

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

press.um.ac.ir

press.um.ac.ir



نگره ماتریسی تحلیل سازه‌ها

چاپ پنجم

دکتر محمد رضایی پزند
استاد دانشگاه فردوسی مشهد

سرشناسه:
عنوان و نام پدیدآور:
مشخصات نشر:
مشخصات ظاهری:
فروست:
شابک:
یادداشت:
یادداشت:
موضوع:
موضوع:
موضوع:
شناسه افزوده:
رده‌بندی کنگره:
رده‌بندی دیویی:
شماره کتابشناسی ملی:

رضایی پزند، محمد، ۱۳۲۸ -
نگره ماتریسی تحلیل سازه‌ها/ پدیدآورنده محمد رضایی پزند؛ ویراستار سیداحمد انوار.
مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۹.
۵۶۸ ص. مصور، جدول، نمودار.
انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۱۸۷.

ISBN: 978-964-386-176-6

چاپ پنجم.
کتابنامه. واژه‌نامه. نمایه.
تحلیل سازه -- روش‌های ماتریسی.
Structural analysis (Engineering) -- Matrix methods
Matrices
ماتریس‌ها.
دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.
TA۶۴۲
۶۲۴/۱۷۱
۶۰۶۱۰۲۳

نگره ماتریسی تحلیل سازه‌ها

پدیدآورنده: دکتر محمد رضایی پزند
ویراستار علمی: دکتر سیداحمد انوار
مشخصات: وزیری، ۱۵۰ نسخه، چاپ پنجم، پاییز ۱۳۹۹ (اول، ۱۳۷۴)
چاپ و صحافی: چاپخانه دقت
بها: ۸۵۰/۰۰۰ ریال
حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.



مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس
تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶ - ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)
مؤسسه کتابیران: تهران، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی‌نژاد، بین خیابان فروردین و اردیبهشت،
شماره ۲۳۸، تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵ - ۶۶۴۹۴۴۰۹ (۰۲۱)
مؤسسه دانشوران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲
تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ - ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

<http://press.um.ac.ir>

Email: press@um.ac.ir

نمایه نشانه ها

U	تابع کار مایه (انرژی) تغییر شکل
ΔT	تغییر درجه حرارت
$\{\delta D\}, \{\delta D\}_I, \{\delta D\}_E$	تغییر مکانهای مجازی
$\{D\}, \{D\}_G, \{D\}_E, \{D\}_J, \{D\}_h, \{D\}_I, \{D\}_A, \{D\}_R, \{D\}_{II}, \{D\}$	تغییر مکانهای گرمی
$\{D\}_c, \{D\}_r, \{D\}_L, \{D\}_S, \{D\}_{EL}, \{D\}_{EG}, \{D\}_{G,G'}$	
e	خطا در نصب
T_c, T_p, T_h	درجه حرارت
A	سطح مقطع
AG	صلبیت بُرشی
GJ	صلبیت پیچشی
EI	صلبیت خمشی
EA	صلبیت محوری
α_l	ضریب انبساط طولی
G	ضریب بُرشی
f_s	ضریب شکل بُرشی
E	ضریب کشسانی
L, L_p	طول
$\delta W, \delta W_E, \delta W_I$	کار مجازی
$C_{xx}, C_{xy}, C_{xz}, C_{yx}, C_{yy}, C_{yz}, C_{zx}, C_{zy}, C_{zz}$	کسینوس هادی
M, M_R, M_V	لنگر خمشی
I, I_x, I_y, I_z, J	لنگر لختی مقطع
$[S], [S]_C, [S]_G, [S]_I, \delta[S]_I, [S]_{EL}, [S]_{EG}, [S]_{II}, [S]_{ij}$	ماتریس سختی
$[S]_{uu}, [S]_{uc}, [S]_{cu}, [S]_{G,G'}$	
$[R], [R]_I, [R]_p, [R]_r, [R]_j$	ماتریس مبدل
$[E], [E]_L, [E]_R, [E]_S$	ماتریس مبدل نیرویی
$[F], [F]_{uu}, [F]_{uc}, [F]_{cc}, [F]_E, [F]_G, [F]_I, [F]_{LL}, [F]_{LR}$	ماتریس نرمی
$[F]_{RR}, [F]_L$	
$[M]_{LL}$	ماتریس نیروهای عضوی

$[T]$

V, V_R, V_V

N, N_R, N_V

$\{P\}, \{P\}_C, \{P\}_G, \{P\}_E, \{P\}_I, \{P\}_F, \{P\}_S, \{P\}_J, \{P\}_h,$

$\{P\}_A, \{P\}_R, \{P\}_u, \{P\}', \{P\}_{EL}, \{P\}_{EG}, \{P\}_{ij}, \{P\}_{G,G'}$

$\{F\}_b$

$\{\delta P\}, \{\delta P\}_I, \{\delta P\}_E$

ماتریس نیم نوار مستطیلی

نیروهای بُرشی

نیروهای محوری

نیروهای گرهی

نیروهای میانی

نیروهای مجازی

فهرست مطالب

دیباچه

فصل اول - پیش نیاز تحلیل ماتریسی

- ۱
 - ۳
 - ۳
 - ۳
 - ۶
 - ۸
 - ۹
 - ۱۰
 - ۱۱
 - ۱۲
 - ۱۴
 - ۱۶
 - ۱۹
 - ۲۰
 - ۲۷
 - ۲۸
- ۱-۱- پیشگفتار
 - ۲-۱- تعریف انواع ماتریسها
 - ۳-۱- عملیات ماتریسی
 - ۴-۱- زیرماتریسها
 - ۵-۱- ترانهادۀ ماتریسها
 - ۶-۱- دترمینان
 - ۷-۱- وارون یک ماتریس
 - ۱-۷-۱- روش ماتریس وابسته
 - ۲-۷-۱- وارون سازی با علمیات سطری
 - ۳-۷-۱- وارون ماتریس به روش جداسازی
 - ۸-۱- حل معادلات به وسیلۀ وارون سازی ماتریس
 - ۹-۱- روش حذفی گوس
 - ۱۰-۱- حل دستگاه معادلات به وسیلۀ تجزیه ماتریس ضرایب
 - ۱-۱۰-۱- تجزیه گوس

- ۳۳ ۱-۱۰-۲- تجزیه چولسکی
- ۴۶ ۱-۱۰-۳- درباره تجزیه ماتریسها
- ۴۷ ۱-۱۱- روشهای تکراری حل دستگاه معادلات
- ۵۳ ۱-۱۲- گزیده فصل اول
- ۵۴ ۱-۱۳- تمرینهای فصل اول
- ۵۹ فصل دوم- آشنایی با ماتریس سختی
- ۵۹ ۲-۱- پیشگفتار
- ۶۰ ۲-۲- تاریخچه مختصر
- ۶۱ ۲-۳- تعریفها و فرضها
- ۶۳ ۲-۴- ماتریس سختی
- ۶۵ ۲-۵- محورهای مختصات محلی و کلی
- ۶۸ ۲-۶- ماتریس سختی عضو
- ۷۵ ۲-۷- محاسبه ماتریس سختی عضو باروهای کار مجازی
- ۸۳ ۲-۸- استفاده از قضایای کاستیلیانو در محاسبه ماتریس سختی عضو
- ۹۱ ۲-۹- روشهای دیگر محاسبه ماتریس سختی عضو
- ۹۴ ۲-۱۰- ماتریس سختی چند عضو
- ۱۰۴ ۲-۱۱- ماتریس سختی اعضای نامنشوری
- ۱۲۲ ۲-۱۲- گزیده فصل دوم
- ۱۲۳ ۲-۱۳- تمرینهای فصل دوم
- ۱۲۷ فصل سوم- ماتریس سختی سازه
- ۱۲۷ ۳-۱- پیشگفتار
- ۱۲۸ ۳-۲- ماتریس مبدل
- ۱۳۳ ۳-۳- ماتریس سختی عضو در محورهای کلی
- ۱۳۵ ۳-۴- ماتریس سختی عضو خرابای مستوی در محورهای کلی
- ۱۳۹ ۳-۵- سوار نمودن ماتریسهای سختی اعضا

۱۴۵	۳-۶- شرایط مرزی
۱۵۰	۳-۷- ماتریس سختی عضو قاب مستوی
۱۵۸	۳-۸- چشم پوشی از اثرات برشی و محوری
۱۷۲	۳-۹- بارهای میانی
۱۸۷	۳-۱۰- گامهای محاسباتی روش سختی
۱۹۸	۳-۱۱- گزیده فصل سوم
۱۹۹	۳-۱۲- تمرینهای فصل سوم
۲۰۳	فصل چهارم - سازه های فضایی و چند روش حل معادلات حاکم
۲۰۳	۴-۱- پیشگفتار
۲۰۴	۴-۲- تحلیل شبکه ها
۲۲۲	۴-۳- تحلیل خرپاهای فضایی
۲۴۰	۴-۴- تحلیل قابهای فضایی
۲۶۸	۴-۵- ویژگیهای ماتریس سختی
۲۷۰	۴-۶- ویژگیهای روش سختی
۲۷۲	۴-۷- ماتریس سختی نواری
۲۸۰	۴-۸- روش آسمان خراش
۲۸۳	۴-۹- روش جبهه ای
۲۸۹	۴-۱۰- گزیده فصل چهارم
۲۹۰	۴-۱۱- تمرینهای فصل چهارم
۲۹۵	فصل پنجم - ادامه روش سختی
۲۹۵	۵-۱- پیشگفتار
۲۹۶	۵-۲- کم سازی درجات آزادی
۳۰۳	۵-۳- پاره سازی سازه ها
۳۱۵	۵-۴- ناپیوستگی عضوی
۳۲۶	۵-۵- اثرات حرارت، خطا در نصب، و نشست تکیه گاهی

- ۳۴۳ ۶-۵- تغییر مکانهای معین
 ۳۴۷ ۷-۵- وارد ساختن شرایط مرزی
 ۳۵۰ ۸-۵- تحلیل‌های پیاپی
 ۳۶۶ ۹-۵- دوران محورهاى اصلی
 ۳۶۸ ۱۰-۵- تکیه گاه‌های مورب غلتکی
 ۳۷۷ ۱۱-۵- روابط شرط
 ۳۸۵ ۱۲-۵- گزیده فصل پنجم
 ۳۸۶ ۱۳-۵- تمرینهای فصل پنجم

فصل ششم - روش نرمی

- ۳۹۳ ۱-۶- پیشگفتار
 ۳۹۴ ۲-۶- روش نرمی
 ۳۹۵ ۳-۶- ماتریس نرمی عضو
 ۴۰۵ ۴-۶- ماتریس نرمی چند عضو
 ۴۲۱ ۵-۶- ماتریس مبدل نیرویی
 ۴۳۰ ۶-۶- ماتریس نرمی سازه
 ۴۴۳ ۷-۶- تغییر شکل اولیه در سازه‌های معین
 ۴۵۸ ۸-۶- تحلیل سازه‌های معین با روش نرمی
 ۴۶۹ ۹-۶- ماتریس نرمی سازه‌های نامعین
 ۴۹۰ ۱۰-۶- تغییر شکل اولیه و سازه‌های نامعین
 ۵۰۷ ۱۱-۶- گامهای تحلیل سازه‌های نامعین
 ۵۲۱ ۱۲-۶- گزیده فصل ششم
 ۵۲۳ ۱۳-۶- تمرینهای فصل ششم

منابع

- ۵۲۹ پیوست - برنامه‌های رایانه‌ای
 ۵۳۱ ۱- جمع دو ماتریس
 ۵۳۱

۵۳۲	۲- ترانهاده ماتریس
۵۳۲	۳- ضرب دو ماتریس
۵۳۳	۴- وارون ماتریس
۵۳۴	۵- روش حذفی حل دستگاه معادلات
۵۳۵	۶- سوار کردن ماتریس سختی کل سازه
۵۳۹	واژه نامه فارسی به انگلیسی
۵۴۷	واژه یاب

press.um.ac.ir

دیباچه

همزمان با پیشرفتهای شگرف بشر در نیمه دوم قرن بیستم، تحلیل و ساخت سازه های بزرگ و پیچیده، بیش از پیش گسترش یافت. در این دوره، تحلیل ماتریسی سازه ها و رایانه، به صورت مبنای علمی و ابزار با ارزشی، کارایی خود را آشکار ساخت. از این رو، تدریس «نگره ماتریسی تحلیل سازه ها» در گام نخست، در دوره های کارشناسی ارشد؛ و به دنبال آن، در سالهای آخر دوره کارشناسی انجام شد. هم اکنون نیز بیشتر سازه های بزرگ، با روشهای ماتریسی تحلیل می گردند، و این فنون به دانشجویان رشته های مهندسی عمران و سازه تدریس می شوند.

تاکنون کتابهای زیادی در زمینه تحلیل ماتریسی سازه ها در سطح جهان به چاپ رسیده است. پاره ای از این کتابها را اساتید ارجمند ایرانی به زبان فارسی برگردانیده اند. نویسنده نیز چند سالی از منابع نامبرده برای تدریس «تحلیل ماتریسی سازه ها» استفاده کرده است. تجربه های به دست آمده از این رهگذر، بر این نکته تأکید دارند که با وجود ترجمه های خوب در دسترس، دانشجویان نمی توانند همه نیازهای خود را از این کتابها به دست آورند. به سخن دیگر، بهتر است که دوشادوش ترجمه های بیشتر از آثار مهم خارجی، تألیفات فارسی نیز منتشر شود، تا ضمن بالا بردن سطح علمی و «به روز رسانی دانش»، نیازهای دانشجویان ایرانی نیز در آنها منظور گردند. اینها پاره ای از دلیلهای برانگیختن انگیزه نوشتن این کتاب می باشند.

این نخستین کتابی است که به زبان فارسی و درباره تحلیل ماتریسی سازه‌ها نگارش می‌شود. نوشته‌ای که از نظر خوانندگان خواهد گذشت برای آموزش دانشجویان و دانش‌آموختگان تهیه شده است. در راستای این هدف، بخشهای کتاب به گونه‌ای آماده می‌گردد که انتقال مفاهیم را با آسانی انجام دهند. مبانی اصلی تحلیل ماتریسی سازه‌ها به همراه مثالهای عددی فراوان آورده شده‌اند، تا کاربرد رابطه‌های ریاضی بطور کامل روشن گردد. افزون بر اینها، در پایان هر بخش تمرینهایی برای حل درج شده تا خوانندگان آنها را انجام داده و فراگیری خود را هرچه بیشتر عمیق سازند. از واحدهای دستگاه خاصی در مثالها و تمرینها استفاده نشده و همه آنها به صورت کلی ارائه گردیده‌اند. بدین سبب نیازی به تغییر واحدها برای هیچ منظوری نیست. شایان توجه است که بیشتر مسأله‌های نامبرده، پیش از درج در این نوشته به دانشجویان داده شده و مفید بودن آنها مورد تأیید قرار گرفته است.

در پایان به دو نکته دیگر پرداخته می‌شود: نخست، آن که از یک سو کوشش خواهد شد جزئیات نگره ماتریسی تحلیل سازه‌ها به صورت مناسبی تشریح گردد، و از سوی دیگر هر جا که نیاز باشد با تکرار بر مطالب مهم تأکید شود. به همراه این هدف، نظم ارائه و اختصار نویسی نیز دنبال می‌گردد. نکته دوم درباره کمک بی‌شائبه همکاران و دانشجویانی است که به گونه‌ای در تهیه این کتاب، نویسنده را یاری نموده‌اند. از میان آنها باید از آقای دکتر سیداحمد انوار، ویراستار علمی اثر؛ و همچنین آقای ایرج قدرت، ویراستار ادبی کتاب، یاد کرد. ضمن سپاسگزاری از همکاریهای عزیزان نامبرده، امید است که همه آنها در خدمت علمی خود هرچه بیشتر موفق باشند. با همه اینها، نویسنده اعتقاد راسخ دارد نوشته کنونی دارای کاستیهایی است که با همکاری دانشمندان و نیز دانش پژوهان، مشخص و مرتفع خواهد شد. اگر همکاریهای علمی در این باره ادامه یابد، امید می‌رود که در آینده کتاب بدون ایرادی ارائه گردد. خوانندگان گرامی می‌توانند نظرهای خود را به نشانی: گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایفاد دارند.