



مقایسه عملکرد برداشت کننده انرژی مدل دو درجه آزادی در دو پیکربندی متفاوت با تحریک اتفاقی پایه

امیرحشمت خدمتی بازکیائی^{۱*}

۱. گروه مهندسی مکانیک، واحد سوسنگرد، دانشگاه آزاد اسلامی، سوسنگرد، ایران.

*نویسنده مسئول: khedmati_amir@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۳

چکیده

تبدیل ارتعاشات مکانیکی به انرژی الکتریکی مفید از اهداف بسیاری از پژوهش‌ها در علم روز بوده و بدین منظور از تجهیزات برداشت‌کننده با اجزای پیزوالکتریک استفاده شده است. برای بررسی عملکرد این سامانه، آگاهی از رفتار و خروجی سیستم ارتعاشی، تاثیر پارامترهای مختلف آن سامانه از اهمیت بالایی برخوردار است. در پژوهش حاضر سعی بر آن است که با مدل‌سازی سامانه ارتعاشی بصورت مدل دو درجه آزادی و در دو پیکربندی متفاوت، تاثیرات پارامترهای مختلف بر عملکرد برداشت‌کننده مورد بررسی قرار گیرد. برای بررسی دقیق‌تر و یافتن نتیجه نزدیک‌تر به واقعیت، با استفاده از تئوری ارتعاشات اتفاقی خطی، تحریک مورد بحث از نوع نویز سفید بوده است. در مدل‌سازی ریاضی، دو حالت دو درجه آزادی مورد بررسی قرار گرفته شده که در حالت اول، پیزوالکتریک بین پایه و جرم اول و در حالت دوم پیزوالکتریک بین پایه و جرم دوم مفروض بوده است. پس از استخراج معادلات حاکم در هر پیکربندی و اعمال ورودی به سیستم با تحریک اتفاقی، تاثیر تمامی پارامترهای شناسایی و معرفی شده در سامانه مورد مطالعه قرار گرفته است. در نهایت پیکربندی با کارایی بالاتر، برحسب میانگین برداشت کننده انرژی، معرفی و نتایج به صورت ترسیمی بیان شده است.

کلمات کلیدی: برداشت کننده انرژی، پیزوالکتریک، ارتعاشات اتفاقی خطی.

مقدمه

پیزوالکتریک در لغت به معنی تجمع بار الکتریکی ناشی از فشار است. پیزوالکتریسیته عبارت است از تولید الکتریسیته (ایجاد شده توسط پلاریزاسیون) توسط یک ماده بر اثر اعمال تنش یا کرنش، در مورد چنین ماده‌ای گفته می‌شود که «رفتار پیزوالکتریک» دارد. خانواده پیزوالکتریک‌های دی‌هیدروژن فسفات اولین خانواده عمده از مواد پیزوالکتریک و فرو الکتریک بود که کشف شد. در طی جنگ جهانی دوم، تحقیقات در زمینه مواد پیزوالکتریک بوسیله آمریکا شوروی سابق و ژاپن بسط داده شد. محدودیت‌های ساخت این مواد از تجاری شدن آنها جلوگیری می‌کرد اما این مسئله نیز پس از کشف باریم تیتانات و سرب زیر کونات تیتانات در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ برطرف شد. به طور کلی تامین انرژی یک سیستم از محیط پیرامون آن، برداشت انرژی می‌گویند. تحقیقات در این زمینه با پیشرفت مخابرات بی‌سیم و ظهور ادوات الکترونیکی کم مصرف مورد توجه بسیاری از مهندسان و محققان قرار گرفته است.

در سال‌های اخیر برداشت انرژی حاصله از ارتعاشات توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده است چرا که این روش راه حل امیدوار کننده برای تامین انرژی تجهیزات حسگر الکترونیکی بی‌سیم به نظر می‌رسد. برداشت‌کننده‌های ارتعاشی انرژی معمولا به صورت مدل‌های یک درجه آزادی طراحی شدند که فقط در نزدیکی رزونانس طبیعی بهینه هستند. یک روش برای طراحی برداشت‌کننده انرژی که در شرایط ارتعاشی متغییر هم عملکرد مناسبی داشته باشد، روش تنظیم رزونانس است. هو و همکاران [۱] پیش بارگذاری مکانیکی و لاند و رایت [۲] نیروی مغناطیسی را به صورت مداوم اعمال کردند تا سختی و به تبع آن فرکانس رزونانس طبیعی برداشت‌کننده را تنظیم کنند. با این کار برداشت وسیع انرژی را می‌توان از طریق اعمال شرایط غیر خطی به سیستم محقق ساخت. استانتون و همکاران [۳] یک برداشت‌کننده انرژی غیرخطی تک پایدار را پیشنهاد کردند که در آن سختی‌سازی یا نرم‌سازی



منحنی پاسخ می‌تواند برداشت زیادی را موجب شود. ارتورک و همکاران [۴] در مکانیزم دو پایداری مربوط به یک مولد پیرو-مغناطیسی-الاستیک توسط تحریکات سینوسی تحریک شده را مورد بررسی قرار دادند. از سویی دیگر، سیستمی با مدهای متعدد نیز قادر به برداشت وسیع انرژی ارتعاشی می‌باشد. اوی و همکاران [۵] به صورت تئوریک یک سگدست دو جرمی را برای برداشت وسیع مدل‌سازی کردند. تادسی‌ئی و همکاران [۶] یک برداشت‌گر که مجهز به قابلیت‌های برداشت هیبریدی بود را ارائه کردند که هر کدام برای مد خاصی بهینه‌سازی شده است. آلداریم و باز [۷] و آرافا و همکاران [۸] یک برداشت‌گر دو درجه آزادی را مورد بررسی قرار دادند که دارای یک جرم به عنوان درشت‌نمای دینامیکی داشت. با وجود اینکه امکان دسترسی به پاسخ‌های بسیار نزدیک وجود داشت اما درشت‌نمایی به وزنه بسیار سنگینی احتیاج داشت که کاربرد عملی آن را محدود می‌ساخت. جانک و همکاران [۹] و کیم و همکاران [۱۰] برداشت‌گرهای دو درجه آزادی الکترومغناطیسی و پیروالکتریکی را طراحی کردند که در آنها مدهای ارتعاشی انتقالی و دورانی جرم تحت تاثیر بوده و امکان طراحی بسیار نزدیک دو فرکانس طبیعی در آن وجود داشت. فلاح و عرب‌ملکی [۱۱] در پژوهشی با استفاده از لایه پیروالکتریک که بر روی تیر بایمورف تحت ارتعاشات القایی ناشی از جریان سیال خارجی را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش بعد از حل عددی معادلات غیرخطی حاکم تاثیر پارامترهای مختلف بر انرژی تولید شده را تحلیل نموده و تاثیر توزیع تخلخل بر دامنه نوسانات و همچنین انرژی برداشت شده را بیان کردند.

در پژوهش حاضر یک مدل برداشت‌گر انرژی دو درجه آزادی نوین (PEHM) ارائه شده است تا مشکل پهنای باند مدل‌های قبلی را حل کند. در ابتدا مدل دو درجه آزادی مورد بررسی قرار گرفته و دو پیکربندی این مدل توضیح داده شده است. در وضعیت اول المان پیروالکتریک بین جرم و تکیه‌گاه قرار داشته و در وضعیت دوم المان پیروالکتریک بین دو جرم قرار دارد. سپس با بررسی عوامل تاثیرگذار بر عملکرد، مقایسه بین هر دو پیکربندی صورت گرفته و نتایج بیان شده است.

مبانی نظری پژوهش

در پژوهش حاضر با استفاده از فرضیه ارتعاشات اتفاقی خطی مدل دو درجه آزادی برای برداشت‌گر انرژی، با دو پیکربندی متفاوت بیان شده است:

پیروالکتریک بین پایه و جرم اول

در این حالت فرض شده است که پیروالکتریک بین پایه و جرم اول مطابق شکل (۱) قرار گرفته است. لذا معادلات دیفرانسیلی خطی جهت کوپل رفتار الکترومکانیکی مطابق روابط (۱) تا (۳) بیان می‌گردد.

$$m_2 \ddot{u}_2 + \eta_2 \dot{u}_2 + k_2 u_2 = -m_2 \ddot{u}_1 - m_2 \ddot{u}_0 \quad (1)$$

$$(m_1 + m_2) \ddot{u}_1 + \eta_1 \dot{u}_1 + k_1 u_1 + \theta V + m_2 \ddot{u}_2 + (m_1 + m_2) \ddot{u}_0 = 0 \quad (2)$$

$$-\theta \dot{u}_1 + C \dot{V} + \frac{V}{R_t} = 0 \quad (3)$$

روابط (۱) و (۲) قانون دوم نیوتن برای حرکت سیستم دو درجه آزادی است که در آن $x(t)$ جابجایی جرم m زمان t دمپر، c دمپر، k سختی برداشت‌کننده برای هر دو جسم است. همچنین $u_0(t)$ تحریک اتفاقی پایه، $V(t)$ ولتاژ عبوری از پیروالکتریک و θ کوپلینگ نیروی مکانیکی و الکترومکانیکی مدل شده در امتداد ولتاژ نیرو خواهد بود. رابطه (۳) نیز با توجه به شکل (۱) و روابط مدار جریان الکتریکی بدست آمده است. که در آن C_p ظرفیت لایه پیروالکتریک و R_t مقاومت مدار هستند.

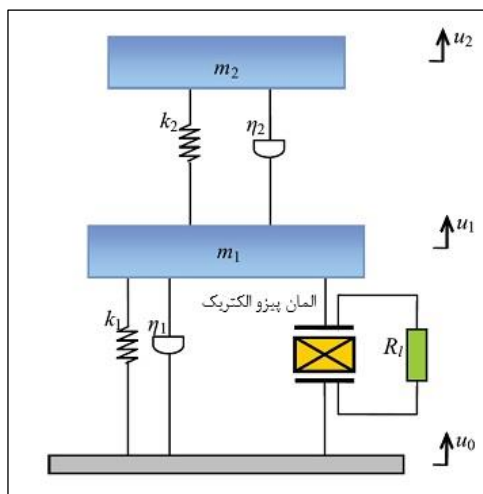
حال با استفاده از تبدیل فوریه معادلات حاکم در حوزه زمان را به حوزه فرکانس تبدیل کرده که بصورت روابط (۴) تا (۶) بیان شده‌اند:

$$m_2 s^2 Y + \eta_2 s Y + k_2 Y = -m_2 s^2 X - m_2 s^2 U_0 \quad (4)$$

$$(m_1 + m_2) s^2 X + \eta_1 s X + k_1 X + \theta V + m_2 s^2 Y + (m_1 + m_2) s^2 U_0 = 0 \quad (5)$$

$$-\theta s X + C s V + \frac{V}{R_t} = 0 \quad (6)$$

حال با قرار دادن $s=I\omega$ روابط به سه رابطه، سه مجهول تبدیل شده و سه پارامتر V ، Y و X بدست می‌آید.



شکل ۱: مدار پیزوالکتریک بین پایه و جرم اول

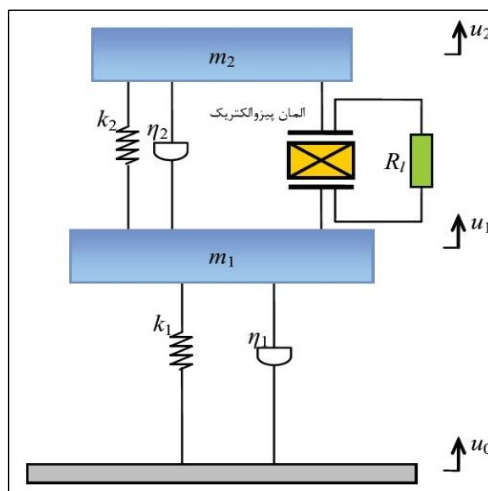
پیزوالکتریک بین پایه و جرم دوم

در این پیکربندی، مطابق شکل (۲) فرض شده است که پیزوالکتریک بین پایه و جرم دوم قرار گرفته است. در این حالت معادلات دیفرانسیلی خطی جهت کوپل رفتار الکترومکانیکی بصورت روابط (۷) تا (۹) بیان شده است.

$$m_2 \ddot{u}_2 + \eta_2 \dot{u}_2 + k_2 u_2 + \theta V = -m_2 \ddot{u}_1 - m_2 \ddot{u}_0 \quad (7)$$

$$(m_1 + m_2) \ddot{u}_1 + \eta_1 \dot{u}_1 + k_1 u_1 + m_2 \ddot{u}_2 + (m_1 + m_2) \ddot{u}_0 = 0 \quad (8)$$

$$-\theta \dot{u}_2 + C^r \dot{V} + \frac{V}{R_l} = 0 \quad (9)$$



شکل ۲: مدار پیزوالکتریک بین پایه و جرم دوم

حال با استفاده از تبدیل فوریه معادلات حاکم در حوزه زمان را به حوزه فرکانس تبدیل کرده که بصورت روابط (۱۰) تا (۱۲)

خواهد بود:

$$m_2 s^2 Y + \eta_2 s Y + k_2 Y + \theta V = -m_2 s^2 X - m_2 s^2 U_0 \quad (10)$$

$$(m_1 + m_2) s^2 X + \eta_1 s X + k_1 X + m_2 s^2 Y + (m_1 + m_2) s^2 U_0 = 0 \quad (11)$$

$$-\theta s Y + C^r s V + \frac{V}{R_l} = 0 \quad (12)$$



با توجه به این که در این پژوهش هدف، محاسبه توان میانگین بوده، در رابطه (۱۳) می‌توان نوشت:

$$p(t) = \frac{V^2(t)}{R_t} \quad (13)$$

با استفاده از امید ریاضی می‌توان بیان نمود:

$$E[P(t)] = E\left[\frac{V^2(t)}{R_t}\right] = \frac{E[V^2(t)]}{R_t} \quad (14)$$

با توجه به مستهلک خطی بودن سامانه خواهیم داشت:

$$V(\omega) = H(\omega)U_0(\omega) \quad (15)$$

همچنین برای مقادیر t بزرگ، مقدار اختلاف τ برابر با صفر شده و داریم:

$$R_{u_0}(0) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{u_0}(\omega)d\omega \quad (16)$$

با قرار دادن رابطه (۱۵) در رابطه (۱۶) داریم:

$$S_V(\omega) = |H(\omega)|^2 S_{u_0}(\omega) \quad (17)$$

در نهایت باتوجه به روابط (۱۶) و (۱۷) امید ریاضی بصورت زیر بدست خواهد آمد:

$$E[V^2(t)] = R_V(0) = \int_{-\infty}^{\infty} |H(\omega)|^2 S_{u_0}(\omega)d\omega \quad (18)$$

در پژوهش حاضر، فرض بر این گردیده که تحریک از نوع نویز سفید بوده، بنابراین تابع چگالی طیفی آن مقداری ثابت خواهد بود که در اینجا برابر با یک در نظر گرفته شده است:

$$\tilde{p} = \frac{|V|^2}{R S_{\ddot{u}_i}} = \frac{|V|^2}{R \omega^4 S_u} = \frac{|V|^2}{R \omega^4 S_o} = \frac{|V|^2}{R \omega^4} \quad (19)$$

برای محاسبه انتگرال رابطه (۱۸) نیز می‌توان نوشت:

$$I_n = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Xi(\omega)}{\Lambda_n(\omega) \Lambda_n^*(\omega)} d\omega \quad (20)$$

که در آن:

$$\Xi(\omega) = b_{n-1} \omega^{2n-2} + b_{n-2} \omega^{2n-4} + \dots + b_0 \quad (21)$$

$$\Lambda_n(\omega) = a_n (i\omega)^n + a_{n-1} (i\omega)^{n-1} + \dots + a_0 \quad (22)$$

اکنون حاصل انتگرال رابطه (۲۰)، از رابطه (۲۳) محاسبه خواهد شد:

$$I_n = \frac{\pi \det[D_n]}{a_n \det[N_n]} \quad (23)$$

حاصل انتگرال فوق، همان مقدار میانگین توان می‌باشد.

$$D_n = \begin{bmatrix} b_{n-1} & b_{n-2} & \dots & \dots & \dots & b_0 \\ -a_n & a_{n-2} & -a_{n-4} & \dots & 0 & \dots \\ 0 & -a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & 0 & \dots \\ 0 & a_n & -a_{n-2} & \dots & 0 & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & -a_2 & a_0 \end{bmatrix} \quad (24)$$



$$N_n = \begin{bmatrix} a_{n-1} & -a_{n-3} & a_{n-5} & \dots & \dots & \dots \\ -a_n & a_{n-2} & -a_{n-4} & \dots & 0 & \dots \\ 0 & -a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & 0 & \dots \\ 0 & a_n & -a_{n-2} & \dots & 0 & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & -a_2 & a_0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

باتوجه به روابط بیان شده، برای پیکربندی (الف)، پیزوالکتریک بین پایه و جرم اول، مخرج از درجه ۱۰ بوده، لذا روابط (۲۰) تا (۲۵) بصورت روابط (۲۶) تا (۳۱) بیان شده است.

$$I_5 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Xi(\omega)}{\Lambda_5(\omega)\Lambda_5^*(\omega)} d\omega \quad (26)$$

$$\Xi(\omega) = b_5\omega^6 + b_2\omega^4 + b_0\omega^2 + b_0 \quad (27)$$

$$\Lambda_5(\omega) = a_5(i\omega)^5 + a_4(i\omega)^4 + \dots + a_0 \quad (28)$$

$$I_5 = \frac{\pi \det[D_5]}{a_5 \det[N_5]} \quad (29)$$

$$D_5 = \begin{bmatrix} b_4 & b_3 & b_2 & b_1 & b_0 \\ -a_5 & a_3 & -a_1 & 0 & 0 \\ 0 & -a_4 & a_2 & -a_0 & 0 \\ 0 & a_5 & -a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & a_4 & -a_2 & a_0 \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$N_5 = \begin{bmatrix} a_4 & -a_2 & a_0 & 0 & 0 \\ -a_5 & a_3 & -a_1 & 0 & 0 \\ 0 & -a_4 & a_2 & -a_0 & 0 \\ 0 & a_5 & -a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & a_4 & -a_2 & a_0 \end{bmatrix} \quad (31)$$

به همین صورت برای پیکربندی (ب)، پیزوالکتریک بین پایه و جرم دوم، مخرج از درجه ۱۲ بوده، لذا روابط (۲۰) تا (۲۵) بصورت روابط (۳۲) تا (۳۷) بیان شده است.

$$I_6 = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Xi(\omega)}{\Lambda_6(\omega)\Lambda_6^*(\omega)} d\omega \quad (32)$$

$$\Xi(\omega) = b_5\omega^{10} + b_4\omega^8 + \dots + b_0 \quad (33)$$

$$\Lambda_6(\omega) = a_6(i\omega)^6 + a_5(i\omega)^5 + \dots + a_0 \quad (34)$$

$$I_6 = \frac{\pi \det[D_6]}{a_6 \det[N_6]} \quad (35)$$

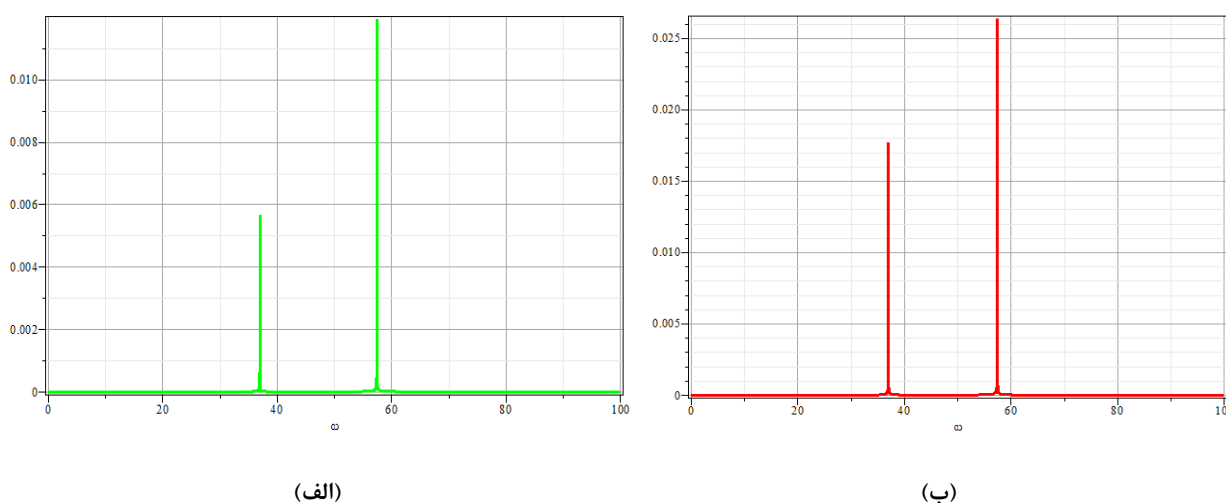
$$D_6 = \begin{bmatrix} b_5 & b_4 & b_3 & b_2 & b_1 & b_0 \\ -a_6 & a_4 & -a_2 & a_0 & 0 & 0 \\ 0 & -a_5 & a_3 & -a_1 & 0 & 0 \\ 0 & a_6 & -a_4 & a_2 & -a_0 & 0 \\ 0 & 0 & a_5 & -a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & -a_6 & a & -a_2 & a_0 \end{bmatrix} \quad (36)$$



$$N_6 = \begin{bmatrix} a_5 & -a_3 & a_{31} & 0 & 0 & 0 \\ -a_6 & a_4 & -a_2 & a_0 & 0 & 0 \\ 0 & -a_5 & a_3 & -a_1 & 0 & 0 \\ 0 & a_6 & -a_4 & a_2 & -a_0 & 0 \\ 0 & 0 & a_5 & -a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & -a_6 & a & -a_2 & a_0 \end{bmatrix} \quad (37)$$

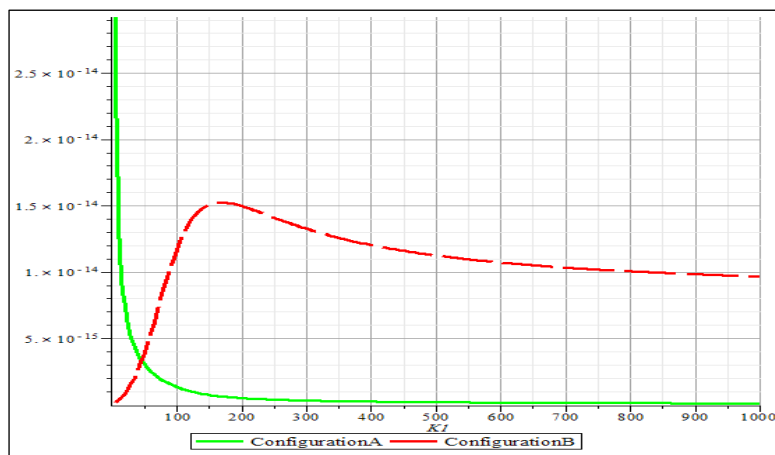
نتایج

در این بخش، با استفاده از نرم‌افزار میپل به تحلیل روابط بدست آمده در بخش قبل پرداخته شده است. در ابتدا برای راستی‌آزمایی روابط حاصله، برای هر دو پیکربندی فرکانس‌های طبیعی سامانه استخراج شده است. پیک‌های موجود در شکل (۳) بیان‌گر مقادیر فرکانس طبیعی بوده است.



شکل ۳: یافتن فرکانس‌های طبیعی سامانه در پیکربندی (الف) و پیکربندی (ب)

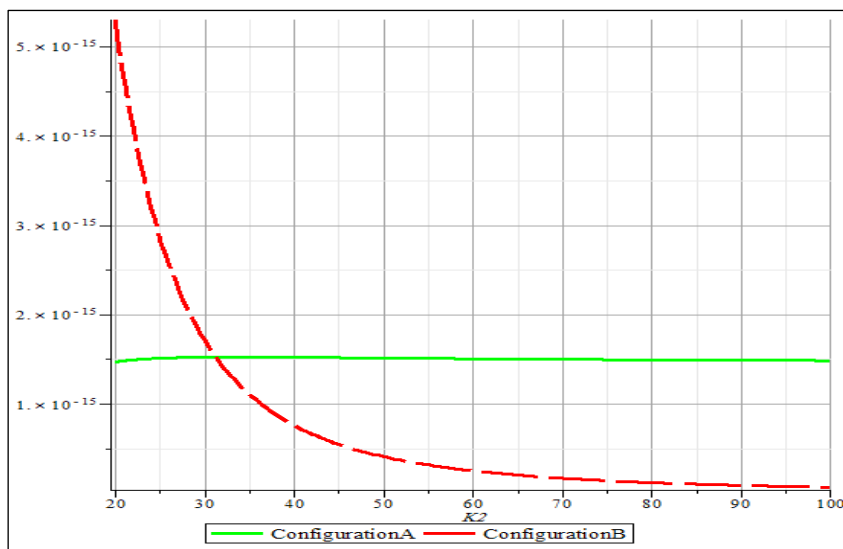
در بخش تحلیلی نیز، فرکانس طبیعی برای هر دو پیکربندی (الف) و (ب)، مقادیر ۳۶/۹۹۹ و ۵۷/۴۳۳ هرتز بوده است. حال به‌منظور بررسی تاثیر سختی فنر اول، بر روی توان در هر دو حالت پیکربندی، دمپر اول ۰/۰۸ و دمپر دوم ۰/۰۰۲۷۲ برای جرم اول ۰/۰۴ کیلوگرم و جرم دوم ۰/۰۰۸ کیلوگرم، کوپلینگ الکترومکانیکی ۰/۰۰۰۰۳۱۶۲۳ مقاومت واحد و ظرفیت لایه پیزوالکتریک ۲۵، سختی فنر دوم نیز ۱۴/۴۵ فرض شده است. تغییرات میزان توان در هر دو پیکربندی نیز، در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: تاثیرات تغییرات سختی فنر اول بر برداشت توان در هر دو پیکربندی

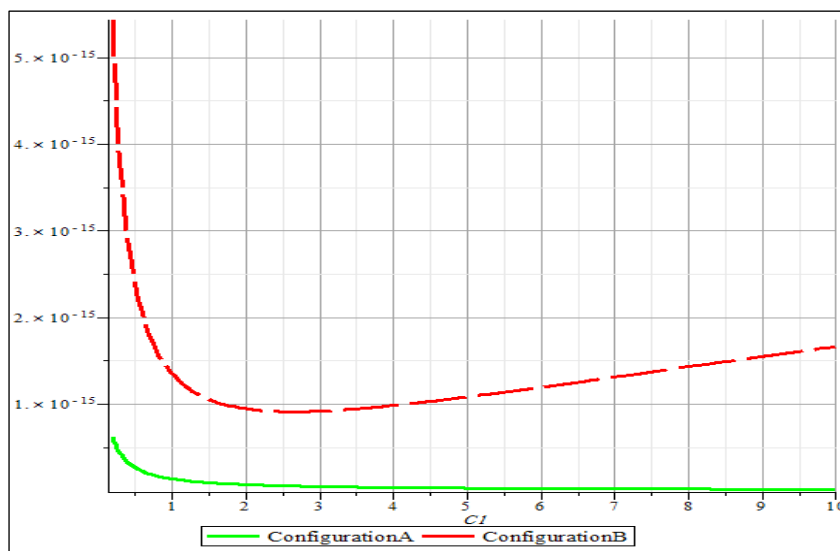


به‌منظور بررسی تاثیر سختی فنر دوم، بر روی توان، در هردو حالت پیکربندی، دمپر اول $0/08$ و دمپر دوم $0/0272$ ، برای جرم اول $0/04$ کیلوگرم و جرم دوم $0/008$ کیلوگرم، کوپلینگ الکترومکانیکی $0/00031623$ مقاومت واحد و ظرفیت لایه پیزوالکتریک 25 ، سختی فنر اول نیز 100 فرض شده است. تغییرات میزان توان در هردو پیکربندی نیز، در شکل (۵) نشان داده شده است.



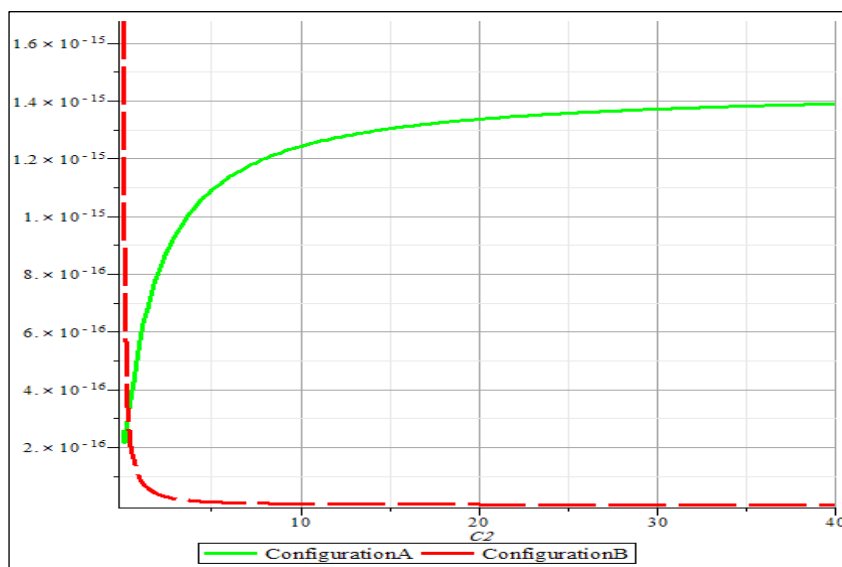
شکل ۵: تاثیرات تغییرات سختی فنر دوم بر برداشت توان در هردو پیکربندی

در شکل (۶) برای بررسی تاثیر مستهلک‌کننده اول بر توان برداشتی، در هردو پیکربندی، مقادیر پارامترها بصورت دمپر دوم $0/0272$ ، برای جرم اول $0/04$ کیلوگرم و جرم دوم $0/008$ کیلوگرم، کوپلینگ الکترومکانیکی $0/00031623$ مقاومت واحد و ظرفیت لایه پیزوالکتریک 25 ، سختی فنر اول 100 و سختی فنر دوم $14/45$ فرض شده است.



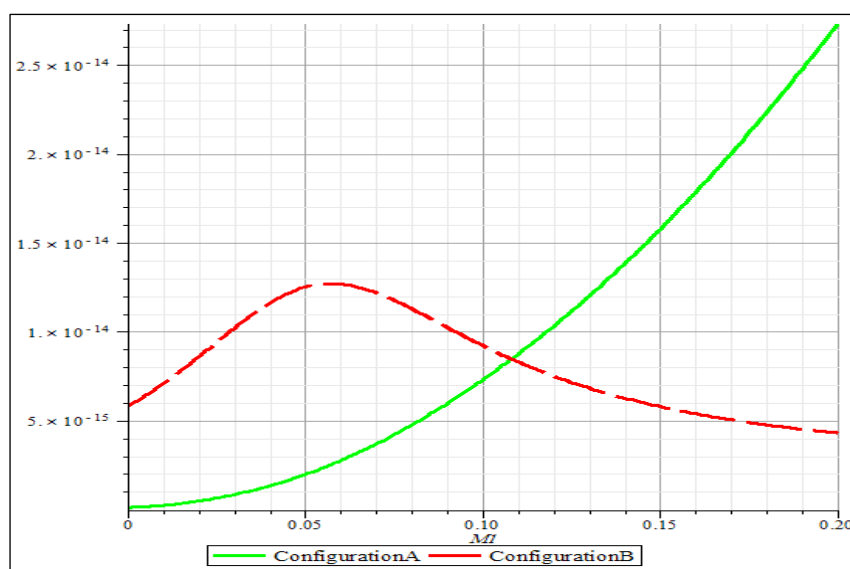
شکل ۶: تاثیرات تغییرات مستهلک‌کننده اول بر برداشت توان در هردو پیکربندی

در شکل (۷) برای بررسی تاثیر مستهلک‌کننده دوم بر توان برداشتی، در هردو پیکربندی، مقادیر پارامترها بصورت دمپر اول $0/08$ ، برای جرم اول $0/04$ کیلوگرم و جرم دوم $0/008$ کیلوگرم، کوپلینگ الکترومکانیکی $0/00031623$ مقاومت واحد و ظرفیت لایه پیزوالکتریک 25 ، سختی فنر اول 100 و سختی فنر دوم $14/45$ فرض شده است.



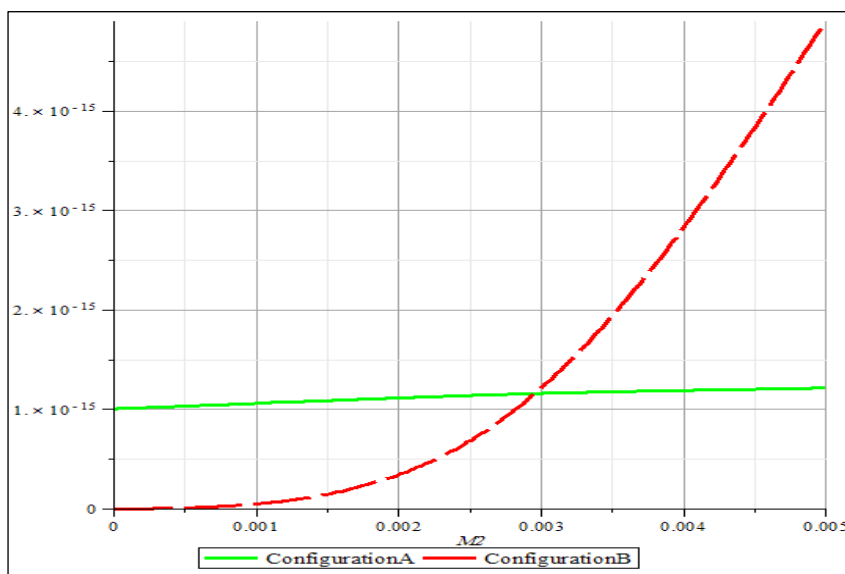
شکل ۷: تاثیرات تغییرات مستهلک‌کننده دوم بر برداشت توان در هردو پیکربندی

به منظور بررسی تاثیر تغییرات جرم اول، بر روی توان، در هردو حالت پیکر بندی، دمپر اول 0.08 و دمپر دوم 0.00272 ، برای جرم دوم 0.08 کیلوگرم، کوپلینگ الکترومکانیکی 0.00031623 مقاومت واحد و ظرفیت لایه پیزوالکتریک 25 ، سختی فنر اول نیز 100 فرض شده است. تغییرات میزان توان در هردو پیکر بندی نیز، در شکل (۸) نشان داده شده است.



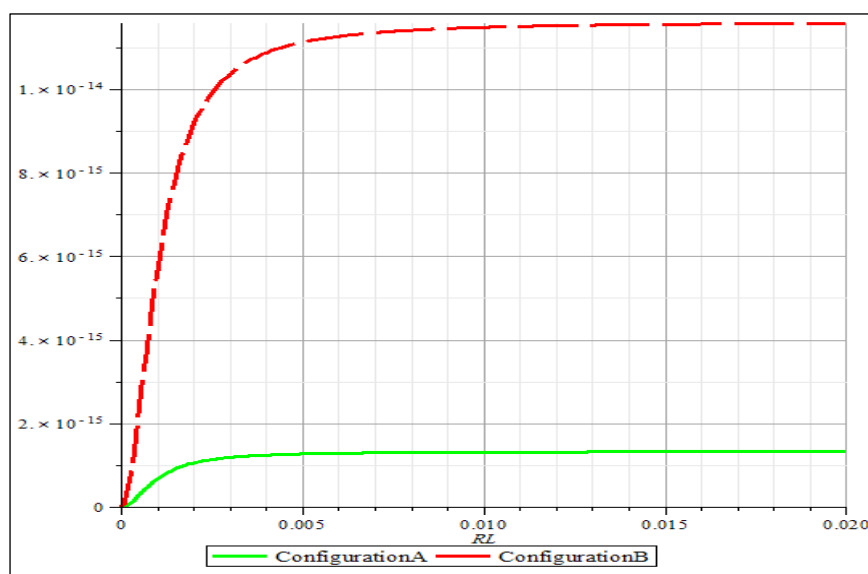
شکل ۸: تاثیرات تغییرات جرم اول بر برداشت توان در هردو پیکربندی

به منظور بررسی تاثیر تغییرات جرم دوم، بر روی توان، در هردو حالت پیکر بندی، مقادیر همچون حالت قبل بوده با این تفاوت که جرم اول 0.04 کیلوگرم بوده و تغییرات میزان توان در هردو پیکر بندی نیز، در شکل (۹) نشان داده شده است.



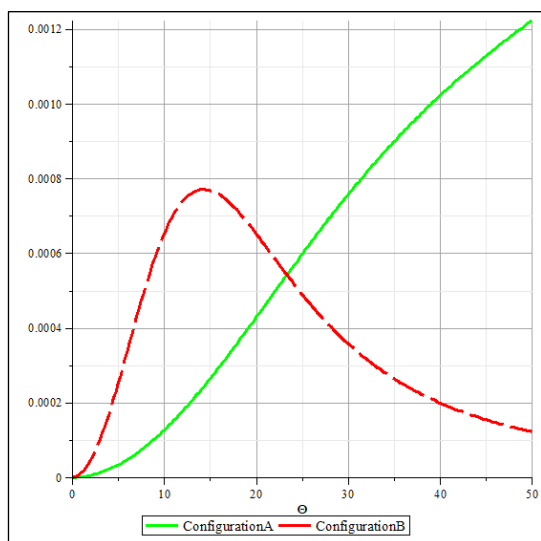
شکل ۹: تاثیرات تغییرات جرم دوم بر برداشت توان در هردو پیکربندی

اکنون، تاثیر تغییرات مقاومت مدار الکترومکانیک در برداشت توان در هردو حالت مورد مقایسه قرار گرفته شده و در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

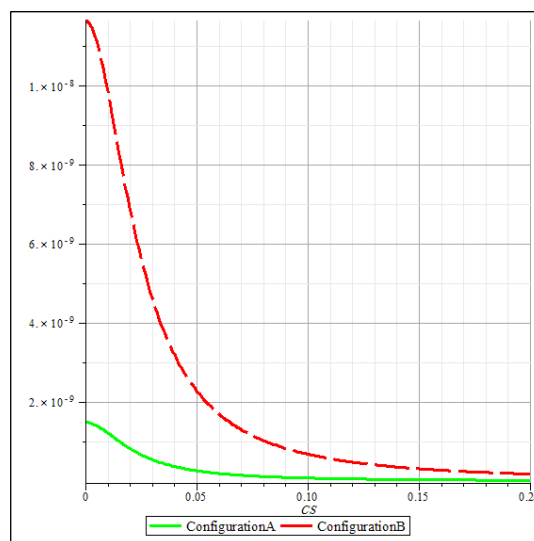


شکل ۱۰: تاثیرات تغییرات مقاومت مدار الکترومکانیک بر برداشت توان در هردو پیکربندی

در شکل (۱۱) تاثیرات تغییرات ضریب کوپل الکترومکانیک (الف) و تاثیر تغییرات ظرفیت پیزوالکتریک (ب) در هردو حالت پیکربندی بر توان برداشتی نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۱۱: تاثیرات تغییرات ضریب کوپل الکترومکانیک (الف) و ظرفیت پیزوالکتریک (ب) بر برداشت توان در هر دو پیکربندی

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تاثیرات پارامترهای مختلف سیستم بر توان برداشت انرژی، تحلیلی بر سامانه دو درجه آزادی با فرضیات بیان شده در پژوهش صورت گرفته شده است. برای تفسیر بهتر نتایج بدست آمده از تحلیل از جدول (۱) استفاده شده است.

جدول ۱: مقایسه عملکرد در هر پیکربندی نسبت به پارامترهای سیستم

پارامتر مورد بررسی	بیشتر بودن توان برای مقادیر کوچکتر پارامتر	بیشتر بودن توان برای مقادیر بزرگتر پارامتر	همواره توان بیشتر
جرم اول	پیکربندی ب	پیکربندی الف	---
دمپر اول	---	---	پیکربندی ب
سختی فنر اول	پیکربندی الف	پیکربندی ب	---
جرم دوم	پیکربندی الف	پیکربندی ب	---
دمپر دوم	پیکربندی ب	پیکربندی الف	---
سختی فنر دوم	پیکربندی ب	پیکربندی الف	---
ظرفیت پیزوالکتریک	---	---	پیکربندی ب
ضریب کوپل الکترومکانیکی	پیکربندی ب	پیکربندی الف	---
مقاومت مدار الکترومکانیک	---	---	پیکربندی ب

به منظور تفسیر جدول فوق، می‌توان به این صورت بیان نمود که، به عنوان مثال، برای سختی فنر اول اگر مقادیر کوچکتر باشد، پیکربندی (الف) توان بیشتری برداشت کرده و اگر مقادیر بزرگتر باشد، پیکربندی (ب) توانایی برداشت بیشتری داشته است. همچنین برای بعضی از پارامترهای مورد بحث، پیکربندی (ب) همواره توان بیشتری نسبت به پیکربندی (الف) تولید کرده است. بنابراین برای تمامی مقادیر مستهلک‌کننده اول، ظرفیت پیزوالکتریک و مقاومت مدار، پیکربندی (ب)، توان بیشتری برداشت کرده است. با توجه به اینکه در مدل دو درجه آزادی چالش اصلی در جایابی پیزوالکتریک بوده و با در نظر گرفتن این موضوع که متغیرهای این نوع مدل‌سازی تاثیر بسزایی در خروجی حاصله داشته و با توجه به جدول (۱)، توانایی بیان قاطعیت برای این امر که کدام پیکربندی توانایی برداشت انرژی بیشتری را دارد، فراهم نشده است که دلیل این امر نیز، وابستگی بالای توان برداشتی به پارامترهای سیستم



است. اما با توجه به متغیر مطلوب می‌توان با استفاده از جدول (۱)، پیکربندی مناسب را انتخاب نموده و با استفاده از این نتایج به توان مطلوب‌تری دست یافت. ذکر این نکته نیز ضروری است که، در حالت کلی و به‌عنوان جمع‌بندی با توجه به نتایج بدست آمده، می‌توان بیان داشت که پیکربندی (ب)، در این مقایسه صورت گرفته، کارایی بیشتر نسبت به پیکربندی (الف) داشته است.

مراجع

- [1] Hu, Y., Xue, H., Hu, H., (2007). A piezoelectric power harvester with adjustable frequency through axialpreloads, *Smart Materials and Structures*, 16(1), pp 1961–1966.
- [2] Leland, E., Wright, P., (2006). Resonance tuning of piezoelectric vibration energy scavenging generators using compressive axial preload, *Smart Materials and Structures*, 15(5), pp 1413-1421.
- [3] Santon, S., McGehee C., Mann, B., (2009). Reversible hysteresis for broadband magnetopiezoelectric energy harvesting, *Applied Physics Letters*, 95, pp 1961–1966.
- [4] Erturk, A., Inman, D., (2008). On mechanical modeling of cantilevered piezoelectric vibration energy harvesters, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 19, pp 1311–1325.
- [5] Ou, Q., Chen, X., Gutschmidt, S., Wood, A., Leigh, N., (2010). A two-mass cantilever beam model for vibration energy harvesting applications, In: *Proceedings of 6th annual IEEE conference on automation science and engineering (CASE)*, pp 301-306.
- [6] Tadesse, Y., Zhang, S., Pariya, S., (2009). Multimodal energy harvesting system: piezoelectric and electromagnetic, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 20, pp 625-632.
- [7] Aldraihem, O., Baz, A., (2011). Energy harvester with a dynamic magnifier, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 22, pp 521-530.
- [8] Arafa, M., Akl, W., Aladwani, A., Aldraihem, O., Baz, A., (2011). Experimental implementation of a cantilevered piezoelectric energy harvester with a dynamic magnifier, In: *Proceedings of the SPIE, San Diego*.
- [9] Jang, S.J., Rustighi, E., Brennan, M.J., Lee, Y.P., Jung, H.J., (2011). Design of a 2dof vibrational energy harvesting device, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 22, pp 443-448.
- [10] Kim, I.H., Jung, H.J., Lee, B.M., Jang, S.J., (2011), Broadband energyharvesting using a two degree-of-freedom vibrating body, *Applied Physics Letters*, 98, p 214102.

[۱۱] فلاح, محسن, عرب ملکی, وحید. ، (۱۴۰۰). 'برداشت انرژی با استفاده از تیر بایمورف متخلخل با لایه پیزوالکتریک تحت ارتعاشات القایی ناشی از جریان سیال خارجی ، نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر ، ۵۳(۸)، ص ۴۶۳۳-۴۶۴۸.