



طراحی و ساخت دیافراگم پیزوالکتریک برای اندازه‌گیری فشار

ارسطو مرادی^۱، دکتر حکمت ربانی^۲، دکتر صابر محمدی^۳، دکتر سجاد رسایی^۴

^۱ کارشناس ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه؛ arastatalis62@yahoo.com

^۲ دانشیار مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه؛ hrabbani47@razi.ac.ir

^۳ دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه رازی، کرمانشاه

^۴ استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی، کرمانشاه

چکیده

این مقاله با هدف تلفیق علوم مهندسی الکترونیک و کنترل با مکانیک بیوسیستم در جهت طراحی و ساخت فشار سنچ پیزو الکتریک متناسب با علوم کشاورزی دقیق نگاشته شد. با توجه به اینکه سنسورهای فشار روزانه برای کنترل و مانیتورینگ هزاران کاربرد صنعتی استفاده می‌شوند، در سال‌های اخیر سنسورها به صورت یک عنصر غیر قابل تفکیک سیستم‌های مختلف صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است. با پیشرفت سریع تکنیک اتوماسیون و کاربرد روز افزون این شاخه از تکنیک نیاز شدیدی به کاربرد سنسورهای مختلف که اطلاعات مربوط به عملیات تولید را درک و بر اساس این اطلاعات فرمان‌های مقتضی صادر کنند، احساس می‌شود. در این مقاله ابتدا دیافراگم پیزوالکتریک برای اندازه‌گیری فشار طراحی و ساخته شد؛ سپس تحت آزمایش قرار گرفت و با قرار گرفتن قطعات پیزو تحت آرایش متفاوت بر روی یک صفحه فلزی و با بدست آوردن معادلات ریاضی و ارتعاشاتی ورق و پوسته و کالیبره کردن فشار با میزان جریان تولیدی کارایی آن بررسی گردید.

کلمات کلیدی: طراحی، ساخت، دیافراگم، پیزوالکتریک، فشار

Design and manufacture piezoelectric diaphragm for pressure measurement

Arastoo moradi, hekmat rabbani

Arastoo moradi, arastatalis62@yahoo.com

ABSTRACT

This paper was written with the aim of integrating electronic engineering science and control with bio-system mechanics in order to design and manufacture piezoelectric pressure gauge in accordance with agricultural sciences. Due to the fact that daily pressure sensors are used to control and monitor thousands of industrial applications, in recent years, sensors have been used as an indistinguishable element of various industrial systems. With the rapid advancement of the automation technique and the increasing use of this branch of the technique, it is felt that the use of different sensors that understands the information about production operations and the issuance of commands based on this information is felt. In this paper, a piezoelectric diaphragm was first designed and measured to measure the pressure, and then it was tested and by placing the piezo parts under different makeup on a metal plate by obtaining the mathematical and vibration equations of the sheet and the shell and calibrating Pressure with the flow rate produced by the piezoelectric material was investigated.

Keywords: designing, production, diaphragm, Piezoelectric, Pressure

۱- ارسطو مرادی، کرمانشاه، بزرگراه امام ره پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشکده کشاورزی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، تلفن: ۰۹۱۸۶۲۳۳۱۲۴



علاقه انسان به تحت اختیار در آوردن و تسلط بر پدیده‌ها باعث پیدایش شاخه جدیدی از دانش به نام علم کنترل گردیده است. از طرفی اولین قدم برای کنترل یک فرآیند شناخت و درک دینامیک و رفتارهای آن فرآیند می‌باشد (Sabzposhan, H., 1393).

مواد پیزوالکتریک^۱ مواد هوشمندی هستند که متحمل فعل و انفعالات فیزیکی می‌شوند. بنابر تعریفی مواد هوشمند موادی هستند که تغییرات محیطی را دریافت کرده و با استفاده از بازخوردهای سیستم، این تغییرات را حذف یا تصحیح می‌کنند (Hoptman, P., 1992). از قرن‌ها قبل بومی‌های سیلان و هند متوجه خاصیت ویژه کریستال‌های کهربا شدند. خاصیت پیزوالکتریک اولین بار در سال ۱۸۱۷ توسط کانی‌شناس فرانسوی رن جاست هوی^۲ گزارش شد. اولین اثبات آزمایشگاهی ارتباط موجود بین پدیده‌های پیزوالکتریک ماکروسکوپی و ساختار کریستالوگرافی در سال ۱۸۸۰ میلادی توسط پیر کیوری^۳ انتشار یافت؛ سپس کلونین نظریه آنها را بیشتر تکمیل کرد (Majidi, M., 1392). ولی بلافاصله برداران کیوری آن را با آزمایشات خود تایید کردند. این پدیده در سال ۱۸۸۱ توسط هانکل^۴ پیزوالکتریسیته نام گرفت. در ۲۵ سال بعد یعنی تا سال ۱۹۱۰ میلادی کارهای بسیاری برای تبدیل این هسته به یک چهارچوب کامل صورت گرفت که در آن ۲۰ کلاس کریستالی طبیعی با خاصیت پیزوالکتریک و ۱۸ ضریب پیزوالکتریک به همراه رفتار دقیق ترمودینامیکی کریستال‌های جامد تعریف گردید (Deniamati, A., & Qarib, M., 1391 & Rudi, E., 1391).

اولین استفاده عملی از دستگاه‌های پیزوالکتریک، سونار بود که در جنگ جهانی اول توسعه پیدا کرد. در سال ۱۹۱۷ در فرانسه پائول لانگ وین^۵ روی یک آشکارگر ماوراء صوت کار کردند. (Saito, Y., & Takao, H., & Tanil, T., 2004).

مبدل‌های ماوراء صوت که امواج را به هوا می‌فرستند مدت زیادی وجود داشتند اما اولین استفاده تجاری در کنترل‌های تلویزیون بود. امروزه این مبدل‌ها بر روی انواع مختلف ماشین‌ها به عنوان دایاب کاربرد دارند و به راننده کمک می‌کنند تا فاصله عقب ماشین تا اجسامی که در سر راه آن قرار دارد را بفهمد (Minary, M., 2009 & Jolandan, Min-Feng Yu., 2009).

مواد پیزوالکتریک، آلیاژهای حافظه‌دار، مواد الکترواستریک^۶، مواد تغییر شکل دهنده در اثر مغناطیس، مایع‌های با خواص الکترورنولوژی^۷، نمونه‌هایی از مواد هوشمند متداول هستند (Vilani, S., 1393).

در این مقاله ابتدا دیافراگم پیزوالکتریک برای اندازه‌گیری فشار طراحی و ساخته شد؛ سپس تحت آزمایش قرار گرفت و با قرار دادن قطعات پیزو تحت آرایش متفاوت بر روی یک صفحه فلزی و با بدست آوردن معادلات ریاضی و ارتعاشاتی ورق و پوسته و کالیبره کردن فشار با میزان جریان تولیدی توسط مواد پیزو کارایی آن بررسی گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که هر پیزو با قرار گرفتن در فشارها و آرایش‌های مختلف رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهد که می‌توان با تغییر آرایش قطعات پیزوالکتریک، بازدهی این قطعات در تولید الکتتریسیته را بالا برد (Moradi, A., 1394). هم چنین این تحقیق نشان می‌دهد که در یک قطعه پیزو نیروها چگونه و در چه ناحیه‌ای بیشترین اثر ارتعاشی را دارند و این نیروها چگونه گسترده شده‌اند. لذا این نتایج به ساخت مواد پیزوالکتریک با ساختار و آرایش متفاوت‌تر که بتواند بازدهی بهتری داشته باشد می‌انجامد.

۱-۱- تئوری ساختار ورق‌های پیزوالکتریک

در میان تنوع مواد پیزوالکتریک، تقدم مواد زیرکونیم و تیتانیم (pzt) بیشترین تاثیر در پایداری پیزوالکتریک و زوج نیروهای الکترومکانیکال را دارا می‌باشد؛ که موجب پیدایش پر طرفدارترین سنسورهای فشار گردیده است. هر چند طبیعت شکننده و ترد (pzt) به عنوان یک مشکل برای ساختن ساختار دیافراگمی در مقایسه با دیگر مواد قابل انعطاف‌تر پیزوالکتریک مانند پلیمرهای (pvdf) و لایه‌های نازک zno می‌باشد؛ اخیرا گسترش ساخت pzt با لایه‌های ضخیم‌تر سرامیک در حدود چند دهم بیشتر با فرآیند نوارهای ریخته‌گری مورد توجه قرار گرفته است؛ که موجب می‌گردد پیزوالکتریک‌های فشارسنج قابل انعطاف و محکم‌تری طراحی و ساخته شوند (Vilani, S., 1393). عمده‌ترین کاربرد پیزوالکتریک‌ها استفاده برای اندازه‌گیری فشار سیالات می‌باشد (Majidi, M., 1392). در این حالت سنسورهای فشار عموماً فشار گاز یا مایع را اندازه می‌گیرند. اثر پیزوالکتریک از ارتباط خطی بین حالت مکانیکی و الکتریکی در مواد بلورین و شفاف بدون تقارن مرکزی درک می‌شود. سرامیک‌های PZT اگر به اندازه ۰,۱ درصد از ابعادشان تغییر شکل دهند نیروی پیزوالکتریک قابل اندازه‌گیری تولید خواهند کرد. برعکس اگر میدان الکتریکی به آنها

1Piezoelectric
2Ren joast hoy
3Peer quirie
4honkel
5Long veen
6Materials Electrostrictive
7Electrorheological Fluids



اعمال شود به اندازه ۰,۱ درصد از ابعادشان تغییر شکل خواهند داد (Kazumasa, H., 2004).

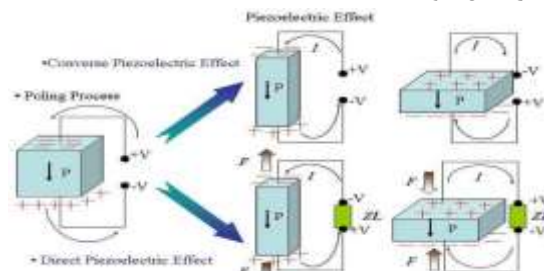


Figure 1. Piezoelectric structure

شکل ۱- ساختار پیزوالکتریک

رفتار مواد پیزوالکتریک بین میدان الکتریکی و کرنش در میدان های کوچک بصورت خطی می باشد. (تا ۱۰۰ ولت بر میلیمتر). در حالیکه در میدان های بزرگ دارای رفتاری غیر خطی هستند.

۱-۲- تئوری ورق های دایره ای شکل

در کارهای عملی و صنعتی ورق با شکل های هندسی مختلف مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله ورق های با کاربرد زیاد می توان ورق دایره ای شکل را نام برد. (Deniamati, A., & Qarib, M., 1391 & Rudi, E., 1391).

در مواردی که شکل هندسی یا بارگذاری نسبت به یک محور متقارن است، سیستم محورهای قطبی نسبت به سیستم محورهای قائم مناسب تر و آسان تر می باشد. سیستم محورهای قطبی و محورهای قائم، شکل (۲) با روابط زیر بهم وابسته اند:



Figure 2. Diagram of cutting and analysis of circular sheet.

شکل ۲- دیاگرام برش و تحلیل ورق دایره ای

$$x = r \cos \theta \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$y = r \sin \theta \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad \text{رابطه (۴)}$$

وقتی خیز تابعی از r و θ است، قانون زنجیره ای همراه با روابط فوق به رابطه ای شبیه رابطه زیر منجر می شود:

$$\frac{\partial w}{\partial r} = \frac{\partial w}{\partial x} \cos \theta - \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \sin \theta \quad \text{الف:}$$

از رابطه الف، $\frac{\partial^2 w}{\partial r^2}$ برابر می شود با:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} = \cos \theta \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right) - \frac{1}{r} \sin \theta \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial w}{\partial \theta} \right) \quad \text{رابطه (۵)}$$



رابطه (6)

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} = \sin \theta \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right) - \frac{1}{r} \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right) =$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} \sin^2 \theta - 2 \frac{\partial^2 w}{\partial r \partial \theta} \frac{\sin \theta \cos \theta}{r} + \frac{\partial w}{\partial r} \frac{\cos^2 \theta}{r} + 2 \frac{\partial w}{\partial \theta} \frac{\sin \theta \cos \theta}{r^2}$$

$$+ \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \frac{\cos^2 \theta}{r^2}$$

با قرار دادن روابط عملگر $\nabla^2 w$ بصورت زیر در می آید:

$$\nabla^2 w = \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2}$$

رابطه (7)

برای بدست آوردن روابط پایه یک ورق گرد تحت بار عرضی، المان کوچکی از ورق به ضخامت h ، با توجه به سیستم محورهای قطبی تحت بار عرضی در نظر گرفته می شود. برای سهولت محورها x در امتداد محور r با $\theta = 0$ فرض می شود (Deniamati, A., & Qarib, M., 1391 & Rudi, E., 1391).

معادله دیفرانسیل حاکم برای خیز ورق در سیستم محورهای قطبی بصورت زیر در می آید:

$$\nabla^4 w = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) = \frac{P}{D}$$

رابطه (8)

اگر W_h حل عمومی رابطه (21)،

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \left(\frac{\partial^2 W_h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W_h}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 W_h}{\partial \theta^2} \right) = 0$$

رابطه (9)

و W_p حل خصوصی رابطه (22) باشد حل کامل خیز عبارت خواهد شد از:

$$W = W_h + W_p$$

(10)

حل عمومی خیز را می توان بصورت سری زیر در نظر گرفت:

$$W_h = \sum_{n=0}^{\infty} f_n \cos n\theta + \sum_{n=1}^{\infty} f_n^* \sin n\theta$$

رابطه (10)

که در آن f_n و f_n^* فقط توابعی از r می باشند. با توجه به اینکه عبارت بدست آمده باید برای تمام مقادیر r و θ صادق باشد، دو سری معادله دیفرانسیل معمولی با حل های زیر بدست خواهند آمد (دنیاماتی و همکاران، 1391):

$$f_n = A_n r^n + B_n r^{-n} + C_n r^{n+2} + D_n r^{-n+2}$$

$$f_n^* = A_1^* r + B_1^* r^3 + C_1^* r^{-1} + D_1^* r \ln r$$

رابطه (11)

که در آن A تا D ثابت ها هستند و با توجه به شرایط مرزی ورق باید محاسبه شوند. با قرار دادن f و f^* در رابطه (11) حل عمومی

۲- مواد و روش ها

۲-۱- روش ساخت دستگاه

برای ساخت دستگاه ابتدا بدنه اصلی دستگاه ساخته شد؛ بدین ترتیب که ابتدا طبق اندازه‌های طراحی، ورق‌های فولادی در کارگاه برش خورده و آماده گردیدند؛ قسمت زیرین دستگاه بصورت یک دایره محاط شده درون یک مربع در کف دستگاه ساخته شده است. این قسمت محل نصب صفحه حامل پیزوالکتریک‌ها می‌باشد که صفحه گالوانیزه پس از نصب پیزوالکتریک‌ها بر روی آن آببندی گردید. در این مقاله با توجه به اهمیت مختصر نویسی از آوردن جزئیات صرف نظر شد.

۳- آزمایش

بعد از ساخت دستگاه، برای تحلیل عملکرد سنسورها، دیافراگم تحت فشارهای عملی مختلفی قرار گرفت که از نیم متر تا ۳ متر متغیر بود. فشار دستگاه از رنج ۱۰۴۹۴۵۰ تا ۱۲۹۴۱۰۱ پاسکال تغییر کرد و طبق آن مقادیر ولتاژ ثبت گردید که این افزایش فشار و به طبع آن افزایش ولتاژ بصورت خطی بود و با اختلاف بسیار کمی نسبت به مطالعات پیشین (Howard, c.r., 1998). در نمودارها نمایش داده شد. آزمایش نشان داد که عملکرد دستگاه در بالاترین فشار ممکن در این آزمایش و ارتفاع ۳ متر بود که فشار آن ۱۲۹۴۱۰۱ می‌باشد.

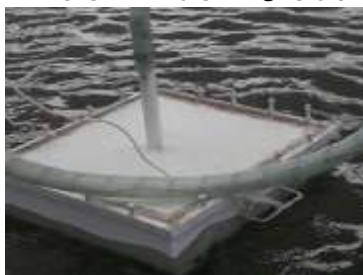


Figure 3. Piezoelectric diaphragm machine.

شکل ۳- دستگاه دیافراگم پیزوالکتریک

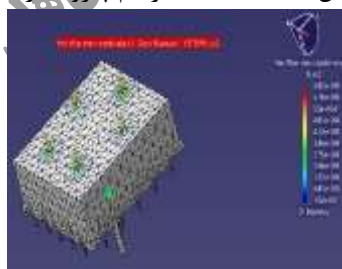


Figure 4. Van Mises stress diagram Piezoelectric diaphragm.

شکل ۴- دیاگرام تنش وان میز دیافراگم پیزوالکتریک



Figure 5. Strain diaphragm at the piezoelectric aperture center.

شکل ۵- دیافراگم کرنش در مرکز دیافراگم پیزوالکتریک



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

دیافراگم مورد آزمایش قرار گرفت. جابجایی دیافراگم بر حسب فرکانس در شکل (۶) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین فرکانس دستگاه در بالاترین فشار وارده به دیافراگم ثبت شده است. که در این فرکانس دیافراگم بیشترین فشار و جابجایی را در حدود ۱/۴۳ میکرومتر و در فشار ۱۲۹۴۱۰۱ پاسکال دارا می‌باشد.

همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است سنسور در محدوده فشار رنج $10^5 * 0.49$ تا $10^5 * 294$ پاسکال رفتار کاملاً خطی دارد. همچنین حساسیت سنسورها از روی شیب نمودار مشخص می‌شود؛ که برای این سنسورها حساسیت ۱۱۶ هرتز بر میلی بار می‌باشد.

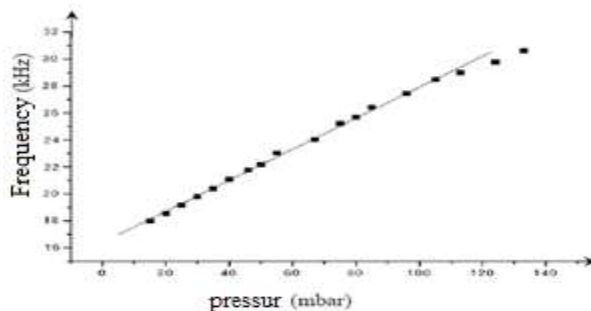


Figure 6. Frequency diagram based on the pressure applied to the sensors.

شکل ۶- نمودار فرکانس بر حسب فشار وارده بر سنسورها

۳-۱- ثبت ولتاژ

بین عمق آب یعنی فشار تولید شده توسط آب در هر عمق با ولتاژ تولید شده توسط همان فشار رابطه‌ای خطی می‌باشد. رابطه بین فشار-عمق آب و ولتاژ بدست آمده در این تحقیق در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- رابطه بین فشار، عمق آب و ولتاژ در مطالعات قبلی

Table 1. The relationship between pressure, water depth and voltage in previous studies.

Voltage (V)	Height (m)	Row
۴	۰.۵	۱
۸	۱	۲
۱۲	۱.۵	۳
۱۶	۲	۴
۲۰	۲.۵	۵
۲۴	۳	۶

همانطور که در نمودار شکل (۷) مشخص می‌باشد رابطه بین ارتفاع آب و ولتاژ تولیدی یک رابطه خطی می‌باشد. در این تحقیق نیز طبق نتایج بدست آمده از آزمایش دیافراگم در ارتفاع‌های مختلف آب رابطه خطی مطالعات قبل با تقریب نزدیکی ثابت شد.

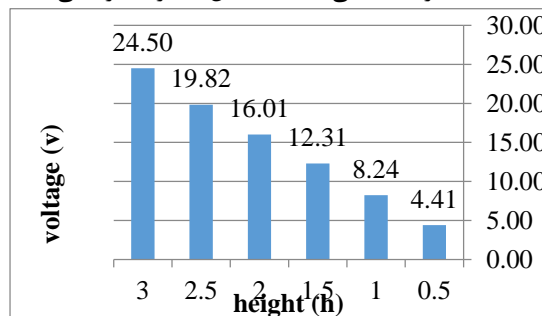


Figure 7. The relationship between the water height and the produced voltage.

شکل ۷- رابطه بین ارتفاع آب و ولتاژ تولیدی

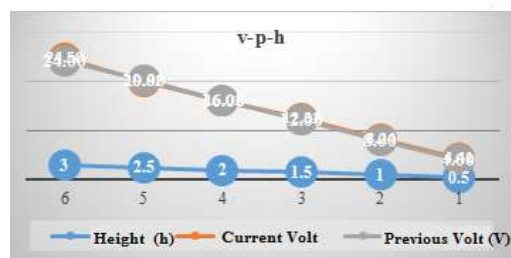


Figure 9. The relationship between water height and voltage.

شکل ۹- رابطه بین ارتفاع آب و ولتاژ

۳-۲- رابطه بین فشار و ولتاژ

در این تحقیق با انجام آزمایشات متعدد رابطه بین ارتفاع آب، فشار و ولتاژ تولیدی بدست آمد که با تقریب بسیار نزدیکی با مطالعات قبلی یکسان می باشد. جدول (۳) رابطه فشار و ولتاژ در این تحقیق را نشان می دهد.

جدول ۳- رابطه ارتفاع آب، فشار و ولتاژ تولیدی در این تحقیق

Table 3. The relationship between water height, pressure and production voltage in this research.

Height of water (m)	Pressure (Pascal)	Voltage (V)
0.5	1049450	۴
1	1098430	۸
1.5	1147870	۱۲
2	1196552	۱۶
2.5	1245692	۲۰
3	1294110	۲۴

۳-۳- المان بندی صفحه دیافراگم توسط نرم افزار

در این تحقیق دیافراگم توسط اجزاء محدود المان بندی شد تا مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. سپس تنش و کرنش هر المان بدقت بررسی و محاسبه گردید. شکل (۱۱) دیافراگم المان بندی شده را نمایش می دهد. در این شکل مکان نصب سنسورهای پیزوالکتریک به خوبی مشخص می باشد.

۳-۴- تحلیل تنش دیافراگم در عمق ۰/۵ متری آب

با قرار گرفتن دیافراگم در عمق نیم متری فشار $1/049 \times 10^5$ پاسکال بر المان پیزوالکتریک ها وارد می شود؛ در تحلیل وان میزودیاگرام توسط نرم افزار، ماکزیمم تنش فشاری که به یک المان کوچک از پیزوالکتریک وارد می شود $55721/8$ نیوتن بر متر مربع می باشد.

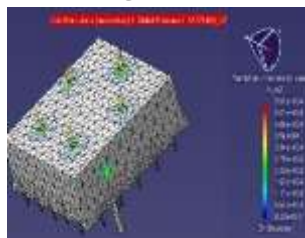


Figure 10. Tension in half a meter deep water.

شکل ۱۰- تنش در عمق نیم متری آب

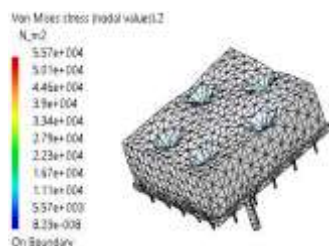


Figure 11. von mises Tension in half a meter deep water.

شکل 11- تنش وان میزز در عمق نیم متری آب

۳-۵- ماکزیمم بردار جابجایی

بیشترین جابجایی نقطه‌ای بر روی دیافراگم مرکز سنسورهای پیزوالکتریک می‌باشد که بردار جابجایی با رنگ قرمز نشان داده شده است و ماکزیمم می‌باشد؛ این امر نشان می‌دهد که هر چه بیشتر از تکیه‌گاه‌ها فاصله بگیریم میزان جابجایی افزایش می‌یابد و به طبع آن تولید جریان الکتریسیته نیز افزایش می‌یابد. بیشترین جابجایی که در عمق نیم متری آب ثبت گردید $1/160.031$ میلی‌متر بود.



Figure 12. Maximum displacement vector.

شکل 12- ماکزیمم بردار جابجایی

۳-۶- نمایش فشار اصلی وارده بر کل دیافراگم و نمایش المان محدود آن

هنگامی که یک جسم درون آب قرار می‌گیرد از تمام جوانب فشار یکسانی بر اجزاء آن وارد می‌شود و اگر توسط اجزاء محدود برای آن جسم تکیه‌گاه‌ها و گره‌ها را مشخص کنیم در مراکز هر المان بیشترین تنش بوجود می‌آید. در شکل (13) حداکثر و حداقل این تنش‌ها برای دیافراگم مشخص شده است.



Figure 13. Main pressure on the entire surface of the diaphragm on the water.

شکل 13- فشار اصلی وارده بر کل سطح دیافراگم از طرف آب



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



BuAli Sina University

۷-۳- نمایش و محاسبه مقدار خطای المان بندی

۴- نتیجه‌گیری

ابزاری که در این تحقیق توسعه داده شد امکان تولید و ذخیره انرژی فشار آب را دارا است. این ابزار با استفاده از تنها یک مبدل پیزوالکتریک، امکان تأمین توان دائمی در حد ۰/۸ میلی‌وات را فراهم نمود. البته برای فراهم شدن این توان دائمی به صورت یک منبع تغذیه ۲۴ ولتی، نیاز به ارتفاع حدود ۳ متر آب به صورت اولیه بود. این ساختنی بیشتر یک آزمایش علمی است و سعی دارد انگیزه ساخت یک مولد برق و تولید برق با استفاده از پیزوالکتریسته را در خوانندگان ایجاد کند. نتایج نشان داد با تغییر ابعاد و آرایش عضوهای حسگر و ابعاد دیافراگم میتوان به یک حسگر با کارایی مناسب و کاربردی دست یافت. نتایج بدست آمده تنش و کرنش ناحیه مورد نظر که دیسک‌های پیزوالکتریک بر روی آن نصب بود نشان داد که هرچه عمق دستگاه درون آب بیشتر شود به همان اندازه فشار و نیرو بیشتر و در نتیجه کرنش بیشتر بر این ناحیه اعمال می‌گردد در نتیجه‌های پیزوالکتریک ولتاژ بیشتری تولید می‌کنند و این ولتاژ بصورت خطی افزایش پیدا می‌کند.

مراجع

Book:

Deniamati, A., & Qarib, M., Rudi, E; (1391); "Piezoelectric and its Applications", Elias Publishing, Tehran(persian).
sabzPoshan, H., (1393); "Principles and Components of Industrial Control", 12th edition, Publications of the University of Science and Technology. (persian).
Moradi, A., (1394); "Introduction to Sensors and Their Application", First Edition, Literature Publishing. (persian).
Hoptman, P., 1992; "Principles and Application of Sensors", Translators: Navid Taghizadegan, Mehran Sabahi, Ladan Ejlali, Ashkina Publishing, Tabriz.
howard, c.r.,(1998)." Guide to the measurement of pressur and vacuum".

Book Section:

Lippman, G,(1881). "Principe de la conservation de l'électricité" (in French).Annales de chimieet de physique24: 145.

Wang Fan, F.R., & Z.Q. Tian, Z.L., (2012),"Nano Energy", Vol: 1, 328-3.

Conference Proceeding:

Majidi, M., (1392); "Simulation of Pearson Barometer based on MEMS technology with software" matlab, 1st National Electrical and Computer Conference of Southern Iran, Khormooj, Islamic Azad University, Khormoj
Minary, M., & Jolandan, H ., & Min-Feng ,Yu, (۲۰۰۹),"Nanotechnology"
Branch. (persian).
Saito, Y., & Takao, H., & Tanil, T., (2004),"Lead-free piezoceramics"
Kazumasa, H.,(2004), "Lead-free piezoceramics".

Journal Article:

Vilani, S, 1393; "Simulation and experimental study of a piezoelectric micro-electromechanical barometer package based on petrochemical industry performance requirements", Journal of Mechanical Engineering, Modarres Volume 14 Issue 16, March 2015(persian).