

دینامیک ماشین و مسائل منتخب

مؤلفین

دکتر مصطفی غیور

مهندس حشمتا... محمد خانلو



مرکز انتشارات
جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان

واحد صنعتی اصفهان

رده‌بندی کنگره	TJ ۱۷۵/ع۹۵۹ :
شماره کتابشناسی ملی	۴۱۲۱۰-۸۵ م :
سرشناسه	غیور، مصطفی، ۱۳۳۰- :
عنوان و نام پدیدآور	دینامیک ماشین و مسائل منتخب آن/ تألیف مصطفی غیور، حشمت‌الله محمد خانلو :
وضعیت نشر	اصفهان: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، ۱۳۸۵.
مشخصات ظاهری	۱۲، ۶۵۱ ص. :
شابک	۹۷۸-۹۶۳-۶۱۲۲-۷۸-۹ :
یادداشت کلی	فیا :
موضوع	ماشین‌آلات -- حرکت‌شناسی.
موضوع	حرکت مکانیکی.
شناسه افزوده	محمد خانلو، حشمت‌الله، ۱۳۳۷- :
شناسه افزوده	جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
رده‌بندی دیویی	۶۲۱/۸۲ :

نام کتاب	دینامیک ماشین و مسائل منتخب آن :
تألیف	دکتر مصطفی غیور - مهندس حشمت‌الله محمد خانلو :
ناشر	جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان - مرکز انتشارات :
نوبت چاپ	اول :
تاریخ نشر	بهار ۱۳۸۶ :
شمارگان	۲۰۰۰ جلد :
تعداد صفحات	۶۶۳ صفحه :
لینوگرافی	رسام :
چاپ	بهار :
صحافی	آذین :
قیمت	۶۸۰۰۰ ریال :

* صحت مطالب کتاب به عهده مؤلفین بوده و ناشر مسئولیتی در این موضوع ندارد.

* حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

* نشانی: اصفهان - دانشگاه صنعتی - جهاد دانشگاهی - مرکز انتشارات: ۳۹۱۲۷۱۱-۳۹۱۱

فروشگاه: ۳۹۱۲۵۹۴

دورنگار: ۳۹۱۲۵۴۱

www.jdiut.ac.ir

www.isba.ir

سخن ناشر

جای خرسندی و شکر بسیار است که در آستانه تابش پرتوهای حیات بخش اسلام بر پهنه زمین، خود را در زمانی می یابیم که اندیشه اصلاح نه تنها عبث نیست که پیمودن راههای کمال و رشد در هر یعدی از ابعاد انسانی هموارتر و شدنی تر می نماید. وظیفه آنان که در این دوره و در این سرزمین مقدس زندگی می کنند بس سنگین و دشوار است و بطور خاص مسئولیت دانشگاه و دانشگاهیان در کنار حوزه های مقدس علمیه جایگاهی حساس و تعیین کننده در روند حرکت اجتماع دارد. تلاش پیگیر و همه جانبه برای بریدن بندهای وابستگی، جهاد مقدسی است که باید از دانشگاه و حوزه شروع شود و انتشار کتب علمی از سوی ما کوششی است در راستای آنچه ذکر آن رفت. بدیهی است این کوشش زمانی به نتایج مفید می رسد که بطور مداوم از سوی استادان، دانشگاهیان و اندیشمندان متعهد مورد انتقاد و پیشنهادات سازنده قرار گیرد. اینک که چاپ اول این کتاب تقدیم دانشگاهیان ارجمند و مشتاق علم می گردد جای دارد از تمامی عزیزانی که در آماده سازی و تدوین آن تلاش نموده و زحمات زیادی را متحمل شده اند تشکر و قدردانی بعمل آید.

مقدمه مؤلفین

حرکت در ماشین‌ها نیروهای فوق‌العاده‌ای را ایجاد می‌کند. نیروهای ناخواسته سبب مختل شدن حرکت ماشین و یا خرابی و شکست قطعات آن می‌شود. تحلیل نیروهای مزبور و کاهش نیروهای ناخواسته مسئله‌ای است که در دینامیک ماشین به آن پرداخته می‌شود. برای تحلیل نیروهای ناشی از حرکت، نخست به تحلیل خود حرکت بدون توجه به عامل آن، یعنی سینماتیک مکانیزم و یا ماشین نیاز داریم. پس از تحلیل سینماتیکی به تحلیل نیروها یعنی تحلیل سینتیکی مکانیزم پرداخته و سرانجام چاره‌ای برای کاهش و یا توازن نیروها اندیشیده می‌شود.

در زمینه دینامیک ماشین کتاب‌های گوناگونی ترجمه و یا به رشته نگارش درآمده است که در اغلب موارد مباحث مطرح شده فاقد مثال و مسایل تمرینی کافی است. با توجه به موارد مطرح شده و نیاز دانشجویان به کتابی با رفع نقایص فوق و با عنایت به تدریس چندین ساله این درس توسط نویسنده نخست، برآن شدیم تا با جمع‌آوری مسایل متنوع از منابع مختلف و حل تعدادی از مسایل به تدوین و تألیف آن بپردازیم.

فصل اول کتاب به آشنایی با مکانیزم‌های مختلف و تشریح مفاهیم بنیادی می‌پردازد. در فصل دوم به تحلیل سرعت و شتاب مکانیزم به کمک روش ترسیمی پرداخته می‌شود. اگرچه این روش نسبت به روش برداری و تحلیلی (دقیق) با تقریب همراه است، ولی به دلیل دادن بیش عمیق نسبت به مقادیر و جهت سرعت‌ها و شتاب‌ها و نیز دسترسی سریع به جواب، روش ارزشمندی به شمار می‌رود. در فصل سوم روش ترسیمی را برای مکانیزم‌هایی با اتصالات لغزشی عضوها نسبت به هم که متفاوت از اتصالات مفصلی‌اند، به کار برده می‌شود. فصل چهارم به مرکز آبی سرعت و دوران عضوها در مکانیزم پرداخته که از آن برای حل مسایل سرعت استفاده می‌شود. این روش برای به دست آوردن سرعت نقاط و یا سرعت زاویه‌ای عضوهای مختلف، مناسب است. در فصل پنجم از روش تحلیل برداری و حلقه بسته برای بررسی سینماتیک مکانیزم‌ها استفاده می‌شود. روابط حاصل در این فصل برای تعدادی از مکانیزم‌های شناخته شده آورده شده است. از این روابط که به صورت جدول در این فصل تنظیم شده‌اند، می‌توان در نوشتن برنامه‌های رایانه‌ای برای سینماتیک موقعیت، سرعت و شتاب مکانیزم در هر وضعیتی بهره جست. فصل ششم به تحلیل سینماتیکی جعبه دنده‌ها می‌پردازد. در این فصل جعبه دنده‌های خورشیدی از سه روش مختلف (جدولی، فرمول‌های موجود و مرکز آبی سرعت) مورد بررسی قرار می‌گیرند. فصل هفتم به تحلیل نیروی مکانیزم‌ها پرداخته و در پایان این فصل بخشی تحت عنوان: طراحی و انتخاب فلایویل، آورده شده است. در

فصل هشتم به توازن نیروهای اپنرسی دورانی و رفت و برگشتی و روش‌های توازن نیروهای ناخواسته پرداخته شده است.

از ویژگیهای این کتاب، می‌توان به تنوع مسایل حل شده و تمرینی در هر فصل، ارائه روشهای ترسیمی و برداری (حل دقیق) برای تحلیل مکانیزم‌ها که منجر به نوشتن برنامه‌های رایانه‌ای در هر موقعیتی می‌شود، اشاره کرد. هم‌چنین در این کتاب سینماتیک مکانیزم به دلیل تعمیق بیشتر موضوع (مفاصل گردشی - لغزشی) در فصول جداگانه‌ای آورده شده است.

در اینجا لازم می‌دانیم از مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان به‌خاطر کمک در نشر این کتاب قدردانی نماییم.

هم‌چنین از خانم مهری شهسواری به‌خاطر تایپ و صفحه‌آرایی اولیه متن و خانم مختاری به‌خاطر تنظیم و تصحیح متن و فایل‌های اتوکد تشکر می‌نماییم. از دانشجویان عزیز هادی وسجاد بلوریان، رضا اعرابی و امیرحسین سخایی و مسعود فخرایی به‌خاطر تهیه فایل‌های اتوکد برخی از مسایل، قدردانی کرده و آرزوی موفقیت برای نامبردگان می‌شود.

در پایان از خوانندگان عزیز تقاضا داریم در صورت مشاهده هرگونه ایرادی در این کتاب آن را به آدرس دانشگاه صنعتی - دانشکده مکانیک ارسال فرمایند.

مصطفی غیور - حشمت‌اله محمدخانلو

عضو هیئت علمی دانشکده مکانیک

زمستان ۱۳۸۵

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱) معرفی مکانیزم‌ها.....
۱-۱	دور نمای تاریخی.....
۲	۲-۱ سینماتیک.....
۳	۳-۱ طراحی: تحلیل و سنتز (ترکیب).....
۴	۴-۱ مکانیزم‌ها.....
۹	۵-۱ اهرم‌بندی صفحه‌ای.....
۱۳	۶-۱ تصور (تجسم).....
۱۵	۷-۱ تحلیل قید.....
۲۳	۸-۱ تحلیل قیدی اهرم‌بندی‌های فضایی.....
۲۹	۹-۱ درجات آزادی اضافی (هرز).....
۳۲	۱۰-۱ اهرم‌بندی‌های فوق مقید.....
۳۷	۱۱-۱ استفاده از معیار قابلیت حرکت.....
۳۷	۱۲-۱ وارونگی.....
۳۹	۱۳-۱ چارچوب‌های مرجع.....
۴۰	۱۴-۱ محدودیت‌های حرکتی.....
۴۱	۱۵-۱ تحریک.....
۴۷	۱۶-۱ اهرم‌بندی با کوپلر محرک.....
۴۸	۱۷-۱ محدوده‌های حرکت برای مکانیزم لنگ- لغزنده.....
۵۰	مسائل منتخب تمرینی.....
۶۳	فصل ۲) تحلیل گرافیکی موقعیت، سرعت و شتاب مکانیزم‌هایی با مفصل‌های چرخشی یا مفصل‌های کشویی ثابت.....
۶۳	۱-۲ مقدمه.....
۶۴	۲-۲ تحلیل موقعیت به صورت گرافیکی.....
۶۵	۳-۲ چند ضلعی‌های سرعت صفحه‌ای.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۶۹	۴-۲- تحلیل گرافیکی شتاب
۷۲	۵-۲- تحلیل گرافیکی مکانیزم چهار میله‌ای
۸۲	۶-۲- تحلیل گرافیکی مکانیزم لنگ- لغزنده
۸۵	۷-۲- قضیه تصویر (نقش) سرعت
۸۹	۸-۲- قضیه تصویر (نقش) شتاب
۹۶	۹-۲- حل توسط وارون
۱۰۲	۱۰-۲- روش‌های خاص در تحلیل سرعت و شتاب مکانیزم‌های پیچیده
۱۰۹	مسائل منتخب حل شده
۱۱۵	مسائل منتخب تمرینی
فصل ۳) اهرم‌بندی‌ها با تماس غلتشی و لغزشی - مفصل‌ها در لغزنده‌هایی با تماس	
۱۳۷	متحرک
۱۳۷	۱-۳- مقدمه
۱۳۸	۲-۳- چارچوب‌های مرجع
۱۴۰	۳-۳- معادلات عمومی سرعت و شتاب
۱۴۰	۱-۳-۳- معادلات سرعت
۱۴۳	۲-۳-۳- معادلات شتاب
۱۴۴	۳-۳-۳- قاعده زنجیره‌ای برای موقعیت‌ها، سرعت‌ها و شتاب‌ها
۱۴۷	۴-۳- حالت‌های خاص برای معادلات سرعت و شتاب
۱۴۷	۱-۴-۳- نقاط P و Q متعلق به B
۱۴۸	۲-۴-۳- P و Q منطبق‌اند
۱۴۹	۳-۴-۳- P و Q منطبق بوده و در تماس غلتشی‌اند
۱۵۰	۵-۳- اهرم‌بندی‌ها با مفصل‌های لغزشی دورانی
۱۵۶	۶-۳- تماس غلتشی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۶-۱- روابط سینماتیکی اصلی برای تماس غلتشی.....	۱۵۷
۳-۶-۲- مدل سازی تماس غلتشی با استفاده از اهرم بندی مجازی.....	۱۶۵
۳-۷-۷- تماس بادامکی.....	۱۶۸
۳-۷-۱- روش مستقیم برای تحلیل تماس بادامکی.....	۱۶۸
۳-۷-۲- تحلیل تماس بادامکی با استفاده از اهرم بندی های معادل.....	۱۷۲
۳-۸-۸- نقاط منطبق کلی.....	۱۷۷
۳-۸-۱- تحلیل سرعت نقاط منطبق کلی.....	۱۷۸
۳-۸-۲- تحلیل شتاب نقاط منطبق کلی.....	۱۷۹
مسایل منتخب حل شده.....	۱۸۶
مسایل منتخب تمرینی.....	۲۰۲
فصل ۴) مرکز آنی سرعت.....	
۴-۱- مقدمه.....	۲۲۹
۴-۲- تعریف.....	۲۳۰
۴-۳- اثبات وجود مراکز آنی سرعت.....	۲۳۰
۴-۴- مکان مرکز آنی با استفاده از جهت های دو سرعت.....	۲۳۲
۴-۵- مرکز آنی در مفصل چرخشی.....	۲۳۳
۴-۶- مرکز آنی یک لغزنده روی منحنی.....	۲۳۳
۴-۷- مرکز آنی یک مفصل کشویی.....	۲۳۳
۴-۸- مرکز آنی برای زوجی با تماس غلتشی.....	۲۳۴
۴-۹- مرکز آنی برای تماس اتصال بادامکی در حالت کلی.....	۲۳۴
۴-۱۰- ستروود.....	۲۳۶
۴-۱۱- قضیه آرنولد- کندی.....	۲۳۸
۴-۱۲- نمودار دایره به عنوان رهیافتی برای پیدا کردن مراکز آنی.....	۲۴۱

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲۴۲	۴-۱۳- استفاده از مراکز آنی: روش شعاع- چرخشی
۲۵۲	۴-۱۴- یافتن مراکز آنی با استفاده از برنامه‌های نقشه‌کشی
۲۵۲	مسایل منتخب حل شده
۲۵۸	مسایل منتخب تمرینی
۲۷۳	فصل ۵) تشریح اهرم‌بندی‌ها به صورت تحلیلی
۲۷۳	۵-۱- مقدمه
۲۷۴	۵-۲- نمایش‌های موقعیت، سرعت و شتاب
۲۷۴	۵-۲-۱- نمایش موقعیت
۲۷۵	۵-۲-۲- نمایش سرعت
۲۷۶	۵-۲-۳- نمایش شتاب
۲۷۷	۵-۲-۴- حالت‌های خاص
۲۷۸	۵-۲-۵- مکانیزم‌هایی که باید در نظر گرفته شوند
۲۷۸	۵-۳- معادلات حلقه بسته تحلیلی برای اهرم‌بندی‌های چهار میله‌ای
۲۷۹	۵-۳-۱- حل معادلات حلقه بسته اهرم‌بندی چهار میله‌ای وقتی عضو ۲ محرک باشد
۲۸۲	۵-۳-۲- تحلیل وقتی کوپلر (عضو ۳) عضو محرک باشد
۲۸۴	۵-۳-۳- معادلات سرعت برای اهرم‌بندی چهار میله‌ای
۲۸۵	۵-۳-۴- معادلات شتاب برای اهرم‌بندی چهار میله‌ای
۲۸۹	۵-۴- معادلات تحلیلی برای جسم صلب پس از اینکه خواص سینماتیکی دو نقطه پیدا شدند
۲۸۳	۵-۵- معادلات تحلیلی برای مکانیزم‌های لنگ- لغزنده
۲۹۶	۵-۵-۱- حل معادلات موقعیت وقتی θ_1 ورودی است
۲۹۸	۵-۵-۲- حل معادلات موقعیت وقتی $\dot{\theta}_1$ ورودی است
۲۹۹	۵-۵-۳- حل معادلات موقعیت وقتی θ_1 ورودی است
۳۰۱	۵-۵-۴- معادلات سرعت برای مکانیزم لنگ- لغزنده

۳۰۲	۵-۵-۵- معادلات شتاب برای مکانیزم لنگ- لغزنده.....
۳۰۷	۶-۵- معادلات تحلیلی برای وارون لنگ- لغزنده.....
۳۱۰	۵-۶-۱- حل معادلات موقعیت وقتی θ_2 ورودی است.....
۳۱۲	۵-۶-۲- حل معادلات موقعیت وقتی θ_2 ورودی است.....
۳۱۳	۵-۶-۳- حل معادلات موقعیت وقتی r_2 ورودی است.....
۳۱۴	۵-۶-۴- معادلات سرعت برای وارون لنگ- لغزنده.....
۳۱۵	۵-۶-۵- معادلات شتاب برای وارون لنگ- لغزنده.....
۳۱۹	۵-۷- معادلات تحلیلی برای مکانیزم RPRP.....
۳۲۱	۵-۷-۱- حل معادلات حلقه بسته وقتی θ_2 معلوم است.....
۳۲۲	۵-۷-۲- حل معادلات حلقه بسته وقتی r_1 معلوم است.....
۳۲۵	۵-۷-۳- حل معادلات حلقه بسته وقتی r_2 معلوم باشد.....
۳۲۵	۵-۷-۴- معادلات سرعت و شتاب برای یک مکانیزم RPRP.....
۳۲۹	۵-۸- معادلات تحلیلی برای یک مکانیزم RRPP.....
۳۳۲	۵-۸-۱- حل وقتی θ_2 معلوم است.....
۳۳۳	۵-۸-۲- حل وقتی r_1 معلوم است.....
۳۳۳	۵-۸-۳- حل وقتی r_2 معلوم است.....
۳۳۵	۵-۹- معادلات تحلیلی برای پرگار بیضی.....
۳۳۸	۵-۹-۱- تحلیل وقتی θ_2 معلوم است.....
۳۳۸	۵-۹-۲- تحلیل وقتی r_1 معلوم است.....
۳۴۱	۵-۱۰- معادلات تحلیلی برای مکانیزم اولدهام.....
۳۴۳	۵-۱۰-۱- تحلیل، وقتی θ_2 معلوم باشد.....
۳۴۵	۵-۱۰-۲- تحلیل وقتی r_2 معلوم است.....
۳۴۷	۵-۱۱- روش معادله حلقه یا حلقه بسته برای مکانیزم‌های مرکب.....
۳۵۰	۵-۱۱-۱- تعیین نقاطی که روی حلقه‌های برداری نیستند.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۵۲	۵-۱۱-۲- حل معادلات موقعیت
۳۵۹	۵-۱۲- معادلات حلقه بسته برای مکانیزم‌های با جفت‌های برتر
۳۶۵	۵-۱۳- تفاوت‌های نمادگذاری: بردارها و اعداد مختلط
۳۶۹	مسائل منتخب حل شده
۳۷۵	مسائل منتخب تمرینی
۳۹۱	فصل ۶) دستگاه چرخ‌دنده‌ها
۳۹۱	۶-۱- دستگاه چرخ‌دنده‌ها
۳۹۱	۶-۲- جهت چرخش
۳۹۳	۶-۳- دستگاه چرخ‌دنده‌های ساده
۳۹۵	۶-۳-۱- مکانیزم وارون‌ساز ساده
۳۹۶	۶-۴- دستگاه چرخ‌دنده‌ای مرکب
۴۰۰	۶-۴-۱- دستگاه چرخ‌دنده‌های هم مرکز
۴۰۴	۶-۵- دستگاه چرخ‌دنده‌های خورشیدی
۴۰۵	۶-۵-۱- اصطلاحات در دستگاه چرخ‌دنده خورشیدی
۴۰۸	۶-۵-۲- تحلیل دستگاه چرخ‌دنده‌های سیاره‌ای با استفاده از معادلات
۴۱۷	۶-۵-۳- تحلیل دستگاه چرخ‌دنده سیاره‌ای با استفاده از روش جدولی
۴۲۳	مسائل منتخب حل شده
۴۳۸	مسائل منتخب تمرینی
۴۷۳	فصل ۷) تحلیل نیرویی مکانیزم‌ها
۴۷۳	۷-۱- مقدمه
۴۷۵	۷-۲- حل مسائل از طریق سینتیک ذرات
۴۷۵	۷-۲-۱- تعادل دینامیکی سیستم‌های ذرات
۴۸۲	۷-۲-۲- بقای انرژی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۷-۲-۳- بقای ممتنع	۴۸۲
۷-۳- تعادل دینامیکی سیستم‌های صلب	۴۸۶
۷-۴- نمودار ممان چرخشی و فلاویل	۴۹۳
۷-۵- نمودار ممان چرخشی و نوسان سرعت در شافت خروجی	۴۹۳
۷-۶- فلاویل (چرخ لنگر)	۴۹۶
۷-۷- فلاویل یک موتور احتراقی درونسوز	۴۹۸
۷-۸- عبارت‌های تحلیلی ممان چرخشی	۵۰۲
مسائل منتخب حل شده	۵۰۳
مسائل منتخب تمرینی	۵۲۶
فصل ۸) نیروهای لرزاننده و توازن محورها	
۸-۱- مقدمه	۵۶۵
۸-۲- توازن تک صفحه‌ای (استاتیک)	۵۶۶
۸-۳- توازن چند صفحه‌ای (دینامیکی)	۵۷۱
۸-۴- توازن جرم‌های رفت و برگشتی	۵۷۸
۸-۴-۱- تعبیری (عبارتی) برای توزیع جرم متمرکز	۵۷۸
۸-۴-۲- روش تحلیلی برای توازن یک مکانیزم لنگ- لغزنده	۵۸۳
۸-۵- عبارت‌هایی برای نیروهای داخلی	۵۸۵
۸-۶- توازن ماشین‌های چند سیلندری	۵۸۸
۸-۶-۱- توازن موتور خطی سه سیلندر	۵۹۴
مسائل منتخب حل شده	۵۹۸
مسائل منتخب تمرینی	۶۱۳
فهرست مراجع	۶۴۳