

باسمه تعالی



سلسله هم‌اندیشی‌های طرح ایده‌پردازی کاربردی در فناوری نانو

گزارش هم‌اندیشی اول



«کاربردهای احتمالی فناوری نانو در کنترل سازه به‌منظور مواجهه با
خطرات زلزله در کشور»

مجری طرح:

موسسه مطالعات توسعه و فناوری تحلیلگران تهران (تدسای)

به سفارش:

کارگروه ترویج ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

فهرست

- ۱- مقدمه ۲
- ۲- معرفی طرح ایده پردازی کاربردی در فناوری نانو ۳
- ۱-۲- اهداف طرح ۴
- ۳- معرفی افراد شرکت کننده در هم اندیشی (به ترتیب حروف الفبا) ۵
- ۴- مقدمه‌ای بر کنترل سازه ۶
- ۵- زمینه‌های کاربردی فناوری نانو در کنترل سازه ۱۲
- ۶- ایده‌های مطرح شده در جلسه هم اندیشی ۲۰
- ۱-۶- کار بر روی ساخت و بهبود خواص سیالات هوشمند از جمله MR و ER ۲۰
- ۱-۱-۶- کاربردهای سیالات هوشمند و میراگرهای MR ۲۰
- ۲-۱-۶- مشخصات میراگرهای MR ۲۱
- ۳-۱-۶- کاربردهای فناوری نانو در میراگرهای MR ۲۲
- ۲-۶- ساخت و بهبود خواص مواد SMA^۱ با استفاده از فناوری نانو ۲۴
- ۱-۲-۶- کاربردهای مواد SMA ۲۴
- ۲-۲-۶- مشخصات مواد SMA ۲۵
- ۳-۶- استفاده از فناوری نانو برای بهبود خواص لاستیک های به ۲۶
- ۱-۳-۶- کاربردها ۲۶
- ۴-۶- استفاده از نانوسورها، نانو سیم‌ها و قطعات الکترونیکی ۲۷
- ۷- جمع بندی هم اندیشی ۲۸
- ۸- معرفی موسسه ۲۹
- ۹- مراجع ۳۰

^۱ Shape Memory Alloys

۱- مقدمه

کشور ایران به عنوان یکی از کشورهای زلزله‌خیز جهان در طی سالیان گذشته همواره در معرض زلزله‌های ویران‌کننده قرار داشته است. واقعیت امر این است که شرایط طبیعی ساختار زمین ایران برای وقوع زلزله‌های مخرب بسیار مستعد می‌باشد، از این رو مساله مصون‌سازی جامعه از هر لحاظ در مقابل آثار زلزله امروزه به طور جدی دنبال می‌گردد.

فناوری نانو یک فناوری بین‌رشته‌ای است که به علت عمومیت آن می‌تواند در تمام امور تحول ایجاد نماید. ماهیت فرارشته‌ای فناوری نانو به عنوان توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید در مقیاس نانو، موجب تعریف کاربردهای بسیاری در عرصه‌های مختلف علمی و صنعتی شده است.

در مورد زلزله با توجه به مسایل و مشکلاتی که در ایران مطرح است، مقابله با آثار زلزله تنها با به-کارگیری یک روش با فناوری خاص کارساز نخواهد بود، از طرف دیگر با توجه به نوظهور بودن فناوری نانو و نیز اینکه کشورهای دیگر زلزله‌خیز از جمله ژاپن و آمریکا توانسته‌اند تا حدود زیادی بر این مشکل فائق آیند، از این رو این وظیفه خطیر بر عهده محققین ایرانی است که با تلاش در این زمینه افقی جدید برای مقابله با اثرات زلزله گشوده و از اثرات مخرب آن بکاهند.

در این راستا موسسه مطالعات توسعه و فناوری تحلیلگران تهران (تدسای) با حمایت کارگروه ترویج ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، به منظور شناسایی پتانسیل‌های به‌کارگیری فناوری نانو در مواجهه با خطرات زلزله و تشخیص چالش‌ها و مزیت‌های پیش روی به‌کارگیری فناوری نانو، هم‌اندیشی‌هایی با حضور اساتید خبره دانشگاهی، صنعتگران و دولتمردان کشور برگزار می‌کند.

۲- معرفی طرح ایده‌پردازی کاربردی در فناوری نانو

طرح ایده‌پردازی کاربردی در فناوری نانو، طرحی ابداعی برای برآوردن چندین نیاز به طور همزمان است؛ از جمله سعی دارد تحقیقات و ایده‌های متخصصان را در جهت کاربردی شدن جهت رفع نیازهای روز کشور جهت‌دهی کند، فضای فکری موجود بین متخصصین کشور را به سمت فضای کاربردی و صنعتی سوق دهد، اذهان را با اهداف ستاد آشنا نموده و آنها را برای پذیرش برنامه‌های ستاد آماده نماید، متخصصین و مدیران را با یکدیگر و طرحها و ایده‌های موجود در کشور آشنا نموده و حلقه‌های مختلف زنجیره‌های تجاری‌سازی ایده‌ها را با یکدیگر آشنا سازد. پس کل اهداف این طرح جنبه فکرسازی و فرهنگ‌سازی دارد.

تحقق این اهداف، از طریق درگیر ساختن متخصصان کشور در طرح ایده‌پردازی دنبال خواهد شد. این طرح در پی کشف ایده‌ها و نظراتی است که بتوانند به کاربردی شدن و استفاده از فناوری نانو در صنعت کمک کنند. سعی شده است سیستمی طراحی شود که علاوه بر اینکه بتوان انگیزه‌های لازم را در بین متخصصین بوجود آورد که در این زمینه به ایده‌پردازی پرداخته و به ارایه نظر در حوزه‌های مختلف (چه برنامه‌ریزی و چه فنی) بپردازند، اطلاعات و مستندات لازم نیز در اختیار آنها قرار گیرد تا بتوانند خروجی‌ها و پیشنهادات واقع‌بینانه‌ای را ارایه دهند.

این طرح با حمایت کارگروه ترویج ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، توسط مجریان متعدد در حال اجراست.

۲-۱- اهداف طرح:

۱. توجه دادن اذهان متخصصین به کاربردهای نانو و لوازم کاربردی‌کردن نانو (در مقابل اشتغال صرف به پژوهش علمی).

۲. توجه دادن اذهان متخصصین به لزوم شبکه‌ای دیدن تجاری‌سازی نانو (چون هر طرح تجاری باید شبکه‌ای از عوامل را در نظر گرفته باشد).
۳. توجه دادن اذهان متخصصین به شرایط کشور (صنایع موجود و معضلات ملی) و کاربردهای نانو متناسب با آن.
۴. آشنا شدن اذهان مدیران با پتانسیل‌های واقعی کشور و اینکه واقعاً چند طرح قابل اجرا به صورت بالقوه یا بالفعل در کشور وجود دارد.
۵. آشنایی با متخصصین و کارآفرینانی که واقعاً صاحب طرح و ایده‌های کاربردی هستند.
۶. ارتباط فکری با طیف وسیعی از متخصصان کشور که از طرق رسمی این ارتباط وسیع ممکن نخواهد بود.
۷. ارتباط فکری با بدنه دستگاهها، بخش‌ها و مجموعه‌های مختلف و محدود نشدن ارتباطات ستاد به نمایندگان رسمی دستگاهها و بخشها.
۸. ایجاد ارتباط بین بخشهای مکمل طرحهای مختلف که با یکدیگر آشنایی قبلی نداشته‌اند در جهت کمک به تشکیل زنجیره‌های علم تا بازار.
۹. جمع‌آوری میدانی مشکلاتی که بر سر راه متخصصین برای تجاری کردن ایده‌هایشان وجود دارد.
۱۰. گسترش فرهنگ ایده‌پردازی و خلاقیت در زمینه‌های کاربردی‌سازی نانو تکنولوژی.

۳- معرفی افراد شرکت کننده در هم اندیشی (به ترتیب حروف الفبا)

آقای مهندس بهادری

مدیر عامل موسسه مطالعات توسعه و فناوری تحلیلگران
تهران (تدسای) و عضو هیات علمی دانشگاه ارومیه



آقای دکتر حسینی

عضو هیات علمی گروه عمران دانشگاه
زنجان

آقای مهندس حیدرزاده

دفتر همکاریهای فناوری ریاست جمهوری



آقای دکتر رایگان

عضو هیات علمی گروه مواد دانشگاه
تهران

آقای دکتر زهرایی

عضو هیات علمی گروه عمران دانشگاه تهران



آقای دکتر سروقد مقدم

عضو هیات علمی پژوهشگاه بین المللی
زلزله

آقای مهندس شاه میرزایی

مدیر کمیته ترویج ستاد ویژه توسعه فناوری نانو



آقای مهندس قاسمی

دانشجوی دکتری مواد- دانشگاه علم و
صنعت

آقای مهندس قربانی

دانشجوی دکتری عمران- سازه دانشگاه
تهران



آقای دکتر عطایی

عضو هیات علمی گروه مواد دانشگاه
تهران

آقای مهندس لباف زاده

دانشجوی دکتری زلزله



۴- مقدمه‌ای بر کنترل سازه

کنترل سازه به معنای تغییر خواص سازه (ساختمان یا پل) برای رسیدن به پاسخ مطلوب سازه‌ای در برابر یک بار خارجی وارد شده به آن است. این تغییر خواص سازه شامل تغییر دادن میرایی و سختی سازه است، به طوری که سازه به طور مطلوب‌تر و با اثرات تخریبی کمتری در برابر بارهای خارجی پاسخ دهد. کنترل سازه با ایجاد امکان در تغییر خواص سازه، در مواقعی که بارهای وارد بر آن دینامیکی (متغیر با زمان) می‌باشد، رفتار آن را بهبود می‌بخشد.

سیستم‌های کنترلی براساس فرایند کنترل به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

۱. کنترل غیرفعال^۱: جذب دینامیکی نوسانات و اتلاف انرژی در این نوع سیستم‌ها بدون تحلیل

تحریکات وارده به سازه صورت می‌گیرد و حرکت نسبی خود مکانیزم، موجب تعیین دامنه و جهت

نیروی کنترلی می‌شود (مثل مهاربندی‌های ساده در ساختمانها).

برخی از ویژگیهای این سیستمها:

۱. نیاز به اطلاعات ورودی ناشی از نوسانات وارده ندارند.

۲. نگهداری آنها به دلیل عدم نیاز به حسگر و محرک^۲ آسان‌تر است.

۳. این سیستم‌ها نسبت به سیستم‌های کنترلی دیگر ارزاترند.

۴. قابلیت سازگاری با نوسانات متفاوت را ندارند.

۵. عملکرد آنها قابل کنترل نمی‌باشد.

^۱ . Passive

^۲ . Actuator

۲. کنترل فعال^۱: بر پایه توسعه تکنیکهای دیجیتالی و حسگرها^۲، روشهای کنترل فعال و نیمه فعال به وجود آمده و تعدادی از آنها در ساختمانها و پلها استفاده شده‌اند. اساس این روشها ثبت و تحلیل نوسانات وارد بر سازه و بعد از آن اعمال یک نیروی کنترلی بر سازه است. عملکرد این سیستمها تا حدی کنترل شده و به طور فعال با وارد کردن نیرو به سازه، آن را در تعامل با اختلالات نوسانی وارده بر آن قرار می‌دهند. یکی از معایب این سیستمها تاخیر زمانی در هنگام وارد کردن نیروی کنترلی است که این مشکل ناشی از مشخص نبودن رفتار نوسانات (زلزله، باد و غیره) وارده بر سازه است که قابل پیش‌بینی در الگوریتم کنترلی مورد استفاده نیست، بطوری که ممکن است این نیرو همجهت با نیروی ناشی از نوسان وارده شده، سازه را بی‌ثبات کرده و موجب خرابی بیشتر آن گردد. بعلاوه، این سیستمها نیاز به منبع زیادی از انرژی برای اعمال نیروی کنترلی به سازه دارند.

۳. کنترل ترکیبی^۳: این روش، ترکیب هر دو حالت فعال و غیرفعال می‌باشد و فواید هر دو روش را دربرمی‌گیرد. یک مثال از این کنترل، ترکیب ایزوله‌سازی سازه از کف به همراه کنترل فعال، به منظور محدود کردن جابجایی اضافی است.

۴. کنترل نیمه فعال^۴: سیستمهای کنترل نیمه‌فعال مزایای هر دو روش غیرفعال و فعال را با هم دارا هستند. نحوه عملکرد این سیستمها کاملاً کنترل شده‌است. ابزارکنترل نیمه فعال، از طریق سازگار کردن خصوصیات مکانیکی خود با نوسانات وارده سازه را کنترل می‌کنند، ولی مستقیماً انرژی‌ای به سازه وارد

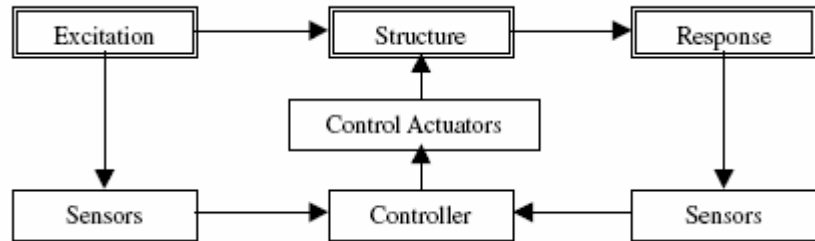
^۱ . Active

^۲ . Sensor

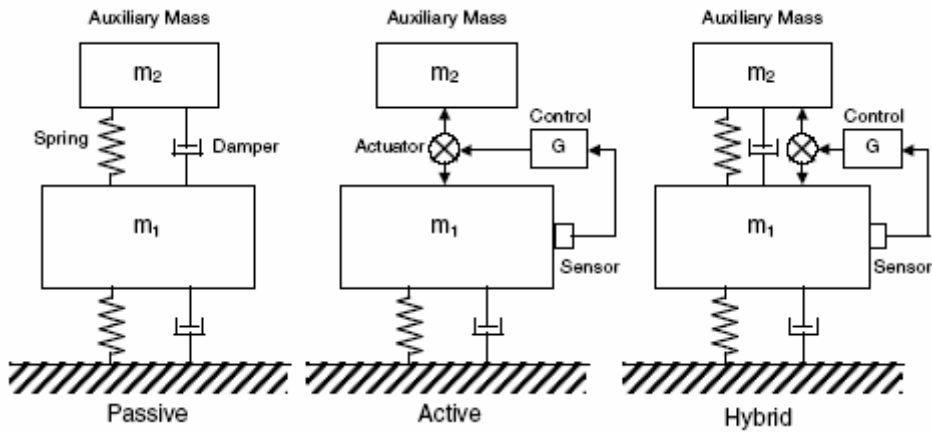
^۳ . Hybrid

^۴ . Semiactive

نمی‌کنند. در این حالت برعکس حالت فعال، تجهیزات مورد استفاده منبع انرژی کمی لازم دارند و در زمان وقوع زلزله که منبع انرژی اصلی قطع می‌شود می‌توانند به کار خود ادامه دهند.



شکل ۱- دیاگرام فرآیند کنترل سازه



شکل ۲- دیاگرام روش‌های مختلف کنترل سازه (منفعل، فعال و ترکیبی)

هرچند مفهوم کنترل سازه جذاب است ولی مفاهیم پایه‌ای آن جدید نیستند و در طی دهه‌های اخیر جزء اصلی مهندسی برق و کنترل بوده‌اند و به‌کارگیری آنها در رشته‌های مختلف موفق بوده است. کنترل در سازه (نظیر ساختمان و پل) به روش فعال اولین بار در سال ۱۹۸۹ در ژاپن به‌کاربرده شده است، و مفهوم آن در مباحث سازه، نو و جدید است و نیازمند فعالیتهای علمی و تحقیقاتی می‌باشد. مبحث کنترل سازه برای کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها به دلیل نیرومند بودن نیروی زلزله و عدم قطعیت آن قابل توجه‌تر است.

– کنترل پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها بر اصول زیر استوار است:

۱. ایزوله سازی سازه در برابر انرژی وارد شده بر آن از طرف زمین هنگام زلزله

۱-۱- سازه‌های شناور^۱

۱-۲- سازه‌های اصطکاکی^۲

۲. ایزوله سازی سازه در برابر فرکانسهای طبیعی وارد بر آن هنگام زلزله

۲-۱- سازه‌های ایزوله شده از کف برای مقابله با لرزه‌های زمین^۳

۲-۲- سازه‌های با دوره تناوب بالا^۴

۳. فراهم کردن خصوصیات غیرخطی سازه‌ای و به وجود آوردن یک سیستم غیرساکن و غیر-

رزونانسی

۳-۱- سازه‌های غیرالاستیک با توانایی رفتار غیرخطی^۵

^۱ . Floating structures

^۲ . Frictional structures

^۳ . Base-Isolated Structures

^۴ . Long-period structures

^۵ . Inelastic structure

۳-۲- سازه‌هایی با سختی و میرایی متغیر^۱

۴. فراهم کردن یک مکانیزم جذب انرژی

۴-۱- میراگرهای ویسکوز^۲

۴-۲- میراگرهای ویسکو الاستیک^۳

۴-۳- استفاده از رفتار غیر الاستیک^۴

۵. تولید نیروی کنترلی برای جلوگیری از پاسخ سازه

۵-۱- میراگر با جرم فعال^۵ که این جرم کمکی با یکسری محرک روی سازه نصب می‌شود و بر

اساس لرزش وارده این محرکها فعال شده و به علت حضور این جرم پاسخ لرزه‌ای سازه تغییر می‌کند.

۵-۲- میراگر تاندونی فعال^۶ یا سیستم بادبندی فعال که در محل اتصالات بادبندها ابزار کنترلی

نصب شده است.

۵-۳- میراگر اتصالی^۷ که با اتصال دو سازه با ارتفاع‌های مختلف به هم، سازه با ارتفاع کمتر

رفتار دیگری را کنترل می‌کند.

در شکل ۳ تصویری از برخی ابزارهای کنترل در سازه آمده است.

^۱ . Varying Stiffness & damping

^۲ . Viscous damper

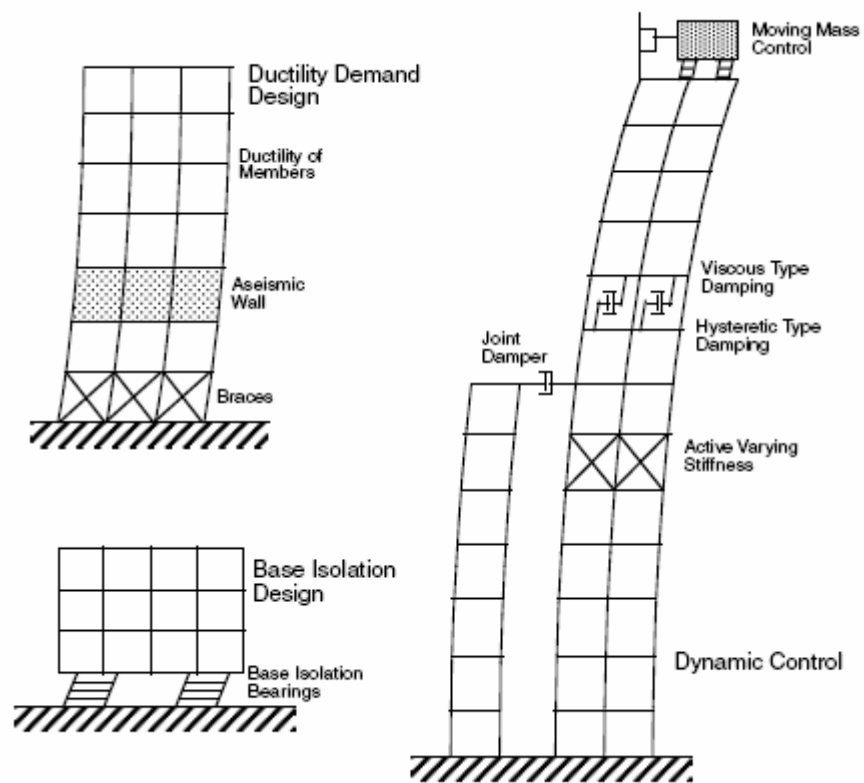
^۳ . Viscoelastic damper

^۴ . Inelastic behavior

^۵ . Active mass damper

^۶ . Active tendon

^۷ . Joint damper



شکل ۳- شکل شماتیک نحوه کاربرد برخی از روشهای کنترل در ساختمانها

۵- زمینه‌های کاربردی فناوری نانو در کنترل سازه

در کل به نظر می‌رسد که تئوری کنترل سازه با توجه به جدید بودن و پیچیدگی کار، در حال حاضر بیشتر برای ساختمانهای با اهمیت بالا کاربرد داشته باشد که از آن جمله به پلها، بیمارستانها و ساختمانهای بلندمرتبه می‌توان اشاره کرد.

با توجه به ابزارهای مختلف کنترل، فناوری نانو می‌تواند در موارد زیر به کار رود:

۱-۵- Magnetorheological (MR) Fluid

این ماده که در سیستم میراگرهای ویسکوز کاربرد دارد، ماده‌ای روغنی شکل و خاکستری رنگ است که سه برابر از آب چگال‌تر می‌باشد. این ماده وقتی تحت میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد خاصیت تغییرات برگشت‌پذیر از حالت جریان آزاد خطی سیال ویسکوز به حالت نیمه‌جامد را در چند میلی‌ثانیه دارد. یعنی بدون حضور میدان مغناطیسی حالت جریان آزاد دارد و به صورت سیال نیوتنی مدل می‌شود. این سیالات نوعاً از ذرات با سایز میکرونی و خاصیت قطبی که در یک حامل معمولی مثل روغن سیلیکونی قرار دارند تشکیل شده‌اند و در محدوده دمایی 40°C تا 150°C عمل می‌کنند. تنش تسلیم حالت جامد آنها تقریباً ثابت است. توان لازم برای تولید میدان مغناطیسی لازم برای تحریک ماده کمتر از ۱۵۰ وات می‌باشد به طوری که این سطح ولتاژ و توان الکتریکی به آسانی به وسیله باتری فراهم می‌شود.

چگونگی رفتار این ماده در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است:



شکل ۷- شرایط عادی سیال MR



شکل ۸- سیال MR تحت میدان مغناطیسی

در شکل ۷ که نشان دهنده شرایط عادی است، اگر ظرف را کج کنیم، سیال به حالت روان در می آید و از آن خارج می شود. در شکل ۸ یک آهنربا (میدان مغناطیسی) در ته ظرف قرار دارد که در اثر این میدان مغناطیسی سیال درون ظرف به حالت جامد نزدیک می شود، به طوری که با برگرداندن ظرف، ماده از درون آن خارج نمی شود.

تا حدود سال ۱۹۹۰ به دلیل عدم توانایی در کنترل رفتار این ماده، کاربرد زیادی برای آن وجود نداشت، ولی امروزه با وجود پردازشگرهای سیگنالی دیجیتالی، شدت میدان مغناطیسی وارد بر این سیال قابل کنترل است.

در حال حاضر این میراگرها در ماشین لباسشویی، اتومبیل ها و، برای کنترل تکانها و ضربه ها کاربرد دارند. ولی مهمترین کاربرد آنها، کاربرد لرزه ای است که در حفاظت جان انسانها و کنترل خرابی ساختمانها مؤثر است. از طرفی میراگرهایی که در ساختمانها به کار برده می شوند بسیار بزرگتر از میراگرهای معمولی هستند و اندازه آنها به نسبت اندازه سازه بزرگ می شود. همچنین تعداد میراگری که در یک سازه به کار می رود با توجه به نوع طراحی، اندازه و کاربرد سازه متغیر است.

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می گردد این میراگرها از یک سیلندر که در داخل آن پیستون سه-بخشی که در آن سیم پیچ مغناطیسی پیچیده شده ساخته شده اند و حدوداً ۵ لیتر سیال MR در داخل این سیلندر وجود دارد. در هنگام زلزله یا هرگونه لرزه وارده، حسگرهای متصل به سازه این نوسانات را به کامپیوتر منتقل می کنند تا یک شارژ الکتریکی برای میراگر ایجاد کنند، این شارژ الکتریکی درون سیم-پیچ، میدان مغناطیسی را القا کرده و این میدان موجب تغییر حالت سیال MR به حالت نیمه جامد می شود. این نوسان می تواند موجب شود که این سیال هزاران بار در ثانیه تغییر حالت دهد. این تعداد تغییر ممکن

است دمای سیال را بالا ببرد و موجب انبساط آن شود. برای رفع این مشکل یک محفظه انبساطی کننده انبساط حرارتی در بالای میراگر قرار دارد که حجم اضافی سیال منبسط شده در اثر حرارت وارد این محفظه می شود و به این ترتیب از افزایش نامطلوب فشار در سیال منبسط شده جلوگیری می گردد.

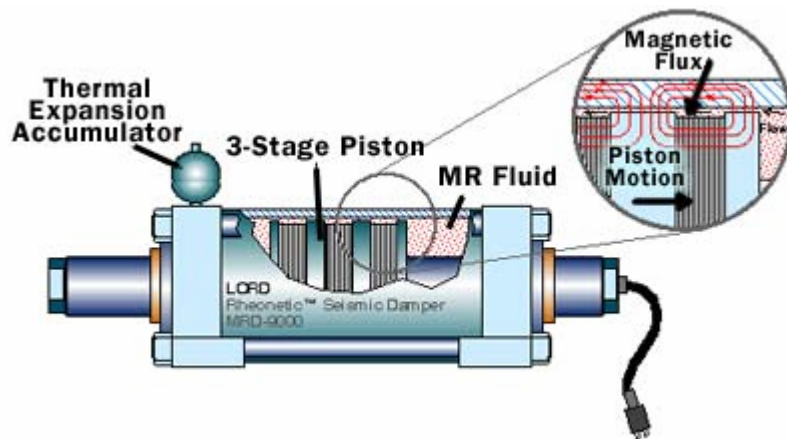


Photo courtesy Lord Corp.

شکل ۹- نمونه ای از میراگر MR

میزان تغییر حالت این ماده به حالت جامد و در حقیقت میزان سفت شدن آن، به شدت میدان مغناطیسی ایجاد شده که خود متناسب با شدت لرزشها است، بستگی دارد.

وقتی این میراگرها در امتداد بادبندها در کف یک طبقه نصب شوند قابلیت صلب کردن آن سازه را متناسب با لرزه وارده دارند. استفاده از این میراگرها در ساختمانها، پلها و ... سازه های هوشمندی خلق می کند که می توانند به طور خودکار در برابر نوسانات واکنش نشان دهند و در نتیجه میزان خرابی ناشی از نوسانات را کاهش دهند.

با توجه به هوشمند بودن رفتار این ماده به نظر می رسد که فناوری نانو در تولید و ساخت آن و یا بهبود خواص آن کاربرد داشته باشد. در پی این ایده مطرح شده، طی جستجو در اینترنت ماده ای به نام

nanoMRFluid شناسایی شده که با خصوصیات خاص خود توسط شرکت Lord تولید می‌شود، این ماده جدیدترین محصول این شرکت می‌باشد و این شرکت یکی از بزرگترین تولیدکنندگان میراگرهای حاوی MR-Fluid است.

۲-۵ Electroheological (ER) Fluid

سیالات ER همچون سیالات MR دارای خواص تغییرپذیر هستند. با این تفاوت که در حضور یک میدان الکتریکی در چند میلی ثانیه از مایع به جامد تغییر می‌کنند. این مقاومت در برابر جاری شدن، هنگام حضور یک میدان الکتریکی، در گستره وسیعی از صنایع مثل میراگرها، محرکهای هوشمند (Smart actuators) سیستم‌های کلاچ و ترمز اتومبیل و سازه‌های هوشمند کاربرد دارد.

آگاهی نسبت به رفتار و خصوصیات سیالات ER در طی فرآیند تغییر فاز (مایع به جامد و جامد به مایع) به منظور کنترل مؤثر ابزارهایی که بر پایه فناوری سیالات ER بنا شده‌اند (مثل محرکها) برای مهندسين اهمیت زیادی دارد. در ضمن از آنجایی که فرآیند انتقال فازی شامل قطبی شدن و تجمع ذرات دینامیک جریان، مستقل از زمان است، تحقیقات در مورد پاسخ دینامیکی سیالات ER در طی فرآیند تغییر فاز برای درک ما از مکانیزم اثر ER و به منظور خلق یک مدل رئولوژیکی (رئولوژیک به معنی خصوصیات مرتبط با جریان ماده است) از سیالات ER مفید است.

این سیالات که از ذرات پراکنده و معلق در یک مایع غیررسانا (غیرهادی) تشکیل یافته‌اند، محرکهایی هستند که توانایی واکنش مکرر در برابر یک میدان الکتریکی و نیز همانند سیالات MR در حالت جامد، توانایی مقاومت فیزیکی در برابر یک نیروی وارده را دارند.

ذرات پراکنده عموماً اکسیدهای فلزی، آلومینو سیلیکات، سیلیکا، مواد آلی یا پلیمری هستند. اندازه این ذرات بسیار کوچک و در حد میکرومتر است. مایع نگه دارنده این ذرات نوعاً یک روغن سیلیکونی یا

هیدروکربنی با ویسکوزیته پایین است. می‌توان با تغییر عناصر و ترکیبات ذرات و مایع نگه دارنده خصوصیات سیالات ER را تغییر داد.

۳-۵- Shape Memory Alloys (SMA)

عبارت Shape Memory Alloys به آلیاژهایی از فلزات اطلاق می‌شود که دارای حافظه تغییر شکلی هستند، به این معنا که تحت کرنش‌های بالا بعد از تغییر شکل، همان خصوصیات اولیه را از لحاظ مقاومت تسلیم و ... دارند.

خصوصیات این مواد که آنها را قابل کاربرد در مهندسی عمران می‌نماید می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

(۱) قابلیت جذب مقدار زیادی انرژی کرنشی به همراه تغییر شکل بر اثر نیروهای وارده و

برگشت به شکل اولیه بدون باقی ماندن تغییر شکل ماندگار در آنها. (خاصیت فوق

الاستیک)

(۲) قابلیت تحمل کرنش تا ۷۰ درصد

(۳) مقاومت بالا در برابر خستگی بعد از بارگذاری مکرر با دامنه تغییر شکل زیاد

این آلیاژها معمولاً از ترکیب فلزاتی همچون نیکل - تیتانیوم و مس - آلومینیوم - روی و غیره تشکیل

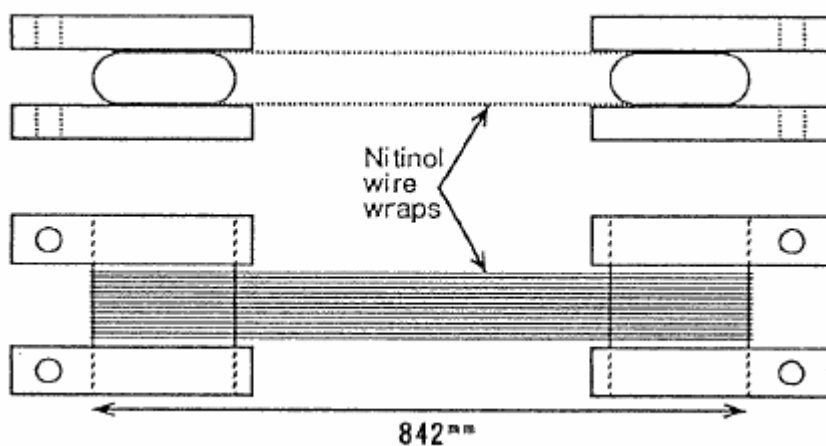
می‌شوند. یک نمونه این آلیاژها، آلیاژ نیکل و تیتانیوم است که به نام نیتینول (Nitinol) نامیده

می‌شود.

یکی از ابزارهایی که روی آن مطالعه صورت پذیرفته در شکل ۱۰ آمده است. این ابزار ساده متشکل

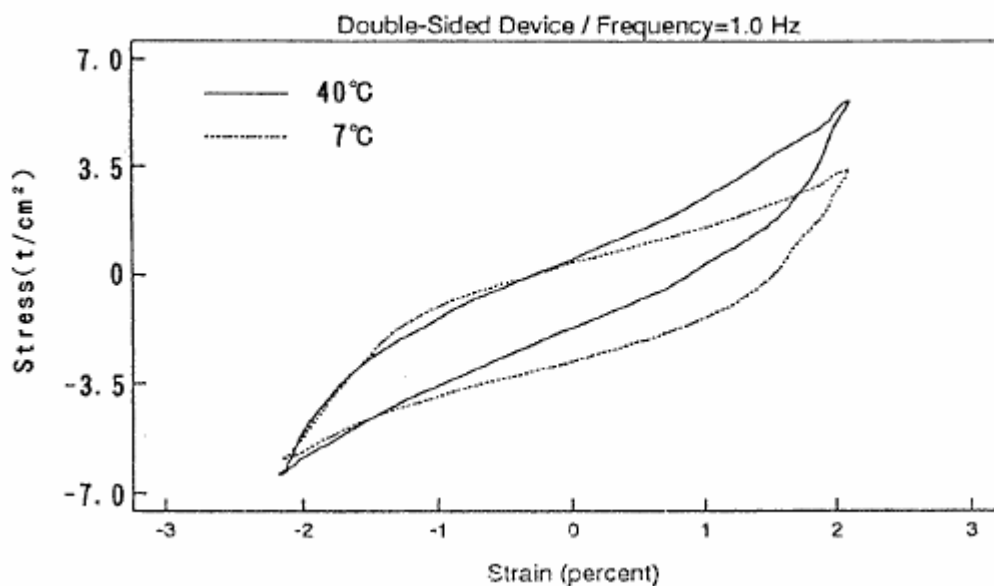
از یک سیم نیتینول (Nitinol) پیچیده به دور دو تکیه‌گاه استوانه‌ای شکل است. در طرح ابتدایی با

۲۱۰ دور سیم، مطالعه شده است. این ابزار از ابتدا تحت کرنش ۲/۷۵ درصد پیش تنیده شده است.



شکل ۱۰- یک نمونه از ابزار ساخته شده با SMA

نتایج طرح، رفتار خوبی را در منحنی تنش- کرنش در بارگذاری و باربرداری تا مرحله غیر خطی و در دو دمای مختلف نشان داده است. به جز یک کاهش ناچیز که در تنش تسلیم وجود دارد رفتار ماده تحت بارگذاریهای تناوبی تقریباً ثابت و پایدار است. منحنی تنش-کرنش رفتار ماده در شکل ۱۱ آمده است.



شکل ۱۱- نمودار تنش-کرنش مربوط به یک نوع ماده SMA

با توجه به زلزله‌های مخرب اخیر، استفاده از روشهای کنترل غیرفعال انرژی در سازه‌ها و بهبود خصوصیات رفتاری آنها اهمیت زیادی پیدا کرده است. این روشها که عموماً از اجزای سازه‌ای غیر هوشمند مثل اجزای مستهلک‌کننده انرژی به کار رفته در سازه، در کرنشهای بالا، وارد مرحله غیر خطی می‌شوند که این موجب به وجود آمدن تغییر شکلهای ماندگار، پدیده خستگی و در نهایت شکست آنها می‌گردد. به همین دلیل استفاده از مواد SMA با خصوصیات خاصی که دارند، در اجزای سازه‌ای مفید است و پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها را بهبود می‌بخشد. با توجه به گستردگی کاربردهای نانوفناوری، می‌توان جهت بهبود ساختار این مواد و دادن ویژگیهای مناسب به آنها، استفاده کرد.

۶- ایده‌های مطرح شده در جلسه هم‌اندیشی

۶-۱- کار بر روی ساخت و بهبود خواص سیالات هوشمند (از جمله MR و ER) با استفاده از فناوری

نانو برای استفاده از این سیالات در کنترل‌های فعال و نیمه‌فعال و ترکیبی (میراگرها و محرک‌ها)

۶-۱-۱- کاربردهای سیالات هوشمند و میراگرهای MR

- یکی از مهم‌ترین کاربردهای سیالات هوشمند در کنترل سازه‌ها است، که کار بر روی این سیالات شروع شده است. این فکر شاید ۵ یا ۱۰ سال پیش مطرح شده و غربی‌ها روی آن کار کرده‌اند و خیلی از اطلاعاتی که به ما می‌رسد نتیجه مختصر تحقیقات آنهاست. هم‌اکنون دو مورد از کارهای تحقیقاتی روی کاربرد سیالات MR در کنترل سازه‌ها در پایان‌نامه دکتری دانشجویان در داخل ایران انجام شده است. (دکتر زهرایی)

- میراگر MR در جاهای خاصی استفاده می‌شود. بطور کلی در مهاربندیهای ساختمانها، نقش میرایی و جذب انرژی را به قطعه‌ای که می‌تواند یک قطعه پروفیل باشد می‌دهند، که با نصب قطعات میراگر سیال ویسکوز (MR) و استفاده از فناوری نانو در بهینه‌سازی رفتار آن، می‌توان انرژی را به خوبی مستهلک کرد، که این روش برای سازه‌های خاص شاید مناسب باشد ولی برای سازه‌های معمولی، استفاده از آن خیلی اقتصادی نیست. (دکتر زهرایی)

- استفاده از میراگرها به علت قیمت گزافی که دارند در ساختمان‌های معمولی توجیه اقتصادی ندارد، ولی برای سازه‌های خاص مثل پلهای معلق که ارتعاشات کابلهای آن زیاد است، می‌توان از آنها استفاده کرد. کاربرد سیالات MR به صنعت ساختمان مربوط نمی‌شود و مثلاً در ساخت پای مصنوعی برای تغییر سختی قسمت زانو در موقعیتهای مختلف حرکت پا استفاده می‌شوند و همچنین برای کنترل ارتعاشات

مکانیکی ابزارها و وسایل دیگر می‌توان از آنها استفاده کرد. در مورد این میراگرها، کاربرد فناوری نانو به ساخت سیالات مربوط است. (مهندس قربانی)

۶-۱-۲- مشخصات میراگرهای MR

- در مورد میراگرهای MR دو بخش مطرح می‌شود، یک بخش که سیال و ماده درون میراگر است و بخش دیگر ابزار و بدنه میراگر است. بخش ساخت سیال که به حوزه کاری مواد و متالورژی مربوط می‌شود، جنس این سیالها مطرح است که از ذرات ریز می‌باشد و فناوری نانو در این بخش می‌تواند اثر داشته باشد، کما اینکه کار بر روی ذرات نانومغناطیس نزدیک به ۸ سال است که در دنیا شروع شده است و در چند سال اخیر هم در کشور ما مطالعات و پیشرفتهای زیادی در این زمینه صورت گرفته است. (دکتر عطایی)

- مواد مغناطیسی دو نوع هستند، یکی بر مبنای آلیاژهای فلزی که خواص بهتر و یک سری محدودیتهای خاص دارند و گروه دیگر بر پایه مواد اکسیدی که مغناطیسهای سرامیکی یا فریتها هستند. از جمله مواد مغناطیسی، فروسیالها هستند که عمدتاً ماهیت سرامیکی دارند و طبیعتاً اکسید آهن می‌باشند. اندازه این مواد باید به حدی ریز باشد که بتوانند حالت معلق شدن را در داخل محلول نگهدارنده، داشته باشند. در واقع سنتز این مواد مغناطیسی در حد نانو و مشخص کردن خواص ماده سنتز شده حاصل، احتیاج به تجهیزات پیشرفته‌ای دارد، که بخش عمده آن در دانشکده‌های مختلف کشور وجود دارد. عمدتاً تهیه این ذرات در حد نانو به روش احیای درجا^۱ صورت می‌گیرد، علاوه بر آن می‌توان این نانو ذرات را با روشهای شیمیایی از محلول گرفت. به هر حال از دید سنتز و تهیه مواد در کشور مشکلی وجود ندارد و نیازمند یک تیم تحقیقاتی بین رشته‌ای است که در قسمتهای مختلف این میراگر کار کند. کاربرد این

^۱Form in place

مواد فروسیال تنها در مورد کنترل سازه‌ها نیست و اگر کار تحقیقاتی صورت بگیرد همه بخشها می‌توانند از نتایج آن بهره‌مند شوند. ساخت کل میراگر می‌تواند یک طرح تحقیقاتی باشد که باید به چند زیر پروژه شکسته شود و متخصصین از رشته‌های مختلف روی آن کار کنند. (دکتر عطایی)

- سنتز نوعی فروسیال در پژوهشکده رنگ انجام شده است و در خصوص بهینه‌سازی و کنترل خواص با استفاده از فناوری نانو می‌توان کار کرد. تقسیم‌بندی سه گروه این سیال‌ها (ER, MR و فرو) از لحاظ مزایا و معایب نیز صورت گرفته است. این سیالات کاربردهای متنوعی دارند که یکی از آنها در کنترل سازه است. آهن کربنیل یک ماده تقریباً آلی است که در ساختار سیالات MR وجود دارد و سنتز ذرات اینها نسبت به فروسیال‌ها مشکل‌تر است. (مهندس قاسمی)

۶-۱-۳- کاربردهای فناوری نانو در میراگرهای MR

- در سیستمهای کنترلی و میراگرهای MR لازم است که عکس العمل‌های سریعی نسبت به لرزشهای ثبت شده توسط حسگر در طول زمان صورت بگیرد که امکان دارد این تغییر حالت‌های سریع، انرژی زیادی را در سیال درون میراگر ذخیره کند و دمای سیال از ابتدا تا انتهای زلزله مقدار زیادی بالا برود که قطعاً روی خواص رئولوژیکی سیال تأثیرگذار است که احتمالاً این محدودیت‌ها با استفاده از فناوری نانو می‌توانند برطرف شوند. (دکتر حسینی)

- در سنتز ذرات در حد میکرون یا نانو از جنس آهن، کبالت یا نیکل که در سیالات MR وجود دارند، به علت فعال بودن ذرات مشکل اکسیداسیون به وجود می‌آید و سنگین بودن این ذرات در پایدار نگه داشتن آنها مانع ایجاد می‌کند. مزیت این ذرات خاصیت پذیرش مغناطیسی زیادی است که دارند. (مهندس قاسمی)

- لازم است یک گروه تحقیقاتی بین رشته‌ای تشکیل شود و روی این میراگرها کار کند و در انتها ما به یک تکنولوژی دست پیدا کنیم، که بتوانیم در زمینه‌های مختلف از آن استفاده کنیم. می‌توان با تغییر اندازه ذره‌ها به ابعاد نانویی می‌توان خاصیت حد تسلیم برشی را هم در مواد فروسیال افزایش داد تا بتوان از فروسیالات در ساخت میراگرها استفاده کرد. (مهندس قاسمی)

۲-۶. ساخت و بهبود خواص مواد SMA^۱ با استفاده از فناوری نانو برای استفاده از این مواد در قطعات

کنترل غیرفعال سازه‌ها

۱-۲-۶- کاربردهای مواد SMA

- برای استفاده از مواد جدید در اجزای سازه‌ای، لازم است منحنی رفتاری آنها مشخص شود و بعد از کار تئوریک، عملکرد این مواد در سازه‌ها بررسی شود. بررسی پدیده خستگی در این مواد نیز لازم است. به هر حال تکنولوژی ساخت، قسمت اصلی کار می‌باشد که می‌توان با فناوری نانو روی آن کار کرد. (دکتر سروقدمقدم)

- کاربردهای متنوعی هر روز برای این مواد متصور می‌شود (مثلاً در سوزن‌های مورد استفاده در پزشکی، سیستم ارتودنسی، صنعت ساختمان و غیره). ساخت این آلیاژها پروسه پیچیده‌ای دارد. در ایران روی نوعی از این مواد (Nitinol) کارهای مختصری صورت گرفته و ادامه دارد. در عین حال در زمینه استفاده از نانو فناوری برای بهینه‌سازی خواص مطلوب آنها فعالیت‌هایی شروع خواهد شد. این مواد دو خاصیت عمده فوق الاستیکی^۲ و حافظه داری^۳ را توأمأً دارا هستند که این خواص لزوماً بهینه نیستند و بهینه‌سازی هر کدام از آنها روی خاصیت دیگر تأثیر می‌گذارد. (دکتر سروقدمقدم)

^۱ Shape Memory Alloys

^۲ Super Elasticity

^۳ Shape Memory

۲-۲-۶- مشخصات مواد SMA

- به علت حساس بودن فرآیند آنالیز، در ساخت اینها از مواد اولیه با خلوص بالا استفاده می‌شود. اساساً وارد شدن بحث فناوری نانو در این مواد قضیه را پیچیده می‌کند چرا که کار بسیار جدیدی بوده و در دنیا تازه شروع شده است. (دکتر رایگان)

- در مهندسی عمران که با ابعاد ماکرو سروکار داریم، در خواص مصالح رفتارهای بسیار جالبی وجود دارد که در مقیاس‌های ریز می‌توان آنها را تصحیح کرد. فولاد جزء بهترین مصالحی است که در طبیعت وجود دارد و دارای خواص ارتجاعی^۱، کشسانی^۲ و کار سختی^۳ است، اگر در فولاد خصوصیت کارسختی وجود نداشت، جذب انرژی هم به خوبی صورت نمی‌گرفت. در سیستم‌های کنترلی خیلی ساده‌ای که در کشور روی آنها کار کرده‌ایم، محدودیت‌های شکل‌پذیری، خستگی و تغییرشکل‌های ماندگار مصالح برای این سیستم‌ها مشکل ایجاد می‌کند. مثلاً برای ساخت یک فولاد نرمه (Mild Steel) معمولی در کشور محدودیت‌های زیادی وجود دارد که این محدودیت‌ها را می‌توان با فناوری نانو و سیستم‌های پیشرفته حل کرد. (دکتر حسینی)

- استفاده از این مواد در میراگرهای اصطکاکی جاری شونده و انجام کارهای تحقیقاتی با استفاده از توانمندی‌های فناوری نانو برای بهتر کردن خصوصیات میراگرها و پیش‌بردن دانش فنی لازم است. (دکتر سروقدمقدم)

^۱ Elasticity
^۲ Plasticity
^۳ Hardening

۳-۶- استفاده از فناوری نانو برای بهبود خواص لاستیک‌های به کار رفته در سیستم‌های جداگر لرزه‌ای

۱-۳-۶- کاربردها

- در صنعت لاستیک و کامپوزیت‌های مورد استفاده در سازه‌ها، استفاده از لاستیک‌های خاصی که

قابلیت میرایی بالا و تغییر شکل برشی زیاد دارند، کیفیت بهتری به سیستم جداگر لرزه‌ای می‌دهد که با

فناوری نانو می‌توان این خواص را در لاستیک‌ها ایجاد کرد. (دکتر زهرایی)

- وقتی اجرای آن در کشور اقتصادی و منطقی است که بتوانیم خودمان آن را بسازیم و از فناوری

جدیدی مثل نانو در بهبود خواص آن استفاده کنیم. (دکتر حسینی)

- در یکی از قسمت‌های سیستم‌های جداگر لرزه‌ای، در مورد بهبود خواص لاستیک و بالابردن عمر مفید

آن با استفاده از فناوری نانو می‌توان تحقیقاتی را انجام داد. (دکتر سروقدمقدم)

- در لاستیک‌هایی که در سیستم جداگر لرزه‌ای استفاده می‌شود، خواص مشخصی لازم است که میرایی

بالا و توانایی تحمل تغییر شکل برشی از آن دسته‌اند، یعنی اگر بتوانیم از لاستیک منحنی رفتاری نیرو-

تغییر مکان را به دست بیاوریم که کرنش‌های بالا را در اتصال سیستم جداگر لرزه‌ای تحمل کند و بدون

خرابی به حالت اول برگردد، توان استهلاک انرژی فوق‌العاده بالایی به وجود می‌آید که می‌توان با

استفاده از فناوری نانو بر روی این خواص کار کرد. (دکتر زهرایی)

۴-۶- استفاده از نانوسنسورها، نانو سیم‌ها و قطعات الکترونیکی کوچک بر روی ثبت شاخص‌های کنترل

سیستم‌های مختلف (کرنش، جابجایی، شتاب انرژی جذب شده و ...) و تصویر کردن وضعیت سلامت

داخلی اجزای سازه در ابزارهای کنترل غیرفعال

- حسگرها یکی از زمینه‌های وسیعی است که ما در کنترل سازه‌ها نیاز داریم، این قطعات الکترونیکی نه تنها در روش‌های فعال، بلکه در روش‌های غیر فعال و برای تصویر کردن وضعیت سازه‌ها به کار می‌روند، که می‌توان با استفاده از فناوری نانو قابلیت‌های آنها را افزایش داد. (دکتر زهرایی)

تلقى عمومی در انتهای جلسه آن بود که از بین کاربردهای فوق، کاربردهای نانوفناوری در لاستیکهای به کار رفته در سیستمهای مختلف کنترل سازه در کشور ما عملی تر و اقتصادی تر به نظر می‌رسد.

۷- دستاوردهای هم‌اندیشی

در کل دستاوردهای زیر در این هم‌اندیشی حاصل گردید:

۱. آشنایی اساتید و صنعتگران مدعو با فناوری نانو، دغدغه‌های دولت در زمینه نانو و زلزله و مشکلات موجود در صنعت مقاوم‌سازی در کشور در شرایط حاضر.
۲. آشنایی اساتید رشته‌های مختلف با قابلیت‌های یکدیگر و قابلیت‌های موجود در کشور در زمینه - های کنترل سازه‌ها و فناوری نانو.
۳. تحلیل و ایده‌پردازی چگونگی استفاده از فناوری نانو برای کاهش خطرات زلزله.
۴. بحث روی ایده‌ها و دسته‌بندی آنها و نتیجه‌گیری که منجر به اولویت‌گذاری در موارد زیر شد:
الف - استفاده از لاستیک‌ها با قابلیت خاص سیکل‌های هیستریزیس جهت استفاده در مهاربندها و سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای.
ب - استفاده از نانو سیال‌های مغناطیسی (MR) در میراگرها جهت تغییر خواص این سیالات برای بهبود پاسخ لرزه‌ای در کنترل‌های نیمه فعال.
ج - استفاده از آلیاژهای خاص حافظه‌دار (SMA) در مهاربندها به عنوان کنترل‌های غیر فعال.
۵. ایجاد ذهنیت جهت تعریف پروژه مشترک تحقیقاتی بین دانشکده‌های مختلف در زمینه فناوری نانو.

موسسه مطالعات توسعه و فناوری تحلیلگران تهران (تدسای) که به همت عده‌ای از فارغ‌التحصیلان دانشگاه‌های تهران و صنعتی شریف در دانشگاه تهران شکل گرفت، اینک پس از طی دوره رشد به عنوان موسسه غیر تجاری ثبت شده و با بهره‌گیری از تجارب اساتید، اندیشمندان و متخصصین داخل و خارج، به دولتمردان و صنعتگران کشور مشاوره می‌دهد.

خدمات این موسسه که ماهیت کانون تفکری دارد در زمینه‌های مدیریت استراتژیک، مدیریت تکنولوژی، نانو تکنولوژی، سیاست پژوهی، مدیریت بحران و ریسک سوانح طبیعی، برنامه‌ریزی توسعه شهری و منطقه‌ای و امور زیربنایی مانند آب، انرژی، حمل و نقل و فناوری اطلاعات می‌باشد.

نوع خدمات این موسسه در قالب عقد قرارداد جهت ارائه مشاوره و انجام مطالعات امکان‌سنجی، ارائه طرح‌های مفهومی^۱، جامع^۲، عملیاتی^۳ و برنامه‌های استراتژیک و نیز برگزاری سمینار و هم‌اندیشی، دوره‌های آموزشی و فعالیت‌های ترویجی در موضوعات ذیربط با کلیه ارگانهای دولتی و خصوصی می‌باشد. این موسسه تبدیل دانش به تصمیم را شعار محوری خود قرار داده و در این راستا تکمیل پل ارتباطی بین دانشگاه‌ها، مراکز آموزشی و اساتید با نهادهای تصمیم‌گیرنده و سیاستگذار کشور را مأموریت خود تعریف کرده است.

^۱ . Conceptual
^۲ . Comprehensive
^۳ . Action

- ١) www.tu-dresden.de/mw/irl/lampe/datenban/MRF-VEB/MRF-VEB.HTM
- ٢) B.F Spencer Jr , S.Nagharajaiah , “State of the art of structural control”, journal of structural engineering ,ASCE, July ٢٠٠٣
- ٣) [http:// science.howstuff works .com / smart-structure.htm](http://science.howstuffworks.com/smart-structure.htm)
- ٤) Benjamin Craig, “One Fluid, Multiple Viscosities-Numeros Applications”, The AMPTIAC Quaterly, Volum٧, Number٢.
(<http://amptiac.alionscience.com>)
- ٥) S.Aizawa & et al, “ Case Studies of Smart materials for civil structures”
- ٦) Dr. K. Muthumani, Assistant Director& Dr.R.Srekala, Scientist Structural Engineering Research Center, Chennai
“ Strauctural Application of Smart Materials”
([http:// dbtind ia.nie. in / women/paper ١٥. htm](http://dbtindia.nie.in/women/paper10.htm))
- ٧) Hirokazu Iemura & Mulyo Harris Pradono,”Structural Control “
Handbook of Earthquake Engineering , Kyoto Japan
SmartMater. Struct.٧(١٩٩٨), ٦١٧-٦٢٦.Priuted in UK
PII: S٠٩٨٤- ١٧٢٦(٩٨)٩٦١٨٩-٤٤٧ july ١٩٩٧