

چکیده :

از سالهای دور، شناسایی عیب در سازه ها از مسائل پراهمیت جامعه بشری بوده است. پیدایش مواد هوشمند باعث گردید تا بتوان بطور هوشمندانه تری در این امر تمرکز نمود. موادی همچون مواد پیزوالکتریک می توانند امواج مکانیکی را در بازه ی فرکانسی وسیعی بصورت گسسته یا پیوسته دریافت کنند و به پالسهای الکتریکی قابل دریافت توسط کامپیوترها تبدیل نمایند. موضوع پژوهش انجام شده با توجه به اینکه از مباحث روز دنیاست، لیکن تفاوتهای اساسی در سازوکار پیدا نمودن عیب دارد. ترانسدیوسرهای پیزوالکتریک که بر اساس امپدانس الکترومکانیکی^۱ کار می کنند بطور روز افزون برای ارزیابی سلامت سازه مورد استفاده قرار می گیرند. مفهوم پایه ای این روش ارزیابی ، تغییرات در امپدانس مکانیکی سازه که بواسطه حضور آسیب ایجاد می شود، می باشد. این تکنیک با اعمال تحریک فرکانس بالا توسط عملگر^۲های پیزوالکتریک نصب شده روی سازه و اندازه گیری امپدانس سازه توسط جریان و ولتاژ حاصل از پیزوالکتریک ، به شناسایی عیب های کوچک در سازه می پردازد.

هدف این پایان نامه در ابتدا، ارائه روشی مفید برای شناسایی وجود عیب های کوچک با تغییرات انرژی تجزیه پاسخ های دینامیکی سازه با استفاده از آنالیز ویولت در علائم ادمیتانس^۳ خروجی از پیزوالکتریک می باشد. در ادامه با استفاده از روشهای آماری مانند روشهای اختلاف میانگین مجذور ریشه و ضرایب همبستگی روی تابع پاسخ فرکانسی حاصل از امپدانس در فرکانس های بالا ، موفق به شناسایی محل ترک در سازه شدیم. هر دو روش بر روی دو مدل تیر یکسرگیردار و دو سر گیردار در شیبه سازی به کار گرفته شد. نتایج شیبه سازی، دقت و کارایی هر دو روش را نشان می دهد.

¹ Electromechanical impedance

² Actuator

³ admittance

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۱	چکیده
۲	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱-مقدمه
۴	فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام گرفته
۴	۱-۲-تحقیقات در زمینه مواد هوشمند
۱۰	۲-۲-روش امپدانس الکترومکانیکی
۱۴	۱-۲-۲-قطعات سخت افزاری روش امپدانس
۱۶	۲-۲-۲-مطالعات پارامتریک روی روش امپدانس
۱۸	۳-۲-۲-کاربرد مانیتورینگ سلامت سازه توسط روش امپدانس
۱۹	۴-۲-۲-مانیتورینگ سلامت سازه مبنی بر امپدانس
۲۱	۵-۲-۲-مقایسه بین عملگرهای خودحسگر و سنسورهای امپدانس
۲۳	۶-۲-۲-مقایسه با روشهای NDE دیگر
۲۴	۷-۲-۲-بکار گرفتن روش امپدانس همراه با روشهای NDE :
۳۲	۸-۲-۲-پارامترهای تکنیک EMI
۳۲	۱-۸-۲-۲-دامنه فرکانسی

- ۳۳ ۲-۲-۸-۲ - منطقه حس
- ۳۴ ۲-۲-۸-۳ تعیین عیب با روش های متریک آسیب
- ۳۸ ۲-۲-۸-۳-۱- محدودیت های متریک آسیب
- ۳۹ ۲-۲-۸-۴- مقایسه با روشهای مبنی بر ارتعاشات کلی سازه
- ۴۰ ۲-۲-۸-۴-۱- مقایسه با تست اولتراسونیک
- ۴۰ ۲-۲-۸-۴-۲- مقایسه با تشعشع آکوستیک
- ۴۱ ۲-۲-۸-۴-۳- مقایسه با تست اکو- ضربه
- ۴۲ ۲-۲-۸-۴-۴- امتیازات اصلی روش امیدانسدنر مقایسه با تکنیک های دیگر
- ۴۳ **فصل سوم: تئوری های آنالیز الکترومکانیکی**
- ۴۳ ۳-۱- آنالیز الکترومکانیکی
- ۴۶ ۳-۱-۱- معرفی روش امیدانس برای آنالیز دینامیکی سیستم های مواد فعال
- ۴۸ ۳-۱-۲- تئوری آنالیز کوپل الکترومکانیکی
- ۵۲ ۳-۱-۳- توان الکتریکی همراه شده با یک سیستم الکترومکانیکی
- ۵۵ ۳-۱-۴- مصرف توان و سیستم تبدیل انرژی سازه های تیر تحریک شده توسط عملگر های PZT
- ۵۸ ۳-۱-۵- امیدانس سازه های صفحه ای تحریک شده توسط عملگر های PZT

- ۶۱- ۱-۳-۵-۱- تعریف امپدانس مکانیکی موثر
- ۶۲- ۲-۵-۱-۳ فرمول بندی ادمیتانس وصله مربعی *PZT* مبنی بر امپدانس موثر
- ۶۸- ۲- آنالیز مودال با استفاده از سنسورها و عملگرهای *PZT*
- ۷۰- ۳-۳ شناسایی وجود آسیب با استفاده از آنالیز ویولت
- ۷۰- ۱-۳-۳ تجزیه و ترکیب مجدد ویولت پاسخ های دینامیکی سازه
- ۷۲- ۲-۳-۳ استخراج شاخص آسیب برای شناسایی ترک
- ۷۴- ۴-۳ شناسایی محل آسیب
- ۷۵- ۱-۴-۳ شناسایی محل آسیب با استفاده از *RMSD*
- ۷۵- ۲-۴-۳ شناسایی محل آسیب با استفاده از ضرایب همبستگی (*CC*)
- ۷۷- فصل چهارم : نتایج شبیه سازی
- ۷۷- ۱-۴- مقدمه
- ۸۰- ۲-۴- نتایج شبیه سازی در وجود ترک
- ۸۰- ۱-۲-۴ مقایسه فرکانس طبیعی بدست آمده از علائم ادمیتانس در دو حالت
- ۸۱- ۲-۲-۴ نمایش توابع پاسخ فرکانسی و علائم ادمیتانس حقیقی در دو حالت
- ۸۲- ۳-۲-۴ نتایج شناسایی مکان آسیب با استفاده از آنالیز *WPA*

۸۶	۳-۴- نتایج شبیه سازی مکان یابی آسیب
۸۷	۱-۳-۴- نتایج شبیه سازی با استفاده از RMSD و CC در نمونه تیر یکسرگیردار
۹۲	۱-۱-۳-۴- نتایج شبیه سازی مکان یابی با تعداد نقاط اندازه گیری محدود
۹۲	۲-۱-۳-۴- استفاده از RMSD و CC در نقاط اندازه گیری محدود
۹۵	۲-۳-۴- نتایج شبیه سازی با استفاده از RMSD و CC در نمونه تیر دو سرگیردار
۹۷	۱-۲-۳-۴- استفاده از RMSD و CC در نقاط اندازه گیری محدود
۹۹	۳-۳-۴- نتایج شبیه سازی در نمونه تیر یک سرگیردار با طول زیاد
۱۰۱	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۱	۱-۵- نتایج
۱۰۲	۲-۵- پیشنهادات و مسائل آینده
۱۰۶	منابع و مراجع
۱۱۶	پیوست الف: مواد پیزوالکتریک و عملگرهای پیزوالکتریک

فهرست اشکال و جداول

شماره صفحه	عنوان
۱۱	شکل ۱-۲- پیروپچ متصل شده روی اتصالات سیستم لوله کشی
۱۲	شکل ۲-۲- مدل یک بعدی استفاده شده برای ارائه سیستم دینامیکی با عملگر پیرو
۱۵	شکل ۳-۲- یک نمونه امپدانس آنالایزر تجاری
۱۶	شکل ۴-۲- مدار تقریبی امپدانس با یک مدار تقویت کننده ۹۸
۲۲	شکل ۵-۲- دیاگرام مدار خود حسگر
۳۵	شکل ۶-۲- متریک آسیب RMSD
۴۵	شکل ۱-۳- مدل تبدیل انرژی بین سازه و مواد پیروالکتریک
۴۶	شکل ۲-۳- نمایش طرح سیستم الکترومکانیکی با تحریک عملگر PZT
۵۷	شکل ۳-۳- یک مدل ساده شده برای عملگر های نصب شده روی سازه تیر
۵۹	شکل ۴-۳- مدل امپدانس دو بعدی برای عملگر های PZT نصب شده روی سازه صفحه
۶۲	شکل ۵-۳- پیروپچ نصب شده روی سازه میزبان
۶۷	شکل ۶-۳- بررسی آزمایشگاهی مدل EMI در آنالیز دینامیکی یک صفحه گیردار
۶۷	شکل ۷-۳- پیش بینی ممان های واکنشی برای مورد مطالعه در شکل (۵-۳)
۶۸	شکل ۸-۳- پیش بینی تشعشع آکوستیک زیر آب با استفاده از تکنیک EMI

- شکل ۳-۹- تعیین FRF مکانیکی از اندازه گیری ادمیتانس الکترومکانیکی ۶۹
- شکل ۳-۱۰- نمودار درختی تجزیه ویولت ۷۳
- شکل ۳-۱۱- سیگنال های تجزیه ویولت از یک صفحه کامپوزیتی معیوب و سالم ۷۴
- شکل ۴-۱- مشخصات مواد PZT5 ۷۹
- شکل ۴-۲- نمایش توابع پاسخ فرکانسی و علائم ادمیتانس حقیقی در دو حالت ۸۲
- شکل ۴-۳- نمودار درختی آنالیز WPA در نرم افزار Matlab ۸۳
- شکل ۴-۴- نمودار تغییرات انرژی برای تیر سالم و معیوب با ۳۲ مرتبه ۸۵
- شکل ۴-۵- ماکزیمم تغییرات انرژی بر حسب عمق های مختلف ترک ۸۶
- شکل ۴-۶- تیر یکسرگیردار با ترک بین گره های ۳ و ۴ ۸۷
- شکل ۴-۷- نمودار RMSD تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۳ و ۴ ۸۸
- شکل ۴-۸- نمودار CC تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۳ و ۴ ۸۸
- شکل ۴-۹- نمودار RMSD یک تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۵ و ۶ ۸۹
- شکل ۴-۱۰- نمودار CC یک تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۵ و ۶ ۸۹
- شکل ۴-۱۱- نمودار RMSD تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۹ و ۱۰ ۹۰
- شکل ۴-۱۲- نمودار CC یک تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۹ و ۱۰ ۹۰
- شکل ۴-۱۳- نمودار RMSD یک تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۵ و ۶ ۹۱
- شکل ۴-۱۴- نمودار CC یک تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۵ و ۶ ۹۱

- شکل ۴-۱۵- نمودار RMSD تیر یکسرگیردار با ترک بین گره ۳ و ۴ ۹۲
- شکل ۴-۱۶- نمودار CC یک تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۳ و ۴ ۹۳
- شکل ۴-۱۷- نمودار RMSD تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۶ و ۷ ۹۳
- شکل ۴-۱۸- نمودار CC یک تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۶ و ۷ ۹۴
- شکل ۴-۱۹- نمودار RMSD یک تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۱۴ و ۱۵ ۹۴
- شکل ۴-۲۰- نمودار CC یک تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۱۴ و ۱۵ ۹۵
- شکل ۴-۲۱- تیر دو سرگیردار با ترک بین گره های ۵ و ۶ ۹۶
- شکل ۴-۲۲- نمودار RMSD تیر دو سرگیردار با ترک بین گره های ۵ و ۶ ۹۶
- شکل ۴-۲۳- نمودار CC تیر دو سرگیردار با ترک بین گره های ۵ و ۶ ۹۷
- شکل ۴-۲۴- نمودار RMSD تیر دو سرگیردار با ترک بین گره های ۷ و ۸ ۹۸
- شکل ۴-۲۵- نمودار CC تیر دو سرگیردار با ترک بین گره های ۷ و ۸ ۹۸
- شکل ۴-۲۶- نمودار RMSD یک تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۵ و ۶ ۹۹
- شکل ۴-۲۷- نمودار CC یک تیر یکسر گیردار با ترک بین گره ۵ و ۶ ۱۰۰
- جدول ۴-۱- تغییرات فرکانس طبیعی در دو حالت تیر سالم و معیوب ۸۱
- جدول ۴-۲- تغییرات انرژی برای هر مرتبه ۸۴

فهرست علائم

\vec{T}	بردار تنش
\vec{S}	بردار کرنش
\bar{S}	ماتریس نرمی
E	میدان الکتریکی
$\bar{\epsilon}$	ماتریس ثابت دی الکتریک
V, I	ولتاژ و جریان
Y	ادمیتانس الکتریکی
Z_a	امپدانس پیزوالکتریک
Z	امپدانس سازه
F	نیرو
ω	فرکانس تحریک
K_A	سختی استاتیکی PZT
d_{31}	ثابت پیزوالکتریک
W_A, h_A, L_A	عرض ، ضخامت و طول PZT
K_D	سختی دینامیکی
D_3	جابجایی الکتریکی در جهت ۳
S_{11}^E	مطلوبیت مکانیکی PZT

ϵ_{33}^T	ثابت دی الکترونیک در جهت ۳
u	جابجایی
ζ	فاکتور افت مکانیکی PZT
W_A	توان ظاهری
W_D	توان تلف شده
W_R	توان واکنشی
\emptyset	بازده انرژی عملگر
Q	افت حرارتی عملگر
M	ممان
U	انرژی کرنشی
E_R	میدان واکنشی
ϑ	ضریب پواسون
W_f	ضرایب ویولت
ψ^*	تابع مادر ویولت
a	پارامتر انتقال
b	پارامتر مقیاس
U_{kj}	انرژی سیگنال
\dot{u}	سرعت
ρ	دانسپته PZT
K_s	ثابت فنر

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

گزارش هایی را که در طی یک سال می بینید، یا می شنوید یا می خوانید ، مرور کنید. سقوط شاتل هوایی در اثر بروز عیب در گوشه ای زیر بال، سقوط هواپیما به علت سانحه و شکست پره ی توربین آن ، ریزش پل در اثر ایجاد ترک در یک قسمت غیرقابل بازدید ، انفجار خطوط لوله گاز به علت ایجاد ترک ریز در خط لوله و

حال سوال اینجاست که آیا عیوب قابل جلوگیری نبودند؟ آیا اگر از وقوع عیب در سیستم یا سازه مطلع باشیم می توان جلوی حادثه را گرفت ؟ آیا تنها با دانستن وقوع عیب می توان جلوی حادثه را گرفت یا اینکه محل بروز عیب در سیستم در جلوگیری از بروز حادثه مهم است؟ مطمئنا سیستم ها و سازه هایی که بشر جهت رفع نیازهای روزمره بکار می گیرد آنقدر از پیچیدگی برخوردار هستند که با دانستن جواب این سوالات نه وقت کنترل آن می باشد و نه حوصله و تخصص آن. پس لزوم ساخت یک سیستم هوشمند جهت رفع این نیازها کاملا در زندگی

روزمره حس می گردد. بشر دیرزمانی است که در فکر شناسایی عیوب در سازه های خود می باشد. اگر بدنه ی یک سازه را همانند بدن انسان در نظر بگیرید. در آنصورت باید میلیاردها نورون عصبی و سیم های عصبی منتقل کننده ی این عیوب به پردازنده ی اصلی بکار گرفته شود. این ایده، یک الگوی اساسی برگرفته از طبیعت است که همانند بدن انسان به پیدا نمودن عیوب در بدنه ی آن اقدام می نماید. بنابراین بازگرداندن همین الگو روی بدنه سازه هایی مانند کشتی، باعث هزینه ی بسیار زیاد در آن ، سنگینی ، افزایش آسیب پذیری و ... می شود. در نتیجه، با افزایش درجه ی هوشمندی می توان از پیچیدگی مکانیکی یک سیستم کاست. بشر همواره به فکر ساده سازی سیستم ها ، با افزایش درجه ی هوشمندی آنها بوده است. واژه ی جدیدی که امروزه به مواد هوشمند معروف شده ، دارای خاصیت ورای آنچه که مواد معمولی دارند، می باشد.

در این پروژه، در فصل دوم، مروری بر تحقیقات انجام گرفته در زمینه مواد هوشمند و مانیتورینگ سلامت سازه توسط مواد هوشمند، انجام گرفته است. فصل سوم شامل تئوری آنالیز امیدانس الکترومکانیکی و همچنین تئوری های مورد استفاده در زمینه شناسایی و محل آسیب در سازه می باشد و در فصل چهارم نتایج شبیه سازی در شناسایی و محل آسیب در سازه مورد بررسی قرار گرفته است و در فصل پنجم نتایج و پیشنهادات ارائه شده است.

فصل دوم

تحقیقات در زمینه ی مواد هوشمند و مانیتورینگ سلامت سازه توسط مواد

پیزوالکتریک

۲-۱- تحقیقات در زمینه مواد هوشمند :

در روش اولتراسونیک^۱، موجهای الاستیک، در مناطقی که دارای ناهماهنگی هستند بازتابش می یابند. استفاده از روش اولتراسونیک، جهت یافتن عیب بر چند طریق استوار است: زمان تاخیر موج ، فرکانس ، زاویه فاز ، دامنه ، امپدانس^۲ و زاویه ی تغییر شکل موج (بازتابش و پراش). در سال ۱۹۹۶ توسط kratcramr روش اولتراسونیک به طریقه ی پالس- اکو^۳ و یا پالس- انتقال (سایه) و پالس- رزونانس مورد استفاده قرار گرفت. روش پیشرفته ی استفاده از امواج اولتراسونیک با بررسی ارتعاشات موج توسط Victrof در سال ۱۹۶۷ استفاده شد [۲۵]. همچنین در سال ۱۹۸۸، Dok در عیب یابی ، از موجهای راهنما که می توانستند در مسافت زیادی با دامنه پایین حرکت کرده تا از بین بروند ، استفاده کرد. جهت کسب اطلاعات بیشتر می توان از آکوستیک^۴ اولتراسونیک استفاده نمود [۱۲]. روش امپدانس مکانیکی یکی از تکنیک های عیب یابی است که با عمل تکنیک

¹ ultrasonic

² Impedance

³ Echo pulse

⁴ acoustic

انتشار موج بطور مکمل قرار دارد. در استفاده از امیدانس ، Lang و Cavly در سالهای ۱۹۷۸ و ۱۹۸۴ پیشقدم بوده اند. همچنین سازندگانی چون Stavly، روش NDE را در سال ۱۹۸۸ در یک موسسه آمریکایی، گسترش دادند و پروب هایی ساختند که در آن مبدل های اولتراسونیک وجود داشت که نیروهای عمودی و سرعت های آنها را دریافت می نمود. برای جستجوی گسسته، فرکانس های بالای موجود در صفحه ی ارتعاشی را که بصورت گسسته یا پیوسته بودند دریافت و به امیدانس مکانیکی تبدیل می شد.

جهت انجام یک تست اولتراسونیک احتیاج به یک مبدل بزرگ و یک رابط بین مبدل و سازه ی تحت تست می باشد [۱۴].

شبیه سازی دو پیزو به روش المان محدود در Ansys در سال ۱۹۵۲ تا ۱۹۶۲ و ۱۹۷۲ توسط Mindlin انجام پذیرفت و تعدادی از نتایج شامل فرمول های دوبعدی و روابط سه بعدی پیزوها که جهت تحلیل متغیرهای اصلی در فرکانس پایین استفاده می شد را بدست آورد. این کار توسط یک درایور ترکیب کننده با استفاده از معادله انرژی پیزوالکتریک صورت پذیرفت. همچنین وی کار خود را به معادلات خطی سه بعدی گسترش داد [۱۵]. در سال ۲۰۰۲ در یک پروژه، با افزایش بار اعمالی به سازه ها، پیچیدگی مضاعف در طراحی و توجه به دوام و عمر طولانی تر سازه ها چه در حیطه راه و ساختمان ، اجزا و قطعات مکانیکی و چه سازه های هوفضایی، اهمیت مبحث نظارت بر سلامت سازه ها را بیش از پیش برجسته ساخت. طیف گسترده ای از تکنیک های موثر و غیرمخرب با بهره گیری از کرنش سنج ها، سیالات نافذ، امواج ماورای صوت، بازرسی های چشمی و غیره همه متدهای دسترس برای شناسایی عیوب هستند. اما متاسفانه همگی این روشهای موضعی، نیازمند مجال طولانی و پرهزینه برای بازرسی هستند. علاوه براینکه گاهی برخی از اجزا فقط بواسطه ی دور از دسترس بودن نمی توانند مورد بازرسی قرار گیرند که این خود منجر به گسترش

عیوب حتی تا سطوح بحرانی در فاصله ی زمانی بین بازرسی ها می گردد. شاخصه ی مهم تکنیک بازرسی مورد بحث این است که به مهندسين این امکان را می دهد که متدهای جدیدی را بمنظور نظارت پیوسته و برآورد شرایط کلی سازه جستجو کنند. متدهایی که بر اساس پاسخ ارتعاشی، پایه گذاری شده اند، این امکان را فراهم می کنند تا داده هایی پرمعنا از حوزه ی زمان و یا فرکانس را بدست آورده و به محاسبه ی تغییرات در ویژگی های سازه ای و مودال، همچون فرکانس های تشدید، دمپینگ و شکل مودها پرداخته و از آنها برای توسعه تکنیک های قابل اعتماد برای تشخیص، موقعیت یابی و کمی سازی عیوب بهره گیریم [۱۶].

از موارد مورد توجه در تشخیص عیوب، خطوط لوله های گاز می باشد که با افزایش میزان جمعیت و رشد شهرها خطوط لوله گاز، توسعه یافته و پراکندگی آنها بالا می رود. از آنجا که در خطوط لوله های گاز طی سالیان، انباشتگی عیوب ایجاد می شود، موضوع تشخیص عیوب اهمیت ویژه ای از دیدگاه ایمنی و عملکرد پیدا می کند. امروزه اطلاعات ثبت شده از سازه های مجهز به تجهیزات اندازه گیری، نشان می دهد که با وجود بروز رفتارهای غیر الاستیک در اجزایشان، هیچگونه آسیب فیزیکی در آنها مشاهده نمی شود. همچنین حتی در مواردی آسیب های جدی همانند آثار یک زلزله قوی نیز در سازه می تواند مخفی بماند [۱۷].

انجام بازرسی های دوره ای برای شناسایی هرگونه آسیب های سازه ای از موارد ضروری است که می تواند منجر به تعمیرات جزئی یا کلی برای افزایش ایمنی سازه گردد. مسلماً هزینه ی چنین تعمیراتی کمتر از ساخت مجدد کل سازه خواهد بود. عموماً بازرسی سازه ها به روشهایی چون مشاهده ی اجزای سازه و روشهای غیر مخرب همچون تست چکش ریباند، تست سرعت پالس فراصوت و غیره انجام می گیرد. علیرغم استفاده از این روشها ترک های داخلی قابل تشخیص نیستند و حتی اگر وجود ترک حس شود تشخیص موقعیت و محل آن در سازه، با روشهای معمول

غیر مخرب از دقت چندانی برخوردار نیست [۱۸]. به این ترتیب نیاز به روشهای غیر مخرب جایگزین، بیشتر احساس می شود. تکنیک های ارتعاشی از ابزارهای غیرمخرب مهم برای شناسایی آسیب در سازه ها است که بصورت مداوم دستخوش پیشرفت در آنالیز و تجهیزات اندازه گیری بوده است [۱۹]. وجود هر گونه آسیب موضعی در سازه باعث کاهش سختی و بالا رفتن دمپینگ در سازه می شود. کاهش سختی منجر به کاهش فرکانس های طبیعی و تغییرات در مودهای سازه خواهد شد.

تحقیقات در مورد پارامترهای مودال سازه های آسیب دیده توسط آدامز و کرولی و یان انجام گرفته است. در این مطالعات، آسیب از بررسی تغییرات در فرکانس های طبیعی و شکل مودها پیش بینی گردیده است. تمرکز اصلی تحقیق روی ارتعاشات جانبی پل ها در مودهای پایین آنها بوده است. اثر وجود ترک ها روی پاسخ سازه ای در یک مقطع کاهش یافته از یک تیر دارای ترک ، با استفاده از متد انرژی توسط پتروسکی مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۰] و [۱۱] و [۲۲]. برای تعیین محدوده ی آسیب ، سایر پارامترهای دینامیکی از جمله تابع پاسخ فرکانسی و انحنای شکل مود نیز توسط ویلیام و سالوو، پندی، راک، هاب و غیره مورد بررسی قرار گرفته که نشان داد حساسیت شکل مود از آسیب بیشتر است. تشخیص ترک در یک تیر با استفاده از تئوری امواج نیز توسط Vang و Liu مورد بررسی قرار گرفت و همچنین با متدهای معمول مورد مقایسه شد [۱۴] و [۱۵] و [۱۶] و [۱۷]. یک معیار چندگانه در تشخیص آسیب دیدگی تیرها با استفاده از ترکیبی از مقادیر ویژه، پاسخ فرکانسی و تغییر فرم امواج پاسخ توسط ماروالا و هینز معرفی شد. تحلیل ارتعاشی پوسته ی استوانه ای ترک دار با استفاده از شبکه عصبی و ویژگی های مودال سازه، توسط ماروالا انجام شده است. تشخیص و شناسایی آسیب دیدگی سازه با بهره گیری از منطق فازی توسط Sair و Raiu انجام گرفت. تشخیص آسیب سازه از تغییر انرژی کرنشی مودال توسط Shai و بقیه مورد تحقیق و

بررسی قرار گرفته است. اغلب فعالیتهای انجام شده در زمینه ی آسیب دیدگی پل ها با استفاده از متدهای ارتعاشی از طریق مدل تیر صورت گرفته است. بهره گیری از این مدل سازی، تحلیل را آسان می کند و یک دید کلی از وضعیت عیب در اختیار قرار می دهد [۱۹] و [۲۰] و [۲۱]. توسعه ی کامپیوترهای پر سرعت، تکنیک های شبیه سازی عددی و اندازه گیری در حل مدل دینامیکی سازه ها در مهندسی مکانیک و هوافضا کمک شایانی به ما کرده است. بدین صورت که تکنیک های پیشنهادی المان محدود و داده های عملی از سازه واقعی را ترکیب می کند تا یک مدل به روز شده از مدلسازی المان محدود قابل اعتماد از سازه در فرآیند مقایسه نمودن و بهبود دادن سازه در اختیار داشته باشیم [۲۳]. این مدل به روز شده برای تحلیل های بیشتر و پیش بینی دقیق از ویژگی های سازه در شرایط واقعی، به ما کمک خواهد کرد. این متد که در علم مکانیک و هوافضا استفاده می شود مشتمل بر شش بخش است: دریافت داده ها، طراحی تست، تست عملی، مقایسه، یافتن نواقص و به روز رسانی. این شش جز در کنار هم می آیند تا یک مدل قابل اعتماد المان محدود از سازه ایجاد گردد. متدهای مورد استفاده برای صحنه گذاری در مهندسی راه و ساختمان نسبتاً پختگی کمتری دارند. در سال های اخیر متدهای موثر مورد استفاده در مهندسی مکانیک و هوافضا برای سازه های عمرانی بکار گرفته شده و با اتکا به یک مدل قابل اتکا المان محدود با هدف بکارگیری در تشخیص آسیب ها، مشاهده تغییر شکل ها و پیش بینی نقاط بحرانی برای سیستم نظارت بر سلامت سازه (SHM) مورد استفاده قرار گرفته است [۲۴].

به رغم تعدد تکنیک هایی که در زمینه ی ارزیابی سیستم های سازه ای وجود دارند، اما میتوان آنها را به دو دسته ی کلی، متدهای موضعی و متدهای کامل دسته بندی کرد. که دسته ی اول متدهایی هستند که بر اساس یک اندازه گیری موضعی، اطلاعاتی در مورد یک ناحیه ی نسبتاً کوچک از سازه مورد مطالعه را در اختیار قرار می دهند. امروزه عنوان نظارت بر سلامت سازه

ها^۱ (SHM) ، دریافت، ارزیابی و آنالیز اطلاعات فنی برای سهولت تصمیمات در مدیریت دوره ی عمر تعریف می گردد. بصورت کلی تر SHM بیانگر یک سیستم قابل اعتماد با قابلیت تشخیص و تفسیر تغییرات نامطلوب در یک سازه، بواسطه ی آسیب می باشد. مهمترین چالش در طراحی یک سیستم SHM، شناسایی تغییراتی است که بایستی جستجو شوند. مشخص کردن خصوصیات یک آسیب در یک سازه ی خاص همان چیزی است که ساختار سیستم SHM مورد نیاز را تعریف می کند. تغییرات یا نشانه های آسیب، نوع حسگرهای مورد نیاز را در سیستم برای ما معلوم می کند و به همین ترتیب سایر نیازمندیها و اجزای سیستم مشخص می گردند. تحقیق حاضر بر رابطه ی بین حسگرها و قابلیتهای آنها برای شناسایی تغییرات در پارامترها و یا رفتارهای ماده تمرکز دارد. این وسایل در سیستم های نظامی و تجاری بطور روزافزون از مواد کامپوزیتی بهره می گیرند تا از ویژگیهای عالی مقاومت و سختی آنها استفاده کنند. با این وجود، از مشکلات در طراحی، نگهداری و تعمیرات، می توان بعنوان ضعف های استفاده از این مواد در مقایسه با قطعات فلزی نام برد؛ چرا که مواد کامپوزیتی با مودهای تخریبی و متقابل، وامانده می شوند. نوع دیگری از مواد هوشمند، سیالات الکترورنولوژیک^۲ متشکل از ذرات بسیار ریز دی الکتریک معلق در یک محیط سیال می باشند. ذرات این مواد در میدان الکتریکی جهت گرفته و منظم می شوند و بدین ترتیب ویسکوزیته آنها متناسب با شدت میدان تغییر می کند، آلیاژهای حافظه دار و هوشمند خانواده ی جدیدی از آلیاژها هستند که دارای خاصیتی به نام اثر حافظه شکل می باشند. اثر حافظه شکل در یک ماده عبارت است از قابلیت بازیافت کردن یک شکل معین با استفاده از اعمال گرما. معروفترین آلیاژ حافظه دار، آلیاژی است از نیکل و تیتانیوم به نام نائینول که بصورت مفتول یا نوارهای نازک ساخته می شود [۲۰].

¹ Structural health monitoring

² electrological

۲-۲- روش امیدانس الکترومکانیکی^۱:

مواد پیزوالکتریک بصورت مستقیم ، وقتی تنش به آنها اعمال می شود یک بار الکتریکی تولید می کنند و به طور معکوس اگر تحت یک میدان الکتریکی قرار گیرند ، یک کرنش مکانیکی تولید می کنند. اثر مستقیم پیزوالکتریک اغلب در سنسورها مانند شتاب سنج ها مورد استفاده قرار می گیرد. در اثر معکوس ، با نصب مواد پیزوالکتریک روی سطح سازه و با تولید کرنش توسط آنها ، می توانند یک نفوذ مستقیم روی پاسخ دینامیکی المان های سازه داشته باشند. مواد پیزوالکتریک به دلیل وزن کم و ارزان بودن و قابلیتشان ، بطور گسترده ای در کاربردهای دینامیکی سازه مورد استفاده قرار می گیرند و در فرم های مختلف بصورت مستطیل شکل یا شکل های پیچیده با ضخامت های متنوع در ساختار سیستم های میکرو الکترومکانیکال (MEMS)^۲ مورد استفاده هستند. تکنیک های مانیتورینگ سلامت سازه مبنی بر روش امیدانس، بعنوان یک ابزار مفید برای ارزیابی آسیب در سازه و بعنوان یک روش جدید ارزیابی غیر مخرب^۳ NDE شناخته شده اند. یک جنبه کلیدی در مانیتورینگ سلامت سازه مبنی بر امیدانس ، استفاده از مواد پیزوالکتریک بعنوان سنسور ها و عملگر ها می باشد [۶].

پایه این تکنولوژی یک حس فعال در تبدیل انرژی بین عملگر و سیستم مکانیکی سازه میزبان می باشد. امیدانس الکتریکی مواد^۴ PZT که روی سازه نصب شده اند ، بطور مستقیم به امیدانس مکانیکی سازه میزبان مرتبط می باشد. استفاده از مواد مشابه ای که هم برای حس و هم تحریک مورد استفاده قرار گیرند نه فقط باعث کاهش تعداد سنسورها^۵ و عملگر ها می شود بلکه باعث

¹ Electromechanical impedance

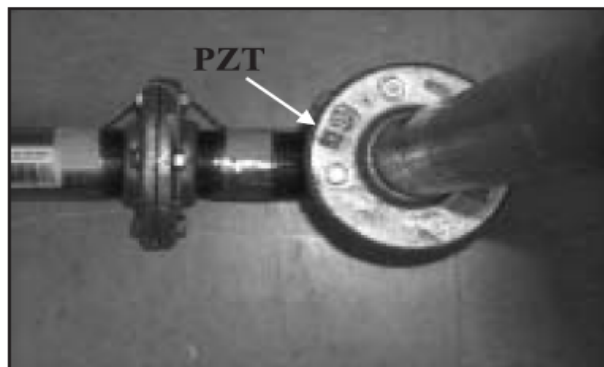
² Microelectromechanical systems

³ Non-destructive evaluation

⁴ piezoelectric

⁵ sensors

کاهش سیم های الکتریکی و سخت افزارهای مربوط به آن می شود. بنابراین اندازه و وزن PZT در مقایسه با وزن سازه قابل صرف نظر می باشد و هیچ تاثیری روی مشخصات دینامیکی سازه نخواهد گذاشت. یک نمونه از PZT استفاده شده بر روی سازه در شکل (۱-۲) نشان داده شده است. برای اولین بار کاربرد تئوری اندازه گیری امپدانس با مانیتورینگ سازه توسط Liang [۷] ارائه شد و بعد از آن توسط محققان دیگر گسترش داده شد. یک توصیف از مدل الکترومکانیکی در شکل (۲-۲) ارائه شده است. در این مدل فرض شد که یک عملگر PZT بصورت محوری روی یک انتهای یک سیستم یک درجه آزادی جرم و فنر قرار گیرد و انتهای دیگر آن ثابت باشد.



شکل ۱-۲- پیزوپیچ متصل شده روی اتصالات سیستم لوله کشی