

# فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال، نهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، (پیاپی ۲۸): صص ۶۲-۵۷

## کاربرد ارتعاشات مکانیکی در پدافند غیرعامل

علی نخعی امرودی<sup>۱\*</sup>، علیرضا شجاعی فرد<sup>۲</sup>، محمد رامشینی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۰۸

### چکیده

یکی از مباحث بسیار مهم در طراحی سازه‌های نظامی، رعایت اصول اختفاء است. بدین منظور می‌بایست رفتار دینامیکی سازه‌ها و سامانه‌های نظامی به گونه‌ای تحلیل شود که در میدان نبرد، سامانه مورد نظر به اندازه کافی از دشمن مخفی باشد. رفتار دینامیکی سامانه‌ها را معمولاً با معادلات دیفرانسیل که خود نیز یکی از شاخه‌های مهم ریاضیات کاربردی است و به‌طور مداوم به‌روز می‌شود، مدل‌سازی می‌کنند. این معادله دیفرانسیل منتج از مدل‌سازی ریاضی سامانه‌ها، خطی یا غیرخطی است. مدل ریاضی خطی منجر به یک معادله دیفرانسیل معمولی می‌شود و دارای راه‌حل‌های سریع می‌باشند و تحلیل آنها بسیار ساده می‌باشد. مدل‌های غیرخطی که منجر به معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی می‌شوند مشخصه‌هایی از سامانه را نشان می‌دهند که با استفاده از مدل‌های خطی قابل پیش‌بینی نیستند. برای بررسی دقیق رفتار یک سامانه می‌توان تمام جزئیات را لحاظ کرد و یک معادله دیفرانسیل پیچیده به‌دست آورد و با تفسیر حل آن، اصول اختفاء و مقاومت‌سازی پدافند غیرعامل را برآورده نمود. در نوشتار حاضر ضمن بررسی و معرفی ساختار کلی مدل‌سازی ارتعاشات سامانه‌ها، با ذکر نمونه‌های حقیقی نشان داده می‌شود که ارتعاشات چه کاربردی در صنایع نظامی دارد و چگونه می‌توان از آن در جهت پیشبرد اهداف پدافند غیرعامل استفاده کرد.

**کلیدواژه‌ها:** فنر، ارتعاشات، معادلات حرکت، مدل‌سازی ریاضی

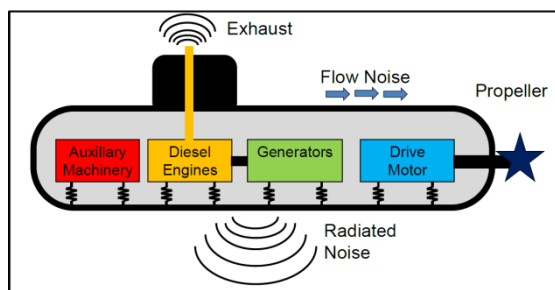
۱- دکتری دانشگاه جامع امام حسین<sup>(ع)</sup>، Email: amroodi8@yahoo.com - نویسنده مسئول

۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه جامع امام حسین<sup>(ع)</sup>

۳- کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین<sup>(ع)</sup>

## ۱- مقدمه

ارتعاشات برای شبیه‌سازی زلزله در تحقیقات زمین‌شناسی، طراحی کشتی‌ها [۴]، زیردریایی‌ها [۵]، راکتورهای هسته‌ای و غیره استفاده می‌شود [۱]. همه این موارد از مصادیق اهمیت کاهش ارتعاشات هستند.



شکل ۲- بررسی ارتعاشات در طراحی زیردریایی [۵]

مطالعه ارتعاشات به چهار هزار سال قبل از میلاد بازمی‌گردد [۶]. اولین کتاب منتشر شده در زمینه ارتعاشات کتاب «در باب دو علم جدید» گالیله<sup>۳</sup> ریاضیدان ایتالیایی است [۷]. به دنبال گالیله ریاضیدانان زیادی همچون تیلور<sup>۴</sup>، برنولی<sup>۵</sup>، اویلر<sup>۶</sup> و غیره بر روی مسائل ارتعاشات کار کردند [۸]. اگرچه لاگرانژ<sup>۷</sup> ریاضیدان ایتالیایی‌الاصل در سال ۱۷۵۹ میلادی نوسان سیم مرتعش را به صورت تحلیلی بررسی نمود ولی چند سال بعد دالامبر<sup>۸</sup> ریاضیدان فرانسوی برای اولین بار از یک معادله دیفرانسیل معمولی که آن را معادله موج نامید برای حرکت سیم مرتعش استفاده کرد [۹]. پوانکاره<sup>۹</sup> در سال ۱۸۹۲ با معرفی ارتعاشات غیرخطی، مسائل مکانیک سماوی را به صورت عددی حل کرد [۱۰]. به دنبال کارهای وی، فیزیکدان روسی لیاپونوف<sup>۱۰</sup> نظریه پایداری برای انواع سامانه‌های دینامیکی را مطرح کرد [۱۱]. در سال ۱۹۰۵ اینشتین<sup>۱۱</sup> حرکت براونی را که نوع ارتعاشات تصادفی است بررسی کرد اما تحقیقات وی نظری بود و کاربردی نداشت تا این‌که وینر<sup>۱۲</sup> در اوائل دهه ۱۹۳۰ با تعریف تابع چگالی طیفی دریچه جدیدی را برای پیشرفت نظریه ارتعاشات تصادفی گشود [۱۱]. بالاخره با توسعه کامپیوترهای پرسرعت، ریاضیدانان توانستند ارتعاشات سامانه‌های پیچیده مکانیکی، ساختمان‌ها و خودروها را که دارای هزاران درجه آزادی هستند، با دقت مطلوب مدل‌سازی و تحلیل کنند. شکل امروزی روش تفاضلات

یکی از مهم‌ترین مباحث در طراحی سازه‌های نظامی، رعایت اصول پدافند غیر عامل است. یکی از این اصول اصل اختفاء می‌باشد. در واقع هر چه سامانه و سازه مورد نظر دارای ارتعاش کمتری باشد، از دید دشمن مخفی تر است. اغلب وسایل نظامی به علت نقص در موتورهایشان، مشکل نویز حاصل از ارتعاشات را دارند؛ برای مثال یک موتور دیزل نامیزان، با ایجاد امواج قدرتمند در اطراف خود سرو صدای زیادی به وجود می‌آورد. چرخ‌های نامیزان برخی لوکوموتیوها در سرعت‌های زیاد ممکن است تا یک سانتی‌متر بلند شوند. در توربین‌ها ارتعاشات باعث شکست قطعات می‌شود [۱]. در سانتریفیوژها، قطعات مرتعش ممکن است بر اثر ارتعاشات تکراری دچار شکستگی شوند [۲]. این‌گونه ارتعاشات علاوه بر فرسودن یاتاقان‌ها، چرخ‌دنده‌ها، و شل کردن پیچ و مهره‌ها، صدای اضافی نیز ایجاد می‌کنند که باعث ناراحتی و افت کارایی نیروی کار انسانی می‌شود. ارتعاشات آنقدر دارای اهمیت است که گاهی ارتباط مستقیم با جان انسان‌ها پیدا می‌کند. برای مثال در سال ۱۹۴۰ نادیده گرفتن ارتعاشات باعث فرو ریختن پل تاکومانروز شد (شکل ۱).



شکل ۱- تخریب پل تاکومانروز در امریکا بر اثر وقوع پدیده تشدید در ارتعاشات [۱۲]

از دیگر مباحث جالب در ارتعاشات طراحی بالگردهای با کمترین صدای ممکن می‌باشد [۳]. از مشهورترین نوع سازه‌های نظامی بالگرد MS6<sup>۱</sup> است. نیروی دریایی ایالات متحده توسط این نوع بالگرد، سردار شهید نادر مهدوی را شناسایی و پس از اسارت، با فرو کردن میخ‌های فولادی در قفسه سینه‌اش به شهادت رساند؛ این نوع بالگردها بسیار کم صدا هستند و در صحنه درگیری نظامی زمانی می‌توان به وجود آنها پی برد که دیگر با اشرف کامل به بالای سر هدف خود رسیده باشند. همچنین در طراحی زیردریایی‌های نظامی، ارتعاشات و نویز تولید شده توسط موتور و بقیه اجزا دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای است؛ به طوری که عمده شناسایی زیردریایی‌ها توسط ارتعاشات پروانه موتور زیردریایی صورت می‌گیرد (شکل ۲). برخلاف ضررهای فوق، ارتعاشات کاربردهای مفیدی نیز دارند؛ برای نمونه از

2- Concerning Two New Sciences

3- Galileo Galilei (1564-1642)

4- Brook Taylor (1685-1731)

5- Daniel Bernoulli (1700-1782)

6- Leonhard Euler (1707-1783)

7- Joseph Louis Lagrange (1736-1813)

8- Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783)

9- Henri Poincaré (1854-1912)

10- Aleksandr Mikhailovich Lyapunov (1857-1918)

11- Albert Einstein (1879-1955)

12- Norbert Wiener (1894-1964)

1- MS6 Helicopter

متناهی<sup>۱</sup> را اولین بار ترنر و همکارانش در ارتباط با تحلیل ارتعاشات سازه‌های هواپیما به کار بردند [۱۲].

### تعریف ۱-۱- یک سامانه شامل اجزای

- (أ) ذخیره کننده انرژی پتانسیل: فنر یا یک جسم کشسان<sup>۲</sup> (جسمی که با اعمال نیرو قابلیت تغییر شکل را دارد؛  
 (ب) ذخیره کننده انرژی جنبشی: جرم یا اینرسی<sup>۳</sup>؛  
 (ت) مستهلک کننده انرژی: میران؛  
 را یک سامانه نوسانی (سامانه دارای ارتعاش) می‌نامند که دارای متغیرهایی وابسته به زمان است.

در اینجا منظور از اینرسی (لختی یا ماند) همان قانون اول نیوتن است که در ادامه بیان خواهد شد. در واقع تمایل اجسام به حفظ حالت قبلی را لختی گویند. توجه داریم که هنگام نوسان، انرژی پتانسیل سامانه به انرژی جنبشی سامانه تبدیل می‌شود و بر عکس. به عبارتی دیگر ارتعاش یک سامانه یعنی تبدیل متناوب انرژی پتانسیل سامانه به انرژی جنبشی و بر عکس. اگر یک سامانه دارای مستهلک کننده انرژی باشد، آنگاه در هر سیکل نوسان مقداری انرژی تلف می‌شود و اگر این انرژی از یک منبع خارجی جایگزین نگردد نوسانات پس از مدت زمانی معین بطور کامل مستهلک می‌شود. در اغلب سامانه‌های نوسانی، انرژی سامانه به تدریج به گرما یا صوت تبدیل می‌شود. اگرچه این مقدار اتلاف انرژی کوچک است اما در محاسبات دقیق آن را در نظر می‌گیرند.

### تعریف ۲-۱- اگر مقداری از انرژی در هر سیکل نوسان تلف

شود آنگاه سامانه را میرا می‌نامند و اگر انرژی اتلافی توسط یک منبع خارجی جبران شود آنگاه سامانه را پایا می‌نامند.

### تعریف ۳-۱- به کمترین تعداد جرم‌های مستقلی که برای

تحلیل سامانه به کار می‌رود درجه آزادی سامانه می‌گویند.

### تعریف ۴-۱- سامانه‌های با درجه آزادی محدود را سامانه

گسسته، یا سامانه با اجزای متمرکز می‌گویند؛ همچنین سامانه با درجه آزادی نامحدود را سامانه پیوسته یا سامانه توزیعی می‌گویند.

ارتعاشات یک پدیده دینامیکی است و بنابراین برای تحلیل ارتعاشات یک سامانه، ابتدا باید از سامانه فیزیکی، مدل ریاضی را تشکیل دهیم که نمایانگر سامانه مکانیکی حقیقی باشد. بدین ترتیب سامانه‌های ارتعاشی را می‌توان فرموله کرد. سپس معادلات دیفرانسیل معمولی یا جزئی را بدست آورده و حل نمود. در نهایت

سامانه مورد نظر را با مقادیر بدست آمده تفسیر می‌کنند. معمولاً سامانه‌های پیوسته را به صورت سامانه‌های گسسته تقریب می‌زنند. اگرچه بررسی یک سامانه پیوسته بدون اینکه به صورت یک سامانه گسسته در نظر گرفته شود نتایج دقیق می‌دهد، اما فقط برخی از این سامانه‌ها را می‌توان با روش‌های تحلیلی بررسی کرد. از این رو برای اغلب سامانه‌ها، مدل گسسته در نظر می‌گیرند. در واقع در مدل‌های گسسته که دارای درجه آزادی محدودی هستند به معادلات دیفرانسیل معمولی می‌رسیم و در مدل‌های پیوسته که دارای بی‌نهایت درجه آزادی هستند به معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی می‌رسیم [۱ و ۴].

به طور کلی روش تحلیل ارتعاشات یک سامانه شامل چهار مرحله می‌باشد [۱۵]:

- (أ) مدل‌سازی ریاضی  
 (ب) استخراج معادله‌های حرکت  
 (ت) حل معادلات حرکت  
 (ث) تفسیر نتایج

معمولاً کلیه مراحل تحلیل ارتعاشات توسط یک مهندس انجام می‌گیرد. در حالی که سه مرحله اول تحلیل ارتعاشات از حوزه‌های ریاضیات کاربردی است و می‌تواند توسط یک متخصص ریاضیات بیان گردد. برای استخراج معادلات حرکت عمدتاً از قانون دوم نیوتن و اصل پایستگی انرژی استفاده می‌شود که در ادامه تعاریف آنها می‌آید.

### تعریف ۳-۱- قوانین نیوتن به صورت زیر تعریف می‌شوند:

- [۱] قانون اول: اگر بر جسمی نیرو وارد نشود جسم یا ساکن می‌ماند و یا حرکت یکنواخت بر خط راست خواهد داشت.  
 [۲] قانون دوم: شتاب جسمی به جرم  $m$  که نیروی  $F$  بر آن وارد می‌شود هم جهت و متناسب با نیروی وارد بر آن است و با جرم جسم نسبت عکس دارد:  $a = \frac{F}{m}$ .  
 [۳] قانون سوم: هرگاه جسمی به جسمی دیگر نیرو وارد کند جسم دوم نیز نیرویی به همان بزرگی ولی در خلاف جهت بر جسم اول وارد می‌کند.

### تعریف ۳-۲- اصل پایستگی انرژی: مقدار انرژی در یک سامانه ثابت می‌ماند.

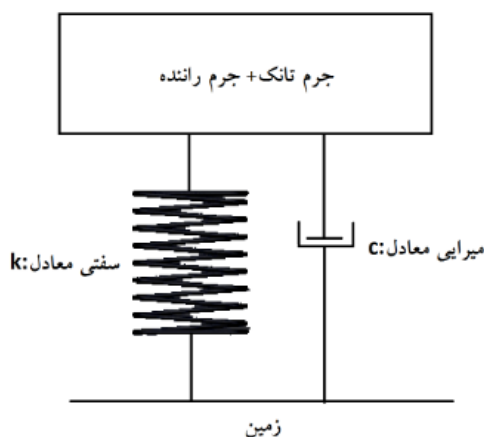
اکنون فرض کنید دو صفحه افقی موازی با فاصله  $h$  از یکدیگر داریم که یک سیال با چگالی  $\mu$  بین آنها ساکن است. صفحه پایینی ثابت و صفحه بالایی دارای با مساحت  $A$  است. صفحه بالایی را از

1 -Finite differences

2 -Elastic

3 -Inertia

دیفرانسیل مرتبه دوم با ضرایب ثابت تعریف می‌گردد. تعداد زیادی از مسائل و مفاهیم ارتعاشات را می‌توان به‌وسیله مدل‌هایی با یک درجه آزادی با دقت کافی مورد بررسی قرار داد. از آن جایی که تجزیه و تحلیل‌های سامانه‌های خطی آسان‌تر از سامانه‌های غیرخطی می‌باشد، لذا اغلب سامانه‌های مهندسی طوری طراحی شده‌اند که رفتار خطی داشته باشند، اگر چه این سامانه ممکن است ایده‌آل نباشد. برای نمایش یک سامانه مکانیکی، معمولاً از فنر استفاده می‌کنند. فنرها خود به دو صورت هستند: خطی و غیرخطی. در مدل‌سازی ریاضی فنرهای خطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. فنر خطی یک رابط مکانیکی است که معمولاً از جرم و میرایی آن صرف‌نظر می‌شود. با حرکت نسبی دو سر فنر، نیرویی در فنر به‌وجود می‌آید که با این تغییر مکان متناسب است یعنی  $F = kx$ . در این رابطه  $k$  را سفتی فنر یا ثابت فنر می‌نامند. در اغلب کاربردها از ترکیب چند فنر به‌صورت موازی یا سری استفاده می‌شود که ثابت فنر سامانه در حالت موازی برابر مجموع مستقیم ثابت فنرها و در حالت سری به‌صورت معکوس ثابت فنرها می‌باشد. برای نمونه برای مدل‌سازی ارتعاشات تانک، می‌توان به دو طریق عمل نمود. می‌توان سامانه با یک درجه آزادی (شکل ۳) و یا یک سامانه با درجه آزادی بیشتری در نظر گرفت [۱ و ۴].



شکل ۳- مدل‌سازی ساده با یک درجه آزادی تانک و راننده داخل آن

### ۳- استخراج معادله‌های حرکت

پس از تعیین مدل ریاضی، معادله‌های حرکت سامانه را به‌دست می‌آورند. برای این منظور نیروهای وارد بر تمام جرم‌های سامانه را رسم می‌کنند و سپس معادلات حرکت آنها را می‌نویسند. معادلات حرکت سامانه‌های نوسانی گسسته به‌صورت یک دسته از معادلات دیفرانسیل معمولی و برای سامانه‌های پیوسته به‌صورت معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی هستند. برای نوشتن معادلات حرکت از

روی سیال حرکت می‌دهیم طبق قانون ویسکوزیته نیوتن می‌توان نوشت:  $F = -c\dot{x}$  که در آن  $c = \frac{\mu A}{h}$  ثابت میرایی و  $F$  نیروی میران (که در خلاف جهت سرعت است) نامیده می‌شود.

در ادامه این مقاله به‌صورت زیرسازماندهی شده است: در بخش ۲ انواع مدل‌سازی ریاضی معرفی می‌شود. بخش ۳ به بررسی نحوه استخراج معادله‌های حرکت از یک مدل ریاضی خواهد پرداخت. روش‌های حل این دسته از معادلات در بخش ۴، بیان شده است. در بخش ۵ نیز نحوه تفسیر نتایج تشریح می‌شود. برای توصیف دقیق‌تر مباحث مطرح شده، یک نمونه مثال نیز در بخش نتیجه‌گیری آمده است.

### ۲- مدل‌سازی ریاضی

در مطالعه دینامیک سامانه‌های نظامی، ابتدا مدل ریاضی سامانه ارائه می‌شود تا خصوصیات دینامیکی آن تحلیل شود. مدل ریاضی یک سامانه دینامیکی مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل است که دینامیک سامانه را به‌طور دقیق و یا با تقریب بالا بیان می‌کند. باید توجه داشت که ارائه یک مدل ریاضی قابل قبول، قسمت مهمی از یک تجزیه و تحلیل کامل می‌باشد. در ارائه یک مدل، باید رابطه مشخصی بین سادگی سامانه و دقت نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آن برقرار نمود. اگر دقت بسیار بالا مورد نظر نباشد ارائه یک مدل ساده توصیه می‌شود و گرنه از مدلی که عمدتاً شامل معادلات دیفرانسیل جزئی غیر خطی است استفاده می‌شود. در حقیقت، تحلیلگر سامانه همیشه باید دنبال ارائه یک مدل ریاضی مناسب با توجه به شرایط موجود سامانه باشد. اما باید توجه کرد که نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل با توجه به دقت مدل ریاضی ارائه شده برای دینامیک سامانه، قابل اطمینان می‌باشند [۹].

رفتار دینامیکی سامانه‌ها را معمولاً با معادلات دیفرانسیل مدل می‌کنند. در این مرحله، تمام متغیرهای مهمی که برای استنتاج معادله‌های تحلیلی یک سامانه مورد نیازند، نمایش داده می‌شوند. مدل ریاضی باید سامانه را با تفصیلات کافی و به‌سهولت توصیف کند. مدل ریاضی ممکن است خطی یا غیر خطی باشد. در واقع معادله دیفرانسیل مدل‌های ریاضی به‌دست‌آمده خطی یا غیر خطی است. مدل ریاضی خطی منجر به یک معادله دیفرانسیل معمولی می‌شود. بنابراین مدل‌های خطی دارای راه‌حل‌های سریع و ساده می‌باشند و تحلیل آنها بسیار ساده می‌باشد. مدل‌های غیرخطی که منجر به معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی می‌شوند، مشخصه‌هایی از سامانه را نشان می‌دهند که با استفاده از مدل‌های خطی قابل پیش‌بینی نیستند. به عبارتی دیگر ساده‌ترین مدل، مدل ریاضی یک سامانه خطی با یک درجه آزادی است که به‌وسیله معادله

$$mr^2 e^n = -cre^n - ke^n \quad (2)$$

و یا معادله ساده شده رابطه (۳) را خواهیم داشت:

$$e^n (mr^2 + cr + k) = 0 \quad (3)$$

می‌ریسم. چون همواره  $e^n \neq 0$  پس  $mr^2 + cr + k = 0$  که از اینجا دو ریشه، مطابق رابطه (۴) به دست می‌آیند.

$$r_1 = -\frac{c}{2m} + \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}, \quad (4)$$

$$r_2 = -\frac{c}{2m} - \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}$$

بنابراین جواب عمومی معادله دیفرانسیل (۱) به شکل زیر به دست می‌آید:

$$x(t) = C_1 e^{\left(-\frac{c}{2m} + \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}\right)t} + C_2 e^{\left(-\frac{c}{2m} - \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}\right)t} \quad (5)$$

است. در اینجا  $C_1$  و  $C_2$  ثابت‌های مجهول هستند و از شرایط اولیه تعیین می‌شوند. از آنجایی که خوانندگان را، افرادی مسلط بر حل معادلات دیفرانسیل فرض می‌شوند لذا از توضیحات بیشتر خودداری می‌شود. برای جزئیات بیشتر [۹] را ببینید.

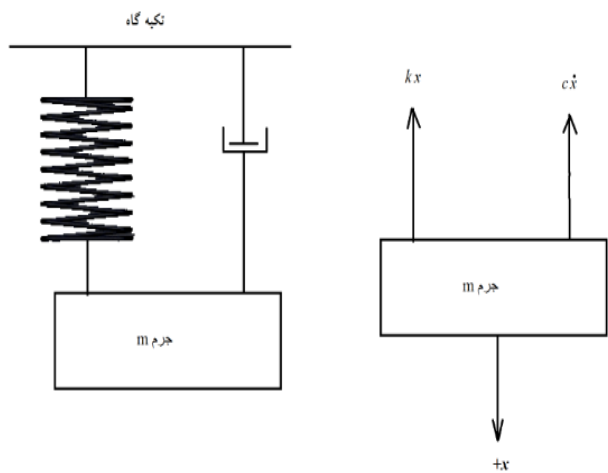
## ۵- تفسیر نتایج

شاید بتوان گفت که مهم‌ترین بخش در تحلیل ارتعاشات مکانیکی را تفسیر نتایج تشکیل می‌دهند. برای نمونه شکل ۵ را مشاهده می‌نمایید که در زیردریایی برای کنترل ارتعاشات یک سامانه در موتورخانه از تعدادی فنر در زیر سامانه مورد نظر استفاده شده است. برای این منظور، تحت شرایط فیزیکی زیردریایی و محیط دریا، مدل‌سازی و شبیه‌سازی معادلات حرکت انجام شده و نتایج حاصل تحلیل و تفسیر می‌شوند. به عبارتی دیگر با در نظر گرفتن تعدادی فنر (که این تعداد کاملاً به صورت تجربی و آزمایش و خطا است و ضابطه خاصی ندارد) در اطراف سامانه مورد نظر، معادلات دیفرانسیل حرکت سامانه (مطابق با آنچه در بخش ۳ بیان شد) را نوشته و این معادلات دیفرانسیل حرکت حل می‌شوند (به صورت تحلیلی یا عددی)، سپس از روی جواب به دست آمده (مشابه با جواب معادله دیفرانسیلی که در بخش ۴ حل شد)، تفسیر می‌شود که ارتعاش سامانه (با وضعیت موجود فنرها) چقدر است. در نهایت به کمک این نتایج، تصمیم‌گیری می‌شود که به چه میزان (وابسته به جواب

قوانین نیوتن، اصل پایستگی انرژی و غیره استفاده می‌کنند. برای مثال، مدل‌سازی شکل ۴ به صورت زیر خواهد بود:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -c \frac{dx}{dt} - kx \quad (1)$$

معادله (۱) یک معادله دیفرانسیل خطی مرتبه دوم با ضرایب ثابت و همگن می‌باشد. البته در مدل‌سازی‌های با چندین درجه آزادی به دستگاه معادلات دیفرانسیل معمولی یا جزئی می‌رسیم که حل آن دشوارتر و عمدتاً به صورت عددی خواهد بود.



شکل ۴- سامانه میرای با یک درجه آزادی

## ۴- حل معادلات حرکت

معادلات حرکت به صورت معادلات دیفرانسیل معمولی و یا معادلات دیفرانسیل جزئی خواهند بود. در حالت‌های پیچیده با دستگاه معادلات دیفرانسیل مواجه می‌شویم. برای حل معادلات دیفرانسیل از روش‌های تحلیلی و یا عددی بهره می‌گیرند. این معادلات دیفرانسیل با روش‌های گوناگونی مانند روش‌های تفاضلات متناهی، فوریه، کرانک- نیکلسون<sup>۱</sup>، گالرکین، رایلی- ریتس<sup>۲</sup>، عناصر متناهی، ضربی، تبدیل لاپلاس، دالامبر، موجک‌ها، منحنی‌های مشخصه، لاکس- وندروف<sup>۳</sup>، چند شبکه‌ای، تبدیل فوریه سینوسی سریع و غیره حل می‌شوند. برای مثال معادله دیفرانسیل (۱) که یک معادله دیفرانسیل مرتبه دوم خطی و همگن است را حل می‌کنیم. با فرض جوابی به فرم  $x(t) = e^{rt}$  و جانشین کردن آن در معادله دیفرانسیل (۱) معادله جبری ذکر شده در رابطه (۲) به دست می‌آید:

1 -Crank-Nicolson

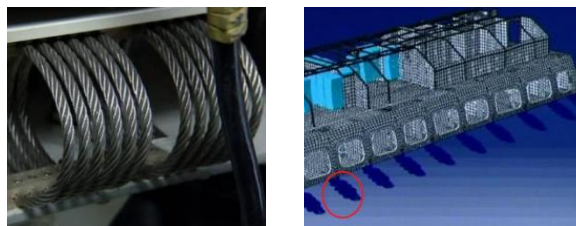
2 -Rayleigh-Ritz

3 -Lax-Wendroff

## ۷- مراجع

1. I. Cochlin, "Analysis and design of dynamic systems," Harper Collins Publishers, 1980.
2. Q. Mao, T. Yue, and D. Zuo, "Numerical Study on Dynamic Response of Pile Group Foundation of Geotechnical Centrifuge," in MATEC Web of Conferences, p. 04018, 2015.
3. C. Qi-you, D. Jing-hui, H. Jian-ping, L. Ai-min, and L. Ke, "Optimization selection approach for distribution of actuators in active vibration control of helicopter," in Control Conference (CCC), 2015 34th Chinese, pp. 3248-3251, 2015.
4. M. Pricop, V. Chitac, T. Pazara, and F. Gheorghe, "The Analysis of Ship's Hull Structure Using Vibration Measurements at Sea," Petroleum-Gas University of Ploiesti Bulletin, Technical Series, vol. 63, 2011.
5. F. Wang, Y. Xiong, and Z. Weng, "Neural Network Modeling of Submarine Shell," in Vibration Engineering and Technology of Machinery, ed: Springer, pp. 1055-1064, 2015.
6. F. Dunn, W. Hartmann, D. Campbell, N. Fletcher, and T. Rossing, "Springer handbook of acoustics," Springer, 2015.
7. S. Timoshenko, "History of Strength of Materials McGraw-Hill Book Company," Inc., New York/Toronto/London, 1953.
8. T. Rossing, "A Brief History of Acoustics," in Springer Handbook of Acoustics, ed: Springer, pp. 9-24, 2007.
9. R. E. Bishop and W. G. Price, "Hydroelasticity of ships," Cambridge University Press, 1979.
10. S. S. Rao and S. Rao, "Engineering optimization: theory and practice," John Wiley & Sons, 2009.
11. C. W. To, "Nonlinear random vibration: Analytical techniques and applications," CRC Press, 2011.
12. M. J. Turner, "Stiffness and deflection analysis of complex structures," J. Aeronautical Sci. 2012.
13. [https://en.wikipedia.org/wiki/Tacoma\\_Narrows\\_Bridge](https://en.wikipedia.org/wiki/Tacoma_Narrows_Bridge)
14. <http://www.dailymail.co.uk/news/article-3065973/Britain-s-Royal-Navy-just-one-nuclear-powered-submarine-active-patrol-five-service-repaired.html>
۱۵. محلوچی، هاشم، شبیه سازی سامانه های گسسته، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۶.

به دست آمده از معادلات دیفرانسیل حرکت) به تعداد فنرها افزوده شود تا سامانه مورد نظر کمترین ارتعاش و نویز ممکن را داشته باشد. در واقع این کار به صورت آزمایش و خطا آنقدر تکرار می شود تا یک درجه از مطلوبیت ارتعاش، حاصل شود. ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که نمی توان به هر تعداد دلخواه فنر به سامانه اضافه نمود زیرا وزن سازه را بالا می برد.



(ب)

(الف)

شکل ۵- الف) شبیه سازی کنترل ارتعاشات توسط فنر (ب) نمونه واقعی کنترل ارتعاشات یک سامانه در زیردریایی هسته ای انگلیس با نصب نوعی فنر در زیر پایه های آن [۱۴]

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله نشان داده شد که چگونه اصل اختفاء که یکی از پارامترهای مهم پدافند غیرعامل است را می توان برای بسیاری از سازه های نظامی همچون زیردریایی ها، تانک ها و بالگردها اجرا کرد. در واقع نشان داده شد که جهت رعایت اصل اختفاء می بایست سامانه مورد نظر به طور دقیق تفسیر شود. برای تفسیر دقیق سامانه نیز نیاز به مدل سازی با چندین درجه آزادی است که منجر به معادلات دیفرانسیل پیچیده ای می شود. همچنین معلوم گشت که چون حل این نوع معادلات برای مهندسیین طراح دشوار است لذا اغلب اوقات بسیاری از پارامترهای سامانه را در نظر نمی گیرند. بنابراین هنگامی که نگرانی راجع به حل معادله دیفرانسیل وجود نداشته باشد، بخش طراحی سامانه می تواند با دقت بسیار بالایی سامانه مورد نظر خود را طراحی می نماید. لکن در حال حاضر اکثر طراحی ها یا از روی آزمون و خطاست و یا رونوشت کارهای دیگران است که همراه با خطای زیادی است. درحالی که در برخی سازه های نظامی مانند زیردریایی ها ارتعاشات رکن اصلی در شناسایی زیردریایی به شمار می آید. در پایان جهت رفع این تهدید پیشنهاد می شود که شکاف موجود بین طراحی علمی و ایده آل با طراحی های موجود، توسط تیمی شامل مهندسیین و ریاضیدانان برطرف شود. زیرا وقتی نگرانی از بابت حل معادله دیفرانسیل وجود نداشته باشد، طراح کلیه پارامترهای سامانه را در نظر می گیرد و سامانه با نهایت دقت طراحی می شود. و در نتیجه یک سامانه با کمترین ارتعاش ممکن طراحی می گردد که تا حد کافی از دید دشمن پنهان خواهد ماند و قابل شناسایی نخواهد بود.



## The application of mechanical vibrations in the civil defense

A. Nakhaei Amroudi\*, A. Shojaei Fard, M. Ramshini

### Abstract

The concealment is one of the most important issues in the design of military structures. Therefore, the dynamic behavior of systems must be analyzed such that these systems must be hidden from the enemy in the field of war. Usually, the dynamic behavior of systems is modeled by differential equations, which is also one of the important branches of applied mathematics and it is updated continuously. The resulting differential equation is linear or nonlinear. The Linear mathematical model leads to the ordinary differential equations and has quick solutions and their analysis is very simple. The nonlinear models lead to the partial differential equations models, and show the characteristic of the system that is not predicted by linear models. For exact investigation of the behavior of a system, one can consider all the details of system and obtain complex differential equations. Then the concealment and retrofit of civil defense is satisfied using the interpretation of its solution. In this paper, the general structure of the modeling of vibrations systems is investigated and it is shown that what are the applications of vibrations in the military industries and how it can be used to proceed the civil defense purposes using real examples

**Key Words:** *spring, vibration, motion equations, mathematical modeling*

---

\* Imam Hussein Comprehensive University (amroodi8@yahoo.com) - Writer-in-Charge