

# مبانی طراحی عملگرهای از جنس آلیاژهای حافظه دار

www.ketab.ir

نویسندگان:

Ashwin Rao

A.R. Srinivasa

J.N. Reddy

ترجمه:

دکتر فرزاد ابراهیمی

عضو هیات علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

|                     |                                                                                                                                                            |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سروشنامه            | راو، آشوین                                                                                                                                                 |
| عنوان و نام پدیدآور | Rao, Ashwin<br>مباحث طراحی عملگرهای از جنس آلیزهای حافظه دژ/ نویسندگان آشوین راو، آرون راماسوامی<br>سریکسوانسا، جوموولا ناراسیمها ردی؛ ترجمه فراد ابراهیمی |
| مشخصات نشر          | فرون: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ۱۳۹۸                                                                                                             |
| مشخصات ظاهری        | ۱۲۵ ص؛ عمود (جیبی رنگی)؛ جدول؛ جودار                                                                                                                       |
| شابک                | ۹۷۸-۶۰۰-۵۰۲۴-۹۱-۳                                                                                                                                          |
| وضعیت فهرست نویسی   | ف. ا.                                                                                                                                                      |
| ماداناس             | Design of shape memory alloy (SMA) actuators, 2015                                                                                                         |
| ماداناس             | ف. ا.                                                                                                                                                      |
| موضوع               | آلیزها                                                                                                                                                     |
| موضوع               | آلیزهای حافظه دژ                                                                                                                                           |
| موضوع               | Shape memory alloys                                                                                                                                        |
| موضوع               | عملگرها - مواد                                                                                                                                             |
| موضوع               | Actuators - Materials                                                                                                                                      |
| تجلیه اثروده        | سریکسوانسا، آرون راماسوامی                                                                                                                                 |
| تجلیه اثروده        | (Srinwasa, Arun R. (Arun Ramaswamy                                                                                                                         |
| تجلیه اثروده        | ردی، جوموولا ناراسیمها - ۱۹۲۵ -                                                                                                                            |
| تجلیه اثروده        | (Reddy, J. N. (Jumuthula Narasimha                                                                                                                         |
| تجلیه اثروده        | ابراهیمی، فراد - ۱۳۵۸ - مترجم                                                                                                                              |
| تجلیه اثروده        | Erashmy, Farad                                                                                                                                             |
| تجلیه اثروده        | دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)                                                                                                                         |
| تجلیه اثروده        | Imam Khomeini International University                                                                                                                     |
| رده - ده            | ۱۳۹۸ / ۲۸۰۸۷                                                                                                                                               |
| رده - ده            | ۶۲۰/۱۶۵                                                                                                                                                    |
| شماره کتابشناسی ملی | ۵۲۷۱۸۲                                                                                                                                                     |

عنوان مباحث طراحی عملگرهای از جنس آلیزهای حافظه دژ  
مترجم: آشوین راو، آ. آر. سریکسوانسا، جی. ان. ردی  
Ashwin Rao, A.R. Srinwasa, J.N. Reddy

مترجم: فراد ابراهیمی

ناشر: حمید کلهر

ویراستار ادبی: مینا کشاورز رضوان

شابک: ۹۷۸ ۶۰۰ ۵۰۲۴ ۹۱ ۳

نوبت چاپ: وز ۱۳۹۷

قیمت: ۲۵۰۰۰ تومان

تعداد کتان: ۲۰۰ جلد

ناشر: انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

فرون، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، تاس: ۱۳۹۸ - ۳۳۹ - ۰۲۸

کتاب حقوق برای ناشر محفوظ است

مسئولیت جفری و قانونی محتوای کتاب: عهده صاحب‌المباحث اثر است

## فهرست مطالب

|    |                                                         |
|----|---------------------------------------------------------|
| ۱  | مقدمه                                                   |
| ۳  | فصل ۱: مقدمه ای بر آلیاژهای از جنس حافظه شکل            |
| ۵  | ۱-۱. مروری بر مواد هوشمند                               |
| ۷  | ۱-۲. ساختارهای هوشمند-سطح پاسخ سیستم                    |
| ۱۰ | ۱-۳. آلیاژهای حافظه دار: دمای ناشی از تغییر فاز         |
| ۱۴ | شکل ۱-۴.                                                |
| ۱۵ | ۱-۴. اثر حافظه شکل و سوپرالاستیسیته                     |
| ۲۲ | ۱-۵. آلیاژهای حافظه دار پر استفاده                      |
| ۲۶ | ۱-۶. کاربرد آلیاژهای حافظه دار: بررسی اجمالی            |
| ۲۶ | ۱-۶-۱. کاربردهای زیست پزشکی                             |
| ۳۳ | ۱-۶-۲. کاربردهای مهندسی عمران                           |
| ۳۸ | ۱-۶-۳. کاربرد هوافضا و خودرو                            |
| ۴۱ | ۱-۶-۴. کاربردهای دیگر                                   |
| ۴۶ | ۱-۷. خلاصه فصل                                          |
| ۴۸ | منابع                                                   |
| ۵۳ | فصل ۲: تجزیه و تحلیل کارکرد و نیازها                    |
| ۵۷ | ۲-۱. فرآیند طراحی سیستم                                 |
| ۶۰ | ۲-۱-۱. روش طراحی: ساختار و دستورالعمل                   |
| ۶۲ | ۲-۲. پنج زیرمجموعه عمده سیستم                           |
|    | ۲-۳. چگونه نیازها و کارکردها را برای آلیاژهای حافظه دار |
| ۶۵ | تشخیص دهیم؟                                             |
| ۶۸ | منابع                                                   |
| ۶۹ | فصل ۳: ساخت و نگهداری اجزای آلیاژ حافظه دار             |
| ۷۱ | ۳-۱. روشهای مختلف ساخت                                  |
| ۷۲ | ۳-۱-۱. روش ذوب القایی تحت خلاء                          |

|     |                                                                     |
|-----|---------------------------------------------------------------------|
| ۷۵  | ۳-۱-۲. روش ذوب مجدد تحت خلاء قوس الکتریکی                           |
| ۷۶  | ۳-۱-۳. روش ذوب تحت پرتو الکتریکی                                    |
| ۷۶  | ۳-۱-۴. روش پخت سنتی/عادی                                            |
| ۷۷  | ۳-۱-۵. پخت گزینشی به وسیله لیزر                                     |
| ۷۷  | ۳-۱-۶. روش پرس ایزواستاتیک گرم                                      |
| ۷۸  | ۳-۱-۷. سنتز با جرقه پلاسما                                          |
| ۷۸  | ۳-۱-۸. ذوب گزینشی لیزری                                             |
| ۸۰  | ۳-۱-۹. قالبگیری تزریقی فلز                                          |
| ۸۰  | ۳-۲. بهبود خواص آلیاژهای از جنس حافظه شکل                           |
| ۸۲  | ۳-۲-۱. ماشینکاری قطعات حافظه شکل                                    |
| ۸۲  | ۳-۲-۲. بهبود سطح اجزای سازنده آلیاژ حافظه دار                       |
| ۸۵  | ۳-۲-۳. انیل کردن و کار سرد آلیاژ حافظه دار                          |
| ۸۶  | ۳-۲-۴. اتصال آلیاژ حافظه دار به خودش و مواد دیگر مانند فولاد ضد زنگ |
| ۹۰  | ۳-۲-۵. تنظیم شکل نیتینول                                            |
| ۹۷  | منابع                                                               |
| ۹۹  | فصل ۴: هندسه و پاسخ‌های اساسی اجزا از جنس آلیاژ حافظه دار           |
| ۱۰۱ | ۴-۱. پاسخ سیم حافظه‌دار تحت بارگذاری کششی                           |
| ۱۰۷ | ۴-۲. پاسخ سیم آلیاژ حافظه‌دار- بارگذاری پیچشی                       |
| ۱۱۰ | ۴-۳. پاسخ فنر ساخته شده از آلیاژ حافظه‌دار - بارگذاری پیچشی         |
| ۱۱۵ | منابع                                                               |
| ۱۱۷ | فصل ۵:                                                              |
| ۱۱۹ | ۵. عوامل هندسی                                                      |
| ۱۱۹ | ۵-۱. عوامل هندسی                                                    |
| ۱۲۲ | ۵-۲. اثرات ترکیب آلیاژی                                             |

- ۵-۳. تأثیر شرایط شکلگیری برای شکل سفارشی (ایجاد  
۱۲۲ فنرهای از جنس آلیاژهای حافظه دار)
- ۵-۴. تأثیر دمای عملیاتی بر پاسخ مکانیکی  
۱۲۳
- ۵-۵. اثر نرخ بارگذاری  
۱۲۶
- ۵-۶. آموزش به سیم حافظه دار/ تثبیت هیستریزس  
۱۲۷
- منابع  
۱۳۰
- فصل ۶: توصیف گرافیکی راه اندازی سیمهای آلیاژ حافظه دار  
با دمای کنترل شده  
۱۳۱
- ۶-۱. سیم آلیاژ حافظه دار + تنظیمات فنر سوگیری (فنر با  
۱۳۳ یاس)
- ۶-۱-۱. انتخاب سیمهای آلیاژ حافظه دار  
۱۳۳
- ۶-۱-۲. دمای کارکرد سیمهای آلیاژ حافظه دار  
۱۳۵
- ۶-۲. روش طراحی گرافیکی برای برآورد تغییر طول  
۱۳۶
- ۶-۲-۱. روش طراحی گرافیکی برای برآورد تغییر طول (تست  
کنترل بار و جابجایی)  
۱۳۹
- ۶-۲-۲. سیمهای آلیاژ حافظه دار + فنر سوگیری: دسترسی  
به طراحی گرافیکی برای تخمین تغییر طول تنها با استفاده از  
پاسخ خطی بارگذاری  
۱۴۱
- ۶-۳. بررسی موردی ۲: حرکت خطی به تنظیم روتاری با  
استفاده از یک سیم آلیاژ حافظه دار + فنر سوگیری قابل تنظیم  
تنها با استفاده از پاسخ خطی در حالت بارگذاری شده  
۱۴۳
- ۶-۴. مورد مطالعاتی ۳: سیم آلیاژ حافظه دار + آرایش فنر  
سوگیری شده با استفاده از پاسخ بارگذاری شده/نشده ی خطی  
۱۵۰
- ۶-۵. مطالعه موردی ۴: سیم آلیاژ حافظه دار + آرایش فنر

- سوگیری (فنر بایاس) با استفاده پاسخ هیستریزیس کامل  
 ۱۵۳ بارگذاری-باربرداری
- ۱۵۵ مراجع
- فصل ۷: موارد مطالعاتی در مورد مقدمات طراحی محرک‌ها  
 ۱۵۷ از جنس آلیاژهای حافظه دار
- ۱۶۳ ۷-۱. حالت‌های مختلف بهره برداری
- ۱۶۳ ۷-۱-۱. حالت نیروی ثابت
- ۱۶۴ ۷-۱-۲. کاهش طول ثابت
- ۱۶۵ ۷-۱-۳. حالت اعمال همزمان کاهش طول و نیرو
- ۱۶۵ ۷-۲. طراحی سیم‌های آلیاژ حافظه دار تحت نیروی ثابت
- ۷-۳. مورد مطالعاتی دوم: روش طراحی برای فنرهای تیتانیوم-  
 ۱۶۸ نیکل
- ۱۶۹ ۷-۴. مورد مطالعاتی طراحی فنر
- ۱۶۹ ۷-۴-۱. مدل طراحی و فرضیه‌ها
- ۷-۴-۲. نمادهای به کار رفته در طراحی فنر ساخته شده از آلیاژ  
 ۱۷۱ حافظه‌دار
- ۷-۵. مثال: طراحی یک شیر کنترل با کنترل از راه دور با  
 ۱۷۲ استفاده از یک فنر فشاری از جنس آلیاژ حافظه دار
- ۱۷۲ ۷-۵-۱. بیان الزامات
- ۱۷۹ ۷-۶. طراحی فنر کششی
- ۱۸۰ ۷-۷. گرمایش و سرمایش سیم‌های حافظه شکل
- ۱۸۲ ۷-۷-۱. زمان لازم برای گرمایش و سرمایش
- ۱۸۴ منابع
- فصل ۸: کوپلینگ محرک آلیاژ حافظه دار با مکانیزم‌ها  
 ۱۸۵
- ۱۸۷ اصل کار مجازی
- ۱۸۷ ۸-۱. الزامات برای مکانیزم

## مقدمه

آلیاژهای حافظه دار<sup>۱</sup> عنوان گروهی از آلیاژهاست که خواص متمایز و برتری نسبت به سایر آلیاژها دارند. عکس العمل قابل توجه این مواد در مقابل تغییر عوامل ترمودینامیکی و مکانیکی و قابلیت بازگشت به شکل اولیه در اثر اعمال پارامترهای مذکور، به گونه‌ای است که رفتار موجودات زنده را تداعی می‌نماید. وقتی یک آلیاژ معمولی تحت بار خارجی بیش از حد الاستیک قرار می‌گیرد تغییر شکل می‌دهد و این نوع تغییر شکل بعد از حذف بار باقی می‌ماند؛ ولی آلیاژهای حافظه دار، از جمله آلیاژهای نیکل - تیتانیوم و مس - روی - آلومینیم رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. یک نمونه حافظه دار، در دمای پایین می‌تواند تغییر شکل پلاستیک چند درصدی را تحمل کند و سپس در دمای بالا به صورت کامل به شکل اولیه برگردد و این نهایت افزایش دمای نمونه قابل انجام است. این فرآیند اولین بار در سال ۱۹۳۸ مشاهده شد و برای مدت زمانی طولانی در حد کنجکاوی آزمایشگاهی باقی ماند؛ در سال ۱۹۶۳ کشف خاصیت حافظه داری شکل در آلیاژ نیکل - تیتانیوم با درصد اتمی مساوی (۵۰-۵۰٪) نظر دانشمندان و محققین را جلب نمود؛ از آن پس آلیاژهای حافظه دار به طور وسیعی توسعه یافتند و کشف مزایای اساسی و علمی آنها هر روز افزایش یافت. خواص ترمومکانیکی استثنایی آلیاژهای حافظه دار عامل کاربردهای بسیار مهمی در زمینه مهندسی پزشکی شده است. فوق الاستیسیته اجازه می‌دهد تا تغییر فرم‌های الاستیک بسیار زیاد، وابسته به تغییرات کم تنش به وقوع بپیوندد و اثر حافظه داری شکل، فرآیند فعال سازی ابزار و سیستم‌ها را به صورت بسیار ساده، با تماس حرارت بدن انسان یا گرم کننده خارجی تحت فرمان جراح، ممکن سازد؛ همچنین گرمای لازم می‌تواند با به جریان انداختن یک مایع حامل کالری یا با اتصال یک عامل گرم کننده به دست آید. دو محدوده کاربرد اصلی این خاصیت یکی ابزار جراحی است که جراح از این خصوصیت مستقیماً در عمل جراحی

<sup>1</sup>Shape memory alloys (SMAs)

کمک می‌گیرد و دوم جا دادن و جا زدن موقت یا دائم قطعات در بدن است که به ایمپلنت مشهور شده است؛ در این مواقع، لازم است قبلاً درباره میزان پذیرش بدن نسبت به ایمپلنت و سازگاری آن بررسی لازم انجام شده باشد. آلیاژهای نیکل-تیتانیوم به دلیل مقاومت خوب در برابر خوردگی، در مجاورت بافت‌های بدن، از نظر کاربردی اهمیت ویژه دارند و جزء مواد مهندسی حافظه دار استثنایی هستند. جهت استفاده از این مواد در بافت‌های بدن باید به پارامترهایی توجه شود؛ از قبیل: ۱- مقاومت در برابر خوردگی آلیاژ در مایع یا بافت‌های بدن؛ ۲- پذیرش آلیاژ در بدن و عدم طرد آن از طرف ارگان‌های بدن؛ ۳- سمی و سرطان‌زا نبودن آلیاژ در بلند مدت. بررسی‌های انجام شده بر روی آلیاژهای نیکل - تیتانیوم نشان داده است که مقاومت در برابر خوردگی و پذیرش این آلیاژها در بدن، همانند فولادهای ضد زنگ است که تاکنون به عنوان مواد زیستی از آنها استفاده شده است. بحث مادر این کتاب درباره‌ی خواص مکانیکی ویژه و بی نظیر آلیاژهای حافظه دار است؛ از جمله: توسعه فناوری تولید آلیاژهای مختلفی همچون نیکل - تیتانیوم، نیکل - تیتانیوم - مولیبدن و نیکل - تیتانیوم متخلخل و نیز استهلاک ارتعاشات ناخواسته، مقاومت در مقابل خوردگی، سازگاری زیستی، خصوصیات ویژه مکانیکی، ترمومکانیکی و کاربرد آنها به عنوان ایمپلنت پزشکی و توسعه ابزار پزشکی. استفاده روزافزون از خصوصیات فوق‌الاستیک و بازبایی شکل حاصل از حرارت دیدن ایمپلنت حافظه دار وسیله‌ای مؤثر در پیش‌برد طرح‌های جدید بوده که سبب پیشرفت سریع کیفیت درمان گشته است.