

جلسه سیزدهم: شبیه سازی ترانسدیوسر پرتوان اولتراسونیک





• استفاده از آنالیز مودال در تحلیل ترانسدیوسر پیزوالکتریک

- ✓ فرکانس های طبیعی ترانسدیوسر
- ✓ شکل مد های مختلف ترانسدیوسر

- آگاهی از فرکانس تشدید دقیق ترانسدیوسر به منظور تنظیم فرکانس کاری منبع تغذیه ولتاژ در فرآیند شستشو
- پیش‌بینی عمر ترانسدیوسر و رفتار آن در فرآیند مورد استفاده (در اینجا شستشو)



مراحل مدلسازی ترانسدیوسر به کمک نرم افزار ANSYS10.0

- انتخاب المان مناسب
- مدلسازی هندسي
- وارد نمودن خواص مواد
- شبکه بندي
- اعمال شرایط مرزي و بارگذاري در صورت نیاز
- انتخاب نوع تحليل
- حل مساله

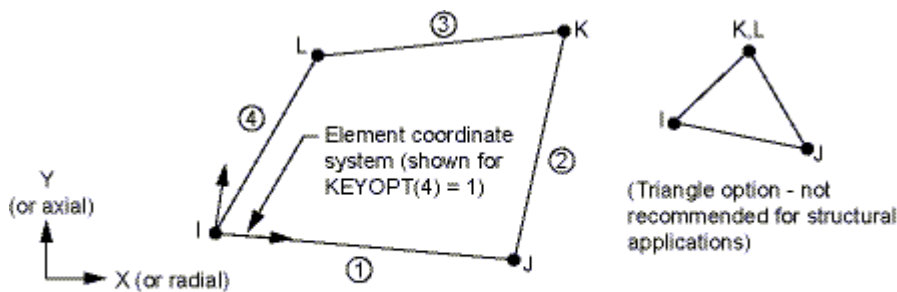
PLANE 13: المانی است که قابلیت بکارگیری در تحلیل های دو بعدی را دارا بوده و قابلیت بکارگیری در شرایط زیر را داراست:

مغناطیسی

الکتریکی

گرمایی پیزوالکتریکی

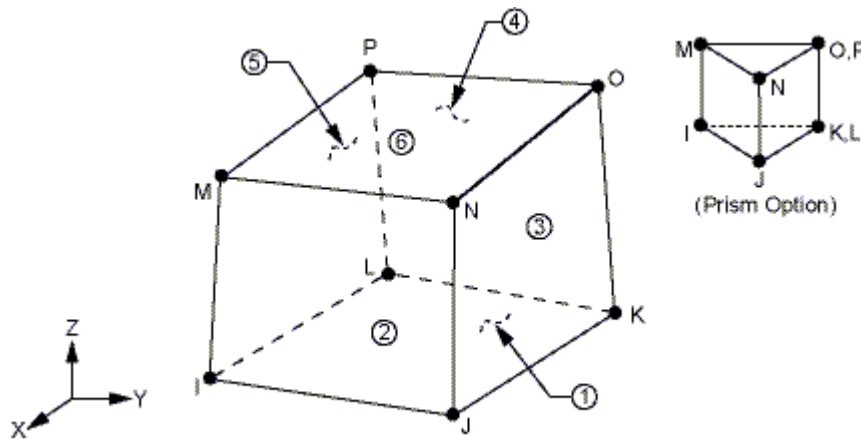
سازه ای



این المان با ۴ گره تعریف می شود و از نظر هندسی می تواند ۳ یا ۴ ضلعی باشد که هر گره قابلیت تعریف ۴ درجه آزادی ($X, Y, Z, VOLTAGE$) را دارد.

Solid 5: المانی است که قابل بکارگیری در تحلیل های سه بعدی در شرایط زیر را داراست:

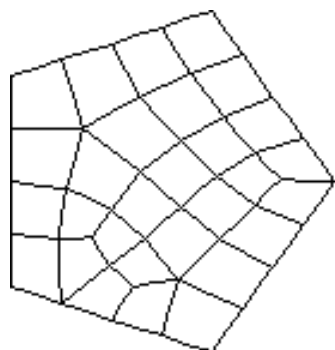
- مغناطیسی
- الکتریکی
- گرمایی
- پیزوالکتریکی
- سازه ای



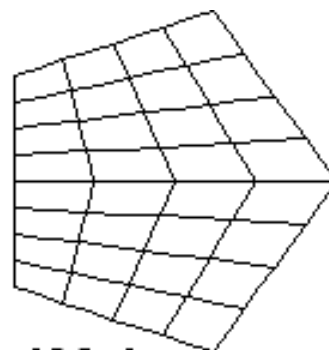
شکل هندسی این المان به صورت ۵ یا ۶ وجهی می باشد و با ۸ گره تعریف می شود که هر گره قابلیت تعریف ۶ درجه آزادی (X, Y, Z, VOLT, TEMP, MAG) را دارد.



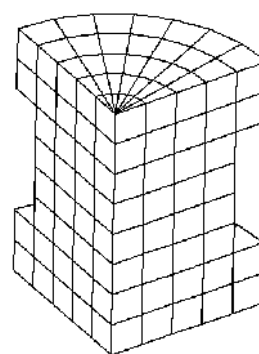
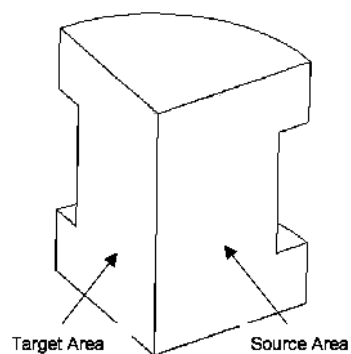
- **Solid 5:** وقتی که در تحلیل های پیزوالکتریک و سازه های به کار می رود قابلیت پذیرفتن تغییر شکل های بزرگ و شبیه سازی فرآیند سخت شدگی تنش را داراست.

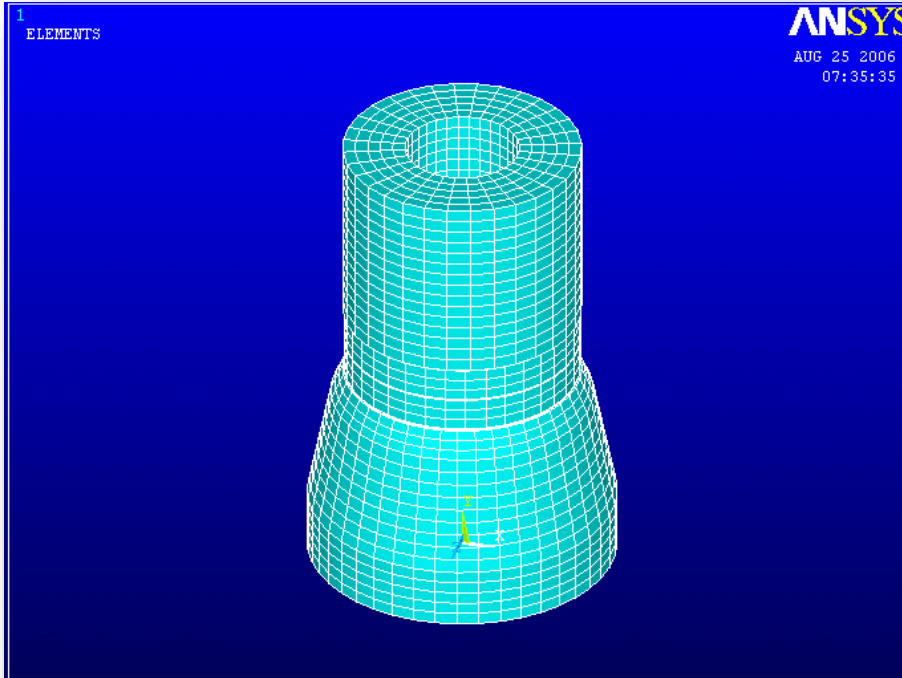


Free Mesh



Mapped Mesh

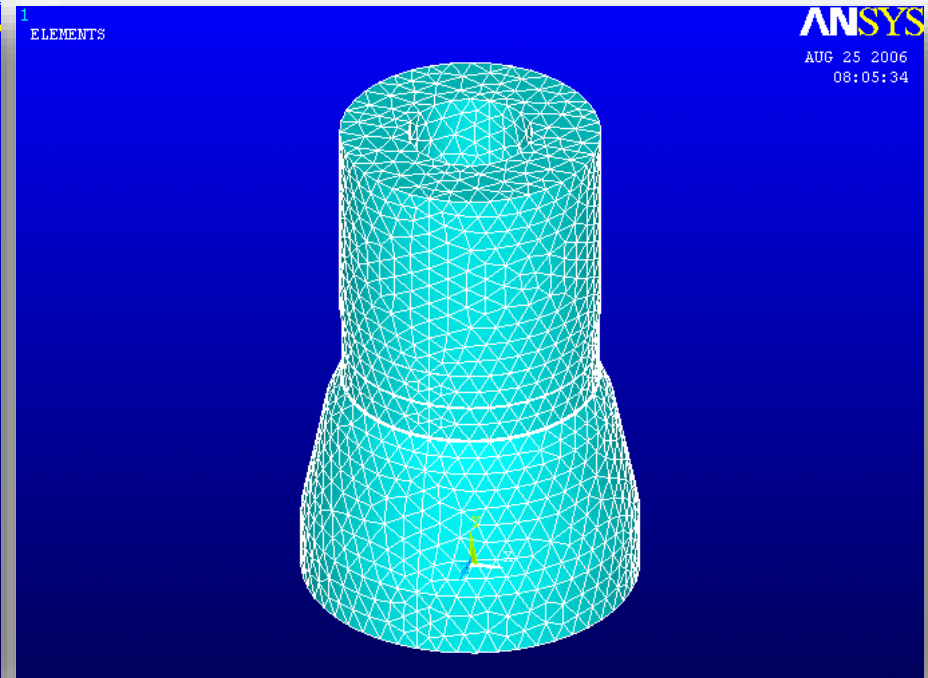




مدل سه بعدی کامل

شبکه بندی سه بعدی به روش جاروب

المان های شش وجهی (Solid5)



مدل سه بعدی کامل

شبکه بندی سه بعدی به خودکار

المان های چهار وجهی
(Solid98, Solid227)

$$\left[m_g \right] \frac{d^2 x_r}{dt^2} + [c] \frac{dx_r}{dt} + k' [x_r] = F$$

معادله تعادل سیستم

$$x_r = X_r e^{j\omega t}$$

جواب
هارمونیک

$$\left(\frac{[m_g]}{[k']} \right) X_r = X_r \left(\frac{1}{\omega^2} \right)$$

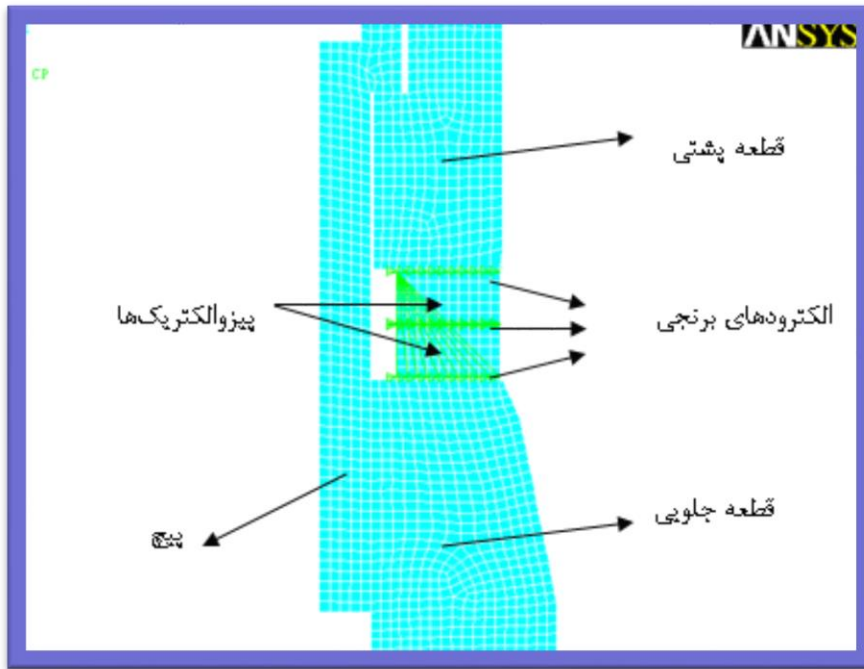
جایگذاری در
معادله تعادل

$$A v_v = v_v \lambda_v$$

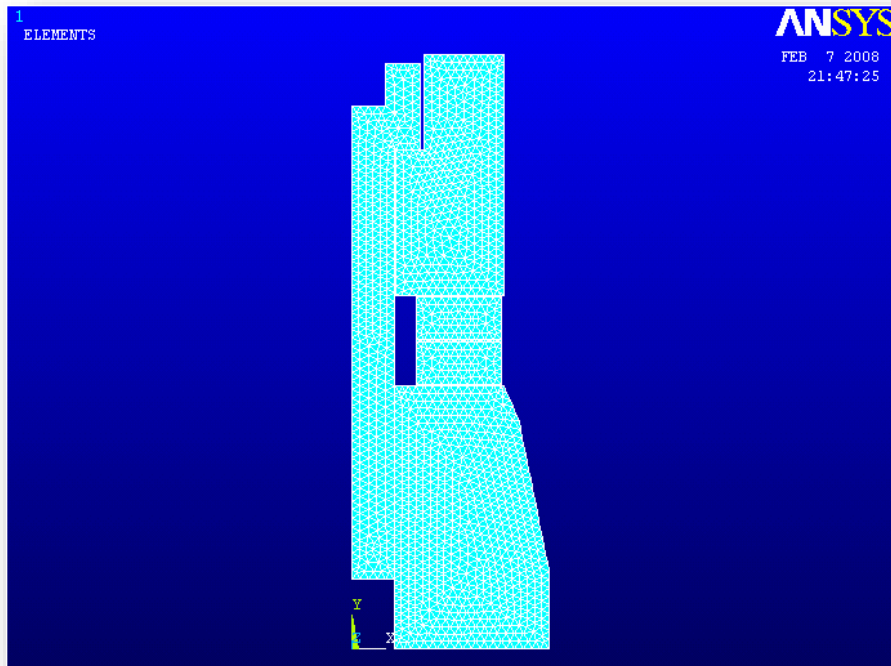
معادله
مقادیر ویژه

- برای یافتن فرکانس های طبیعی و شکل مودهای ترانسدیوسر از روش Block Lanczos استفاده شد.

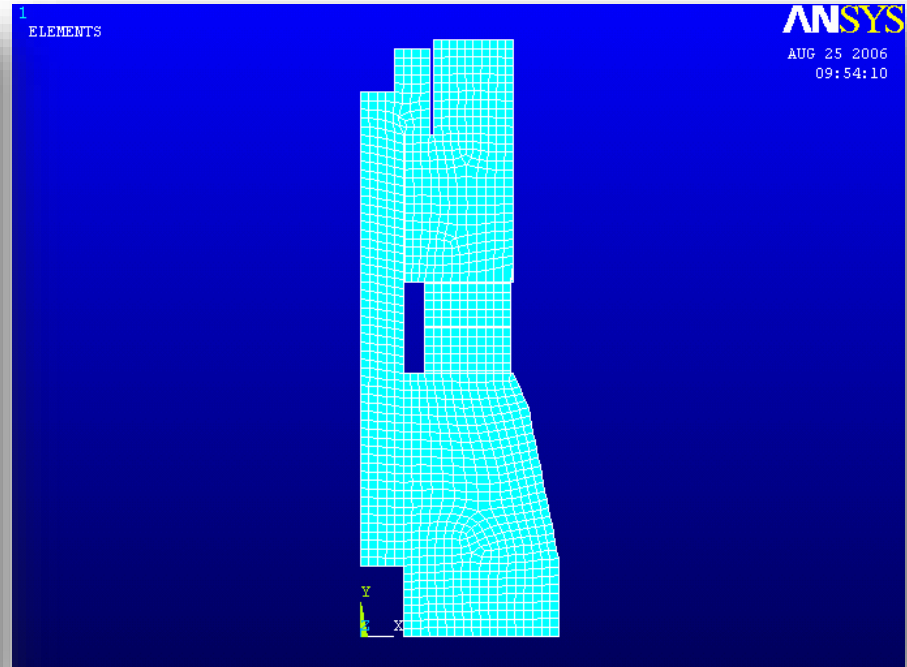
- در نظر گرفتن مقطع دو بعدی ترانسدیوسر به صورت متقارن محمی
- اتصال کوتاه فرکانس تشدید مدارباز
- فرکانس ضدتشدید



- در شبیه‌سازی نرم افزاری بوش عایق، پیش‌تنش، اثرات دمایی روی پیزوالکتریک‌ها و دمپینگ در نظر گرفته نشده است.

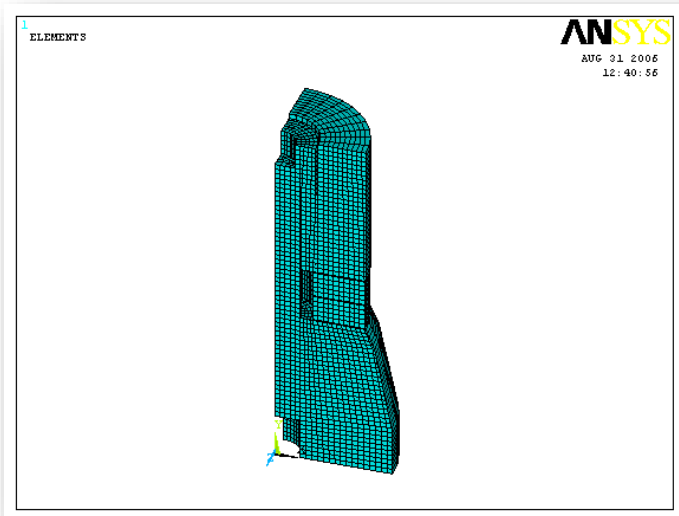


مدل دو بعدی متقارن محوری
شبکه بندی دو بعدی خودکار با
المان های سه ضلعی

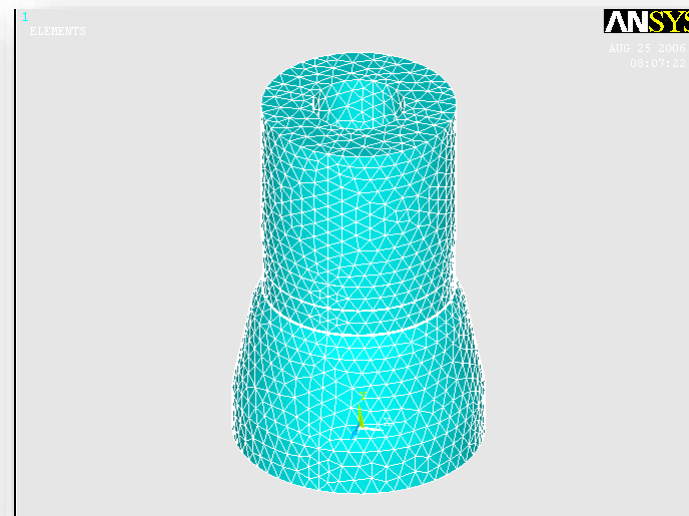


مدل دو بعدی متقارن محوری
شبکه بندی دو بعدی خودکار با
المان های چهار ضلعی

- مدلسازی سه بعدی به صورت مدلسازی یک چهارم سه بعدی و مدلسازی سه بعدی کامل انجام شد.



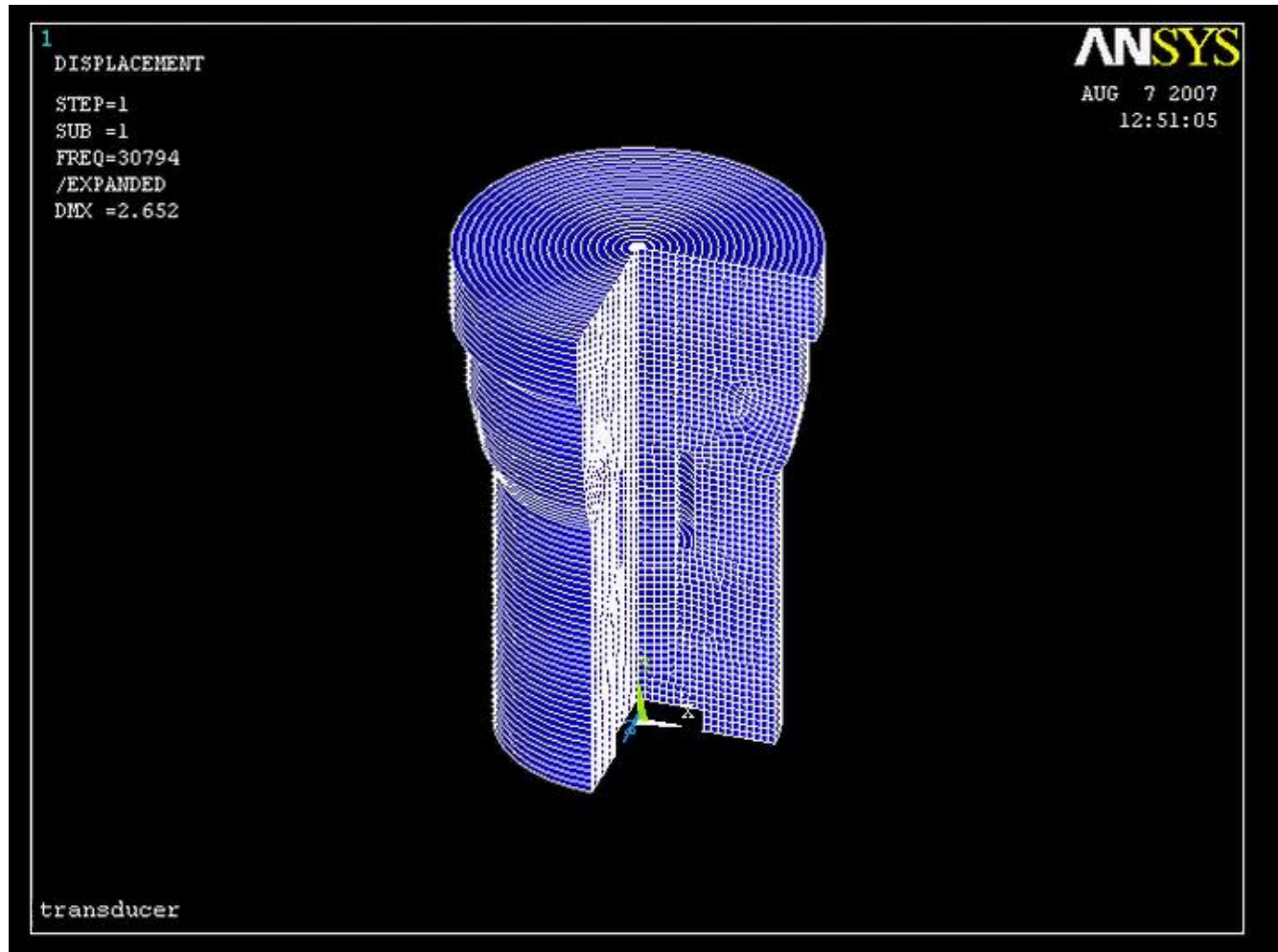
مدل یک چهارم سه بعدی ترانسدیوسر



مدل سه بعدی کامل ترانسدیوسر


➤ در مدلسازی یک چهارم سه بعدی, قید هندسی تقارن به دو سطح کناری پیچ اعمال می شود.

نوع مدلسازی و شبکه بندی	جهت پلاریزاسیون	المان یکار گرفته شده برای پیزوالکتریک ها	المان یکار گرفته شده برای سایر قطعات	اندازه المان ها (mm)	فرکانس تشدید به دست آمده از تحلیل مودال (اتصال کوتاه) (Hz)	فرکانس ضد تشدید به دست آمده از تحلیل مودال (مدار باز) (Hz)	زمان اجرای برنامه بر حسب دقیقه
دو بعدی با المان های چهار ضلعی به روش خودکار	Y	PLANE 13	PLANE 13	1	30146	33075	2:44:56
دو بعدی با المان های چهار ضلعی به روش خودکار	Y	PLANE 223	PLANE 13	1	30128	33058	2:56:24
یک چهارم سه بعدی با المان های شش وجهی قطاعی به روش جاروب	Y	SOLID5	SOLID5	1	30151	33081	18:13:37
سه بعدی کامل با المان های شش وجهی قطاعی به روش جاروب	Y	SOLID5	SOLID5	1	30052	32841	60:20:13
سه بعدی کامل با المان های شش وجهی قطاعی به روش جاروب	Y	SOLID5	SOLID5	2.5	29743	32703	31:21:12
سه بعدی کامل با المان های چهار وجهی و شبکه بندی خودکار	Y	SOLID227	SOLID98	2.5	30080	32941	94:25:36



برای تبدیل ماتریس‌های خواص پیزوالکتریک برای حالتی که جهت پلاریزاسیون جهت Y است لازم است جای سطرها و ستون‌هایی که بیانگر جهت Z هستند با سطرها و ستون‌هایی که بیانگر جهت Y هستند، تعویض شوند.

$$ANSYS[s] = \begin{bmatrix} X & Z & Y & XZ & YZ & XY \\ s_{11}^E & s_{13}^E & s_{12}^E & 0 & 0 & 0 & X \\ s_{12}^E & s_{13}^E & s_{11}^E & 0 & 0 & 0 & Y \\ s_{13}^E & s_{33}^E & s_{13}^E & 0 & 0 & 0 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{66}^E & XY \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{44}^E & 0 & YZ \\ 0 & 0 & 0 & s_{44}^E & 0 & 0 & XZ \end{bmatrix}$$



$$ANSYS(3D)[s^E] = \begin{bmatrix} X & NewY & NewZ & NewXY & YZ & NewXZ \\ s_{11}^E & s_{13}^E & s_{12}^E & 0 & 0 & 0 & X \\ s_{13}^E & s_{33}^E & s_{13}^E & 0 & 0 & 0 & NewY \\ s_{12}^E & s_{13}^E & s_{11}^E & 0 & 0 & 0 & NewZ \\ 0 & 0 & 0 & s_{44}^E & 0 & 0 & NewXY \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{44}^E & 0 & YZ \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{66}^E & NewXZ \end{bmatrix}$$

$$[\varepsilon_r^S] = \begin{bmatrix} \varepsilon_{r11}^S & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{r11}^S & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{r33}^S \end{bmatrix}$$



$$[\varepsilon_r^S] = \begin{bmatrix} \varepsilon_{r11}^S & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{r33}^S & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{r11}^S \end{bmatrix}$$

ورودی تحلیل سه بعدی

$$[\varepsilon_r^S] = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11}^S & 0 \\ 0 & \varepsilon_{33}^S \end{bmatrix}$$

ورودی تحلیل دو بعدی

$$ANSYS(3D, axisZ)[d] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & d_{13} \\ 0 & 0 & d_{13} \\ 0 & 0 & d_{33} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{51} & 0 \\ d_{51} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



$$ANSYS(3D, axisY)[d] = \begin{bmatrix} 0 & d_{13} & 0 \\ 0 & d_{33} & 0 \\ 0 & d_{13} & 0 \\ d_{51} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & d_{51} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ورودی تحلیل سه بعدی

$$ANSYS(2D, axisY)[d] = \begin{bmatrix} 0 & d_{13} \\ 0 & d_{33} \\ 0 & d_{13} \\ d_{51} & 0 \end{bmatrix}$$

ورودی تحلیل دو بعدی

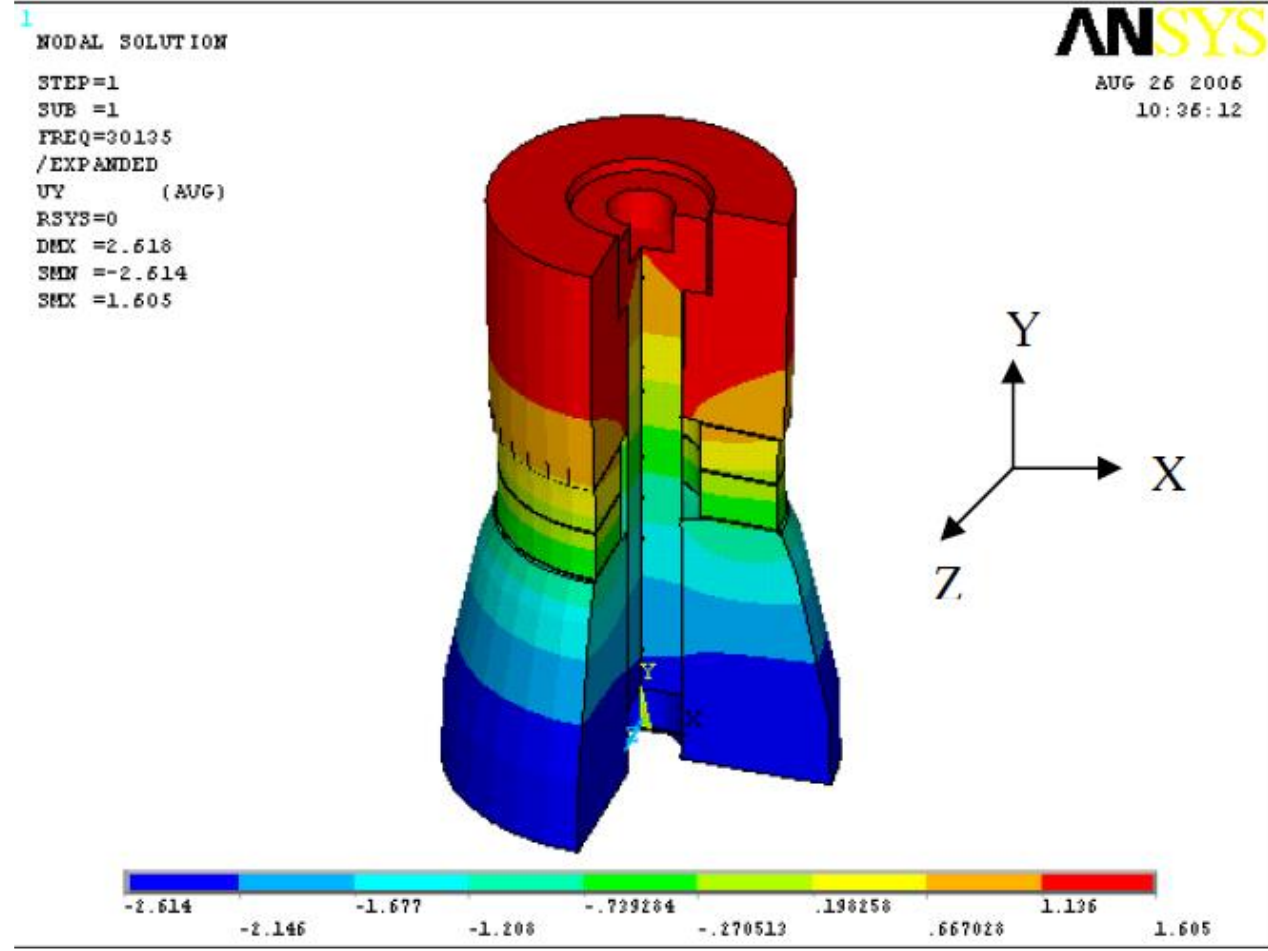


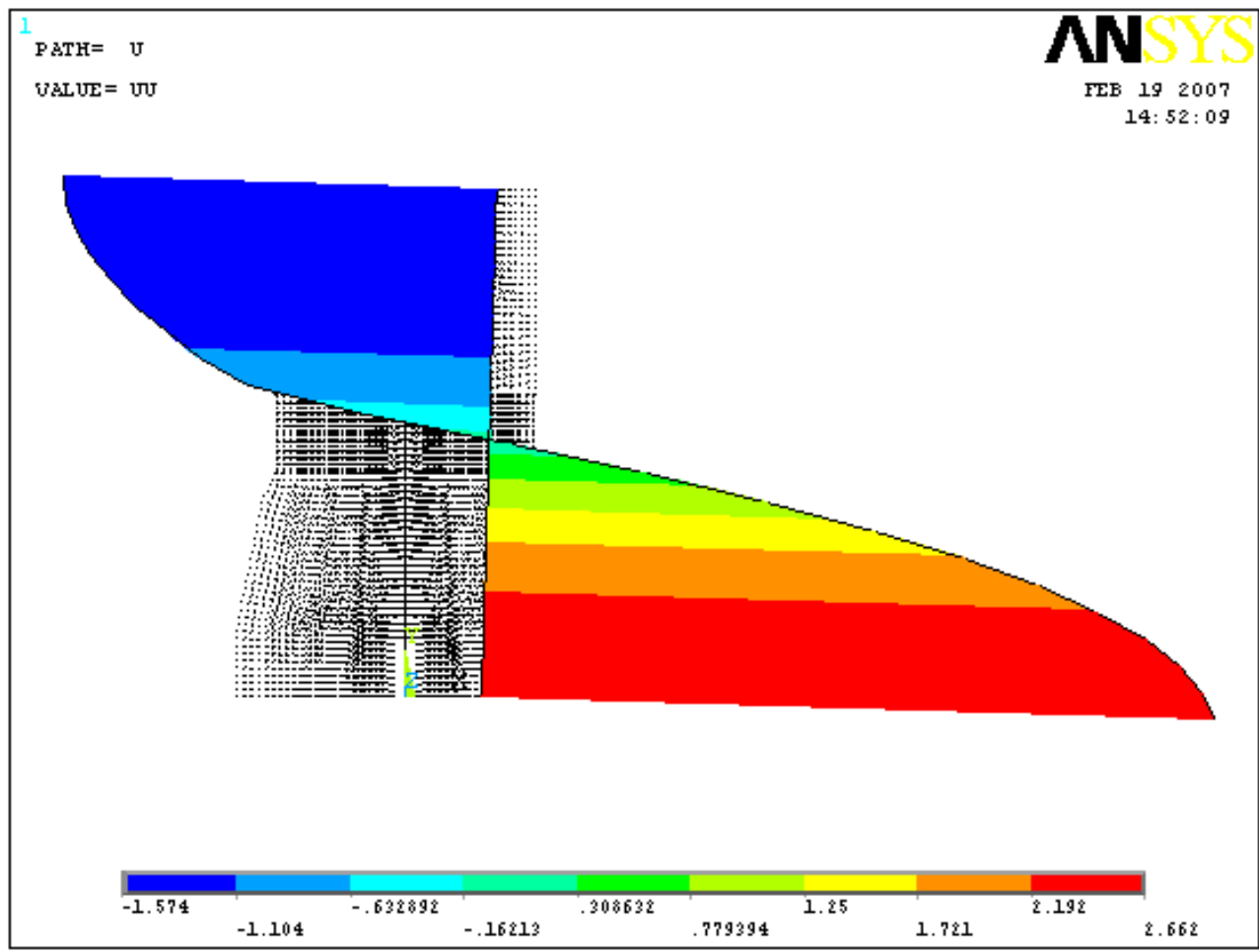
نمونه مشخصات پیزوالکتریک برای PZT-SA

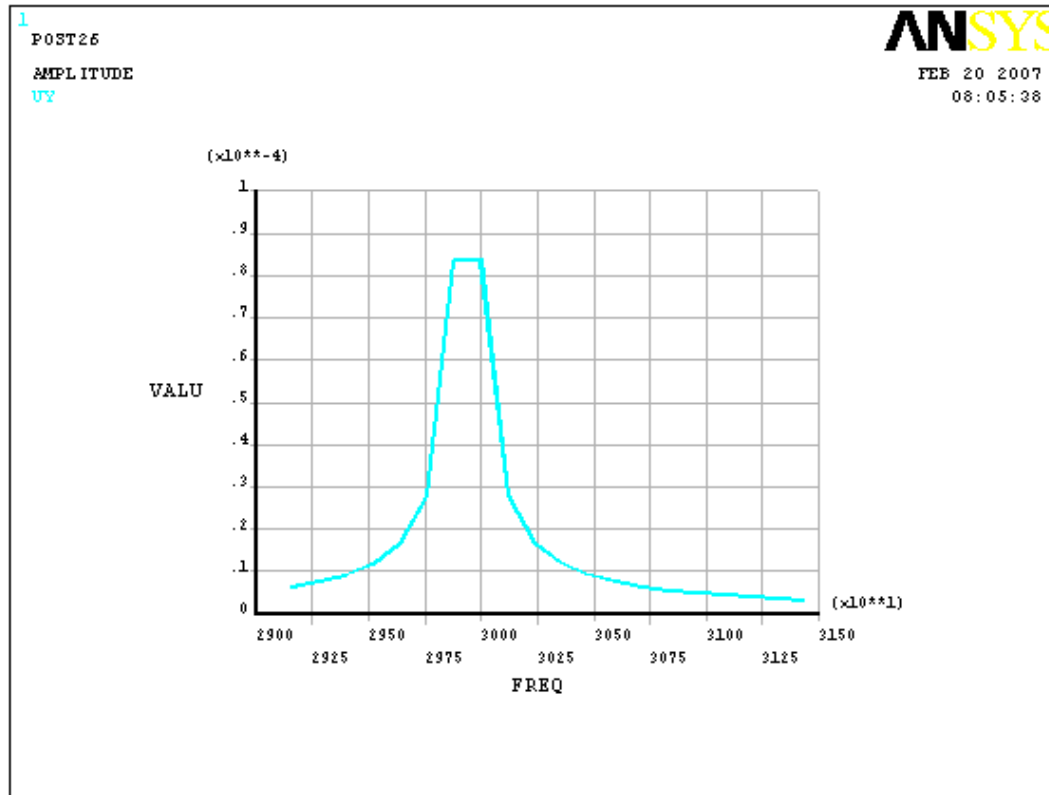
نماد	نماد	نماد	PZT-SA
ρ	ρ	$\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	7910
$\epsilon_{r_{11}}$ $\epsilon_{r_{33}}$	$\epsilon_{r_{11}}^S$	-	874
	$\epsilon_{r_{33}}^S$	-	718.06
e_{31} e_{33} e_{15}	e_{31}	$\frac{C}{m^2}$	-
	e_{33}	$\frac{C}{m^2}$	-
	e_{15}	$\frac{C}{m^2}$	-
s_{11}^E s_{12}^E s_{13}^E s_{33}^E s_{44}^E s_{66}^E	s_{11}^E	$\frac{m^2}{N} \times 10^{-12}$	11.7
	s_{12}^E	$\frac{m^2}{N} \times 10^{-12}$	-3.63
	s_{13}^E	$\frac{m^2}{N} \times 10^{-12}$	-5.17
	s_{33}^E	$\frac{m^2}{N} \times 10^{-12}$	14.3
	s_{44}^E	$\frac{m^2}{N} \times 10^{-12}$	33.5
	s_{66}^E	$\frac{m^2}{N} \times 10^{-12}$	30.7
d_{13} d_{33} d_{51}	d_{13}	$\frac{m}{V} \times 10^{-10}$	-1.31
	d_{33}	$\frac{m}{V} \times 10^{-10}$	2.86
	d_{51}	$\frac{m}{V} \times 10^{-10}$	3.87

شبه سازی ترانسدیوسر تکی









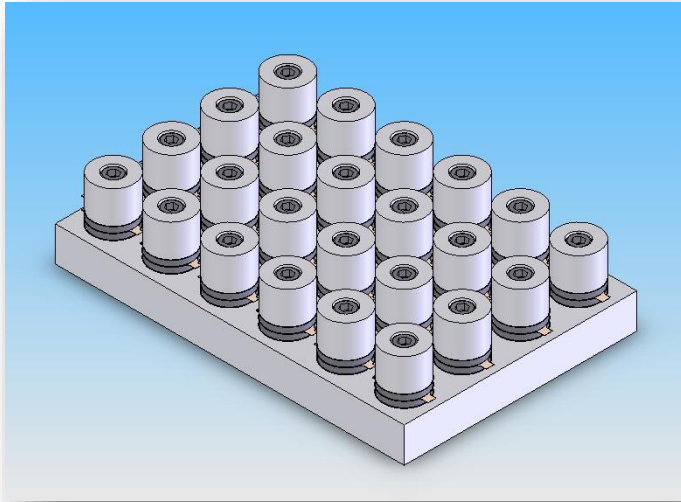
نمودار دامنه جابجایی بر حسب فرکانس

شبه سازی ترانسدیوسر با قطعه تطبیق یکپارچه

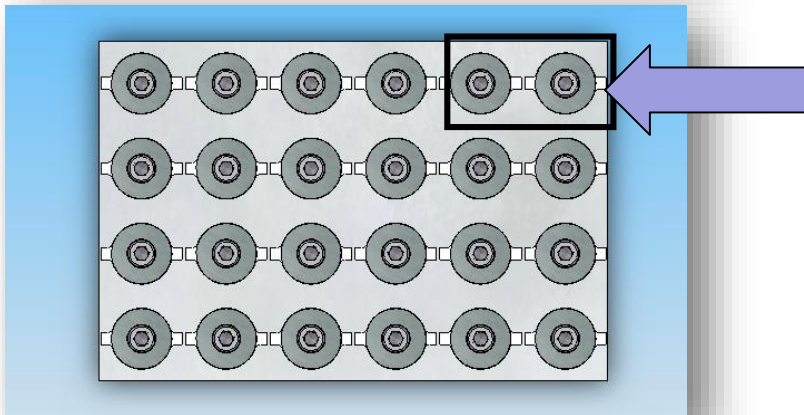


شبیه‌سازی کله‌گی شستشوی آلتراسونیک با قطعه جلویی یکپارچه

□ در کله‌گی شستشوی آلتراسونیک با قطعه جلویی یکپارچه، صفحه انتشار دهنده ارتعاش شامل 24 ترانسدیوسر است که در 6 ردیف 4 تایی چیده شده‌اند. توان کارکرد ترانسدیوسرها 100 وات می‌باشد

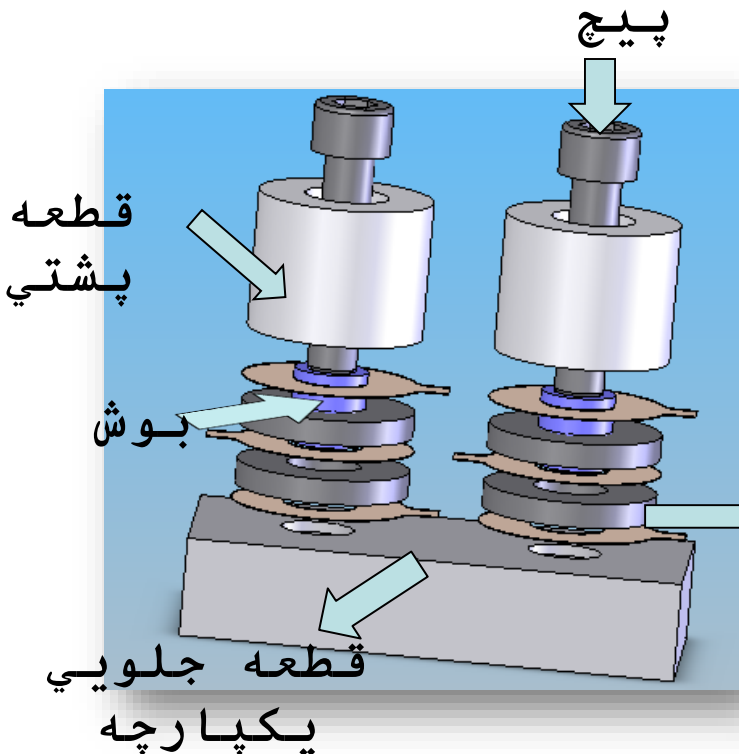


□ انتخاب دو عدد از ترانسدیوسرهای تانک شستشو برای آزمون و شبیه‌سازی به دلیل تقارن موجود



□ فاصله قرص‌های پیزوالکتریک فاصله بهینه به دست آمده از کارهای قبلی، برابر 50 میلی‌متر

- دو ترانسدیوسر یکی با قطعه جلویی یکپارچه بدون شیار وسط و دیگری با قطعه یکپارچه شیاردار به کمک نرم افزار ANSYS تحلیل المان محدود شد.



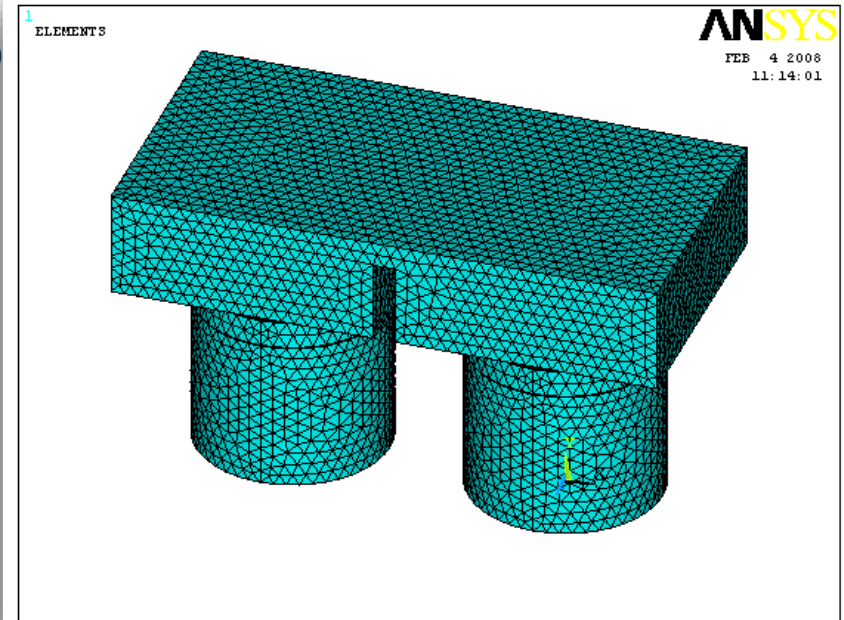
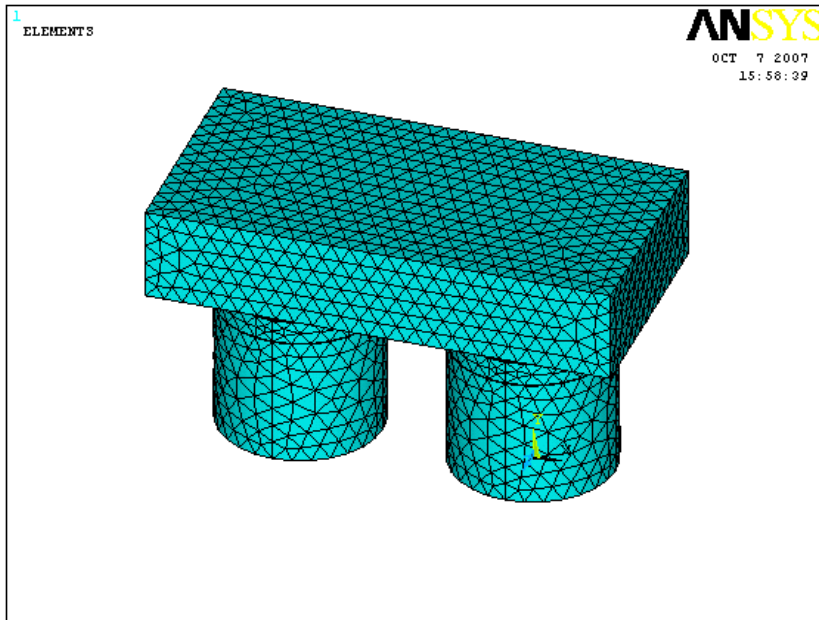
- به دلیل نامتقارن بودن ترانسدیوسر فقط به صورت تمام سه بعدی انجام شد.

- جنس قطعه جلویی، آلومینیوم 7075-T73

- برای تحلیل از المان های SOLID227 پیزوالکترونیک و SOLID98 برای قرص های پیزوالکتریک و قطعات استفاده شد.

اجزای ترانسدیوسر با قطعه جلویی یکپارچه بدون شیار

- صرفنظر از بوش عایق, پیش‌تنش, اثرات دمایی روی پیزوالکتریک‌ها و دمپینگ مانند ترانسدیوسر تکی
- اعمال ولتاژ صفر و کوپلینگ درجه آزادی ولتاژ مانند ترانسدیوسر تکی
- نوع شبکه بندی خودکار با المان‌های چهار وجهی



- شبیه سازی با ضخامت های مختلف قطعه جلویی به منظور به دست آوردن ضخامتی که فرکانس تشدید ترانسدیور را 30 کیلو هرتز دهد با کاهش ضخامت قطعه جلویی فرکانس تشدید ابتدا زیاد، سپس کم می شود.
- در نتیجه ضخامتی که حداکثر فرکانس تشدید را می دهد به عنوان ضخامت به دست آمده از طراحی در نظر گرفته شد.
- نمودار فرکانس بر حسب ضخامت قطعه جلویی باید روند صعودی داشته باشد.
- علت عدم صعودی بودن نمودار بیشتر بودن قطر قطعه جلویی از قطر قرص پیزوالکتریک است.

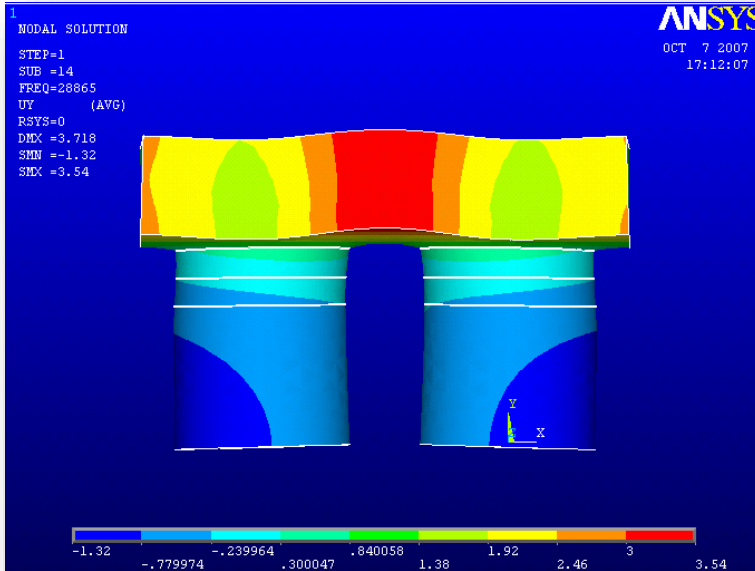
ضخامت قطعه جلویی	فرکانس تشدید (هرتز)
22	28348
21	28814
20	28865
19	28854
18	28764
17	28607

فرکانس تشدید بر حسب ضخامت قطعه
جلویی یکپارچه آلومینیومی بدون
شیار

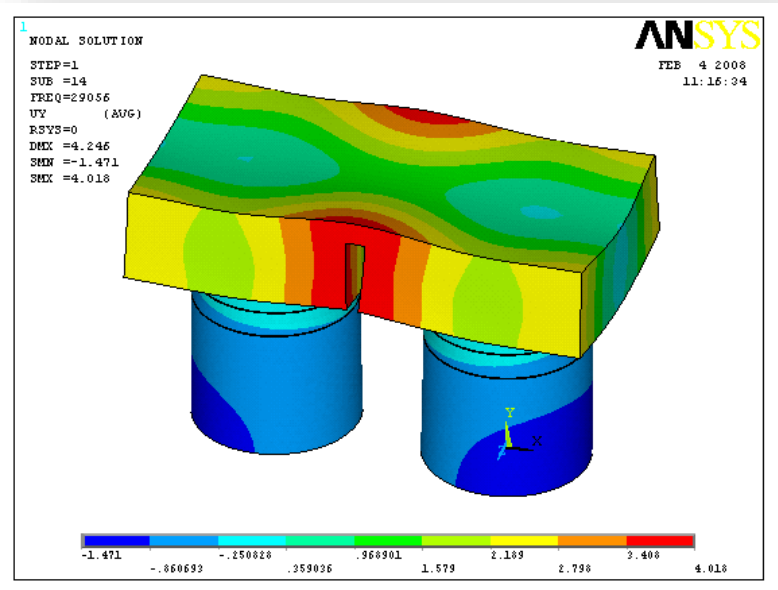
ضخامت قطعه جلویی	فرکانس تشدید (هرتز)
22	28908
21	29055
20	29168
19	29215
18	29161
17	29029

فرکانس تشدید بر حسب ضخامت قطعه
جلویی یکپارچه آلومینیومی شیاردار

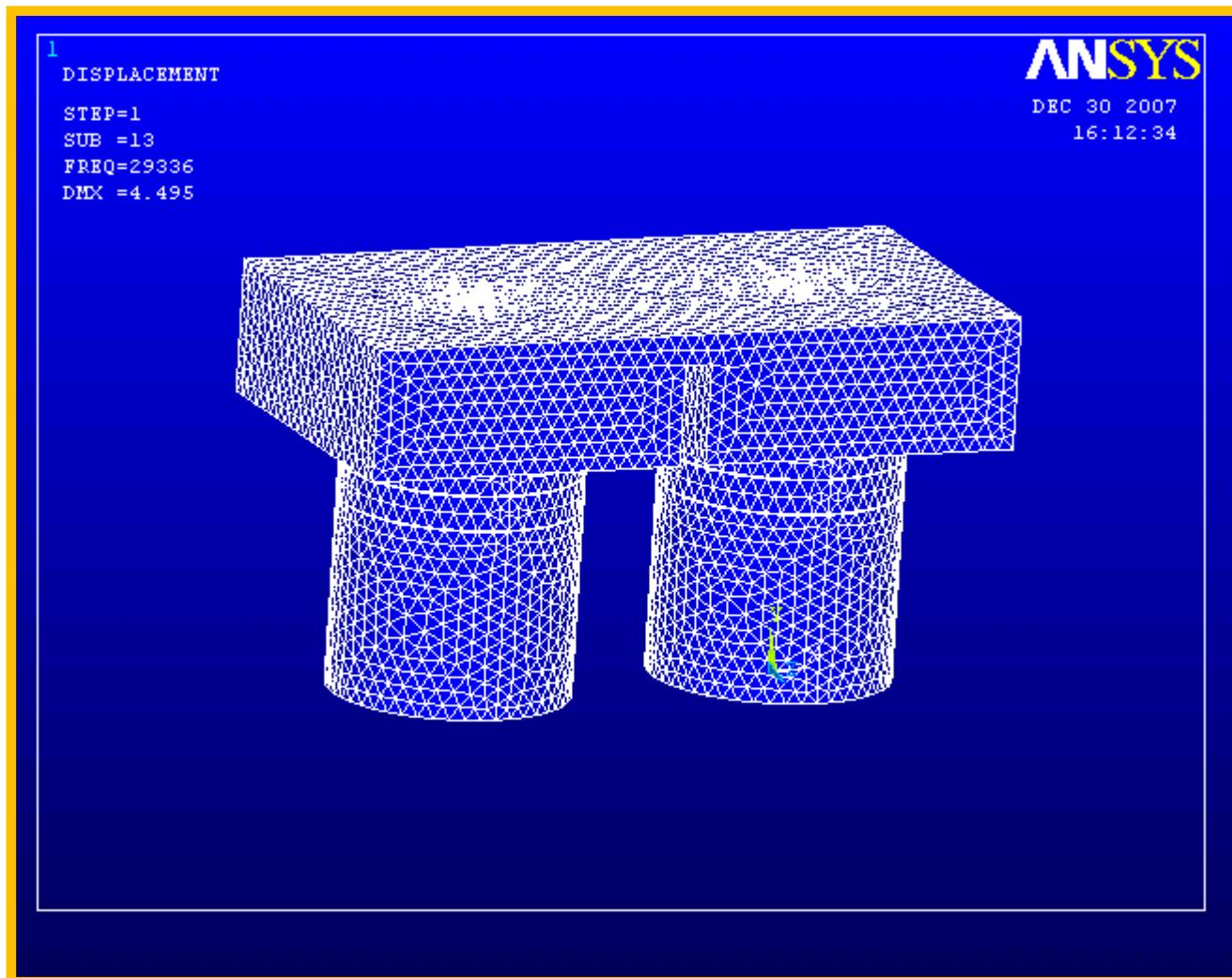
- در نتیجه ضخامت 20 به عنوان ضخامت قطعه جلویی یکپارچه در نظر گرفته شد.



برای قسمت های مختلف ترانس دیوسر γ حداکثر جابجایی در راستای شیار با قطعه جلویی یکپارچه بدون

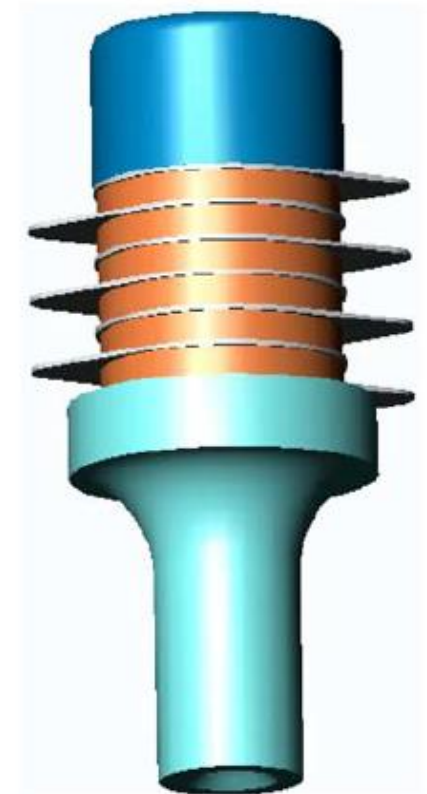
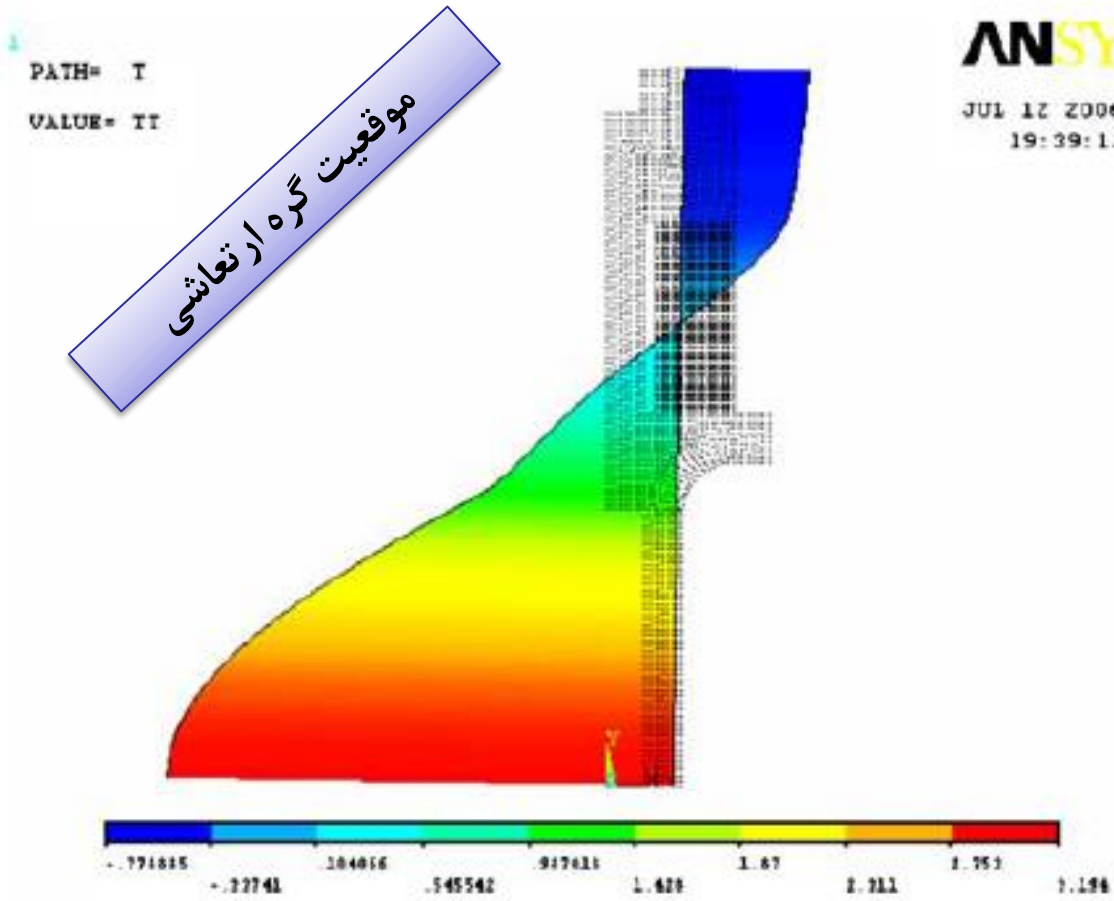


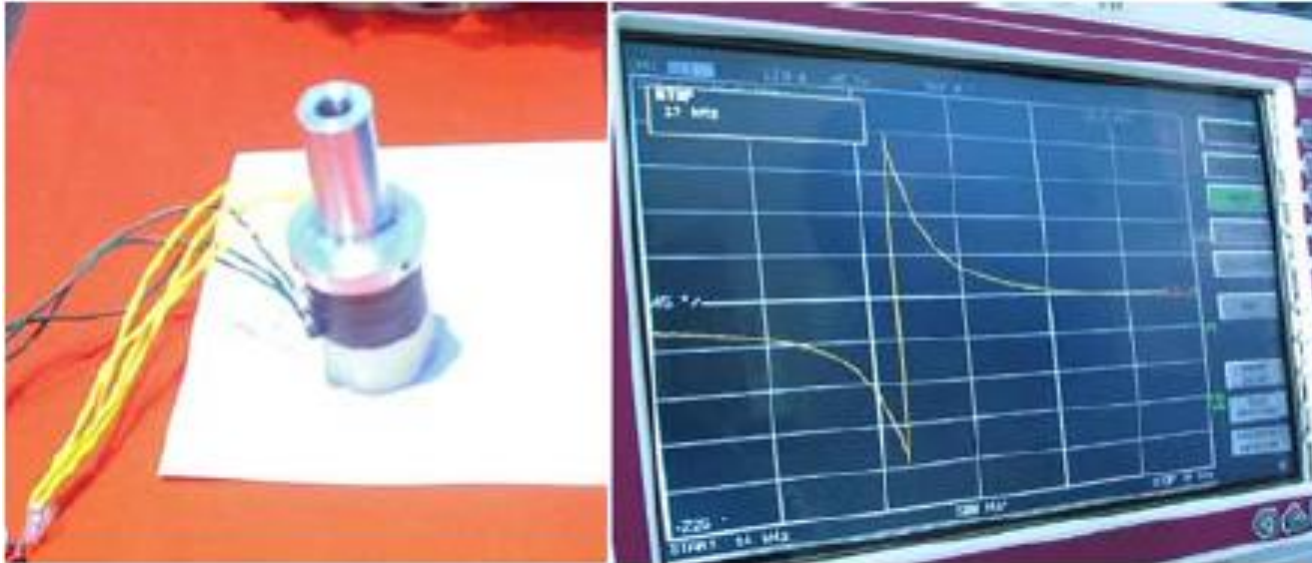
برای قسمت های مختلف ترانس دیوسر γ حداکثر جابجایی در راستای شیار دار با قطعه جلویی یکپارچه



شبه سازی ترانسدیوسر پرتوان ۳ کیلوواتی







ترانسدیوسر ساخته شده



پایان جلسه سیزدهم