دانشکده فنی مهندسی

گروه مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد دررشته ی مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

برداشت انرژی ارتعاشی محیط توسط مواد پیزوالکتریک و مگنتواستریکتیو به روش انرژی کرنشی

استادراهنما:

دکتر صابر محمدی

استادمشاور:

دکتر اکرم خدایاری

نگارش:

ابوذر اسفندیاری

آذر ماه ۱۳۹۲

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

سپاس گزاری

بر خود وظیفه می دانم در درجه ی اول از استاد راهنمای خود جناب آقای دکتر صابر محمدی به خاطر راهنمایی های بی دریغ ودلسوزانه، ایده ها و نظرات دقیق و موشکافانه، دیدگاه اکادمیک و جدیت و سخت گیری های به جا و سازنده، در طول انجام پایان نامه صمیمانه تشکر نمایم.

درادامه از خانم دکتر اکرم خدایاری که مفاهیم پایه ای تبدیل و برداشت انرژی را به بهترین شکل به بنده آموزش و به عنوان استادمشاور اینجانب، قبول زحمت فرمود، قدردانی می نمایم.

درپایان نیزاز دوست گرامی آقای مهندس عباس احمدی که درمدت انجام این پروژه، در درک مفاهیم الکترونیکی مرا یاری داد، سپاس گزاری می کنم.

تقدیم به:

پدر دلسوزم

مادر فداکارم

و

همسر صبورم

چکیده

تحقیقات سال‌های اخیربه این سمت بوده که سیستم‌های میکرو الکترو مکانیکی[1] را به صورت سیستم‌هایی بی سیم گسترش دهند به طوری که بتوانند انرژی مصرفی شان را از محیط دریافت نمایند. این منابع انرژی نامحدود همواره در اطراف ما وجود دارند و از جمله‌ی آن‌ها ارتعاشات مکانیکی است که در این پروژه به طور خاص مورد بررسی قرارگرفته و روش انرژی کرنشی در برداشت انرژی از ارتعاشات توسط مواد پیزو الکتریک[2] و مگنتواستریکتیو[3] معرفی شده است. مواد پیزو الکتریک، توانایی تولید ولتاژ در پاسخ به اعمال تنش مکانیکی و بالعکس را دارند و مواد مگنتو استریکتیو وقتی تحت کرنش قرار می گیرند، خاصیت مغناطیسی آن ها تغییر می کند. این مواد در کنترل ارتعاشات سازه های مختلف و جهت برداشت انرژی آن ها بصورت الکتریکی برای مصرف در شبکه ی حسگرهای بی سیم، سیستم های میکروالکترونیکی خودتغذیه، تجهیزات پزشکی قابل کاشت، دستگاه های پایش سلامت، شارژ باتری های قابل شارژ و غیره به کار می رود. مدل بررسی شده در این پروژه، تیر یکسر گیرداری است که با شتاب هارمونیک در تکیه گاه ارتعاش می کند و در سه حالت تیر با لایه ی پیزوالکتریک، با لایه ی مت گلاس[4] و بالایه ی هیبریدی پیزوالکتریک و مت گلاس، بر پایه ی تیر اولر برنولی آنالیز شده است. نوع ماده ی پیزوالکتریک به کار رفته، (P-7) و نوع ماده ی مگنتو استریکتیو، مت گلاس(Metglas 2605C) می باشد. تحلیل برای سه تیر فولادی، آلومینیمی و مسی انجام گرفته است. برای مدل، روابط انرژی کرنشی بدست آمده و از ترکیب آن با معادلات ساختاری پیزوالکتریک و مت گلاس، رابطه ی ولتاژ تولیدی استخراج شده است. ولتاژ تولید شده در مدار استاندارد (AC) معادل، اعمال و توان مؤثر، در هر سه حالت تیر با لایه ی پیزو، بالایه ی مت گلاس و با لایه ی هیبرید پیزو و مت گلاس به دست آمده و در پایان، مطالعه ی پارامتری برای بهینه سازی مقادیر ولتاژ و توان انجام و در تمامی حالات مقایسه شده است. ماکزیمم ولتاژ تولیدی و توان مؤثر برای تیر فولادی با لایه ی هیبریدی پیزو الکتریک و مت گلاس و در فرکانس طبیعی اول، به ترتیب ۳,۱۳ ولت و ۱۳۰ میلی وات به دست آمده است.

کلید واژه: انرژی کرنشی؛ برداشت انرژی؛ پیزو الکتریک؛ مگنتو استرکتیو؛ مت گلاس

[1] MEMS
[2] Piezoelectric
[3] Magnetostrictive
[4] Metglas

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱-مقدمه.....۲
۱-۲-مواد هوشمند در تبدیل انرژی.....۳
۱-۳-ذخیره ی انرژی.....۴
۱-۴-مروری بر منابع انرژی.....۶
۱-۴-۱-انرژی خورشیدی.....۷
۱-۴-۲-انرژی گرمایی.....۷
۱-۴-۳-انرژی ارتعاش.....۸
۱-۴-۴-انرژی امواج رادیویی.....۸
۱-۵-سیستم های میکرو الکترو مکانیکی.....۹
۱-۶-تکنیک های برداشت انرژی ۱۰
۱-۶-۱-برداشت انرژی به روش الکترو مغناطیس.....۱۰
۱-۶-۲-مبدل الکترواستاتیک.....۱۱
۱-۶-۳-مبدل پیزو الکتریک ۱۲
۱-۶-۴-مگنتواستریکتیو.....۱۶
۱-۷-هدف.....۲۴

فصل دوم: روش انرژی کرنشی در برداشت انرژی از ارتعاشات توسط مواد پیزو الکتریک

۲-۱-مقدمه.....۲۷
۲-۲-معادلات ساختاری پیزو الکتریک در مد۳۱.....۲۷
۲-۳-معرفی مدل مورد بررسی.....۲۸
۲-۴-استخراج رابطه ی ولتاژ تولیدی پیزوالکتریک از ارتعاش.....۲۸
۲-۴-۱-روابط انرژی کرنشی مدل.....۲۹
۲-۴-۲-نحوه ی به دست آوردن ولتاژ از رابطه ی انرژی.....۲۹
۲-۴-۳-تنش خمشی وارد شده بر پیزوالکتریک در اثر ارتعاش.....۳۱
۲-۴-۴-معادله ی ارتعاش عرضی تیر یک سر گیردار.....۳۳
۲-۴-۵-محاسبه ی تابع شکل مد.....۳۳
۲-۴-۶-محاسبه ی تابع زمانی.....۳۵
۲-۵-محاسبه ی توان مصرفی در مداراستانداردAC.....۳۸

فصل سوم: روش انرژی کرنشی در برداشت انرژی از ارتعاشات توسط مواد مگنتواستریکتیو

۳-۱-مقدمه.....۴۱
۳-۲-معادلات ساختاری مت گلاس.....۴۱
۳-۳-معرفی مدل مورد بررسی.....۴۱

۳-۴-استخراج رابطه ی ولتاژ تولیدی مت گلاس از ارتعاش.....۴۲
۳-۴-۱-روابط انرژی کرنشی مدل.....۴۲
۳-۴-۲-نحوه ی به دست آوردن ولتاژ از رابطه ی انرژی.....۴۳
۳-۴-۳-تنش خمشی وارد شده بر مت گلاس در اثر ارتعاش.....۴۴
۳-۴-۴-محاسبه ی تابع زمانی.....۴۶
۳-۵-محاسبه ی توان مصرفی در مدار استانداردAC.....۴۸

فصل چهارم: روش انرژی کرنشی در برداشت انرژی از ارتعاشات توسط هیبرید مواد پیزو الکتریک و مت گلاس

۴-۱-مقدمه.....۵۱
۴-۲-معرفی مدل مورد بررسی.....۵۱
۴-۳-محاسبه ی ولتاژ تولیدی پیزوالکتریک و مت گلاس در حالت هیبرید.....۵۲
۴-۳-۱-محاسبه ی تابع زمانی.....۵۳
۴-۴- محاسبه ی توان مصرفی در مدار استانداردAC.....۵۴

فصل پنجم: مقایسه و نتیجه گیری

۵-۱-مقدمه.....۵۸
۵-۲- مطالعه ی پارامتری تیر یک سرگیردار بالایه ی پیزو الکتریک.....۵۸
۵-۳-مطالعه ی پارامتری تیر یک سرگیردار با لایه ی مت گلاس.....۶۵
۵-۴-مقایسه ی نتایج مدل مت گلاس و مدل پیزوالکتریک.....۷۲
۵-۴-۱- مقایسه ولتاژتولیدی.....۷۲
۵-۴-۲-مقایسه توان تولیدی.....۷۶
۵-۵-مطالعه ی پارامتری تیر یک سرگیردار با لایه ی هیبرید پیزوالکتریک و مت گلاس.....۷۷
۵-۶-مقایسه ی ولتاژ و توان تولیدی مدل متال گلاس و مدل پیزوالکتریک و مدل هیبریدی در فرکانس طبیعی یکسان.....۸۶
۵-۶-۱- مقایسه ولتاژتولیدی.....۸۶
۵-۶-۲-مقایسه توان تولیدی.....۸۷
۵-۶-۳-نتیجه گیری.....۸۸

منابع.....۹۱

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- چگالی توان وانرژی تجهیزات ذخیره ی انرژی.....۵
شکل ۱-۲- شماتیک مبدل الکترومغناطیس معمولی.....۱۰
شکل ۱-۳- شماتیک مبدل الکترو استاتیک.....۱۱
شکل ۱-۴- اثر مستقیم پیزو الکتریک.....۱۲
شکل ۱-۵- ساختار مکعبی پیزو دردمای بالا و زیر نقطه ی کوری.....۱۳
شکل ۱-۶- پلاریزاسیون سرامیک پیزو الکتریک برای تولید اثر پیزو الکتریک.....۱۳
شکل ۱-۷- رفتار مواد پیزو الکتریک.....۱۴
شکل ۱-۸- محصولات تجاری از ترفنول دی.....۱۶
شکل ۱-۹- شکل تجاری مت گلاس.....۱۷
شکل ۱-۱۰- ایجاد ممان های مغناطیسی توسط حرکت الکترون ها.....۱۹
شکل ۱-۱۱- a) جهت های اتفاقی گشتاور های مغناطیسی بدون نیروی خارجیb) ممان های هماهنگ شده تحت میدان مغناطیسی خارجی.....۱۹
شکل ۱-۱۲- نگاه مبالغه آمیز به اثر ژول.....۲۰
شکل ۱-۱۳- نمایش گشتاور های مغناطیسی نوار مت گلاس غیر آنیل شده و آنیل شده توسط میدان مغناطیسی.....۲۰
شکل ۱-۱۴- ضریب کوپلینگ بر حسب دمای آنیل.....۲۱
شکل ۲-۱- مد۳۳ و مد ۳۱.....۲۷
شکل ۲-۲- تیر یک سر گیردار با لایه ی پیزوالکتریک.....۲۸
شکل ۲-۳- مقطع تبدیل یافته مدل پیزوالکتریک.....۳۱
شکل ۲-۴- پنج شکل مد اول ارتعاش عرضی تیر یک سر گیردار.....۳۵
شکل ۲-۵- مدار استاندارد AC در مدل پیزوالکتریک.....۳۸
شکل ۳-۱- تیر یک سرگیردار با لایه ی مت گلاس.....۴۲
شکل ۳-۲- مقطع تبدیل یافته مدل مت گلاس.....۴۴
شکل ۳-۳- مدار استاندارد AC در مدل مت گلاس.....۴۸
شکل ۴-۱- تیر یک سر گیردار با لایه ی پیزوالکتریک و مت گلاس.....۵۱
شکل ۴-۲- تبدیل مقاطع پیزوالکتریک و مت گلاس.....۵۲
شکل ۴-۳- مدار استانداردAC در مدل هیبرید مت گلاس و پیزوالکتریک.....۵۵
شکل ۵-۱- تغییرات توان تولیدی پیزوالکتریک نسبت به مقاومت بار درمدل پیزوالکتریک.....۶۰
شکل ۵-۲- تغییرات توان تولیدی پیزو در مقاومت اهمی بهینه نسبت به ضخامت پیزوالکتریک.....۶۱
شکل ۵-۳- تغییرات توان تولیدی پیزوالکتریک در مقاومت بهینه نسبت به تغییر طول.....۶۲
شکل ۵-۴- تغییرات توان تولیدی پیزوالکتریک در مقاومت بهینه نسبت به تغییر فرکانس تحریک حول فرکانس طبیعی مد اول.....۶۳

شکل ۵-۵- تغییرات توان تولیدی پیزوالکتریک در مقاومت بهینه نسبت به تغییر فرکانس تحریک حول فرکانس طبیعی مد دوم.....۶۳
شکل ۵-۶- تغییرات توان تولیدی پیزوالکتریک در مقاومت بهینه نسبت به تغییر فرکانس تحریک حول فرکانس طبیعی مد سوم.....۶۴
شکل ۵-۷- ولتاژ تولیدی بهینه توسط پیزوالکتریک در فرکانس طبیعی اول برای فولاد، مس و آلومینیم.....۶۵
شکل ۵-۸- تغییرات توان تولیدی مت گلاس نسبت به مقاومت اهمی بار.....۶۷
شکل ۵-۹- تغییرات توان تولیدی مت گلاس در مقاومت بهینه نسبت به ضخامت مت گلاس.....۶۷
شکل ۵-۱۰- تغییرات توان تولیدی مت گلاس در مقاومت بهینه نسبت به تغییر طول.....۶۸
شکل ۵-۱۱- تغییرات توان تولیدی مت گلاس در مقاومت بهینه نسبت به تغییر فرکانس تحریک حول فرکانس طبیعی مد اول.....۶۹
شکل ۵-۱۲- تغییرات توان تولیدی مت گلاس در مقاومت بهینه نسبت به تغییر فرکانس تحریک حول فرکانس طبیعی مد دوم.....۷۰
شکل ۵-۱۳- تغییرات توان تولیدی مت گلاس در مقاومت بهینه نسبت به تغییر فرکانس تحریک حول فرکانس طبیعی مد سوم.....۷۰
شکل ۵-۱۴- ولتاژ تولیدی توسط مت گلاس در فرکانس طبیعی اول برای فولاد، مس و آلومینیم.....۷۲
شکل ۵-۱۵- تغییرات ولتاژ تولید ی مت گلاس درمحدوده ی فرکانس طبیعی مد اول.....۷۳
شکل ۵-۱۶- تغییرات ولتاژ تولید ی مت گلاس درمحدوده ی فرکانس طبیعی مد دوم.....۷۳
شکل ۵-۱۷- تغییرات ولتاژ تولید ی مت گلاس درمحدوده ی فرکانس طبیعی مد سوم.....۷۴
شکل ۵-۱۸- تغییرات ولتاژتولید ی پیزوالکتریک درمحدوده ی فرکانس طبیعی مد اول.....۷۴
شکل ۵-۱۹- تغییرات ولتاژتولید ی پیزوالکتریک درمحدوده ی فرکانس طبیعی مد دوم.....۷۵
شکل ۵-۲۰- تغییرات ولتاژتولید ی پیزوالکتریک درمحدوده ی فرکانس طبیعی مد سوم.....۷۵
شکل ۵-۲۱- تغییرات توان تولیدی هیبریدی بر حسب نسبت ضخامت پیزوالکتریک به مت گلاس.....۷۸
شکل ۵-۲۲- تغییرات توان تولیدی هیبریدی بر حسب نسبت ضخامت مت گلاس به پیزوالکتریک.....۷۹
شکل ۵-۲۳- تغییرات توان تولیدی هیبریدی نسبت به مقاومت بار.....۸۰
شکل ۵-۲۴- تغییرات توان تولیدی در حالت هیبرید در مقاومت بهینه نسبت به تغییر طول در بازه ی۱ تا۱۰ سانتیمتر.....۸۰
شکل ۵-۲۵- تغییرات ولتاژتولیدی هیبریدی نسبت به تغییر طول.....۸۱
شکل ۵-۲۶- تغییرات توان تولیدی هیبریدی در مقاومت بهینه نسبت به تغییر طول در بازه ی ۱ تا ۴ سانتیمتر.....۸۲
شکل ۵-۲۷- تغییرات توان تولیدی هیبریدی در مقاومت بهینه نسبت به تغییر طول در بازه‌ی ۶تا۱۰سانتیمتر.....۸۲
شکل ۵-۲۸- تغییرات توان تولیدی هیبریدی در مقاومت بهینه نسبت به تغییر فرکانس تحریک حول فرکانس طبیعی مد اول.....۸۳
شکل ۵-۲۹- تغییرات توان تولیدی هیبریدی در مقاومت بهینه نسبت به تغییر فرکانس تحریک حول فرکانس طبیعی مد دوم.....۸۴

شکل ۵-۳۰- تغییرات توان تولیدی هیبریدی در مقاومت بهینه نسبت به تغییر فرکانس تحریک حول فرکانس طبیعی مد سوم.....۸۴
شکل ۵-۳۱- ولتاژ تولیدی هیبریدی در فرکانس طبیعی اول برای فولاد، مس و آلومینیم.....۸۶

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- چگالی انرژی و ولتاژ باتری ها.....۴
جدول ۱-۲- مقایسه ی بین باتری، خازن استاندارد و سوپر خازن.....۶
جدول ۱-۳- خواص مگنتو الاستیک مواد مگنتو استریکتیو.....۱۸
جدول ۱-۴- مقایسه ی مت گلاس و پیزوالکتریک (PZT) ۲۳
جدول ۱-۵- مقایسه ی اجمالی انواع روش های برداشت انرژی ارتعاشی.....۲۴
جدول ۲-۱- لیست ثابت های تابع شکل مد تیر یک سر گیر دار.....۳۵
جدول ۵-۱- مشخصات پیزو الکتریک.....۵۹
جدول ۵-۲- مشخصات تیر.....۵۹
جدول ۵-۳- مقدار توان پیزوالکتریک در مقاومت بهینه در فرکانس های طبیعی اول و دوم و سوم برای فولاد، مس وآلومینیم.....۶۴
جدول ۵-۴- مشخصات مت گلاس.....۶۶
جدول ۵-۵- مقدار توان مت گلاس در مقاومت بهینه در فرکانس های طبیعی اول و دوم وسوم برای فولاد، مس و آلومینیم.....۷۱
جدول ۵-۶- ولتاژ تولیدی مت گلاس و پیزوالکتریک برای تیر فولادی در فرکانس های طبیعی اول و دوم و سوم.....۷۶
جدول ۵-۷- توان تولیدی مت گلاس و پیزوالکتریک برای تیر فولادی در فرکانس های طبیعی اول و دوم و سوم.....۷۶
جدول ۵-۸- مقدار توان تولیدی هیبریدی در مقاومت بهینه در فرکانس های طبیعی اول و دوم و سوم برای فولاد، مس و آلومینیم.....۸۵
جدول ۵-۹- ولتاژ تولیدی مت گلاس و پیزوالکتریک و هیبریدی برای تیر فولادی در فرکانس های طبیعی اول و دوم و سوم.....۸۷
جدول۵-۱۰- توان تولیدی مت گلاس و پیزوالکتریک و هیبریدی برای تیر فولادی در فرکانس های طبیعی اول و دوم و سوم.....۸۷

اختصارات

AC	Alternating Current
AL	Aluminium
CU	Copper
DC	Direct Current
DSP	Digital Signal Processing
EDLC	Electric Double Layer Capacitors
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
MsM	Magnetostrictive Material
PVDF	Polyvinylidene Fluoride
PZT	Lead Zirconate Titanate
RF	Radio Frequency
SSDI	Synchronized Switching Damping on Inductor
SSHI	Synchronized Switch Harvesting on Inductor
ST	Steel

نمادها

نمادهای یونانی

α_i	ضریب ماکروسکوپیک پیزو الکتریک
ε	کرنش مکانیکی
ε_{33}	ضریب گذردهی الکتریکی
λ_i, η_i	ثابت های تابع نرمالیزه شده ی شکل مد
ξ	نسبت میرایی
μ^T	ضریب نفوذ پذیری در تنش ثابت
ρ	جرم واحد طول
ρ_b	چگالی جرمی تیر
ρ_M	چگالی جرمی مت گلاس
ρ_P	چگالی جرمی پیزوالکتریک
σ	تنش مکانیکی
$\varphi_i(x)$	تابع شکل مد در مد i ام
ϕ	زاویه ی فاز
Φ	شار مغناطیسی
ω_i	فرکانس طبیعی در مد i ام

نمادهای لاتین

A_b	مساحت سطح مقطع تیر
A_M	مساحت سطح مقطع مت گلاس
A_P	مساحت سطح مقطع پیزوالکتریک
B	چگالی شار میدان مغناطیسی
b	عرض تیر
C_i	میرایی تعمیم یافته در مد i ام
C_P	ظرفیت خازنی پیزوالکتریک
c	میرایی بر واحد طول
D_3	جابجایی الکتریکی در جهت ۳
d_{31}	ضریب پیزو الکتریک
d, d^*	ثابت های مگنتو مکانیکال
E_b	مدول الاستیسیته ی تیر
E_M	مدول الاستیسیته ی مت گلاس
E_P	مدول الاستیسیته ی پیزوالکتریک

E_3	میدان الکتریکی
f	نیروی گسترده ی خارجی
G_i	ضریب نیروی مت گلاس
H	شدت میدان مغناطیسی
h_b	فاصله ی مرکز سطح تیر تا تار خنثی
h_M	فاصله ی مرکز سطح مت گلاس تا تار خنثی
h_P	فاصله ی مرکز سطح پیزوالکتریک تا تار خنثی
I_b	ممان اینرسی سطح مقطع تیر
I_M	ممان اینرسی سطح مقطع مت گلاس
I_P	ممان اینرسی سطح مقطع پیزوالکتریک
I_{eff}	جریان مؤثر
i	جریان
K_i	سختی تعمیم یافته در مد i ام
k_{eff}	ضریب کوپلینگ
L	ضریب اندوکتانس
l	طول تیر
M_i	جرم تعمیم یافته در مد i ام
N	تعداد دور سیم پیچ
P_{eff}	توان مؤثر
P_{Max}	توان ماکزیمم
Q	بار الکتریکی
$q_i(t)$	تابع زمانی سیستم در مد i ام
R_L	مقاومت بار
S^H	ضریب نرمی مت گلاس در میدان مغناطیسی ثابت
S_{11}^E	ضریب نرمی پیزوالکتریک در میدان الکتریکی ثابت
t	زمان
t_b	ضخامت تیر
t_M	ضخامت مت گلاس
t_P	ضخامت پیزوالکتریک
U_b	انرژی کرنشی تیر
U_M	انرژی کرنشی مت گلاس
U_P	انرژی کرنشی پیزوالکتریک

$u(x,t)$	ارتعاشات عرضی تیر
V_M	ولتاژ مت گلاس
V_P	ولتاژ پیزوالکتریک
V_{OC}	ولتاژ مدار باز
X_C	امپدانس خازنی
X_L	امپدانس سلفی

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه، به طور اجتناب ناپذیری تعداد افرادی که تجهیزات الکترونیکی قابل حمل را استفاده می کنند روز به روز در حال افزایش است. این ابزار توانایی باور نکردنی در حل مشکل ارتباطات را دارا هستند. اما برخلاف سرعت پیشرفت وسایل الکترونیکی، باتری ها و تجهیزات ذخیره ی انرژی، پیشرفت قابل توجهی نداشته اند. پیشرفت های جدید سبب کوچک شدن تجهیزات الکترونیکی شده اما باتری هانه تنها در همان اندازه های سابق مانده اند بلکه برخی مواقع برای تأمین انرژی مورد نیاز، تجهیزات قابل حمل بزرگتر شده اند. علاوه بر موارد فوق تامین انرژی از منبع مستقیم، مشکلاتی چون سیم های اتصالی، تعمیر و نگهداری و طول عمر کوتاه منبع تامین انرژی و...رابه همراه دارد. از همه مهم تر در برخی کاربردهای حیاتی، مثل قلب انسان استفاده از باتری ها و منابع انرژی با توجه به طول عمر محدودشان خطر زیادی در بر دارد. این مشکلات و نیز انگیزه ی استفاده از انرژی های هدر رونده، تحقیقات اخیر را به سمت برداشت انرژی الکتریکی از انرژی محیط سوق داده است. از جمله ی این انرژی ها، انرژی ارتعاشی محیط است. پیزوالکتریک[1] ها ومگنتواستریکتیو[2]ها موادی هستندکه دراثرکرنش وتغییرشکل ناشی از ارتعاش تولید انرژی الکتریکی می کنند. تحقیقات زیادی درمورد برداشت انرژی ازپیزوالکتریک ها صورت گرفته است. درسال های اخیرنیزبرداشت انرژی ازمگنتواستریکتیوها مورد توجه قرار گرفته است. مسئله ی مهم تاثیر روش استخراج انرژی تولید شده و تاثیر متغیرهای حاکم بر مسئله بر میزان انرژی تولید شده می باشد. در این پایان نامه برداشت انرژی الکتریکی از ارتعاشات تیریک سرگیردار بالایه ی پیزوالکتریک و مگنتواستریکتیو به روش انرژی کرنشی وتاثیرضخامت، جنس، فرکانس تحریک و...بر میزان انرژی برداشت شده مورد بررسی قرار گرفته است.

[1] Piezoelectric
[2] Magnetostrictive

۱-۲- مواد هوشمند در تبدیل انرژی

گروهی از مواد که در تبدیل انرژی به کار می روند مواد هوشمند هستند. پیزوالکتریک ها و مگنتواستریکتیوها دو دسته از مواد هستند که در این پروژه از آنها برای برداشت انرژی استفاده می شود. مواد پیزو الکتریک بیشترین توسعه و مطالعه را از مواد هوشمند به خود اختصاص داده است. این گونه مواد در حضور میدان الکتریکی دچار تغییر شکل می شوند(اثر معکوس پیزو الکتریک) و برعکس هنگامی که دچار تغییر شکل می شوند بار الکتریکی تولید می کنند(اثر مستقیم). اثر معکوس پیزو الکتریک در عملگر[۱]ها و اثر مستقیم آن در حسگر[۲]ها به کار می رود. پیزو الکتریک هادر فرم های مختلف شامل تک کریستال ها[۳] و پیزو سرامیک ها مانند تیتانات زیرکونات باریم[۴] و یا به صورت لایه ی نازک از مواد پلیمری مانند پلی وینیلایدن فلوراید[۵] موجود هستند. پیزو الکتریک ها هم به عنوان حسگر و هم به عنوان عملگر به کار می روند. آن ها حجم زیادی نداشته و به راحتی با سیستم های میکرو الکترو مکانیکی[۶] سازگاری دارند. با این حال خواص پیزوالکتریک با طول عمر، میزان تنش و دما تغییر می کند. طول عمر با میزان تنش اعمال شده به پیزوالکتریک متغیر است. دما نیز این محدودیت را دارد که باید زیر دمای کوری باشد. به دلیل آنکه بسیاری از پیزو الکتریک ها با ولتاژ بالایی پلاریزه می شوند، دپلاریزه شدن آنها بعد از کاربرد طولانی اتفاق می افتد. سرامیک های پیزو الکتریک بسیار شکننده هستند و نمی توانند کرنش زیادی را تحمل کنند[۳].

مواد مگنتو استریکتیو[۷] گروهی از مواد هوشمند هستند که وقتی در معرض میدان مغناطیسی قرار می گیرند تغییر شکل می دهند. اثر مگنتو استریکتیو یا اثر ژول[۸] بیان می کند وقتی که میدان مغناطیسی در یک جهت به ماده اعمال می شودتغییر شکل در همان جهت رخ می دهد. این چنین خصوصیتی در طراحی عملگرها به کار می رود. برعکس وقتی که در معرض تغییر شکل قرار می گیرد خاصیت مغناطیسی آن تغییر می کند که از این اثر با عنوان اثر ویلاری[۹] یا اثر معکوس مگنتو استریکتیو یاد می کنند و از این اثر در برداشت انرژی و کاربردهای حسگری استفاده می شود. به عبارت دیگر با تبدیل میدان مغناطیسی و مکانیکی به یکدیگر توسط مواد مگنتو استریکتیو مکانیزمی را می توان ساخت که هم به عنوان حسگر و هم به عنوان عملگر بتوان از آن بهره برد. اغلب مواد مگنتو استریکتیو مانند کبالت، آهن، نیکل، فریت و ... از خود اثر ویلاری نشان می دهند اما این اثر ضعیف تر از آن است که بتوان از این عناصر در برداشت انرژی و حسگر

[1] Actuator
[2] Sensor
[3] Single Crystal
[4] PZT
[5] PVDF
[6] MEMS
[7] MsM
[8] Joule effect
[9] Villari effect

استفاده کرد. به همین منظور دو ماده ی مگنتو استریکتیوی که اثر ویلاری قابل توجهی داشتند، به نام های ترفنول-دی[1] [۴] و مت گلاس[2]یا ساخته شدند[۵]. در مقایسه با مواد پیزو الکتریک، مگنتواستریکتیو ها احتیاج به پلاریزه شدن ندارند زیرا مگنتو استریکشن[3] یک خاصیت ذاتی است. بنابراین این مواد با گذشت زمان و در سیکل های ارتعاشاتی خاصیت خود را حفظ می کنند در نتیجه برای کاربردهای با زمان طولانی قابل اعتمادترند. مت گلاس بسیار انعطاف پذیر است به گونه ای که برعکس پیزوالکتریک می تواند ارتعاشات قوی را تحمل کند. علاوه بر موارد ذکر شده، مگنتو استریکتیو ها نسبت به پیزو الکتریک ها ضریب کوپلینگ بالایی دارند که به عنوان مثال برای مت گلاس بزرگتر از ۰/۹ وبرای(PZT) بین ۰/۳ تا ۰/۴ است[۶]. قابل ذکر است که مواد مگنتواستریکتیو در محدوده ی دمایی بزرگتری قابل استفاده هستند. دمای کوری[4] برای مت گلاس ۳۷۰ درجه ی سانتی گراد در حالی که برای پیزو الکتریک (PZT-5H)حدود ۲۳۰ درجه ی سانتی گراد است[۷].

۱-۳- ذخیره ی انرژی

باتری های غیر قابل شارژ بدون داشتن ساختمان الکترونیکی پیچیده خروجی ولتاژ یکنواخت دارند و در سنسورهای بی سیم به کار می روند. طبق جدول (۱-۱) باتری اکسید روی بالاترین چگالی انرژی در میان باتری های غیر قابل شارژ را دارا هستند اما عمر محدودی دارند و باتری های لیتیم چگالی انرژی و دوام بالایی دارند اما بسیار گران هستند. باتری های قابل شارژ نیز معمولا" برای ابزار الکترونیکی مثل موبایل، لپ تاپ ، دوربین عکاسی و ... به کار می روند. خود باتری های قابل شارژ نیاز به منبع خارجی جداگانه ای دارند. تجهیزات الکترونیکی بسته به شرایط مختلف در زمینه ی ولتاژ و ماکزیمم جریان، باتری های مختلفی را نیاز دارند. قابل ذکر است که با شارژ کردن مکرر، عمر شارژ کاهش می یابد[۸].

جدول۱-۱: چگالی انرژی و ولتاژ باتری ها[۸]

	Primary battery			Rechargeable battery		
	Zinc-air	Lithium	Alkaline	Lithium-ion	NiMHd	NiCd
Energy density (J/cm^3)	3780	2880	1200	1080	860	650
Voltage (V)	1.4	3.0~4.0	1.5	3.0	1.5	1.5

پیشرفت جدید در باتری های قابل شارژ الکترو شیمیایی نازک سبب یافتن منبع انرژی مناسبی برای سنسور های بی سیم شد[۹]. این باتری ها ساختاری شبیه خازن دارند و شامل آند، کاتد و الکترولیت غیر فرار

[1]Terfenol-D or $Tb_{0.3}Dy_{0.7}Fe_{1.9-2}$
[2]Metglas 2605SC or $Fe_{81}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$
[3]Magnetostriction
[4]Curie Temperature