

# مکانیک برداری برای مهندسين



ویرایش دهم

فردیناند پی. بیر

استاد سابق دانشگاه Lehigh

ای. راسل جانستون

استاد سابق دانشگاه Connecticut

فیلیپ جی. کورن ول

استاد مؤسسه‌ی فن‌آوری Rose-Hulman

با همکاری

بریان پی. سلف

دانشگاه ایالتی California Polytechnic

ترجمه‌ی

مهندس اردشیر اطمیابی

|                     |                                                                                                                     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | : بیر، فردیناند پیر، ۱۹۱۵-۲۰۰۳ م.                                                                                   |
| عنوان و نام پدیدآور | : مکانیک برداری برای مهندسين ديناميك/ فردیناند پی. بیر، ای. راسل جانستون، فیلیپ جی. کورن ول؛ ترجمه‌ی اردشیر اطیابی. |
| مشخصات نشر          | : تهران: صفار، ۱۳۹۱.                                                                                                |
| مشخصات ظاهری        | : ۶۶۴ ص.: مصور (رنگی)، جدول (رنگی). ۲۲ × ۲۹ س.م.                                                                    |
| شابک                | : 978-964-388-386-7                                                                                                 |
| وضعیت فهرست نویسی   | : فیپا                                                                                                              |
| یادداشت             | : عنوان اصلی: Vector mechanics for engineers: Dynamics, 10th ed.c 2013                                              |
| یادداشت             | : واژه‌نامه.                                                                                                        |
| موضوع               | : دینامیک                                                                                                           |
| موضوع               | : بردارها                                                                                                           |
| موضوع               | : مکانیک عملی                                                                                                       |
| شناسه افزوده        | : جانستون، الوود راسل، ۱۹۲۵- م.                                                                                     |
| شناسه افزوده        | : Johnston, E. Russell (Elwood Russel)                                                                              |
| شناسه افزوده        | : کورنول، فیلیپ ج.                                                                                                  |
| شناسه افزوده        | : Cornwell, Phillip J                                                                                               |
| شناسه افزوده        | : اطیابی، اردشیر، ۱۳۳۹-، مترجم                                                                                      |
| رده بندی کنگره      | : TA۳۵۲/ب۹۴۱۳۹۱                                                                                                     |
| رده بندی دیویی      | : ۶۲۰/۱۰۵۴                                                                                                          |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۳۰۴۴۲۹                                                                                                            |

فهرست نویسی بیش از انتشار: انتشارات صفار



|           |                                                                         |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|
| نام کتاب  | : مکانیک برداری برای مهندسين ديناميك (ویرایش دهم)                       |
| مؤلفین    | : فردیناند پی. بیر- ای راسل جانستون- فیلیپ جی. کورن ول                  |
| مترجمین   | : اردشیر اطیابی                                                         |
| طرح جلد   | : فرهاد کمالی                                                           |
| حروفچینی  | : معرفت                                                                 |
| لینوگرافی | : گنج شایگان ① ۵۵۴۰۲۱۸۴                                                 |
| چاپ متن   | : گنج شایگان ① ۵۵۴۰۳۴۷۸                                                 |
| نوبت چاپ  | : اول- بهار ۱۳۹۲                                                        |
| شمارگان   | : ۲۲۰۰ نسخه                                                             |
| قیمت      | : ۳۰۰۰۰ ریال                                                            |
| ناشر      | : انتشارات صفار                                                         |
| مرکز پخش  | : خیابان انقلاب- روبروی دبیرخانه دانشگاه تهران- بازارچه کتاب- طبقه همکف |
|           | انتشارات اشراقی ① ۶۶۴۰۸۴۸۷ تلفن گویا: ۶۶۹۷۰۹۹۲                          |
|           | خیابان انقلاب- روبروی دبیرخانه دانشگاه تهران- بازارچه کتاب- طبقه زیرین  |
|           | پخش کتاب بینش ① ۶۶۴۹۶۲۹۹                                                |
|           | کتابفروشی مرادیان ① ۶۶۴۱۵۳۱۰                                            |
|           | کتابفروشی صفا ① ۶۶۹۷۸۸۴۶                                                |

www.saffarpublishing.com  
www.Eshraghi.ir  
Email: saffar\_publishing@yahoo.com

شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۳۸۸-۳۸۶-۷  
ISBN 978-964-388-386-7

این اثر، مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مؤلف (ناشر) نشر، یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

مشاوره جهت چاپ: ۰۹۱۲-۱۰۷۳۰۰۳

## فهرست مطالب

|           |                                              |
|-----------|----------------------------------------------|
| ۱۱۵.....  | حرکت زاویه‌ای                                |
| ۸-۱۲..... | معادلات حرکت برحسب مؤلفه‌های شعاعی و عمود    |
| ۱۱۶.....  | بر شعاع                                      |
| ۹-۱۲..... | حرکت تحت تأثیر نیروی مرکزی. پایستار اندازه‌ی |
| ۱۱۷.....  | حرکت زاویه‌ای                                |
| ۱۱۸.....  | ۱۰-۱۲ قانون گرانش نیوتن                      |
| ۱۲۶.....  | ۱۱-۱۲ مسیر حرکت ذره تحت تأثیر نیروی مرکزی    |
| ۱۲۶.....  | ۱۲-۱۲ کاربرد در مکانیک فضایی                 |
| ۱۲۹.....  | ۱۳-۱۲ قوانین کپلر درباره‌ی حرکت سیاره‌ای     |
| ۱۳۷.....  | دوره و چکیده‌ی مطالب فصل                     |
| ۱۴۰.....  | مسایل دوره                                   |
| ۱۴۲.....  | مسایل کامپیوتری                              |

### سینتیک ذرات: روش‌های انرژی و اندازه‌ی حرکت

|           |                                               |
|-----------|-----------------------------------------------|
| ۱۴۴.....  | ۱-۱۳ مقدمه                                    |
| ۱۴۴.....  | ۲-۱۳ کار یک نیرو                              |
| ۱۴۷.....  | ۳-۱۲ انرژی جنبشی ذره. اصل کار و انرژی         |
| ۱۴۸.....  | ۴-۱۳ کاربردهای اصل کار و انرژی                |
| ۱۴۹.....  | ۵-۱۲ توان و بازده                             |
| ۱۶۴.....  | ۶-۱۲ انرژی پتانسیل                            |
| ۱۶۶.....  | ۷-۱۳ نیروهای پایستار                          |
| ۱۶۶.....  | ۸-۱۳ پایستاری انرژی                           |
| ۹-۱۳..... | حرکت تحت تأثیر نیروی مرکزی پایستار. کاربرد در |
| ۱۶۷.....  | مکانیک فضایی                                  |
| ۱۸۵.....  | ۱۰-۱۳ اصل ضربه و اندازه‌ی حرکت                |
| ۱۸۷.....  | ۱۱-۱۳ حرکت ضربه‌ای                            |
| ۱۹۹.....  | ۱۲-۱۳ برخورد                                  |
| ۱۹۹.....  | ۱۳-۱۳ برخورد مرکزی مستقیم                     |
| ۲۰۱.....  | ۱۴-۱۳ برخورد مرکزی مایل                       |
| ۲۰۳.....  | ۱۵-۱۳ مسایل شامل انرژی و اندازه‌ی حرکت        |
| ۲۱۷.....  | دوره و چکیده‌ی مطالب فصل                      |
| ۲۲۲.....  | مسایل دوره                                    |
| ۲۲۴.....  | مسایل کامپیوتری                               |

### سیستم‌های ذرات

|           |                                             |
|-----------|---------------------------------------------|
| ۲۲۸.....  | ۱-۱۴ مقدمه                                  |
| ۲-۱۴..... | کاربرد قوانین نیوتن در حرکت سیستمی از ذرات. |
| ۲۲۸.....  | نیروهای مؤثر                                |

|         |                         |
|---------|-------------------------|
| ۶.....  | درباره‌ی نویسندگان      |
| ۷.....  | پیشگفتار                |
| ۱۰..... | گرددش هدفمند            |
| ۱۲..... | منابع پشتیبانی این کتاب |
| ۱۳..... | سپاسگزاری               |
| ۱۴..... | Connect                 |
| ۱۶..... | فهرست نمادها            |

### سینماتیک ذرات

|         |                                        |
|---------|----------------------------------------|
| ۲۰..... | ۱-۱۱ مقدمه‌ای بر دینامیک               |
| ۲۰..... | حرکت راست خط ذرات                      |
| ۲۰..... | ۲-۱۱ مکان. سرعت و شتاب                 |
| ۲۳..... | ۳-۱۱ تعیین حرکت ذره                    |
| ۳۴..... | ۴-۱۱ حرکت راست خط یکنواخت              |
| ۳۴..... | ۵-۱۱ حرکت راست خط شتاب‌دار یکنواخت     |
| ۳۳..... | ۶-۱۱ حرکت چند ذره                      |
| ۴۲..... | ۷-۱۱ حل ترسیمی مسایل حرکت راست خط      |
| ۴۳..... | ۸-۱۱ دیگر روش‌های ترسیمی               |
| ۵۱..... | حرکت خمیده خط ذرات                     |
| ۵۱..... | ۹-۱۱ بردار مکان، سرعت و شتاب           |
| ۵۲..... | ۱۰-۱۱ مشتق توابع برداری                |
| ۵۴..... | ۱۱-۱۱ مؤلفه‌های متعامد سرعت و شتاب     |
| ۵۵..... | ۱۲-۱۱ حرکت نسبت به دستگاه مرجع انتقالی |
| ۶۹..... | ۱۳-۱۱ مؤلفه‌های مماسی و عمودی          |
| ۷۱..... | ۱۴-۱۱ مؤلفه‌های شعاعی و عمود بر شعاع   |
| ۸۲..... | دوره و چکیده‌ی مطالب فصل               |
| ۸۶..... | مسایل دوره                             |
| ۸۸..... | مسایل کامپیوتری                        |

### سینتیک ذرات: قانون دوم نیوتن

|           |                                                 |
|-----------|-------------------------------------------------|
| ۹۲.....   | ۱-۱۲ مقدمه                                      |
| ۹۲.....   | ۲-۱۲ قانون دوم حرکت نیوتن                       |
| ۳-۱۲..... | اندازه‌ی حرکت خطی ذره، آهنگ تغییر اندازه‌ی      |
| ۹۳.....   | حرکت خطی                                        |
| ۹۴.....   | ۴-۱۲ سیستم‌های واحدهای اندازه‌گیری              |
| ۹۶.....   | ۵-۱۲ معادلات حرکت                               |
| ۹۶.....   | ۶-۱۲ تعادل دینامیکی                             |
| ۷-۱۲..... | اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای ذره. آهنگ تغییر اندازه‌ی |

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| فصل ۱۶ حرکت صفحه‌ای اجسام صلب: نیروها و شتاب‌ها     |     |
| ۱-۱۶ مقدمه                                          | ۳۶۶ |
| ۲-۱۶ معادلات حرکت جسم صلب                           | ۳۶۶ |
| ۳-۱۶ اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای جسم صلب در حرکت صفحه‌ای | ۳۶۷ |
| ۴-۱۶ حرکت صفحه‌ای جسم صلب. اصل دالامبر              | ۳۶۸ |
| * ۵-۱۶ نکته‌ای درباره‌ی اصل بدیهی مکانیک اجسام صلب  | ۳۷۰ |
| ۶-۱۶ حل مسایل مربوط به حرکت جسم صلب                 | ۳۷۰ |
| ۷-۱۶ سیستم‌های اجسام صلب                            | ۳۷۱ |
| ۸-۱۶ حرکت صفحه‌ای مقید                              | ۳۸۹ |
| دوره و چکیده‌ی مطالب فصل                            | ۴۱۱ |
| مسایل دوره                                          | ۴۱۳ |
| مسایل کامپیوتری                                     | ۴۱۵ |

## فصل ۱۷ حرکت صفحه‌ای اجسام صلب: روش‌های انرژی و اندازه‌ی حرکت

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| ۱-۱۷ مقدمه                                              | ۴۲۰ |
| ۲-۱۷ اصل کار و انرژی برای جسم صلب                       | ۴۲۰ |
| ۳-۱۷ کار نیروهای وارد بر جسم صلب                        | ۴۲۱ |
| ۴-۱۷ انرژی جنبشی جسم صلب در حرکت صفحه‌ای                | ۴۲۲ |
| ۵-۱۷ سیستم‌های اجسام صلب                                | ۴۲۳ |
| ۶-۱۷ پایستاری انرژی                                     | ۴۲۳ |
| ۷-۱۷ توان                                               | ۴۲۴ |
| ۸-۱۷ اصل ضربه و اندازه‌ی حرکت برای حرکت صفحه‌ای جسم صلب | ۴۳۹ |
| ۹-۱۷ سیستم‌های اجسام صلب                                | ۴۴۱ |
| ۱۰-۱۷ پایستاری اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای                   | ۴۴۱ |
| ۱۱-۱۷ حرکت ضربه‌ای                                      | ۴۵۵ |
| ۱۲-۱۷ برخورد برون مرکز                                  | ۴۵۵ |
| دوره و چکیده‌ی مطالب فصل                                | ۴۶۹ |
| مسایل دوره                                              | ۴۷۲ |
| مسایل کامپیوتری                                         | ۴۷۵ |

## فصل ۱۸ سیتیک اجسام صلب در حرکت سه‌بعدی

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| * ۱-۱۸ مقدمه                                          | ۴۷۸ |
| * ۲-۱۸ اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای جسم صلب در حرکت سه‌بعدی | ۴۷۹ |
| * ۳-۱۸ کاربرد اصل ضربه و اندازه‌ی حرکت در حرکت        |     |

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| ۱-۳ اندازه‌ی حرکت خطی و زاویه‌ای سیستم ذرات            | ۲۳۰ |
| ۴-۱۴ حرکت مرکز جرم سیستم ذرات                          | ۲۳۰ |
| ۵-۱۴ اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای سیستم ذرات حول مرکز جرم آن | ۲۳۱ |
| ۶-۱۴ پایستاری اندازه‌ای حرکت سیستم ذرات                | ۲۳۲ |
| ۷-۱۴ انرژی جنبشی سیستم ذرات                            | ۲۴۰ |
| ۸-۱۴ اصل کار-انرژی. پایستاری انرژی برای سیستم ذرات     | ۲۴۱ |
| ۹-۱۴ اصل ضربه و اندازه‌ی حرکت برای سیستم ذرات          | ۲۴۲ |
| * ۱۰-۱۴ سیستم‌های متغیر ذرات                           | ۲۵۰ |
| * ۱۱-۱۴ جریان پایدار ذرات                              | ۲۵۱ |
| * ۱۲-۱۴ سیستم‌های گیرنده یا دهنده‌ی جرم                | ۲۵۲ |
| دوره و چکیده‌ی مطالب فصل                               | ۲۶۴ |
| مسایل دوره                                             | ۲۶۸ |
| مسایل کامپیوتری                                        | ۲۷۰ |

## فصل ۱۵ سینماتیک اجسام صلب

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| ۱-۱۵ مقدمه                                        | ۲۷۱ |
| ۲-۱۵ انتقال                                       | ۲۷۶ |
| ۳-۱۵ چرخش حول محور ثابت                           | ۲۷۶ |
| ۴-۱۵ معادلات بیانگر چرخش جسم صلب حول یک محور ثابت | ۲۷۸ |
| ۵-۱۵ حرکت عمومی در صفحه                           | ۲۸۷ |
| ۶-۱۵ سرعت مطلق و نسبی در حرکت صفحه‌ای             | ۲۸۸ |
| ۷-۱۵ مرکز آنی دوران در حرکت صفحه‌ای               | ۲۹۸ |
| ۸-۱۵ شتاب مطلق و نسبی در حرکت صفحه‌ای             | ۳۰۷ |
| * ۹-۱۵ تحلیل حرکت صفحه‌ای بر حسب یک پارامتر       | ۳۰۹ |
| ۱۰-۱۵ آهنگ تغییر یک بردار نسبت به دستگاه چرخان    | ۳۲۰ |
| ۱۱-۵ حرکت صفحه‌ای ذره نسبت به دستگاه چرخان        |     |
| شتاب کوریولیس                                     | ۳۲۱ |
| * ۱۲-۱۵ حرکت حول یک نقطه‌ی ثابت                   | ۳۳۱ |
| * ۱۳-۱۵ حرکت عمومی                                | ۳۳۳ |
| * ۱۴-۱۵ حرکت سه‌بعدی ذره نسبت به دستگاه چرخان     |     |
| شتاب کوریولیس                                     | ۳۴۳ |
| * ۱۵-۱۵ دستگاه مرجع در حرکت عمومی                 | ۳۴۴ |
| دوره و چکیده‌ی مطالب فصل                          | ۳۵۴ |
| مسایل دوره                                        | ۳۶۰ |
| مسایل کامپیوتری                                   | ۳۶۲ |

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| الف-۳ بردارهای یک‌ه یا واحد، تجزیه‌ی بردار به مؤلفه‌های متعامد (بخش‌های ۷-۲ و ۱۲-۲) ..... | ۵۹۴ |
| الف-۴ حاصل ضرب برداری دو بردار (بخش ۴-۳ و ۵-۳) .....                                      | ۵۹۵ |
| الف-۵ گشتاور نیرو حول یک نقطه (بخش‌های ۶-۲ و ۸-۳) .....                                   | ۵۹۵ |
| الف-۶ ضرب اسکالر دو بردار (بخش‌های ۹-۲ و ۱۰-۲) .....                                      | ۵۹۶ |
| الف-۷ ضرب سه‌گانه‌ی مختلط سه بردار (بخش ۱۰-۳) .....                                       | ۵۹۶ |
| الف-۸ گشتاور نیرو حول یک محور معین (بخش ۱۱-۳) .....                                       | ۵۹۷ |

### گشتاورهای لختی جرم

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ب-۱ گشتاور لختی جرم .....                                                                 | ۵۹۸ |
| ب-۲ قضیه‌ی محورهای موازی .....                                                            | ۵۹۹ |
| ب-۳ گشتاورهای لختی جرم صفحات نازک .....                                                   | ۶۰۰ |
| ب-۴ تعیین گشتاور لختی جرم جسم سه‌بعدی با انتگرال‌گیری .....                               | ۶۰۱ |
| ب-۵ گشتاورهای لختی جرم اجسام مرکب .....                                                   | ۶۰۱ |
| ب-۶ گشتاور لختی جرم جسم نسبت به محور دلخواه گذرا از نقطه‌ی O. حاصل ضرب‌های لختی جرم ..... | ۶۱۴ |
| * ب-۷ بیضی وار لختی، محورهای اصلی لختی .....                                              | ۶۱۴ |
| * ب-۸ تعیین محورهای اصلی و گشتاورهای لختی اصلی جرم جسمی با شکل دلخواه .....               | ۶۱۶ |
| دوره و چکیده‌ی مطالب پیوست .....                                                          | ۶۲۵ |

### مبانی آزمون مهندسی

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| مبانی آزمون مهندسی .....                     | ۶۲۸ |
| پیشوندهای SI .....                           | ۶۲۹ |
| واحدهای اصلی SI مورد استفاده در مکانیک ..... | ۶۲۹ |
| مرکز سطح و مرکز خط اشکال هندسی معمول .....   | ۶۳۰ |
| گشتاورهای لختی جرم اشکال هندسی معمول .....   | ۶۳۱ |
| گشتاورهای لختی سطح اشکال هندسی معمول .....   | ۶۳۱ |
| پاسخ سایل .....                              | ۶۳۲ |
| واژه‌نامه انگلیسی به فارسی .....             | ۶۵۲ |
| واژه‌نامه فارسی به انگلیسی .....             | ۶۵۷ |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| سه‌بعدی جسم صلب .....                                                     | ۴۸۱ |
| * ۱۸-۴ انرژی جنبشی جسم صلب در حرکت سه‌بعدی .....                          | ۴۸۲ |
| * ۱۸-۵ حرکت سه‌بعدی جسم صلب .....                                         | ۴۹۳ |
| * ۱۸-۶ معادلات حرکت اولر. گسترش اصل دالامبر به حرکت سه‌بعدی جسم صلب ..... | ۴۹۴ |
| * ۱۸-۷ حرکت جسم صلب حول یک نقطه‌ی ثابت .....                              | ۴۹۵ |
| * ۱۸-۸ چرخش جسم صلب حول یک محور ثابت .....                                | ۴۹۶ |
| * ۱۸-۹ حرکت ژيروسکوپ. زوایای اولر .....                                   | ۵۱۰ |
| * ۱۸-۱۰ پیشروی پایدار ژيروسکوپ .....                                      | ۵۱۲ |
| * ۱۸-۱۱ حرکت جسم دارای تقارن محوری در صورت نبود نیرو .....                | ۵۱۳ |
| دوره و چکیده‌ی مطالب فصل .....                                            | ۵۲۵ |
| سایل دوره .....                                                           | ۵۲۹ |
| سایل کامپیوتری .....                                                      | ۵۳۲ |

### فصل ۱۹ ارتعاشات مکانیکی

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| ۱-۱۹ مقدمه .....                                | ۵۳۶ |
| ارتعاشات نامیرا .....                           | ۵۳۶ |
| ۲-۱۹ ارتعاشات آزاد ذرات. حرکت هماهنگ ساده ..... | ۵۳۶ |
| ۳-۱۹ آونگ ساده (راه‌حل تقریبی) .....            | ۵۳۹ |
| * ۴-۱۹ آونگ ساده (راه‌حل دقیق) .....            | ۵۳۹ |
| ۵-۱۹ ارتعاشات آزاد اجسام صلب .....              | ۵۴۷ |
| ۶-۱۹ کاربرد اصل پایستار انرژی .....             | ۵۵۷ |
| ۷-۱۹ ارتعاشات واداشته .....                     | ۵۶۶ |
| ارتعاشات میرا .....                             | ۵۷۵ |
| * ۸-۱۹ ارتعاشات آزاد میرا .....                 | ۵۷۵ |
| * ۹-۱۹ ارتعاشات واداشته میرا .....              | ۵۷۷ |
| * ۱۰-۱۹ تشابه الکتریکی .....                    | ۵۷۸ |
| دوره و چکیده‌ی مطالب فصل .....                  | ۵۸۷ |
| سایل دوره .....                                 | ۵۹۰ |
| سایل کامپیوتری .....                            | ۵۹۲ |

### برخی تعاریف و ویژگی‌های سودمند جبر برداری

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| الف-۱ جمع بردارها (بخش ۳-۲ و ۴-۲) .....  | ۵۹۴ |
| الف-۲ ضرب یک مقدار اسکالر در بردار ..... | ۵۹۴ |

## درباره‌ی نویسنده‌گان

به عنوان ناشرین کتاب‌های Ferd Beer و Russ Johnston اغلب از ما پرسش می‌شود که چگونه این دو با همکاری یکدیگر به نگارش این کتاب‌ها پرداختند، در حالی که یکی از آن دو در دانشگاه Lehigh و دیگری در دانشگاه Connecticut مشغول تدریس بود.

پاسخ این پرسش ساده است. نخستین کار تدریس Russ Johnston در دانشکده‌ی مهندسی عمران و مکانیک Lehigh بود. در آن جا وی با Ferd Beer آشنا شد که دو سال زودتر به این دانشکده پیوسته بود و مسئولیت درس‌های مکانیک را بر عهده داشت.

Ferd خوشحال شد که دید مرد جوانی که در وهله‌ی نخست برای تدریس دروس کارشناسی مهندسی سازه استخدام شده، نه تنها برای کمک به سازماندهی مجدد دروس مکانیک علاقمند است، بلکه به این کار اشتیاق دارد. هر دو بر این باور بودند که این درس‌ها باید براساس چند اصل پایه‌ای تدریس شوند و در صورت ارائه‌ی تصویری مطالب، دانشجویان نه تنها درک بهتری از مفاهیم مختلف خواهند داشت، بلکه آنها را بهتر به خاطر خواهند سپرد. این دو با همکاری یکدیگر مطالب درسی استاتیک و دینامیک را تدوین کردند و در مرحله‌ی بعد مسایلی را به آن افزودند که فکر می‌کردند برای مهندسين آینده جذاب خواهند بود. بدین ترتیب به زودی نسخه‌ی دست‌نویس نخستین ویرایش کتاب "مکانیک برای مهندسين" آماده شد که در ژوئن ۱۹۵۶ به چاپ رسید.

Russ Johnston ویرایش دوم "مکانیک برای مهندسين" و ویرایش اول "مکانیک برداری برای مهندسين" را در "مؤسسه‌ی پلی‌تکنیک Worcester" و ویرایش‌های بعدی را در دانشگاه Connecticut تدوین کرد. در این ضمن Ferd و Russ هر دو در دانشکده‌های خود مسئولیت‌های اداری داشتند و هر دو به کار پژوهش، مشاوره و نظارت بر دانشجویان کارشناسی مشغول بودند، Ferd در زمینه‌ی فرآیندهای تصادفی و ارتعاشات تصادفی و Russ در زمینه‌ی پایداری الاستیک و تحلیل و طراحی سازه. با این حال علاقه‌ی آنها به بهبود روش تدریس درس‌های پایه‌ای مکانیک فروکش نکرد و هر دو در ضمن اصلاح متون درسی خود و تدریس بخش‌هایی از این دروس، به کمک یکدیگر به نگارش نسخه‌ی دست‌نویس نخستین ویرایش کتاب "مقاومت مصالح" پرداختند.

همکاری این دو بیش از نیم قرن ادامه داشت و تجدید نظرهای موفق تمامی کتاب‌های درسی آنها و نقش Ferd و Russ در آموزش مهندسی برای آنها افتخارات و جوایزی را به ارمغان آورد. آنها جایزه‌ی Western Electric Fund Award را به دلیل برتری در آموزش دانشجویان مهندسی از بخش‌های منطقه‌ای "انجمن آموزش مهندسی آمریکا" و جایزه‌ی Distinguished Educator Award (مدرس برجسته) را از بخش مکانیک همان انجمن دریافت کردند. از سال ۲۰۰۱ جایزه‌ی New Mechanics Educator Award بخش مکانیک به افتخار این گروه نویسنده‌گان، Beer-Johnston نام‌گذاری شد.

**Ferdinand P. Beer** : او در فرانسه متولد شد و در فرانسه و سوئیس تحصیل کرد. Ferd مدرک کارشناسی ارشد خود را از دانشگاه Sorbonne و مدرک دکترای مکانیک نظری را از دانشگاه Geneva دریافت کرد. او پس از خدمت در ارتش فرانسه در اوایل جنگ جهانی دوم به ایالات متحده آمد و به مدت چهار سال در کالج Williams در برنامه‌ی مشترک مهندسی Williams-MIT به تدریس پرداخت. Ferd پس از خدمت در کالج Williams، با پیوستن به دانشگاه Lehigh به مدت سی و هفت سال در آن جا تدریس کرد. Ferd چندین موقعیت شغلی داشت که از آن جمله می‌توان به "پروفسور برجسته‌ی دانشگاه" و ریاست دانشکده‌ی مهندسی مکانیک اشاره کرد. وی در سال ۱۹۹۵ درجه‌ی دکترای افتخاری خود در مهندسی را از دانشگاه Lehigh دریافت کرد.

**E. Russell Johnston, Jr** : وی متولد فیلادلفیا است و مدرک کارشناسی خود را در زمینه‌ی مهندسی عمران از دانشگاه Delaware و مدرک دکترای علوم خود را در حوزه‌ی مهندسی سازه از Massachusetts Institute of Technology- MIT دریافت کرد. او پیش از پیوستن به دانشگاه Connecticut به عنوان رئیس دانشکده‌ی مهندسی عمران و بیست و شش سال تدریس بعدی، در دانشگاه Lehigh و Worcester Polytechnic Institute مشغول تدریس بود. Russ در سال ۱۹۹۱ جایزه‌ی Outstanding Civil Engineer Award (مهندس برجسته‌ی عمران) را از بخش Connecticut "انجمن مهندسين عمران آمریکا" دریافت کرد.

**Phil : Phillip J. Cornwell** : مدرک کارشناسی خود در مهندسی مکانیک را از دانشگاه Texas Tech و مدارک کارشناسی ارشد و دکترای خود در مهندسی مکانیک و هوافضا را از دانشگاه Princeton دریافت کرده است. وی هم اکنون پروفسور مهندسی مکانیک و معاون آموزشی Rose- Hulman Institute of Technology است که از سال ۱۹۸۹ در آن جا مشغول تدریس بوده است. Phil در سال ۱۹۹۲ جایزه‌ی SAE Ralph R. Teeter Educational Award و در سال ۲۰۰۰ جایزه‌ی Dean's Outstanding Teacher Award و در سال ۲۰۰۱ جایزه‌ی Board of Trustee's Outstanding Scholar Award را در Rose- Hulman دریافت کرد.

**Brian P. Self : Brian** : مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود در مهندسی مکانیک را از Virginia Tech و مدرک دکترای خود در زیست مهندسی را از دانشگاه Utah دریافت کرد. وی پیش از هفت سال تدریس در "آکادمی نیروی هوایی ایالات متحده"، در "آزمایشگاه‌های پژوهشی نیروی هوایی" مشغول کار بود. او از سال ۲۰۰۶ در دانشکده‌ی مهندسی مکانیک Cal Poly واقع در San Luis Obispo تدریس می‌کند. وی در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ به هیئت مدیره‌ی "انجمن آموزش مهندسی آمریکا" بسیار فعال بوده است. او به همراه یک گروه پنج نفره، برنامه‌ی "Dynamics Concept Inventory" را برای کمک به ارزیابی درک دانشجویان از مفاهیم دینامیک تدوین کرد. علایق حرفه‌ای او شامل پژوهش‌های آموزشی، فیزیولوژی هوانوردی و بیومکانیک است.

## اهداف

هدف اصلی در نخستین درس مکانیک ایجاد توانایی تحلیل مسایل در دانشجویان مهندسی به روشی ساده و منطقی و به کار بستن چند اصل بسیار مفهوم و پایه‌ای در حل مسایل است. امید است که این کتاب همانند جلد پیش آن "مکانیک برداری برای مهندسين: استاتیک" اساتید را در دستیابی به این هدف یاری دهند.<sup>۱</sup>

## شیوه‌ی عمومی

در ابتدای جلد اول این کتاب یعنی کتاب استاتیک، جبر برداری مطرح شد و در زمان ارائه‌ی اصول پایه‌ای استاتیک و همین طور حل بسیاری مسایل به ویژه مسایل سه بعدی مورد استفاده قرار گرفت. به همین ترتیب در ابتدای این کتاب مفهوم مشتق بردار مطرح می‌شود و در ضمن ارائه‌ی تمامی مطالب دینامیک از تحلیل برداری استفاده خواهد شد. با این شیوه اصول پایه‌ای مکانیک به شکل فشرده‌تری مطرح می‌شوند. همچنین با استفاده از آن می‌توان بسیاری از مسایل سینماتیک و سینتیک را تحلیل کرد که امکان حل آنها به روش‌های اسکالر وجود ندارد. اما تأکید اصلی در این کتاب بر روی درک صحیح اصول مکانیک و کاربرد آنها در حل مسایل مهندسی است و از تحلیل برداری بیشتر به عنوان ابزار مناسب استفاده می‌شود.

**معرفی زود هنگام کاربردهای عملی:** یکی از ویژگی‌های روش مورد استفاده در این کتاب آن است که مکانیک ذرات به روشی از مکانیک اجسام صلب تفکیک می‌شود. با این روش می‌توان کاربردهای عملی ساده‌ای را در مرحله‌ی اولیه در نظر گرفت و مطرح ساختن مفاهیم دشوارتر را به تعویق انداخت. برای مثال:

- در استاتیک نخست استاتیک ذرات مطرح شد و بی‌درنگ از اصل تعادل ذرات تنها برای آن شرایط عملی دربرگیرنده‌ی نیروهای هم‌مرس استفاده شد. استاتیک اجسام صلب بعداً و هم‌زمان با ضرب برداری و اسکالر دو بردار مطرح شد و از آن برای تعریف گشتاور یک نیرو حول یک نقطه و حول یک محور استفاده شد.

- در دینامیک نیز همین تقسیم‌بندی مشاهده می‌شود. با مطرح شدن مفاهیم پایه‌ای نیرو، جرم و شتاب، کار-انرژی و ضربه-اندازه‌ی حرکت، از آنها تنها برای حل مسایلی استفاده خواهد شد که در برگیرنده‌ی ذرات‌اند. بدین ترتیب دانشجویان با سه روش پایه‌ای مورد استفاده در دینامیک آشنا خواهند شد و پیش از برخورد با دشواری‌های مربوط به حرکت اجسام صلب، با مزایای آنها آشنا می‌شوند.

**معرفی مفاهیم جدید با جملات ساده:** از آن جا که این کتاب برای نخستین درس دینامیک در نظر گرفته شده است، مفاهیم جدید با جملات ساده بیان می‌شوند و هر مرحله به تفصیل شرح داده می‌شود. از سوی دیگر با مورد بحث قرار گرفتن جنبه‌های عمومی‌تر مسایل مطرح شده و با تأکید بر روش‌های کاربردی عمومی، روش حل مسئله تکامل پیدا می‌کند. برای مثال

مفهوم انرژی پتانسیل در حالت عمومی نیروی پایستار مورد بحث قرار می‌گیرد. همچنین موضوع حرکت صفحه‌ای اجسام صلب طوری مطرح می‌شود که به صورت طبیعی به بررسی حرکت عمومی آنها در فضا منجر گردد. این مطلب هم در مورد سینماتیک و هم در مورد سینتیک صادق است که در آن از اصل معادل بودن نیروهای خارجی و مؤثر مستقیماً در تحلیل حرکت صفحه‌ای استفاده می‌شود و بدین ترتیب حرکت به سمت بررسی موضوع حرکت سه بعدی آسان می‌شود.

**مطرح ساختن اصول اساسی در قالب کاربردهای ساده:** بر این واقعیت که مکانیک اصولاً علمی استنتاجی بر پایه‌ی چند اصل پایه‌ای



۱- هر دو کتاب به صورت تک جلدی زیر عنوان "مکانیک برداری برای مهندسين: استاتیک و دینامیک"، ویرایش دهم در دسترس‌اند.

۲- در ویرایش پنجم کتاب "مکانیک برداری برای مهندسين: دینامیک"، استفاده از جبر برداری به جمع و تفریق بردارها محدود می‌شود و مشتق بردار حذف شده است.

۱-۱۷ مقدمه

در این فصل از روش کار و انرژی و روش ضربه و اندازه‌ی حرکت برای تحلیل حرکت صفحه‌ای اجسام صلب و سیستم‌های اجسام صلب استفاده خواهد شد.

نخست روش کار و انرژی را مورد توجه قرار می‌دهیم. در بخش‌های ۱۷-۲ تا ۱۷-۵ کار نیرو و کوپل تعریف خواهد شد و عبارتی برای انرژی جنبشی جسم صلب در حرکت صفحه‌ای به دست خواهد آمد. سپس از اصل کار و انرژی برای حل مسایل مربوط به تغییر مکان‌ها و سرعت‌ها استفاده خواهیم کرد. در بخش ۱۷-۶ اصل پایستگی انرژی برای حل مسایل گوناگون مهندسی به کار گرفته می‌شود. در نیمه‌ی دوم این فصل، از اصل ضربه و اندازه‌ی حرکت برای حل مسایل مربوط به سرعت و زمان استفاده خواهد شد (بخش‌های ۱۷-۸ و ۱۷-۹) و مفهوم پایستگی اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای معرفی و مورد بحث قرار خواهد گرفت.

در پایان این فصل (بخش‌های ۱۷-۱۱ و ۱۷-۱۲) به مسایل مربوط به برخورد برون مرکز اجسام صلب می‌پردازیم. همانند فصل ۱۳ که برخورد ذرات تحلیل شد، از ضربه بازگشت یا رجندگی میان اجسام برخورد کننده به همراه اصل ضربه و اندازه‌ی حرکت برای حل مسایل برخورد استفاده خواهد شد. همچنین نشان داده خواهد شد که روش مورد استفاده نه تنها در زمان حرکت آزادانه‌ی اجسام برخورد کننده پس از برخورد، بلکه در زمان تقید ناقص حرکت اجسام نیز کاربرد دارد.

۱۷-۲ اصل کار و انرژی برای جسم صلب

حال از اصل کار و انرژی برای تحلیل حرکت صفحه‌ای اجسام صلب استفاده خواهد شد. همان طور که در فصل ۱۳ اشاره شد، روش کار و انرژی به ویژه برای حل مسایل شامل به سرعت‌ها و تغییر مکان‌ها از سازگاری خوبی برخوردار است. مزیت اصلی این روش در این واقعیت نهفته است که کار نیروها و انرژی جنبشی ذرات کمیت‌هایی اسکالارند.

برای به کار بردن اصل کار و انرژی در تحلیل حرکت جسم صلب، بار دیگر فرض خواهیم کرد که جسم صلب از تعداد زیادی ذره به جرم  $\Delta m_i$  تشکیل یافته است. با یادآوری معادله‌ی (۱۲-۳) از بخش ۸-۱۲ داریم:

$$T_1 + U_{1 \rightarrow 2} = T_2 \quad (1-17)$$

که در این جا:  $T_1$ ،  $T_2$  = مقادیر اولیه و نهایی انرژی جنبشی ذرات تشکیل دهنده جسم صلب

$U_{1 \rightarrow 2}$  = کار تمامی نیروهای وارد بر ذرات مختلف جسم

انرژی جنبشی کل یعنی:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Delta m_i v_i^2 \quad (2-17)$$

که از جمع کردن کمیت‌های اسکالار مثبت به دست می‌آید، خود کمیت اسکالار مثبت است. بعداً خواهیم دید که چگونه می‌توان  $T$  را برای انواع مختلف حرکت جسم صلب تعیین کرد.

است، تأکید می‌شود. در این سطح، نتیجه‌گیری براساس تسلسل منطقی و با تمامی دقت‌های لازم انجام می‌شود. اما از آن جا که فرایند یادگیری تا حد زیادی حالت القایی دارد، نخست کاربردهای ساده در نظر گرفته می‌شوند. برای مثال:

- سینماتیک ذرات (فصل ۱۱) پیش از سینماتیک اجسام صلب مطرح می‌شود (فصل ۱۵).
- اصول پایه‌ای سینماتیک اجسام صلب نخست برای حل مسایل دو بعدی به کار بسته می‌شوند (فصل‌های ۱۶ و ۱۷) که دانشجو آنها را آسان‌تر تجسم می‌کند و بررسی مسایل سه بعدی به فصل ۱۸ موکول می‌شود.

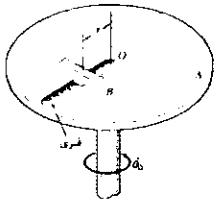
**ارائه‌ی اصول سینماتیک به شکل یکسان:** در ویرایش دهم "مکانیک برداری برای مهندسين" همان ویژگی ویرایش نهم پیشین یعنی ارائه‌ی یکنواخت اصول سینماتیک حفظ شده است. مفاهیم اندازه‌ی حرکت خطی و زاویه‌ای در فصل ۱۲ ارائه می‌شوند تا بدین ترتیب قانون دوم حرکت نیوتن را بتوان هم به صورت مرسوم  $F = ma$  و هم به صورت رابطه‌ای نشان داد که نیروهای وارد بر ذره و مجموع گشتاور آنها را به ترتیب به تغییر آهنگ اندازه‌ی حرکت خطی و زاویه‌ای ذره پیوند می‌دهد. بدین ترتیب مطرح ساختن زود هنگام اصل پایستگی اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای و بحث معنی‌دار حرکت ذره تحت تأثیر نیروی مرکزی امکان‌پذیر می‌شود (بخش ۱۲-۹). مهم‌تر آن که این شیوه را به آسانی می‌توان به بررسی حرکت سیستمی از ذرات گسترش داد (فصل ۱۴) و این خود به بررسی فشرده و یکنواخت سینماتیک اجسام صلب در فضای دو و سه بعدی منجر می‌گردد.

**استفاده از نمودار جسم آزاد برای دو منظور حل مسایل تعادل و بیان معادل بودن سیستم‌های نیرو:** نمودار جسم آزاد در اوایل کتاب استاتیک مطرح شد و در سرتاسر کتاب بر اهمیت آن تأکید شد. از نمودار جسم آزاد نه تنها برای حل مسایل تعادل بلکه برای بیان معادل بودن دو سیستم نیرو یا به شکل عمومی‌تر برای دو سیستم برداری استفاده شد. مزیت این روش در بررسی دینامیک اجسام صلب آشکار می‌شود که از آن برای حل مسایل دو و سه بعدی استفاده خواهد شد. با تأکید بر "معادلات نمودار جسم آزاد" به جای معادلات جبری استاندارد حرکت، درک درونی و کامل‌تری از اصول اساسی دینامیک حاصل می‌شود. این روش که برای نخستین بار در سال ۱۹۶۲ در ویرایش اول کتاب "مکانیک برداری برای مهندسين" مطرح شد، اینک در میان اساتید مکانیک این کشور به وسعت مورد پذیرش قرار گرفته است. بنابراین در حل تمامی مسایل نمونه‌ی این کتاب، این روش بر روش تعادل دینامیکی و معادلات حرکت ترجیح داده شده است.

**حفظ پیوسته‌ی توازن دقیق میان واحدهای SI و واحدهای مرسوم ایالات متحده:** به دلیل روند جاری در دولت و صنعت

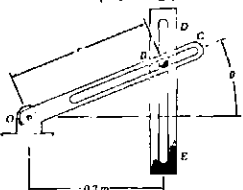
۱۷-۱۲ مثال

۱۷-۱۲-۱ یک دیسک  $A$  با آهنگ ثابت  $\omega_0$  در صفحه‌ی افقی حول محور قائم چرخش می‌کند. لیزنده‌ی  $B$  به جرم  $m$  در داخل شکاف ایجاد شده در دیسک حرکت می‌کند. لیزنده به فوری با ثابت  $r$  متصل است که در موقعیت  $r = 0$  بدون تغییر شکل است. با فرض آن که لیزنده بدون سرعت اولیه در موقعیت  $r = r_0$  رها شود، نمودار جسم آزاد و نمودار جنبشی را در فاصله‌ی اختیاری  $r$  نقطه‌ی  $O$  ترسیم کنید.



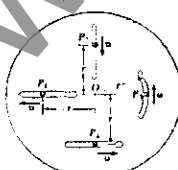
شکل ۱۷-۱۲-۱

۱۷-۱۲-۲ یک لیزنده  $B$  به جرم  $m$  در طول شکاف موجود در بازوی  $OC$  و در امتداد شکاف  $DE$  ایجاد شده در یک صفحه‌ی ثابت افقی می‌لغزد. با نادیده گرفتن اصطکاک و با فرض آهنگ ثابت  $\omega_0$  چرخش میله‌ی  $OC$ ، نمودار جسم آزاد و نمودار جنبشی قابل استفاده برای تعیین نیروهای  $P$  و  $Q$  به ترتیب وارد شده از طرف میله‌ی  $DC$  و جداره‌ی شکاف  $DE$  در  $B$  بین  $A$  را ترسیم کنید.



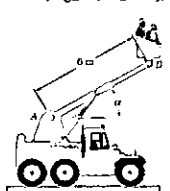
شکل ۱۷-۱۲-۲

۱۷-۱۲-۳ یک دیسک  $A$  با آهنگ ثابت  $\omega_0$  در صفحه‌ی افقی حول محور قائم چرخش می‌کند. لیزنده‌ی  $B$  به جرم  $m$  در داخل شکاف ایجاد شده در دیسک حرکت می‌کند. لیزنده به فوری با ثابت  $r$  متصل است که در موقعیت  $r = 0$  بدون تغییر شکل است. با فرض آن که لیزنده بدون سرعت اولیه در موقعیت  $r = r_0$  رها شود، نمودار جسم آزاد و نمودار جنبشی را در فاصله‌ی اختیاری  $r$  نقطه‌ی  $O$  ترسیم کنید.



شکل ۱۷-۱۲-۳

۱۷-۱۲-۴ یک لیزنده  $B$  به جرم  $m$  در طول شکاف موجود در بازوی  $OC$  و در امتداد شکاف  $DE$  ایجاد شده در یک صفحه‌ی ثابت افقی می‌لغزد. با نادیده گرفتن اصطکاک و با فرض آهنگ ثابت  $\omega_0$  چرخش میله‌ی  $OC$ ، نمودار جسم آزاد و نمودار جنبشی قابل استفاده جهت تعیین نیروهای  $P$  و  $Q$  به ترتیب وارد شده از طرف میله‌ی  $DC$  و جداره‌ی شکاف  $DE$  در  $B$  بین  $A$  را ترسیم کنید.



شکل ۱۷-۱۲-۴

### ۳-۱ سیستم‌های واحدهای اندازه‌گیری

چهار مفهوم پایه‌ای مطرح شده در بخش پیش به واحدهای جنبشی یعنی واحدهای طول، زمان، جرم و نیرو مربوط‌اند. برای برقرار بودن معادله‌ی (۱-۱)، این واحدها را نمی‌توان مستقل از یکدیگر انتخاب کرد. سه واحد را می‌توان به صورت اختیاری تعریف کرد که در این صورت آنها را واحدهای اصلی می‌نامند. اما واحد چهارم که باید مطابق با معادله‌ی (۱-۱) انتخاب شود، واحد نمرعی نامیده می‌شود. واحدهای جنبشی که بدین ترتیب انتخاب می‌شوند، سیستم واحدهای سازگار را تشکیل می‌دهند.

**سیستم جهانی واحدها (واحدهای SI).** در این سیستم که با به پایان رسیدن کار تبدیل واحدها به SI در کشور ایالات متحده کاربرد جهانی خواهد داشت، واحدهای اصلی عبارتند از واحدهای طول، جرم و زمان که به ترتیب متر (m)، کیلوگرم (kg) و ثانیه (s) نامیده می‌شوند. این سه واحد به صورت اختیاری تعریف

آمریکا در پذیرش واحدهای سیستم جهانی اندازه‌گیری (واحدهای متریک SI)، در فصل ۱ متداولترین واحدهای SI مورد استفاده در مکانیک مطرح می‌شوند و در سرتاسر کتاب مورد استفاده قرار می‌گیرند. تقریباً نیمی از مسایل نمونه و ۶۰ درصد از مسایل تکلیف برحسب این واحدها و بقیه برحسب واحدهای مرسوم ایالات متحده بیان شده‌اند. نویسندگان بر این باورند که این مناسب‌ترین شکل کار برای دانشجویانی است که به عنوان مهندس باید با هر دو سیستم واحدهای اندازه‌گیری آشنایی داشته باشند.

همچنین باید آگاه بود که استفاده از هر دو واحدهای SI و واحدهای مرسوم ایالات متحده چیزی بیش از استفاده از ضرایب تبدیل است. به دلیل آن که سیستم واحدهای SI سیستمی مطلق براساس واحدهای زمان، طول و جرم است. در حالی که سیستم واحدهای مرسوم ایالات متحده سیستمی گرانشی برحسب واحدهای زمان، طول و نیرو است، حل بسیاری از مسایل نیازمند استفاده از روش‌های

متفاوتی است. برای مثال در زمان استفاده از واحدهای SI، جسم معمولاً با جرم خود برحسب کیلوگرم مشخص می‌شود. در بسیاری از مسایل استاتیک وزن جسم را باید برحسب نیوتن تعیین کرد و این کار نیازمند انجام محاسبه‌ی اضافه‌ای است. از سوی دیگر در زمان استفاده از واحدهای مرسوم ایالات متحده، جسم با وزن خود برحسب پوند مشخص می‌شود و در مسایل دینامیک برای تعیین جرم آن برحسب اسلاک (lb·s<sup>2</sup>/ft) به محاسبه‌ی اضافه‌ای احتیاج است. بنابراین نویسندگان بر این باورند که برای مسایل تکلیف باید هر دو سیستم واحدهای اندازه‌گیری را در نظر گرفت.

در کتاب راهنمای استاد و حل مسایل "شش فهرست متفاوت از مسایل تکلیف ارائه شده است تا بدین ترتیب بتوان تعداد یکسانی از مسایل را برحسب واحدهای SI و واحدهای مرسوم ایالات متحده انتخاب کرد. در صورت تمایل می‌توان دو فهرست کامل از مسایل را نیز انتخاب کرد که در آنها ۷۵ درصد از مسایل برحسب واحدهای SI هستند.

**ارائه‌ی بخش‌های اختیاری در موضوع‌های پیشرفته یا ویژه:** در این کتاب بخش‌های اختیاری بسیاری گنجانده شده است. این بخش‌ها با ستاره مشخص شده‌اند و بدین ترتیب به آسانی از بخش‌های اصلی درس دینامیک پایه تمیز داده می‌شوند. این بخش‌ها را می‌توان بدون آن که آسیبی به بقیه‌ی کتاب وارد شود، حذف کرد.

عناوین موجود در این بخش‌های اختیاری شامل موارد زیر است: روش‌های ترسیمی حل مسایل حرکت راست خط، مسیر حرکت ذره تحت تأثیر یک نیروی مرکزی، تغییر شکل جریان سیالات، مسایل مربوط به رانش جت و موشک، سینماتیک و سینتیک اجسام صلب در فضای سه بعدی، ارتعاشات مکانیکی میرا و تشابه‌های الکتریکی. این عناوین در زمان تدریس دینامیک در سال سوم دانشگاه جالب توجه خواهند بود.

برای مطالعه‌ی مطالب مطرح شده در این کتاب و بیشتر مسایل آن، به جز جبر، مثلثات و حساب مقدماتی و عناصر جبر برداری ارائه شده در فصل‌های ۲ و ۳ از کتاب استاتیک، به دانش ریاضی دیگری احتیاج نیست. با این حال مسایل ویژه‌ای گنجانده شده‌اند که حل آنها نیازمند استفاده از دانش پیشرفته‌تر ریاضی است و مسایل بخش‌های ۱۹-۸ و ۱۹-۹ در مورد ارتعاشات میرا را تنها زمانی باید به عنوان تکلیف به دانشجو واگذار کرد که از پیش‌زمینه‌ی ریاضی مناسب برخوردار باشد. در بخش‌هایی از کتاب که از ریاضیات مقدماتی استفاده می‌شود، بر روی درک صحیح و کاربرد مفاهیم مشتق و انتگرال نسبت به استفاده‌ی چالاکانه از روابط ریاضی تأکید بیشتری می‌شود. در این ارتباط لازم به ذکر است که تعیین مرکز سطح سطوح مرکب نیازمند محاسبه‌ی مرکز سطح با استفاده از انتگرال است، بنابراین باید پیش از استفاده از انتگرال، مفهوم گشتاور سطح را به دقت تعریف کرد.

۱- جهت راحتی دسترسی خواننده، برخی از تعاریف و ویژگی‌های سودمند جبر برداری در پیوست الف در انتهای این کتاب آورده شده است. همچنین بخش‌های ۹-۱۱ تا ۱۸-۹ از کتاب استاتیک در ارتباط با گشتاورهای لختی جرم نیز بار دیگر در پیوست آورده شده‌اند.

وزن و مقیاس‌ها در شهر Geneva در نزدیکی پارکس یکپارگی می‌شود. واحد نیرو واحد فرعی است. این واحد نیوتن (N) نامیده می‌شود و به صورت نیرویی تعریف می‌شود که به جرم ۱ kg شتابی معادل ۱ m/s<sup>2</sup> می‌بخشد (شکل ۲-۱). از معادله‌ی (۱-۱) داریم:

$$1 \text{ N} = (1 \text{ kg})(1 \text{ m/s}^2) = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \quad (2-1)$$

گفته می‌شود که واحدهای SI سیستم مطلق واحدهای اندازه‌گیری را تشکیل می‌دهند. این موضوع به مفهوم آن است که سه واحد اصلی انتخاب شده مستقل از محل انجام اندازه‌گیری‌اند. از متر، کیلوگرم و ثانیه می‌توان در هر مکانی از کره‌ی زمین استفاده کرد. حتی این واحدها را می‌توان در بسیاری دیگری نیز به کاربرد. این واحدها همیشه مفهوم یکسانی دارند.

وزن جسم با نیروی گرانش وارد بر آن جسم باید محیط هر نیروی دیگری برحسب نیوتن چکان شود. از معادله‌ی (۲-۱) نتیجه می‌شود که وزن جسمی به جرمی ۱ kg (شکل ۲-۱) برابر است با

$$W = mg$$

$$= (1 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$= 9.81 \text{ N}$$

با استفاده از پیشوندهای تعریف شده در جدول ۱-۱ می‌توان مقیاس‌ها و زیرمقیاس‌های واحدهای پایه‌ای SI را به دست آورد. متداولترین مقیاس‌ها و زیرمقیاس‌های واحدهای طول، جرم و نیروی مورد استفاده در مهندسی به ترتیب عبارتند از: کیلومتر (km)، متر (m)، میلی‌متر (mm)، مگانه (Mg) و گرام (g) و کیلو نیوتن (kN) براساس جدول ۱-۱ داریم:

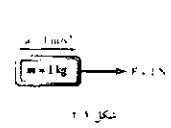
|                |                |
|----------------|----------------|
| ۱ km = ۱۰۰۰ m  | ۱ mm = ۰.۰۰۱ m |
| ۱ Mg = ۱۰۰۰ kg | ۱ g = ۰.۰۰۱ kg |
| ۱ kN = ۱۰۰۰ N  |                |

برای تبدیل این واحدها به متر، کیلوگرم و نیوتن به ترتیب می‌توان مقیاس واحدها را به سمت راست یا چپ حرکت داد. برای مثال برای تبدیل ۸۱ kN به متر، مسیر را سه رتبه به سمت راست حرکت می‌دهیم.

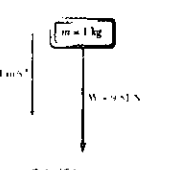
$$81 \text{ kN} = 81 \times 10^3 \text{ N}$$

به همین ترتیب برای تبدیل ۲۷۲ mm به متر را سه رتبه به سمت چپ حرکت می‌دهیم.

$$272 \text{ mm} = 0.272 \text{ m}$$



شکل ۲-۱



شکل ۲-۱

## نگارخانه



**مقدمه‌ی فصل:** هر فصل با یک مقدمه آغاز می‌گردد که در آن منظور و اهداف فصل مطرح می‌شود و به زبانی ساده مطالب مطرح و کاربرد آنها در حل مسائل مهندسی شرح داده می‌شوند. عناوین فصل نیز پیش زمینه‌ای از مطالب فصل را به دست می‌دهند.

**درس‌های فصل:** متن هر فصل به چند درس تقسیم شده است و هر درس شامل یک یا چند بخش نظری، یک یا چند مسئله‌ی نمونه و تعداد زیادی مسائل تکلیف است. هر درس عنوان مشخصی دارد و معمولاً آن را می‌توان در یک جلسه تدریس کرد. اما به هر حال در چند مورد شاید استاد درس اختصاصی دادن چند جلسه را به یک موضوع معین مفید بداند. در "کتاب راهنمای استاد و حل مسائل"

پیشنادهایی در مورد مطالب هر جلسه‌ی درسی آورده شده است.

**مسائل نمونه:** مسائل نمونه به همان ترتیبی آورده شده‌اند که دانشجو در زمان حل مسائل تکلیف به آنها برخورد می‌کند. بدین ترتیب این مسائل نمونه کاربرد دوگانه‌ای دارند: پربار کردن متن درس و به نمایش گذاشتن شیوه‌ی کار پاکیزه و مرتبی که دانشجو باید در زمان حل مسائل در خود پرورش دهد.

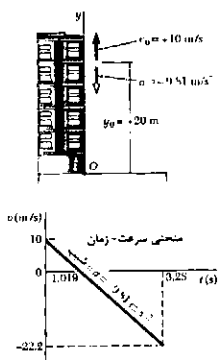
**روش حل مسائل:** برای هر درسی بخشی زیر عنوان "روش حل مسائل" در نظر گرفته شده است که در بین مسائل نمونه و مسائل تکلیف آورده شده است. هدف از این بخش کمک به دانشجویان در سامان دادن ذهنی نظریه‌ی مطرح شده‌ی پیشین و روش‌های حل مسائل نمونه است تا بدین ترتیب بتوانند مسائل تکلیف را با موفقیت بیشتری حل کنند. همچنین در این بخش پیشنهادها و ویژه و راهبردهایی مطرح شده است که دانشجویان را قادر می‌سازند تا با مسائل دشوارتر تکلیف به شکل مؤثرتری دست و پنجه نرم کنند.

**مجموعه مسائل تکلیف:** بیشتر مسائل ماهیت عملی دارند و از این نظر باید برای دانشجویان مهندسی جذاب باشند. اما به هر حال این مسائل در وهله‌ی نخست برای به تصویر کشیدن مطالب مطرح شده در کتاب و کمک به درک اصول مکانیک در نظر گرفته شده‌اند. این مسائل براساس بخش‌بندی کتاب درسی دسته بندی شده‌اند و به ترتیب دشوارتر می‌شوند.

مسائلی که به توجه ویژه نیاز دارند با ستاره مشخص شده‌اند. در انتهای کتاب پاسخ ۷۰ درصد مسائل آورده شده است. شماره‌ی مسائلی که پاسخ آنها ارائه شده است، به صورت معمولی و مسائل بدون پاسخ به صورت ایتالیک تایپ شده‌اند.

### مسئله‌ی نمونه‌ی ۱۱-۲

توبی با سرعت  $10 \text{ m/s}$  به صورت قائم و رو به بالا از پنجره‌ای واقع در ارتفاع  $20 \text{ m}$  از سطح زمین به هوا پرتاب می‌شود. با فرض ثابت بودن شتاب رو به پایین توبی با مقداری برابر با  $9.81 \text{ m/s}^2$  تعیین کنید: (الف) سرعت  $u$  و ارتفاع  $y$  توبی از سطح زمین در هر زمان  $t$ . (ب) بیشترین ارتفاع توبی و مقدار متناظر  $t$ . و (ج) زمان برخورد توبی با زمین و سرعت متناظر آن. متغیرهای  $t=0$  و  $y=0$  را رسم کنید.



(الف) سرعت و ارتفاع: محور  $y$  مثبتی مشخص مکان (یا ارتفاع) ذره را با مبدأ  $O$  در سطح زمین و با جهت مثبت رو به بالا انتخاب می‌کنیم. مقدار شتاب و مقدار اولیه‌ی  $u$  و  $y$  به صورت مشخص شده است. با جایگزین کردن  $a$  در معادله‌ی  $a = du/dt$  و با توجه به  $u_0 = 10 \text{ m/s}$  و  $y_0 = 20 \text{ m}$  در زمان  $t=0$  داریم:

$$\frac{du}{dt} = a = -9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\int_{u_0}^u du = - \int_0^t 9.81 dt$$

$$[u]_0^u = -[9.81t]_0^t$$

$$u - 10 = -9.81t$$

$$u = 10 - 9.81t \quad (1)$$

با جایگزین کردن  $u$  در معادله‌ی  $u = dy/dt$  و با توجه به  $y_0 = 20 \text{ m}$  در زمان  $t=0$  داریم:

$$\frac{dy}{dt} = u = 10 - 9.81t$$

$$\int_{y_0}^y dy = \int_0^t (10 - 9.81t) dt$$

$$[y]_0^y = [10t - 4.905t^2]_0^t$$

$$y - 20 = 10t - 4.905t^2$$

$$y = 20 + 10t - 4.905t^2 \quad (2)$$

(ب) بیشترین ارتفاع: زمانی که توبی به بیشترین ارتفاع خود می‌رسد، داریم:  $u=0$ . با جایگزینی در معادله‌ی (۱) نتیجه می‌شود:

$$10 - 9.81t = 0$$

$$t = 1.019 \text{ s}$$

$$\text{با قرار دادن } t = 1.019 \text{ s در معادله‌ی (۲)، داریم:}$$

$$y = 20 + 10(1.019) - 4.905(1.019)^2$$

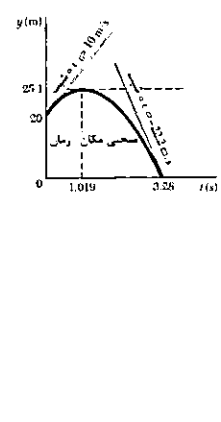
$$y = 25.1 \text{ m}$$

(ج) برخورد توبی با زمین: زمانی که توبی با زمین برخورد می‌کند، داریم:  $y=0$ . با جایگزینی در معادله‌ی (۲) نتیجه می‌شود:

$$20 + 10t - 4.905t^2 = 0 \quad t = -1.223 \text{ s و } t = 3.28 \text{ s}$$

تنها ریشه‌ی  $t = 3.28 \text{ s}$  متناظر با زمانی پس از شروع حرکت است. با قرار دادن این مقدار از  $t$  در معادله‌ی (۱) داریم:

$$u = 10 - 9.81(3.28) = -22.2 \text{ m/s} \quad u = 22.2 \text{ m/s}$$



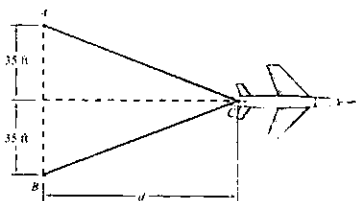
## دوره و چکیده مطالب فصل

این فصل به روش کار و انرژی و روش ضربه و اندازه‌ی حرکت اختصاص داشت. در نیمه‌ی نخست این فصل به مطالعه‌ی روش کار و انرژی و کاربرد آن در تحلیل حرکت ذرات پرداختیم.

نخست با در نظر گرفتن نیروی  $F$  وارد بر ذره‌ی  $A$ ، کار نیروی  $F$  متناظر با تغییر مکان کوچک  $dr$  (بخش ۱۲-۲) را با کمیت زیر تعریف کردیم:

## مسائل دوره

۱۳-۱۹ هواپیمایی به وزن  $1b \times 10^3$  بر روی تابلو هواپیمابر فرود می‌آید و توسط تابلو فرود گرفته می‌شود. تابلو افزایش طول تأیید است و از نقاط  $A$  و  $B$  از طریق مکانیزم‌های واقع در زیر عرشه شامل پیستون‌های در حال حرکت در سیلندرهایی بر اثر روشن بلند آزاد می‌شود. با فرض آن که سیستم پیستون-سیلندر کشش ثابت  $85 \text{ kips}$  را در کل زمان فرود در تابلو حفظ کند، سرعت فرود هواپیما را در حالتی تعیین کنید که هواپیما در فاصله‌ی  $h = 95 \text{ ft}$  ترسپ تابلو گرفته می‌شود.

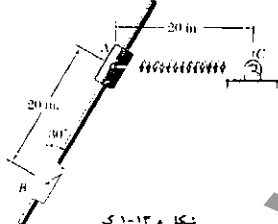


شکل م ۱۳-۱۹

## مسائل کامپیوتری



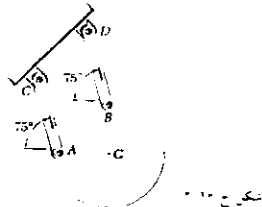
۱۳-۱ ک طوفی به وزن  $12 \text{ lb}$  به قطر مهار شده در نقطه‌ی  $C$  متصل است و بر روی میله‌ی بدون اصطکاک با زاویه‌ی  $30^\circ$  نسبت به امتداد قائم لغزش می‌کند. ثابت فنر  $k$  است و فنر در زمان قرار داشتن طوفی در نقطه‌ی  $A$  بدون کشیدگی است. با فرض آن که طوفی از حالت سکون در نقطه‌ی  $A$  رها شود، با استفاده از یک نرم‌افزار کامپیوتری، سرعت طوفی در نقطه‌ی  $B$  را برای مقادیر  $k$  از  $1$  تا  $200 \text{ lb/in}$  تعیین کنید.



شکل م ۱۳-۱

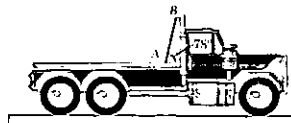
## مسائل

۱۶-۲ ج ورق دایره‌ای یکتراختی به جرم  $3 \text{ kg}$  به دو میله‌ی رابط  $AC$  و  $BD$  با طول یکسان متصل است. با فرض رها کردن ورق از حالت سکون در موقعیت نشان داده شده که در آن خطوط واصل نقطه‌ی  $G$  به نقاط  $A$  و  $B$  به ترتیب افقی و قائم‌الند، نمودار جسم آزاد و نمودار جنبشی ورق را ترسیم کنید.



شکل م ۱۶-۲

۱۶-۱ ج نخته‌ای به طول  $6 \text{ ft}$  طوری در قسمت باریک کامیون قرار داده شده است که یک انتهای آن بر روی قطعه‌ی متصل به کف و انتهای دیگر آن بر روی صفحه‌ی قائم تکیه دارد. نمودار جسم آزاد و نمودار جنبشی لازم برای تعیین حداکثر مقدار شتاب مجاز کامیون را با این فرض تعیین کنید که نخته در موقعیت نشان داده شده باقی بماند.



شکل م ۱۶-۱

دوره و چکیده مطالب فصل: هر فصل با دوره و چکیده مطالب مطرح شده در آن فصل به پایان می‌رسد. برای کمک به دانشجویان در مرور مطالب درسی، یادداشت‌هایی حاشیه‌ای آورده شده و برای کمک به یافتن بخش‌هایی از مطالب درسی که نیازمند توجه ویژه‌اند، رجوع داده شده است.

مسائل دوره: در پایان هر فصل مجموعه‌ای از مسایل آورده شده است. این مسایل به دانشجویان فرصت بیشتری می‌دهند تا مهم‌ترین مفاهیم مطرح شده در آن فصل را به کار بندند.

مسایل کامپیوتری: برای هر فصل مجموعه مسایلی در نظر گرفته شده است که برای حل کامپیوتری طراحی شده‌اند. بسیاری از این مسایل روش طراحی را نشان می‌دهند. برای مثال در این مسایل ممکن است تعیین حرکت ذره تحت تأثیر شرایط اولیه، تحلیل سینماتیکی یا سینتیکی مکانیزم‌ها در موقعیت‌های متوالی با انتگرال‌گیری عددی از معادلات مختلف حرکت ضرورت داشته باشد. تدوین الگوریتم لازم برای حل یک مسئله‌ی مکانیک معین از دو جهت برای دانشجویان سودمند است: (۱) این موضوع به دانشجویان کمک می‌کند تا درک بهتری از اصول مکانیک کسب کنند و (۲) به دانشجویان امکان می‌دهد تا مهارت‌های کامپیوتری خود را در حل مسایل هدفمند مکانیک به کار بندند.

پرسش‌های مفهومی: پرسش‌های آموزشی نشان داده‌اند که دانشجویان اغلب می‌توانند با انتخاب معادلات مناسب، مسایل الگوریتمی را بدون داشتن درک مفهومی قوی از اصول مکانیک حل کنند. ما برای کمک به ارزیابی و بهبود درک مفهومی دانشجویان، "پرسش‌های مفهومی" را در کتاب گنجانده‌ایم. این پرسش‌ها مسایلی چند جملاتی‌اند که حل آنها در صورت ضرورت تنها نیازمند چند محاسبه‌ی ساده است. هر پاسخ نادرست احتمالی نشانگر یک برداشت غلط معمول است (برای مثال دانشجویان تصور می‌کنند که شتاب الترمیل در حال حرکت با سرعت ثابت در یک مسیر خمیده خط صفر است). به دانشجویان پیشنهاد می‌شود که این مسایل را با استفاده از اصول و روش‌های مطرح شده در کتاب حل کنند و از این اصول برای کمک به بهبود درک درونی خود استفاده کنند. مهارت پیدا کردن و مورد بحث قرار دادن این پرسش‌های مفهومی به درک عمیق‌تر دانشجو و حل مسایل دینامیک کمک می‌کند.

مسایل تمرین جسم آزاد و ضربه-اندازه‌ی حرکت: ترسیم صحیح نمودارها گام اساسی در حل مسایل سینتیک درس دینامیک است. برای تأکید بر اهمیت رسم این نمودارها، نوع جدیدی از مسایل به این کتاب افزوده شده است. مسایل تمرین جسم آزاد فصل‌های ۱۲ و ۱۶ نیازمند ترسیم نمودار جسم آزاد نشانگر نیروهای وارد شده و نمودار معادلی به نام "نمودار جنبشی" نشانگر  $ma$  یا مؤلفه‌های آن و  $\alpha$  است. این نمودارها نمایش تصویری قانون

دوم نیوتن‌اند و برای کمک به دانشجویان جهت حل صحیح مسایل سینتیک جنبه‌ی اساسی دارند. مسایل تمرین ضربه-اندازه‌ی حرکت فصل‌های ۱۳ و ۱۷ نیازمند ترسیم نمودارهای نشانگر اندازه‌ی حرکت اجسام پیش از برخورد، ضربه‌های وارد بر جسم در ضمن برخورد و اندازه‌ی حرکت نهایی اجسام است. پاسخ تمامی این مسایل در [www.mhhe.com/beerjohnston](http://www.mhhe.com/beerjohnston) آورده شده است.

## منابع پيشنهادي اين كتاب

**كتاب راهنمای استاد و حل مسایل:** در "كتاب راهنمای استاد و حل مسایل" ویرایش دهم، برای حل هر یک از مسایل تکلیف یک صفحه‌ی جداگانه در نظر گرفته شده است. همچنین در این کتاب راهنما جداولی وجود دارد که به استاد در تنظیم برنامه‌ی تکالیف درسی کمک می‌کنند. عناوین مختلف مطرح شده در کتاب در جدول I فهرست شده‌اند و برای هر عنوان مشخص شده مدت زمانی پیشنهاد شده است. در جدول II شرح مختصری از گروه‌های مختلف مسایل آورده شده است و هر گروه از مسایل بسته به بخش‌های هر فصل دسته‌بندی شده‌اند. در جدول‌های III، IV و V نمونه‌ی برنامه‌ی جلسات درسی به همراه فهرست‌های مختلفی از مسایل تکلیف نشان داده شده است.

**McGraw-Hill Connect Engineering :** McGraw-Hill Connect Engineering امکانی شبکه‌ای برای مشخص کردن تکالیف و ارزیابی است که به دانشجو کمک می‌کند تا برای موفقیت حال و آینده‌ی خود با درس، استاد و مفاهیم مهم لازم ارتباط بهتری برقرار کند. اساتید به آسانی می‌توانند به کمک Connect Engineering از طریق شبکه تکالیف دانشجویان خود را مشخص و آزمون‌ها و امتحانات لازم را برگزار کنند. دانشجویان نیز می‌توانند با سرعت مورد نظر و بر پایه‌ی برنامه‌ی خود مهارت‌های مهم لازم را تمرین کنند.



**connect**  
|ENGINEERING

Connect Engineering کتاب "مکانیک برداری برای مهندسين" در تارنمای [www.mhhe.com/beerjohnston](http://www.mhhe.com/beerjohnston) در دسترس است و مسایل الگوریتمی متن کتاب، Lecture PowerPoint ها، بانک تصاویر و تصاویر متحرک را شامل می‌شود.

**Hands-on Mechanics :** Hands-on Mechanics تارنمایی است که برای اساتید

علاقه‌مند به گنجاندن کمک آموزشی‌های عملی سه بعدی در درس خود طراحی شده است. این تارنما که با همکاری "گروه مهندسی McGraw-Hill" و "دانشکده‌ی مهندسی عمران و مکانیک" آکادمی نظامی ایالات متحده واقع در West Point ایجاد شده است، نه تنها دستورات تفصیلی مربوط به چگونگی ساخت ابزارهای آموزشی سه بعدی را با استفاده از مواد موجود در آزمایشگاه یا فروشگاه سخت‌افزار محلی فراهم می‌سازد، بلکه اجتماعی را به وجود می‌آورد که به مهندسين امکان می‌دهد تا به تبادل افکار، رد و بدل بهترین روش‌ها و ارائه‌ی روش‌های کار خود جهت نمایش در تارنما بپردازند. به تارنمای [www.handsonmechanics.com](http://www.handsonmechanics.com) نگاه کنید.

**CourseSmart :** این کتاب از طریق CourseSmart برای اساتید و دانشجویان عرضه می‌شود. CourseSmart یک جستجوگر اینترنتی است که امکان خرید این کتاب و دیگر کتاب‌های شرکت McGraw-Hill را در قالب دیجیتالی برای دانشجویان فراهم می‌سازد. دانشجویان از طریق این جستجوگر می‌توانند با هزینه‌ای معادل نصف کتاب سنتی به کتاب کامل دسترسی داشته باشند. همچنین خرید کتاب الکترونیکی به دانشجویان امکان می‌دهد تا از ابزارهای شبکه‌ای CourseSmart موجود شامل امکان جستجو در کل کتاب، یادداشت‌برداری و برجسته کردن متن و ابزارهای ایمیل جهت به اشتراک گذاشتن یادداشت‌ها با هم کلاسی‌های خود بهره جویند. برای آشنایی با گزینه‌های CourseSmart با نمایندگی فروش تماس بگیرید یا از سایت [www.coursesmart.com](http://www.coursesmart.com) بازدید کنید.

سپاسگزاری ویژه Updike Dean از دانشگاه Lehigh به دلیل واریسی کامل حل و پاسخ تمامی مسایل این ویرایش از کتاب و آماده‌سازی حل مسایل برای "کتاب راهنمای استاد و حل مسایل".

همچنین از Dennis Ormond از شرکت Fine Line Illustrations برای تصاویر هندسی آنها که محتوای کتاب را پربار کرده است نیز تشکر می‌شود.

نویسندگان از شرکت‌های بسیاری که عکس‌های این ویرایش جدید را ارائه کرده‌اند، سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از تلاش و بردباری جستجوگر تصاویر Sabina Dowell قدرانی می‌شود.

نویسندگان همچنین از کارکنان McGraw-Hill به دلیل پشتیبانی و تعهد آنها در طول آماده‌سازی این ویرایش جدید تشکر می‌کنند.

در پایان نویسندگان از اظهار نظرها و پیشنهادات سودمند خوانندگان ویرایش‌های پیشین کتاب "مکانیک برداری برای مهندسين" تشکر می‌کنند.

E. Russell Johnston, Jr.

Phillip J. Cornwell

Berkeley, California ، دانشگاه Shaofan Li  
 Cal Poly ، دانشگاه ایالتی William R. Murray  
 Duluth, Minnesota ، دانشگاه Eric Musselman  
 Wentworth ، دانشکده فنی Masoud Olia  
 Washington ، دانشگاه ایالتی Renee K.B. Petersen  
 ، دانشگاه ایالتی Amir G Rezaei  
 Pomona, California Polytechnic  
 Rhode Island ، دانشگاه Martin Sadd  
 North Carolina ، دانشگاه ایالتی Stefan Seelecke  
 ، دانشگاه McGill Yixin Shao  
 Alabama ، دانشگاه Muhammad Sharif  
 Toronto ، دانشگاه Anthony Sinclair  
 Irvine, California ، دانشگاه Lizhi Sun  
 Northwestern ، دانشگاه Jeffrey Thomas  
 Nebraska ، دانشگاه Jiashi Yang  
 Case Western Reserve ، دانشگاه Xiangwa Zeng

Northeastern ، دانشگاه George Adams  
 Windsor ، دانشگاه William Altenhof  
 Boston ، دانشگاه Sean B. Anderson  
 Colorado ، دانشکده معدن Manohar Arora  
 Michigan ، دانشگاه ایالتی Gilbert Baladi  
 McGill ، دانشگاه Francois Barthelat  
 ، آکادمی دریایی ایالات متحده Oscar Barton Jr.  
 Iowa ، دانشگاه M. Asghar Bhatti  
 Windsor ، دانشگاه Shaohong Cheng  
 Rhode Island ، دانشگاه Philip Datseris  
 Portland ، دانشگاه Timothy A. Doughty  
 Connecticut ، دانشگاه Howard Epstein  
 Kansas ، دانشگاه ایالتی Asad Esmaeily  
 Florida ، دانشکده فنی David Fleming  
 Texas Tech ، دانشگاه Jeff Hanson  
 Florida ، دانشگاه David A. Jenkins

## Connect. Learn. Succeed

رسالت McGraw – Hill Higher Education کمک به دانشجویان برای روبرو شدن با جهان پیش رو است. شرکت McGraw – Hill با فراهم ساختن کتاب‌های درسی، کتاب‌های الکترونیکی و دیگر مطالب دیجیتال آموزشی به همراه امکانات آزمایشی فراگیر، تعیین تکالیف درسی و ارزیابی دانشجو، از یک سو ارتباط میان استاد و دانشجو با محتوای ارزشمند درس و از سوی دیگر ارتباط میان استاد و دانشجو با یکدیگر را فراهم می‌سازد. دانشجویان به کمک پرکیفیت‌ترین ابزارها و مطالب درسی می‌توانند کارهای درسی خود را در زمان، مکان و سرعت دلخواه انجام دهند و بدین ترتیب به فراگیری بهتر و درک عمیق‌تر دست پیدا کنند. دانشجویان به نوبه‌ی خود با فراگیری درس در حد توان کامل خود، در کارهای آموزشی حال و دنیای واقعی به موفقیت دست پیدا می‌کنند.

## ارتباط:

## منابع استاد

- McGraw – Hill Connect
- شبیه‌سازی‌ها
- McGraw – Hill Create
- McGraw – Hill Tegrity
- Learning Solutions
- کتاب راهنمای استاد و حل مسایل
- PowerPoint Lecture Outlines
- Clicker Questions
- تصاویر الکترونیکی کتاب
- EzTest Test Bank

## فراگیری:

## محتوای درس

- کتاب درسی
- کتاب الکترونیکی
- نمایش‌های PowerPoint
- Enhanced Cartridges
- شبیه‌سازی‌های ویژه‌ی کلاس درس
- امکانات کمکی ارائه‌ی درس
- انتشارات مرسوم

## موفقیت:

## منابع دانشجو

- تکالیف درسی اینترنتی
- شبیه‌سازی‌ها
- پرسش‌ها
- کتاب الکترونیکی

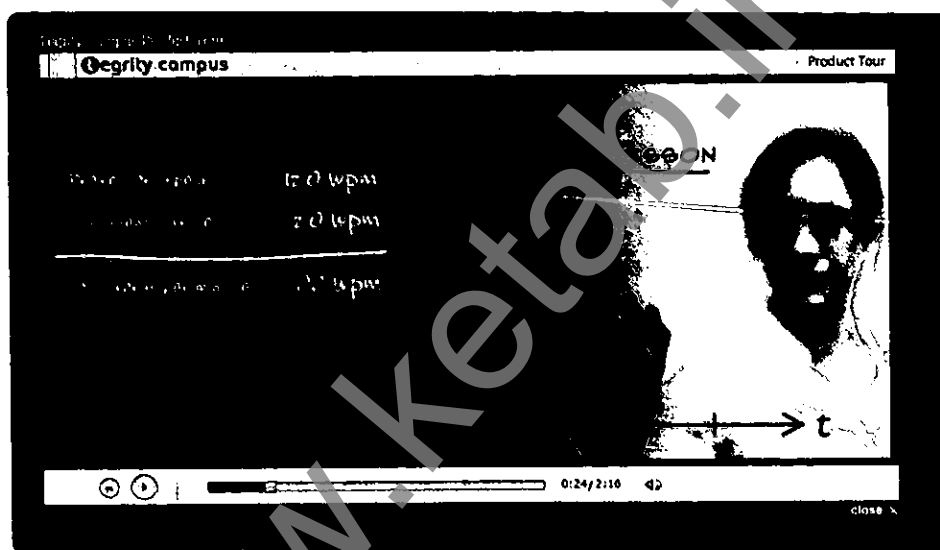


برای اطلاعات بیشتر به: [www.mhhe.com](http://www.mhhe.com) نگاه کنید.

# McGraw-Hill Tegrity

Tegrity خدماتی است که با ضبط خودکار هر جلسه‌ی درس با فرمت قابل جستجو برای دانشجو، همواره در زمان مطالعه و انجام تکالیف، کلاس درس را در اختیار دانشجو قرار می‌دهد. تنها با یک کلیک ساده در فرآیند شروع و پایان، تمامی تصاویر صفحه‌ی نمایش کامپیوتر و صدای مربوطه را ضبط می‌کنید. دانشجو با استفاده از یک جستجوگر ساده، هر بخشی از هر کلاس درس را بر روی کامپیوتر PC یا Mac مشاهده خواهد کرد. استاد می‌داند که هر چه دانشجو منابع کلاس را بیشتر ببیند، بشنود و تجربه کند، فراگیری بهتری خواهد داشت. دانشجو به کمک Tegrity و با استفاده از امکان جستجوی ویژه‌ی Tegrity به سرعت می‌تواند لحظات کلیدی درس را فرا بخواند. این امکان جستجو به شکل مؤثری به دانشجو در یافتن موارد مورد نیاز در کل جلسات ضبط شده‌ی کلاس درس در طول ترم کمک می‌کند. با استفاده از این امکان برای جلسات درس خود، تمامی زمان مطالعه‌ی دانشجویان خود را بی‌درنگ به لحظات یادگیری تبدیل کنید.

برای آشنایی بیشتر با Tegrity، نمایش دو دقیقه‌ای آن را در <http://tegritycampus.mhhe.com> مشاهده کنید.



## فهرست نمادها

|                                                                                |                      |                                                             |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------|
| شتاب                                                                           | $a, \bar{a}$         | شعاع چرخش یا ژیراسیون مرکز سطحی                             | $\bar{k}$          |
| ثابت، شعاع، فاصله، نیم قطر بلند (اطول) بیضی                                    | $a$                  | طول                                                         | $l$                |
| شتاب مرکز جرم                                                                  | $\bar{a}, \bar{a}$   | اندازه‌ی حرکت خطی                                           | $L$                |
| شتاب $B$ نسبت به دستگاه مختصات در حال انتقال با $A$                            | $a_{B/A}$            | طول، ضریب القا                                              | $L$                |
| شتاب $P$ نسبت به دستگاه چرخان $\mathcal{F}$                                    | $a_{P/\mathcal{F}}$  | جرم                                                         | $m$                |
| شتاب کوریولیس                                                                  | $a_c$                | جرم بر واحد طول                                             | $m'$               |
| واکنش تکیه‌گاه‌ها و اتصالات                                                    | $\dots, C, B, A$     | کوپل، گشتاور                                                | $M$                |
| نقاط                                                                           | $\dots, C, B, A$     | گشتاور حول نقطه‌ی $O$                                       | $M_O$              |
| سطح، مساحت                                                                     | $A$                  | برآیند گشتاور حول نقطه‌ی $O$                                | $M_O^R$            |
| عرض، فاصله، نیم قطر کوتاه (اقصر) بیضی                                          | $b$                  | مقدار کوپل یا گشتاور، جرم زمین                              | $M$                |
| ثابت، ضریب میرایی گرانی                                                        | $c$                  | گشتاور حول محور $OL$                                        | $M_{OL}$           |
| مرکز سطح، مرکز آنی دوران، ظرفیت                                                | $C$                  | امتداد عمودی                                                | $n$                |
| فاصله                                                                          | $d$                  | مؤلفه‌ی عمودی واکنش                                         | $N$                |
| بردارهای واحد یا یک‌ه در امتدادهای عمودی و مماسی                               | $e_i, e_n$           | مبدأ مختصات                                                 | $O$                |
| بردارهای واحد یا یک‌ه در امتدادهای شعاعی و عمود بر شعاع                        | $e_\theta, e_r$      | نیرو، بردار                                                 | $P$                |
| ضریب بازگشت یا برجهندگی، پایه‌ی لگاریتم‌های طبیعی                              | $e$                  | آهنگ تغییر بردار $P$ نسبت به دستگاه مختصات با جهت‌گیری ثابت | $\dot{P}$          |
| انرژی مکانیکی کل، ولتاژ                                                        | $E$                  | میزان جرمی جریان، بار الکتریکی                              | $q$                |
| تابع اسکالر                                                                    | $f$                  | نیرو، بردار                                                 | $Q$                |
| بسامد یا فرکانس ارتعاش واداشته                                                 | $f_f$                | آهنگ تغییر بردار $Q$ نسبت به دستگاه مختصات با جهت‌گیری ثابت | $\dot{Q}$          |
| بسامد یا فرکانس طبیعی                                                          | $f_n$                | آهنگ تغییر بردار $Q$ نسبت به دستگاه مختصات                  | $(\dot{Q})_{Oxyz}$ |
| نیرو، نیروی اصطکاک                                                             | $F$                  | بردار مکان                                                  | $r$                |
| شتاب گرانش                                                                     | $g$                  | بردار مکان $B$ نسبت به $A$                                  | $r_{B/A}$          |
| گرانیگاه، مرکز جرم، ثابت گرانش                                                 | $G$                  | شعاع، فاصله، مختص قطبی                                      | $r$                |
| اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای بر واحد جرم                                             | $h$                  | نیروی برآیند، بردار برآیند، واکنش                           | $R$                |
| اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای حول نقطه‌ی $O$                                          | $H_O$                | شعاع زمین، مقاومت                                           | $R$                |
| آهنگ تغییر اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای $H_G$ نسبت به دستگاه مختصات با جهت‌گیری ثابت | $\dot{H}_G$          | بردار مکان                                                  | $s$                |
| آهنگ تغییر اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای $H_G$ نسبت به دستگاه مختصات چرخان $Gxyz$     | $(\dot{H}_G)_{Gxyz}$ | طول کمان                                                    | $s$                |
| بردارهای واحد یا یک‌ه در امتداد محورهاى مختصات                                 | $k, j, i$            | زمان، ضخامت، امتداد مماسی                                   | $t$                |
| جریان                                                                          | $i$                  | نیرو                                                        | $T$                |
| گشتاورهای لختی                                                                 | $\dots, I_x, I$      | کشش، انرژی جنبشی                                            | $T$                |
| گشتاور لختی مرکز سطحی                                                          | $\bar{I}$            | سرعت (بردار)                                                | $u$                |
| حاصل ضرب‌های لختی                                                              | $\dots, I_{xy}$      | متغیر                                                       | $u$                |
| گشتاور لختی قطبی                                                               | $J$                  | کار                                                         | $U$                |
| ثابت فنر                                                                       | $k$                  | سرعت                                                        | $v, v$             |
| شعاع‌های چرخش یا ژیراسیون $k_O, k_y, k_x$                                      |                      | مقدار سرعت، تندی                                            | $v$                |

|                                                  |                  |                                                          |                                                        |
|--------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| مختص زاویه‌ای، زاویه‌ی اولر، زاویه، مختص قطبی    | $\theta$         | سرعت $P$ نسبت به دستگاه مختصات چرخان $\mathcal{F}$       | $\mathbf{v}_{P/\mathcal{F}}$                           |
| ضریب اصطکاک                                      | $\mu$            | حاصل ضرب برداری                                          | $\mathbf{V}$                                           |
| جرم مخصوص، شعاع انحنا                            | $\rho$           | حجم، انرژی پتانسیل                                       | $V$                                                    |
| زمان تناوب                                       | $\tau$           | بار بر واحد طول                                          | $w$                                                    |
| زمان تناوب ارتعاش آزاد                           | $\tau_n$         | وزن، بار                                                 | $W, \mathbf{W}$                                        |
| زاویه‌ی اصطکاک، زاویه‌ی اولر، زاویه‌ی فاز، زاویه | $\phi$           | مختصات متعامد، فاصله                                     | $\mathbf{z}, \mathbf{y}, \mathbf{x}$                   |
| اختلاف فاز                                       | $\varphi$        | مشتقات زمانی مختصات $\mathbf{z}, \mathbf{y}, \mathbf{x}$ | $\dot{\mathbf{z}}, \dot{\mathbf{y}}, \dot{\mathbf{x}}$ |
| زاویه‌ی اولر                                     | $\psi$           | مختصات متعامد مرکز سطح، گرانیگاه یا مرکز جرم             | $\bar{\mathbf{z}}, \bar{\mathbf{y}}, \bar{\mathbf{x}}$ |
| سرعت زاویه‌ای                                    | $\omega, \omega$ | شتاب زاویه‌ای                                            | $\alpha, \alpha$                                       |
| بسامد یا فرکانس دایره‌ای ارتعاش واداشته          | $\omega_f$       | زاویه                                                    | $\gamma, \beta, \alpha$                                |
| بسامد یا فرکانس دایره‌ای طبیعی                   | $\omega_n$       | وزن مخصوص                                                | $\gamma$                                               |
| سرعت زاویه‌ای دستگاه مختصات مرجع                 | $\Omega$         | افزایش طول                                               | $\delta$                                               |
|                                                  |                  | برون مرکزی مقطع مخروطی یا مدار                           | $\varepsilon$                                          |
|                                                  |                  | بردار واحد یا یک‌ه‌ی امتداد یک خط                        | $\lambda$                                              |
|                                                  |                  | بازده                                                    | $\eta$                                                 |