

کاربرد مواد هوشمند در صنایع ریلی

نام محور مقاله: فناوری‌های نوین در ناوگان باری و مسافری

علی خوئینی^۱

فریبرز خنار صنمی^۲

چکیده

در سالیان اخیر محققین به مواد جدیدی دست یافتند که دارای هوشمندی قابل ملاحظه‌ای نسبت به مواد قدیمی بودند. به طوری که نسبت به بعضی محرک‌ها پاسخ ویژه‌ای می‌دادند. مواد هوشمند با توجه به نوع و نحوه پاسخ به دو نوع کلی تقسیم بندی می‌شوند. مواد هوشمند در کنار کنترل کننده‌های مدرن، سامانه‌های هوشمند را پدید می‌آورند. استفاده از این سامانه‌ها تحولی عظیم را در صنایع به وجود آورده است. از این سامانه‌های هوشمند می‌توان به کلاچ‌های هوشمند، کمک فنرهای هوشمند و... اشاره کرد. از قابلیت‌های مواد و سامانه‌های هوشمند می‌توان در صنایع ریلی نیز استفاده کرد که به برخی از این کاربردها اشاره شده است.

کلمات کلیدی: مواد هوشمند، سامانه‌های هوشمند، لزجت، میدان مغناطیسی، میدان الکتریکی

۱- مقدمه

قرن‌ها فلزات نقش مهمی در مواد سازه‌ای بازی می‌کردند. با پیشرفت علم و تکنولوژی و فهم دقیق از میکرو ساختار مواد و رفتار مواد، شاخه علم مواد مهندسی به صورت بنیانی بهبود یافت. به طوری که امروزه دنیای مواد به سرعت در حال تغییر و دگرگونی است و محققین به دنبال خصلت‌هایی جدید در مواد هستند. مزیت‌های فراوانی که مواد هوشمند به همراه خود دارند، عرصه را روز به روز به مواد سنتی و قدیمی تنگ‌تر می‌کند. مواد هوشمند به دلیل تنوع ساختاری زیادی که دارند، می‌توانند بسرعت خود را جایگزین سایر مواد کنند. مصارف جدیدی برای این نوع مواد تعریف شده و مصارف بیشتری نیز تعریف خواهد شد.

۲- تعریف مواد هوشمند

Nasa مواد هوشمند را این‌چنین تعریف می‌کند: مواد هوشمند موادی هستند که وقتی محرکی به آن داده می‌شود می‌تواند واکنشی از خود نشان دهد، واکنشی که می‌تواند به یاد بیاورد. به عبارت دیگر مواد هوشمند دارای حافظه‌ای هستند که به وسیله‌ی محرک‌های خاص می‌تواند آن‌ها را به یاد آورده و عکس العمل نشان دهد. دایره‌المعارف تکنولوژی شیمی مواد هوشمند را چنین تعریف می‌کند: سازه و مواد هوشمند به سازه‌ها و موادی اطلاق می‌شود که می‌تواند شرایط محیطی را حس کرده و بعد پاسخ دهد. با اینکه این تعاریف تقریباً یک مفهوم دارند ولی این دو کاملاً مجزا هستند. تعریف اول مواد را به صورت ماده و یا آلیاژ در نظر می‌گیرد که یک سری خصوصیات یاد آوری دارد و این خصوصیات را به وسیله‌ی ساختارهای مولکولی شکل در خودش ذخیره کرده است. در صورتی که در تعریف دوم ماده باید حس کند، و در برابر آن حس پاسخ دهد که این پاسخ‌ها دیگر به شرایط مولکولی آن بر نمی‌گردد [۱].

^۱ - کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، شرکت صنایع ریلی ایران خودرو (ایریکو)، کیلومتر ۱۸ جاده ابهر-تاکستان، تلفن ۰۲۴۲-۵۳۶۲۷۷۰

^۲ - کارشناس مهندسی شیمی، شرکت صنایع ریلی ایران خودرو (ایریکو)، کیلومتر ۱۸ جاده ابهر-تاکستان، تلفن ۰۲۴۲-۵۳۶۲۷۷۰



شکل ۱- دیدگاه Nasa برای ساخت هواپیما با مواد هوشمند که خود را با شرایط محیطی تغییر می‌دهد [۱].

پاسخ مواد و یا سامانه هوشمند از هر نوعی که باشد چه یک مولکول باشد و یا یک ماده و یا سیستم، باید دارای خصوصیات زیر باشد:

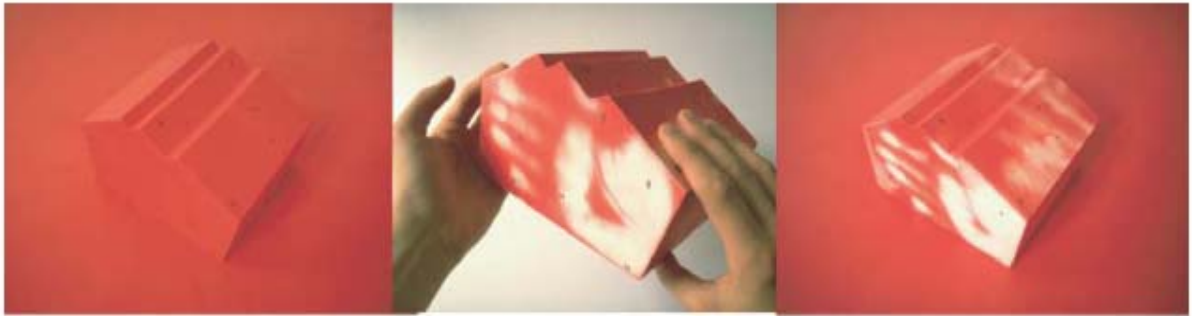
- واکنش باید آنی باشد.
- گذرا باشد، از شرایطی به شرایطی دیگر متفاوت باشد.
- خود عملگر باشد.
- در برابر هر شرایطی پاسخ مختص به آن را نشان دهد.
- بتوان پاسخ آن را ترسیم یا مشخص کرد.

مواد هوشمند را به طور کلی می‌توان به دو نوع تقسیم کرد :

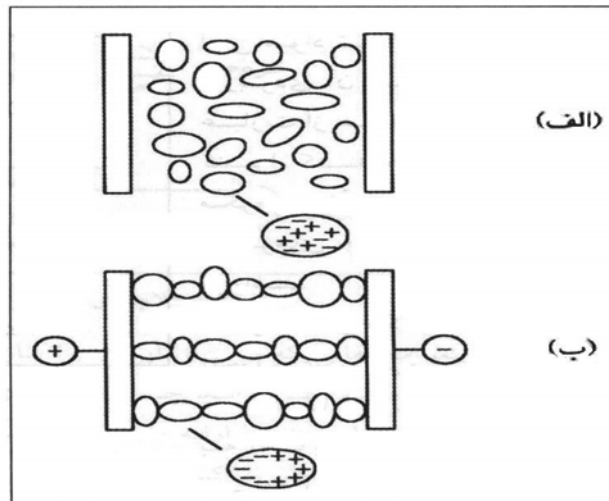
۱-۲- مواد هوشمند نوع اول

در این نوع مواد وقتی محرکی خارجی به صورت مستقیم اعمال می‌شود خواص را تغییر می‌دهد که این خواص می‌تواند مکانیکی، شیمیایی، الکتریکی و..... باشد که این تغییرها قابل برگشت هستند. از مواد هوشمند نوع اول می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱،۲،۳]:

- ترموکرومیک (Thermochromic): در اینگونه مواد ورودی به صورت حرارت و یا گرماسی که ساختار مولکولی ماده را تغییر می‌دهد. پاسخ ساختار مولکولی جدید با ساختار مولکولی قبلی متفاوت است مثل تغییرات رنگ ماده در محدوده‌ی الکترومغناطیس. شکل (۲) پاسخ ماده ترموکرومیک در مقابل لمس کردن این ماده را نشان می‌دهد.
- مگنتورئولوژیکال (Magnetorheological): موادی سیال هستند و با تغییر میدان الکتریکی و یا میدان مغناطیسی تغییر لزجت از خود نشان می‌دهند (این رفتار با تغییر راستای ریز ساختار اتفاق می‌افتد). شکل (۳) به صورت شماتیک تغییر راستای ریز ساختاری ماده مگنتورئولوژیکال را در حضور میدان مغناطیسی نشان می‌دهد.



شکل ۲- عملکرد ماده ترموکرومیک (Thermochromic) [۲].



شکل ۳- شکل شماتیک تشکیل زنجیره در سیال مگنتورئولوژیکال (Magnetorheological) (الف) در غیاب میدان مغناطیسی (ب) در حضور میدان مغناطیسی [۳].

- ترموتروپیک (Thermotropic): با محرک انرژی حرارتی الکتریکی و یا تابش اشعه تغییر فاز می‌دهد و چون فاز تغییر می‌کند مانند این است که ماده تغییر می‌کند بنابراین خواص نیز تغییر می‌کنند.
- آلیاژ شکل پذیر حافظه دار (Shape memory Alloy): به ورودی انرژی حرارتی (مانند حرارت ناشی عبور جریان از یک سیم) پاسخ داده و ساختار کریستالی فاز تغییر می‌کند. به عبارتی دیگر می‌توان شکل را در حافظه‌ی آن قرار داد و بعد شکل آن را تغییر داد، سپس با محرک جریان ماده به شکل اولیه که در حافظه دارد بر می‌گردد.

۲-۲- مواد هوشمند نوع دوم

در این نوع مواد تبدیل انرژی از نوعی به نوع دیگر است و این رفتار به صورت مستقیم و با امکان برگشت پذیری است. از مواد هوشمند نوع دوم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

- فوتوولتیک (Photovoltaic): محرک انرژی تابشی را تبدیل به جریان الکتریکی می کند . به طور مثال اشعه مادون قرمز را تبدیل به جریان الکتریکی می کند .
- ترموالکتریک (Thermoelectric): با محرک جریان الکتریکی درجه حرارت آن تغییر می کند.
- پیزوالکتریک (Piezoelectric): تغییر شکل (کرنش) را تبدیل به جریان الکتریکی می کند.
- الکترواسترکتیو (Electrostrictive): وقتی جریان الکتریکی به آن اعمال می شود فاصله های بین اتمی جا به جا می شود و این باعث می شود که سیستم ها قطبی شوند و انرژی مولکول ها تغییر پیدا کند و در نتیجه یک کرنش ارتجاعی در ماده به وجود می آید .

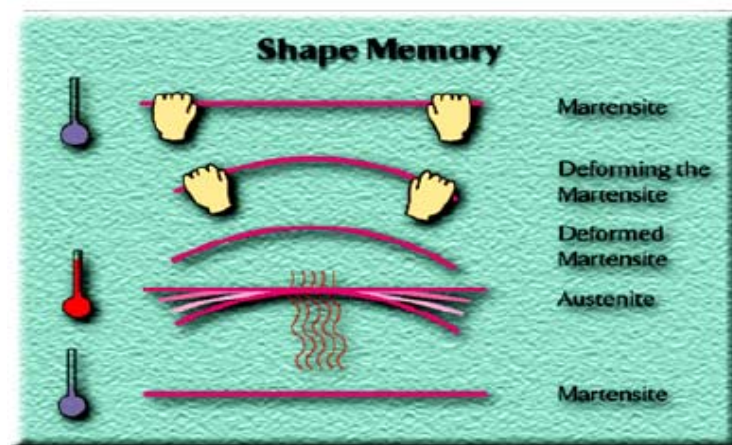
۲-۳- سامانه های حسگر و سامانه های عملگر

سامانه های هوشمند به دو صورت حسگر و عملگر هستند و در نقش حسگر به تغییرات محیطی پاسخ می دهد به عنوان مثال ThermoChromic با حس کردن، به تغییرات دما در محیط پاسخ تغییر رنگ می دهد (می توان درجه حرارت های مختلف را با تغییر رنگ آن حس کرده و میزان آن را مشخص نمود). برخی دیگر از مواد هوشمند در مقابل محرک های ورودی به صورت عملگر عمل می کنند به طور مثال Piezoelctric وقتی جریان مشخص را دریافت می کند مقدار معینی کرنش در خود ایجاد می کند.

۳- کاربرد مواد هوشمند در صنایع

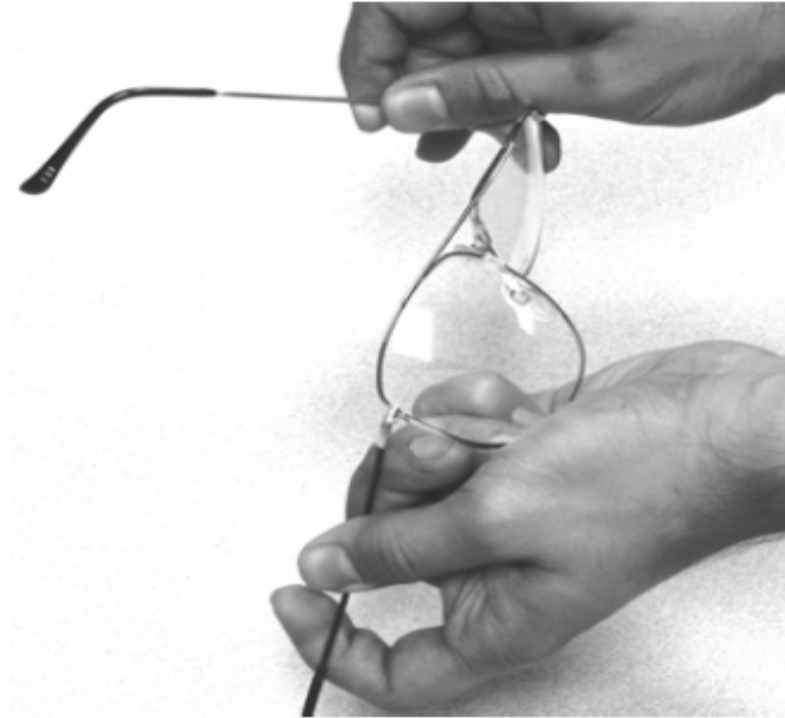
کاربردهای سامانه های مواد هوشمند بسیار متنوع و متفاوت است. و می توان مصارف متعددی در صنایع مکانیک، الکترونیک، هوا فضا. علوم پزشکی و...را نام برد. به منظور آشنایی هر چه بیشتر با مصارف این گونه مواد به صورت اجمالی به چند دسته از آن ها اشاره می شود.

آلیاژهای شکل پذیر حافظه دار (Shape Memory Alloys) با تبدیل فازی جامد به جامد این امکان را فراهم می آورند که با حرارت دادن یا به عبارت بهتر تغییر دما، به شکلی که قبلا در حافظه اش ذخیره شده برگردد. چنین آلیاژهایی را که مقاومت الکتریکی بالا دارند می توان با جریان الکتریسیته گرم کرد و به حالت اولیه مورد نظر بازگرداند. از این آلیاژها می توان به آلیاژهای نیکل - تیتانیوم که با عنوان نیتینول شناخته می شود اشاره کرد.



شکل ۴- شکل شماتیک عملکرد آلیاژهای شکل پذیر حافظه دار در دماهای مختلف.

آلیاژهای شکل پذیر حافظه دار (Shape Memory Alloys) در فاز جامد مارتنزیت (در دماهای پایین) تحت نیرو تغییر شکل - های بزرگی را به صورت الاستیک می تواند از خود نشان دهد. این تغییر شکل ها تا ۸ درصد کرنش نیز امکان پذیر است که حالت Superelasticity یا Pseudoelastic نامیده می شود. شکل (۵) کاربرد این حالت آلیاژهای شکل پذیر حافظه دار را نشان می دهد.



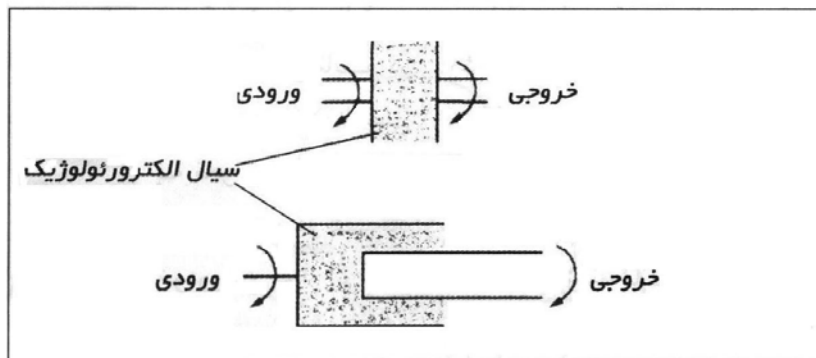
شکل ۵- کاربرد حالت Pseudoelastic آلیاژهای شکل پذیر حافظه دار در ساخت فریم عینک [۳].

موتور هواپیما در هنگام برخاستن و فرود آمدن صدای زیادی تولید می کند که طراحان برای کم کردن این صدا از نصب chevron حول موتور برای ترکیب گازهای اگزوز استفاده می کنند که منجر به کاهش صدای نویز می شود. به تازگی برای بهتر عمل کردن کاهش نویز از تیرهای آلیاژهای حافظه دار (Shape Memory Alloys) داخل chevron استفاده می - کنند. در سرعت های کم و یا ارتفاع کم پرواز تیرهای آلیاژ حافظه دار chevron را به سمت جریان خم می کند و بنابراین عمل ترکیب افزایش یافته و نویز کم می شود. و در سرعت های بالا و یا ارتفاعات بالا این تیرهای آلیاژ حافظه دار سرد شده و تغییر فاز داده و chevron را راست کرده و کارایی موتور افزایش می یابد. در شکل (۶) این طرح استفاده شده در هواپیمای بوئینگ نشان داده شده است [۳].



شکل ۶- هواپیمای بوئینگ، که در chevron آن از SMA استفاده شده است [۳].

از مواد هوشمند الکترورنولوژیک (electrorheologic) و مگنتورنولوژیک (Magnetorheologic) می‌توان در کلاچ و ترمز استفاده کرد. در طراحی کلاچ‌ها نرخ پاسخ گویی به محرک از پارامترهای ابتدایی است که باید مد نظر قرار گیرد. سیال هوشمند الکترورنولوژیک راه حل مناسبی در بهینه‌سازی سامانه کلاچ است. شکل (۷) دو نوع از این کلاچ‌ها، که کلاچ‌هایی با الکترو شعاعی و استوانه‌های متحد‌المركز می‌باشند را به‌طور شماتیک نشان می‌دهد. سادگی ساختار طراحی، حساسیت و سرعت بالای عملکرد و نیز همخوانی کنترل‌کننده‌های مدرن و دقیق باعث شده تا اینگونه کلاچ‌ها به ابزاری قدرتمند تبدیل شوند.

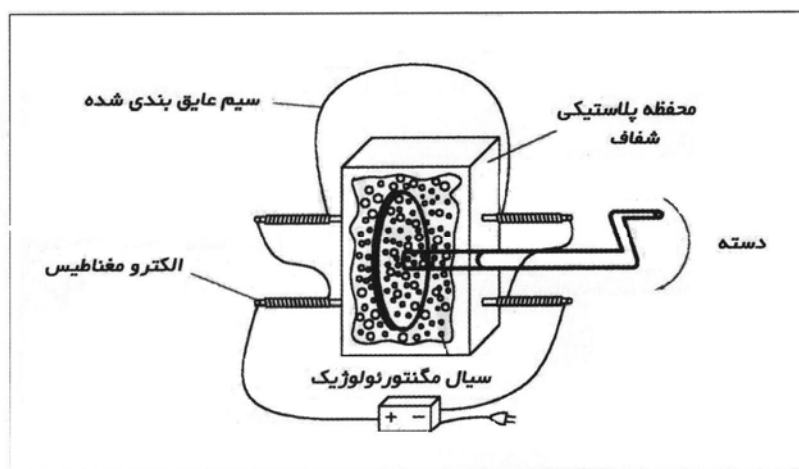


شکل ۷- شکل شماتیک کلاچ‌های الکترورنولوژیکی [۲].

از سیال هوشمند الکترورنولوژیک (electrorheologic) در سیستم‌های تعلیق استفاده می‌شود. در سال ۲۰۰۲ میلادی چنین سامانه‌های هوشمندی به نام سیستم تعلیق دائماً متغیر MR در خودروی کادیلاک به نمایش گذاشته شد. در این سامانه، سیال مگنتورنولوژیک درون کمک فنرهای خودرو تزریق می‌شود. چسبندگی و غلظت این مایع در مجاورت میدان مغناطیسی به نحو چشمگیری تغییر می‌کند و در نتیجه خودرویی که از این مایع استفاده می‌کند می‌تواند در ظرف یک میلیونیم ثانیه نسبت به تغییر شرایط یا نحوه رانندگی واکنش نشان دهد [۴].

تصمیم در مورد واکنش مناسب به عهده‌ی الگوریتمی است که در مغز یک ریز پردازنده ویژه برنامه‌ریزی شده است. این الگوریتم با توجه به علائم ارسال شده از فرمان و ترمز خودرو سرعت و شرایط جاده را با کمک حسگرهایی که در چرخ‌ها تعبیه شده است مورد ارزیابی قرار می‌دهد و داده‌های به دست آمده، وضعیت هر یک از کمک فنرها را تعیین می‌کند. به عبارت دیگر سفتی واقعی هر کمک فنر با جریان‌های ارسال شده به الکترومغناطیس آن‌ها کنترل می‌شود.

از دیگر کاربردهای سیالات مگنتورئولوژیک استفاده‌ی آن در یک سامانه ترمز است. شکل شماره (۸) به صورت شماتیک نمایانگر یک چنین سامانه‌ای است. چنانچه در شکل مشخص است بدون حضور میدان مغناطیسی دسته متصل به دیسک می‌تواند به راحتی بچرخد اما به محض حضور میدان مغناطیسی سیال مگنتورئولوژیک مانع از حرکت دیسک می‌شود. منطق سامانه‌های ترمزی که بر مبنای سیالات مگنتورئولوژیک طراحی می‌گردند نشأت گرفته از همین موضوع است و مهم‌ترین مزیت آن‌ها نیز به پاسخ بسیار سریع آن‌ها بر می‌گردد.



شکل ۸- شکل شماتیک ترمز مگنتورئولوژیک [۲].

۴- کاربرد مواد هوشمند در صنایع ریلی

همان‌طور که قبلاً اشاره شد استفاده از مواد هوشمند در صنایع روز به روز در حال افزایش است. در صنایع ریلی نیز می‌توان از قابلیت‌های بالای مواد هوشمند استفاده نمود. استفاده از سیالات مگنتورئولوژیک و یا الکتروئولوژیک و ساخت سیستم‌های ترمز مطابق همان سیستم‌های ترمزی که قبلاً به آن اشاره شد می‌تواند تحولی در سیستم ترمز صنایع ریلی ایجاد کند، چون در این سیستم ترمز نیازی به ایجاد نیرو جهت فشردن لنت بر دیسک‌ها نیست. بنابراین می‌توان اقدام به حذف تمام تجهیزاتی که این نیروها را ایجاد می‌کنند، کرد. و چون تغییر لزجت در این سیالات به منظور ترمز کردن تحت میدان‌های الکتریکی و یا مغناطیسی در کسری از ثانیه اتفاق می‌افتد، بنابراین سرعت عملکرد این سیستم‌های ترمز هوشمند بسیار بالاست.

استفاده از شیشه‌های فوتوکرومیک به جای شیشه‌های معمولی برای واگن‌ها می‌تواند کاربرد دیگری از مواد هوشمند در صنایع ریلی باشد. مقدار قابل توجهی از گرمای داخل واگن از تابش مستقیم نور خورشید ایجاد می‌شود و استفاده از شیشه‌های فوتوکرومیک به میزان زیادی این گرما را کاهش خواهد داد.

واگن‌ها به جز زمان اندکی که از داخل تونل‌ها می‌گذرند زیر نور خورشید قرار دارند، بنابراین با قرار دادن فوتولتیک (Photovoltaic) در سقف واگن‌ها می‌توان نور خورشید را به جریان الکتریکی تبدیل کرد و از این انرژی پاک سود برد.

۵- نتیجه گیری

سامانه‌های مواد هوشمند شبکه‌ای از محرک‌ها و حسگرها هستند که در کنار قابلیت‌های کنترل بی وقفه، تاثیر شگرفی در طراحی، توسعه و ساخت محصولات جدید در صنایع مختلف دارند، که صنایع ریلی نیز از این مهم مستثناء نیست. گرچه بعضی از این مواد ده‌ها سال است که کشف شده و ساخته می‌شوند، ولی استفاده از تکنولوژی مواد و سازه‌های هوشمند در صنایع بسیار جوان بوده و در ابتدای مسیر پیشرفت خود قرار دارد. هم اکنون نیز از کاربرد مواد هوشمند به همراه کنترل کننده‌های مدرن، سامانه‌های هوشمندی با قابلیت‌های بالا اعم از حساسیت و سرعت بالای عملکرد حاصل می‌شود، که در صنایع مختلف استفاده شده و نتایج ارزشمندی حاصل شده است. بنابراین با کاربرد مواد هوشمند در صنایع ریلی می‌توان این نتایج هوشمند را وارد این صنعت ارزشمند نمود و تحولات عظیمی را در این صنعت رقم زد.

منابع:

[1] D. Michelle Addington, Daniel L. Schodek, " Smart Materials and New Technologies For the architecture and design professions" Harvard University, 2005.

[۲] محمد نیکخو، احمد حسینی سیانکی " فناوریهای مواد هوشمند" مجله مهندسی مکانیک، شماره ۳۳، ۱۳۸۲.

[3] Dimitris C. Lagoudas "Shape Memory Alloys Modeling and Engineering Applications" Springer, 2008 .

[۴] محمد نیکخو " نقش ریز پردازنده‌ها در ایمنی خودرو" ماهنامه اندیشه گستر سایپا، شماره ۲۳، ۱۳۸۲.