

# آلیاژهای حافظه‌دار شکلی

از تئوری تا کاربرد

[www.ketab.ir](http://www.ketab.ir)

تألیف:

نادر فنائی

سید مهدی سیدان



سرشناسه: فنائی، نادر، ۱۳۵۶ -

عنوان و نام پدیدآور: آلیاژهای حافظه‌دار شکلی از تئوری تا کاربرد/ تألیف نادر فنائی، سیدمهدی سیدان  
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۸.  
مشخصات ظاهری: ۴۳۸ ص. : مصور (بخشی رنگی)، جدول (بخشی رنگی)، نمودار (بخشی رنگی).  
فروست: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ شماره ۴۶۹

ISBN: 978-622-6655-25-5

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۶۵۵-۲۵-۵

وضعیت فهرست نویسی: فیا

یادداشت: واژه‌نامه

یادداشت: کتابنامه

یادداشت: نمایه

موضوع: آلیاژهای حافظه‌دار

موضوع: اثر حافظه‌داری شکلی

موضوع: مهندسی سازه

شناسه افزوده: سیدان، سیدمهدی، ۱۳۷۲-

رده بندی کنگره: TA۴۸۷

رده بندی دیویی: ۶۲۰/۱۶

شماره کتابشناسی ملی: ۵۷۲۴۹۶۱

press.kntu.ac.ir



ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: آلیاژهای حافظه‌دار شکلی از تئوری تا کاربرد

مؤلفان: دکتر نادر فنائی و مهندس سید مهدی سیدان

نوبت چاپ: سوم

تاریخ انتشار: دی ۱۴۰۲، تهران

شمارگان: ۲۰۰ جلد

ویرایش: گروه ویراستاری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چاپ و صحافی: آرمانسا

قیمت: ۳۲۸,۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

## پیش‌گفتار

امروزه با گذشت زمان و پیشرفت علم و فناوری، تولید مواد و مصالح جدید و یا اصلاح خواص آنها به منظور به‌کارگیری در زمینه‌های گوناگون مهندسی امری اجتناب‌ناپذیر به شمار می‌رود. در این میان، دسته‌ای نوظهور از مواد که به آنها آلیاژهای حافظه‌دار شکلی گفته می‌شود، با قابلیت‌های بی‌نظیری که تاکنون از خود بروز داده‌اند، فصل جدیدی را در فناوری روز دنیا گشوده‌اند. به طور کلی، آلیاژهای حافظه‌دار شکلی، موادی هوشمند هستند که از توانایی تغییر شکل تحت تأثیر محرک‌های مختلفی همانند تغییر دما برخوردار می‌باشند.

با گریزی به تاریخ می‌توان مشاهده کرد که امروزه با گذشت حدود یک سده از نخستین مطالعات پیرامون آلیاژهای حافظه‌دار شکلی، کاربرد عملی آنها در زمینه‌های گوناگون تنها به چهار دهه قبل محدود می‌شود. این در حالی است که هر ساله شاهد برگزاری کنفرانس‌ها و همایش‌های پرشماری در سراسر جهان و در نتیجه، چاپ مقالات متعددی در زمینه خواص، رفتار و کاربردهای این آلیاژهای هوشمند هستیم. با این وجود، تعداد کتب تألیفی با موضوع آلیاژهای یادشده حتی به زبان انگلیسی نیز انگشت‌شمار است. به طور کلی می‌توان گفت که کتب علمی محصول نهایی چرخه‌ای طولانی از فرآیند تولید دانش به شمار می‌روند. این چرخه با ارائه مقالات علمی و برگزاری همایش‌ها آغاز شده و پس از تثبیت و پذیرش جامعه علمی به عنوان بخشی از دانش، در نهایت با چاپ کتب تألیفی نمود خارجی می‌یابد. بنابر این می‌توان اظهار داشت که مقالات علمی بیشتر گزارش پژوهش‌های انجام‌شده بوده و مخاطبان آنها محدود به استادان و پژوهشگران حوزه مربوطه است. از طرفی دیگر، کتاب‌های علمی و دانشگاهی، محصول جمع‌بندی و تحلیل دانش موجود بوده و مخاطب اصلی آنها را دانشجویان و صنعتگران علاقه‌مند تشکیل می‌دهند. در کتاب حاضر تلاش شده است که در قالب متنی منسجم و یکدست و با دوری از اطناب ممل (درازنویسی ملال‌آور) و ایجاز مغل (کوتاه‌نویسی مخرب)، مطالبی جامع و روزآمد پیرامون آلیاژهای حافظه‌دار شکلی و کاربردهای آنها ارائه شود. اساساً، متون علمی همچون شبکه‌ای به هم پیوسته هستند که ماهیت و اصالت خود را در پیوند با دیگر آثار تعریف می‌کنند. بر این اساس، کتاب حاضر رویکردی بین‌رشته‌ای داشته و مخاطب آن نیز محدود به استادان، دانشجویان و صنعتگران حوزه‌ای خاص نیست. افزون بر این، تضادمندی آشکاری که میان دو عرصه نظری و کاربردی در عنوان کتاب حاضر نهفته است، دلالت بر این واقعیت دارد که هر عملکرد موفقی باید بر پشتوانه نظری استواری متکی باشد و این دو مفهوم از یکدیگر جدایی‌ناپذیرند. همان‌گونه که از عنوان کتاب حاضر بر می‌آید، «آلیاژهای حافظه‌دار شکلی از تئوری تا کاربرد» مجموعه‌ای است که دارای دو بخش اصلی مفاهیم نظری پایه و کاربردهای عملی می‌باشد.

در بخش نخست که فصول اول تا سوم را در خود جای داده است، در ابتدا سعی بر آن شده است که با ارائه مطالبی مقدماتی از مهندسی و علم مواد و همچنین گریزی به مفاهیم بنیادین علم مکانیک جامدات، خواننده از هرگونه پیش‌نیاز علمی و نظری بی‌نیاز شده و سپس با آشنایی با تاریخچه،

خواص، رفتار، روش‌های ساخت و دیگر زمینه‌های نظری آلیاژهای حافظه‌دار شکلی، به درک مناسبی از مفاهیم نظری حاکم بر این مواد هوشمند دست یابد.

کتاب حاضر در بخش دوم خود، با شرح مختصری بر تاریخچه به‌کارگیری آلیاژهای حافظه‌دار شکلی، موارد استفاده آنها را در زمینه‌های گوناگون پزشکی و مهندسی، به تفصیل مورد بررسی قرار می‌دهد. در ادامه بخش دوم اثر حاضر، با توجه به زمینه تخصصی نگارندگان آن و همچنین قدمت کمتر استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در زمینه‌های مرتبط با مهندسی سازه و از همه مهمتر، خلاء پرداخت به کاربردهای یادشده در قالب یک کتاب علمی انگلیسی و یا فارسی، پس از آشنایی مختصر خوانندگان دیگر رشته‌های مهندسی و علوم پایه و حتی پزشکی، با انواع سازه‌ها و اجزای سازنده هر یک از آنها و ارائه مفاهیم پایه‌ای بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها در مهندسی عمران، کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در این زمینه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و مزایا و معایب هر یک تبیین شده است.

از دیگر ویژگی‌های منحصر به فرد این کتاب، ارائه مطالبی جهت آشنایی مقدماتی با پلیمرها و سرامیک‌های حافظه‌دار شکلی و موارد استفاده آنها در قالب پیوست‌های اول و دوم کتاب می‌باشد که در دیگر کتب انگلیسی و فارسی به آنها پرداخته نشده است.

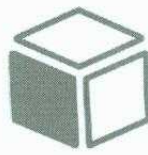
گفتنی است که این کتاب بر مبنای روش‌های اجرایی «فرهنگ املائی خط فارسی» و «دستور خط فارسی»، از مصوبات فرهنگستان زبان و ادب فارسی، نگارش شده است.

امید می‌رود که کتاب حاضر با گشایشی که در شناخت و استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در تمامی زمینه‌های مهندسی و به طور ویژه مهندسی سازه، زمینه شکوفایی پژوهش، به‌کارگیری و تولید این ماده هوشمند را در کشور عزیزمان ایران پیش فراهم سازد.

در پایان لازم است از استاد دانشمند، جناب آقای دکتر سید حجت‌الحق حسینی عزیز بابت چندین نوبت ویراستاری این کتاب و همچنین راهنمایی‌ها و پیشنهادات ارزنده‌شان، تشکر ویژه شود. در ادامه، از حمایت‌ها و پشتیبانی‌های بی‌دریغ سرپرست محترم انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، جناب آقای دکتر مهدی علیاری و معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، جناب آقای دکتر محمد طالعی سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از کلیه زحمات کارشناس محترم انتشارات دانشگاه، جناب آقای حسن صالحی و ناظر محترم چاپ دانشگاه، جناب آقای عباسعلی گرنامی قدردانی می‌شود.

نادر فنائی - سید مهدی سیدان

تیر ۱۳۹۸



## فهرست مطالب

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| فصل اول: مهندسی و علم مواد .....                     | ۱   |
| ۱-۱ مقدمه .....                                      | ۱   |
| ۲-۱ تاریخچه .....                                    | ۴   |
| ۳-۱ ساختار مواد .....                                | ۸   |
| ۴-۱ طبقه‌بندی مواد .....                             | ۲۴  |
| ۵-۱ پیوندهای شیمیایی .....                           | ۳۲  |
| ۶-۱ تغییرات مواد .....                               | ۴۵  |
| ۷-۱ خواص فیزیکی مواد .....                           | ۴۸  |
| ۸-۱ خواص شیمیایی مواد .....                          | ۵۴  |
| ۹-۱ خواص مکانیکی مواد .....                          | ۵۵  |
| ۱۰-۱ تخریب .....                                     | ۷۴  |
| ۱۱-۱ ساختار میکروسکوپی مواد .....                    | ۷۹  |
| ۱۲-۱ مراجع .....                                     | ۸۴  |
| فصل دوم: جامدات بلوری .....                          | ۸۵  |
| ۱-۲ مقدمه .....                                      | ۸۵  |
| ۲-۲ ساختارهای بلوری (سامانه‌های بلوری) .....         | ۸۹  |
| ۳-۲ دگرشکلی .....                                    | ۹۹  |
| ۴-۲ نقاط، جهات و صفحات بلوری .....                   | ۱۰۱ |
| ۵-۲ بافت .....                                       | ۱۰۵ |
| ۶-۲ ناکاملی‌های بلوری (عیوب بلوری) .....             | ۱۰۶ |
| ۷-۲ نفوذ .....                                       | ۱۱۵ |
| ۸-۲ تغییرشکل جامدات بلوری .....                      | ۱۲۰ |
| ۹-۲ سازوکارهای تغییر خواص مکانیکی جامدات بلوری ..... | ۱۲۷ |
| ۱۰-۲ نمودارهای فازی .....                            | ۱۳۹ |
| ۱۱-۲ استحاله‌های فازی (گذارهای فازی) .....           | ۱۵۰ |
| ۱۲-۲ مراجع .....                                     | ۱۵۴ |



|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| فصل سوم: آشنایی با آلیاژهای حافظه‌دار شکلی             | ۱۵۵ |
| ۱-۳ مقدمه                                              | ۱۵۵ |
| ۲-۳ مواد هوشمند و انواع آنها                           | ۱۵۶ |
| ۳-۳ تاریخچه آلیاژهای حافظه‌دار شکلی                    | ۱۶۲ |
| ۴-۳ ساختار بلوری آلیاژهای حافظه‌دار شکلی               | ۱۶۳ |
| ۵-۳ استحاله‌های مارتنزیتی در آلیاژهای حافظه‌دار شکلی   | ۱۶۷ |
| ۶-۳ خواص فیزیکی آلیاژهای حافظه‌دار شکلی                | ۱۷۵ |
| ۷-۳ خواص شیمیایی آلیاژهای حافظه‌دار شکلی               | ۱۷۶ |
| ۸-۳ خواص مکانیکی آلیاژهای حافظه‌دار شکلی               | ۱۷۷ |
| ۹-۳ عوامل مؤثر بر خواص و رفتار آلیاژهای حافظه‌دار شکلی | ۱۸۳ |
| ۱۰-۳ ساخت و تولید آلیاژهای حافظه‌دار شکلی              | ۱۸۹ |
| ۱۱-۳ مراجع                                             | ۱۹۹ |

## فصل چهارم: کاربردهای عمومی آلیاژهای حافظه‌دار شکلی

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| ۱-۴ مقدمه                                               | ۲۰۱ |
| ۲-۴ تاریخچه کاربرد آلیاژهای حافظه‌دار شکلی              | ۲۰۳ |
| ۳-۴ کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در پزشکی          | ۲۰۴ |
| ۴-۴ کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در صنایع هوافضا   | ۲۱۳ |
| ۵-۴ کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در صنعت حمل و نقل | ۲۱۷ |
| ۶-۴ کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در صنعت هوافضا    | ۲۲۲ |
| ۷-۴ کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در هنر و معماری   | ۲۲۸ |
| ۸-۴ کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در دیگر صنایع     | ۲۳۱ |
| ۹-۴ دسته‌بندی انواع کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی   | ۲۴۴ |
| ۱۰-۴ جمع‌بندی                                           | ۲۴۶ |
| ۱۱-۴ مراجع                                              | ۲۴۷ |

## فصل پنجم: کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در مهندسی سازه

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| ۱-۵ مقدمه                                               | ۲۴۹ |
| ۲-۵ تاریخچه مهندسی عمران                                | ۲۵۰ |
| ۳-۵ سازه‌ها و اجزای آنها                                | ۲۵۲ |
| ۴-۵ بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها                              | ۲۵۸ |
| ۵-۵ کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در میراگرها       | ۲۷۶ |
| ۶-۵ کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در اتصالات فولادی | ۲۸۰ |

|     |                                                            |
|-----|------------------------------------------------------------|
| ۲۸۹ | ۷-۵ کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در مهاربندها         |
| ۳۰۲ | ۸-۵ کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در جداسازها          |
| ۳۱۱ | ۹-۵ کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در سازه‌های بتنی     |
| ۳۱۳ | ۱۰-۵ دیگر کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در مهندسی سازه |
| ۳۱۸ | ۱۱-۵ جمع‌بندی                                              |
| ۳۱۹ | ۱۲-۵ مراجع                                                 |

## پیوست اول: آشنایی با پلیمرهای حافظه‌دار شکلی

|     |                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------|
| ۳۲۵ | پ-۱-۱ مقدمه                                         |
| ۳۲۸ | پ-۱-۲ سازوکار حافظه‌داری در پلیمرهای حافظه‌دار شکلی |
| ۳۳۰ | پ-۱-۳ اثر حافظه‌داری شکلی حساس به حرارت             |
| ۳۳۷ | پ-۱-۴ اثر حافظه‌داری شکلی حساس به نور               |
| ۳۳۹ | پ-۱-۵ اثر حافظه‌داری شکلی حساس به مواد شیمیایی      |
| ۳۴۱ | پ-۱-۶ مراجع                                         |

## پیوست دوم: آشنایی با سرامیک‌های حافظه‌دار شکلی

|     |                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------|
| ۳۴۳ | پ-۲-۱ مقدمه                                           |
| ۳۴۵ | پ-۲-۲ سازوکار حافظه‌داری در سرامیک‌های حافظه‌دار شکلی |
| ۳۴۹ | پ-۲-۳ کاربردهای سرامیک‌های حافظه‌دار شکلی             |
| ۳۵۳ | پ-۲-۴ مراجع                                           |

## پیوست سوم: نمایه نشانه‌ها

## پیوست چهارم: نمایه موضوعات

## پیوست پنجم: نمایه اشخاص

## پیوست ششم: واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

## پیوست هفتم: واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

## پیوست هشتم: فهرست جامع مراجع