



## موضوع سمینار: طراحی زیردریایی در عمق 1000 متری

نگارش  
حمید باب

استاد راهنما  
دکتر محمد سعید سیف

خرداد 1401

## چکیده:

دریا ها و اقیانوس ها پهنه های آبی بزرگی هستند که 70.8 درصد سطح زمین را پوشش می دهند، این درصد نشان از آن دارد که بخش اعظمی از اکوسیستم جهان در این نواحی وجود دارد و طبیعتاً برای کشور های جهان عامل مهم زندگی محسوب میشوند ، به گونه ای که هیچ کشور ساحلی نیست که منفعتی در دریا نداشته باشد. از این رو شناخت این نواحی اهمیت بسیار والایی برای دولت ها دارد، زیردریایی ها یکی از این ابزار های شناخت محسوب میشوند .

زیردریایی ها را میتوان به عنوان یکی از مهمترین ، چالشی ترین و پیشرفته ترین اختراعات بشر در حوزه دریایی دانست که امکان حرکت و حضور در زیر آب را به ما می دهد، کاربرد های گسترده زیردریایی ها باعث شده اند که پیشرفت های وسیعی در این حوزه رخ دهد و در سال های اخیر تحقیقات گسترده ای در این حوزه متمرکز شود.

این شناور ها در اعماق آب و با حرکت در محیطی با تفاوت بسیار زیاد با هوا در حال حرکت هستند؛ این امر باعث میشود که فشار بسیار زیادی به بدنه وارد شود و طراحان را با چالش های گسترده ای همچون انتخاب جنس ماده ، ضخامت جداره ، مخازن پایداری و... مواجه کند.

در طی این سمینار ابتدا با زیردریایی و مفهوم صرف آن آشنا میشویم. سپس در ادامه به کاربرد های گوناگون این شناور در صنایع نظامی، گردشگری، تجاری ، تحقیقاتی و... پرداخته و متوجه خواهیم شد که زیردریایی های گوناگونی در سرتاسر دنیا وجود دارد.

پایداری سازه و شناور ها برای مهندسان بسیار مهم است ، این امر در محیط دریا که محیطی سخت و خطرناک است اهمیت بیشتری دارد تا جایی که در طی این سمینار با چگونگی پایداری زیردریایی ها آشنا شدیم.

همچنین با توجه به مطالبی که در درس مکانیک سیالات در ترم جاری آموخته شده است فشار وارده به زیردریایی مطلوب را بدست آورده ایم و با محاسبات لازم طراحی بدنه مدلسازی شده آن را انجام دادیم.

در انتها برای گذاشتن صحنه بر محاسبات ، این بدنه را در نرم افزار Solidworks طراحی کرده و با المان محدود نرم افزار Ansys فشار مربوطه را بر زیردریایی اعمال کرده و گسترده تنش را میابیم ، ماکسیمم تنش کمتر از حد تسلیم بوده است و بدنه طراحی شده، بدنه ی زیردریایی مورد نظر ما است.

کلید واژه ها : زیردریایی، شناور، فولاد، فشار، بدنه

## فهرست مطالب

چکیده.....	2
فصل 1 : زیردریایی .....	4
1-1 انواع زیردریایی.....	5
2-1 بدنه زیردریایی .....	8
1-2-1 پایداری زیردریایی .....	9
فصل 2: طراحی زیردریایی مطلوب .....	10
1-2 محاسبات ضخامت دیواره .....	10
2-2 طراحی در نرم افزار سالدورک و تحلیل تنش در انسیس .....	13

## فصل 1- زیردریایی:

زیردریایی ها<sup>۱</sup> از پیشرفته ترین تجهیزات متحرک دریایی هستند که از سطح آب تا اعماق دریا حرکت میکنند و قادر به انجام عملیاتهای نظامی به صورت کاملاً مخفی و ناشناس هستند. البته کاربرد زیردریاییها گسترده تر از حوزه نظامی است و در بازرسی و نقشه برداری در زیر آب در شرایط مخاطره آمیز استفاده می شوند.



تصویر 1-1) زیردریایی لس آنجلس<sup>۲</sup>

زیردریایی ها تا اعماق زیادی از دریا به پایین می روند و در نتیجه همانطور که در مکانیک سیالات به ما آموخته شده است فشار استاتیکی و با توجه به سرعت آن ، فشار دینامیکی زیادی را باید تحمل کند ، از این رو باید در انتخاب ماده و طراحی بدنه دقت زیادی را به خرج دهیم و نیازمند بررسی و دانش مهندسی است؛ در این صورت طرح مبتنی بر اصول فنی و با در نظر گرفتن همه جوانب لازم از جمله استحکام، سبکی ، قیمت و... خواهد بود.

در ادامه با انواع زیردریایی ها و بدنه آن بصورت مقدماتی آشنا خواهیم شد تا بتوانیم با درک بهتری از زیردریایی ها آنها را طراحی و مدلسازی کنیم.

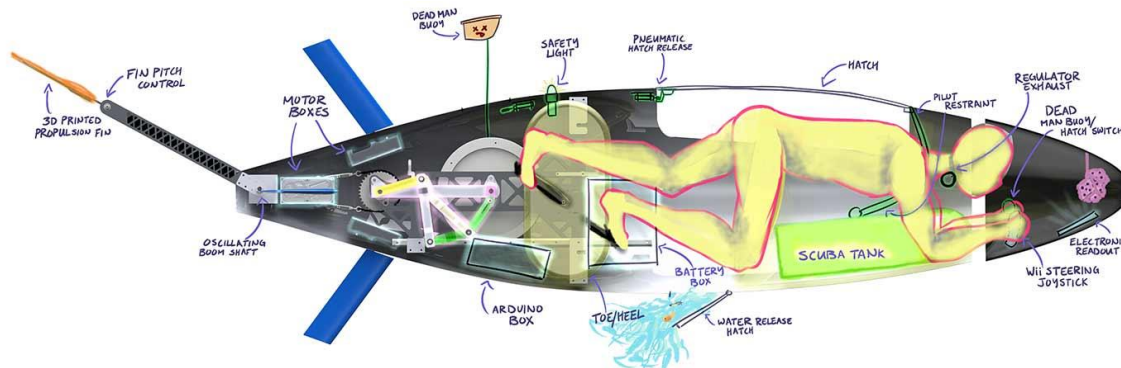
---

<sup>1</sup> Submarine

## 1-1: انواع زیردریایی :

زیردریایی ها براساس کاربرد و طراحی هایشان به انواع مختلفی تقسیم بندی می شوند که با چند مورد از آنها در این فصل آشنا خواهیم شد.

### • زیردریایی انسانی HPS<sup>3</sup>:



تصویر 1-2) زیردریایی که توسط انسان به حرکت در می آید

از اولین شناور هایی که به عنوان زیردریایی شناخته می شده است از این نوع زیردریایی ها بوده اند ، تمام طرح های زیردریایی که در تاریخ اولیه زیردریایی ساخته شده اند، برپایه نیروی انسانی ساخته شده اند. هم اکنون این شناور ها در سرتاسر دنیا ساخته می شوند و برای اهدافی همچون تحقیقات و مسابقات استفاده می شوند .

### • ربات های زیردریایی<sup>4</sup>:

ربات هایی همچون AUV، ROV و... سال ها است که برای اهداف گوناگون علمی ، تحقیقاتی ، هواشناسی ، بازرسی ، نظامی و... ساخته می شوند؛ این ربات ها به نوعی زیردریایی محسوب می شوند که اندازه و کارکرد های آنها متمایز از زیردریایی ها بزرگ است و قابل تمایز می باشد.

ربات های زیردریایی نسبت به شناور های دیگر پیچیدگی های خاص خود را دارند بطور مثال ربات های ROV نیاز است که با کابل به کشتی متصل باشند و هدایت شوند که این خود فرآیندی متفاوت نسبت به زیردریایی های بزرگ است؛ بنابراین شکل و کارکرد های متفاوتی دارند.

<sup>3</sup> Human Powered Submarine

<sup>4</sup> Submersible

### • زیردریایی های مستقل از هوا<sup>5</sup> AIP :

زیردریایی های غیر هسته ای هستند که نیازمند اکسیژن نیستند به همین دلیل این نوع زیردریایی ها با توجه به آنکه به سطح تنها برای شارژ کردن باتری هایشان نیاز است بیایند، پنهان تر هستند و صدای کمتری تولید میکنند تا از زیردریایی های پنهان تر در نظر گرفته شوند.

### • زیردریایی های هسته ای :

به زیردریایی هایی که راکتور هسته ای آن، توان و پیشرانه ایجاد میکند زیردریایی هسته ای میگویند. فواید متعددی نسبت به زیردریایی ها معمولی دارند ، زیرا آنها مستقل از اکسیژن هستند و نیازمند بازگشت به سطح برای شارژ اکسیژن ندارند .

انرژی هسته ای به دو منظور برای تامین انرژی زیردریایی استفاده میشود ،تولید برق زیردریایی و نیروی محرکه ای که با ایجاد بخار بوجود می آید.

سوخت طولانی مدت و سرعت بیشتر از جمله مزایای دیگری است که این زیردریایی ها دارند؛ زیردریایی های هسته ای مدرن تا 25 سال بدون نیاز به سوخت میتوانند به عملیات خود ادامه دهند.از سوی دیگر صدای راکتور ها زیاد است و توسط سونار ها میتوانند آنها دریافت و شناسایی کنند . همچنین گرمای ایجاد شده راکتور برای تولید بخار توسط تصویربرداری حرارتی قابل شناسایی و ردیابی است .

### • زیردریایی توریستی :



تصویر 1-3) یک زیردریایی توریستی

بسیاری از شرکت ها امکانات مختلفی در این جهت برای گردشگران فراهم میکنند . این تجربه به عموم مردم این فرصت را می دهد که حیات وحش و مناظر زیر آب را تجربه کنند و این یک سرگرمی جذاب به شمار میتواند بیاید.

<sup>5</sup> Air indeoendent propulsion submarines

## • زیردریایی تحقیقاتی:

تحقیقات در زیر آب و آشنایی با حیات وحش غیرقابل دسترس بشر از اهداف ساخت این نوع زیردریایی ها بوده است. این زیردریایی ها معمولا در اعماق زیاد و مطالعه بستری ساخته میشوند از این رو باید فشار خارجی بسیار بالایی را تحمل کنند و طراحی بدنه مناسبی را داشته باشند.

این زیردریایی ها معمولا دارای بازو های رباتیک برای نمونه برداری ، چراغ هایی برای ممکن سازی عملیات در اعماق تاریکی و تجهیزات ضبط برای گرفتن عکس و فیلم تحقیقاتی هستند.

## • زیردریایی نظامی :



تصویر 1-4) زیردریایی هسته ای کلاس آکولا<sup>6</sup>

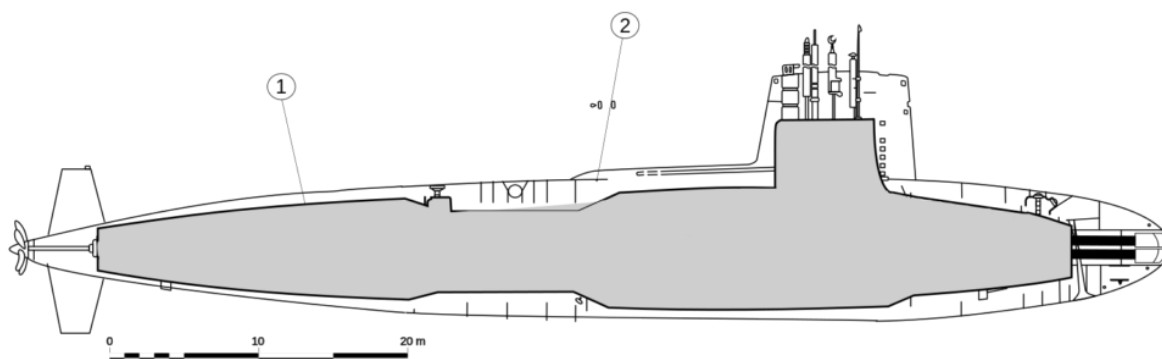
یکی از بازو های قدرت نیروی دریایی هر کشور ، زیردریایی نظامی و مانور روی این بخش است . این زیردریایی ها کاربرد های نظامی برای حفاظت از کشور دارند که کلاس های مختلفی از آنها در کشور های گوناگون ساخته شده است .

زیردریایی ها نظامی به دو نوع هسته ای و غیرهسته ای تقسیم بندی می شوند ، که اکثر آن غیرهسته ای است . تنها شش کشور ایالات متحده آمریکا ، بریتانیا ، روسیه ، فرانسه ، چین و هند در حال حاضر دارای زیردریایی هسته ای هستند .

---

<sup>6</sup> Akula class ssn

## 1-2: بدنه زیردریایی:



تصویر 1-5) بدنه زیردریایی ها به دو قسمت تقسیم می شود.

غالب طرح های زیردریایی ها دارای دو بدنه هستند. بدنه ای که تمامی فضاهای اقامتی، سلاح ها، سیستم کنترل سلاح، اتاق ارتباطات و کنترل، ماشین آلات صنعتی و موتور و... در آن قرار دارند که به آن بدنه فشار<sup>7</sup> میگویند؛ بدنه خارجی در آن مخازنی همچون بالاست و... قرار میگیرند که در بخش 1-1-2 در این مورد به طور کلی صحبت خواهیم کرد.

در درون زیردریایی قسمت های مختلفی از جمله سیستم کنترل و سلاح، بانک باتری که منبع انرژی الکتریکی زیردریایی، محفظه پیشرانه که موتور و شفت های زیردریایی برای ایجاد نیرو محرکه در آن هستند قرار میگیرند.

از نکات مهمی که باید به آن توجه داشت جنس بدنه است که غالبا فولاد در نظر گرفته میشود. باید توجه داشت باید در عین حال اینکه استحکام لازم را بدنه داشته باشد، ارزان قیمت و سبک باشد و این ویژگی ها در کنار هم میتوانند جنس را تعیین کنند.

در این پروژه ما با توجه به آنکه جنس بدنه زیردریایی را فولاد در نظر میگیریم بدنه را طراحی میکنیم.

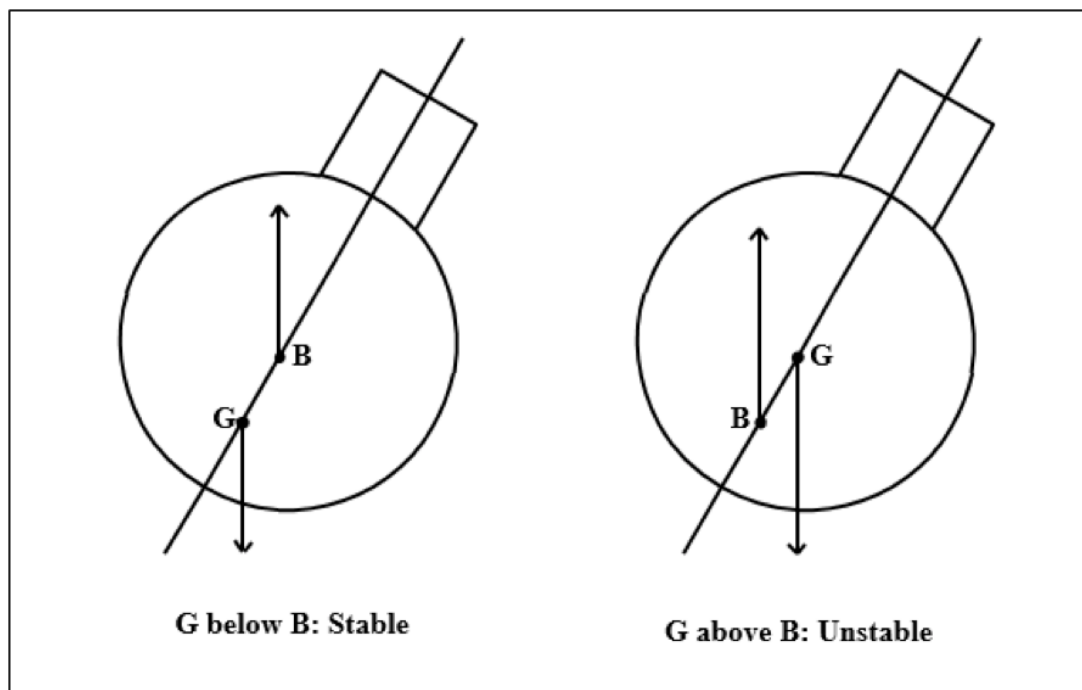
---

<sup>7</sup> pressure hull



## 1-2-1: پایداری زیردریایی:

مبحث پایداری شناور ها اهمیت بسیار زیادی دارد ، در زیردریایی ها پایداری بسیار موثر است زیرا در صورتی که زیردریایی ناپایدار شود بسرعت دوران میکند و به مشکل میخورد .



تصویر 1-6) شرط پایداری یک جسم غوطه ور در آب

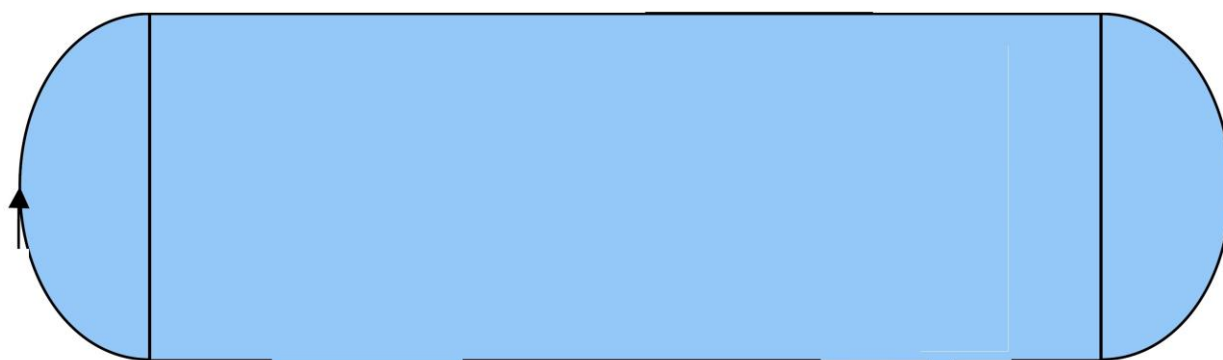
همانطور که در تصویر 1-6 نمایش داده شده است در صورتی زیردریایی پایدار است که محل اعمال نیروی بویانسی بالاتر محل از اعمال نیروی ثقل زیردریایی باشد و ممان ایجاد شده بازگرداننده شود که در این صورت با اندکی تغییر جهت به حالت اول خود باز خواهد گشت.

اصول کلی پایین رفتن و صعود زیردریایی ها براساس کارکرد سیستم تعادل بالاست در آنها است. در هنگام فرو رفتن زیردریایی مخازن بالاست که حاوی هوا هستند توسط آب پر میشوند و چون چگالی آب هزار برابر هوا است زیردریایی سنگین تر شده و زیردریایی فرو می رود. برای صعود زیردریایی دقیقا عکس این موضوع رخ میدهد ، مخازن با دمیدن هوا خالی از آب می شوند ، برای صعود و به سطح آمدن زیردریایی، عکس حالت فوق رخ میدهد. تخلیه مخازن از آب، با دمیدن هوا توسط سیستم هوای فشرده انجام میگردد. به وسیله این سیستمها هوا با فشار بالا وارد مخازن شده، و سبب خروج آب از مخازن می شود.

## فصل 2- طراحی زیردریایی مطلوب

زیردریایی ها در اعماق آب با سرعت های نسبتا پایینتر از شناور های روی آب در حال حرکت هستند ، مهمترین نکته در زیردریایی ها آن است که بدنه آنها باید فشار وحشتناکی را تحمل کند و در طراحی باید این نکته به دقت رعایت شود. جنس زیردریایی را فولاد 1020 در نظر میگیریم .

### 2-1: محاسبات تحلیلی



تصویر 2-1 ( مدلسازی

ابتدا ساده سازی های لازم برای مدلسازی را انجام میدهیم که شکل زیردریایی را بصورت یک استوانه طویل و دو نیم کره توخالی که در سمت دماغه و سکان هستند در نظر میگیریم(تصویر 2-1).

زیردریایی مورد نظر ما در عمق هزار متری حرکت میکند. مهمترین سوالات ما در طراحی بدنه شامل موارد زیر میتواند باشد:

1- زیردریایی چه فشاری را تحمل میکند؟

2- جنس بدنه چه فلزی باشد ؟

3- چه تنش هایی به زیردریایی وارد میشود؟ مقدار آن چقدر است؟

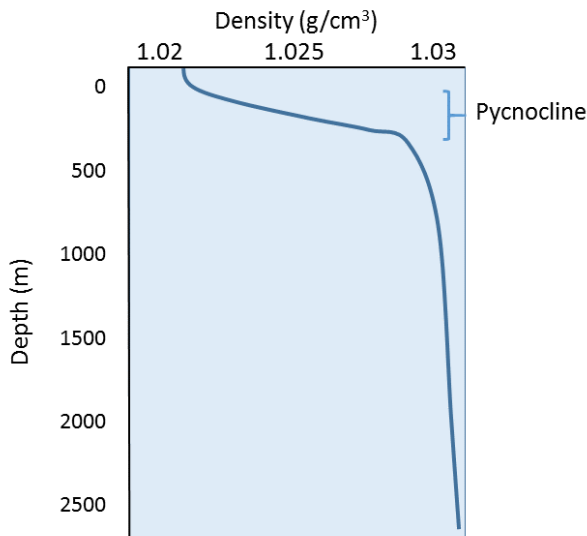
4- تنش فون میسر وارده چقدر است؟

برای پاسخ به سوالات بالا قدم به قدم پیش می رویم.

فشار وارده به زیر دریایی برابر است با :

فشاری که به یک زیردریایی و جسم درون آب وارد می شود همانطور که در سیالات گفته شد براساس قانون برنولی دارای فشار دینامیکی و استاتیکی است. رابطه بشکل زیر است.

$$P = P(\text{dynamic fluid}) + P(\text{static fluid}) = \rho gh + P_{\text{atm}} + \rho \frac{v^2}{2}$$



زیردریایی در عمق هزار متری (  $h=1000\text{m}$  ) –

سرعت زیردریایی ها بصورت میانگین 20 گره دریایی است که به عبارتی 10.2889 متر بر ثانیه که 10 متر بر ثانیه در نظر میگیریم .

با توجه به تصویر 2-2 چگالی آب در عمق

1000 متری حدود  $SG = 1.03 - 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  است

با جایگذاری در رابطه فشار بصورت زیر بدست می آید

:

$$P_{\text{out}} = 10257.125 \text{ Kpa}$$

تصویر 2-2) چگالی آب در اعماق مختلف دریا

همانطور که انتظار داشتیم فشار استاتیکی بسیار بالا است و فشار دینامیکی ناچیز در نظر گرفته شده است.

همچنین فشار درون زیر دریایی را فشار اتمسفر در نظر میگیریم :

$$P_{\text{in submarine}} = 1\text{atm} = 101.325\text{kpa}$$

در نتیجه فشار وارده به زیردریایی برابر است با :

$$P_{\text{out}} - P_{\text{in}} = 10155.925 \text{ kpa}$$

## جنس بدنه چه چیزی باشد:

جنس بدنه را فولاد در نظر میگیریم، دقت کنیم که در دماهای بسیار پایین ممکن است که فولاد از نرمی به تردی تبدیل شود ، این خود یکی از چالش های مهندسی در زمینه طراحی بدنه زیردریایی ها و کشتی ها است که در علم مواد به بررسی آن پرداخته می شود.

## تنش های وارده به سازه شامل تنش های زیر هستند:

با مطالعه کتاب شیگلی و مقاومت مصالح بیرجانسون متوجه شدیم که المان هایی که تحت تنش ترکیبی نرمال ، محیطی و طولی هستند را میتوانیم با استفاده از معیار تنش فون میزس بررسی کنیم که آیا جسم به نقطه تسلیم می رسد یا نه؟

تنش فون میزس یک معیار شکست مواد نرم است. در واقع در المان های مورد نظر تنش های اصلی را یافته و با توجه به رابطه فون میزس مقدار تنش فون میزس را میابیم . با توجه به مقدار تنش تسلیم متوجه میشویم که اگر تنش مورد نظر از مقدار تنش تسلیم کمتر باشد شکست رخ نمیدهد و اگر این تنش از تنش تسلیم بیشتر باشد تغییر شکل رخ میدهد که در زیردریایی ها باعث اتفاقات نامطلوبی همچون شکست میشود.

$$\text{Stress}(\text{tetea}) = \frac{Pr}{t} \quad \bullet \quad \text{تنش محیطی} - \text{مایل به از وسط نصف کند بصورت (عرضی)}$$

$$\text{Stress}(z) = \frac{Pr}{2t} \quad \bullet \quad \text{تنش طولی} - \text{مایل به از وسط نصف کند بصورت ( طولی)}$$

$$\text{Stress}(r) = P \quad \bullet \quad \text{تنش نرمال}$$

رابطه فون میزس بشکل زیر است :

$$\text{Stress}(\text{fon mises}) =$$

$$\sqrt{\frac{1}{2} \times [(\text{stress}(\text{teta}) - \text{stress}(z))^2 + (\text{stress}(z) - \text{stress}(r))^2 + (\text{stress}(\text{tetea}) - \text{stress}(r))^2]}$$

تنش استحکام فولاد 1020 برابر 180 مگاپاسکال است. ضریب اطمینان را 2 در نظر میگیریم.

قطر زیردریایی را 10 متر در نظر میگیریم تا ضخامت مورد نظر بدست بیاید.

با محاسبات انجام شده، ضخامت جداره باید  $t=0.44577m$  باشد. این مقدار در واقعیت کمتر است زیرا ورقکاری هایی می شود تا ضخامت کمتری برای آن لازم شود.

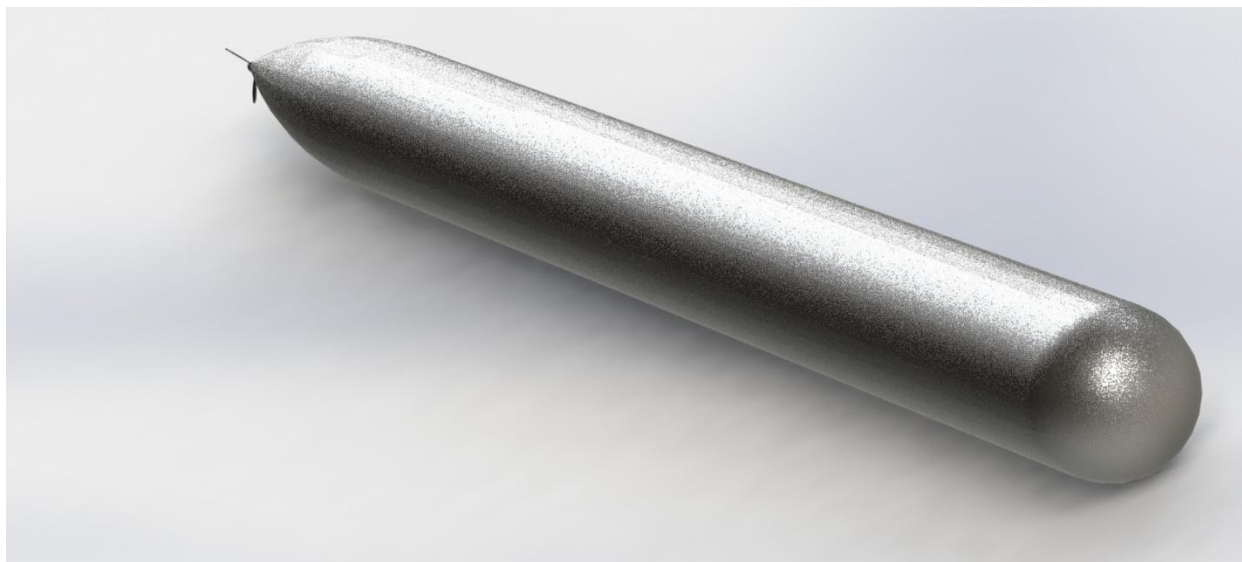
## 2-2: طراحی در نرم افزار سالیدورک و تحلیل تنش در انسیس

در نرم افزار سالید مطابق زیردریایی Yasen class یک زیردریایی به همان ابعادی که داریم طراحی میکنیم.

طول بخش کروی جلو دماغه=5متر (یک کره توخالی با شعاع خارجی 5متر و ضخامت 0.4457متر)

طول استوانه توخالی=100متر ( یک استوانه توخالی با شعاع خارجی 5متر و ضخامت 0.4457متر)

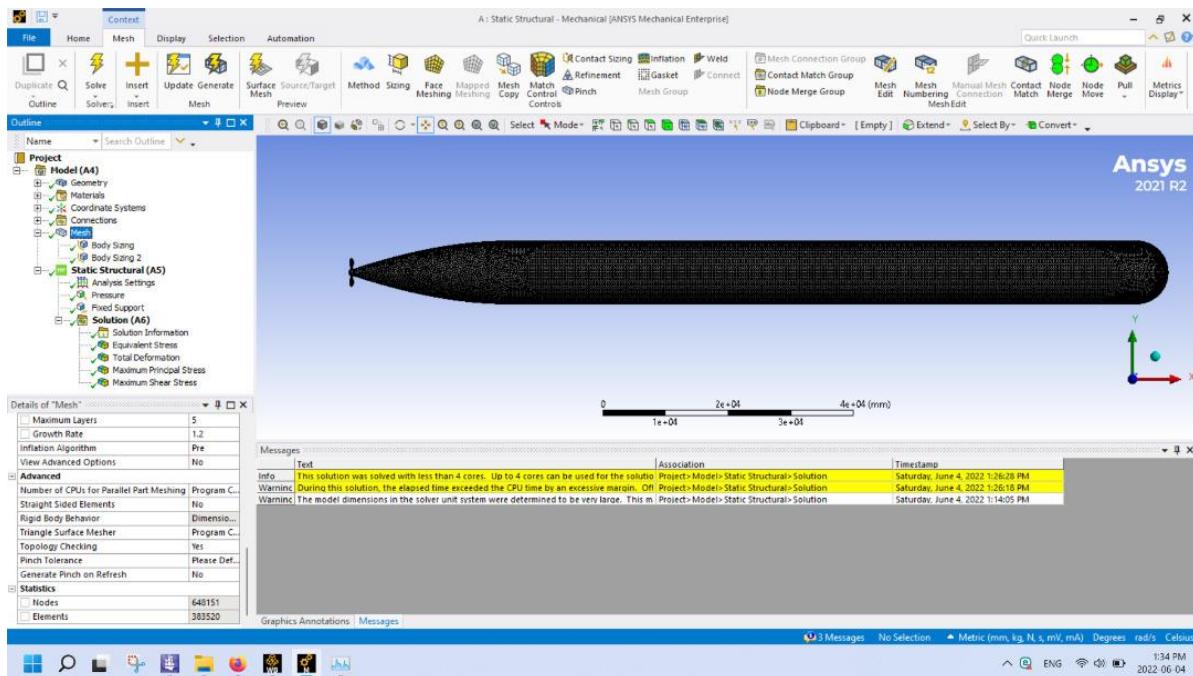
طول قوطی منحنی شکل سکان=25متر ( این بخش را بصورت لافت شده طراحی کرده ایم و ضخامت بصورت خطی کاهش میابد )



تصویر 2-3) رندر زیردریایی طراحی شده در سالید

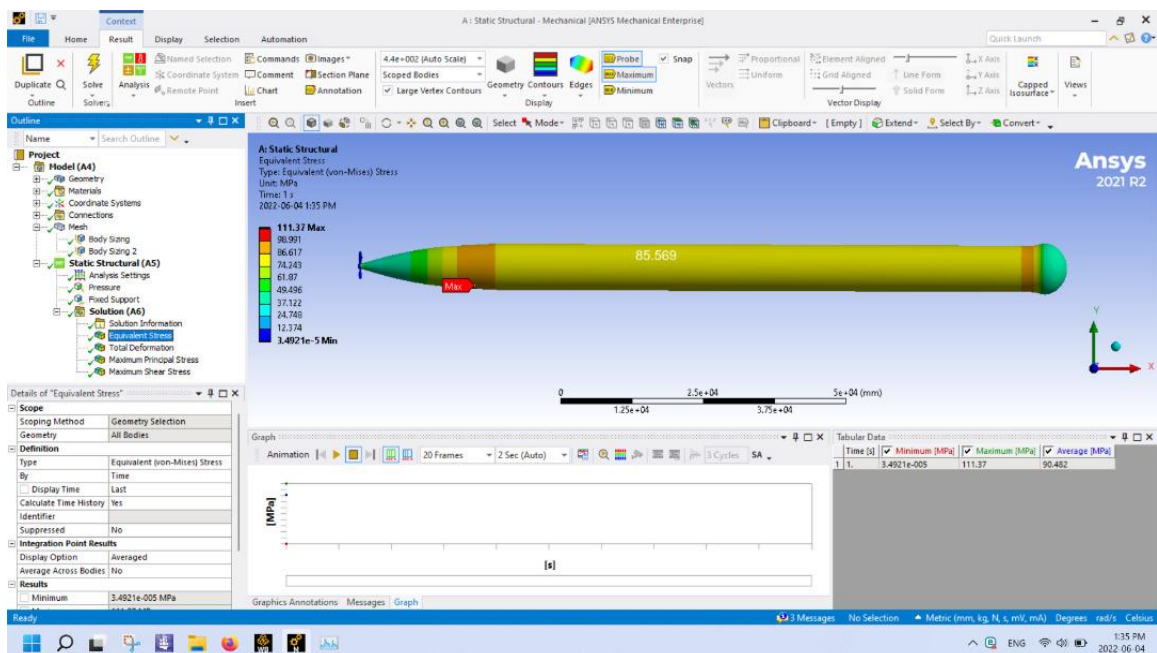
فایل زیردریایی طراحی شده در سالید ضمیمه شده است.

سپس برای آنکه بر پاسخ ضخامتی که بدست آوردیم صحه بگذاریم از المان محدود و اعمال فشار در نرم افزار انسیس استفاده میکنیم.



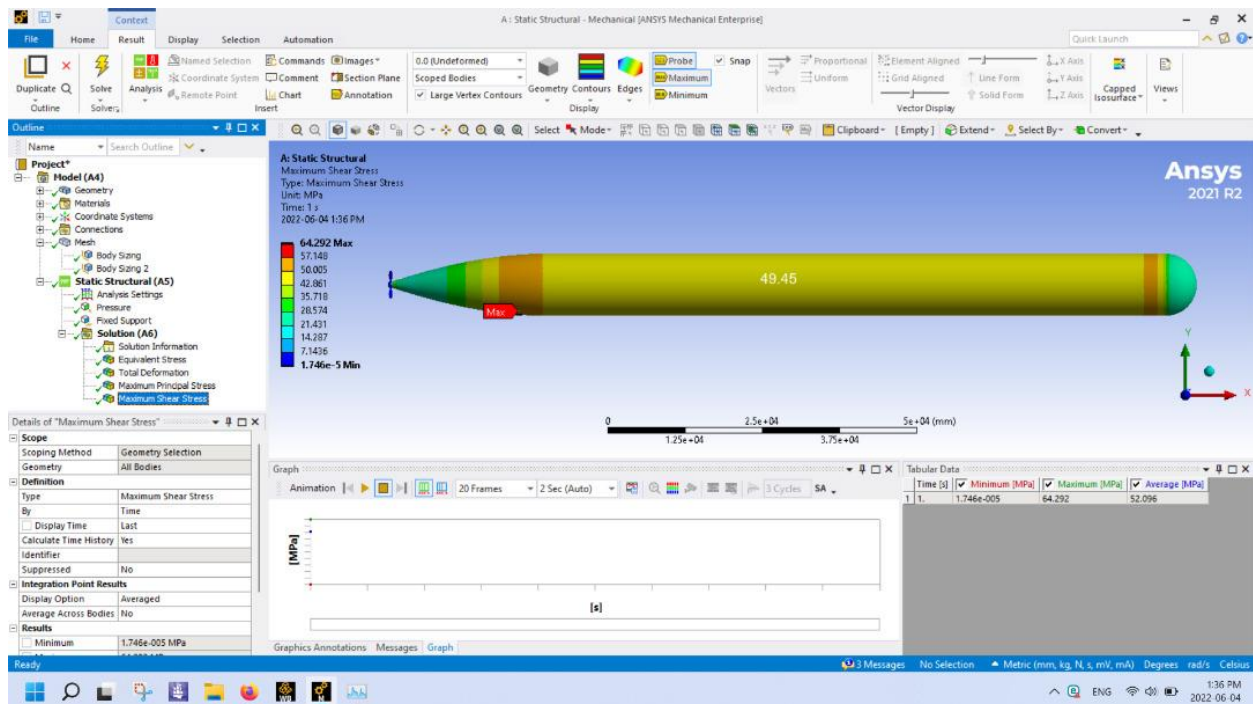
تصویر 2-4) مش بندی در نرم افزار انسیس

در نرم افزار انسیس زیردریایی را به تعداد المان زیادی تقسیم بندی کرده ایم تا تحلیل درستی بر فشار وارده داشته باشد ، همانطور که در تصویر 2-4 مشخص شده است به حدود شصدهزار المان تقسیم شده است .



تصویر 2-5) گسترده تنش فون میزس

در ادامه گسترده تنش فون میزس را برای این زیردریایی بدست آورده ایم و متوجه شدیم که ماکسیمم تنش در طول استوانه حدود 85.6 مگاپاسکال است و این مقدار کمتری از حد تعیین شده است.



تصویر 2-6) ماکسیمم تنش برشی

گسترده تنش برشی در تصویر 2-6 نمایش داده شده است .

در واقع با حل متوجه میشویم طراحی بدنه ما در زمانی که زیردریایی در عمق هزار متری و با سرعت ده متر بر ثانیه حرکت میکند ، طراحی درست و اصولی است و با توجه به تنش استحکام فولاد و ضریب اطمینان آن در حد الاستیک خواهد ماند و تغییر شکل بسیار ناچیزی خواهد داشت.

## منابع :

1. Shigley book, von mises chapter
2. Introduction to Submarine Design, Ong Li Koon Liu Chee Kong Toh Chee Wee
3. طراحی و تحلیل پوسته کامپوزیتی زیردریایی مدل کوچک ، مهدی هدایت فرد
4. <https://www.uwhpsub.com/#:~:text=UWHPS%20is%20a%20Student%2D%20Led,to%20all%20majors%20and%20interests>
5. <https://lemonbin.com/types-of-submarines/>
6. [6.3 Density – Introduction to Oceanography](#)