسم صلب خواهیم داشت:

- یک جسم صلب
  - ناپایدار
    - ناپایدار مکانیکی (معین)
    - ناپایدار هندسی (نامعین)
      - آنی
      - دائمی
  - پایدار
    - معین
    - نامعین

۱-۷-پایداری یک سازه مرکب

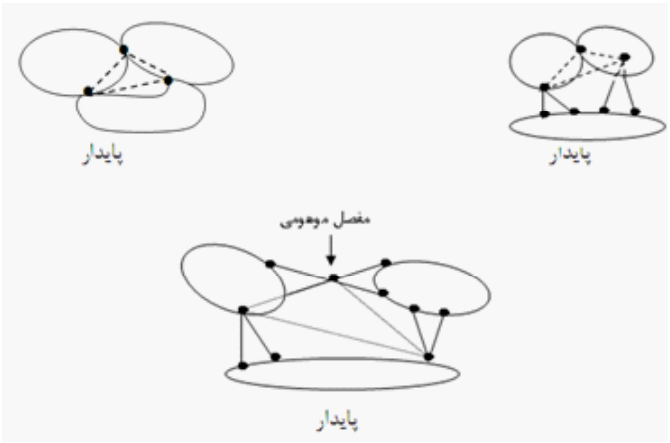
۱-۷-۱-پایداری سازه مرکب از دو جسم صلب:

اگر دو سازه صلب مورد نظر توسط سه میله غیرموازی و غیرمتقارب به هم متصل شده باشند، سازه مرکب پایدار خواهد بود. البته در صورتی که دو سازه صلب مذکور توسط یک مفصل و یک میله به هم متصل شده باشند که راستای میله از مفصل عبور نکند نیز سازه پایدار است.



۱-۷-۲-پایداری سازه مرکب از سه جسم صلب:

اگر سه جسم صلب مورد نظر توسط سه مفصل که در یک راستا نباشند به هم متصل شوند یا با ترکیبی از مفصل‌ها و میله‌ها به صورتی که محل اتصال میله‌ها با هم در راستای مفصل‌ها قرار نگیرند به هم متصل شوند، سازه پایدار خواهد بود.



نکته هر مفصل نماینده دو قید متقاطع است.
نکته: دو جسم صلب نیاز به سه قید برای پایداری دارند. سه جسم صلب نیز برای پایداری نیاز به ۶ قید دارند.

۱-۸-درجه نامعینی: تفاوت معادلات تعادل سازه با تعداد کل مجهولات، درجه نامعینی سازه است که برابر مجموع درجات نامعینی داخلی و خارجی سازه است. بدون شک درجه نامعین خارجی، آن تعداد از عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی است که از روابط معمول استاتیک، قابل برآورد نیستند. همچنین درجات نامعینی داخلی، تعداد مولفه نیروهای داخلی (نیروی محوری، برش وخمش) است که از روابط استاتیکی قابل محاسبه نخواهند بود.

۱-۸-۱- روابط برآورد درجه نامعینی سازه‌ها:

a) خرپای مسطح
$m =$ تعداد اعضای خرپا
$j =$ تعداد گره‌های خرپا
$r =$ تعداد عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی
$n = m + r - ۲j$ درجه نامعینی

b) خرپای فضایی
$m =$ تعداد اعضای خرپا
$j =$ تعداد گره‌های خرپا
$r =$ تعداد عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی
$n = m + r - ۳j$ درجه نامعینی

c) قاب مسطح
$m =$ تعداد اعضای قاب
$j =$ تعداد گره‌های قاب
$r =$ تعداد عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی
$c =$ تعداد معادلات شرطی
$n = (۳m + r) - (۳j + C)$

لازم به توضیح است که معادلات شرطی، معادلات اضافی‌ای هستند که از شرایط خاص داخلی قاب به‌دست می‌آیند. در مورد مفصل داخلی، تعداد این معادلات شرطی، برابر تعداد اعضای ختم شده به آن مفصل منهای یک و در مورد غلتک داخلی برابر ۲ هستند.

d) قاب فضایی
$m =$ تعداد اعضای قاب
$j =$ تعداد گره‌های قاب
$r =$ تعداد شرایط تکیه‌گاهی
$c =$ تعداد معادلات شرطی
$n = (۶m + r) - (۶j + C)$ درجه نامعینی

در این حالت اگر m عضو به یکدیگر مفصل شده باشند، تعداد معادلات شرطی برابر $C = ۳(m-۱)$ خواهد بود. (چرا که در این حالت مساله فضایی است و در مفصل می‌توان در سه جهت معادلات تعادل لنگر را نوشت).

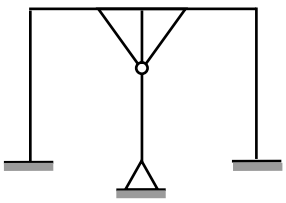
۱-۹- روش فضای بسته K

این روش فقط برای قاب‌های مسطح قابل استفاده است. اگر تعداد حلقه‌های بسته توسط اعضا (نه بین اعضا و زمین) برابر K، تعداد مولفه‌های واکنش تکیه‌گاهی r و معادلات شرطی c باشد، درجه نامعینی سازه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$n = ۳K + r - (C + ۳)$$

تست راهنما **۱- درجه نامعینی قاب زیر چند است؟** **(تالیفی)**

۱) ۹
۲) ۱۳
۳) ۶
۴) ۸

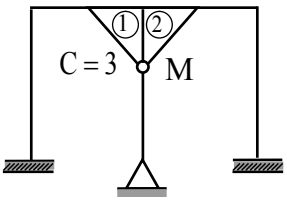


پاسخ تشریحی **گزینه ۴)**

با استفاده از روش فضای بسته K، همان‌طور که در شکل زیر دیده می‌شود، ۲ عدد فضای بسته توسط اعضا تولید شده است. ضمنا در مفصل داخلی M نیز۴ عضو به یکدیگر متصل شده‌اند، پس $۴-۱=۳$ معادله شرطی در سازه وجود خواهد داشت. واکنش‌های تکیه‌گاهی نیز ۳عدد برای هرتکیه گیردار و ۲ عدد برای تکیه‌گاه مفصلی محاسبه می‌شود. (در مجموع $۲\times۳+۲=۸$). پس خواهیم داشت:

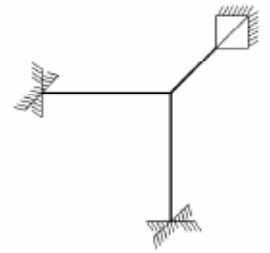
درجه نامعینی سازه $n=۳K+r-(C+۳)$

$n=۳\times۲+۸-(۳+۳)=۸$



تست راهنما **۲- درجه نامعینی قاب فضایی زیر چقدر است؟** **(تالیفی)**

۱) ۸
۲) ۱۰
۳) ۹
۴) ۷



پاسخ تشریحی **گزینه ۳)**

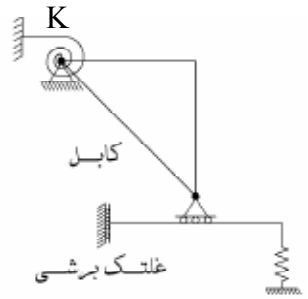
قاب فضایی $n=۶m+r-(۶j+C)$

$n=۶\times۳+(۶+۶+۳)-(۶\times۴+۰)=۹$

پس قاب بالا ۹ درجه نامعین است.

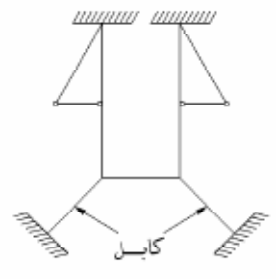
سوالات طبقه‌بندی شده فصل اول

۱- درجات نامعینی سازه شکل مقابل را حساب کنید؟ **(سراسری ۸۸)**



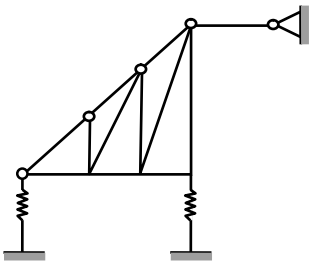
۱) یک درجه
۲) دو درجه
۳) سه درجه
۴) چهار درجه

۲- درجه نامعین سازه شکل مقابل را حساب کنید؟ **(سراسری ۸۷)**



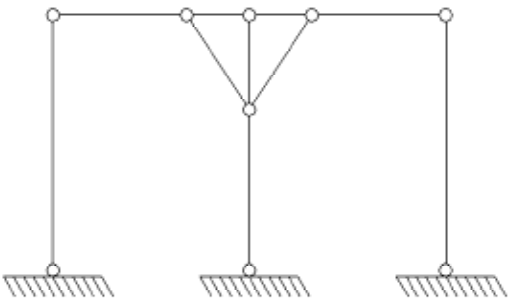
۱) سه درجه
۲) شش درجه
۳) هفت درجه
۴) یازده درجه

۳- درجات نامعین سازه شکل مقابل را تعیین کنید؟ **(سراسری ۸۷)**



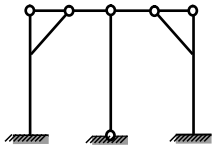
۱) ۳ درجه
۲) ۱۵ درجه
۳) ۹ درجه
۴) ۷ درجه

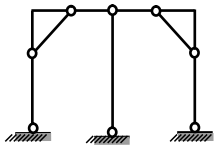
۴- قاب شکل مقابل نسبت به ستون وسط متقارن است. پایداری و معینی آن را بررسی کنید. **(سراسری ۸۷)**

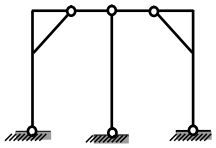


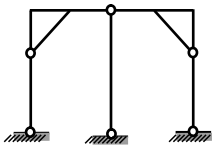
۱) $n = ۱$ ناپایدار
۲) $n = ۲$ پایدار
۳) $n = ۱$ پایدار
۴) $n = ۲$ ناپایدار

۵- کدام‌یک از سازه‌های زیر پایدار است؟ (کلیه سازه‌ها متقارن هستند) **(سراسری ۸۶)**

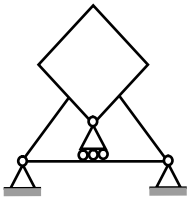
۱) 

۲) 

۳) 

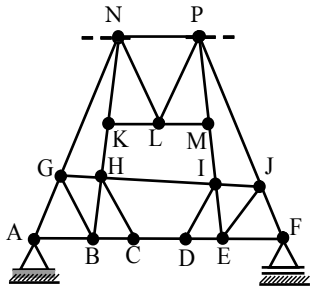
۴) 

۶- تعداد درجات نامعینی سازه مقابل را حساب کنید. **(سراسری ۸۶)**



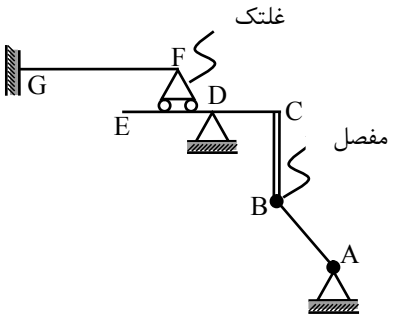
۱) ۴ درجه
۲) ۵ درجه
۳) ۶ درجه
۴) ۷ درجه

۷- خرپای شکل مقابل یک سازه: **(سراسری ۸۵)**



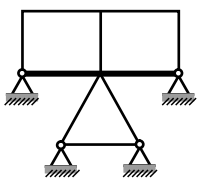
۱) معین و پایدار است.
۲) نامعین و پایدار است.
۳) به علت داشتن شبکه‌های چهار ضلعی ناپایدار است.
۴) یک خرپای مرکب است که به صورت ناپایدار از ترکیب چند خرپای ساده تشکیل شده است.

۸- در مورد پایداری سازه شکل زیر را می‌توان گفت : **(سراسری ۸۵)**



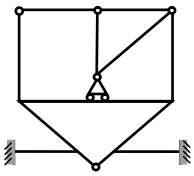
۱) نامعین است.
۲) پایدار و معین است.
۳) اگر امتداد AB از F بگذرد، ناپایدار خواهد بود.
۴) اگر امتداد AB از D بگذرد، ناپایدار خواهد بود.

۹- درجات نامعینی سازه مقابل را حساب کنید. **(سراسری ۸۵)**



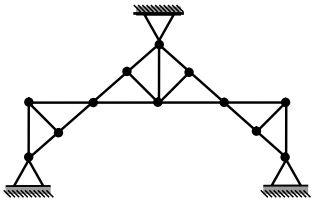
۱) ۶
۲) ۷
۳) ۸
۴) ۹

۱۰- درجه نامعینی سازه مقابل چقدر است؟ **(سراسری ۸۴)**



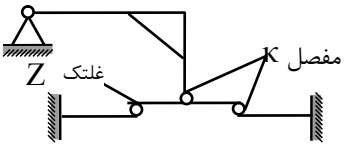
۱) ۶
۲) ۷
۳) ۸
۴) ۹

۱۱- خرپای مقابل: **(سراسری ۸۳)**



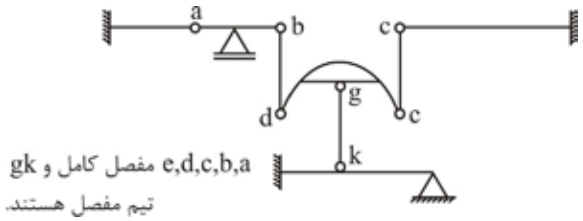
۱) ناپایدار است.
۲) پایدار و معین است.
۳) پایدار و ۲ درجه نامعین است.
۴) پایدار و ۳ درجه نامعین است.

۱۲- درجه نامعین سازه مقابل را تعیین کنید؟ **(سراسری ۸۳)**



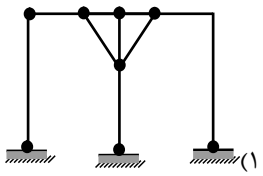
۱) ۳
۲) ۴
۳) ۵
۴) ۶

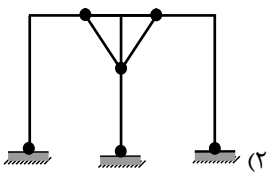
۱۳- در مورد پایداری و معین بودن سازه شکل مقابل می‌توان گفت: **(سراسری ۸۳)**

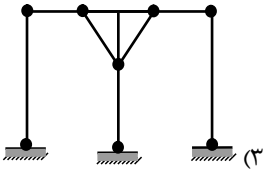


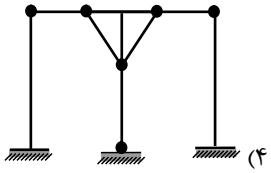
۱) سازه ناپایدار است.
۲) سازه معین است.
۳) سازه دو درجه نامعین است.
۴) سازه پایدار و ۵ درجه نامعین است.

۱۴- کدام یک از قاب‌های متقارن زیر پایدار است؟ **(سراسری ۸۲)**

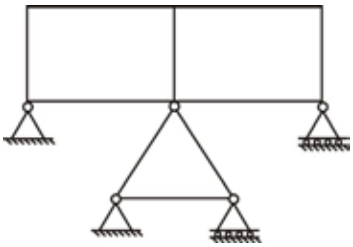
۱)


۲)


۳)


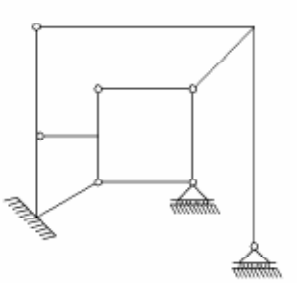
۴)


۱۵- سازه شکل مقابل چند درجه نامعین است. (سراسری ۸۲ و ۷۹)



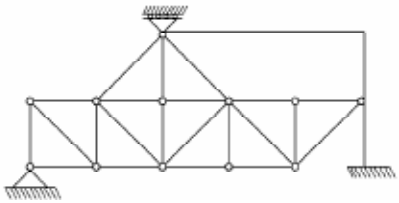
۱) ۶ درجه
۲) ۷ درجه
۳) ۸ درجه
۴) ۱۰ درجه

۱۶- درجه نامعین شکل روبرو کدام است؟ (سراسری ۸۱)



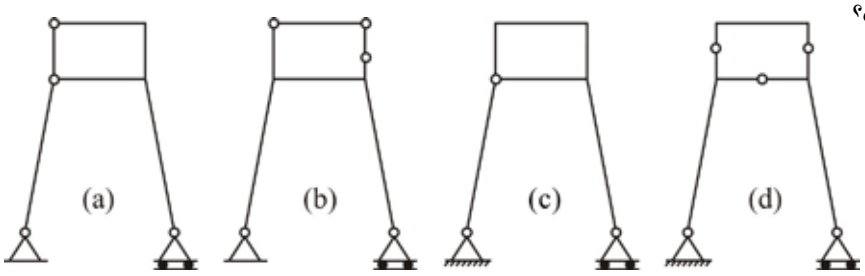
۱) ۲
۲) ۳
۳) ۴
۴) ۵

۱۷- درجه نامعین سازه زیر کدام گزینه است؟ (سراسری ۸۱)



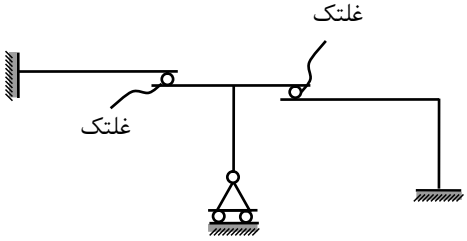
۱) سه
۲) چهار
۳) پنج
۴) شش

۱۸- کدام سازه، معین و پایدار است؟



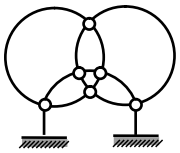
۱) d و c
۲) a و b
۳) a ,c
۴) d و b

۱۹- چگونگی حالت معین و پایداری سازه مقابل به ترتیب کدام است؟ (سراسری ۸۰)



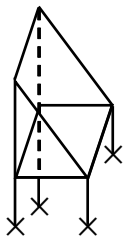
۱) معین، ناپایدار
۲) معین، پایدار
۳) نامعین، پایدار
۴) نامعین، ناپایدار

۲۰- درجه نامعینی سازه شکل مقابل چند است؟ **(سراسری ۷۹)**



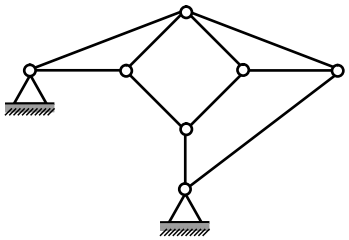
۱) دو
۲) سه
۳) چهار
۴) پنج

۲۱- درجه نامعین استاتیکی قاب سه بعدی زیر کدام است؟ **(سراسری ۷۸)**



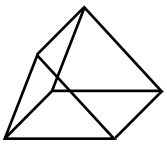
۱) ۲۴
۲) ۳۰
۳) ۴۲
۴) ۴۸

۲۲- سازه مفصلی مطابق شکل مقابل: **(سراسری ۷۷)**



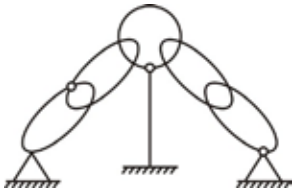
۱) ایزو استاتیک و ناپایدار است.
۲) ایزو استاتیک و پایدار است.
۳) هیپر استاتیک و پایدار است.
۴) هیپر استاتیک و ناپایدار است.

۲۳- خر پای مسطحه زیر ..... است. **(سراسری ۷۶)**



۱) معین و پایدار
۲) معین و ناپایدار
۳) نامعین و پایدار
۴) نامعین و ناپایدار

۲۴- درجه نامعینی سازه دو بعدی زیر کدام است؟ **(سراسری ۷۵)**

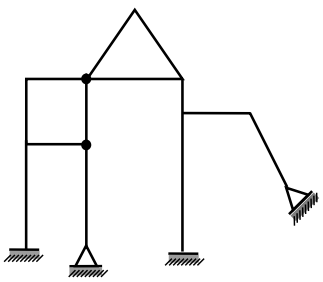


۱) ۲۲
۲) ۲۴
۳) ۲۶
۴) ۲۸

۲۵- یک قاب دو بعدی مستطیلی با تکیه‌گاه‌های گیردار دارای N دهانه و M طبقه است. اگر S دهانه سازه تا بالا دارای بادبند ضربدری باشد، درجه نامعینی قاب برابر است با: **(سراسری ۷۴)**

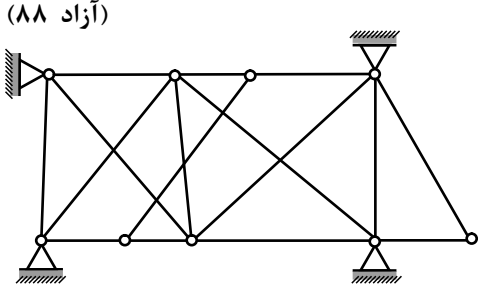
۱) $۳M(N+S)$ ۲) $M(۳N+۲S)$ ۳) $۲M(N+S)$ ۴) $M(۲N+۳S)$

۲۶- قاب نشان داده شده در شکل چند درجه نامعین است؟ **(سراسری ۷۳)**



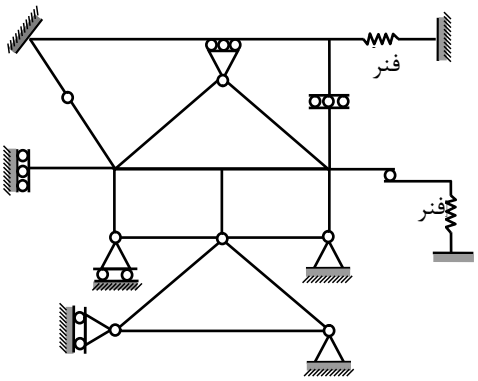
۱) ۶
۲) ۸
۳) ۹
۴) ۷

۲۷- کدام گزینه در مورد خرپای نشان داده شده صحیح می‌باشد؟ (آزاد ۸۸)



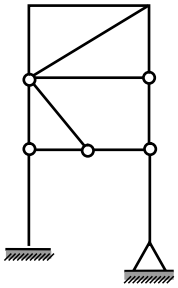
۱) پایدار و معین
۲) ناپایدار داخلی
۳) پایدار و نامعین
۴) ناپایدار خارجی

۲۸- درجه نامعین سازه نشان داده شده کدام است؟ (آزاد ۸۸)



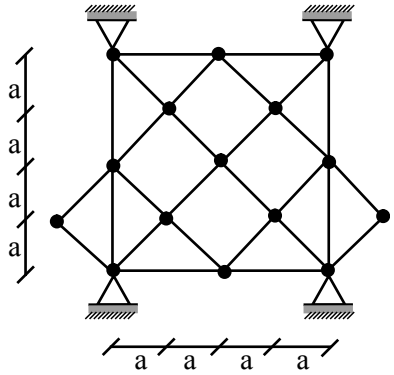
۱) ۱۸ درجه
۲) ۱۶ درجه
۳) ۱۹ درجه
۴) ۱۷ درجه

۲۹- کدام گزینه در مورد قاب شکل زیر صحیح است؟ (آزاد ۸۷)



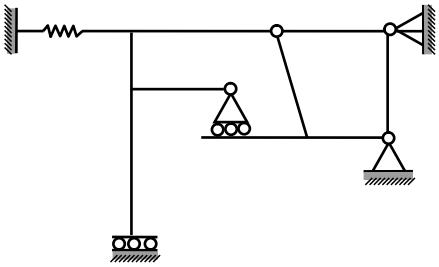
۱) ناپایدار و دو درجه نامعین
۲) پایدار و دو درجه نامعین
۳) ناپایدار و سه درجه نامعین
۴) پایدار و معین

۳۰- کدام گزینه در مورد پایداری و معینی خرپای نشان داده شده صحیح می‌باشد؟ (آزاد ۸۷)



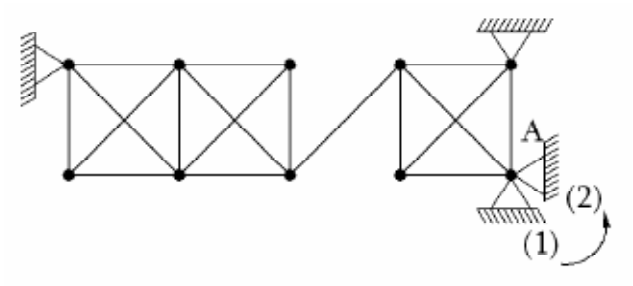
۱) ناپایدار و نامعین
۲) پایدار و معین
۳) پایدار و نامعین
۴) ناپایدار و معین

۳۱- سازه شکل زیر چند درجه نامعین است؟ **(آزاد ۸۷)**



۱) ۵ درجه
۲) ۴ درجه
۳) ۶ درجه
۴) ۷ درجه

۳۲- چنانچه در خرپای نشان داده شده تکیه‌گاه A به اندازه ۹۰ درجه در جهت مثلثاتی بچرخد و وضعیت آن از حالت (۱) به (۲)تبدیل گردد ؟ کدام گزینه صحیح می‌باشد؟ **(آزاد ۸۶)**



۱) سازه در حالت (۱) پایدار و در حالت (۲) ناپایدار می‌باشد.
۲) سازه در هر حالت پایدار می‌باشد.
۳) سازه در هر حالت ناپایدار می‌باشد.
۴) سازه در حالت (۱) ناپایدار و در حالت (۲) پایدار می‌باشد.

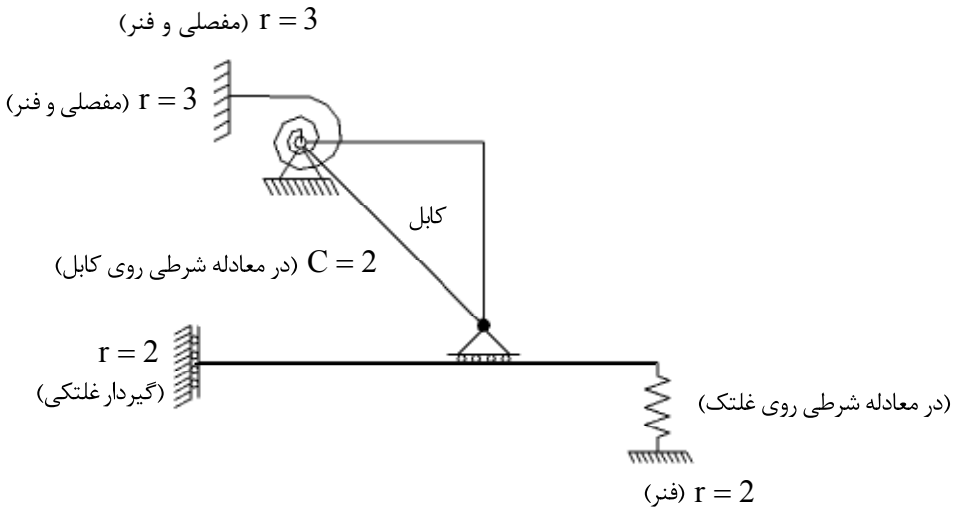
پاسخ‌نامه تشریحی سوالات فصل اول

۱- گزینه ۲)

با اســتفاده از روش فضای بســته K مسایل این تیپ به راحتی قابل تحلیل هستند، کافی است تعداد حلقه‌های بسته، واکنش‌های تکیه‌گاهی و معادلات شرطی تعیین شوند. برای این مساله خواهیم داشت:

تعداد فضای بسته $K = ۱$

(فضایی که از هر طرف توسط اعضای سازه بسته شده باشد).



$$n = ۳K + r - (C + ۳) = ۳ \times ۱ + (۳ + ۲ + ۱) - (۲ + ۲ + ۳) = ۲$$

لازم به ذکر اســت که فضاهایی، از یک طرف به اعضای ســازه و از طرف دیگر به زمین محدود شــده باشند، جزو فضای بسته (عدد K) محاسبه نخواهند شد.

۲- گزینه ۳)

دوباره با استفاده از روش فضای بسته K، با توجه به اینکه هر مفصل با دو عضو متصل، یک معادله شرطی تولید می‌کند؛ $C = ۴ \times ۱ + ۲ \times ۲ = ۸$،

تعداد فضای بسته $K = ۲$ و چهار تکیه‌گاه گیردار $r = ۴ \times ۳ = ۱۲$ خواهیم داشت:

$$n = ۳K + r - (C + ۳) = ۳ \times ۲ + ۱۲ - (۸ + ۳) = ۷$$

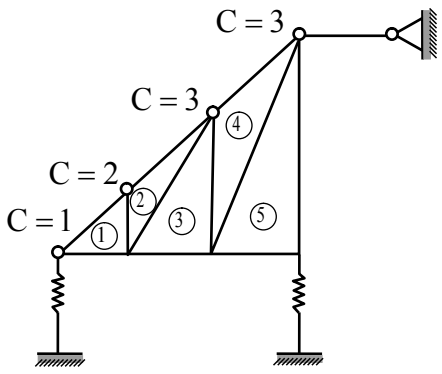
۳- گزینه ۴)

تعداد فضای بسته $K = ۵$

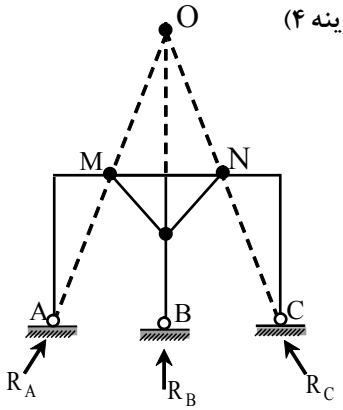
تعداد مجهولات تکیه‌گاهی $r = ۴$

تعداد معادلات شرطی $C = ۱ + ۲ + ۳ + ۳ = ۹$

$$\therefore \quad n = ۳ \times ۵ + ۴ - (۹ + ۳) = ۷$$



۴- گزینه ۴)



$r = ۶$

$k = ۲$

$c = ۲+۲+۳ = ۷$

$\therefore \quad n = ۳k + r - (C+۳) = ۳\times۲ + ۶ - (۷+۳)$

$n = ۲$ (درجه نامعینی سازه)

برای کنترل پایداری سازه، با استفاده از روابط تعادل لنگر حول نقطه‌های N و M خواهیم داشت.

$\Sigma M_M = ۰ \Rightarrow$ راستای واکنش تکیه‌گاهی R_A در امتداد AO است.

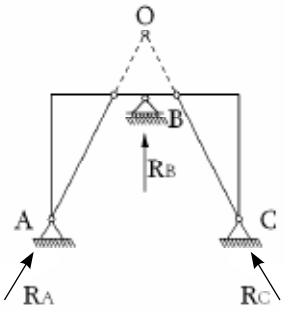
$\Sigma M_N = ۰ \Rightarrow$ راستای واکنش تکیه‌گاهی R_C در امتداد CO است.

بنابراین با توجه به تقارن سازه، واکنش‌های تکیه‌گاهی R_A و R_B و R_C در یک نقطه متقارب هستند و سازه ناپایدار است.

۵- گزینه ۱)

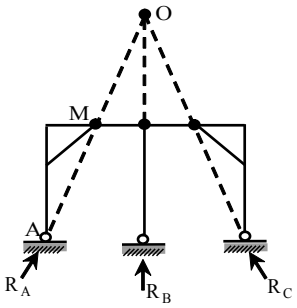
با توجه به نکته‌ای که در تست قبل توضیح داده شد، سازه‌های نشان داده شده در گزینه‌های (۲) تا (۴) ناپایدارند (واکنش‌های تکیه‌گاهی متقارب روی اشکال زیر نشان داده شده‌اند)

: سازه معادل گزینه (۲)



(واکنش‌های R_A و R_B و R_C در O متقاربند)

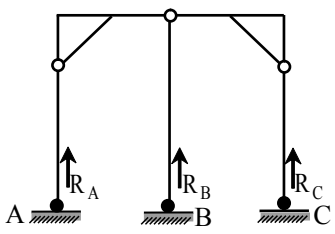
:سازه گزینه (۳)



(واکنش‌های R_A و R_B و R_C متقاربند)

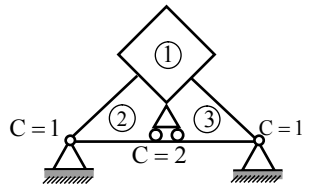
سازه گزینه (۴)

(واکنش‌های R_A و R_B و R_C موازی‌اند، پس سازه ناپایدار است.)



۶- گزینه ۳)

$K = ۳$
$C = ۴$
$r = ۴$
$\therefore\ n = ۳K + r - (C + ۳) = ۳ \times ۳ + ۴ - (۴ + ۳) = ۶$



توجه به این نکته ضروری است که برای غلتک داخلی، همواره دو معادله شرطی خواهیم داشت $(C = ۲)$

۷-گزینه ۱)

برای خرپاها، تعداد درجات نامعین استاتیکی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

درجات نامعین استاتیکی = (تعداد گره‌ها) × ۲ − تعداد واکنش‌های تکیه‌گاهی + تعداد اعضا
- معین استاتیکی $= ۰$
- نامعین استاتیکی > ۰
- ناپایدار استاتیکی < ۰

در حالت اول و دوم، پایداری هندسی سازه باید جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

خرپا معین استاتیکی است $\Rightarrow ۲۷ + ۳ - ۲ \times ۱۵ = ۰$ = درجات نامعین استاتیکی مساله

از سوی دیگر، خرپای بالا از ترکیب سه خرپای کوچک‌تر ساده و پایدار ACGH، DIJF و NKPM که توسط اعضا غیرموازی و غیرمتقاطع KH، PJ، MI، KH و HICD تشکیل شده، پس یک سازه پایدار است.

۸- گزینه ۴)

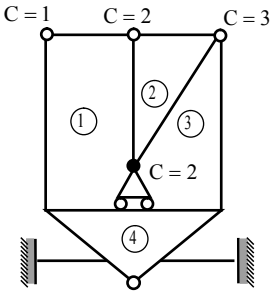
با توجه به شکل هندسی و شرایط تکیه‌گاهی سازه، واضح است که اگر امتداد AB از نقطه D عبور کند، سازه به صورت آنی و حول نقطه D دچار ناپایداری هندسی خواهد شد.

۹- گزینه ۳)

$K = ۳$
$r = ۶$
$C = ۴$ (دو معادله شرطی برای غلتک داخلی و یک معادله برای هر تکیه‌گاه مفصلی)
$\therefore\ n = ۳K + r - (C + ۳) = ۳ \times ۳ + ۶ - (۴ + ۳) = ۸$

۱۰-گزینه ۲)

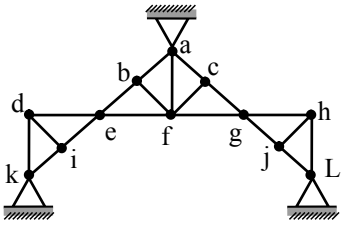
$K = ۴$
$r = ۶$
$C = ۸$
$\therefore\ n = ۳ \times ۴ + ۶ - (۸ + ۳) = ۷$

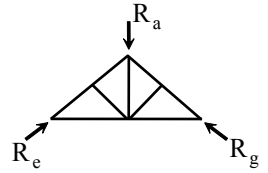


۱۱-گزینه ۱)

با توجه به اصول تعادل نیرو در جهات افقی و قائم، به راحتی می‌توان دریافت که هرگاه دو عضو دو سر مفصل در یک گره متصل باشند و هیچ بار متمرکزی به آن گره اعمال نشود در ضمن دو عضو در یک راستا نباشند، هر دو عضو صفر نیرویی خواهند بود.

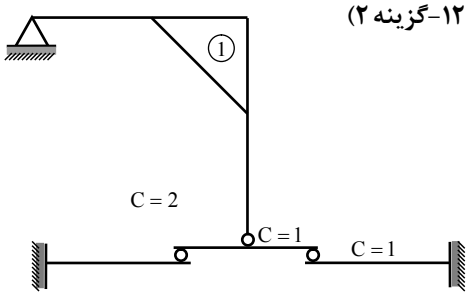
بنابراین اعضای de، di، dk، hl، hj و hg صفر نیرویی بوده و شرایط تکیه‌گاهی خرپای بالایی به صورت زیر است.





یعنی واکنش‌های تکیه‌گاهی متقارب بوده و خرپا ناپایدار است.

۱۲-گزینه ۲)



$K = ۱$
$r = ۳ + ۳ + ۲ = ۸$
$C = ۴$
$\therefore\ n = ۳ \times ۱ + ۶ - (۵ + ۴) = ۴$

۱۳-گزینه ۱)

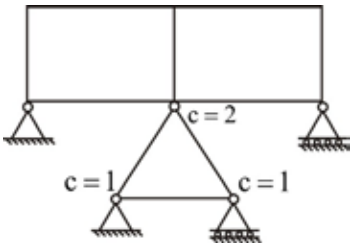
با توجه به موازی بودن اعضا دو سر مفصل bd ، ce و gk قوس de ناپایدار هندسی خواهد بود.

۱۴-گزینه ۴)

این تست مشابه تست شماره ۵ است. در گزینه‌های ۱، ۲ و ۳ تمامی تکیه‌گاه‌ها مفصلی بوده و احتمال دارد تحت بارگذاری خاصی واکنش‌های تکیه‌گاهی در یک نقطه همرس شود. در نتیجه سازه شرط معادله لنگر را ارضا نمی‌کند و ناپایدار خواهد بود.

۱۵- گزینه ۳)

وضعیت مفصل داخلی به صورت شکل مقابل است.



$m = ۳$ تعداد اعضای منتهی به مفصل
$۳ - ۱ = ۲$ = تعداد معادلات شرطی این مفصل
$C = ۲ + ۱ + ۱ = ۴$ تعدادکل معادلات شرطی سازه
$K = ۳$ تعداد فضاهای بسته
$r = ۲ + ۲ + ۱ + ۱ = ۶$ واکنش‌های تکیه‌گاهی
$n = (۳ \times ۳ + ۶) - (۴ + ۳) = ۸$ درجات نامعینی کل سازه

۱۶- گزینه ۲)

$K = ۳$
$r = ۵$
$c = ۸$ (مفصل کناری $C = ۱$)
$\therefore\ n = ۳ \times ۳ + ۶ - (۸ + ۳) = ۴$

۱۷- گزینه ۳)

$K = ۱۲$
$r = ۶$
$C = ۳۴$
$\therefore\ n = ۳ \times ۱۲ + ۶ - (۳۴ + ۳) = ۵$

توضیح این که در محاسبه C ، برای مفصل کناری سمت راست، مشابه دو تست قبل، $C = ۲$ و برای کلیه مفاصل داخلی، تعداد معادلات شرطی معادل اعضای منتهی به مفصل منهای ۱ هستند.

۱۸- گزینه ۴)

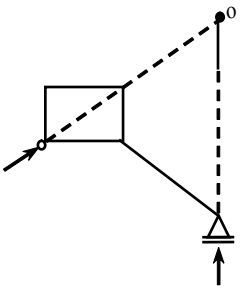
سازه a : $K_a = ۱$ ، $r_a = ۳$ ، $c_\alpha = ۳ \Rightarrow n = ۰$ معین

سازه b : $K_b = ۱$ ، $r_b = ۳$ ، $c_b = ۳ \Rightarrow n = ۰$ معین

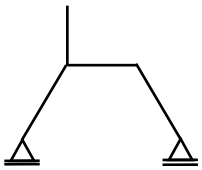
سازه c : $K_c = ۱$ ، $r_c = ۳$ ، $c_c = ۲ \Rightarrow n = ۱$ نامعین

سازه d : $K_d = ۱$ ، $r_d = ۳$ ، $c_d = ۳ \Rightarrow n = ۰$ معین

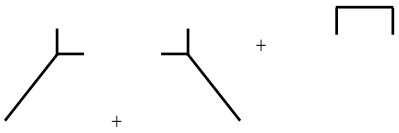
علت ناپایداری سازه های a و b این است که وجود مفصل روی گره پایین سمت چپ مربع بالایی، باعث می‌شود تا واکنش‌های تکیه‌گاهی سازه در یک نقطه متقارب باشند.



ولی سازه c از یک سازه پایدار (داخلی و خارجی) شکل زیر، به همراه دو میله و یک مفصل تشکیل شده که در نهایت کل سازه پایدار است.



در ضمن در سازه d نیز، ترکیب ۳ قطعه سازه پایدار مطابق شکل زیر را خواهیم داشت. پس این سازه نیز پایدار است.



۱۹-گزینه ۱)

$K = ۰$

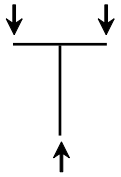
$r = ۷$

$C = ۲ \times ۲ = ۴$

$\therefore\ n = ۳ \times ۰ + ۷ - (۴ + ۳) = ۰$

پس سازه معین است.

اما بخش میانی سازه به صورت شکل مقابل، فقط دارای سه مولفه تکیه‌گاه موازی در امتداد قائم بوده و در جهت افقی هیچ عاملی برای مقابله با حرکت آن وجود ندارد، پس ناپایدار است.



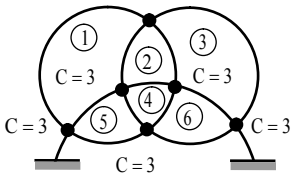
۲۰-گزینه ۲)

$K = ۶$

$r = ۶$

$C = ۶ \times ۳ = ۱۸$

$\therefore\ n = ۳ \times ۶ + ۶ - (۱۸ + ۳) = ۳$



۲۱- گزینه ۳)

برای یک قاب فضایی، اگر m تعداد اعضا، r تعداد واکنش‌های تکیه‌گاهی j تعداد گره‌ها و C تعداد معادلات شرطی باشد، درجه نامعینی قاب از

رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$n = ۶m + r - (۶j + C)$$

برای این مساله $m = ۱۳$

$r = ۴ \times ۶ = ۲۴$

$j = ۱۰$

$C = ۰$

$$\therefore\ n = ۶ \times ۱۲ + ۲۴ - (۶ \times ۱۰ + ۰) = ۴۲$$

۲۲-گزینه ۲)

(تعداد گره‌ها) × ۲- تعداد واکنش‌های تکیه‌گاهی + تعداد اعضا = درجه نامعینی خرپا

$n = ۱۰ + ۴ - ۲ \times ۷ = ۰ \Rightarrow$ سازه معین (ایزواستاتیک) است.

از طرفی این سازه از ترکیب دو خرپای پایدار که توسط یک میله به یکدیگر متصل شده‌اند، تشکیل شده است؛ پس سازه پایدار خواهد بود.

۲۳-گزینه ۴ یا ۲)

$$n = m + r - ۲j = ۹ + ۰ - ۲ \times ۶ = -۳$$

معینی یا نامعینی سازه بستگی به تعداد قید خارجی دارد.

با توجه به این که هیچ تکیه‌گاه خارجی برای سازه مشخص نشده است، رابطه بالا نشان‌دهنده این است که سازه ۳ درجه نامعین است. البته در صورتی که منظور مساله در نظر گرفتن معینی داخلی باشد، با فرض این که حداقل ۳ واکنش تکیه‌گاهی مناسب بر آن در نظر گرفته شده باشد، سازه معین داخلی خواهد بود.

اما از نظر پایداری، سازه بالا از دو خرپای مسطح مثلثی پایدار تشکیل شده که توسط سه عضو مفصلی موازی به یکدیگر متصل شده‌اند. پس از نظر خارجی، یک سازه ناپایدار خواهد بود.

۲۴-گزینه ۲)

روش فضای بسته K $K = ۹$

$r = ۵$

$C = ۵$

(شامل ۳ درجه در محل مفصل داخلی سمت چپ، یک درجه در محل مفصل وسط و یک درجه در محل مفصل تکیه‌گاه راست)

$$\therefore\ n = ۳ \times ۹ + ۵ - (۵ + ۳) = ۲۴$$ درجه نامعینی سازه

۲۵-گزینه ۲)

با فرض یک قاب ساده با دو دهانه $N = ۲$ و یک طبقه $M = ۱$ که یک دهانه آن بادبندی شده باشد $(S = ۱)$ به راحتی درستی گزینه بالا قابل بررسی است.

۲۶- گزینه ۲)

تعداد اعضا $m = ۱۳$

تعداد واکنش‌های تکیه‌گاهی $r = ۱۰$

تعداد گره‌ها $j = ۱۲$

تعداد معادلات شرطی $C = ۵$

$$n = ۳ \times ۱۳ + ۱۰ - (۳ \times ۱۲ + ۵) = ۸$$

۲۷-گزینه ۲)

با فرض این که نیروی قائم P به مفصل M وارد گردد، عضو MN وظیفه حمل این نیرو را به عهده خواهد داشت حال آن که نیروی محوری عضو MN درگره N توسط هیچ عضو دیگر قابل مهار نخواهد بود؛ پس سازه ناپایدار داخلی است.

۲۸-گزینه ۲)

روش فضای بسته K : $K = ۶$

$r = ۱۳$

$C = ۱۲$ (هر غلتک داخلی ۲ معادله شرطی حاصل می‌کند)

$$\therefore\ n = ۳ \times ۶ + ۱۳ - (۱۲ + ۳) = ۱۶$$

۲۹-گزینه ۱)

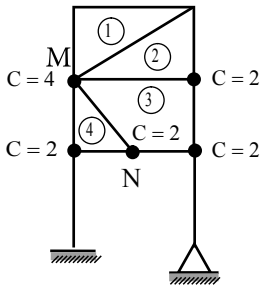
عضو مورب MN صفر نیرویی خواهد بود (به علت شرایط گره در مفصل N). بنابراین سازه در طبقه دوم (مقطعی که از عضو MN عبور کند) قادر به تحمل نیروی افقی نبوده و ناپایدار است.

K : روش فضای بسته $K = ۴$

$r = ۵$

$C = ۱۲$

$\therefore n = ۳ \times ۴ + ۵ - (۱۲ + ۳) = ۲$



پس سازه ناپایدار و دو درجه نامعین است.

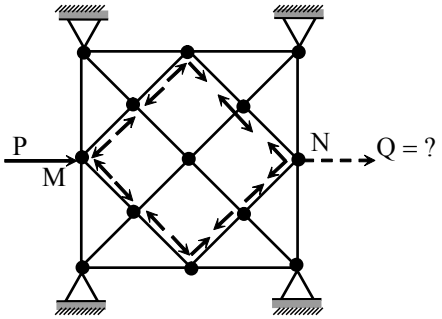
۳۰- گزینه ۱)

با حذف عناصر صفر نیرویی (با توضیح قبل، یعنی اعضا دو سر مفصلی که در محل مفصل هیچ بار متمرکزی به آن‌ها وارد نشده و همچنین اعضا در یک راستا نباشند)، شکل سازه به صورت زیر تبدیل می‌گردد.

حال با فرض اعمال نیروی P به نقطه M و توزیع نیروی بالا بین اعضای دو سر مفصل، در نقطه N نیروی افقی به سمت چپ حاصل می‌شود که نیاز به عاملی (مانند یک عضو افقی یا یک تکیه‌گاه افقی) جهت تامین نیروی Q و مقابله با نیروی افقی اعضای مورب خواهد داشت و با توجه به این که چنین عاملی در این سازه وجود ندارد، سازه ناپایدار است.

درجات نامعینی $n = m + r - ۲j = ۲۴ + ۸ - ۲ \times ۱۵ = ۲$

پس سازه دو درجه نامعین خواهد بود.



۳۱- گزینه ۲)

$K = ۲$

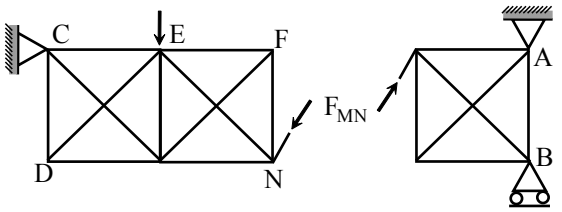
$r = ۲ \times ۳ + ۱ = ۷$ (برای فنری که به تکیه‌گاه گیردار متصل است $r = ۱$ خواهد بود)

$c = ۲ + ۲ + ۱ + ۱ = ۶$

$n = (۳ \times ۲ + ۷) - (۳ + ۶) = ۱۳ - ۹ = ۴$

۳۲- گزینه ۴)

در حالت اول، با فرض نیروی قائم P به مفصل E، شرایط تکیه‌گاهی سمت راست حکم می‌کند که عضو مورب MN صفر نیرویی باشد. در حالی که در سمت چپ عضو بالا، این عضو نمی‌تواند صفر نیرویی باشد.
پس سازه ناپایدار است.



$\sum M_C = \circ \Rightarrow F_{MN} \neq \circ$ $\quad$ $\sum M_A = \circ \Rightarrow F_{MN} = \circ$ (عضو صفرنیرویی است)

اما در حالت دوم، این مشکل به‌وجود نخواهد آمد و سازه پایدار خواهد بود. البته پایداری سازه از روش دیگری نیز قابل بررسی است چرا که در این حالت، قطعه سمت راست یک سازه پایدار داخلی و خارجی بوده و می‌توان در قطعه سمت چپ، در محل گره N به‌جای عضو MN، تکیه‌گاهی در امتداد بالا در نظر گرفت (شکل روبه‌رو). با توجه به هندسه و شرایط تکیه‌گاهی این سازه، سازه پایدار داخلی و خارجی خواهد بود.