

دیوید آر. گسکل

# آشنایی با

# ترمودینامیک مواد

ویرایش پنجم

مترجم

دکتر محمود علی اف خضرای

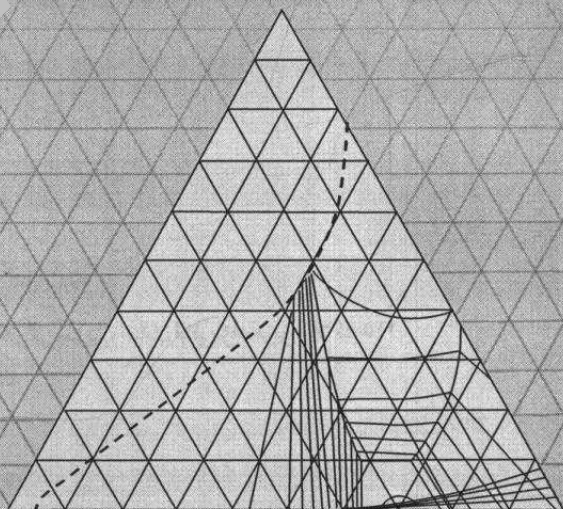
عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس

ویراستار:

مهندس رامین شجاع خرمباج



نویداران



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

گاسکل دیوید آر. ۱۹۲۰-م.

Gaskell, David R.

آشنایی با ترمودینامیک مواد/دیوید آر. گاسکل، محمود علیاف خضری، ویراستار رامین شجاع فرمایع.

تهران: نوپردازان، ۱۳۹۷.

برایزه: ۷۱۲ ص. جدول نمودار.

978-964-975-293-8

فیزیا

Introduction to the thermodynamics of materials, 5th ed.

2008.

کتاب حاضر با عنوان مقدمه ای بر ترمودینامیک مواد یا ترجمه کوپس نکوفر در سال ۱۳۹۰

توسط دانشگاه آزاد اسلامی (چالوس) چاپ رسیده است.

یوتزنامه.

کتابنامه.

نمذیه.

مقدمه ای بر ترمودینامیک مواد.

متالورژی

Metallurgy

ترمودینامیک

Thermodynamics

مواد -- خواص حرارتی

Materials--Thermal properties

نظری ای اف خضری، محمود، ۱۳۵۱- مترجم

شجاع فرمایع رامین، ویراستار

۱۳۹۷/۲/۲۶

۶۲/۰۲۹۶

۵۰۰

سرشناسه

عنوان و نام پدیدآور

مشخصات نشر

مشخصات ظاهری

شابک

وضعیت فهرست نویسی

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت

یادداشت



## آشنایی با ترمودینامیک مواد

دیوید آر. گاسکل

تالیف

دکتر محمود علیاف خضری

ترجمه

مهندس رامین شجاع فرمایع

ویراستار

نوپردازان

ناشر

وزیری

قطع

پنجم

ویرایش

اول

نوبت چاپ

۱۳۹۸

تاریخ چاپ

۵۰۰

تیراژ

۷۱۲

صفحات

۷۰۰۰۰ تومان

۹۷۸-۹۶۴-۹۷۵-۲۹۳-۸

شابک

تهران، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی نژاد غربی، پلاک ۲۱۵

دفتر انتشارات

۶۶۵۶۸۰۹۶-۸

تلفن

مرکز پخش کتابیران: تهران، خیابان لبافی نژاد، بین اردیبهشت و فروردین، پلاک ۲۳۸

تلفن: ۶۶۴۱۴۴۷۴-۶۶۴۱۴۵۱۵-۶۶۴۱۱۱۷۳-۶۶۴۹۴۴۰۹

WWW.Ketabiran.ir

فروش اینترنتی

## فهرست مطالب

|       |                                                                                           |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| فصل ۱ | مقدمه و سبب نگارش                                                                         | ۱  |
| ۱-۱   | مقدمه                                                                                     | ۱  |
| ۲-۱   | مفهوم حالت                                                                                | ۱  |
| ۳-۱   | تعادل ساده (حالت ساکن تعادل)                                                              | ۴  |
| ۴-۱   | معادله حالت یک از اینها                                                                   | ۵  |
| ۵-۱   | واحدهای کار                                                                               | ۹  |
| ۶-۱   | خواص فراگیر و متمرکز                                                                      | ۹  |
| ۷-۱   | دیگرام فاز و سازنده‌های ترمودینامیکی                                                      | ۱۰ |
| ۸-۱   | مثال‌های عددی                                                                             | ۱۴ |
| فصل ۲ | قانون اول ترمودینامیک                                                                     | ۱۷ |
| ۱-۲   | مقدمه                                                                                     | ۱۷ |
| ۲-۲   | رابطه بین کار و گرما                                                                      | ۱۸ |
| ۳-۲   | انرژی داخلی و قانون اول ترمودینامیک                                                       | ۱۹ |
| ۴-۲   | فرایندها یا تحولات با حجم ثابت                                                            | ۲۳ |
| ۵-۲   | فرایندهای با فشار ثابت و انتالپی $H$                                                      | ۲۴ |
| ۶-۲   | ظرفیت گرمایی                                                                              | ۲۴ |
| ۷-۲   | فرایندهای برگشت پذیر بی دررو                                                              | ۲۹ |
| ۸-۲   | تغییر فشار یا تغییر حجم گازی ایده آل به صورت برگشت پذیر و هم‌دما (هم‌دما برگشت پذیر)..... | ۳۱ |
| ۹-۲   | خلاصه                                                                                     | ۳۲ |
| ۱۰-۲  | مثال‌های عددی                                                                             | ۳۴ |
|       | مسایل                                                                                     | ۴۱ |

|       |                                              |    |
|-------|----------------------------------------------|----|
| فصل ۳ | قانون دوم ترمودینامیک                        | ۴۳ |
| ۱-۳   | مقدمه                                        | ۴۳ |
| ۲-۳   | فرایندهای خودبه‌خودی یا طبیعی                | ۴۴ |
| ۳-۳   | انتروپی و معیار خودبه‌خودی                   | ۴۵ |
| ۴-۳   | فرایندهای برگشت‌پذیر                         | ۴۷ |
| ۵-۳   | مثالی از فرایندهای برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر | ۴۸ |
| ۶-۳   | انتروپی و گرمای برگشت‌پذیر                   | ۵۰ |
| ۷-۳   | تراکم هم‌دما و برگشت‌پذیر گاز ایده‌آل        | ۵۴ |
| ۸-۳   | بسط برگشت‌پذیر بی‌دررو گاز ایده‌آل           | ۵۵ |
| ۹-۳   | خلاصه جمع‌بندی                               | ۵۶ |
| ۱۰-۳  | خواص و ضرایب ماشین‌های حرارتی                | ۵۶ |
| ۱۱-۳  | مقیاس ترمودینامیکی درجه حرارت                | ۶۰ |
| ۱۲-۳  | قانون دوم ترمودینامیک                        | ۶۳ |
| ۱۳-۳  | حداکثر کار                                   | ۶۵ |
| ۱۴-۳  | انتروپی و معیار تعادل                        | ۶۷ |
| ۱۵-۳  | بیان تلفیقی قانون اول و دوم ترمودینامیک      | ۶۸ |
| ۱۶-۳  | خلاصه                                        | ۷۰ |
| ۱۷-۳  | مثال‌های عددی                                | ۷۲ |
| ۷۷    | مسائل                                        | ۷۷ |
| فصل ۴ | تفسیر آماری انتروپی                          | ۷۹ |
| ۱-۴   | مقدمه                                        | ۷۹ |
| ۲-۴   | انتروپی و بی‌نظمی در مقیاس اتمی              | ۷۹ |
| ۳-۴   | مفهوم حالت میکروسکوپی                        | ۸۱ |
| ۴-۴   | تعیین محتمل‌ترین حالت میکروسکوپی             | ۸۳ |
| ۵-۴   | تأثیر دما                                    | ۸۷ |
| ۶-۴   | تعادل حرارتی در یک سیستم معادله بولتزمن      | ۸۹ |
| ۷-۴   | جریان گرما و تولید انتروپی                   | ۹۰ |
| ۸-۴   | انتروپی وضعیتی و انتروپی حرارتی              | ۹۱ |
| ۹-۴   | خلاصه                                        | ۹۵ |
| ۱۰-۴  | مثال‌های عددی                                | ۹۶ |
| ۹۹    | مسائل                                        | ۹۹ |

|       |                                                        |     |
|-------|--------------------------------------------------------|-----|
| فصل ۵ | توابع ترمودینامیکی                                     | ۱۰۱ |
| ۱-۵   | مقدمه                                                  | ۱۰۱ |
| ۲-۵   | انتالپی $H$                                            | ۱۰۳ |
| ۳-۵   | انرژی آزاد هلمهولتز، $A$                               | ۱۰۳ |
| ۴-۵   | انرژی آزاد گیبس، $G$                                   | ۱۰۹ |
| ۵-۵   | خلاصه معادلات حاکم بر یک سیستم بسته                    | ۱۱۰ |
| ۶-۵   | تغییر ترکیب و اندازه سیستم                             | ۱۱۱ |
| ۷-۵   | پتانسیل شیمیایی                                        | ۱۱۲ |
| ۸-۵   | رابطه ترمودینامیکی                                     | ۱۱۴ |
| ۹-۵   | رابطه دما-انتالپی                                      | ۱۱۵ |
| ۱۰-۵  | فرمول بالا-پایین-داخل-خارج                             | ۱۱۸ |
| ۱۱-۵  | معادله گیبس-هلمهولتز                                   | ۱۱۹ |
| ۱۲-۵  | خلاصه                                                  | ۱۲۰ |
| ۱۳-۵  | مثالی از کاربرد روابط ترمودینامیکی                     | ۱۲۲ |
| ۱۴-۵  | مثال عددی                                              | ۱۲۴ |
|       | مسائل                                                  | ۱۲۶ |
| فصل ۶ | ظرفیت گرمایی، انتالپی، انترپزی و قانون سوم ترمودینامیک | ۱۲۹ |
| ۱-۶   | مقدمه                                                  | ۱۲۹ |
| ۲-۶   | محاسبه تئوری ظرفیت گرمایی                              | ۱۳۰ |
| ۳-۶   | رابطه تجربی ظرفیت گرمایی                               | ۱۳۶ |
| ۴-۶   | انتالپی به عنوان تابعی از دما و ترکیب شیمیایی          | ۱۳۶ |
| ۵-۶   | وابستگی انترپزی به دما و قانون سوم ترمودینامیک         | ۱۴۷ |
| ۶-۶   | تحقیق تجربی قانون سوم ترمودینامیک                      | ۱۵۲ |
| ۷-۶   | تأثیر فشار بر انتالپی و انترپزی                        | ۱۵۸ |
| ۸-۶   | خلاصه                                                  | ۱۶۰ |
| ۹-۶   | مثال‌های عددی                                          | ۱۶۱ |
|       | مسائل                                                  | ۱۷۴ |
| فصل ۷ | تعادل فاز در سیستم یک جزیی                             | ۱۷۷ |
| ۱-۷   | مقدمه                                                  | ۱۷۷ |
| ۲-۷   | تغییر انرژی آزاد گیبس برحسب دما در فشار ثابت           | ۱۷۸ |

|     |                                                |     |
|-----|------------------------------------------------|-----|
| ۳-۷ | تغییر انرژی آزاد گیس نسبت به فشار در دمای ثابت | ۱۸۶ |
| ۴-۷ | تابعیت انرژی آزاد از دما و فشار                | ۱۸۷ |
| ۵-۷ | تعادل بین فاز گازی و کندانس                    | ۱۸۹ |
| ۶-۷ | نمایش گرافیکی تعادل فاز در سیستم یک جزیی       | ۱۹۱ |
| ۷-۷ | تعادل جامد-جامد                                | ۱۹۵ |
| ۸-۷ | خلاصه                                          | ۱۹۸ |
| ۹-۷ | مثال‌های عددی                                  | ۲۰۰ |
|     | مسایل                                          | ۲۰۴ |

|       |                                               |     |
|-------|-----------------------------------------------|-----|
| فصل ۸ | رفتار گازها                                   | ۲۰۷ |
| ۱-۸   | مقدمه                                         | ۲۰۷ |
| ۲-۸   | رابطه $T, P$ و گازها                          | ۲۰۷ |
| ۳-۸   | انحراف از حالت ایده‌آل و معادله گازهای حقیقی  | ۲۱۰ |
| ۴-۸   | گازهای واندروالس                              | ۲۱۳ |
| ۵-۸   | سایر معادلات حالت رای گازهای غیرایده‌آل       | ۲۲۳ |
| ۶-۸   | خواص ترمودینامیکی گازهای ایده‌آل و مخلوط آنها | ۲۲۴ |
| ۷-۸   | رفتار ترمودینامیکی گازهای غیرایده‌آل          | ۲۳۰ |
| ۸-۸   | خلاصه                                         | ۲۳۸ |
| ۹-۸   | مثال‌های عددی                                 | ۲۳۹ |
|       | مسایل                                         | ۲۴۲ |

|       |                                           |     |
|-------|-------------------------------------------|-----|
| فصل ۹ | رفتار محلول‌ها                            | ۲۴۵ |
| ۱-۹   | مقدمه                                     | ۲۴۵ |
| ۲-۹   | قانون راولت و قانون هنری                  | ۲۴۵ |
| ۳-۹   | اکتیویته ترمودینامیکی یک جزء در یک محلول  | ۲۴۹ |
| ۴-۹   | معادله گیس-دوهم                           | ۲۵۰ |
| ۵-۹   | انرژی آزاد گیس برای تشکیل یک محلول        | ۲۵۲ |
| ۶-۹   | خواص محلول‌های ایده‌آل راولتی             | ۲۵۶ |
| ۷-۹   | محلول‌های غیرایده‌آل                      | ۲۶۲ |
| ۸-۹   | تعیین اکتیویته با بکارگیری رابطه گیس-دوهم | ۲۶۶ |
| ۹-۹   | محلول‌های با قاعده                        | ۲۷۷ |
| ۱۰-۹  | مدل آماری محلول‌ها                        | ۲۸۳ |

|     |                                                                                                |      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ۲۹۱ | محلول‌های نیمه با قاعده                                                                        | ۱۱-۹ |
| ۲۹۵ | خلاصه                                                                                          | ۱۲-۹ |
| ۲۹۷ | مثال‌های عددی                                                                                  | ۱۳-۹ |
| ۲۹۹ | مسایل                                                                                          |      |
| ۳۰۳ | فصل ۱۰ انرژی آزاد-ترکیب و دیگرام‌های فازی در سیستم‌های دوتایی                                  |      |
| ۳۰۳ | ۱-۱۰ مقدمه                                                                                     |      |
| ۳۰۴ | ۲-۱۰ انرژی آزاد و اکتیویته ترمودینامیکی                                                        |      |
| ۳۰۵ | ۳-۱۰ انرژی آزاد تشکیل محللول‌های با قاعده                                                      |      |
| ۳۰۹ | ۴-۱۰ شرایط پایداری فازها در محللول‌های با قاعده                                                |      |
| ۳۱۵ | ۵-۱۰ حالت استاندارد مایع و جامد                                                                |      |
| ۳۲۶ | ۶-۱۰ دیگرام فاز انرژی آزاد و اکتیویته ترمودینامیکی                                             |      |
| ۳۳۵ | ۷-۱۰ دیگرام فاز سیستم‌های دوتایی با رفتار با قاعده در حالت‌های مایع و جامد                     |      |
| ۳۴۲ | ۸-۱۰ خلاصه                                                                                     |      |
| ۳۴۴ | ۹-۱۰ مثال‌های عددی                                                                             |      |
| ۳۴۶ | مسایل                                                                                          |      |
| ۳۴۹ | فصل ۱۱ واکنش‌های گازی                                                                          |      |
| ۳۴۹ | ۱-۱۱ مقدمه                                                                                     |      |
| ۳۵۰ | ۲-۱۱ تعادل در واکنش‌های گازی و معرفی ثابت تعادل                                                |      |
| ۳۵۵ | ۳-۱۱ تأثیر دما بر ثابت تعادلی                                                                  |      |
| ۳۵۷ | ۴-۱۱ تأثیر فشار بر ثابت تعادل                                                                  |      |
| ۳۵۸ | ۵-۱۱ تعادل در واکنش‌های شیمیایی به عنوان ایجاد توافق بین فاکتورهای انرژی و انتروپی             |      |
| ۳۶۱ | ۶-۱۱ تعادل در سیستم واکنش شیمیایی $\text{SO}_2$ و $\text{SO}_3$ ، $\text{O}_2$                 |      |
| ۳۶۶ | ۷-۱۱ تعادل در مخلوط‌های گازی $\text{CO}_2$ - $\text{CO}$ و $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{H}_2$ |      |
| ۳۶۹ | ۸-۱۱ خلاصه                                                                                     |      |
| ۳۷۰ | ۹-۱۱ مثال‌های عددی                                                                             |      |
| ۳۸۴ | مسایل                                                                                          |      |
| ۳۸۷ | فصل ۱۲ واکنش‌های شامل فاز خالص کندانس و یک فاز گازی                                            |      |
| ۳۸۷ | ۱-۱۲ مقدمه                                                                                     |      |
| ۳۸۷ | ۲-۱۲ تعادل در سیستم شامل فازهای کندانس و یک فاز گازی                                           |      |
| ۳۹۳ | ۳-۱۲ تغییرات انرژی آزاد استاندارد برحسب دما                                                    |      |

|     |       |                                                                          |        |
|-----|-------|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| ۳۹۶ | ..... | دیاگرام‌های الینگهام                                                     | ۴-۱۲   |
| ۴۰۴ | ..... | اثر تغییر فاز                                                            | ۵-۱۲   |
| ۴۱۰ | ..... | اکسیدهای کربن                                                            | ۶-۱۲   |
| ۴۱۸ | ..... | نمایش گرافیکی تعادل در سیستم فلز-اکسیژن-کربن                             | ۷-۱۲   |
| ۴۲۳ | ..... | خلاصه                                                                    | ۸-۱۲   |
| ۴۲۴ | ..... | مثال‌های عددی                                                            | ۹-۱۲   |
| ۴۳۹ | ..... | مسائل                                                                    |        |
| ۴۴۳ | ..... | تعادل در سیستم‌های واکنش شیمیایی شامل اجزای محلول‌کننداس                 | فصل ۱۳ |
| ۴۴۳ | ..... | مقدمه                                                                    | ۱۳     |
| ۴۴۵ | ..... | معادله‌های تعادل واکنش شیمیایی در سیستم‌هایی با اجزای محلول‌کننداس       | ۲-۱۳   |
| ۴۵۴ | ..... | حالت‌های استاندارد دیگر                                                  | ۳-۱۳   |
| ۴۶۱ | ..... | قانون فاز                                                                | ۴-۱۳   |
| ۴۸۳ | ..... | سیستم‌های دریاچه‌ای حاصل از تشکیل ترکیبی شیمیایی                         | ۵-۱۳   |
| ۴۹۶ | ..... | نمایش گرافیکی تعادل فاز                                                  | ۶-۱۳   |
| ۵۰۵ | ..... | تشکیل فازهای اکسیدی ترکیب مختلط                                          | ۷-۱۳   |
| ۵۱۵ | ..... | حلالیت گازها در فلزات                                                    | ۸-۱۳   |
| ۵۲۰ | ..... | محلول‌های رقیق چندتایی                                                   | ۹-۱۳   |
| ۵۳۲ | ..... | خلاصه                                                                    | ۱۰-۱۳  |
| ۵۳۴ | ..... | مثال‌های عددی                                                            | ۱۱-۱۳  |
| ۵۴۵ | ..... | مسائل                                                                    |        |
| ۵۵۱ | ..... | دیاگرام‌های فاز برای سیستم‌های دوتایی در فضای ترکیبی فشار-دما            | فصل ۱۴ |
| ۵۵۱ | ..... | مقدمه                                                                    | ۱-۱۴   |
| ۵۵۱ | ..... | سیستم دوتایی شامل حلالیت کامل دوطرفه اجزاء در حالت‌های جامد و مایع       | ۲-۱۴   |
| ۵۵۶ | ..... | سیستم دوتایی نشان‌دهنده حلالیت کامل دوطرفه در حالت‌های جامد و مایع       | ۳-۱۴   |
| ۵۶۱ | ..... | سیستم دوتایی شامل یک تعادل یوتکتیک و دارای حلالیت کامل دوطرفه در مایع    | ۴-۱۴   |
| ۵۶۹ | ..... | سیستم دوتایی شامل یک تعادل پریکتیک و دارای حلالیت                        | ۵-۱۴   |
| ۵۷۶ | ..... | تعادل فاز در سیستم دوتایی شامل یک فاز واسطه                              | ۶-۱۴   |
| ۵۸۱ | ..... | تعادل فاز در سیستم دوتایی شامل یک فاز واسطه $\gamma$ که به صورت متجانس   | ۷-۱۴   |
| ۵۸۵ | ..... | تعادل فاز در سیستم دوتایی با یک یوتکتیک و یک جزء که آلوتروپی نشان می‌دهد | ۸-۱۴   |
| ۵۸۷ | ..... | سیستم یوتکتیک دوتایی که هر دو جزء آن، آلوتروپی نشان می‌دهند              | ۹-۱۴   |

|          |                                                                                                                           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۵۹۵..... | ۱۰-۱۴ تعادل فازي در فشار پايين: سيستم کادميوم-روی                                                                         |
| ۵۹۹..... | ۱۱-۱۴ تعادل فازي در فشار بالا: سيستم $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - \text{SiO}_2$ |
| ۶۰۲..... | ۱۲-۱۴ خلاصه                                                                                                               |
| ۶۰۳..... | <b>فصل ۱۵ الکتروشیمی</b>                                                                                                  |
| ۶۰۳..... | ۱-۱۵ مقدمه                                                                                                                |
| ۶۰۵..... | ۲-۱۵ رابطه بين نیروی محرکه الکتریکی و نیروی محرکه شیمیایی                                                                 |
| ۶۱۱..... | ۳-۱۵ تأثیر غلظت بر $EMF$                                                                                                  |
| ۶۱۲..... | ۴-۱۵ پیل تشکیل                                                                                                            |
| ۶۱۵..... | ۵-۱۵ پیل غلظتی                                                                                                            |
| ۶۲۰..... | ۶-۱۵ ضریب درجه حرارت پیل                                                                                                  |
| ۶۲۳..... | ۷-۱۵ اثر گرما                                                                                                             |
| ۶۲۴..... | ۸-۱۵ ترمودینامیک حل‌هاى آبه                                                                                               |
| ۶۲۸..... | ۹-۱۵ انرژی آزاد تشکیل یون‌ها را بتانسيل استاندارد اکسیداسیون و احیا                                                       |
| ۶۳۹..... | ۱۰-۱۵ دیاگرام پوربه                                                                                                       |
| ۶۵۰..... | ۱۱-۱۵ خلاصه                                                                                                               |
| ۶۵۲..... | ۱۲-۱۵ مثال‌های عددی                                                                                                       |
| ۶۵۶..... | مسائل                                                                                                                     |
|          | <b>ضمیمه‌ها</b>                                                                                                           |
| ۶۵۹..... | A اطلاعات ترمودینامیکی و ترموشیمیایی                                                                                      |
| ۶۶۹..... | B معادلات دیفرانسیلی کامل                                                                                                 |
| ۶۷۱..... | C ایجاد توابع کمکی به عنوان تبدیل‌های لژاندر                                                                              |
| ۶۷۹..... | واژه‌نامه                                                                                                                 |
| ۶۸۳..... | جواب‌ها                                                                                                                   |
| ۶۹۷..... | نمایه                                                                                                                     |