Archive of SID

هیدروفونهای کامپوزیتی

رضا طبرزدی
تهران – اتوبان شهید دوران – سازمان تحقیقات و خودکفایی نیروی دریایی سپاه
Reza33uk@yahoo.com

چکیده

نخستین هیدروفونها اغلب از سنسور تیتانات باریم ساخته می شدند ، با پیشرفت علم و تکنولوژی مواد (Pbo,Zro_2,Tio_2)PZT جایگزین تیتانات باریم گردید . هم اکنون نیز اغلب شناورهای دنیا از این دو سنسور بعنوان گیرنده و فرستنده های زیر آبی استفاده می کنند .در این گزارش ضرایب مهمی نظیر dh ، gh و M و اثرتغییرات آنها بر هیدروفون ها بررسی خواهد شد . امروزه از ترکیب سرامیک های پیزوالکتریک و پلیمرها بصورت کامپوزیت ، توانسته اند خواص گیرندگی و فرستندگی سونارها و هیدروفون ها را بیش از بیش افزایش دهند . درادامه این گزارش به مزایای استفاده از این نوع هیدروفونها نسبت به انواع دیگرآنها اشاره شده واثر افزودن پلیمر به خواص پیزوکامپوزیت بررسی خواهد شد . در نهایت نیز سهم این کامپوزیت ها در معاملات جهانی مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت .

کلمات کلیدی: هیدروفون ـ کامپوزیت ـ پیزوالکتریک ـ ضریب شایستگی

مقدمه

فنآوری استفاده از امواج هر روز گسترش می یابد و زیر آب فن آوری استفاده از امواج صوتی نقش اساسی را بر عهده دارد زیرا این نوع امواج به بهترین وجه در آب منتشر می گردند . از جمله وسایل صوتی که در این محیط کاربرد فراوانی دارد گیرنده های صوتی در انواع مختلف آن می باشد . این گیرنده های صوتی امواج صوتی منتشر شده در محیط را دریافت نموده و آنرا به امواج الکتریکی تبدیل نموده و جهت پردازش به پردازشگرهای الکترونیکی

www.SID.ir

Archvie of SID

ارسال می نماید .در جنگ جهانی دوم همانند جنگ جهانی اول فعالیتهای مربوط به امواج صوتی زیر آبی بشدت و بطور هیجان انگیزی جریان داشت . اژدرهای هدایت شونده آکوستیکی ، مین های آکوستیکی مدرن و دستگاههای سونار اسکن کننده همه از دست آوردهای زمان جنگ است . سالها پس از جنگ دوم جهانی با اختراع کامپیوترها و پردازشگرهای سیگنال دیجیتال ، امکان پردازش سیگنالهای مرکب چه از لحاظ زمانی و چه از لحاظ مکانی امکان پذیر شد و استفاده از اطلاعات خیلی بیش از آنچه مورد انتظار بود عملی گردید .

تحول چشمگیری که بعد از جنگ بوجود آمد ، پیشرفت کاربرد امواج صوتی زیر آبی برای مقاصد صلح جویانه بود که هنوز هم راه رشد و ترقی را می پیماید . اصوات زیر آبی که در ابتدا فقط برای عمق سنجی در دریا بکار می رفت اکنون برای مقاصد وسیع و گوناگونی نظیر ماهی گیری ، تلفنهای زیر آبی ، نقشه برداری از دریاها و غیره بکار می رود .(۱)

فاکتور مهم دیگری که در این میان رشد چشمگیری داشته و هنوز در حال پیشرفت و تکامل می باشد ، حس کننده های امواج صوتی می باشد (پیزوالکتریک ها) . این مواد ، مبدلهایی هستند که قادرند انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی یا صوتی و بالعکس انرژی مکانیکی یا صوتی را به انرژی الکتریکی تبدیل کنند . نخستین هیدروفونها اغلب از سنسور تیتانات باریم ساخته می شدند ، با پیشرفت علم و تکنولوژی مواد $(Pbo,Zro_2,Tio_2)PZT$ جایگزین تیتانات باریم گردید . هم اکنون نیز اغلب شناورهای دنیا از این دو سنسور بعنوان گیرنده و فرستنده های زیر آبی استفاده می کنند . با آمدن پلیمرهای فروالکتریک با خواص ویژه نظیر ، قابلیت شکل دهی بالا ، استحکام و تافنس بالا ، ضریب امپدانس آکوستیکی پایین و ضریب شایسته گی بالا ، در ناوها و شناورهای پیشرفته بسیار مورد استفاده قرار گرفت . بدین ترتیب قابلیت شنود ، موقعیت یابی و آشکارسازی شناورها بسیار افزایش پیدا کرد .

معادلات و پارامترهای پیزوالکتریک

پیزوالکتریک ، قابلیت تولید ولتاژ الکتریکی بر اثر اعمال نیروی مکانیکی و بطور معکوس تولید نیروی مکانیکی بر اثر ولتاژ الکتریکی می باشد . نسبت بین بار الکتریکی بوجود آمده در واحد سطح پیزوالکتریک به نیروی اعمال شده به آن را با d_{ij} نشان می دهند . که در آنجا i جهت پلاریزاسیون و j جهت اعمال نیرو در دستگاه مختصات می باشد . فشارمکانیکی ناشی از امواج صوتی در هیدروفونها بصورت هیدرواستاتیکی وارد میشود ، در آنجا ضریب d_{ij} را با d_h نشان داده که برابر است با مجموع ضرایب d درجهات مختلف پیزوالکتریک می باشد . همچنین نسبت بین

www.SID.ir

Archvie of SID

مـیدان الکتریکی ایجاد شده به فشار مکانیکی اعمال شده را با g_{ij} نشان می دهند . در هیدروفون ها این ضریب را با g_h و بـه نـام ضریب ولتاژهیدرواستاتیک می شناسند که از مجموع ضرایب g_{ij} درجهات مختلف پیزوالکتریک بدست می آید .(۲).

در قدیـم اغلب تحقیقات بر روی ساخت قطعات پیزو الکتریک با دانسیته بالا متمرکز بود. زیرا اغلب کاربردهای پـیزو الکـتریکها چنیـن بدنـه های متراکمی را طلب می کرد . اما یک سری کاربردهای خاصی وجود دارد که در آنجا پـیزو سـرامیکهای مـتخلخل بـه علـت داشـتن خواص هیدرواستاتیکی زیاد مناسبتر از پیزو سرامیکهای متراکم عمل می کنند . یکی از این کاربردهای خاص هیدروفونهای با فرکانس پایین می باشد. (۳)

هیدروفـن بطـور خـاص یـک میکروفن زیر آبی است. امواج آکوستیک در هیدروفن توسط مواد پیزوالکتریک تـبدیل بـه سـیگنال هـای الکتریکی می گردد . هنگامیکه از پیزو سرامیکهای متراکم جهت ساخت هیدروفن استفاده گـردد . درصـد بالایـی از امـواج آکوستیکی هنگام برخورد به پیزو سرامیک ، منعکس می گردد ، زیرا ضریب امپدانس آکوسـتیکی پـیزو سرامیک متراکم بالا می باشد . برای رفع آن معمولاً یک لایه واسط که ضریب امپدانس آکوستیکی بیـن سـیال (معمـولاً آب) و پـیزو سـرامیک دارد استفاده می شود در این صورت نیز برای سیگنالها یا فرکانس پایین $100KH_Z$ مـیزان فشـار آکوسـتیکی که بصورت هیدرواستاتیکی وارد می شود و شدیداً وابسته به ابعاد پیزو سرامیک مـی‌باشـد ، افـت می کند . برای هیدروفنهای ساخته شده یا پیزو سرامیکهای منفذ دار ، ضریب امپدانس آکوستیکی ، نـزدیک بـه آب بـوده لـذا مـیزان انعکاس امواج بسیار کمتر و فشار هیدرواستاتیکی بدون مستهلک شدن مستقیماً به خـود کامپوزیـت وارد می شود و دراین حالت پاسخ بهتر و دقیقتر و سیگنال تولیدی بهتر می شود. علاوه بر آن هزینه سـاخت ایـن پیزو الکتریکهاکمتر بوده و به علت قابلیت تراشکاری آنها می توان شکلهای مختلف با ابعاد دقیق را تولید نمود. (۴)

هـیدروفونها در دو حالـت اکتـیو و پسیو (فعال و غیر فعال) ساخته می شوند. همانگونه که ذکر گردید در هر دو حالت اکتیو و پسیو یک فشار هیدرو استاتیکی به سنسور وارد می شود برای هیدروفونهای اکتیو داشتن ضریب d_h بـالا مناسب می شود . برای پیزو سرامیکهای متراکم ضریب d_{33} بالا می باشد اما ضریب d_{31} آن نیز با علامت مخالف بالا می باشد. (طبق فرمول ۱)

$$d_h = d_{33} + 2d_{31} \qquad (mv^{-1}) \qquad \text{فرمول (۱)}$$

www.SID.ir

Archvie of SID

بنابرایـن ضـریب هیدرواسـتاتیکی بـا افـزایش قدر مطلق d_{31} شدیداً افت می نماید. با منفذ دار کردن پیزو سرامیکها علـیرغم کـم شدن d_{33} ، قدر مطلق d_{31} نیز کم می شود بنابراین d_h افزایش می یابد . در ادامه این گزارش در ارتباط بـا افزایش میزان تخلخل بر ضریب هیدرواستاتیکی هیدورفون اکتیو بیشتر بحث خواهد شد . برای هیدروفونهای پسیو (غـیرفعال) ضریب ولتاژ هیدرواستاتیکی g_h مطرح می شود. این ضریب مطابق با فرمول ۲ شدیداً وابسته به ضریب d_h و ضریب گذرهی پیزو الکتریک می باشد.

$$g_h = \frac{d_h}{\varepsilon_{35}^T} \quad (V\ m^{-1} pa^{-1}) \qquad \text{فرمول (۲)}$$

هـر چـه مـیزان ضـریب ولـتاژ هیدرواسـتاتیکی (g_h) بیشـتر باشـد مـیزان ولتاژ خروجی در اثر تنش مکانیکی بیشتر مـی‌باشـد. ایـن ضـریب باافـزایش فشار هیدرواستاتیکی (d_h) افزایش و با کاهش ضریب گذردهی (ε_{33}^T) نیز افزایش مـی‌یـابد . بـا مـنفذ دار کـردن پـیزو سرامیکها و نفوذ دادن پلیمر به درون منافذ ضریب گذردهی فوق العاده کم شده وبنابراین ضریب ولتاژ هیدوراستاتیکی افزایش می یابد.

در مواردی که یک هیدروفون هم بحالت اکتیو و هم به حالت پسیو استفاده شود ضریب دیگری مطرح می شود که از حاصل ضرب ضریب ولتاژ هیدوراستاتیک و ضریب فشار هیدرواستاتیک بدست می آید (فرمول ۳) . به این ضریب ، ضریب شایستگی هیدوراستاتیک می گویند(M)(۳)

$$M = g_h . d_h \qquad \text{فرمول (۳)}$$

تحقیقـی کـه در ایـنجا گزارش شده مربوط به مواد کامپوزیتی پیزو الکتریک ۳-۳ می باشد . این کامپوزیت از یـک مـاده فعـال پـیزو الکـتریک به عنوان ماتریس و یک ماده غیر پیزو الکتریک و غیر فعال پلیمری که به درون این ماتـریس نفـوذ داده شـده اسـت تشـکیل شـده اسـت. علـت انتخاب اندیس ۳-۳ بخاطر پیوستگی دو ماده در جهات کریسـتالوگرافی مـی باشـد. اندیس اول مربوط به پیزو سرامیک و اندیس دوم مربوط به پلیمر می باشد . عدد ۳ نشان دهـنده پیوسـتگی هـر یک از اجزا در سه محور x ، y و z می باشد. بنابراین کامپوزیت ۳-۳ به کامپوزیتهایی اطلاق مـی شـود که هم فاز فعال و هم فاز غیر فعال در سه جهت کریستا لوگرافی پیوسته می باشند .شکل (۱) نمونه هایی از ساختارهای مختلف از جمله ۳-۳ را نشان می دهد.

همـانطور کـه ذکـر گـردید در کـنار هم قرار گرفتن دو فاز پلیمری و پیزو سرامیک ضریب گذردهی کامپوزیت پـیزو الکـتریک را کـاهش می دهد و این امر سبب می شود تا ضریب ولتاژ هیدرواستاتیک (g_h) افزایش یابد. علاوه بر

www.SID.ir

Archvie of SID

آن مـزایای بهتری از نظر کاهش یافتن دانسیته قطعه ایجاد می شود. کاهش دانسیته قطعه باعث می شود تا امپدانس آکوسـتیکی کـم شـده و نزدیک تر به امپدانس آکوستیکی آب گردد . این باعث می شود تاامواج آکوستیکی برخوردی بـه پـیزو الکتریکـی کمـتر مـنعکس شده و درصدبیشتری جذب پیزو الکتریک گردد. مسئله مهم دیگری که در اینجا اهمیـت پـیدا مـی کـند هزیـنه کمتر مواد استفاده شده در این پیزو الکتریکها و قابلیت شکل دهی بهتر آنها و ساخت نمونه هایی با ابعاد دقیق می باشد.

بررسی تاثیر افزودن پلیمر در کامپوزیتهای پیزوالکتریک بر خواص هیدروفون

همـانطور کـه ذکـر گـردید ایجاد ساختار متخلخل و تزریق رزین به درون این ساختار خواص هیدروفون ها را بهـبود مـی بخشـد . در ایـن قسمت با ارائه منحنی هایی به بررسی بیشتر این موضوع می پردازیم. شکل(۲) تغییرات ضـریب نفوذپذیری را بر حسب میزان پلیمر نشان داده است. همانگونه که از شکل (۲) مشخص است با افزایش درصد پلـیمر ε_{33}^{T} (ضـریب نفوذ پذیری) کاهش پیدا می کند. اگر اثر افزایش درصد پلیمر را بر ضریب فشار هیدرواستاتیک مشـاهده کنـیم (شـکل ۳) مـتوجه مـی شویم نخست یک افزایش در این ضریب را داریم و پس از رسیدن به یک قله مجدداً کاهش ضریب هیدرواستاتیک را خواهیم داشت. این قله در محدوده ۵۰ درصد پلیمر مشاهده می شود .(۵)

علـت ایـن افـزایش همانطور که قبلاً ذکر گردید کاهش ضریب d_{31} همزمان با کاهش ضریب d_{33} می باشد اما در کـل همانگونـه کـه مـی دانیم d_h وابسته به d_{33} و $2d_{31}$ می باشد. چون علامت d_{31} منفی می باشد و با ضریب ۲ ظاهـر مـی شـود باعث افزایشd_h می شوند . با افزایش میزان پلیمر d_{33} بسیار کم شده بطوریکه کاهش آن نسبت به کاهش d_{31} اهمیت پیدا می کند و در نتیجه باعث افت منحنی می گردد . (۵)

همـانطور کـه قـبلاً اشاره شد ضریب ولتاژ هیدرواستاتیک با ضریب نفوذ پذیری نسبت عکس دارد بنابراین با کـاهش ضـریب نفـوذ پذیری ضریب ولتاژ هیدرواستاتیک نیز افزایش می یابد. $(g_h = \frac{dh}{\varepsilon_h^T})$ این مسئله در شکل (۴) نیز به اثبات رسیده است . همانگونه که از شکل (۴) مشخص است با افزایش درصد پلیمر ضریب ولتاژ هیدرواستاتیک افـزایش مـی یـابد . هنگامیکه یک هیدورفون اکتیو بخواهیم ضریب شایستگی اهمیت پیدا می کند. ضریب شایستگی حاصـل ضـرب فشـار و ولـتاژ هیدرواسـتاتیک مـی باشـد . بنابراین به نظر می رسد منحنی آن دارای یک پیک باشد. تحقـیقات در ایـن زمیـنه در شـکل (۵) نشـان داده شده است. قله این منحنی در حدود ۸۰ درصد فاز پلیمر مشاهده

www.SID.ir

Archvie of SID

مـی شـود ، ایـن مقـدار برابـر $30\times10^{-12}\ pa^{-1}$ مـی باشـد . در بعضـی از شـکلهای آورده شـده ، سه منحنی مشاهده مـی شود.این منحنی ها بر حسب ابعاد منافذ در جهت های x ، y و z می باشد. ابعاد منفذ در جهت x و y را l_1 و در جهـت z را l_2 نشـان مـی‌دهند . در منحنی های با نقطه پر رنگ $l_2=0.2l_1$ می باشد و در منحنی با نقاط چهارگوش $l_1=1_2$ یعنـی مـنافذ کـاملاً هموژن می باشند و در منحنی های با نقاط مثلث $l_2=2l_1$ می باشد یعنی منافذ در جهت محور z بزرگتر و کشیده شده می باشند . (۵)

مقایسه پیزوالکتریک ها

همانگونـه در شکل (۶) مشخص است میزان ضریب شایستگی هیدروفون های سرامیکی ۱۰۰ ، پلیمری ۱۰۰۰ و کامپوزیت ها از ۱۶۰۰ تا ۴۰۰۰۰ بر حسب نوع ساختار کامپوزیت و مواد مورد استفاده متغیر میباشد ۰(۶)

یـک بررسـی از مـیزان خـرید و فـروش پیزو الکتریک ها در ایالات متحده انجام شده و در آنجا سهم معاملات پیزوسرامیک ها ، پیزو پلیمرها و پیزو کامپوزیت ها در سالهای ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ با هم مقایسه شده است . شکل(۷)

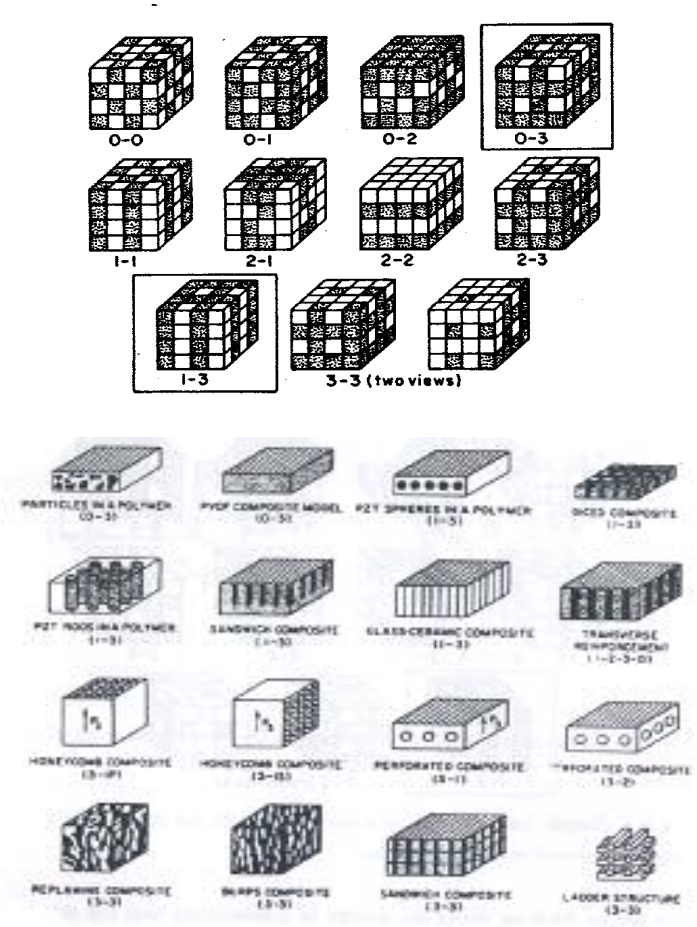
همانگونـه که از شکل مشخص است ، هنوز پیزو سرامیک ها بیشترین سهم در خرید و فروش پیزوالکتریک ها را دارند اما میزان سهم آنها از معاملات هر سال کمتر می شود . سهم پیزو کامپوزیت ها از ۳/۲٪ در سال ۲۰۰۰ به ۷/ ۴٪ در سـال ۲۰۰۵ رسـیده اسـت .(۷) بخاطـر نـو پا بودن دانش فنی ساخت پیزو کامپوزیت ها ، سهم این مواد در معـاملات کـم مـی باشـد ، اما نسبت به سایر پیزو کامپوزیت ها رشد بیشتری داشته و مهمترین مصرف آنها نیز بطور یقین در هیدروفون ها بوده است .

نتیجه گیری

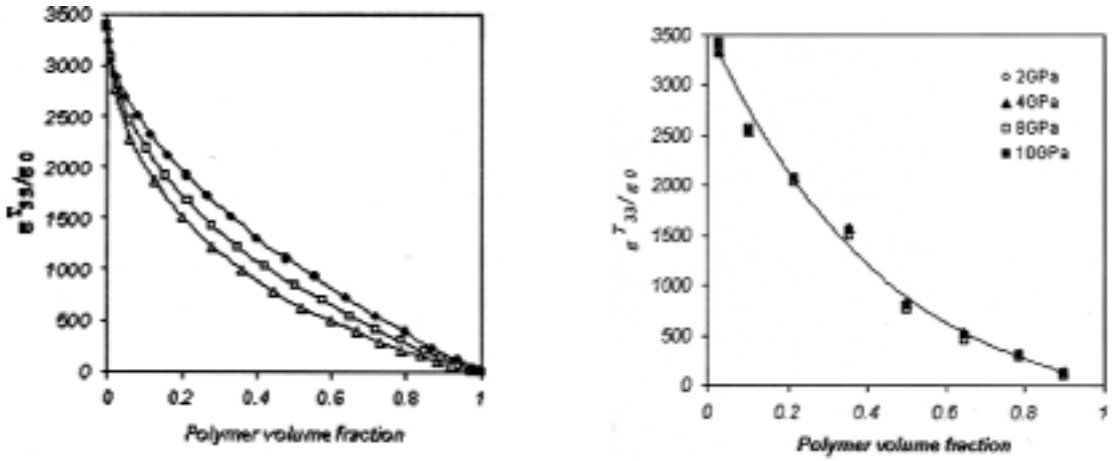
خـواص پیزو کامپوزیت ها بخصوص نوع ۳-۳ آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت . اپتیمم مقدار ترکیب پلیمر بـه پیزوسـرامیک بـرای رسیدن به $M = g_h.d_h$ بالا ، مشخص گردید . در این گزارش بهترین نسبت بین ε_r ،dh ، gh و درصـد فـاز پلیمری مشخص گردید . هیدروفون هایی که از این سنسورها ساخته می شوند ، در شرایط مساوی بـا سـایر هـیدروفون هـا بـا کمتریـن انـرژی صـوتی بشـترین ولتاژ الکتریکی خواهند داد و بالعکس با کمترین میدان الکتریکی موج صوتی قویتری را ارسال می کند .

www.SID.ir

Archvie of SID



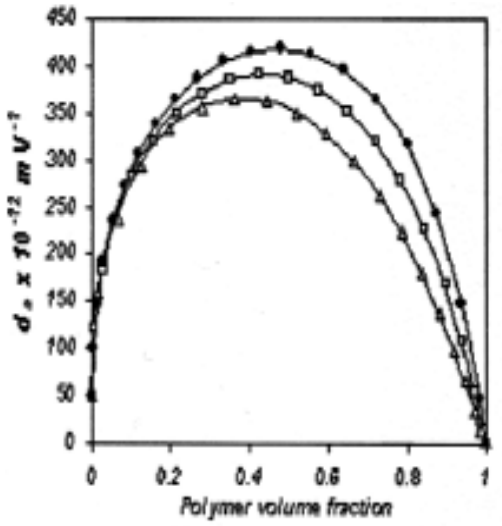
شکل (۱) ساختار کامپوزیت های پیزوالکتریک



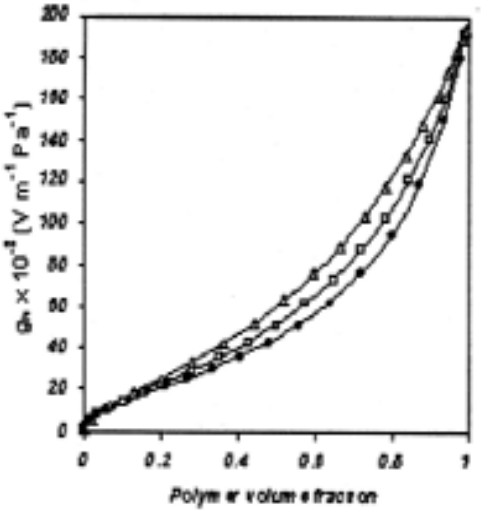
شکل (۲) اثر افزایش درصد پلیمر بر ضریب نفوذ پذیری کامپوزیت ۳ -۳ (۵)

www.SID.ir

Archvie of SID



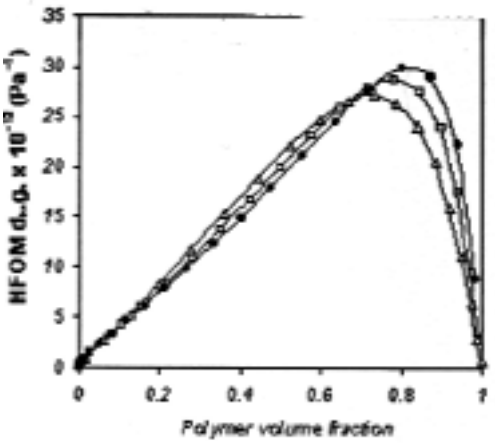
شکل (۳) اثرافزایش درصد پلیمری بر ضریب فشار هیدرو استاتیکی کامپوزیت ۳ -۳ (۵)



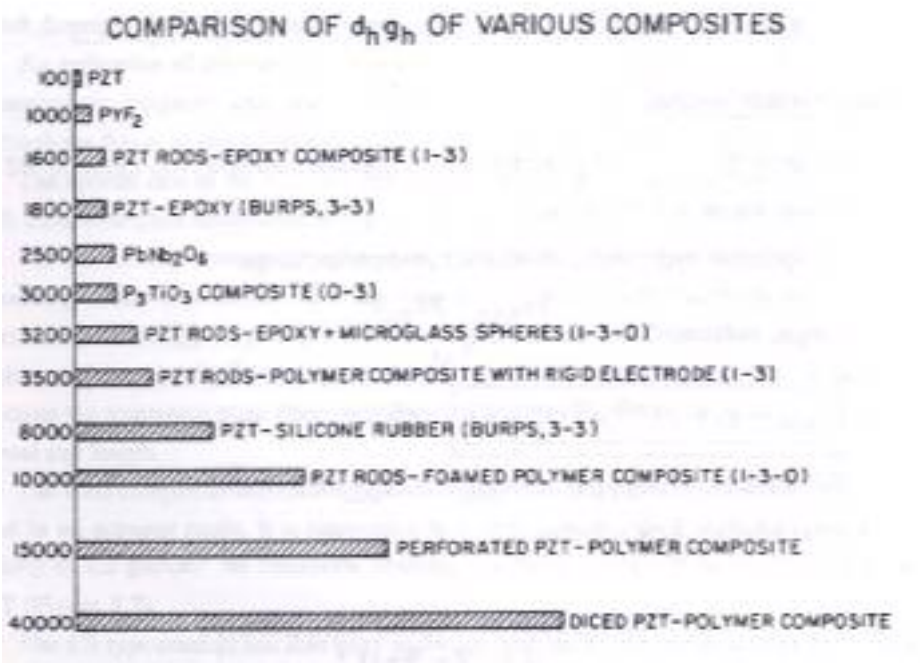
شکل (۴) اثر افزایش درصد پلیمر بر ضریب ولتاژ هیدرواستاتیک کامپوزیت ۳ -۳ (۵)

www.SID.ir

Archvie of SID

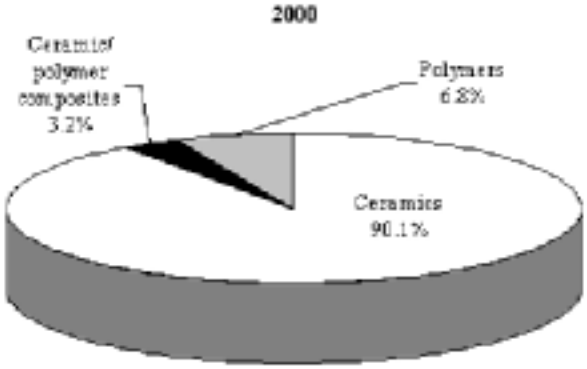


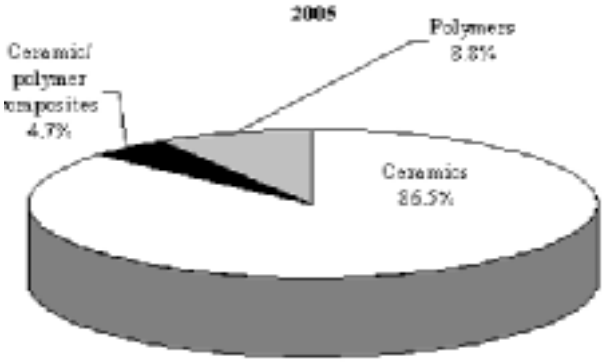
شکل (۵) اثر افزایش درصد پلیمر بر ضریب شایستگی هیدرواستاتیک کامپوزیت۳ -۳ (۵)



شکل(۶) مقایسه ضریب شایستگی انواع کامپوزیت ها

www.SID.ir





شکل(۷) مقایسه سهم معاملات انواع پیزوالکتریک ها

مراجع :

۱ – بشـیر انیسی و رضا طبرزدی ، "طراحی و ساخت هیدروفن جلد دوم ساخت و مونتاژ هیدروفون" ، پروژه ،سازمان تحقیقات و خودکفایی نیروی دریایی سپاه ، تابستان ۸۱ .

۲- سعید خادم ، "پیزوسرامیک ها و ترانسدیوسرهای پیزوالکتریک زیر آب" ، گردآوری ، دانشگاه صنعتی مالک اشتر .

3 – A.Perry,C.Bowen,S.MAHON , "Modelling of 3-3 Piezocomposites" , Department of Engineeving & Applied sience,University of Bath,BA27AY .

4 – 3-3 Literature Review part:5.2 Background and literature review.

5– C.R.Bowen,A.Perry and R.Stevens , "Analytical and Numerical Modelling of 3-3 piezoelectric composites" , Department of Material sclence & Engineering , university of Bath,BA27AY .

6- by n.setter e.l.colla , "ferroelectric ceramics" tutorial reviews , theory , processing , snd applications , Edited 1993

7- "us piezoelectric market continuesto boom "
http://bccresearch.com/press

www.SID.ir