

بِسْمِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابداعات و  
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه  
متعلق به دانشگاه رازی است.



دانشگاه رازی

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

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

**عنوان پایان نامه**

**برداشت هیبریدی انرژی ارتعاشی محیط توسط مواد پیزو الکتریک و**

**مگنتواستریکتیو به روش پالس سویچینگ**

استاد راهنما:

دکتر صابر محمدی

استاد مشاور:

دکتر اکرم خدایاری

نگارش:

سمیه حیدری زید علی

مهرماه ۱۳۹۲



دانشگاه رازی

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

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

نام دانشجو

سمیه حیدری زیدعلی

تحت عنوان :

**برداشت هیبریدی انرژی ارتعاشی محیط توسط مواد پیزو الکترونیک و مگنتواستریکتیو  
به روش پالس سویچینگ**

در تاریخ      توسط داوران بررسی و با درجه      به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما	دکتر صابر محمدی	بامرتبه استادیار
۲- استاد مشاور	دکتر اکرم خدایاری	بامرتبه استادیار
۳- استاد داور داخل گروه	دکتر محمد حسین یاس	با مرتبه استاد تمام
۴- استاد داور داخل گروه	دکتر سعید فعلی	با مرتبه دانشیار

## تقدیر و شکر

خدای عزیز را شاکرم که همواره مرا در تمام مراحل زندگی یاری نموده است. به‌مخنین از جناب آقای دکتر محمدی که در طول انجام این پایان نامه از هر گونه زحمتی دریغ ننمودند کمال شکر و قدردانی را دارم.

((تقدیم اثر))

پدر و مادر عزیزم، شمعهایی که عاشقانه می سوزند، تا شمع را هم شوند.

و

تقدیم به روح پرفروش شهدا، آنان که میهن را از عزیزانشان عزیزتر داشتند.

همچنین تمامی کسانی که مراد این پایان نامه یاری نمودند.

## چکیده

هدف از این تحقیق برداشت هیبریدی انرژی از ارتعاشات محیط توسط دو ماده پیزو الکتریک و مگنتو استریکتیو به روش پالس سویچینگ است. برای این کار تیریک سر گیرداری با لایه هیبریدی پیزو الکتریک و مگنتواستریکتیو با در نظر گرفتن اثرات میرایی بررسی شده است. در نظر گرفتن اثرات میرایی الکتریکی، مکانیکی و مغناطیسی ماکزیمم توان برداشتی را از ارتعاشات تیربدست می دهد. تحت تحریک پایه، در ماده پیزو الکتریک ولتاژ الکتریکی و در ماده مگنتو استریکتیو میدان مغناطیسی ایجاد شده و توسط سیم پیچ گیرنده ای، این میدان مغناطیسی موجب جریان القایی در سیم پیچ شده است. استخراج توان توسط روش پالس سویچینگ (SSHI) مورد مطالعه واقع شده است. برداشت توان در این روش بر پایه سویچ کردن در هر اکسترمم جابجایی تیر قرار داده شد. سویچ در محلی غیر از جابجایی ماکزیمم منجر به کاهش توان تولیدی شده است. بنابراین برای تخمین محل جابجایی ماکزیمم از روش آماری بر پایه پنجره لغزان زمانی استفاده شده است. نتایج نشان داد، این روش نتیجه موثرتری در افزایش توان نسبت به روش استاندارد DC دارد. همچنین اثر پارامترهای مختلف از جمله ضخامت، مقاومت بار معادل، تعداد دورهای سیم پیچ، فرکانس تحریک پایه مورد بررسی قرار داده و مقادیر بهینه هر یک در تولید توان ماکزیمم بدست آمده است. ماکزیمم توان استخراج شده در مد اول و برای فلز فولادبدست آمده و مقدار آن در تیر هیبریدی دارای بیشترین مقدار و حدوداً  $61/7617$  میلی وات برآورد شده است. این توان در مقایسه با توان های استخراج شده از هر یک از مواد پیزو الکتریک و مگنتو استریکتیو به طور جداگانه که به ترتیب  $55/959$  و  $26/9177$  میلی وات بدست آمده، بیشتر است. همچنین ماکزیمم توان استخراج شده برای فلز فولاد و در فرکانس اصلی مد اول صرفه نظر از هرگونه میرایی مکانیکی، مغناطیسی و الکتریکی  $151/0350$  میلی وات بدست آمده، و سهم تلفات مکانیکی  $90/623$  و مجموعه تلفات الکتریکی و مغناطیسی  $1/7$  میلی وات برآورد شده است. نتایج در فرکانس روزنانس و در سه مد اصلی اول، دوم و سوم تیر برای سه فلز فولاد، مس و آلومینیوم مورد ارزیابی قرار داده شد، نتایج عددی مربوط به ماده مگنتو استریکتیو مورد اعتبارسنجی قرار داده شد که توان برداشتی از این روش  $15/43$  برابر بیشتر از توان در حالت استاندارد DC شده است.





۴۶-۱۳-۲- محاسبه توان برداشتی در مواد مگنتواستریکتیو.....

### فصل سوم: برداشت انرژی محیط توسط مواد مگنتواستریکتیو و پیزوالکتریک به روش پالس

#### سویچینگ

۵۰-۱-۳- نتایج حل عددی برای مواد مگنتواستریکتیو.....

۵۲-۲-۳- نتایج حل عددی مربوط به مواد پیزوالکتریک.....

۷۶-۳-۳- برداشت همبریدی انرژی توسط مواد مگنتواستریکتیو و پیزوالکتریک.....

#### فصل چهارم: نتیجه گیری

۹۰-۱-۴- نتیجه گیری.....

۹۲-۲-۴- پیشنهادات.....

۹۴- منابع.....

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- تولید توان از انقباض و انبساط قفسه سینه سگ [ ۲ ]	۳
شکل ۱-۲- (الف) تحلیل تئوری و (ب) آزمایشی برداشت انرژی از بدن انسان [ ۵ ]	۴
شکل ۱-۳- (الف) ژنراتور پیزو الکتریک برای تامین توان لامپ [ ۶ ] (ب) میکرو ماشین بکار رفته در کاربردهای ماشین [ ۷ ] (ج) تولید توان از چرخ قطار شهری [ ۸-۹ ] (د) تولید توان از انگشت شصت [ ۱۰ ]	۵
شکل ۱-۴- شماتیکی از مبدل الکترو مغناطیس [ ۱۳ ]	۷
شکل ۱-۵- شماتیکی از مبدل الکترو استاتیک در برداشت انرژی از ارتعاشات افقی [ ۱۸ ]	۸
شکل ۱-۶- نحوه قرار گیری یونهای پیزو الکتریک [ ۲۱ ]	۹
شکل ۱-۷- مدار استاندارد AC مگنتو استریکتیو	۱۱
شکل ۱-۸- مدار استاندارد DC مگنتواستریکتیو [ ۳۱ ]	۱۱
شکل ۱-۹- مدار استاندارد DC پیزو الکتریک [ ۳۱ ]	۱۲
شکل ۱-۱۰- مدار پالس سویچینگ [ ۳۱ ]	۱۳
شکل ۱-۱۱- نصب آزمایشی [ ۳۶ ]	۱۶
شکل ۱-۱۲- شماتیکی از شکل تیرهیبریدی پیزو الکتریک و الکترو مغناطیس [ ۴۰ ]	۱۷
شکل ۱-۲- رفتار ماده پیزو الکتریک [ ۲۱ ]	۲۲
شکل ۲-۲- پلاریزاسیون ماده سرامیک در تولید اثر پیزو الکتریک [ ۲۱ ]	۲۳
شکل ۲-۳- نمودار پلاریزاسیون مبدل پیزو الکتریک [ ۲۱ ]	۲۴
شکل ۲-۴- خاصیت مغناطیسی پسماند در مواد مگنتو استریکتیو [ ۴۶ ]	۳۲
شکل ۲-۵- تر فنول - د به فرم جامد (a) ، پودر (b) [ ۳۶ ]	۳۳
شکل ۲-۶- مواد Metglas ۲۶۰۵SC [ ۳۶ ]	۳۳
شکل ۲-۷- (الف) ایجاد ممان های مغناطیسی توسط حرکت الکترون‌ها [ ۴۷ ] ، (ب) (a) جهت های اتفاقی گشتاور های مغناطیسی بدون نیروی خارجی (b) ممان های هماهنگ شده تحت میدان مغناطیسی خارجی [ ۴۸ ]	۳۵
شکل ۲-۸- آنیل کردن ماده Metglas 2605SC [ ۴۹ ]	۳۶
شکل ۲-۹- (الف) نمای بالا از لایه مگنتو استریکتیو با سیم پیچیده شده دور آن [ ۳۶ ] ، (ب) مدل تیر در برداشت انرژی ارتعاشی	۳۷
شکل ۲-۱۰- (الف) مدل مکانیکی جرم و فنر و دمپینگ تیر ، (ب) هندسه المان تیر در نمای عرضی [ ۳۶ ]	۳۸
شکل ۲-۱۱- شماتیکی از مدار الکتریکی هم ارز برداشت کننده انرژی به روش پالس سویچینگ برای مواد پیزو الکتریک [ ۴۱ ]	۴۲
شکل ۲-۱۲- تیر یک سر گیردار مجهز به لایه مگنتواستریکتیو [ ۴۱ ]	۴۴
شکل ۲-۱۳- شماتیکی از مدار الکتریکی هم ارز برداشت کننده انرژی به روش پالس سویچینگ برای مواد مگنتواستریکتیو [ ۴۱ ]	۴۵
شکل ۳-۱- شماتیکی از وضعیت نصب کردن متالیک گلاس به مدار DC [ ۳۶ ]	۵۰

- شکل ۲-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده فرکانس مد اول برای سه فلز (الف) فولاد، (ب) مس و (ج) آلومینیوم..... ۵۴
- شکل ۳-۳- تغییرات توان برداشتی در محدوده تغییرات فرکانس مداول (الف) فولاد، (ب) مس و (ج) آلومینیوم با لایه پیزو الکتریک..... ۵۵
- شکل ۴-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده فرکانس مد دوم برای سه فلز (الف) فولاد، (ب) مس و (ج) آلومینیوم با لایه مگنتواستریکتیو..... ۵۶
- شکل ۵-۳- تغییرات توان برداشتی در محدوده تغییرات فرکانس مد دوم (الف) فولاد، (ب) مس و (ج) آلومینیوم با لایه پیزو الکتریک..... ۵۷
- شکل ۶-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده فرکانس مد سوم برای سه فلز (الف) فولاد، (ب) مس و (ج) آلومینیوم..... ۵۸
- شکل ۷-۳- تغییرات توان برداشتی در محدوده تغییرات فرکانس مد سوم (الف) فولاد، (ب) مس و (ج) آلومینیوم با لایه پیزو الکتریک..... ۵۹
- شکل ۸-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات مقاومت بار برای فرکانس تحریک مد اول با لایه مگنتواستریکتیو..... ۶۰
- شکل ۹-۳- تغییرات ولتاژ بر حسب تغییرات مقاومت بار در فرکانس تحریک مداول با لایه مگنتواستریکتیو..... ۶۱
- شکل ۱۰-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات مقاومت بار برای فرکانس تحریک مداول با لایه پیزو الکتریک..... ۶۲
- شکل ۱۱-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات مقاومت بار در فرکانس تحریک مد دوم با لایه مگنتواستریکتیو..... ۶۲
- شکل ۱۲-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات مقاومت بار در فرکانس تحریک مد دوم با لایه پیزو الکتریک..... ۶۳
- شکل ۱۳-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات مقاومت بار فرکانس تحریک مد سوم با لایه مگنتواستریکتیو..... ۶۴
- شکل ۱۴-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات مقاومت برای فرکانس تحریک مد سوم..... ۶۵
- شکل ۱۵-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات ضخامت برای فرکانس تحریک مد اول با لایه مگنتواستریکتیو..... ۶۶
- شکل ۱۶-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات ضخامت برای فرکانس تحریک مداول با لایه پیزو الکتریک..... ۶۶
- شکل ۱۷-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات ضخامت برای فرکانس تحریک مد دوم با لایه مگنتواستریکتیو..... ۶۷
- شکل ۱۸-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات ضخامت برای فرکانس تحریک مد دوم..... ۶۸
- شکل ۱۹-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات ضخامت برای فرکانس تحریک مد سوم با لایه مگنتواستریکتیو..... ۶۸
- شکل ۲۰-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات ضخامت برای فرکانس تحریک مد سوم با لایه پیزو الکتریک..... ۶۹
- شکل ۲۱-۳- تغییرات توان برداشتی بر حسب تغییرات تعداد دورها برای مد اول..... ۷۰

- شکل ۳-۲۲- تغییرات توان برداشتی برحسب تغییرات تعداد دورها برای مددوم.....۷۱
- شکل ۳-۲۳- تغییرات توان برداشتی برحسب تغییرات تعداد دورها برای مدسوم.....۷۱
- شکل ۳-۲۴- تغییرات جریان تولیدی برحسب تغییر مکان نسبت به انتهای تیردر فرکانس تحریک مد اول با لایه مگنتواستریکتیو.....۷۲
- شکل ۳-۲۵- تغییرات ولتاژ تولیدی پیزو الکتریک برحسب تغییر مکان انتهای تیر.....۷۳
- شکل ۳-۲۶- تغییرات جریان تولیدی برحسب تغییر مکان نسبت به انتهای تیردر فرکانس تحریک مد دوم.....۷۳
- شکل ۳-۲۷- تغییرات ولتاژ تولیدی پیزو الکتریک برحسب تغییر مکان انتهای تیر.....۷۴
- شکل ۳-۲۸- تغییرات جریان تولیدی برحسب تغییر مکان نسبت به انتهای تیردر فرکانس تحریک مد سوم.....۷۵
- شکل ۳-۲۹- تغییرات ولتاژ تولیدی پیزو الکتریک برحسب تغییر مکان انتهای تیر.....۷۵
- شکل ۳-۳۰- تغییرات توان برداشتی برحسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده ی مد اول برای فولاد.....۷۹
- شکل ۳-۳۱- تغییرات توان برداشتی برحسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده ی فرکانس مد اول برای فلز مس.....۸۰
- شکل ۳-۳۲- تغییرات توان برداشتی برحسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده ی فرکانس مداول برای فلز آلومینیوم.....۸۱
- شکل ۳-۳۳- تغییرات توان برداشتی برحسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده ی مد دوم برای فولاد.....۸۲
- شکل ۳-۳۴- تغییرات توان برداشتی برحسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده ی فرکانس مددوم برای فلز مس.....۸۳
- شکل ۳-۳۵- تغییرات توان برداشتی برحسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده ی فرکانس مددوم برای فلز آلومینیوم.....۸۴
- شکل ۳-۳۶- تغییرات توان برداشتی برحسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده ی فرکانس مد سوم برای فلز فولاد.....۸۵
- شکل ۳-۳۷- تغییرات توان برداشتی برحسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده ی فرکانس مدسوم برای فلز مس.....۸۶
- شکل ۳-۳۸- تغییرات توان برداشتی برحسب تغییرات فرکانس تحریک در محدوده ی مد سوم برای آلومینیوم.....۸۷

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۸	جدول ۱-۱- مزایا و معایب انواع مبدل‌ها.....
۲۹	جدول ۱-۲- تعریف پارامترهای به کار رفته.....
۳۴	جدول ۲-۲- مقایسه ای بین پیزو الکترونیک و مگنتو استریکتیو.....
۵۰	جدول ۱-۳- مشخصات سازه مورد مطالعه.....
۵۰	جدول ۲-۳- مشخصات ماده مگنتو استریکتیو.....
۵۱	جدول ۳-۳- پارامترهای مدل سیستم در نظر گرفته شده برای فلز فولاد.....
۵۱	جدول ۴-۳- پارامترهای مدل سیستم در نظر گرفته شده برای فلز مس.....
۵۱	جدول ۵-۳- پارامترهای مدل سیستم در نظر گرفته شده برای فلز آلومینیوم.....
۵۲	جدول ۶-۳- مشخصات سازه مورد مطالعه.....
۵۲	جدول ۷-۳- مشخصات ماده پیزو الکترونیک.....
۵۳	جدول ۸-۳- پارامترهای مدل سیستم در نظر گرفته شده برای فلز فولاد با لایه پیزو الکترونیک.....
۵۳	جدول ۹-۳- پارامترهای مدل سیستم در نظر گرفته شده برای فلز مس با لایه پیزو الکترونیک.....
۵۳	جدول ۱۰-۳- پارامترهای مدل سیستم در نظر گرفته شده برای فلز آلومینیوم با لایه پیزو الکترونیک.....
۷۶	جدول ۱۱-۳- مشخصات سازه مورد مطالعه.....
۷۷	جدول ۱۲-۳- پارامترهای مدل سیستم در نظر گرفته شده برای فلز فولاد.....
۷۷	جدول ۱۳-۳- پارامترهای مدل سیستم در نظر گرفته شده برای فلز مس.....
۷۸	جدول ۱۴-۳- پارامترهای مدل سیستم در نظر گرفته شده برای فلز آلومینیوم.....
۸۷	جدول ۱۵-۳- مقادیر بهینه ی مقاومت و ضخامت در سه فرکانس مد اصلی تیربرای فلز فولاد.....
۸۷	جدول ۱۶-۳- مقادیر بهینه ی مقاومت و ضخامت در سه فرکانس مد اصلی تیربرای فلز مس.....
۸۸	جدول ۱۷-۳- مقادیر بهینه ی مقاومت و ضخامت در سه فرکانس مد اصلی تیربرای فلز آلومینیوم.....
۸۸	جدول ۱۸-۳- ماکزیمم توان برداشتی در سه فرکانس مد اصلی تیربرای فلز فولاد.....
۸۸	جدول ۱۹-۳: ماکزیمم توان برداشتی در سه فرکانس مد اصلی تیربرای فلز مس.....
۸۸	جدول ۲۰-۳: ماکزیمم توان برداشتی در سه فرکانس مد اصلی تیربرای فلز آلومینیوم.....

## فهرست علائم

مفهوم

علائم

$\Phi_B$	شار مغناطیسی
$t_p$	ضخامت المان پیزو الکتریک
$t_m$	ضخامت المان مگنتو استریکتیو
$L$	طول المان پیزو الکتریک، مگنتو استریکتیو و تیر
$t_s$	ضخامت تیر
$A_p$	سطح کلی المان پیزو الکتریک
$A_m$	سطح کلی المان مگنتو استریکتیو
$h_m$	فاصله لایه مگنتو استریکتیو تا محور خنثی
$h_p$	فاصله لایه پیزو الکتریک تا محور خنثی
$\sigma$	تنش
$S$	کرنش
$D$	جابجایی الکتریکی
$\epsilon_{33}/\epsilon_0$	قابلیت گذردهی المان پیزو الکتریک
$d$	ثابت پیزو الکتریک
$Q$	شارژ الکتریکی خروجی
$\bar{E}$	میدان الکتریکی
$K_{pei}$	سختی سیستم معادل مدار باز
$K_{dei}$	سختی سیستم معادل مدار بسته
$C_p$	ظرفیت کلی پیزو الکتریک در حالت کرنش ثابت
$E^{\bar{E}}$	مدول یانگ تحت میدان مغناطیسی ثابت
$F_p$	نیروی حاصل از المان پیزو الکتریک
$\alpha$	ضریب نیروی پیزو الکتریک
$K$	ضریب کوپلینگ
$V$	ولتاژ الکتریکی
$H$	میدان مغناطیسی
$B$	چگالی شار میدان مغناطیسی
$S^H$	ثابت الاستیک تحت میدان مغناطیسی ثابت

مفهوم	علائم
نفوذپذیری تحت تنش ثابت.....	$\mu^\sigma$ .....
ضریب مگنتواستریکتیو.....	$d$ .....
مدول یانگ ماده مگنتواستریکتیو تحت میدان مغناطیسی ثابت.....	$E^H$ .....
جابجایی مکانیکی.....	$u(x, t)$ .....
چگالی جرمی واحد طول ماده مگنتواستریکتیو.....	$\rho_m$ .....
چگالی جرمی واحد طول ماده پیزوالکتریک.....	$\rho_p$ .....
ضریب استهلاک واحد طول.....	$C$ .....
مختصات مدال.....	$r(t)$ .....
تعداد دور سیم پیچ گیرنده .....	$N$ .....
ضریب کیفیت کلی.....	$Q_m$ .....
جریان الکتریکی .....	$i$ .....
جرم تعمیم یافته .....	$M$ .....
مدول یانگ پیزوالکتریک .....	$E_p$ .....
مدول یانگ پیزوالکتریک.....	$E_m$ .....
ممان اینرسی سطح مقطع عرضی المان پیزوالکتریک .....	$I_p$ .....
ممان اینرسی سطح مقطع عرضی المان پیزوالکتریک .....	$I_m$ .....
تحریک خارجی .....	$\ddot{y}_b(t)$ .....
ضریب القاکنندگی سلف.....	$L_m$ .....
مقاومت الکتریکی معادل بار.....	$R$ .....

# فصل اول

مروری بر تاریخچه ی برداشت انرژی



## ۱-۱- مقدمه

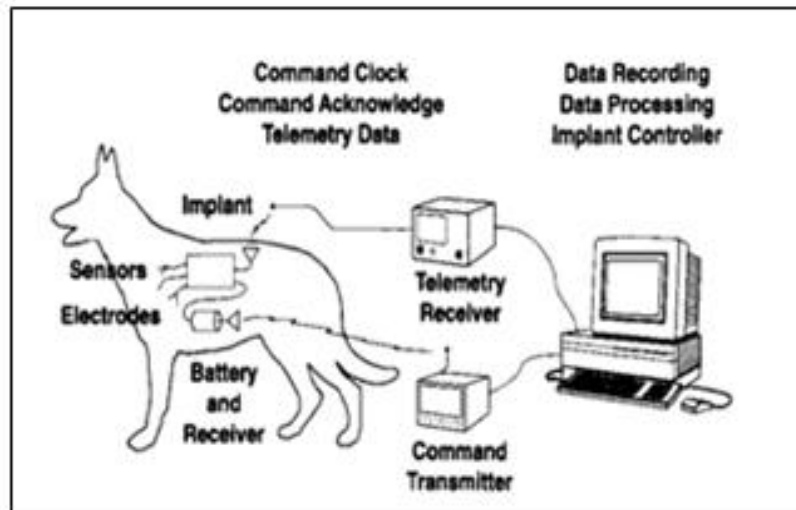
تحقیقات اخیر پیشرفت هایی در زمینه ی بکارگیری سنسورها و شبکه های بی سیم در حوزه ی کنترل وضعیت سازه ایجاد کرده است. شبکه های سنسور بی سیم می توانند از راه دور وضعیت سازه را اطلاع دهند، پیکره بندی سازه را با حذف اتصال از طریق سیم، ساده کنند و همچنین هزینه تعمیرات را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهند. علاوه بر این مزیت شبکه های سنسور بی سیم مقیاس پذیری شبکه و افزایش قابل توجه توانایی استقرار سنسورها در طیف وسیعی از شرایط محیطی است. بنابراین می توان امیدوار بود که، در آینده شاهد موفقیت شبکه های سنسور بی سیم در کنترل وضعیت سازه هواپیما ها، اندازه گیری فشار تایر اتومبیل ها، ردیابی کوچ حیوانات، نظارت بر امنیت ساختمان ها و غیره باشیم. وابستگی تجهیزات سنسورهای شبکه ی بی سیم به انرژی و تامین انرژی مورد نیاز آنها، یک مسئله ی حیاتی است. باتری های شیمیایی راه حل مناسبی برای بکارگیری در سیستم ها نیستند. زیرا اندازه آنها حجیم است و عمر محدودی دارند. در چند دهه اخیر به دنبال معایب زیاد باطری ها از جمله عمر محدود، حجیم و خطرناک بودن مواد شیمیایی، نیاز به تعمیر و نگهداری، به اتمام رسیدن عمر آن ها بدون دادن هر گونه علائم هشدار دهنده ای به کاربر و فرایند پیچیده بازیافت آنها به چرخه، دانشمندان و محققان را براین داشت که تحقیقات و پژوهش های علمی گسترده ای انجام دهند. این تحقیقات در زمینه منابعی که خود تامین کننده توان مصرفی خود باشند، با استفاده از منابع رایگان، در دسترس و نامحدود از جمله انرژی جنبشی، حرارتی، تابشی و تبدیل آن به انرژی الکتریکی قابل دسترس انجام گرفت. این انرژی از محیط که به طور معمول تلف می شود، بازیافت شده و برای تامین انرژی سنسور های بی سیم مورد استفاده قرار می گیرد. این روش به طور قابل ملاحظه ای عمر عملیات سنسور شبکه ی بی سیم را افزایش می دهد و به جرات می توان گفت طول عمر آن را تقریباً ابدی می نماید. انرژی های محیط را می توان توسط سیستم های الکترو مغناطیسی، الکترو استاتیکی و مواد هوشمندی همچون پیزو الکتریک ها و مگنتواسترکتیوها به انرژی قابل برداشت تبدیل کرد. این انرژی تولید شده را می توان در سنسورها استفاده نمود [۱۸-۱].

## ۱-۲- اصل برداشت انرژی

برداشت انرژی رامی توان به صورت تبدیل انرژی های محیط مانند ارتعاشات، دما، نور، فرکانس رادیویی و غیره توسط مواد و سازه ها به انرژی الکتریکی قابل استفاده تعریف نمود. در سیستم های قابل حمل و در هر سنسور بی سیم برای تامین انرژی الکتریکی به منبع تامین کننده آن انرژی نیازمندیم. در بسیاری از سیستم ها این انرژی توسط باتری ها تامین می شود. باتری ها با گذشت زمان فرسوده می شوند بنابراین جایگزینی منظم آن ها بخشی جدایی ناپذیر از تعمیرات آن ها است [۱]. همانطور که گفته شد اصل برداشت انرژی، به برداشت انرژی از محیط، از جمله انرژی تابشی مانند انرژی خورشیدی یا تابش رادیو فرکانسی<sup>۱</sup> و نور، انرژی جنبشی مانند ارتعاشات مکانیکی و انرژی گرمایی مانند حرارت بدن انسان برمیگردد. در این راستا تحقیقاتی صورت گرفت که از جمله آن می توان به موارد زیر اشاره نمود.

### ۱-۲-۱- مروری بر تاریخچه برداشت انرژی

یکی از نخستین مطالعات برداشت انرژی در سال ۱۹۸۴ توسط هوسلر و استن<sup>۲</sup> بر قابلیت تولید انرژی از انقباض و انقباض قفسه سینه سگ در طول نفس کشیدن انجام گرفت. مدل سیستم برداشت توان با استفاده از فیلم PVDF ساخته شده بود و روی قفسه سینه سگ کار گذاشته شد. این مدل ۱۷ میلی وات توان تولید کرد [۲].

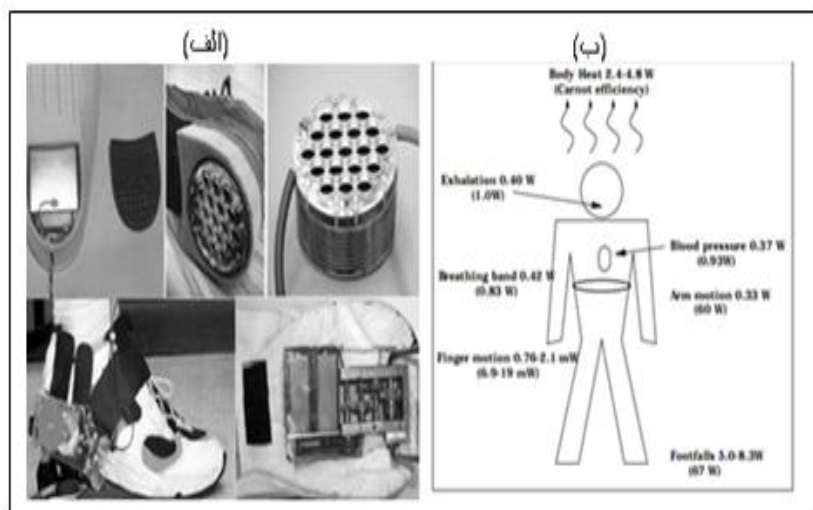


شکل ۱-۱: تولید توان از انقباض و انقباض قفسه سینه سگ [۲].

یکی از نخستین تحقیقات جهت تحقق مدار ذخیره توان در سال ۱۹۹۶ توسط استارنر و پارادیسو<sup>۳</sup> صورت گرفت. او از مواد پیزو الکتریک برای برداشت منابع انرژی موجود در بدن انسان مانند حرکت لب و

1. Radio Frequency  
2. Hausler, E. and Stein, E  
3. Thad Starner, Joseph A. Paradiso

انگشت ها استفاده کرد. بعلاوه ایده استفاده از خازن و باتری قابل شارژ برای برداشت توان با مزایا و معایبشان بحث شده است. همین محققان مطالعات خود را بر برداشت انرژی از بدن انسان قرار دادند و در سال ۲۰۰۴ به تحلیل تئوری برداشت انرژی از حرارت بدن انسان، تنفس و همچنین فشار خون پرداختند. نتیجه مطالعات آنها حاکی از آن بود که برداشت انرژی از قدم زدن انسان می تواند در مقایسه با سایر منابع عملی تر و موثر تر باشد. آنها نشان دادند که المان پیزو الکتریک<sup>۱</sup> جاسازی شده درون کفش، با بازدهی تبدیل انرژی در حدود ۱۲.۵٪ می تواند انرژی به میزان ۸/۴ وات برسد [۳-۴]. کیمیسیس<sup>۲</sup> و همکارانش، به توسعه برداشت انرژی از حرکت بدن انسان پرداختند. تحقیقات آن ها نشان داد به کمک المان پیزو الکتریک که زیر پاشنه ی پا قرار داده شده اند ۸/۳ میلی وات و برای المان های PVDF که زیر انگشت های پا جاسازی شده اند، ۱/۳ میلی وات توان الکتریکی برداشت نمودند و در تغذیه ی یک فرستنده رادیویی مورد استفاده قرار دادند. آنها در مدار مورد استفاده از یک خازن برای ذخیره انرژی استفاده کردند و فرضیه تولید توان جهت تغذیه یک فرستنده رادیویی را به عنوان دری بر تحقیق در مورد سنسور های بی سیم باز کردند [۵]. برخی ساعت های مچی در حال حاضر به کمک انرژی جنبشی عمل می کنند که معروف به ساعت های خودکار می باشند. به هنگام حرکت دست انسان، المان مغناطیسی قرار گرفته شده در ژنراتور الکترو مغناطیسی تحریک شده، موجب تولید توان مورد نیاز می شود.



شکل ۱-۲: (الف) تحلیل تئوری و (ب) آزمایشی برداشت انرژی از بدن انسان [۵].

تولید ولتاژ الکتریکی توسط مبدل پیزو الکتریک در اثر کرنش مکانیکی جایگا های متفاوتی در صنعت دارد. با این ویژگی می توان به سنسور های کوچک استفاده شده در کفش، یا سنسور های الکتریکی متصل به موتور اتومبیل، دوچرخه و قطار شهری اشاره نمود.

1. Piezoelectric
2. Kymissis



شکل ۳-۱: (الف) ژنراتور پیزو الکتریک برای تامین توان لامپ [۶]. (ب) میکرو ژنراتور بکار رفته در خودرو [۷]. (ج) تولید توان از چرخ قطار شهری [۸-۹]. (د) تولید توان از انگشت شصت [۱۰].

### ۳-۱- انرژی جنبشی

انرژی جنبشی برای هر دو ابزار برداشت انرژی محیطی و انسانی یکی از قابل دسترس ترین منابع انرژی است. در این قسمت به معرفی انرژی ارتعاشی و معرفی مبدل های مختلف در برداشت انرژی ارتعاشی، مزایا و معایب آنها می پردازیم.

#### ۳-۱-۱- انرژی ارتعاشی محیط

ارتعاشات در بسیاری از محیط های اطراف ما از جمله ساختمان ها، بزرگراه ها، هواپیما ها، قطار ها و تاسیسات صنعتی وجود دارد. هر روزه ما با این منبع ارتعاشی در تماس هستیم. بنابراین با تولید انرژی از ارتعاش می توان گفت هیچ محدودیتی در دسترسی به منابع انرژی وجود ندارد و در هر جا و هر لحظه می توان به آن دست یافت.

به طور کلی، فرکانس و شتاب، دو پارامتر کلیدی برای سنجش منابع ارتعاش هستند. فرکانس تحریک ارتعاشات، بسته به منبع آن می تواند از چند هرتز تا چند صد هرتز متغیر باشد. بیشتر منابع ارتعاش شهری مانند موتور خودرو، مایکروویو و یا مخلوط کن آشپزخانه، فرکانس ارتعاش پایینی در حدود ۱۵۰ هرتز دارند و شتاب آنها معمولا کمتر از  $0.5g$  است. برای یک پل با طول زیاد فرکانس، کمتر از  $0.1$  هرتز و شتاب نیز