



دانشگاه تبریز

دانشکده مکانیک

گروه مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

عنوان

بررسی تأثیر پارامترهای هندسی برداشت‌کننده‌های انرژی پیزوالکتریکی بر میزان انرژی برداشت شده از ارتعاشات هارمونیک پایه با استفاده از روش اجزا محدود

استاد راهنما

دکتر کمال جهانی

استاد مشاور

دکتر مرتضی همایون صادقی

پژوهشگر

آرمان کیانپور

شهریور ۹۲

نام خانوادگی: کیانپور	نام: آرمان
<p align="center">عنوان پایان نامه: بررسی تأثیر پارامترهای هندسی برداشت‌کننده‌های انرژی پیزوالکتریکی بر میزان انرژی برداشت شده از ارتعاشات هارمونیک پایه با استفاده از روش اجزا محدود</p>	
استاد راهنما: دکتر کمال جهان	استاد مشاور: دکتر مرتضی همایون صادقی
<p>مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی مکانیک گرایش: طراحی کاربردی</p> <p>دانشگاه: تبریز دانشکده: فنی مهندسی مکانیک</p> <p>تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۱۳۹۲ تعداد صفحه: ۸۹</p>	
<p align="center">کلید واژه‌ها: برداشت‌کننده انرژی، پیزوالکتریک، المان محدود، ارتعاشات هارمونیک</p>	
<p align="center">چکیده</p> <p>با توجه به توسعه روز افزون سنسورهای الکتریکی و در خیلی از موارد، دور از دسترس بودن مکان‌های نصب آن‌ها، مسئله تامین انرژی مورد نیاز سنسورها بسیار حائز اهمیت می باشد یکی از راه‌های تغذیه سنسور ها، استفاده از باتری می باشد که به دلیل محدودیت‌هایی نظیر عمر کم و از کار افتادن باتری بدون هیچ نشانه قبلی و هزینه بالای تعویض باتری‌ها (به‌خصوص در موقعیت‌های دور از دسترس) و با در نظر گرفتن مصرف پایین سنسورها، استفاده از انرژی های محیطی مانند انرژی خورشیدی و انرژی ناشی از ارتعاشات محیط جهت تغذیه سنسور ها و یا شارژ باتری مورد توجه قرار گرفته است.</p> <p>در جاهایی که دسترسی به انرژی ناشی از تابش خورشید امکان ندارد و یا فقط در بازه محدود زمانی قابل استفاده است، بهره گیری از انرژی ناشی از ارتعاشات محیط بیشتر حائز اهمیت می‌باشد. از میان روش‌های برداشت انرژی از ارتعاشات (مثل الکترواستاتیکی، الکترومغناطیسی و پیزوالکتریکی) استفاده از مواد پیزوالکتریک به عنوان برداشت کننده انرژی بیشتر مورد توجه است اگر چه میزان تولید انرژی مواد پیزوالکتریک از سلول‌های خورشیدی کمتر می‌باشد.</p>	

در این پایان نامه تاثیر پارامترهای هندسی برداشت کننده انرژی پیزوالکتریکی بر میزان تولید توان الکتریکی با استفاده از تکنیک المان محدود (با استفاده از نرم افزار Ansys) بررسی شده و هندسه بهینه برداشت کننده انرژی پیزوالکتریکی ارائه شده است. منبع ارتعاشی در نظر گرفته شده در این کار مطالعاتی جهت تحریک برداشت کننده انرژی پیزوالکتریکی، ارتعاشات هارمونیک پایه ناشی از موتور هواپیمای بدون سرنشین می باشد. همچنین نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج تحلیلی و نتایج کارهای منتشر شده توسط دیگران مقایسه شده است.

فهرست عناوین

فصل اول	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ منابع انرژی محیطی	۳
۱-۲-۱ انرژی خورشید	۴
۲-۲-۱ انرژی باد	۴
۳-۲-۱ انرژی جریان آب	۴
۴-۲-۱ گرادیان دمایی	۵
۵-۲-۱ امواج آکوستیکی	۵
۶-۲-۱ ارتعاشات	۵
۷-۲-۱ مکانیزم‌های تبدیل انرژی ارتعاشی به انرژی الکتریکی	۷
۳-۱ مدل‌های تحلیلی برداشت‌کننده‌های انرژی پیزوالکتریکی	۱۱
فصل دوم	۱۵
۱-۲ پیزوالکتریسیته	۱۶
۲-۲ مواد پیزوالکتریک	۱۹
۳-۲ روش‌های تحلیلی	۲۴
۱-۳-۲ روش جرم و فنر و دمپر مکانیکی معادل (روش یک درجه آزادی)	۲۴
۲-۳-۲ روش مدار الکتریکی معادل	۲۸
۴-۲ منبع ارتعاشی	۳۳
فصل سوم	۳۹
۱-۳ تحلیل المان محدودی	۴۰
۱-۱-۳ تحلیل پیزوالکتریک در ANSYS	۴۰
۲-۱-۳ جابجایی سرآزاد تیر	۴۷

۴۹	.....ولتاژ ۳-۱-۳
۵۴	..... Bimorph تحلیل طراحی بر اساس پارامترهای هندسی
۵۵	..... Bimorph تغییرات طول ۱-۲-۳
۵۷	..... Bimorph تغییرات عرض ۲-۲-۳
۶۱	..... Bimorph تغییر نسبت ضخامت لایه پیزوالکتریک به ضخامت کل
۶۳	..... Bimorph تأثیر ظرفیت خازنی
۶۳	..... بررسی تأثیر ابعاد جرم اضافه شده در انتهای آزاد تیر
۶۴	..... طول و ارتفاع جرم متغیر باشد ۱-۳-۳
۶۶	..... عرض و ارتفاع جرم متغیر باشد ۲-۳-۳
۶۸	..... بررسی برداشت کننده‌های انرژی در پیکربندی‌های دوزنقه‌ای
۷۷	..... بهینه سازی ۵-۳
۷۷	..... الگوریتم ژنتیک ۱-۵-۳
۸۴	..... نتیجه‌گیری ۶-۳
۸۵	..... پیشنهادات جهت کارهای آینده ۷-۳
۸۶	..... مراجع ۴

- شکل ۱-۱: مدل مبدل الکترومغناطیسی ۷
- شکل ۲-۱: مدل مبدل الکترواستاتیکی ۸
- شکل ۳-۱: (الف) bimorph – (ب) thunder – (ج) mfc ۱۰
- شکل ۱-۲: نمای کلی از اندیس‌های مربوط به محورها ۱۹
- شکل ۲-۲: ساختار شبکه‌ای ماده PZT ۲۱
- شکل ۳-۲: (الف) مود ۳۱ – (ب) مود ۳۳ ماده پیزوالکتریک ۲۱
- شکل ۴-۲: نمای یک بای مورف با توضیح لایه‌های تشکیل دهنده‌اش ۲۲
- شکل ۵-۲: اتصال لایه‌های پیزوالکتریک به صورت سری ۲۳
- شکل ۶-۲: اتصال لایه‌های پیزوالکتریک به صورت موازی ۲۳
- شکل ۷-۲: مدل یک درجه آزادی (SDOF) ۲۴
- شکل ۸-۲: مدل مدار الکتریکی برای روش SDOF در حالت مدار باز ۲۶
- شکل ۹-۲: مدل مدار الکتریکی برای روش SDOF در حالت مدار بسته ۲۷
- شکل ۱۰-۲: برداشت کننده انرژی پیزوالکتریک تحت ارتعاش پایه ۲۹
- شکل ۱۱-۲: مدار الکتریکی معادل برداشت کننده پیزوالکتریک ۳۰
- شکل ۱۲-۲: مدار الکتریکی معادل در حالت مدار بسته ۳۱
- شکل ۱۳-۲: نمونه‌های از اتصال یک موتور UAV به بدنه آن ۳۴
- شکل ۱۴-۲: مدل حرکتی یک موتور تک سیلندر ۳۵
- شکل ۱۵-۲: نمودار مقایسه کاهش شتاب موتور هواپیمای بدون سرنشین و شتاب وارد به بدنه آن در اثر اتصال دسته موتور ۳۸
- شکل ۱-۳: مدل برداشت کننده انرژی ۴۴
- شکل ۲-۳: مدل‌سازی ساختاری المان محدودی برداشت کننده توسط نرم‌افزار ansys ۴۷
- شکل ۳-۳: نمودار مقایسه جابجایی نوک تیر در روش المان محدود با روش SDOF ۴۹
- شکل ۴-۳: کانتور توزیع ولتاژ در سطوح پیزوالکتریک ۵۰
- شکل ۵-۳: مقایسه میزان توان برداشت شده در حالت اتصال سری با موازی (در روش مدار معادل) ۵۱
- شکل ۶-۳: اعتبار سنجی روش المان محدود ۵۲
- شکل ۷-۳: مقایسه توان الکتریکی برداشت شده روش المان محدود با دو روش تحلیلی تقریبی ۵۳
- شکل ۸-۳: مقایسه ولتاژ الکتریکی دو سر مقاومت الکتریکی در روش المان محدود با دو روش تحلیلی تقریبی ۵۳

- شکل ۳-۹: نمودار تغییرات شدت جریان و ولتاژ با تغییر طول تیر ۵۵
- شکل ۳-۱۰: نمودار تغییرات توان بر حسب تغییر طول تیر ۵۶
- شکل ۳-۱۱: نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی بهینه و ظرفیت خازنی بر حسب تغییر طول تیر ۵۶
- شکل ۳-۱۲: نمودار تغییرات شدت جریان و ولتاژ با تغییر عرض تیر ۵۸
- شکل ۳-۱۳: نمودار تغییرات توان بر حسب تغییر عرض تیر ۵۸
- شکل ۳-۱۴: نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی بهینه و ظرفیت خازنی بر حسب تغییر طول تیر ۵۹
- شکل ۳-۱۵: نمودار تغییرات شدت جریان و ولتاژ با تغییر همزمان عرض تیر و عرض جرم ۶۰
- شکل ۳-۱۶: نمودار تغییرات توان بر حسب تغییر همزمان عرض تیر و عرض جرم ۶۰
- شکل ۳-۱۷: نمودار تغییرات شدت جریان و ولتاژ با تغییر نسبت ضخامت لایه پیزوالکتریک به ضخامت کل bimorph ۶۱
- شکل ۳-۱۸: نمودار تغییرات توان بر حسب تغییر نسبت ضخامت لایه پیزوالکتریک به ضخامت کل bimorph ۶۲
- شکل ۳-۱۹: نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی بهینه و ظرفیت خازنی بر حسب تغییر نسبت ضخامت لایه پیزوالکتریک به ضخامت کل bimorph ۶۲
- شکل ۳-۲۰: نمودار تغییرات در نظر گرفته شده برای طول و ارتفاع جرم اضافه شده در انتهای تیر ۶۴
- شکل ۳-۲۱: نمودار تغییرات شدت جریان و ولتاژ بر حسب تغییر طول جرم ۶۵
- شکل ۳-۲۲: نمودار تغییرات توان بر حسب تغییر طول جرم ۶۵
- شکل ۳-۲۳: نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی بهینه و ظرفیت خازنی بر حسب تغییر طول جرم ۶۶
- شکل ۳-۲۴: نمودار تغییرات شدت جریان و ولتاژ بر حسب تغییر عرض جرم ۶۷
- شکل ۳-۲۵: نمودار تغییرات توان بر حسب تغییر عرض جرم ۶۷
- شکل ۳-۲۶: برداشت کننده انرژی در الف) پیکربندی دوزنقه‌ای معکوس ب) دوزنقه‌ای مستقیم ۶۸
- شکل ۳-۲۷: مقایسه توان خروجی از هندسه مستطیلی و هندسه دوزنقه‌ای و دوزنقه‌ای معکوس در حالتی $1 \rightarrow 2$ ۷۴
- شکل ۳-۲۸: مقایسه توان برداشت شده از هندسه های دوزنقه‌ای معکوس، مستقیم و مستطیلی با حجم های برابر در شتاب پایه یکسان ۷۴
- شکل ۳-۲۹: مقایسه ولتاژ برداشت شده از هندسه های دوزنقه‌ای معکوس، مستقیم و مستطیلی با

حجم های برابر در شتاب پایه یکسان	۷۵
شکل ۳-۳۰: مقایسه توان برداشت شده از هندسه های دوزنقه‌ای معکوس، مستقیم و مستطیلی با	
فرکانس‌های برابر در شتاب پایه یکسان	۷۶
شکل ۳-۳۱: مقایسه ولتاژ برداشت شده از هندسه های دوزنقه‌ای معکوس، مستقیم و مستطیلی با	
فرکانس‌های برابر در شتاب پایه یکسان	۷۶
شکل ۳-۳۲: فرایند یا تابعی که بهینه‌سازی می‌شود	۷۷
شکل ۳-۳۴: تقاطع یک نقطه‌ای	۷۹
شکل ۳-۳۵: نمونه‌ای از ایجاد جهش	۷۹
۳-۳۶: tool box بهینه سازی الگوریتم ژنتیک در MATLAB	۸۱
۳-۳۷: مدلسازی برداشت کننده بهینه در ansys	۸۲
۳-۳۸: نمودار مقایسه تغییرات توان برداشت کننده بهینه در روش تحلیلی و روش المان محدود	
.....	۸۳
۳-۳۹: نمودار مقایسه تغییرات ولتاژ برداشت کننده بهینه در روش تحلیلی و روش المان محدود	
.....	۸۳

جدول ۱-۱: فرکانس و شتاب تعدادی از لوازم روزمره	۶
جدول ۲-۱: مقایسه روشهای تبدیل انرژی ارتعاشی به انرژی الکتریکی	۱۱
جدول ۱-۲: رابطه بین اندیسهای حالت فشرده و حالت کلی	۱۸
جدول ۲-۲: خلاصه‌ای از خواص مواد پیزوالکتریک موجود در بازار	۲۰
جدول ۳-۲: مشخصات موتور UAV	۳۴
جدول ۴-۲: مشخصات ابعادی موتور	۳۷
جدول ۱-۳: مشخصات مکانیکی و الکتریکی لایه‌های پیزوالکتریک	۴۵
جدول ۲-۳: مشخصات مکانیکی لایه برنجی و جرم تنگستنی	۴۵
جدول ۳-۳: ابعاد برداشت کننده مبنا	۴۵
جدول ۴-۳: ابعاد ارائه شده توسط روندی	۵۱
جدول ۵-۳: ابعاد برداشت کننده جهت صحه‌گذاری پیکربندی دوزنقه‌ای	۷۴
جدول ۶-۳: ابعاد هندسه‌های دوزنقه‌ای و مستطیلی در شرایط حجم ثابت	۷۵
جدول ۷-۳: قیدها و شرایط جهت بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک	۸۰
جدول ۸-۳: پارامترهای بهینه شده	۸۲

فهرست علائم:

PZT	لایه‌ی پیزوالکتریک
S	بردار کرنش پیزوالکتریک
s	ثابت نرمی پیزوالکتریک
T	بردار تنش پیزوالکتریک
D	دانسیته شارژ الکتریکی
E	میدان الکتریکی
β	مولفه نارسانایی
ε	ثابت دی الکتریک
k_{31}	کوپلینگ الکترومکانیکی
SDOF	یک درجه آزادی
FEM	روش المان محدود
m	جرم اضافه شده در انتهای آزاد تیر
K	سختی فنر
ω	فرکانس تحریک
ω_n	فرکانس طبیعی
ζ	نسبت میرایی
Y_0	دامنه تحریک
C_b	ظرفیت خازنی بای مورف
U_{eff}	مقدار ولتاژ موثر
I_{eff}	جریان الکتریکی موثر

Z	امپدانس مختلط
R_{opt}	مقاومت الکتریکی بهینه
L_m	سلف
R_b	مقاومت الکتریکی معادل میرایی سیستم
C_k	خازن معادل سختی سیستم
σ_{in}	تنش
V	ولتاژ دو سر مقاومت
P	توان تلف شده در مقاومت الکتریکی
i	شدت جریان الکتریکی
t_p	ضخامت لایه پیزوالکتریک
t_s	ضخامت لایه فلزی
C_p	مدول الاستیسیته پیزوالکتریک
ϵ^s	ثابت دی الکتریک در کرنش ثابت
ϵ^T	ثابت دی الکتریک در تنش ثابت
I	ممان اینرسی سطح مقطع تیر
C_s	مدول الاستیسیته لایه فلزی
A_p	مساحت سطح پیستون
F_{PR}	نیروی جانبی وارده به سیلندر
T_g	گشتاور اعمال شده به میل لنگ
C	ماتریس سفتی پیزوالکتریک
N	ضریب پواسون

Q	فاکتور کیفیت
l	طول بای مورف
l_e	طول الکتروود
h_m	ارتفاع جرم انتهای تیر
l_m	طول جرم انتهای تیر
w_m	عرض جرم انتهای تیر
w	عرض بای مورف
U	انرژی ذخیره شده در خازن
P	چگالی
A_{in}	دامنه شتاب پایه
r	نسبت عرض در پیکربندی دوزنقه‌ای
I_0	ممان اینرسی سطح مقطع گیردار تیر دوزنقه‌ای معکوس
$M(x)$	گشتاور
w_0	عرض کوچکتر پیکربندی دوزنقه‌ای
w_1	عرض بزرگتر پیکربندی دوزنقه‌ای
\ddot{y}_B	شتاب پایه
I_1	ممان اینرسی سطح مقطع گیردار تیر دوزنقه‌ای مستقیم
GA	الگوریتم ژنتیک

فصل اول

پایه‌های نظری و پیشینه تحقیق

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر تمایل به توسعه شبکه‌های سنسوری بی‌سیم، رو به رشد بوده است. این سیستم‌ها قابلیت استفاده در مکان‌های مختلفی را دارند. از جمله کاربردهای آن‌ها می‌توان به پایش دما، روشنایی، موقعیت‌یابی، حسگرهای شیمیایی، کنترل وقوع ترک و خستگی در هواپیما، کنترل فشار و شتاب در لاستیک اتومبیل و... اشاره کرد. پیشرفت‌های انجام شده در ساخت مدارات مجتمع، طراحی مدارات کم مصرف باعث کاهش مصرف شبکه‌های سنسوری بی‌سیم تا حد کمتر از $1mw$ شده است. تغذیه تعداد زیادی از سنسورها، مخصوصاً هنگامی که تغذیه آن‌ها از طریق سیم کشی و یا تعویض باتری مشکل باشد، بسیار حیاتی خواهد بود.

در جدیدترین تکنولوژی‌ها باتری‌های لیتیومی^۱ می‌توانند حدود $800 \frac{wh}{liter}$ تولیدکنند. حال اگر یک وسیله الکترونیکی با همچنین باتری با حجم یک سانتی متر مکعب را داشته باشیم، بدون در نظر گرفتن تلفات، این باتری حداکثر می‌تواند به مدت یک سال انرژی مورد نیاز این سیستم را تأمین کند. در ضمن لازم به ذکر است که اندازه سنسورها خیلی کمتر از یک سانتی متر مکعب می‌باشد. در نتیجه باید روش‌های دیگری برای تغذیه این گونه سیستم‌ها در پیش گرفت.

سه روش کلی برای تغذیه شبکه‌های سنسوری بی‌سیم وجود دارد.

۱- بالا بردن دانسیته انرژی سیستم‌های ذخیره کننده

۲- توسعه روش‌های جدید برای توزیع توان به سنسورها

۳- توسعه تکنولوژی‌هایی که سیستم‌ها انرژی خود را تأمین کنند.

در روش اول پیشرفت‌های زیادی در بالا بردن دانسیته انرژی ذخیره کننده‌ها (باتری‌ها) صورت گرفته، اما همچنان مشکل طول عمر، وزن و حجم این نوع ذخیره کننده‌ها اساسی بوده و از نقاط ضعف اصلی آن به شمار می‌رود.

از معمولترین روش‌ها نسبت به اتصالات سیمی، استفاده از روش امواج رادیویی^۲ (RF) برای توزیع توان به سنسورها می‌باشد. لازم به ذکر است که استفاده از این روش هنگامی که با انبوهی از گره‌های سنسوری روبرو باشیم عملاً غیر ممکن است، مثلاً برای سنسورهای داخل یک اتاق، باید کل فضای اتاق را

¹ Lithium Battery

² Radio Frequency

مملو از امواج رادیویی کنیم، که سلامتی را به خطر می اندازد. اگر فاصله سنسور مورد نظر تا سیستم پایش وضعیت حدود ۱۰ متر و برای تغذیه آن حدود $100\mu w$ توان لازم باشد، انتقال دهنده باید توان ۱۴ وات را به صورت امواج رادیویی بفرستد که این مقدار امواج رادیویی خیلی بالاتر از حد مجاز برای بدن انسان (حدود $0.6mw/cm^2$) می باشد. در نتیجه استفاده از این روش، به دلیل به خطر انداختن سلامتی کاربران، عملاً غیر کاربردی می باشد. روش سوم، کمتر از دو روش دیگر توسعه یافته است. ایده اصلی این روش، تبدیل منابع انرژی محیطی به انرژی الکتریکی جهت استفاده در لوازم الکترونیکی است؛ این روش به نام برداشت انرژی معروف است.

برداشت انرژی جذاب ترین روش در بین روش های فوق محسوب می شود، زیرا در این روش عمر سنسورها فقط به خستگی قطعات آنها ربط پیدا می کند. اما به دلیل متنوع بودن انرژی های محیطی و نبودن یک راه حل واحد برای استفاده از همه منابع، استفاده از این روش را پیچیده می کند.

در فصل اول، مختصری راجع به منابع انرژی محیطی در رابطه با برداشت انرژی، و ادبیات و پیشینه تحقیق برداشت انرژی از ارتعاشات ارائه شده است.

در فصل دوم، مبانی نظری برداشت انرژی از ارتعاشات ارائه گردیده و دو روش تحلیلی جهت محاسبه پارامترهای الکتریکی برداشت کننده انرژی پیزوالکتریکی، برای پیکربندی های مختلف توضیح داده شده است.

در فصل سوم، روش مدل سازی برداشت کننده انرژی پیزوالکتریکی در نرم افزار ANSYS ارائه شده و نتایج حاصل از نرم افزار با روش های تحلیلی مقایسه شده است، سپس نحوه تغییر پارامترهای الکتریکی برداشت کننده مورد نظر با تغییرات پارامترهای هندسی آنها مورد بررسی قرار گرفته است، همچنین برداشت کننده های انرژی با پیکربندی دوزنقه ای پس از مدل سازی، با دو روش مدار معادل و المان محدود تحلیل و مقایسه شده و در آخر با استفاده از الگوریتم ژنتیک، ابعاد بهینه برداشت کننده، استخراج و مورد بررسی قرار گرفته است.

انواع منابع انرژی محیطی به طور مختصر شرح داده می شود.

۱-۲ منابع انرژی محیطی

چندین منبع انرژی به طور مستقیم در محیط قابل دسترسی می باشد که شامل انرژی خورشیدی، باد، جریان آب، گرادیان دمایی، ارتعاشات مکانیکی و امواج آکوستیکی و... می باشد. البته منابع فوق در هر مکان خاصی وجود ندارد. بعضی از این منابع فقط در یک موقعیت وجود دارند و برخی از این

منابع برتری‌هایی نسبت به سایر منابع دارند. جهت بررسی این منابع، مشخصه‌های هر منبع را به طور خلاصه در این بخش یادآور می‌شویم.

۱-۲-۱ انرژی خورشید

انرژی خورشید به عنوان یک منبع انرژی تجدید پذیر و قابل دسترسی در بسیاری از مکان‌ها، بسیار مورد توجه بوده و تجهیزات برداشت انرژی در این زمینه طی سالیان گذشته به پیشرفت‌های قابل توجهی رسیده است. در تکنولوژی استفاده از انرژی خورشیدی، از صفحات فتوولتاییک^۱ و کلکتورهای حرارتی جهت برداشت تشعشع نور و حرارت خورشید استفاده می‌کنند. در اوج تابش‌ها در ظهر، سلول-های خورشیدی قابلیت فراهم آوردن $15000 \frac{\mu W}{cm^2}$ را خواهند داشت که می‌تواند برای تغذیه برخی لوازم الکترونیکی پرمصرف کافی باشد [۱]. اگر چه رشد و توسعه در حوزه انرژی خورشیدی قابل توجه است پایین بودن بازده سلول‌های سیلیکونی و همچنین بالا بودن هزینه نصب و ساخت آن‌ها از جمله نقطه ضعف‌های برداشت انرژی از این منبع می‌باشد.

۱-۲-۲ انرژی باد

انرژی باد را می‌توان با استفاده از توربین‌های باد که شفت چرخان آن به ژنراتور متصل است برداشت کرد، طی سالیان اخیر سرمایه‌گذاری‌های فراوانی بر روی توسعه انرژی باد به عنوان یک منبع انرژی پاک، جهت جایگزینی سوخت‌های فسیلی صورت گرفته که در حال حاضر با توجه به آمار (WWEA) تا پایان سال ۲۰۱۲ ظرفیت ژنراتورهای نصب شده در سراسر دنیا حدود 282GW می‌باشد. به دلیل وابسته بودن انرژی باد با توان دوم سرعت باد، یکی از پارامترهای مهم در توربین‌های باد، سرعت باد می‌باشد. دلیل نصب توربین‌های باد در ارتفاعات نیز همین مساله سرعت باد می‌باشد. اما دو چالش بزرگ موجود در برداشت انرژی باد توسط توربین باد، قیمت و انتقال انرژی بوده و همچنین برای مصارف کم، استفاده از انرژی باد عملاً غیر ممکن است.

۱-۲-۳ انرژی جریان آب

انرژی جریان آب یا توان هیدروالکتریکی در میان منابع انرژی تجدیدپذیر، پیشرو بوده و بیشترین استفاده را دارد به طوری که حدود ۷۰٪ از انرژی‌های برداشت شده از منابع تجدید پذیر به منابع برق آبی اختصاص دارد. به دلیل اینکه آب حدود ۸۰۰ برابر متراکم‌تر از هوا می‌باشد، جریان آب همواره بیشترین توجه را نسبت به سایر انرژی‌ها به خود جلب کرده است. میزان برداشت انرژی از جریان آب بستگی به

¹ Photovoltaic Cells

سرعت جریان آب دارد، بنابراین سدها را معمولا در جاهایی درست می کنند که بیشترین کاهش ارتفاع را دارا هستند. اگر چه توان هیدروالکتریکی یک منبع مورد توجه در صنعت انرژی می باشد اما در مورد وسایل با مصرف کم استفاده از این نوع انرژی عملا غیر ممکن است.

۱-۲-۴ گرادیان دمایی

گرادیان دمایی و جریان گرمایی در همه محیطهای طبیعی و سازههای ساخته شده وجود دارد و می توان توسط وسایل ترموالکتریکی آن را به ولتاژ الکتریکی تبدیل کرد. گرادیان دمایی سبب حرکت الکترونها از مکان گرمتر به مکان سردتر در فلزات می شود (اثر ترموالکتریک). استوردیور و استارک [۲] نشان دادند که میکروسیستم مورد مطالعهشان قادر به تولید $15 \frac{\mu W}{cm^3}$ در گرادیان دمایی $10^\circ C$ سلسیوس می باشد. مخصوصا حرارت بدن قادر به تولید توان الکتریکی جهت مصارف پزشکی، ایمپلنتهای بدن و سنسورهای بی سیم می باشد. روندی [۱] گزارش داد که ساعت های اتمی نیز چنین روندی برای تامین انرژی دارند به طوری که با تغییر فاز حجم مشخصی از مایع به گاز در دمای $21^\circ C$ درجه سلسیوس، فشار بالارفته و سبب چرخش فنر متصل به ساعت می شود، اگرچه این روش بسیار جذاب می باشد اما بدلیل پایین تر بودن توان تولیدی در این روش نسبت به سایر متدها، از این روش استفاده نمی کنند. لازم به ذکر است که روش گرادیان دمایی به جز در گرادیانهای دمایی بالا، انرژی الکتریکی کمی تولید می کند.

۱-۲-۵ امواج آکوستیکی

امواج آکوستیکی یا نویز را می توان در جاهایی نظیر بزرگراهها، فرودگاهها، و کارخانجات به وفور یافت. اگرچه وجود نویز بسیار نامطلوب است اما می توان از آن به عنوان منبع تامین انرژی سیستمهای سنسوری استفاده کرد، اما به جز در محیطهای با سطح نویز بالا، انرژی موجود در امواج آکوستیکی به ندرت مورد استفاده قرار می گیرد. به عنوان مثال هوروویتز و همکارانش [۳] حدود $0.34 \frac{\mu W}{cm^3}$ انرژی را از نویز آکوستیکی برای سطح فشار $149 dB$ برداشت کردند، که عملا برای تغذیه سیستمهای الکترومکانیکی که نیاز به $10 - 100 \mu W$ دارند غیر قابل استفاده می باشد. به طور کلی منابع متعددی از انرژی ممکن است در یک محیط وجود داشته باشد که هر منبع تحت شرایط ویژه ای مفید واقع شود. در این پایان نامه تمرکز ما بر برداشت انرژی از ارتعاشات مکانیکی است که مکانیزمهای متفاوتی جهت تبدیل انرژی ارتعاشات مکانیکی به الکتریکی وجود دارد که آنها را معرفی می کنیم.

۱-۲-۶ ارتعاشات

ارتعاشات مکانیکی به وفور در سازههای ساخت بشر نظیر ماشینهای دوار، کانالهای هوا،

موتورها، بسیاری از لوازم خانگی، سازه‌هایی نظیر پل‌ها و ساختمان‌ها وجود دارد. انرژی ارتعاشی را می‌توان به چندین روش به صورت انرژی الکتریکی برداشت کرد. برداشت انرژی از ارتعاشات به روش‌های الکترومغناطیس، الکترواستاتیک و پیزوالکتریک انجام می‌شود که به صورت مختصر به آن‌ها اشاره می‌کنیم. روندی [۴] دامنه شتاب منابع ارتعاشی متعددی که در زندگی روزمره از آن‌ها استفاده می‌کنیم مانند موتور اتومبیل، مخلوط‌کن، چرخ خیاطی، ماکروویو، کانال‌های تهویه و... را ارائه کرد. در منابع ارتعاشی مذکور محدوده فرکانسی 0-200Hz بوده و جزو ارتعاشات با فرکانس پایین محسوب می‌شوند. روندی [۶] همچنین نشان داده که جهت رسیدن به حداکثر توان، فرکانس محیط با فرکانس سیستم باید برابر باشد، وی همچنین نشان داد که حدود $375 \frac{\mu W}{cm^3}$ را می‌توان در پیکربندی بهینه، از برداشت کننده پیزوالکتریک بدست آورد. با توجه به کارهای روندی، اگر عمر لوازم در پروژه‌ها مدنظر باشد، برداشت انرژی از طریق ارتعاشات بسیار مقرون به صرفه تر از باطری می‌باشد.

جدول ۱-۱: فرکانس شتاب تعدادی از لوازم روزمره [۵]

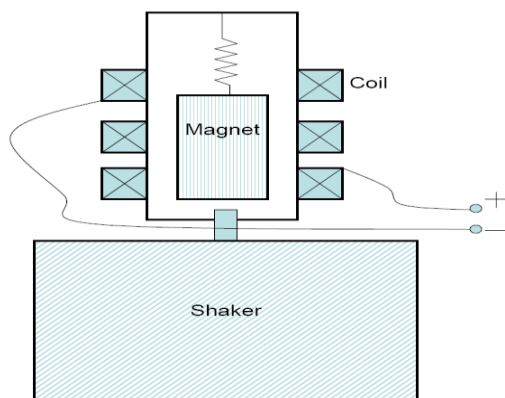
منبع ارتعاشی	فرکانس (Hz)	دامنه شتاب (m/s^2)
محفظه مخلوط کن	۱۲۱	۶/۴
لباس خشک کن	۱۲۱	۳/۵
چارچوب در، پس از بسته شدن	۱۲۵	۳
ماکروویو کوچک	۱۲۱	۲/۲۵
کانال‌های تهویه در ساختمان	۶۰	۰/۲-۱/۵
ماشین لباس شویی	۱۰۹	۰/۵
لب تاب (در حال خواندن سی دی)	۷۵	۰/۶
یخچال	۲۴۰	۰/۱
بدنه موتور اتومبیل	۲۰۰	۱۲

۱-۲-۷ مکانیزم‌های تبدیل انرژی ارتعاشی به انرژی الکتریکی

سه روش اصلی برای تبدیل انرژی ارتعاشی به انرژی الکتریکی وجود دارد. الکترومغناطیس، الکترواستاتیک، پیزوالکتریک.

۱-۲-۷-۱ الکترومغناطیس

برداشت‌کننده انرژی الکترومغناطیسی با استفاده از حرکت نسبی بین سیم پیچ و میدان مغناطیسی، انرژی ارتعاشات را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. با توجه به قانون القای فارادی، نیروی القا شده^۱ در سیم پیچ با نرخ تغییر شار مغناطیسی در سیم پیچ متناسب است. دو راه برای تغییر شار مغناطیسی در یک سیم پیچ وجود دارد، راه اول تغییر میدان مغناطیسی و راه دیگر حرکت سیم پیچ در داخل یک میدان مغناطیسی ثابت است. البته روش دوم برای برداشت انرژی از ارتعاشات متداول‌تر است. یک مبدل الکترومغناطیس به عنوان نمونه در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، که آهنربای دائمی به علت ارتعاشات پایه در سیم پیچ به حرکت در می‌آید و انرژی ارتعاشات بر اساس قانون فارادی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.



شکل ۱-۱: مدل مبدل الکترومغناطیسی کاو و همکاران [۷]

ویلیام و یات [۸] یک مدل کلی برای مکانیزم تبدیل ارتعاشات به انرژی الکتریکی ارائه کردند، مبدل الکترومغناطیس ارائه شده توسط آن‌ها دارای ابعاد $5 \times 5 \times 1 \text{ mm}^3$ بوده و توان حدود $1 \mu\text{W}$ در فرکانس 70 Hz و 0.1 mW در فرکانس 330 Hz را از آن برداشت کردند. امیرتاراجا و چاندراکاسان [۹] یک مبدل الکترومغناطیسی بر پایه ارتعاشات برای تغذیه پردازشگر سیگنال ارائه کردند، منبع ارتعاشی مورد نظر حرکت‌های منظم در اثر پیاده‌روی بوده، دامنه ارتعاشات 2 cm که در فرکانس حدود 2 Hz حدود $400 \mu\text{W}$ توان را از آن برداشت کردند. روندی [۱۰] یک مبدل الکترومغناطیسی را تحت شرایط شتاب

¹ Electro Motive Force (EMF)