

فردیناند پ. بی‌یر و ا. راسل جانستون

## مکانیک برداری برای مهندسان - جلد ۱

# استاتیک

(ویراست سوم، محاسبات براساس SI)

ترجمه دکتر ابراهیم واحدیان



Vector Mechanics for Engineers (Vol. 1: Statics)

Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, Elliot R. Eisenberg, William E. Clausen, George H. Staab

7th Edition

Mc Graw-Hill Book Co., 2004



نشر علوم دانشگاهی

مکانیک برداری برای مهندسان، جلد اول استاتیک (ویراست هفتم)

تألیف فردیناند پی. بی. بی. ای. راسل جانستون، الیوت آر. ایزنبرگ، ویلیام ای. کلاوزن، جورج ای. استاب

ترجمه دکتر ابراهیم واحدیان

ویراسته محمد حسن پور

حروفچینی و صفحه‌آرایی: واحد تولید نشر علوم دانشگاهی

حروف نگار: ندا جنبار

نسخه‌پرداز: فریبا ارجمندی خالدي

اجرای تصاویر اسکنری: نوشین میرمسیب

اجرای جلد: محمدرضا میرابی

نشر علوم دانشگاهی، تهران

چاپ اول، ۱۳۸۵

نسخه ۱۰۰۰

لینوگرانی، نورنگ

چاپ و صحافی، پژواک اندیشه

۶۰۰۰۰ ریال

شابک: ۷۵-۶۱۸۶-۹۶۴-۰ ISBN 964-6186-75-0

حقوق چاپ برای نشر علوم دانشگاهی محفوظ است

فهرست‌نویسی پیش از انتشار

|                                                                                                 |                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Beer, Ferdinand Pierre                                                                          | بی. بی. بی. فردیناند پی. بی. بی. ۱۹۱۵ - م. |
| مکانیک برداری برای مهندسان / فردیناند پی. بی. بی. ... [و دیگران]: ترجمه ابراهیم واحدیان.        |                                            |
| تهران: نشر علوم دانشگاهی، ۱۳۸۵                                                                  |                                            |
| ۲ ج، مصور، نمودار.                                                                              |                                            |
| ISBN 964-6186-75-0 : (ج. ۱) : ۶۰۰۰۰ ریال                                                        |                                            |
| فهرست‌نویسی براساس اطلاعات فیبا.                                                                |                                            |
| Vector mechanics for engineers (Vol. 1: Statics)                                                | عنوان اصلی:                                |
| 7th ed., 2004.                                                                                  |                                            |
| کتاب حاضر اول بار تحت عنوان دوره مکانیک ترجمه و منتشر شده است.                                  |                                            |
| مندرجات: ج. ۱. مکانیک. - ج. ۲. دینامیک.                                                         |                                            |
| ۱. مکانیک عملی. ۲. بردارها. ۳. استاتیک. ۴. دینامیک. الف. بی. بی. فردیناند پی. بی. بی. ۱۹۱۵ - م. |                                            |
| Beer, Ferdinand pierre. ب. واحدیان، ابراهیم، ۱۳۰۲، مترجم. ج. عنوان: دوره مکانیک.                |                                            |
| ۶۲۰/۱۰۵                                                                                         | ۹۵۰ ب / ۶۲۰                                |
| ۱۳۸۵                                                                                            |                                            |
| ۸۷-۳۳۵۷۸ م                                                                                      | کتابخانه ملی ایران                         |

تهران: خیابان انقلاب، خیابان روانمهر، بین فخررازی و دانشگاه، پلاک ۱۴۱

کدپستی: ۱۳۱۴۸، صندوق پستی ۳۱۴۵/۳۴۶ تلفن ۶۶۴۱۳۴۲۶ و ۶۶۴۴۶۸۲۵ شماره ۶۶۴۱۹۶۰۸

## فهرست

|                                              |                                                             |      |        |                                                          |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------|--------|----------------------------------------------------------|
| ۲۹                                           | نیرو با بزرگی اش و دو نقطه واقع بر روی خط اثرش تعریف می شود | ۱۳-۲ | هفت    | سخن ناشر                                                 |
| ۳۰                                           | جمع بستن نیروهای هم رس در فضا                               | ۱۴-۲ | نه     | پیشگفتار مترجم                                           |
| ۳۴                                           | تعادل ذره در فضا                                            | ۱۵-۲ | یازده  | پیشگفتار                                                 |
|                                              |                                                             |      | پانزده | درباره مؤلفان                                            |
| <b>فصل ۳. اجسام صلب: سیستم نیروهای معادل</b> |                                                             |      |        |                                                          |
| ۴۵                                           | مقدمه                                                       | ۱-۳  |        | <b>فصل ۱. مقدمه</b>                                      |
| ۴۶                                           | نیروهای خارجی و نیروهای داخلی                               | ۲-۳  |        | ۱-۱ مکانیک چیست؟                                         |
| ۴۶                                           | اصل قابلیت انتقال، نیروهای معادل                            | ۳-۳  | ۱      | ۲-۱ مفاهیم و اصول بنیادی                                 |
| ۴۷                                           | ضرب برداری دو بردار                                         | ۴-۳  | ۱      | ۳-۱ سیستمهای یکاها                                       |
| ۴۸                                           | حاصلضرب برداری بر حسب مؤلفه های قائم                        | ۵-۳  | ۳      | ۴-۱ تبدیل یک سیستم از یکاها به سیستم دیگر                |
| ۴۹                                           | گشتاور یک نیرو حول یک نقطه                                  | ۶-۳  | ۶      | ۵-۱ روش حل مسئله                                         |
| ۵۰                                           | قضیه وارینون                                                | ۷-۳  | ۶      | ۶-۱ دقت عددی                                             |
| ۵۰                                           | مؤلفه های قائم گشتاور یک نیرو                               | ۸-۳  | ۷      |                                                          |
| ۵۷                                           | ضرب اسکالر دو بردار                                         | ۹-۳  |        | <b>فصل ۲. استاتیک ذره ها</b>                             |
| ۵۹                                           | ضرب سه گانه مختلط سه بردار                                  | ۱۰-۳ |        | ۱-۲ مقدمه                                                |
| ۶۰                                           | گشتاور یک نیرو حول یک محور معین                             | ۱۱-۳ | ۸      |                                                          |
| ۶۵                                           | گشتاور کوپل                                                 | ۱۲-۳ |        | <b>نیروهای واقع در صفحه</b>                              |
| ۶۶                                           | کوپلهای معادل                                               | ۱۳-۳ |        | ۲-۲ نیروی وارد بر یک ذره. برابند دو نیرو                 |
| ۶۸                                           | جمع بستن کوپلها                                             | ۱۴-۳ | ۸      | ۳-۲ بردارها                                              |
| ۶۸                                           | کوپلها را می شود با بردار نمایش داد                         | ۱۵-۳ | ۹      | ۴-۲ جمع بردارها                                          |
| ۶۸                                           | تجزیه یک نیروی معین به یک نیرو در نقطه $O$ و یک کوپل        | ۱۶-۳ | ۱۰     | ۵-۲ برابند چند نیروی هم رس                               |
| ۷۵                                           | تبدیل سیستم نیروها به یک نیرو و یک کوپل                     | ۱۷-۳ | ۱۱     | ۶-۲ تجزیه یک نیرو به مؤلفه های آن                        |
| ۷۶                                           | سیستم نیروهای معادل                                         | ۱۸-۳ | ۱۱     | ۷-۲ مؤلفه های قائم یک نیرو. بردارهای بکه                 |
| ۷۶                                           | سیستم بردارهای هم سنگ                                       | ۱۹-۳ | ۱۵     | ۸-۲ جمع نیروها از طریق جمع بستن مؤلفه های $x$ و $y$ آنها |
| ۷۶                                           | بیشتر خلاصه کردن یک سیستم از نیروها                         | ۲۰-۳ | ۱۷     | ۹-۲ تعادل یک ذره                                         |
| ۷۸                                           | خلاصه کردن سیستم نیروها به یک رنج                           | ۲۱-۳ | ۲۱     | ۱۰-۲ قانون اول نیوتون درباره حرکت                        |
|                                              |                                                             |      | ۲۱     | ۱۱-۲ مسئله های مربوط به تعادل یک ذره. نمودارهای جسم آزاد |
| <b>فصل ۴. تعادل اجسام صلب</b>                |                                                             |      |        |                                                          |
| ۹۶                                           | مقدمه                                                       | ۱-۴  |        | <b>نیروها در فضا</b>                                     |
| ۹۶                                           | نمودار جسم آزاد                                             | ۲-۴  | ۲۷     | ۱۲-۲ مؤلفه های قائم یک نیرو در فضا                       |

|     |                                                         |     |                                                          |
|-----|---------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------|
| ۱۷۸ | ۳.۶ خراباهای ساده                                       | ۸۱  | ۲۱.۳ خلاصه کردن سیستم نیروها به یک رنج                   |
| ۱۷۹ | ۴.۶ تحلیل خراباها به روش مفصلها                         | ۹۳  | دوره و خلاصه فصل ۳                                       |
| ۱۸۱ | ۵.۶ مفصلهای تحت شرایط بارگذاری خاص                      | ۹۶  | مسئله‌های دوره‌ای                                        |
| ۱۸۲ | ۶.۶ خراباهای فضایی                                      |     |                                                          |
| ۱۸۹ | ۷.۶ تحلیل خراباها به روش مقاطع                          | ۱۰۰ | ۴. تعادل اجسام صلب                                       |
| ۱۹۰ | ۸.۶ خراباهای ساخته شده از چند خرابای ساده               | ۱۰۰ | ۱.۴ مقدمه                                                |
| ۱۹۷ | قابها و ماشینها                                         | ۱۰۰ | ۲.۴ نمودار جسم آزاد                                      |
| ۱۹۷ | ۹.۶ سازه‌های دارای عضوهای چندنیروی                      | ۱۰۱ | تعادل در دوبعد                                           |
| ۱۹۷ | ۱۰.۶ تحلیل یک قاب                                       | ۱۰۱ | ۳.۴ عکس‌العملها در تکیه گاهها و اتصالات سازه‌ای دوبعدی   |
|     | ۱۱.۶ قابهایی که در صورت جدا شدن از تکیه گاه‌هایشان دیگر | ۱۰۱ | ۴.۴ تعادل یک جسم صلب در دوبعد                            |
| ۱۹۸ | صلب نیستند                                              | ۱۰۳ | ۵.۴ عکس‌العملهای نامعین از لحاظ استاتیکی، قیدهای ناقص    |
| ۲۰۹ | ۱۲.۶ ماشینها                                            | ۱۱۴ | ۶.۴ تعادل جسم دونیروی                                    |
| ۲۱۷ | دوره و خلاصه فصل ۶                                      | ۱۱۵ | ۷.۴ تعادل جسم سه‌نیروی                                   |
| ۲۱۸ | مسئله‌های دوره‌ای                                       | ۱۱۹ | تعادل در سه‌بعد                                          |
|     |                                                         | ۱۱۹ | ۸.۴ تعادل جسم صلب در سه‌بعد                              |
| ۲۲۳ | ۷. نیروها در تیرها و کابلها                             |     | ۹.۴ عکس‌العملها در تکیه گاهها و اتصالات در مورد سازه‌های |
| ۲۲۳ | ۱.۷ مقدمه                                               | ۱۱۹ | سه‌بعدی                                                  |
| ۲۲۳ | ۲.۷ نیروهای داخلی در اعضاها                             | ۱۲۲ | دوره و خلاصه فصل ۴                                       |
| ۲۲۸ | تیرها                                                   | ۱۲۳ | مسئله‌های دوره‌ای                                        |
| ۲۲۸ | ۳.۷ انواع مختلف بارگذاری و تکیه‌گاه                     |     |                                                          |
| ۲۲۹ | ۴.۷ برش و گشتاور خمشی در تیر                            | ۱۳۶ | ۵. نیروهای گسترده: مرکزهای هندسی و مرکزهای گرانی         |
| ۲۳۰ | ۵.۷ نمودارهای برش و گشتاور خمشی                         | ۱۳۶ | ۱.۵ مقدمه                                                |
| ۲۳۷ | ۶.۷ روابط میان بار، برش، و گشتاور خمشی                  | ۱۳۶ | سطحها و خطها                                             |
| ۲۴۴ | کابلها                                                  | ۱۳۶ | ۲.۵ مرکز گرانی جسم دوبعدی                                |
| ۲۴۴ | ۷.۷ کابل‌های حامل بارهای متمرکز                         | ۱۳۷ | ۳.۵ مرکزهای هندسی سطوح و خطوط                            |
| ۲۴۵ | ۸.۷ کابل‌های با بارهای گسترده                           | ۱۳۷ | ۴.۵ گشتاور اول سطوح و خطوط                               |
| ۲۴۵ | ۹.۷ کابل با منحنی سهمی                                  | ۱۳۸ | ۵.۵ ورقها و سیمهای مرکب                                  |
| ۲۵۱ | ۱۰.۷ کابل با منحنی زنجیری                               | ۱۴۷ | ۶.۵ تعیین مرکزهای هندسی به روش انتگرال‌گیری              |
| ۲۵۶ | دوره و خلاصه فصل ۷                                      | ۱۴۸ | ۷.۵ قضیه‌های پاپوس - گلدینوس                             |
| ۲۵۸ | مسئله‌های دوره‌ای                                       | ۱۵۵ | ۸.۵ بارهای گسترده روی تیرها                              |
|     |                                                         | ۱۵۵ | ۹.۵ نیروهای وارد بر سطوح غوطه‌ور                         |
| ۲۶۱ | ۸. اصطکاک                                               | ۱۶۲ | حجمها                                                    |
| ۲۶۱ | ۱.۸ مقدمه                                               | ۱۶۲ | ۱۰.۵ مرکز گرانی جسم سه‌بعدی - مرکز هندسی حجم             |
| ۲۶۱ | ۲.۸ قوانین اصطکاک خشک، ضرایب اصطکاک                     | ۱۶۳ | ۱۱.۵ جسمهای مرکب                                         |
| ۲۶۲ | ۳.۸ زاویه‌های اصطکاک                                    | ۱۶۳ | ۱۲.۵ تعیین مرکز هندسی حجم به روش انتگرال‌گیری            |
| ۲۶۳ | ۴.۸ مسئله‌های مربوط به اصطکاک خشک                       | ۱۷۱ | دوره و خلاصه فصل ۵                                       |
| ۲۷۴ | ۵.۸ گره‌ها                                              | ۱۷۳ | مسئله‌های دوره‌ای                                        |
| ۲۷۵ | ۶.۸ پیچهای دنده چهارگوش                                 |     |                                                          |
| ۲۸۱ | ۷.۸ یاناقانهای یوشی، اصطکاک محوری                       | ۱۷۷ | ۶. تحلیل سازه‌ها                                         |
| ۲۸۲ | ۸.۸ یاناقانهای کف‌گرد، اصطکاک دیسکی                     | ۱۷۷ | ۱.۶ مقدمه                                                |
| ۲۸۳ | ۹.۸ اصطکاک چرخ، مقاومت غلتشی                            | ۱۷۸ | خراباها                                                  |
| ۲۸۷ | ۱۰.۸ اصطکاک تسمه                                        | ۱۷۸ | ۲.۶ تعریف خرابا                                          |

|                                                      |     |                                                    |     |
|------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------|-----|
| دوره و خلاصه فصل ۸                                   | ۲۹۴ | ۱۸.۹ تعیین محورهاى اصلی و گشتاورهای اصلی یک جسم با | ۳۴۱ |
| مسئله‌های دوره‌ای                                    | ۲۹۵ | شکل دلخواه                                         | ۳۴۸ |
| ۹. نیروهای گسترده: گشتاورهای لختی                    | ۲۹۹ | دوره و خلاصه فصل ۹                                 | ۳۵۲ |
| ۱.۹ مقدمه                                            | ۲۹۹ | مسئله‌های دوره‌ای                                  | ۳۵۲ |
| گشتاورهای لختی سطوح                                  | ۲۹۹ | ۱۰. روش کار مجازی                                  | ۳۵۶ |
| ۲.۹ گشتاور دوم، یا گشتاور لختی، یک سطح               | ۲۹۹ | ۱.۱۰ مقدمه                                         | ۳۵۶ |
| ۳.۹ تعیین گشتاور لختی یک سطح به روش انتگرال‌گیری     | ۳۰۰ | ۲.۱۰ کار یک نیرو                                   | ۳۵۶ |
| ۴.۹ گشتاور لختی قطبی                                 | ۳۰۱ | ۳.۱۰ اصل کار مجازی                                 | ۳۵۸ |
| ۵.۹ شعاع چرخش یک سطح                                 | ۳۰۱ | ۴.۱۰ کاربردهای اصل کار مجازی                       | ۳۵۸ |
| ۶.۹ قضیه محورهاى موازى                               | ۳۰۶ | ۵.۱۰ ماشینهای واقعی. بازده مکانیکی                 | ۳۵۹ |
| ۷.۹ گشتاورهای لختی سطوح مرکب                         | ۳۰۷ | ۶.۱۰ کار یک نیرو در حین یک جابه‌جایی محدود         | ۳۶۸ |
| ۸.۹ حاصلضرب لختی                                     | ۳۱۵ | ۷.۱۰ انرژی پتانسیل                                 | ۳۷۰ |
| ۹.۹ محورهاى اصلی و گشتاورهای لختی اصلی               | ۳۱۶ | ۸.۱۰ انرژی پتانسیل و حالت تعادل                    | ۳۷۰ |
| ۱۰.۹ دایره مور برای تعیین گشتاورها و حاصلضربهای لختی | ۳۲۲ | ۹.۱۰ پایداری تعادل                                 | ۳۷۱ |
| گشتاورهای لختی جرمها                                 | ۳۲۶ | دوره و خلاصه فصل ۱۰                                | ۳۷۸ |
| ۱۱.۹ گشتاور لختی یک جرم                              | ۳۲۶ | مسئله‌های دوره‌ای                                  | ۳۷۹ |
| ۱۲.۹ قضیه محورهاى موازى                              | ۳۲۷ |                                                    |     |
| ۱۳.۹ گشتاورهای لختی ورقهای نازک                      | ۳۲۷ | پیوستها                                            | ۳۸۲ |
| ۱۴.۹ تعیین گشتاور لختی جسم سه‌بعدی با انتگرال‌گیری   | ۳۲۸ | پاسخ مسائل                                         | ۳۸۷ |
| ۱۵.۹ گشتاورهای لختی اجسام مرکب                       | ۳۲۹ | واژه‌نامه فارسی-انگلیسی                            | ۴۰۳ |
| ۱۶.۹ گشتاور لختی جسم نسبت به محور دلخواهی که از $O$  | ۳۳۹ | واژه‌نامه انگلیسی-فارسی                            | ۴۰۴ |
| می‌گذرد. حاصلضرب لختی جرم                            | ۳۴۰ | نمایه                                              | ۴۰۵ |
| ۱۷.۹ بیضوی لختی. محورهاى اصلی لختی                   |     |                                                    |     |

## سخن ناشر

### به نام آنکه جان را فکرت آموخت

نشر علوم دانشگاهی مؤسسه‌ای است که از سال ۱۳۶۵ با هدف ارائه کتابهای درسی مناسب برای دانشجویان آغاز به کار کرد و در این راه کوشید با استفاده از تجربیات مؤسساتی که قبلاً در این راه گام برداشته بودند، از آسیب‌پذیری رایج در عرصه کتابهای دانشگاهی بکاهد. خوشبختانه این تلاش با حسن نظر استادان و دانشجویان روبه‌رو شد. استقبال وسیع از کتابهای این مؤسسه، صرف‌نظر از دلگرم‌کردن ما، مسئولیت ما را در ارائه خدمات بهتر افزون ساخت. هدفهایی که مؤسسه ما پیش روی خود قرار داده عبارت‌اند از:

۱. کیفیت علمی بالاتر از طریق تعمق بیشتر در حیطه‌های ترجمه، تألیف و ویرایش؛
۲. ارائه کتاب با خصوصیات ظاهری بهتر برای ماندگاری کتاب و استفاده بهینه از آن؛
۳. تا حد امکان ارزان ارائه کردن کتاب به نحوی که خرید آن برای دانشجویان آسانتر باشد؛
۴. روز آمد کردن کتابهای مؤسسه از طریق انطباق ترجمه‌های موجود با آخرین ویراست متن اصلی؛
۵. تأمین نیاز دانشجویان به صورت پیوسته به نحوی که کتابهای ما به بازار سیاه راه پیدا نکند.

حیطه‌های کار نشر علوم دانشگاهی عبارت‌اند از علوم پایه، فنی و مهندسی. از استادان، مؤلفان و مترجمان این حوزه‌ها می‌خواهیم با ارائه نقد و نظر درباره کتابهای این مؤسسه و پیشنهادهای ترجمه و تألیف، ما را یاری دهند.

## پیشگفتار مترجم

به نام خداوند جان و خرد

خارج از اندیشه و ذهن مجرد علمی بشری، همواره تجسمی عینی که زاینده آن اندیشه علمی است به صورت صنعت و هنر خودنمایی می‌کند و نتیجهٔ اخیر است که مآلاً به پیشبرد شایسته و مناسب مقاصد غائی بشری در تعالی وی کمک می‌کند. با توجه به مسائل فوق و تجاربی که در سالهای منمادی تدریس کسب کرده بودم، لزوم وجود کتب علمی و فنی را کاملاً حس کرده، تا همزمان با بالا بردن سطح معلومات نظری دانشجویان کشورم، برای آنها ارائه‌دهنده طریقی باشم که بتواند به کمک آن، آموخته‌های خود را خارج از ذهن خویش تجسم بخشند و سهمی در علوم و اکتشافات عصر خود ایفا کنند.

خوشبختانه کتاب موجود که نتیجه زحمات چندین سالهٔ مؤلفان آن، آقایان فردیناند پ. پی‌یر (استاد و رییس گروه مکانیک دانشگاه) و ا. راسل جانستون (استاد گروه مهندسی عمران انستیتو پلی تکنیک ورچستر) است، برای دانشجویان دانشکده‌های علوم و فنی مناسب تشخیص داده شده و در ۲۵ سالی که از اولین ترجمه آن می‌گذرد با استقبال فراوان دانشجویان و همکاران گرامی مواجه شد، کما اینکه ویراست دوم آن که محاسبات براساس SI بود ۹ بار چاپ شد. اینک با کمال خوشوقتی ویراست سوم کتاب را که محاسبات آن براساس SI است ترجمه و تقدیم می‌دارد. همان‌گونه که مؤلفان نیز در پیشگفتار بیان کرده‌اند، مزایای این ویراست عبارت است از: (۱) از آنجا که یکاهای آمریکایی حتی در کشورهای انگلیسی‌زبان نیز کمتر کاربرد دارد لذا در این کتاب تنها از یکاهای متداول SI استفاده شده است. در ضمن برای اینکه احتمالاً گاهی احتیاج به تبدیل یکاهای SI به U.S داشته باشید این تبدیلات در آخر کتاب به عنوان پیوست آورده شده است. (۲) در هر فصل علاوه بر چند مسئله نمونه حل شده برای فهم کلی هر درس، مسئله‌های زیادی نیز برای ورزیدگی و آمادگی دانشجویان مطرح شده و در آخر هر فصل نیز چندین مسئله برای حل با کامپیوتر طراحی شده است. (۳) در آخر هر فصل خلاصه و بازنگری آن فصل مجدداً آورده شده تا بدین وسیله خود یاری در تفهیم آن فصل انجام گیرد.

ویراستاری کتاب را آقای بهمن سلطانی با دقتی بسیار انجام داده است که لازم می‌دانم از زحمات ایشان قدردانی و سپاسگزاری کنم. ویرایش فنی، نسخه‌پردازی و امور هنری کتاب به عهده واحد تولید نشر علوم دانشگاهی بوده است که بدین وسیله از زحمات بی‌وقفه کارکنان این واحد تشکر می‌کنم. از دقت مسئولان محترم نشر علوم دانشگاهی که در چاپ و عرضه شایسته این کتاب سعی بلیغ مبذول داشته‌اند نهایت تشکر را دارم.

در خاتمه با تمام کوششی که در این راه به عمل آمده است، یقین دارم کتاب خالی از اشکال نیست. از همکاران دانشمند و دانشجویان ارجمند تمنا دارم مانند گذشته، نظرات و پیشنهادهای اصلاحی خود را از طریق ناشر تذکر دهند تا در چاپهای بعدی در رفع نقایص اقدام شود. قبلاً از همکاری صمیمانه‌ای که ابراز می‌دارید سپاسگزارم.

۱. واحدیان

زمستان ۱۳۷۸