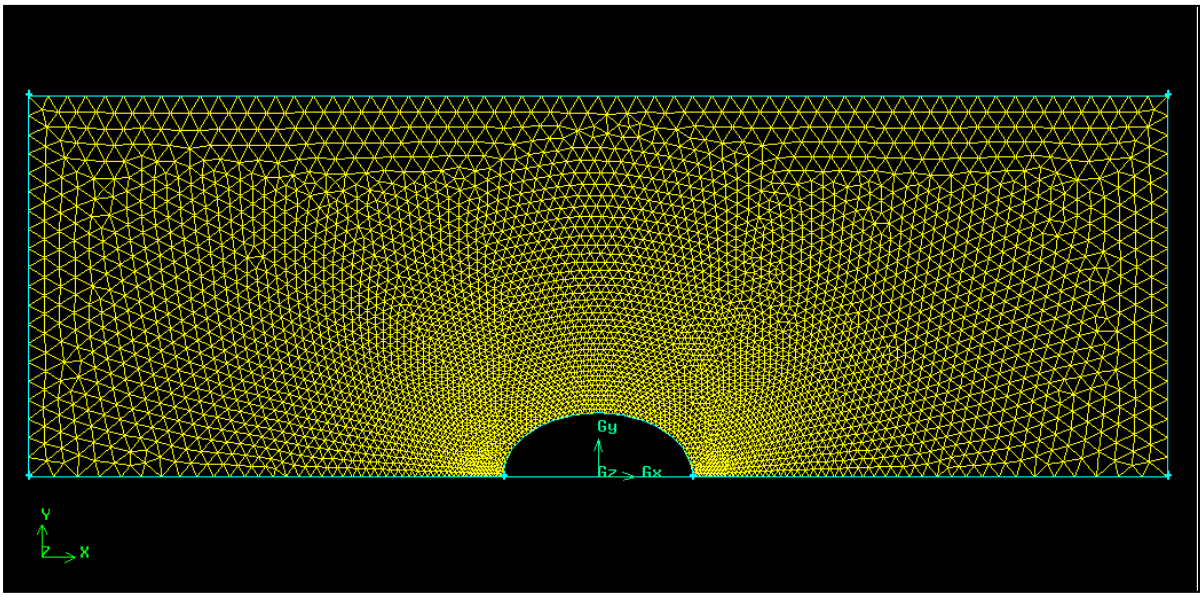
نکته دیگری که در مورد این هندسه می‌توان بدان توجه نمود، تقارن جسم و جریان سیال نسبت به قطر بزرگ سطح مقطع بیضوی می‌باشد. در نگاه اول می‌توان گفت که این ویژگی حجم محاسبت لازم برای حل مساله را به طور چشمگیری کاهش خواهد داد، چرا که با مدل کردن تنها نیمه بالایی هندسه و حل جریان در آن، و استفاده از شرایط مرزی جدید و متناسب با تقارن، می‌توان به حل کلی مساله دست پیدا کرد.

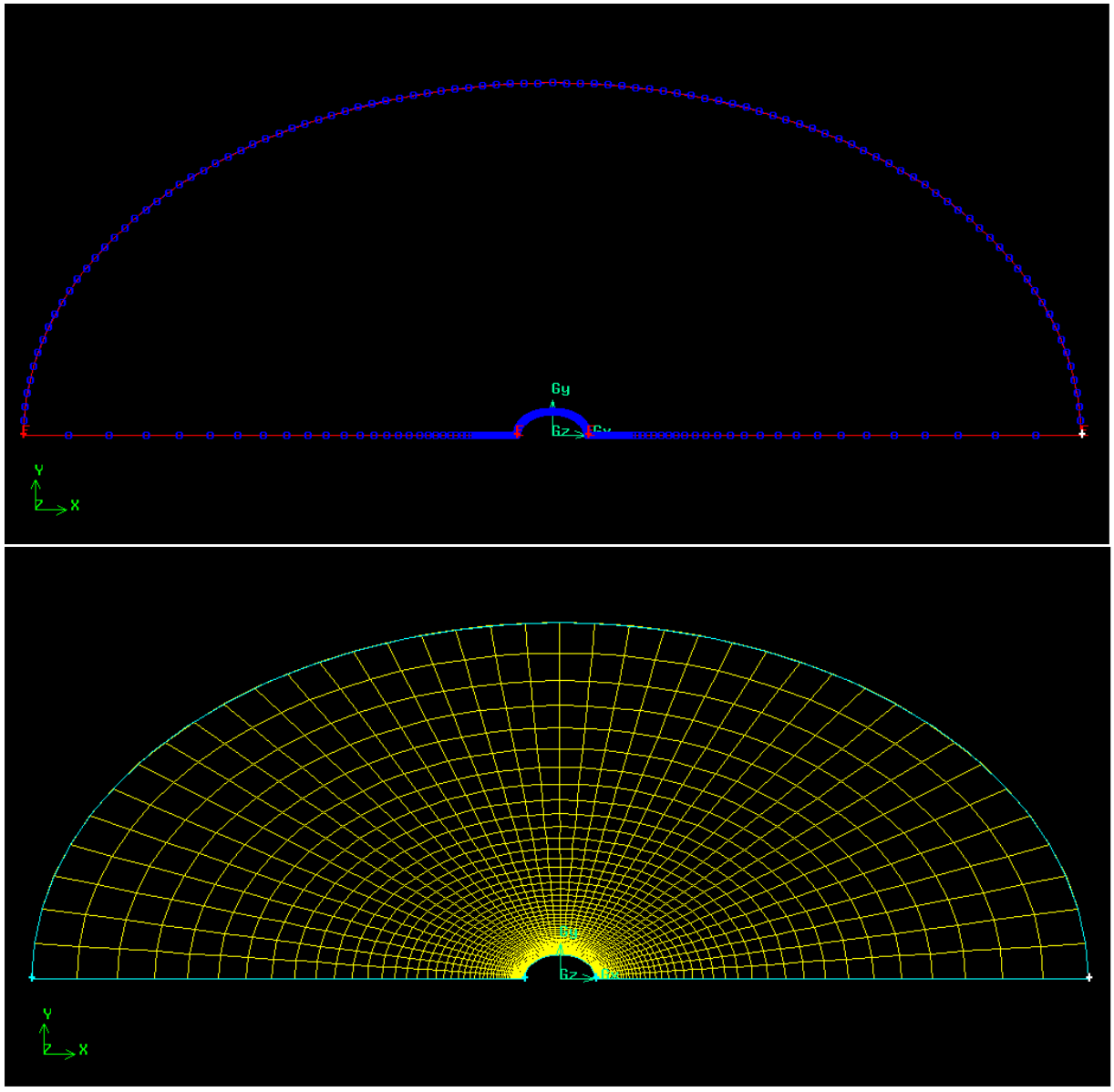
همین امر سبب شد تا ما نیز در ابتدا نسبت به مدل کردن تنها نیمی از هندسه اقدام نمائیم. بدین منظور از یک مستطیل بزرگ به عنوان محدوده اصلی حل و یک نیم بیضی به عنوان بخش بالایی جسم در نرم افزار گمبیت استفاده کردیم. این هندسه به همراه مش‌های ایجاد شده در آن در شکل ۲ مشخص گشته است.




شکل ۲- هندسه تقارنی با دامنه حل مستطیلی

همان طور که در شکل فوق نیز نمایان است، گروه از استفاده از مش‌های یک اندازه اجتناب کرده است، چرا که سیال تنها در نزدیکی جسم دچار تغییرات عمده و سریع می‌گردد، به همین دلیل در این نواحی به مش‌های ریز تر نیاز است، اما از سوی دیگر استفاده از مش ریز در کلّ دامنه حل، نه تنها در افزایش دقت بی تاثیر است، بلکه سبب کاهش سرعت حل نیز می‌گردد. لذا در نزدیکی جسم اندازه مش‌ها به مراتب کوچکتر از نواحی دور از آن انتخاب شده است.

اما در شکل ۲ مشخص است که شبکه به دست آمده، یک شبکه بدون ساختار است. همین امر سبب شد تا با توجه به اهداف بعدی پروژه، نسبت به ایجاد یک هندسه متقارن جدید که در آن شبکه یکنواخت حاصل گردد، اقدام کنیم. در این حالت برای کلّ دامنه حل نیز از یک بیضی دیگر که با ضریب بزرگنمایی ۱۵ با خود جسم متناسب بود، بهره برده و شبکه موجود در شکل ۳ را به دست آوردیم.

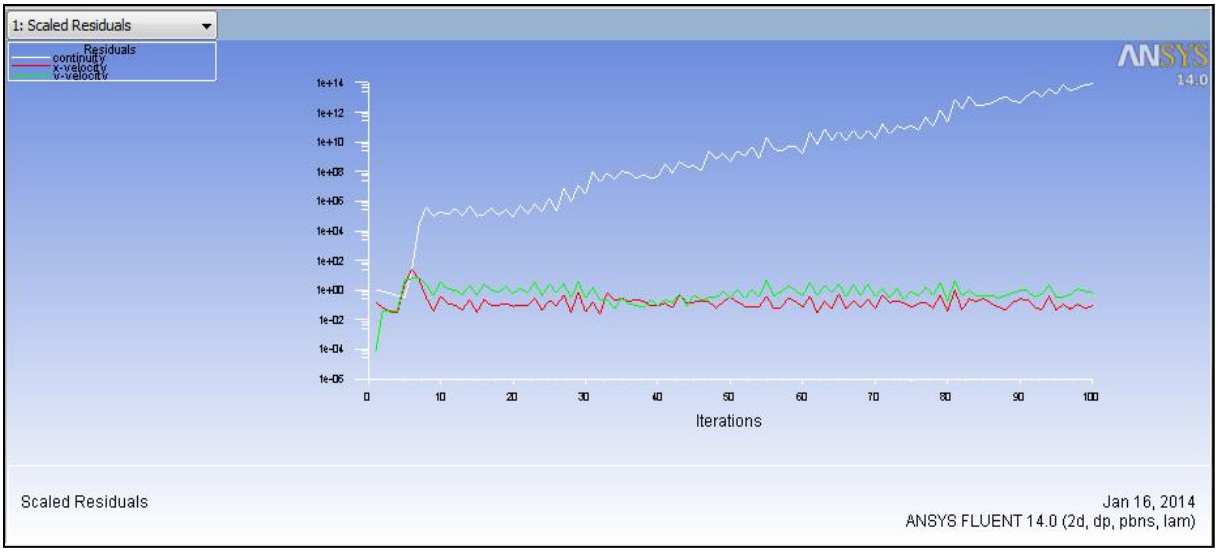



شکل ۳- هندسه تقارنی با دامنه حل بیضوی، مش زدن لبه‌ها به کمک **Size Function** (بالا)، شبکه‌ی باساختار به دست آمده (پایین)

در ظاهر شبکه نشان داده شده در شکل فوق، بسیار مناسب بوده و می‌توان از آن برای حل مساله استفاده کرد، اما مشکل اصلی از آنجا آغاز شد که مش به دست آمده را وارد نرم افزار فلوئنت کردیم. در همان ابتدا و زمانی که از دستور Check جهت اطمینان از صحت مش مورد استفاده کمک گرفتیم با پیغام زیر مواجه شدیم:

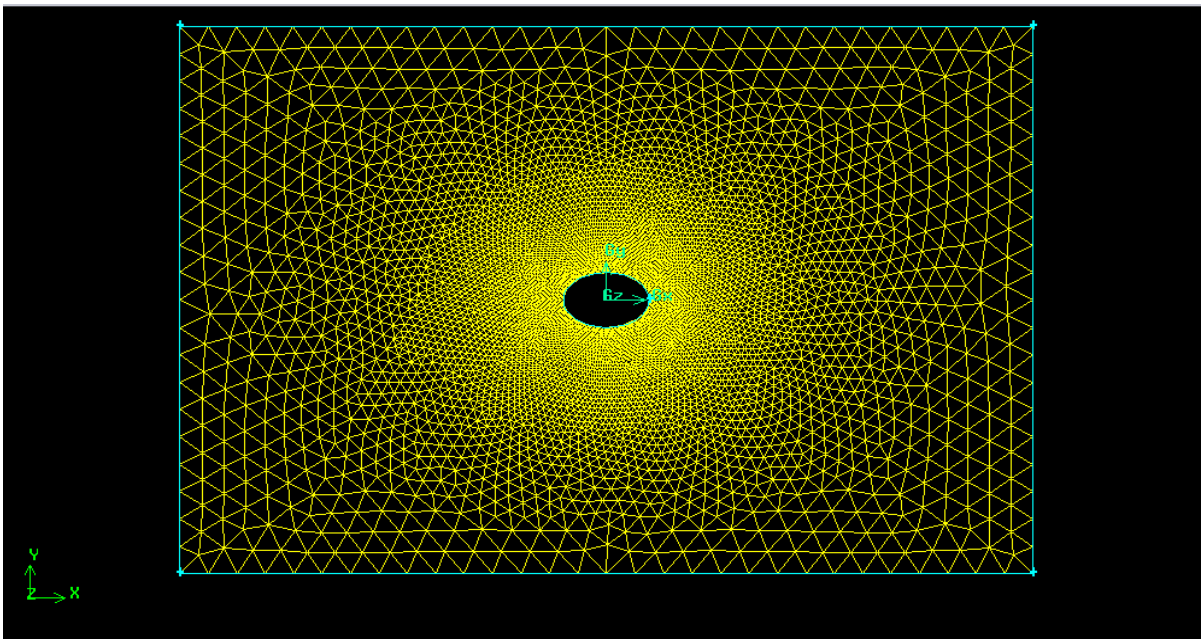
- “The mesh contains elements that are invalid or of poor quality.”

علی رغم مشاهده پیغام فوق، حل مساله با این شبکه را ادامه دادیم که در نهایت نیز منجر به واگرایی و عدم رسیدن به پاسخ صحیح شد.




شکل ۴- واگرا شدن حل در شبکه متقارن با ساختار

با توجه به مشکل به وجود آمده در شبکه‌ی با ساختار متقارن، در نهایت تصمیم بر آن شد که هندسه مساله، بدون در نظر گرفتن تقارن و به صورت کامل مدل شود. در این حالت دامنه حل یک مستطیل بزرگ به طول ۳۰۰ سانتی متر و به عرض ۲۰۰ سانتی متر انتخاب گشت، و با توجه به وجود یک بیضی در وسط دامنه، از مش بی ساختار مثلثی استفاده شد که تصویر مربوط به آن در ذیل آورده شده است.




شکل ۵- هندسه کامل مساله به همراه شبکه بی ساختار

همان طور که در شکل ۵ نیز مشخص است، در شبکه کامل بی ساختار نیز از مش با اندازه متغیر استفاده شده است تا از حجم محاسبات اضافی کاسته شود. اکنون با کامل شدن هندسه، نسبت به ایجاد خروجی از نرم افزار گمبیت با فرمت

msh اقدام می‌شود. این فایل که در واقع حاوی هندسه و شبکه تولیدی می‌باشد، بعدا توسط نرم افزار فلوئنت خوانده شده و مورد استفاده واقع می‌گردد.

در این مساله سیال مورد نظر روغن فرض شده است که خواص مکانیکی اصلی آن، یعنی چگالی و ویسکوزیته، عبارتند از:

$$\mu = 0.001003\ kg/ms \qquad , \qquad \rho = 998.2\ kg/m^3$$

با توجه به تعریف عدد رینولدز در این نوع رژیم جریان که در بخش‌های قبلی ارائه شد، اکنون برای تعیین این عدد تنها به دو پارامتر دیگر، یعنی طول مشخصه و سرعت جریان در بینهایت دور نیاز داریم. طول مشخصه در چنین هندسه‌ای به صورت قطر هیدرولیکی معادل تعریف می‌گردد که عبارت است از چهار برابر سطح مقطع جسم به محیط تر شده آن. با توجه به این که در این مساله، جسم یک بیضی است و محاسبه محیط بیضی مستلزم اعمال یک انتگرال نسبتا پیچیده بر روی قوس محیط آن است، به صورت تقریبی و ساده تر، از میانگین دو قطر به عنوان طول مشخصه استفاده می‌نماییم.

اما برای یافتن سرعت مناسب، به فرض آرام بودن جریان در این مساله باز می‌گردیم. ابتدا و طبق راهنمایی استاد محترم، عدد رینولدز جریان ۲۵۰ در نظر گرفته شد تا نسبت به آرام بودن آن اطمینان حاصل شود، که با این عدد، میزان سرعت بالادست ۰۰۲/۰ متر بر ثانیه یا به عباراتی ۲ میلی متر بر ثانیه حاصل شد، که بسیار کم به نظر می‌رسید. محاسبات و حل مساله با همین مقدار ادامه داده شد تا اینکه جواب فلوئنت به جوابی با خطای بالا و نیز با تغییرات شدید منتهی شد. جهت یافتن علت، ضمن مراجعه به کتب سیالاتی، متوجه شدیم که این عدد رینولدز در بازه‌ای قرار دارد که گردابه‌های فون کارمن در آن ایجاد می‌گردد. همان طور که می‌دانیم، چنین رژیم سیالی ناپایدار بوده، و علت تغییرات شدید به دست آمده در حل نیز همین موضوع می‌باشد. لذا ضمن مشورت با عده‌ای از دوستان، تصمیم بر آن شد که عدد رینولدز جریان ۲۵۰۰۰ در نظر گرفته شود، تا ضمن اینکه لایه مرزی آرام باقی می‌ماند، با دور شدن از محدوده ناپایداری، حل دقیق جریان نیز میسر گردد. با در نظر گرفتن عدد اخیر به عنوان عدد رینولدز جریان، میزان سرعت در بالادست ۲/۰ متر بر ثانیه به دست آمد که مقدار معقول‌تری بود، و جواب‌های حاصل از آن نیز به خوبی همگرا شد.

اکنون با مشخص شدن هندسه، شبکه حل و پارامترهای حاکم بر جریان، می‌توان شبیه سازی در محیط فلوئنت را آغاز نمود. طبق آنچه که پیش تر ذکر شد، از حالت دو بعدی نرم افزار برای حل این مساله بهره گرفته می‌شود. هم چنین با توجه به حجم نه چندان بالای محاسبات در این هندسه، از پردازش سری استفاده شد. دقت حل نیز جهت اطمینان بیشتر، در حالت دقت مضاعف قرار گرفت.

در مرحله بعدی به کمک دستور (File, Read, Mesh)، فایل مش تولید شده توسط گمبیت را وارد فلوئنت می‌نمائیم.

نمایش این مش در فلوئنت به صورت زیر می‌باشد: