



Civil and Project Journal
<http://www.cpjournals.com/>

Research Article

Investigating the effect of conventional damper types on building efficiency using decision_making mathematic

Siavash chaichi ^{1*}, Reza jamalpour²

*1 -masters student, karaj Islamic azad univercity, karaj, iran

2 -assistant professor of karaj Islamic azad univercity, karaj, iran

Received: 22 July 2025 Revised: 31 July 2025; Accepted: 02 September 2025 Published: 23 October 2025

Abstract

Construction management is an important branch of project management that deals with the planning, execution, and control of construction and civil engineering projects. Due to its complexities and challenges, this field requires special knowledge and skills that can help increase efficiency and reduce costs in construction projects. Construction management is the process of planning, coordinating, and controlling human, financial, and material resources in construction projects. The main goal of this management is to ensure that projects are completed on time, with the desired quality, and within the specified budget. Construction management is of great importance in the construction industry. Some of the reasons for this importance include

.Cost reduction: By properly managing resources and time, you can reduce additional costs and increase productivity

Quality improvement: Close monitoring of processes and implementation of standards increases the final quality of the project

Risk management: Identifying and assessing risks in the early stages of the project can prevent serious problems in the future

User satisfaction: Successful implementation of projects on time and with desired quality leads to increased customer satisfaction

One of the main challenges in the field of risk management is managing the risks arising from dynamic forces such as earthquakes, wind and other vibrations. Isolators are recognized as a key tool in reducing these risks and increasing the safety of structures. Isolators play a vital role in construction management and increasing the safety of structures. Given the existing challenges, the correct selection and design of isolators can be considered as an effective solution to combat natural hazards and improve the quality of life of residents. In other words, investing in isolation technologies can lead to a reduction in financial and human losses caused by natural disasters

Keywords: Construction management, Risk management, Isolator

Cite this article as Chaichi,S and Jamalpour,R . (2025). Investigating the effect of conventional damper types on building efficiency using decision_making mathematic. (e228255). Civil and Project, 7(8), e228255 doi:<https://doi.org/10.22034/cpj.2025.542776.1396>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2025 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: siavash_chaichi@yahoo.com



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

بررسی تأثیر انواع میراگرهای مرسوم بر روی کارایی ساختمان بارویکر استفاده از ریاضیات تصمیم گیری

سیاوش چایچی^{۱*}، رضا جمالپور^۲

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۲- استادیار دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

تاریخ دریافت: ۳۱ تیر ۱۴۰۴؛ تاریخ بازنگری: ۰۹ مرداد ۱۴۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۱ شهریور ۱۴۰۴؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ آبان ۱۴۰۴

چکیده

مدیریت ساخت یکی از شاخه‌های مهم مدیریت پروژه است که به برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل پروژه‌های ساختمانی و عمرانی می‌پردازد. این رشته به دلیل پیچیدگی‌ها و چالش‌های خاص خود، نیازمند دانش و مهارت‌های ویژه‌ای است که می‌تواند به افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها در پروژه‌های ساخت و ساز کمک کند. مدیریت ساخت به فرآیند برنامه‌ریزی، هماهنگی و کنترل منابع انسانی، مالی و مادی در پروژه‌های ساختمانی گفته می‌شود. هدف اصلی این مدیریت، اطمینان از این است که پروژه‌ها در زمان مقرر، با کیفیت مطلوب و در چارچوب بودجه مشخص شده به اتمام برسند. مدیریت ساخت دارای اهمیت بالایی در صنعت ساختمان است برخی از دلایل این اهمیت عبارتند از:

. کاهش هزینه‌ها: با مدیریت صحیح منابع و زمان، می‌توان هزینه‌های اضافی را کاهش داد و بهره‌وری را افزایش داد.

. بهبود کیفیت: نظارت دقیق بر فرآیند‌ها و اجرای استاندارد‌ها موجب افزایش کیفیت نهایی پروژه می‌شود.

. مدیریت ریسک: شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها در مراحل اولیه پروژه می‌تواند از بروز مشکلات جدی در آینده جلوگیری کند.

. رضایت بهره‌برداران: اجرای موفق پروژه‌ها در زمان مقرر و با کیفیت مطلوب منجر به افزایش رضایت مشتریان می‌شود.

یکی از چالش‌های اصلی در حوزه مدیریت ریسک، مدیریت خطرات ناشی از نیروهای دینامیکی مانند زلزله، باد و سایر ارتعاشات است. ایزولاتورها به عنوان ابزار کلیدی در کاهش این خطرات و افزایش ایمنی سازه‌ها شناخته می‌شوند. ایزولاتورها نقش حیاتی در مدیریت ساخت و افزایش ایمنی سازه‌ها دارند. با توجه به چالش‌های موجود، انتخاب و طراحی صحیح ایزولاتور می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای مقابله با خطرات طبیعی و ارتقاء کیفیت زندگی ساکنان محسوب شود. به بیان دیگر سرمایه‌گذاری در فناوری‌های ایزولاسیون می‌تواند به کاهش خسارات مالی و جانی ناشی از حوادث طبیعی منجر شود.

کلمات کلیدی: مدیریت ساخت، مدیریت ریسک، میراگرها، روش تحلیلی AHP

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: siavash_chaichi@yahoo.com

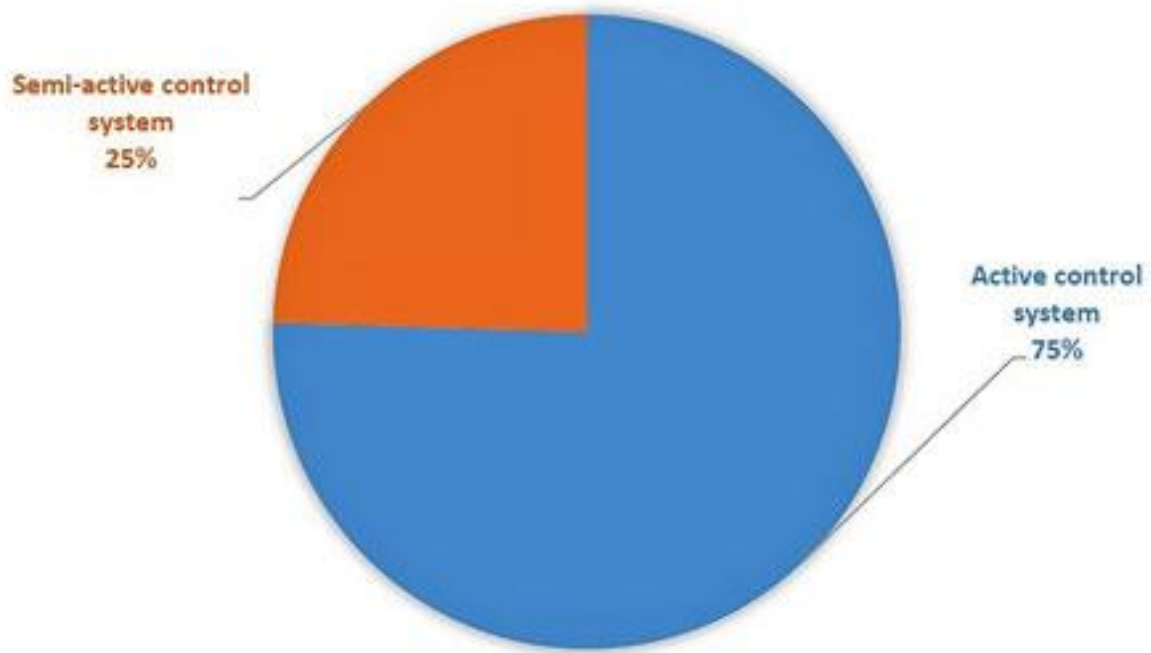
۱- مقدمه

توجه به امر مقاوم سازی ساختمان ها و بالابردن مقاومت سازه ها در برابر بارهای دینامیکی وارده به آن بسیار ضروری است. یکی از روش های مقاوم سازی سازه ها کاهش تحریک زلزله یعنی اتلاف انرژی ورودی به سازه می باشد که برای این منظور می توان از انواع میراگرها بسته به نوع محل و کاربرد استفاده نمود. بسیاری از کشورها استانداردهائی برای طراحی و ساخت ساختمان های مقاوم در برابر زلزله ایجاد کرده اند که استفاده از ایزولاتورهای لرزه ای را الزامی کرده است. این موضوع منجر به افزایش تعداد ساختمان هایی شده است که از این فناوری استفاده میکنند. تحقیقات نشان داده اند که استفاده از ایزولاتورهای لرزه ای می تواند به کاهش آسیب دیدگی سازه ها تا ۷۰ درصد در برابر زلزله های شدید کمک کند. این نتایج باعث افزایش تمایل مهندسان و معماران با استفاده از این فناوری شده است.

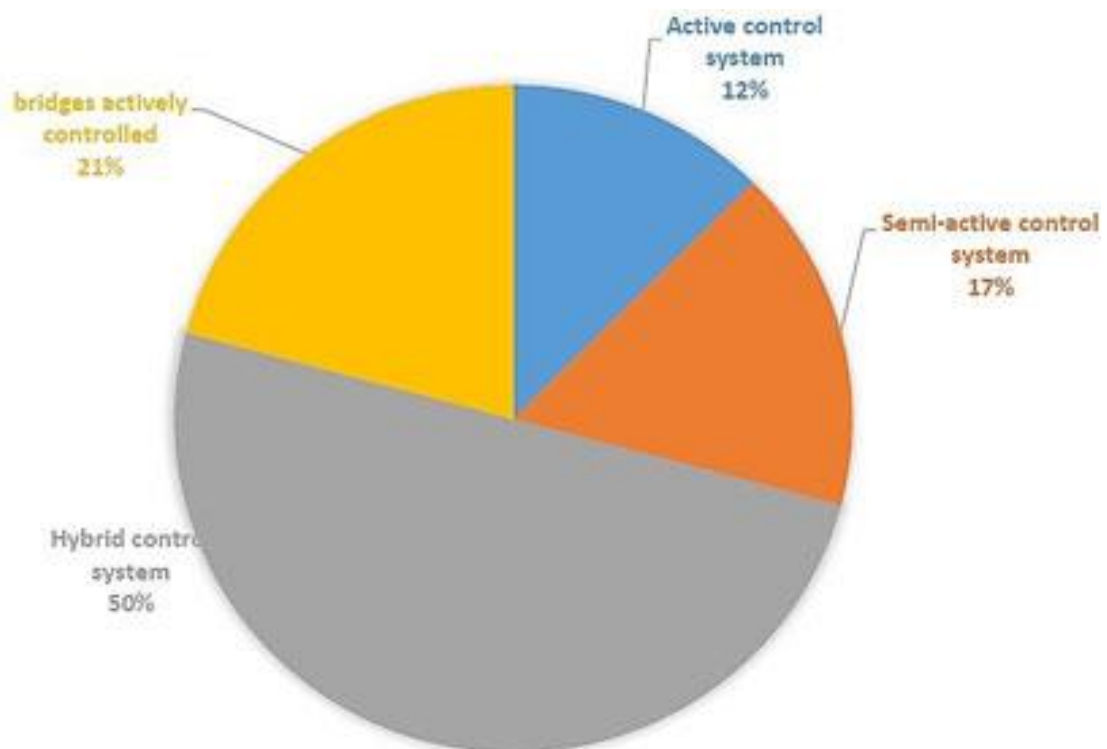
۲- پیشینه تحقیق

بنابه گزارش ایکدا در سال ۲۰۰۴، پیشرفت و توسعه در زمینه کنترل ارتعاشات فعال و نیمه فعال سازه ها را در ژاپن می توان به چهار مرحله تقسیم بندی نمود. در گام اول که تا اواخر دهه ۸۰ میلادی می باشد، مشخصات دینامیکی سیستم های کنترل فعال به طور تئوری و آزمایشگاهی از دیدگاه مهندسی شناخته شد. مرحله دوم در سال ۱۹۸۹ با اولین کاربرد دمپر فعال در ساختمان ها آغاز گردید. زلزله کوبه در سال ۱۹۹۵ کلید آغاز مرحله سوم در این زمینه بود؛ که قابلیت کنترل نیمه فعال سازه ها تحت زلزله های شدید را نشان داد. در نهایت گام چهارم با پایش سلامت سازه ها آغاز گردید. طبق گزارش ایکدا از سال ۱۹۸۹ تا سال ۲۰۰۴، ۵۳ پروژه کنترل شده توسط دمپر فعال و نیمه فعال در ژاپن ثبت گردیده است؛ که شامل ۴۰ پروژه کنترلی فعال و ۱۳ پروژه کنترلی نیمه فعال بوده است.

بار دیگر ایکدا در سال ۲۰۰۹ گزارش خود را به روزرسانی کرد. وی گزارش کرد که از سال ۱۹۸۹ تا سال ۲۰۰۷، ۵۳ پروژه از میراگر فعال و از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۰۶، ۱۷ پروژه از میراگر نیمه فعال برای کنترل لرزه ای سازه شان بهره جسته اند. اسپنسر و ناگراجیا در سال ۲۰۰۳ لیستی از پروژه هایی که در بازه سال های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲ از سیستم های کنترلی در ژاپن استفاده کرده اند تهیه کردند که در قالب نمودار قابل رویت می باشد.

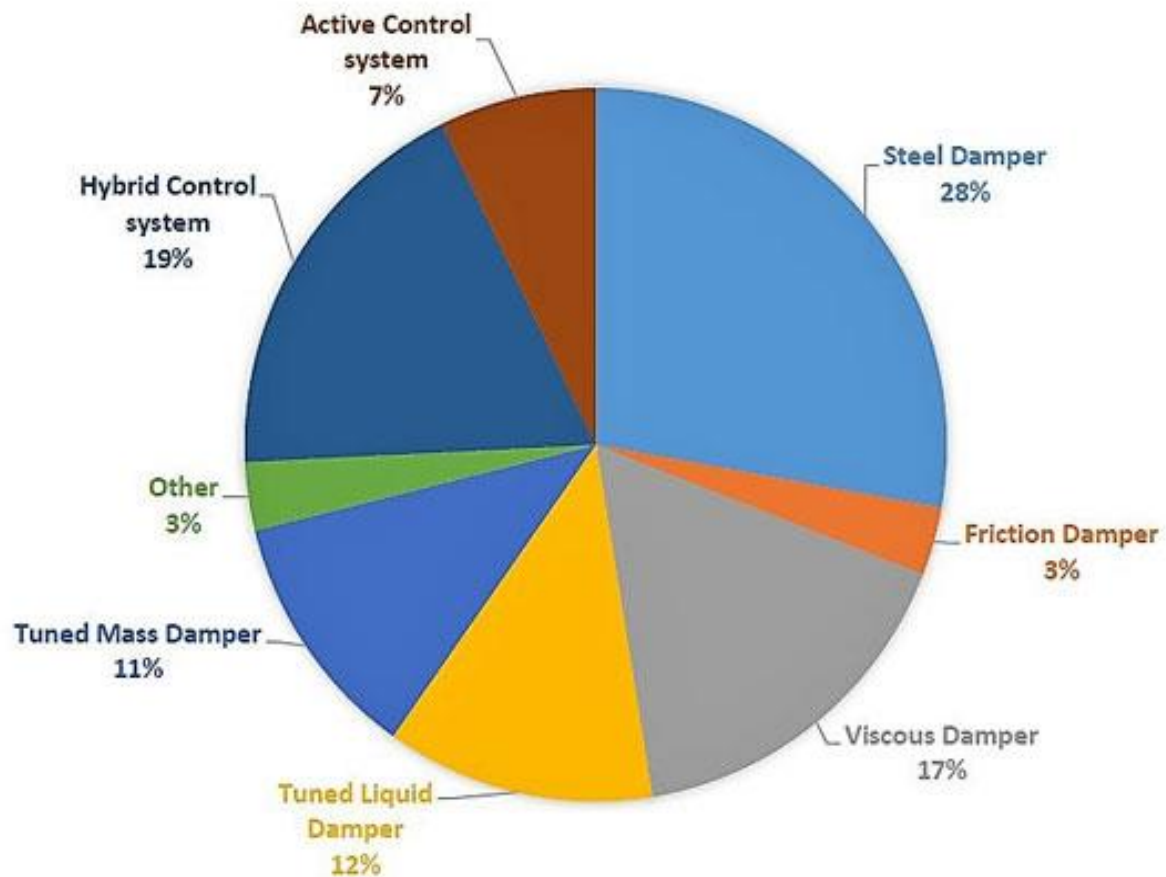


ایکادا در سال ۲۰۰۴



اسپنسر و ناگراجیا در سال ۲۰۰۳

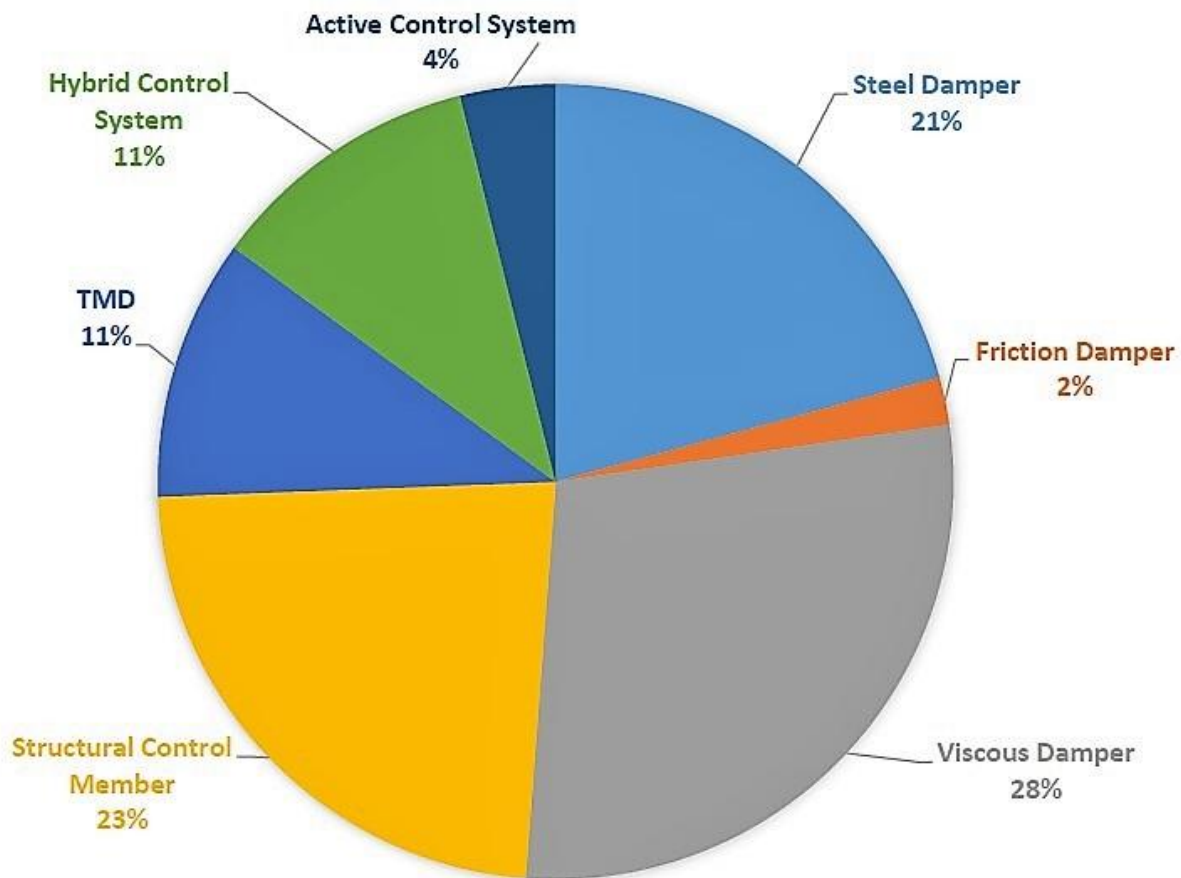
کریم و همکاران در سال ۱۹۹۹ گزارشی مبنی بر ارائه تعداد نصب میراگر های مختلف در خلال دهه ۹۰ میلادی در ژاپن منتشر کردند. گزارش آن‌ها نشان می‌داد که تا بدان سال ۲۸ درصد از سازه‌ها در ژاپن به میراگر فلزی مجهز شده‌اند. در ادامه میراگر های ترکیبی و میراگر ویسکوز به ترتیب با ۱۹ و ۱۷ درصد پراستفاده‌ترین میراگرها بوده‌اند. این در حالی بود که میراگر اصطکاکی، کم کاربرد ترین در میان میراگر ها بوده است.



کریم و همکاران در سال ۱۹۹۹

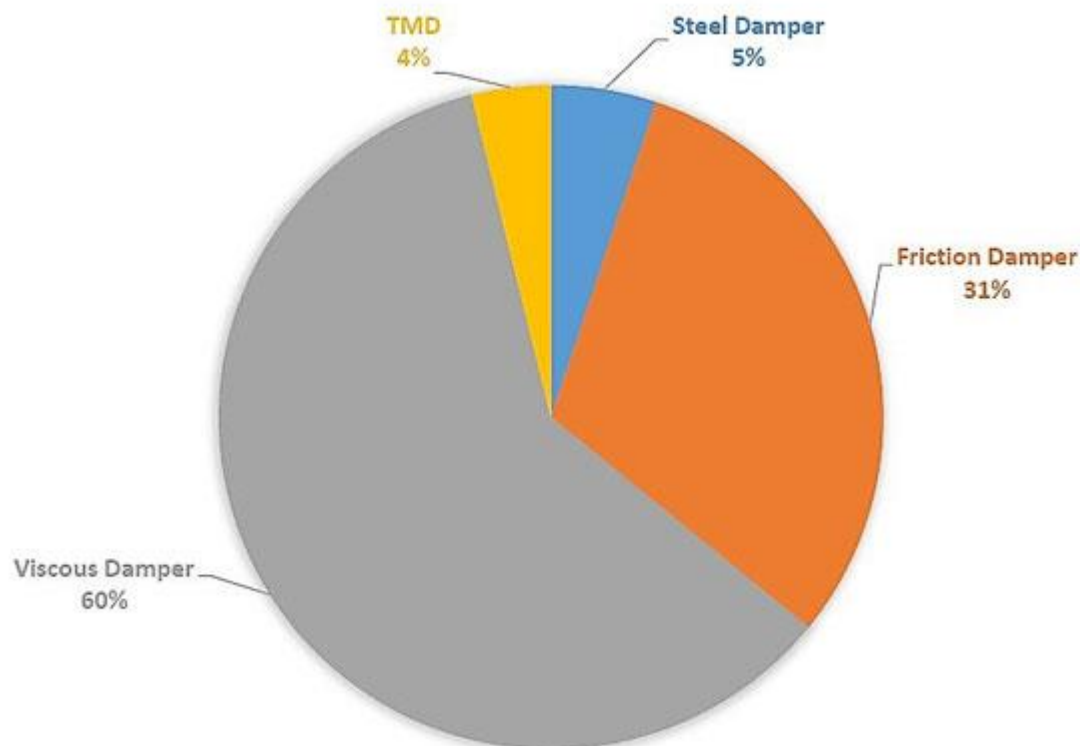
تراموتو در سال ۲۰۰۴ به بررسی ۲۰۷ سازه در ژاپن و تفکیک سیستم استفاده شده در آن‌ها پرداخت، که نتایج تحقیقات وی در قالب نمودار های زیر قابل رویت می‌باشد. نتایج بررسی های تراموتو نشان داد که در کشور ژاپن از سال ۱۹۹۹ برخلاف

آنچه که کریم و همکاران در سال ۱۹۹۹ گزارش کرده بودند استفاده از میراگر ویسکوز از میراگر فلزی پیشی گرفته و با ۲۸ درصد استفاده در سازه های مختلف بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است.



تراموتو در سال ۲۰۰۴

کنستانتینو و همکاران در سال ۱۹۹۸ جداولی از دمپر های غیرفعال استفاده شده در پروژه های مختلف در آمریکای شمالی تا بدان سال را گردآوری کردند. آن ها با گزارش خود نشان دادند که در آمریکای شمالی استفاده از میراگر ویسکوز با حضور شرکت های بزرگی چون Taylor devices، با ۶۰ درصد استفاده در سازه های مختلف بیشترین کاربرد را در میان سایر میراگر ها دارد. استفاده از میراگر اصطکاکی نیز با حضور شرکت های بزرگی نظیر Pall dynamics و با سهم ۳۱ درصدی خود پس از میراگر ویسکوز محبوب ترین دمپر می باشد. در آمریکای شمالی برخلاف کشور ژاپن که تا سال ۱۹۹۹ در آنجا نیز میراگر فلزی از محبوبیت بالایی برخوردار بودند، سهم میراگر فلزی تنها ۳ درصد می باشد.



کنسالتینو و همکاران در سال ۱۹۹۸

به طور کلی، آمار استفاده از ایزولاتورهای لرزه‌ای در ساختمان‌ها به ویژه در مناطق زلزله‌خیز، به طور پیوسته در حال افزایش است، با توجه به پیشرفت‌های فناوری و افزایش آگاهی عمومی درباره خطرات زلزله، انتظار می‌رود که این روند ادامه یابد.

۳- مفهوم و انواع ایزولاتور

ایزولاتور به تجهیزاتی گفته می‌شود که برای جداسازی سازه‌ها از نیروهای خارجی طراحی شده‌اند. این تجهیزات می‌توانند از مواد مختلفی مانند لاستیک، فلز یا ترکیبات هیدرولیکی ساخته شوند و به طور خاص برای کاهش ارتعاشات و نیروهای وارد بر سازه‌ها عمل کنند.

میراگرها انواع زیادی دارند که پرکاربردترین آن‌ها شامل میراگر اصطکاکی، میراگر ویسکوز و مهاربندکمانش تاب می‌شود. تجهیزات دمپر را می‌توان از جنبه‌های گوناگونی دسته‌بندی کرد. به عنوان مثال وابستگی رفتاری به سرعت یا جابجایی خود می‌تواند معیاری کاربردی در دسته‌بندی سیستم‌های میراگر باشد. از این منظر انواع دمپرهای فلزی - تسلیمی شامل مهاربند کمانش تاب، میراگر سربی - تزریقی (LED)، میراگر سربی - تسلیمی PVD و میراگر ADAS و TADAS و میراگر اصطکاکی، از جمله میراگرهایی با رفتار میرایی وابسته به جابجایی و مستقل از سرعت می‌باشند. در واقع در این دسته از سیستم‌های میراگر، سرعت ورودی در محل اتصال دو سر میراگر بر اندازه نیرو و میزان استهلاک انرژی زلزله تأثیری نداشته یا تأثیرش قابل چشم‌پوشی است. این امر در بسیاری از موارد می‌تواند مفید واقع شود. برای مثال می‌توان با استفاده از میراگر اصطکاکی و با در نظر داشتن این خصیصه، به راحتی نیروی ورودی زلزله را محدود کرد و اصطلاحاً فیوز اصطکاکی ایجاد کرد. انواع میراگرهایی که در آن‌ها از رفتار سیال ویسکوز برای استهلاک انرژی استفاده می‌شود، رفتاری وابسته به سرعت داشته و این امر می‌تواند در کاهش موثرتر شتاب ورودی به طبقات و کنترل جابجایی در زلزله‌های حوزه نزدیک، در طرحی مناسب مفید واقع شود.

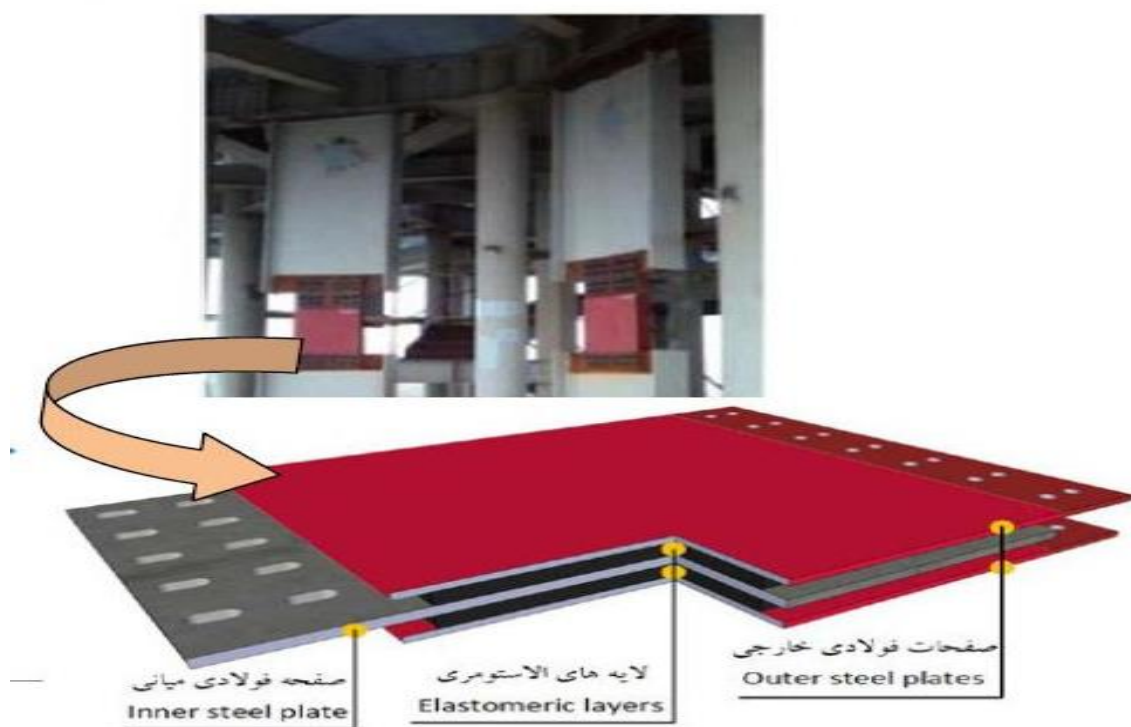
ایزولاتورهای الاستیک: این نوع ایزولاتورها با استفاده از خواص الاستیکی مواد، ارتعاشات را جذب می‌کنند. این ایزولاتورها معمولاً در ساختمان‌های مسکونی و تجاری استفاده می‌شوند.

ایزولاتورهای لرزه‌ای: این ایزولاتورها به طور خاص برای مقابله با زلزله طراحی شده‌اند و می‌توانند نیروهای شدید را کاهش دهند. این نوع ایزولاتورها معمولاً در مناطق زلزله خیز نصب می‌شوند.

ایزولاتورهای هیدرولیکی: این ایزولاتورها از مایعات برای جذب و کاهش نیروها استفاده می‌کنند و معمولاً در سازه‌های بزرگ و حساس به ارتعاشات مانند پل‌ها و سدها به کار می‌روند.

میراگر ویسکوالاستیک:

این میراگرها بر اساس مکانیزم تغییر شکل‌های برشی ویسکوالاستیک (ترکیب دو رفتار ویسکوز و الاستیک و به معنای رابطه بین تنش و کرنش وابسته به زمان و برگشت‌پذیر به وضعیت اولیه در صورت باربرداری) در بعضی از مواد مانند پلیمرها در بازه بزرگی از دما عمل می‌کنند. خصوصیات این میراگرها به حرارت و فرکانس بارگذاری بستگی دارد. ضریب میرایی ماده ویسکوالاستیک به ابعاد ماده ویسکوالاستیک، مدول اتلاف و فرکانس بارگذاری وابسته است.



شکل ۱ میراگر ویسکو پلاستیک و اجزای آن

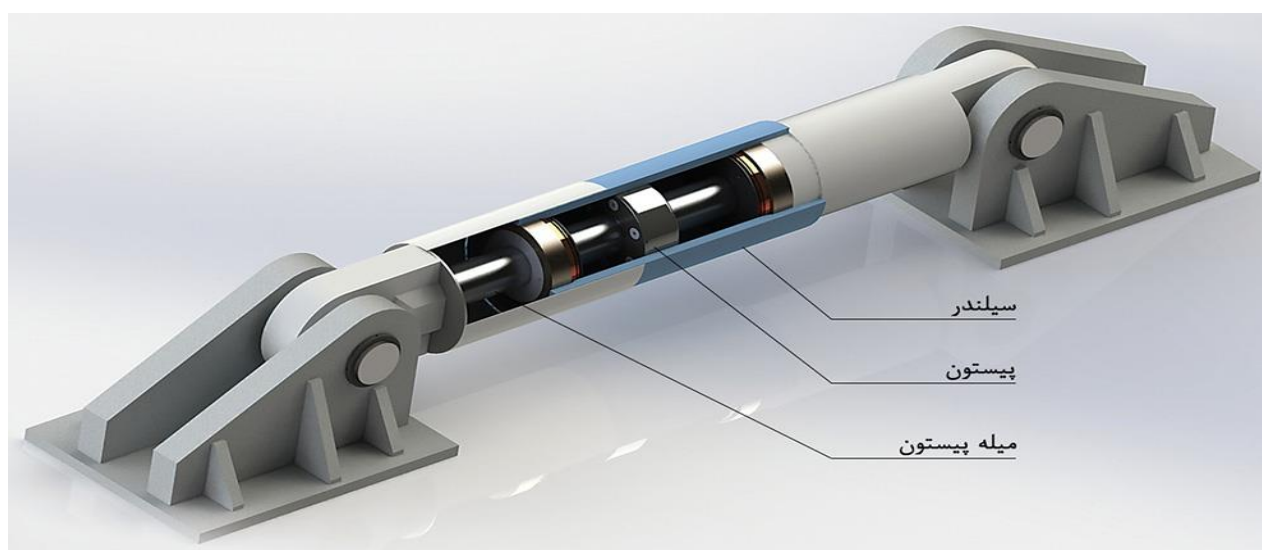
میراگر ویسکوز چیست؟

سیستم های میراگر ویسکوز مایع (Viscous Fluid Damper) یا همان دمپر ویسکوز، تجهیزاتی هیدرولیکی هستند که جهت استهلاک انرژی جنبشی ناشی از ارتعاشات لرزه ای یا مقابله با ضربات بین سازه ها، به کار می روند. این تجهیزات

متنوع اند و می توانند به گونه ای طراحی شوند که بار مورد نظر (مثلاً بار زلزله و باد) را مستهلک نموده، ولی در برابر باقی شرایط مانند حرکات ناشی از حرارت، اجازه ی حرکت آزادانه را به سازه بدهند.

میراگر ویسکوز مایع شامل سیلندر روغن، مایع ویسکوز، پیستون، میله پیستون، پوشش محافظ داخلی و سایر بخش های اصلی است. پیستون باید حرکتی متقابل را در سیلندر روغن ایجاد نماید. پیستون محاط در ساختار میراگر بوده و سیلندر روغن پر از مایع میراکننده است.

ورود میراگر ویسکوز به صنعت ساختمان با انجام آزمایشاتی در دانشگاه بوفالو آغاز شد. در واقع می توان با استفاده از سیالات به شکل مؤثری برای دستیابی به سطح مطلوب کنترل ارتعاشات دست یافت. تلاش های اصلی برای توسعه میراگرهای ویسکوز جهت مصارف سازه ای در طی سال های گذشته، با بهره گیری از تجارب صنایع سنگین و نظامی صورت گرفت. یک روش طراحی سهل الوصول بر اساس الگوی پیستون کلاسیک می باشد. در این مورد استهلاک انرژی با تبدیل انرژی مکانیکی به حرارت، از طریق ایجاد تغییر شکل در یک ماده ضخیم و بسیار لزج به واسطه یک پیستون، به انجام می رسد.



شکل ۲ میراگر ویسکوز و اجزای آن

دمپر ویسکوز چگونه عمل می کند؟

وقتی سازه با محرکی خارجی (مانند ارتعاش باد و زلزله) مواجه شود، دچار تغییر شکل شده و دمپر (میراگر) را به حرکت وامی دارد. در این حالت در بین دو سر پیستون در دمپر، اختلاف فشار ایجاد می شود. در این شرایط مایع ویسکوز میان پیستون و محفظه دمپر ویسکوز حرکت کرده و به واسطه لزجت خود، موجب میرایی و تبدیل انرژی مکانیکی به حرارتی (استهلاک انرژی) می شود. این امر موجب کاهش ارتعاشات در سازه می شود. در واقع وقتی دو سر دمپر با سرعت نسبت به هم از یکدیگر دور یا به هم نزدیک شوند، پیستون مرکزی بین یک محفظه پر شده از سیال سیلیکونی حرکت می کند. با حرکت پیستون، سیال برای ثابت ماندن حجم در دو طرف پیستون مجبور است از روزنه هایی که در اطراف و مرکز پیستون تعبیه شده است، عبور کند. به دلیل ریز بودن روزنه های پیستون سرعت سیال در سمت خروجی بسیار زیاد است. بنابراین تقریباً تمام فشار بالادستی به انرژی جنبشی تبدیل می شود.

میراگر ویسکوز مایع در کجا قابل استفاده است؟

میراگر ویسکوز مایع، امروزه به شکل گسترده ای در مهندسی سازه به عنوان راه حلی بسیار مؤثر در استهلاک انرژی، به کار می رود:

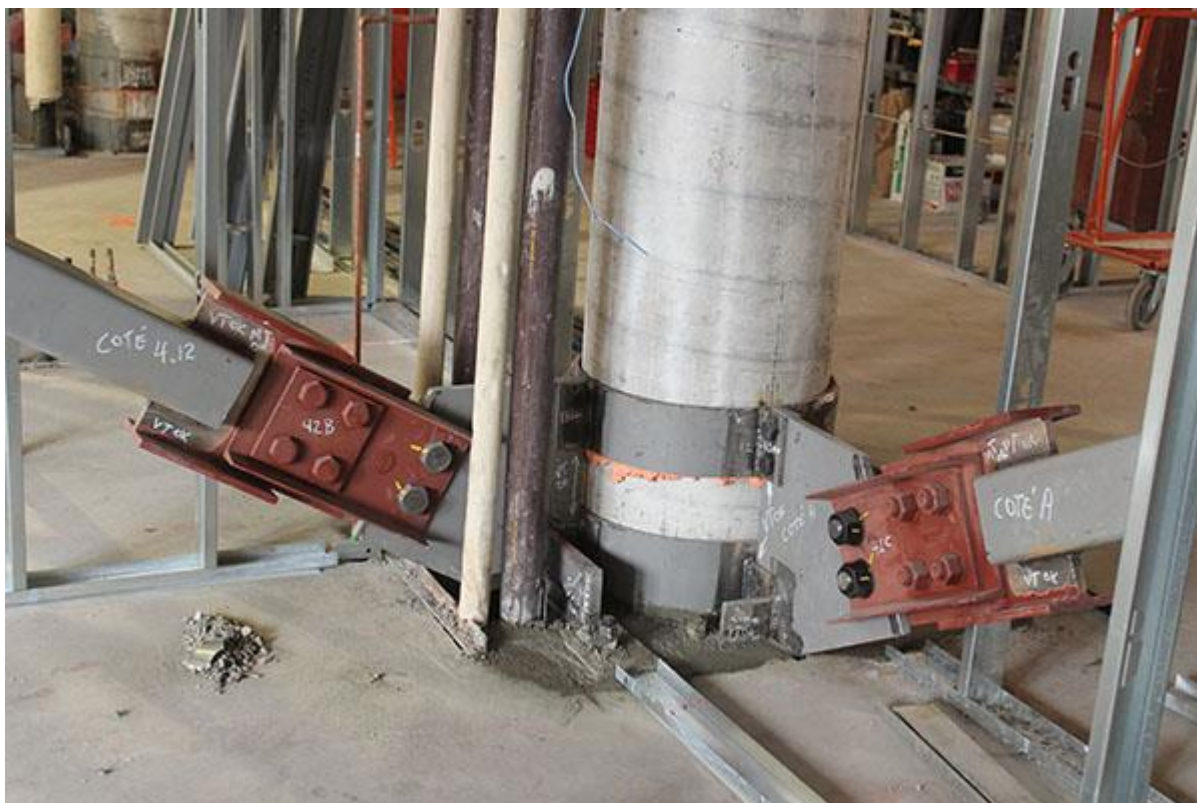
- ساختمان های مسکونی، اداری، مجتمع های بزرگ تجاری و ساختمان های بلندمرتبه و با دهانه های بزرگ.
- مراکز مدیریت بحران مانند بیمارستان ها، مدارس، ساختمان های مهم دولتی، مراکز آتشنشانی، ساختمان های نظامی و انتظامی و ...
- مصارف صنعتی مانند استفاده در سازه ی کارخانه ها، تجهیزات صنعتی و ...
- پل های راه و راه آهن.
- مصارف نظامی.
- نیروگاه ها، پتروشیمی و ...



شکل ۳ استفاده از میراگر ویسکوز در یک ساختمان

معرفی میراگر اصطکاکی:

دمپر اصطکاکی بدون استفاده از تغییر شکل های دائمی، سازه را در برابر زلزله محافظت می کند. با استفاده از این فناوری که موجب پرهیز از خسارات سازه ای می شود، می توان خدمت رسانی ساختمان ها را در حین و بعد از زلزله حفظ و از ساکنین، خدمات و سرمایه های آن، حفاظت نمود.



شکل ۴ میراگر اصطکاکی

مزایای استفاده از میراگر اصطکاکی در ساخت و ساز جدید:

در سازه های جدید، مهندسين و معمارانی که این ضربه گیرها (دمپر) را به کار می برند، می توانند به این وسیله در زیبایی ظاهری ساختمان خلاقیت و نوآوری کرده و آن را افزایش دهند، در عین اینکه مشتریان و کارفرمایانشان را از مزیت هایی نظیر صرفه جویی در مصالح ساختمانی و ایمنی حداکثر، بهره مند می کنند.

۲ الی ۵ درصد کاهش در هزینه کل پروژه (با در نظر گرفتن هزینه نصب میراگرها)، در مقایسه با سازه هایی که استهلاک انرژی را با تغییر شکل پذیری المان های سازه ای انجام می دهند.

عدم نیاز به نگهداری، به این معنی که میراگر اصطکاکی می تواند کاملاً در دیوارها قرار گرفته و هزینه ای از بابت عملیات نگهداری، اضافه نشود.

مزایای استفاده از میراگر اصطکاکی در پروژه های مقاوم سازی:

در سازه های موجود که نیاز است مطابق با آیین نامه های جدید و پراکاردتر ارتقاء یابند، میراگر اصطکاکی گزینه ایده آلی می باشد. دلیل آن نیاز بسیار کم به توقف خدمت رسانی ساختمان و حداقل تغییر در اجزای موجود سازه ای است.

۳۰ الی ۶۰ درصد کاهش هزینه پروژه در مقایسه با سایر گزینه ها

عدم نیاز به نگهداری، به این معنی که میراگرها می توانند کاملاً در دیوارها قرار بگیرند و هزینه ای از بابت عملیات نگهداری، اضافه نشود.

سازگاری با تمامی سیستم های سازه ای نظیر دیوارهای برشی، قاب های خمشی، سازه های بنایی و غیره.

با قابلیت استفاده در ساختمان های فولادی، بتنی یا چوبی.

به واسطه سهولت و سرعت نصب، اخلاص در عملکرد سازه را در حین مقاوم سازی به حداقل می رساند.

میراگر جرمی تنظیم شونده (TMD):

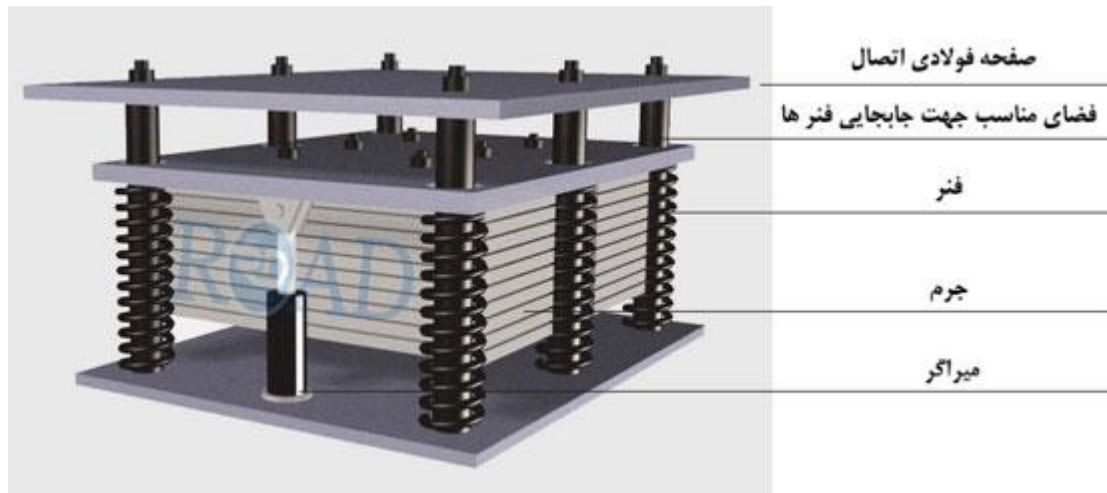
میراگر جرمی تنظیم شونده (Tuned Mass Damper یا به اختصار TMD) که از آن به عنوان جاذب انرژی نیز یاد می شود، سیستمی کنترلی می باشد که از آن به جهت کنترل ارتعاش های سازه، زمانی که سازه تحت بار جانبی دینامیکی نظیر بار زلزله یا بار باد قرار می گیرد، استفاده می شود. این میراگرها دارای جرمی در حدود ۱ الی ۵ درصد وزن کل سازه بوده، که به وسیله یک فنر و کمک فنر در محلی از سازه، که معمولاً دارای بیشترین تغییر مکان می باشد (نظیر بام سازه)، قرار می گیرند. با استفاده از میراگر جرمی تنظیم شونده می توان آسایش کاربران را در برابر ارتعاشات لرزه ای تامین و از خسارات یا گسیختگی سازه ای جلوگیری نمود. از میراگر جرمی تنظیم شونده اغلب در ساختمان ها، سازه های بلند، پل ها، تأسیسات انتقال قدرت و... استفاده می شود. میراگر جرمی تنظیم شونده را اغلب روی فرکانس اصلی ارتعاش سازه تنظیم می کنند. هنگامی که این فرکانس تحریک می شود، میراگر جرمی تنظیم شونده با حرکت غیر هم فاز خود نسبت به حرکت سازه، انرژی ورودی را جذب و میرا می کند.



شکل ۵ میراگر جرمی تنظیم شونده

انواع میراگر جرمی تنظیم شونده و اجزاء تشکیل دهنده آن:

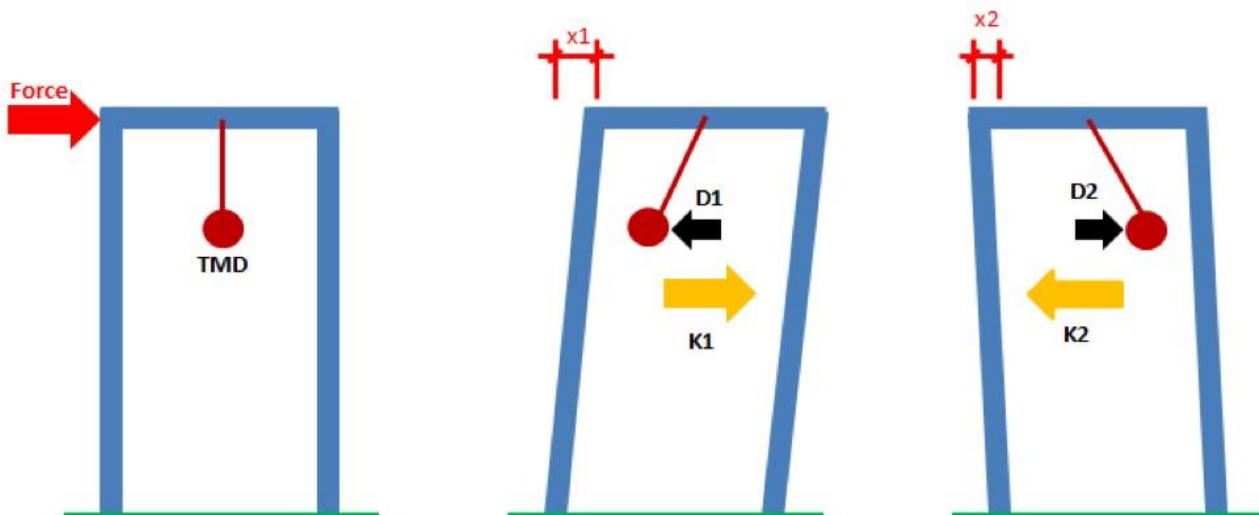
میراگر جرمی به سه دسته کلی میراگر جرمی تنظیم شونده انتقالی افقی، قائم و پاندولی تقسیم بندی می شود. این میراگر حاصل ترکیب سه سیستم جرم، فنر و میراگر می باشد. برای طراحی میراگر جرمی تنظیم شونده بایستی سختی و جرم میراگر جرمی تنظیم شونده به گونه ای انتخاب شود که فرکانس نزدیکی به فرکانس سازه داشته باشد. میرایی این سیستم بایستی به گونه ای انتخاب گردد که استهلاک انرژی در بازه مؤثری از فرکانس های ارتعاشی میراگر جرمی تنظیم شونده، بهینه گردد. جرم میراگر جرمی تنظیم شونده نیز برای تأمین میزان مطلوبی از کنترل ارتعاش انتخاب می گردد، که جرمی معادل ۱ الی ۵ درصد جرم سازه انتخاب می گردد. تصاویر زیر اجزاء تشکیل دهنده میراگر جرمی تنظیم شونده را نشان می دهد:



شکل ۶ اجزای میراگر جرمی تنظیم شونده

عملکرد ساختمان مجهز به میراگر جرمی تنظیم شونده:

هدف اصلی استفاده از **TMD** این می باشد که به عنوان یک عامل مقابله کننده وارد عمل شود و انرژی جنبشی که در حین تحریک ساختمان ایجاد شده ($K1, K2, \dots$) را جذب و مستهلک نماید. هنگامی که ساختمان شروع به نوسان می نماید، در نتیجه ی تولید انرژی جنبشی ($K1$)، میراگر جرمی تنظیم شونده به وسیله ساختار فنر یا حرکت آونگی خود با ایجاد نیروی ($D1$) در خلاف جهت حرکت سازه، ساختمان را وادار به حرکت در جهت مخالف با حرکت اولیه خود می کند. دقیقاً همین سناریو زمانی که سازه در جهت مخالف یعنی ($X2$) شروع به حرکت می کند اتفاق می افتد. برای مقایسه مقدار ($X1$) و ($X2$) در دو حالت بدون میراگر جرمی تنظیم شونده و به همراه آن می توانید نمودار مقابل را بررسی کنید. این نتیجه حاصل از نیروی مقابله کننده **TMD** می باشد که هر وقت سازه به هر سمتی شروع به حرکت نماید در جهت مخالف آن وارد عمل می شود. وقوع این سناریو منجر به کاهش زمان ارتعاش سازه و در واقع کاهش زمان تناوب ارتعاش سازه می گردد و این دقیقاً همان چیزی است که مهندسان سازه و زلزله به دنبال آن هستند.



شکل ۷ نحوه عملکرد میراگر جرمی تنظیم شونده

کاربرد میراگر جرمی تنظیم شونده در کنترل ارتعاش سازه های مختلف:

TMD مناسب ساختمان هایی است که دهانه های بلند و قوسی شکل دارند یا سازه هایی که در معرض پدیده هایی چون زلزله و باد هستند. میراگر جرمی تنظیم شونده بطور قابل توجهی ارتعاشات ناشی از عوامل محرکه نظیر باد و زلزله را کاهش داده و کنترل می نماید. TMD به طور گسترده ای در حوزه های ذیل مورد استفاده واقع می شود:

۱. ساختمان های بلند مرتبه و قوسی شکل، پایه پل ها، دودکش ها، برج های تلویزیونی و سایر سازه هایی که در معرض باد و زلزله قرار دارند و تحریک می شوند.
۲. پلکان ها، پل های عابر پیاده، تالار های کنفرانس و سایر سازه هایی که با حرکت انسان ها بر روی آن ها تحریک می گردند.
۳. مراکز صنعتی و سازه های فولادی و اماکنی که توسط فرکانس طبیعی ارتعاش ماشین آلات داخل آن تحریک می گردند.



شکل ۸ نمونه یک میراگر جرمی تنظیم شونده

ایزولاتورها به عنوان یکی از فناوری های مهم در مهندسی زلزله و مدیریت ساخت، نقش حیاتی در بهبود ایمنی و کارایی سازه ها ایفا می کنند. این ابزارها به ویژه در مناطق زلزله خیز، برای کاهش اثرات لرزه ای بر سازه ها و افزایش مقاومت آن ها مورد استفاده قرار می گیرند. در ادامه به بررسی اهمیت استفاده از ایزولاتورها در مدیریت ساخت پرداخته می شود.

۱- کاهش آسیب ناشی از زلزله: ایزولاتورها به گونه ای طراحی شده اند که انرژی لرزه ای را از زمین به سازه منتقل نمی کنند. این ویژگی باعث می شود که در هنگام وقوع زلزله، حرکت زمین به حداقل ممکن در سازه منتقل شود و خطر آسیب به ساختمان و ساکنان آن کاهش یابد.

۲- افزایش عمر مفید سازه: با کاهش تنش های وارد بر سازه، ایزولاتورها به افزایش عمر مفید ساختمان کمک می کنند. این موضوع به ویژه در سازه های بزرگ و مهم، مانند بیمارستان ها و مراکز داده، که نیاز به عملکرد پایدار در شرایط بحرانی دارند، اهمیت بیشتری پیدا می کند.

۳- افزایش ایمنی سازه: ایزولاتورها با کاهش اثرات زلزله و دیگر نیروهای دینامیکی، می توانند به طور قابل توجهی ایمنی سازه ها را افزایش دهند. این امر به ویژه در مناطق زلزله خیز اهمیت دارد.

۴- کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری: استفاده از ایزولاتورها می تواند هزینه های تعمیر و نگهداری سازه ها را کاهش دهد. با کاهش آسیب های ناشی از زلزله، نیاز به تعمیرات گسترده پس از وقوع زلزله کمتر می شود و این موضوع به صرفه جویی در هزینه ها کمک می کند. این موضوع باعث صرفه جویی در عامل زمان نیز می شود.

۵- بهبود عملکرد سازه در برابر بارهای دینامیکی: ایزولاتورها نه تنها در برابر زلزله بلکه در برابر سایر بارهای دینامیکی مانند باد و ترافیک نیز عملکرد خوبی دارند. این ویژگی موجب افزایش پایداری و ایمنی سازه در برابر انواع بارها می شود.

۶- طراحی انعطاف پذیرتر: استفاده از ایزولاتورها به مهندسان این امکان را می دهد که طراحی های انعطاف پذیرتری داشته باشند. این موضوع باعث می شود که امکان استفاده از مواد و روش های جدید در ساخت و ساز فراهم شود و طراحی های نوآورانه تری ارائه گردد.

۷- افزایش رضایت ساکنان و کاربران و بهبود کیفیت زندگی: سازه هایی که با استفاده از ایزولاتورها ساخته شده اند، معمولاً "دارای عملکرد بهتری هستند و احساس امنیت بیشتری را برای ساکنان ایجاد می کنند. این موضوع می تواند منجر به افزایش رضایت ساکنان و کاربران شود. به بیان دیگر با کاهش ارتعاشات و ایجاد محیطی امن تر، کیفیت زندگی ساکنان افزایش می یابد. این موضوع به ویژه در ساختمان های مسکونی اهمیت دارد.

۸- پاسخ گویی به الزامات قانونی و استانداردها: بسیاری از کشورها و مناطق الزامات خاصی در مورد طراحی سازه ها در برابر زلزله دارند. استفاده از ایزولاتورها می تواند به طراحان کمک کند تا به این الزامات پاسخ دهند.

استفاده از ایزولاتورها در مدیریت ساخت نه تنها به افزایش ایمنی سازه ها کمک می کند، بلکه می تواند تأثیرات مثبت زیادی بر روی هزینه ها، عمر مفید سازه و رضایت ساکنان داشته باشد. با توجه به اهمیت این ابزارها، سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه فناوری های مرتبط با ایزولاتورها می تواند بهبود قابل توجهی در صنعت ساخت و ساز ایجاد کند.

آمار استفاده از ایزولاتورها:

آمار دقیق استفاده از ایزولاتورها در مدیریت ساخت ممکن است بسته به منطقه جغرافیایی و آمار دقیق استفاده از ایزولاتورهای لرزه ای در ساختمان ها ممکن است بسته به منطقه جغرافیایی، نوع ساختمان و سال های مختلف متفاوت باشد. با این حال، می توان به برخی از روندها و آمار کلی اشاره کرد:

۱- افزایش استفاده در کشورهای زلزله خیز: در کشورهایی مانند ژاپن، ایالات متحده (به ویژه کالیفرنیا)، نیوزیلند و برخی کشورهای دیگر با خطر زلزله بالا، استفاده از ایزولاتورهای لرزه ای به طور چشمگیری افزایش یافته است. به عنوان مثال، در ژاپن، پس از زلزله های بزرگ، بسیاری از ساختمان های جدید با ایزولاتورهای لرزه ای طراحی شده اند.

۲- تعداد ساختمان های مجهز به ایزولاتور: در ژاپن، برآورد می شود که حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از ساختمان های جدید تجاری و مسکونی از ایزولاتورهای لرزه ای استفاده می کنند. این رقم در مناطق خاص با خطر زلزله بالا ممکن است حتی بیشتر باشد.

۳- رشد بازار ایزولاتورهای لرزه ای: بازار جهانی ایزولاتورهای لرزه ای در سال های اخیر رشد قابل توجهی داشته است. به عنوان مثال، پیش بینی می شود که این بازار در سال های آینده به دلیل افزایش آگاهی و نیاز به ایمنی در برابر زلزله، به طور قابل توجهی گسترش یابد.

چالش‌ها و محدودیت‌ها:

با وجود مزایای فراوان، استفاده از ایزولاتورها نیز با چالش‌هایی مواجه است:

۱- هزینه اولیه بالا: نصب ایزولاتور ممکن است هزینه‌های اولیه بالایی داشته باشد که ممکن است برای برخی پروژه‌ها مشکل ساز باشد.

۲- نیاز به طراحی دقیق: انتخاب و طراحی ایزولاتور باید با دقت انجام شود تا بهترین عملکرد را ارائه دهد.

۳- نگهداری و بازرسی: ایزولاتورها نیاز به نگهداری و بازرسی دوره‌ای دارند تا عملکرد آنها تضمین شود.

۴- متدولوژی

ابتدا چهار نوع از انواع متداول میراگرها شامل میراگر فلزی جاری شونده، میراگر اصطکاکی پال، میراگر اصطکاکی ویسکوز و میراگر جرم کوکی را به شکلی که در ابتدا تحقیق شرح داده شده بود طی مقاله ای تشریح کردیم و سپس طی پرسشنامه ای پیوست آن در اختیار ۱۵ نفر از طراحان سازه عضو سازمان نظام مهندسی استان البرز قرار داده شد تا بر اساس قضاوت مهندسی آنان انواع مرسوم میراگرها بر اساس چهار معیار هزینه اولیه، هزینه نگهداری، سهولت اجرا و عمر مفید مقایسه گردد سپس نتایج پرسشنامه به روش AHP تحلیل گردید.

۵- محاسبات عددی

ابتدا شاخص‌ها را دو به دو با هم مقایسه میکنیم (مقایسه زوجی):

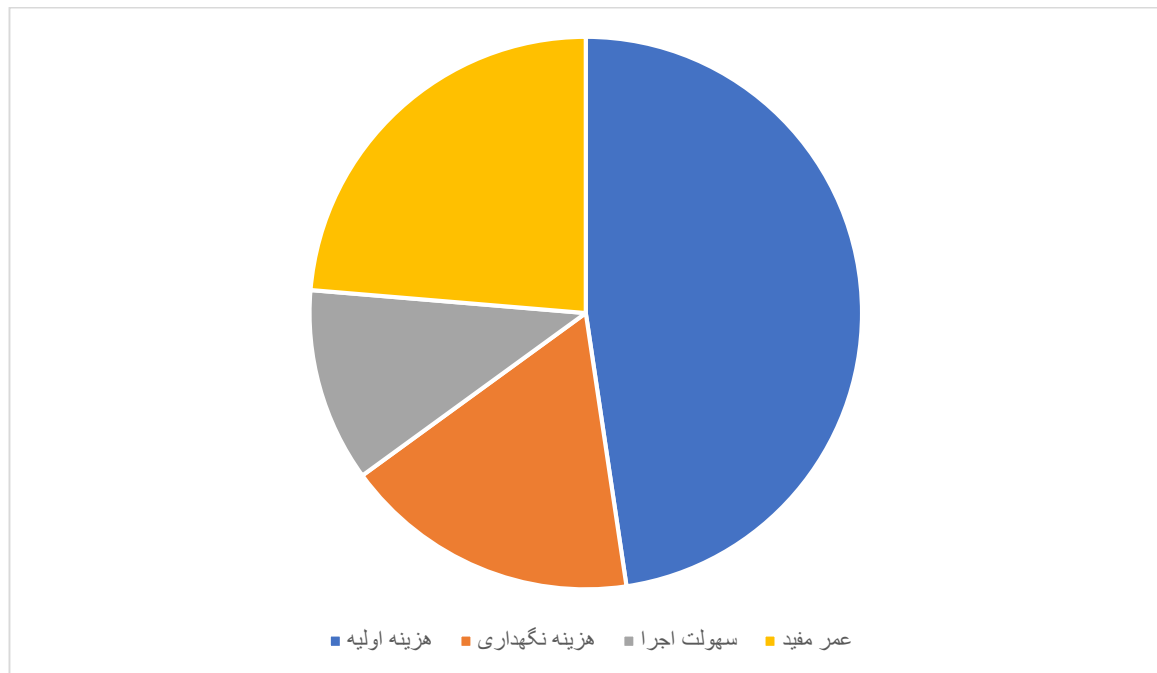
شاخص‌ها	هزینه اولیه	هزینه نگهداری	سهولت اجرا	عمر مفید
هزینه اولیه	۱	۲	۴	۳
هزینه نگهداری	۰,۵	۱	۱,۵	۰,۵
سهولت اجرا	۰,۲۵	۰,۶۶۶	۱	۰,۵
عمر مفید	۰,۳۳۳	۲	۲	۱
جمع	۲,۰۸۳	۵,۶۶۶	۸,۵	۵

حال نتایج جدول بالا را به هنجار (نرمالایز) کرده و پس از آن برای محاسبه ی وزن نسبی هر شاخص، میانگین حسابی هر سطر را محاسبه می کنیم:

میانگین	عمر مفید	سهولت اجرا	هزینه نگهداری	هزینه اولیه	شاخص ها
۰,۴۷۵	۰,۶	۰,۴۷۰	۰,۳۵۲	۰,۴۸۰	هزینه اولیه
۰,۱۷۳	۰,۱	۰,۱۷۶	۰,۱۷۶	۰,۲۴۰	هزینه نگهداری
۰,۱۱۳	۰,۱	۰,۱۱۷	۰,۱۱۷	۰,۱۲۰	سهولت اجرا
۰,۲۳۶	۰,۲	۰,۲۳۵	۰,۳۵۲	۰,۱۶۰	عمر مفید

در نتیجه وزن هریک از شاخص ها بشرح جدول زیر است:

شاخص	وزن شاخص
هزینه اولیه	۰,۴۷۵
هزینه نگهداری	۰,۱۷۳
سهولت اجرا	۰,۱۱۳
عمر مفید	۰,۲۳۶



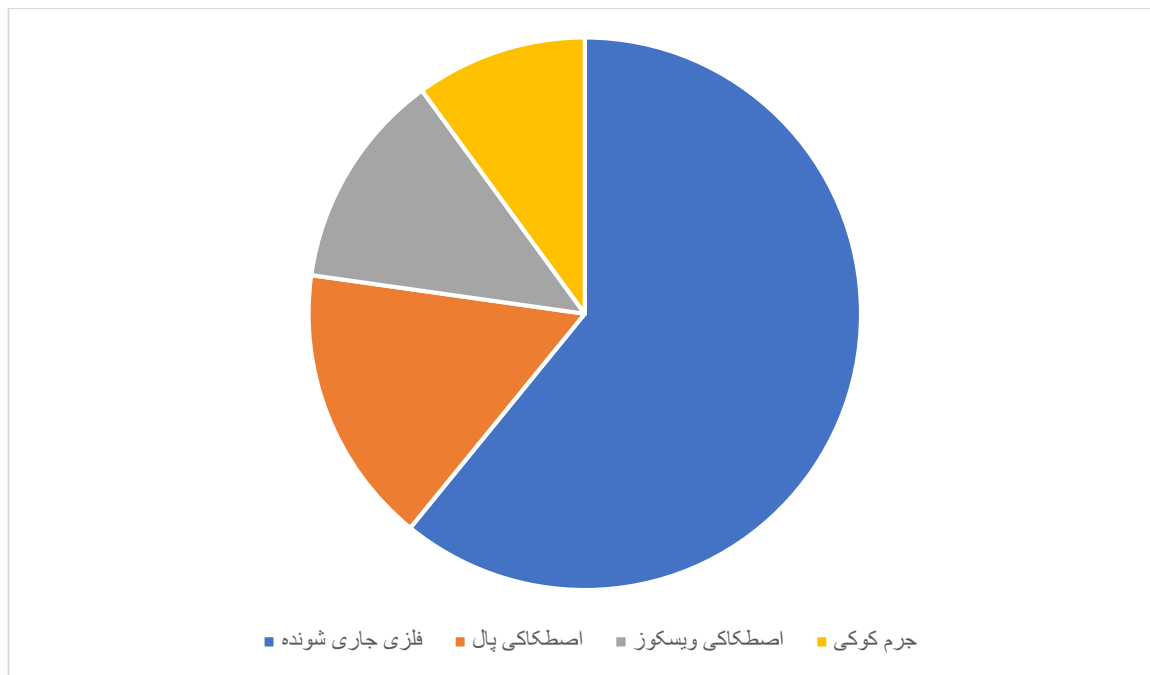
وزن نسبی شاخص ها در ستون میانگین محاسبه گردید حال همین مراحل را برای چهار نوع میراگراز نظر هر ۴ شاخص انجام می دهیم:

از نظر هزینه اولیه:

نوع میراگر	میراگر فلزی جاری شونده	میراگر اصطکاکی پال	میراگر اصطکاکی ویسکوز	میراگر جرم کوکی
میراگر فلزی جاری شونده	۱	۶	۴	۵
میراگر اصطکاکی پال	۰,۱۶۶	۱	۲	۱,۵
میراگر اصطکاکی ویسکوز	۰,۲۵	۰,۵	۱	۱,۵
میراگر جرم کوکی	۰,۲	۰,۶۶۶	۰,۶۶۶	۱
جمع	۱,۶۱۶	۸,۱۶۶	۷,۶۶۶	۹

حال نتایج جدول بالا را به هنجار (نرمالایز) کرده و پس از آن برای محاسبه ی وزن نسبی هر نوع میراگر میانگین حسابی هر سطر را محاسبه می کنیم:

نوع میراگر	میراگر فلزی جاری شونده	میراگر اصطکاکی پال	میراگر اصطکاکی ویسکوز	میراگر جرم کوکی	میانگین
میراگر فلزی جاری شونده	۰,۶۱۸	۰,۷۳۴	۰,۵۲۲	۰,۵۵۵	۰,۶۰۷
میراگر اصطکاکی پال	۰,۱۰۳	۰,۱۲۲	۰,۲۶۱	۰,۱۶۶	۰,۱۶۳
میراگر اصطکاکی ویسکوز	۰,۱۵۴	۰,۰۶۱	۰,۱۳۰	۰,۱۶۶	۰,۱۲۷
میراگر جرم کوکی	۰,۱۲۳	۰,۰۸۱	۰,۰۸۷	۰,۱۱۱	۰,۱۰۰

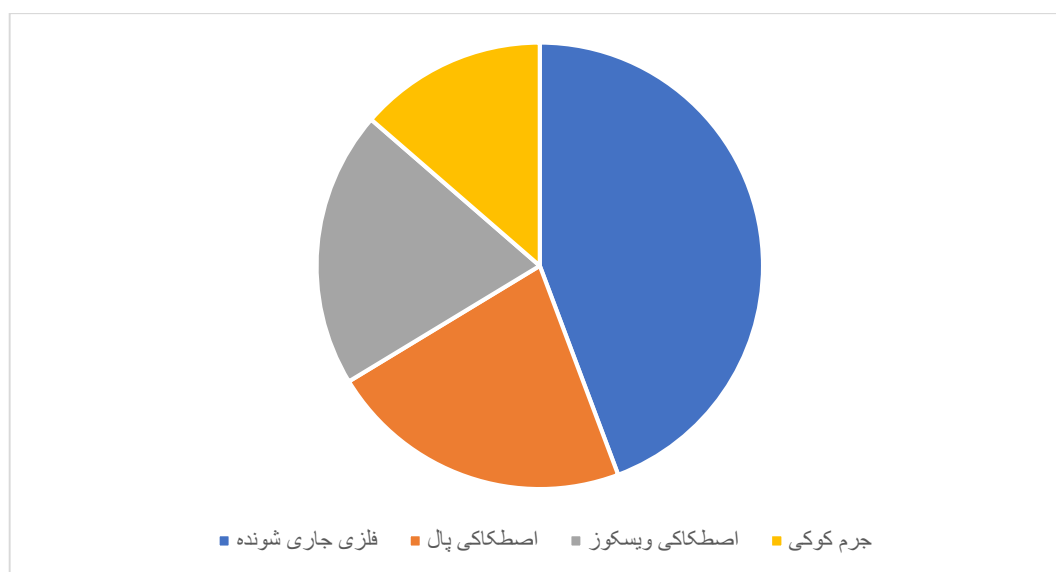


از نظر هزینه نگهداری:

نوع میراگر	میراگر فلزی جاری شونده	میراگر اصطکاکی پال	میراگر اصطکاکی ویسکوز	میراگر جرم کوکی
میراگر فلزی جاری شونده	۱	۳	۲	۴
میراگر اصطکاکی پال	۰,۳۳۳	۱	۳	۰,۶۶۶
میراگر اصطکاکی ویسکوز	۰,۵	۰,۳۳۳	۱	۳
میراگر جرم کوکی	۰,۲۵	۱,۵	۰,۳۳۳	۱
جمع	۲,۰۸۳	۵,۸۳۳	۶,۳۳۳	۸,۶۶۶

حال نتایج جدول بالا را به هنجار (نرمالایز) کرده و پس از آن برای محاسبه ی وزن نسبی هر نوع میراگر میانگین حسابی هر سطر را محاسبه می کنیم:

میانگین	میراگر جرم کوکی	میراگر اصطکاکی ویسکوز	میراگر اصطکاکی پال	میراگر فلزی جاری شونده	نوع میراگر
۰,۴۴۲	۰,۴۶۱	۰,۳۱۵	۰,۵۱۴	۰,۴۸۰	میراگر فلزی جاری شونده
۰,۲۲	۰,۰۷۶	۰,۴۷۳	۰,۱۷۱	۰,۱۶۰	میراگر اصطکاکی پال
۰,۲	۰,۳۴۶	۰,۱۵۷	۰,۰۵۷	۰,۲۴۰	میراگر اصطکاکی ویسکوز
۰,۱۳۶	۰,۱۱۵	۰,۰۵۲	۰,۲۵۷	۰,۱۲۰	میراگر جرم کوکی

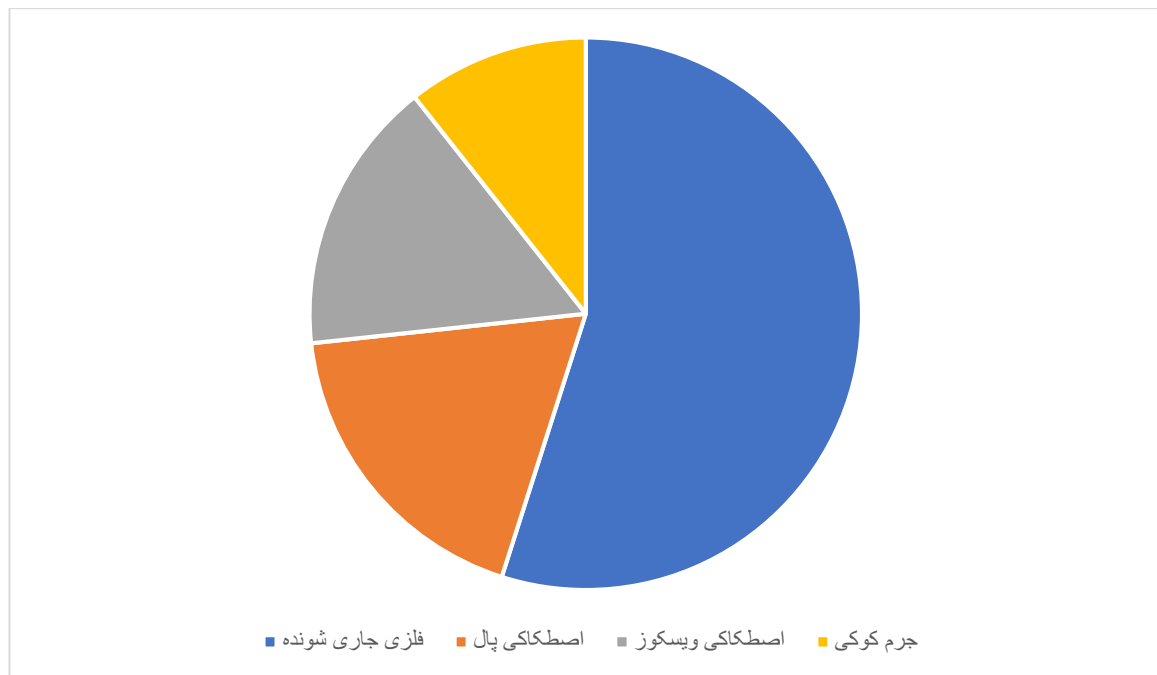


از نظر سهولت اجرا:

نوع میراگر	میراگر فلزی جاری شونده	میراگر اصطکاکی پال	میراگر اصطکاکی ویسکوز	میراگر جرم کوکی
میراگر فلزی جاری شونده	۱	۵	۳	۴
میراگر اصطکاکی پال	۰,۲	۱	۲	۱,۵
میراگر اصطکاکی ویسکوز	۰,۳۳۳	۰,۵	۱	۲
میراگر جرم کوکی	۰,۲۵	۰,۶۶۶	۰,۵	۱
جمع	۱,۷۸۳	۷,۱۶۶	۶,۵	۸,۵

حال نتایج جدول بالا را به هنجار (نرمالایز) کرده و پس از آن برای محاسبه ی وزن نسبی هر نوع میراگر میانگین حسابی هر سطر را محاسبه می کنیم:

نوع میراگر	میراگر فلزی جاری شونده	میراگر اصطکاکی پال	میراگر اصطکاکی ویسکوز	میراگر جرم کوکی	میانگین
میراگر فلزی جاری شونده	۰,۵۶۰	۰,۶۹۷	۰,۴۶۱	۰,۴۷۰	۰,۵۴۷
میراگر اصطکاکی پال	۰,۱۱۲	۰,۱۳۹	۰,۳۰۷	۰,۱۷۶	۰,۱۸۳
میراگر اصطکاکی ویسکوز	۰,۱۸۶	۰,۰۶۹	۰,۱۵۳	۰,۲۳۵	۰,۱۶۰
میراگر جرم کوکی	۰,۱۴۰	۰,۰۹۳	۰,۰۷۶	۰,۱۱۷	۰,۱۰۶

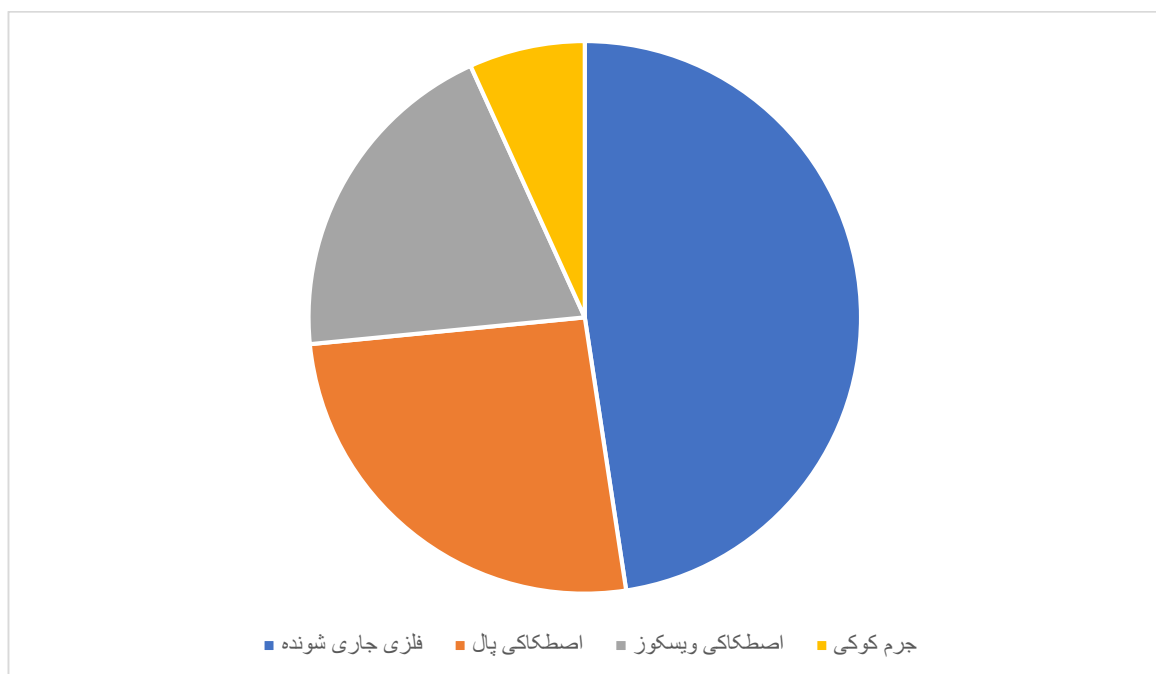


از نظر عمر مفید:

نوع میراگر	میراگر فلزی جاری شونده	میراگر اصطکاکی پال	میراگر اصطکاکی ویسکوز	میراگر جرم کوکی
میراگر فلزی جاری شونده	۱	۲	۳	۶
میراگر اصطکاکی پال	۰,۵	۱	۲	۳
میراگر اصطکاکی ویسکوز	۰,۳۳۳	۰,۵	۱	۵
میراگر جرم کوکی	۰,۱۶۶	۰,۳۳۳	۰,۲	۱
جمع	۲	۳,۸۳۳	۶,۲	۱۵

حال نتایج جدول بالا را به هنجار (نرمالایز) کرده و پس از آن برای محاسبه ی وزن نسبی هر نوع میراگر میانگین حسابی هر سطر را محاسبه می کنیم:

میانگین	میراگر جرم کوکی	میراگر اصطکاکی ویسکوز	میراگر اصطکاکی پال	میراگر فلزی جاری شونده	نوع میراگر
۰,۴۷۷	۰,۴	۰,۴۸۴	۰,۵۲۲	۰,۵	میراگر فلزی جاری شونده
۰,۲۵۹	۰,۲	۰,۳۲۳	۰,۲۶۱	۰,۲۵	میراگر اصطکاکی پال
۰,۱۹۸	۰,۳۳۳	۰,۱۶۱	۰,۱۳۰	۰,۱۶۷	میراگر اصطکاکی ویسکوز
۰,۰۶۸	۰,۰۶۷	۰,۰۳۲	۰,۰۸۷	۰,۰۸۴	میراگر جرم کوکی



با توجه به جداول صدرالذکر وزن هر یک میراگرها نسبت به چهار شاخصه هزینه اولیه، هزینه نگهداری، سهولت اجرا و عمر مفید در جدول زیر شرح داده شده است:

عمر مفید	سهولت اجرا	هزینه نگهداری	هزینه اولیه	نوع میراگر
۰,۴۷۷	۰,۵۴۷	۰,۴۴۲	۰,۶۰۷	فلزی جاری شونده
۰,۲۵۹	۰,۱۸۳	۰,۲۲	۰,۱۶۳	اصطکاکی پال
۰,۱۹۸	۰,۱۶۰	۰,۲	۰,۱۲۷	اصطکاکی ویسکوز
۰,۰۶۸	۰,۱۰۶	۰,۱۳۶	۰,۱۰۰	جرم کوکی

همچنین وزن هر یک از شاخص ها در جدول زیر آمده است:

شاخص	وزن شاخص
هزینه اولیه	۰,۴۷۵
هزینه نگهداری	۰,۱۷۳
سهولت اجرا	۰,۱۱۳
عمر مفید	۰,۲۳۶

اکنون با توجه به جداول بالا وزن نهائی هر یک از میراگرها را محاسبه میکنیم:

وزن نهائی میراگر فلزی جاری شونده

$$0.607*0.475+0.442*0.173+0.547*0.113+0.477*0.236=0.539$$

وزن نهائی میراگر اصطکاکی پال

$$0.163*0.475+0.22*0.173+0.183*0.113+0.259*0.236=0.197$$

وزن نهائی میراگر اصطکاکی ویسکوز

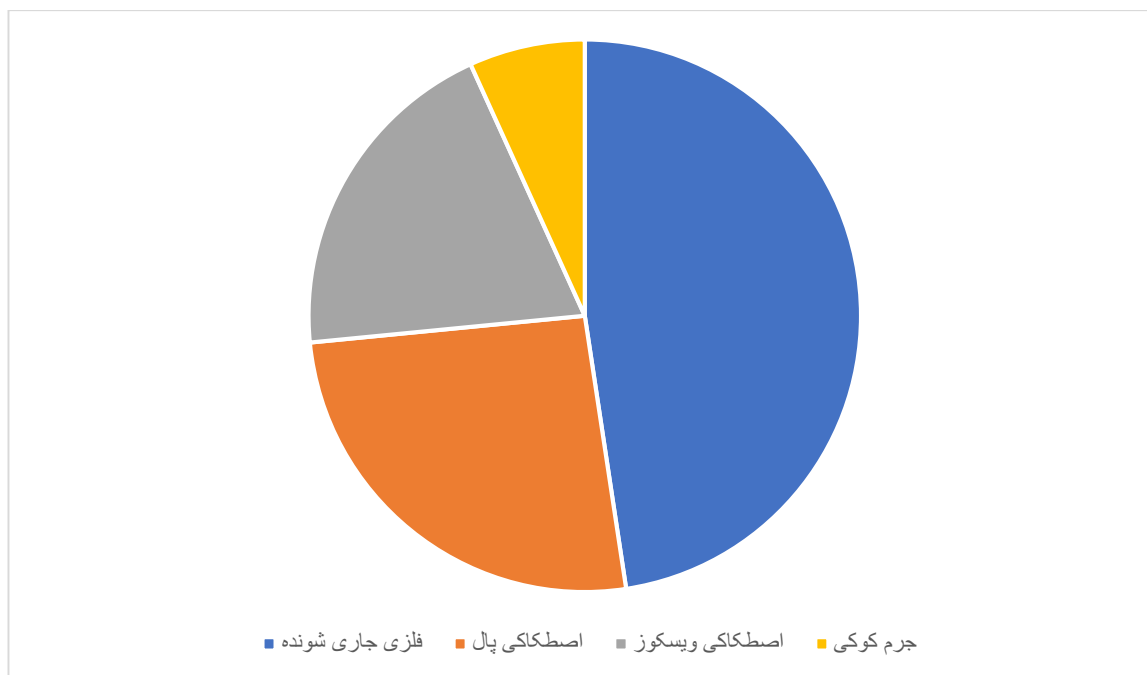
$$0.127*0.475+0.2*0.173+0.160*0.113+0.198*0.236=0.159$$

وزن نهائی میراگر جرم کوکی

$$0.100*0.475+0.136*0.173+0.106*0.113+0.068*0.236=0.099$$

در نتیجه وزن نهائی هر کدام از میراگر ها بشرح جدول زیر میباشد:

میراگر فلزی جاری شونده	۰,۵۳۹
میراگر اصطکاکی پال	۰,۱۹۷
میراگر اصطکاکی ویسکوز	۰,۱۵۹
میراگر جرم کوکی	۰,۰۹۹



۶- نتیجه گیری

از تحلیل نظرات جامعه هدف در این مقاله به این نتیجه میرسیم که استفاده از میراگر فلزی جاری شونده نسبت به انواع اصطکاکی پال و اصطکاکی ویسکوز و جرم کوکی ارجحیت محسوس دارد و همچنین از نزدیکی مزیت نسبی سه نوع میراگر اخیرالذکر می توان به این نتیجه رسید که استفاده از این سه نوع بسته به نوع سازه و محل کاربرد می تواند متفاوت باشد به هر شکل ایزولاتورها به عنوان ابزار کلیدی در کاهش این خطرات و افزایش ایمنی سازه ها شناخته می شوند و انتخاب وطراحی صحیح میراگر می تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای مقابله با خطرات طبیعی و ارتقاء کیفیت زندگی ساکنان محسوب شود .

منابع

1. PM BOK 6th edition
2. "Project Risk Management": A Practical Guide David Hillson
3. The Essentials of Risk Management Michel Crouhy, Dan Galai, Robert Mark
4. "Seismic performance of structures with tuned mass dampers" Michel Crouhy, Dan Galai, Robert Mark
5. "A review of the applications of dampers in structural engineering"
6. "Energy dissipation in structures using viscoelastic dampers" 1. A. Pall, C. Marsh, "Response of friction damped braced frames", *Journal of Structural Engineering* 108, 1313–23 (1982).
7. "Damping in Structural Engineering "H.C.W van der meer

