

# ارتعاشات مکانیکی

مؤلفین :

مهندس حسین تورنگ

(عضو هیئت علمی دانشگاه)

مهندس علیرضا دمیرچی

(مدرس دانشگاه)



نهاد دانش

سرشناسنامه: تورنگ حسین ۶۰-دمیرچی علیرضا ۶۹

عنوان و نام پدیدآورندگان: ارتعاشات مکانیکی - مهندس حسین تورنگ - مهندسی علیرضا دمیرچی

مشخصات نشر: سها دانش - ۱۳۹۴

شناسه افزوده: دمیرچی علیرضا ۱۳۶۹

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۸۱-۱۴۳-۲

مشخصات ظاهری: ۴۲۴ ص - وزیری

رده بندی دیویی: ۶۷۸۰۷/۰۰۴

رده بندی کنگره: ۸۷ ۱۳۹۲ ض ۹ الف/۸۷۵/TK ۵۱۰۵

کتابشناسی ملی: ۳۸۶۵۱۷۱

این اثر مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، نشر و یا پخش کند مورد پیگیری قانونی قرار خواهد گرفت.



سوادش

تلفن و فکس: ۶۶۵۶۹۸۸۱-۳

همراه: ۰۹۱۳۱۳۶۱۴۱۹

۶۶۵۶۲۸۹۸ - ۶۶۵۶۳۱۷۷ - ۶۶۵۶۲۹۳۳

مرکز پخش: میدان انقلاب - اول کارگر جنوبی - کوچه رشتچی - روبروی دانشگاه علمی کاربردی - پلاک ۹

عنوان ..... ارتعاشات مکانیکی  
ناشر ..... سها دانش  
مولفین ..... مهندس حسین تورنگ - مهندسی علیرضا دمیرچی  
مدیر تولید و صفحه آرا ..... سها دانش  
سال چاپ ..... ۱۳۹۴  
نوبت چاپ ..... اول  
تیراژ ..... ۱۰۰۰  
قیمت ..... ۳۰۰/۰۰۰ ریال

ISBN: 978 - 600 - 181- 143 - 2

شابک: ۹۷۸ - ۶۰۰ - ۱۸۱ - ۱۴۳ - ۲

فروشگاه اینترنتی شماره ۱: [www.sohadanesh.com](http://www.sohadanesh.com)

فروشگاه اینترنتی شماره ۲: [www.books.eeshop.ir](http://www.books.eeshop.ir)

### بنام خداوند جان و خرد

با توجه به پیشرفت تکنولوژی و افزایش سرعت مطالعه دینامیکی و تحلیل مسایل ارتعاشی اهمیت روز افزون یافته است. ارتعاشات یک پدیده دینامیکی است که در آن اصول فیزیک و ریاضی و به همراه کاربردهای آنها در مهندسی به هم آمیخته شده است. گستردگی ارتعاشات بسیار وسیع است و در این کتاب تنها به مطالعه بخشی - جزئی و مقدماتی از آن اکتفا شده است که در برگیرنده سر فصل درس ارتعاشات مکانیکی دانشجویان علوم مهندسی می باشد. ارتعاشات مکانیکی بحث شده در اینجا خطی فرض شده و دامنه نوسانات کوچک می باشد. این کتاب شامل ۵ فصل می باشد فصل اول به تعاریف و مفاهیم اولیه ارتعاشات و یادآوری بعضی از مفاهیم دینامیک می پردازد. در فصل دوم در ارتعاش آزاد سیستم های یک درجه آزادی پرداخته می شود. در فصل سوم ارتعاش اجباری سیستم های یک درجه آزادی بررسی می گردد. فصل چهارم به ارتعاشات گذاری سیستم های یک درجه آزادی می پردازد. در پایان در فصل پنجم ارتعاشات سیستم های دو درجه آزادی به صورت آزاد و اجباری بررسی می گردد و روش های مختلف مانند نیرو و کار مجازی و لاگرانژ برای این سیستم ها به صورت کامل توضیح داده می شود. سبک ارائه مناسب در این کتاب به این صورت است که ابتدا مفاهیم ارائه می گردند و مثال های مورد نیاز مرتبط آن مفهوم در همانجا آورده شده است. در نهایت در پایان فصل مثال هایی که به آن فصل مربوط می شود با تنوع بیشتر برای کمک به درک بهتر درس آورده شده است و در پایان آنها تمرین های فصل آمده است. در انتخاب این مثال ها سعی شده است از تمام کتاب های موجود در رابطه با این موضوع حداکثر استفاده به عمل آید و به گونه ای عمل گردد که مطالب کتاب برای دانشجویان مقطع کارشناسی مهندسی مکانیک به عنوان مرجع درسی قابل استفاده باشد. این کتاب نتیجه سالها تدریس این درس در دانشگاه های مختلف است و اینجانب به نوبه ی خود از تمام دانشجویان عزیزی که در طول آماده سازی این کتاب زحمت کشیدند و پیشنهاداتی جهت بهتر شدن مطالب ارائه کرده اند سپاسگزارم و برایشان آرزوی موفقیت دارم. همچنین برخورد لازم می دانم از حمایت های همیشگی پدر و مادر مهربانم و همسر عزیزم و فرزند دلبازم تشکر نمایم.

تقدیم به : پدرم و مادرم که هر چه دارم از آنهاست و همسر و فرزند دلبندم به خاطر مهر و محبت هایشان

مهندس حسین تورنگ

استاد گروه مهندسی مکانیک

## مقدمه مولف دوم

((مکانیک بهشت ریاضیات است.)) (لئوناردو اولر)

سپاس خداوند تبارک و تعالی را که تهیه و تدوین این کتاب را که مورد نیاز رشته‌های مختلف مهندسی به ویژه مهندسی مکانیک و مهندسی هوا فضا درمقاطع کارشناسی است برایمان فراهم آورد. با عنایت و موهبت الهی خوشبختانه فرصتی پیش آمد که توانستیم تألیف این کتاب را درمناسبت‌ترین زمان ممکن به دلیل نیاز مبرم دانشجویان مقاطع تحصیلی رشته‌های گوناگون مهندسی به اتمام رسانیم.

یک دانشجوی درس ارتعاشات مکانیکی می بایست یاد بگیرد که چطور از دانش‌های موجود جهت مدل‌سازی و بدست آوردن معادلات دیفرانسیل حاکم و روش‌های ریاضی مناسب را جهت حل این معادلات استفاده کند. با امید به این که این کتاب بتواند مورد استفاده علاقه‌مندان علم مهندسی مکانیک قرار گیرد و همواره مرا در هر چه بارورتر کردن آن یاری دهند.

در این جا لازم است از خانواده خود که بسیاری از اوقات متعلق به ایشان را صرف تدوین این کتاب کرده‌ام مخصوصاً از خواهر عزیزم مهندس شیما دمیرچی که با دقت فراوان و صبورانه ویرایش ادبی متن دست‌نویس و تصحیح و بازبینی متن تایپ شده اینجانب را یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌کنم و همچنین از همه اساتید محترم و دانشجویان که مشوق اینجانب در نوشتن این کتاب بوده‌اند سپاسگزاری می‌کنم. از کلیه صاحب نظران و خوانندگان گرامی تقاضا دارم اشکالاتی را که علی‌رغم کوشش فراوان باز هم ممکن است در کتاب یافت شوند به اینجانب اطلاع دهند و از ارسال نظرها و پیشنهادهای خود که می‌تواند در جهت اصلاح و تکمیل متن فعلی مفید باشد دریغ نفرمایند. در پایان کتاب را به پیشگاه همه بزرگوارانی که کلامی به من آموختند تقدیم می‌کنم: پدر، مادر و کلیه سرورانی که به عنوان دانشجو، افتخار حضور در کلاس درس‌شان را داشته‌ام.

مهندس علیرضا دمیرچی

کارشناس ارشد مهندسی مکانیک

[Alirezadamirchi@ymail.com](mailto:Alirezadamirchi@ymail.com)

## فهرست مطالب

### فصل اول

تعاریف و مفاهیم اولیه در سیستم‌های ارتعاشی

۱-۱ اهمیت مطالعه ارتعاش

۱-۲ مفاهیم مقدماتی ارتعاش

۱-۱-۲ ارتعاش

۱-۲-۲ اجزاء اولیه یک سیستم در حال نوسان

۱-۲-۳ درجه آزادی

۱-۲-۴ سیستم‌های پیوسته و سیستم‌های ناپیوسته

۱-۳ طبقه بندی ارتعاشات

۱-۳-۱ نوسانات واداشته (اجباری) و نوسانات آزاد

۱-۳-۲ نوسانات شامل مستهلک کننده و فاقد مستهلک کننده

۱-۳-۳ نوسانات خطی و غیر خطی

۱-۳-۴ نوسانات معین و نوسانات تصادفی

۱-۴ مراحل تحلیل حرکت نوسانی یک سیستم

۱-۵ حرکت هارمونیک

۱-۶ حرکت تناوبی

۱-۷ ترکیب فنرها

تمرینات فصل اول

### فصل دوم

ارتعاشات آزاد سیستم‌های یک درجه آزادی

۲-۱ مدل ارتعاشات

۲-۲ معادله های حرکت برونش نیرو: فرکانس طبیعی

۲-۳ روش انرژی

۲-۴ روش ریلی: جرم موثر

۲-۵ اصل کار مجازی

۲-۶ عامل استهلاک در یک سیستم در حال نوسان

۲-۷ ساختمان مستهلک کننده های ویسکوز

۲-۸ ترکیب مستهلک کننده ها

۲-۹ ارتعاشات آزاد به طور چسبنده میرا

۲-۱۰ پاسخ به شرایط اولیه

|     |                                                                        |
|-----|------------------------------------------------------------------------|
| ۶۵  | ۲-۱۱ انرژی تلف شده در استهلاک ویسکوز                                   |
| ۷۰  | ۲-۱۲ کاهش لگاریتمی                                                     |
| ۷۳  | ۲-۱۳ نوسانات آزاد با مستهلک کننده کولمب                                |
| ۷۳  | ۲-۱۳-۱ معادله ی حرکت                                                   |
| ۷۴  | ۲-۱۳-۲ حل معادله                                                       |
| ۷۹  | مثالهای حل شده                                                         |
| ۱۴۳ | <b>تمرینات فصل دوم</b>                                                 |
| ۱۶۷ | <b>فصل سوم</b>                                                         |
| ۱۶۷ | ارتعاشات واداشته هارمونیک                                              |
| ۱۶۷ | ۳-۱ ارتعاشات واداشته هارمونیک                                          |
| ۱۷۱ | ۳-۲ حل ارتعاش اجباری به روش دوم                                        |
| ۱۷۴ | ۳-۳ نامیزانی چرخان                                                     |
| ۱۷۷ | ۳-۴ نامیزانی روتور                                                     |
| ۱۸۰ | ۳-۵ لنگش شفتهای چرخان                                                  |
| ۱۸۴ | ۳-۶ نیروی منتقل شده به پایه در نوسانات ماندگار                         |
| ۱۸۶ | ۳-۷ نیروی حاصل از عدم توازن گردشی                                      |
| ۱۸۶ | ۳-۸ استفاده از اعداد مختلط در جمع و تفریق توابع هارمونیک               |
| ۱۸۷ | ۳-۹ تحلیل جواب پایدار به کمک اعداد مختلط (روش واکنش فرکانس (ایمپدانس)) |
| ۱۸۹ | ۳-۱۰ سیستم های متصل به پایه متحرک                                      |
| ۱۹۰ | ۳-۱۱ سیستم های با پایه الاستیک                                         |
| ۱۹۵ | ۳-۱۳ اندازه گیر ارتعاش                                                 |
| ۱۹۸ | ۳-۱۵ اندازه گیر سرعت                                                   |
| ۱۹۹ | ۳-۱۶ انحراف فاز                                                        |
| ۲۰۲ | ۳-۱۸ ابزار اندازه گیری فرکانس                                          |
| ۲۰۲ | ۳-۱۹ نوسانات خود محرک و بررسی پایداری                                  |
| ۲۰۶ | مثالهای حل شده                                                         |
| ۲۲۸ | <b>تمرینات فصل سوم</b>                                                 |
| ۲۴۳ | <b>فصل چهارم</b>                                                       |
| ۲۴۳ | ارتعاشات گذرای سیستم های یک درجه آزادی                                 |
| ۲۴۴ | ۴-۱ محاسبه انتگرال کانولوشن                                            |
| ۲۴۴ | ۴-۱-۱ پاسخ در اثر ضربه واحد                                            |
| ۲۴۵ | ۴-۱-۲ پاسخ در اثر تحریک عمومی                                          |
| ۲۴۹ | ۴-۲ تحریکهایی که شکل آنها در زمان های گسسته تغییر میکند                |

|     |                                                                  |
|-----|------------------------------------------------------------------|
| ۲۵۷ | ۴-۳ حرکت گذرا در اثر تحریک پایه                                  |
| ۲۵۹ | ۴-۴ حلهای تبدیل لاپلاس                                           |
| ۲۶۹ | جدول ۴-۱                                                         |
| ۲۷۰ | مثالهای حل شده                                                   |
| ۲۹۵ | تمرینات فصل چهارم                                                |
| ۲۹۹ | فصل پنجم                                                         |
| ۲۹۹ | سیستم هایی با چند درجه آزادی                                     |
| ۲۹۹ | ۵-۱ مقدمه                                                        |
| ۳۰۰ | ۵-۲ معادلات حرکت برای نوسانات واداشته                            |
| ۳۰۲ | ۵-۳ استخراج معادلات دیفرانسیل با استفاده از اصول پایه ای دینامیک |
| ۳۰۶ | ۵-۴ آنالیز نوسانات آزاد سیستمی که فاقد مستهلک کننده میباشد       |
| ۳۱۳ | ۵-۵ سیستم پیچشی                                                  |
| ۳۱۵ | ۵-۶ ارتعاشات هارمونیک واداشته                                    |
| ۳۱۸ | ۵-۷ روش تفاضل محدود برای دستگاه معادله ها                        |
| ۳۲۰ | ۵-۸ جذب کننده ارتعاشات                                           |
| ۳۲۱ | ۵-۹ معادلات لاگرانژ                                              |
| ۳۲۶ | ۵-۱۰ فرمول بندی ماتریسی معادلات دیفرانسیل سیستمهای خطی           |
| ۳۲۵ | ۵-۱۱ زوج مختصات و مختصات مبنا                                    |
| ۳۳۶ | ۵-۱۲ معادلات حرکت با استفاده از مختصات $x(t)$ و $\theta(t)$      |
| ۳۴۰ | ۵-۱۳ تحلیل نوسانات واداشته                                       |
| ۳۴۳ | ۵-۱۴ سیستم های نیمه معین                                         |
| ۳۴۴ | ۵-۱۵ نوسانات خود محرک و پایداری                                  |
| ۳۴۶ | ۵-۱۶ ضرایب تأثیر سختی                                            |
| ۳۵۴ | ۵-۱۷ ضرایب تأثیر انعطاف پذیری (نرمی)                             |
| ۳۵۷ | ۵-۱۸ مدلسازی متمرکز سیستم های پیوسته                             |
| ۳۶۱ | مثال های حل شده                                                  |
| ۴۰۶ | تمرینات فصل پنجم                                                 |