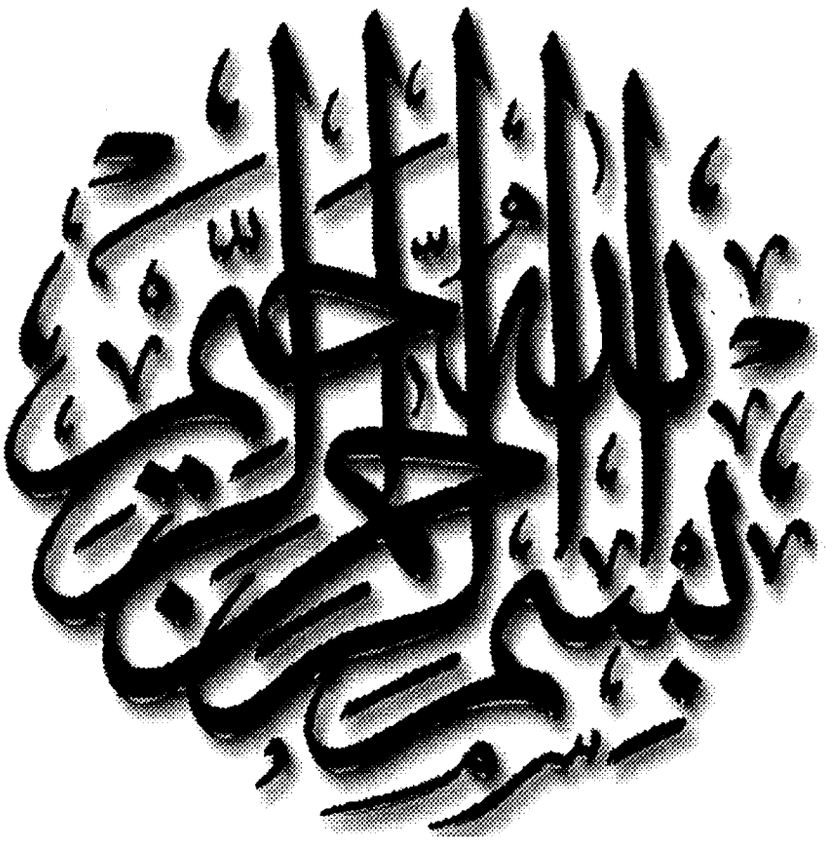


٤١١٣٧

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکدهٔ مکانیک

۱۳۸۱ /۴/ ۲۶

شبیه سازی عددی محفظهٔ احتراق توربین گاز

۱۳۸۱ /۴/ ۲۶

پایان نامه کارشناسی ارشدرشتهٔ مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

سعید خردمند

استاد راهنما

دکتر احمد صابونچی

۱۳۸۰

٤١٤٧

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکدهٔ مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشدرشتهٔ مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی آقای سعید خردمند

تحت عنوان

شبیه سازی عددی محفظهٔ احتراق توربین گاز

در تاریخ ۸۰/۹/۲۸ توسط کمیتهٔ تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر احمد صابونچی
۲- استاد مشاور پایان نامه	دکتر محمود اشرفی زاده
۳- استاد مشاور پایان نامه	دکتر محسن دوازده امامی
٤- استاد داور	دکتر احمد رضا پیشه ور اصفهانی
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر احمد رضا عظیمیان

الحمدالله

لازم می دانم از راهنمائی ها و مساعدتهای آقای دکتر صابونچی بعنوان استاد راهنمای پایان نامه تشکر و قدردانی نمایم. از آقای دکتر دوازده امامی، آقای دکتر اشرفی زاده و آقای دکتر پیشه ور به لحاظ همکاری و راهنمائی هایشان سپاسگزاری می نمایم.

بر بنده فرض است از همکاری صادقانه وبسیار مفید مدیریت محترم امور خطوط لولهٔ گاز اصفهان جناب آقای لطفعلیان، معاونت محترم ایشان،ریاست محترم ایستگاه سه جناب آقای فردوسی، پرسنل محترم تعمیرات توربین از جمله آقایان لطیفی و مهندس علیخانی کمال تشکر و قدردانی را بجا آورم. بی شک انجام این کار بدون مساعدت این بزرگواران غیر ممکن بود.

بجاست از زحمات خانم مرضیه خردمند که در تایپ و تصحیح این کار مساعدت کردند، تشکر نمایم.

در انجام این کار و در طول تحصیل در دورهٔ کارشناسی ارشد از مصاحبت و مساعدت دوستان و هم کلاسی ها بسیار سود جستم از همهٔ این دوستان تشکر می کنم.

نهایتاً از زحمات همهٔ کارکنان دانشکدهٔ مکانیک که بحق ممتاز و منحصر بفرد هستند نیز تشکر می نمایم و برای همهٔ عزیزان آرزوی سلامتی و توفیق می کنم.

کلیهٔحقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

مادر و پدرم

آنان که هرچه دارم از لطف خدا وحاصل تلاش ایشان است

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... **هشت**

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- چرخه توربین گازی با بازیاب ۲

۱-۲- محفظهٔ احتراق ۳

۱-۳- انواع محفظهٔ احتراق ۴

۱-۴-برخی پارامترهای مهم در محفظهٔ احتراق ۴

۱-۴-۱-راندمان محفظه احتراق ۵

۱-۴-۲- فاکتور پروفیل ۵

۱-۴-۳-P.F. ۵

۱-۵- تشریح مسئله ۵

۱-۶-مروری بر کارهای انجام شده ۹

۱-۷-ویژگی های کار حاضر ۱۰

فصل دوم: معادلات حاکم

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- معادلهٔ بقاء جرم ۱۱

۲-۳- معادلهٔ بقاء مومنتم ۱۲

۲-۴- معادلهٔ بقاء انرژی ۱۲

۲-۴-۱- بقاء انرژی در سیال ۱۲

۲-۴-۲- بقاء انرژی در جامد ۱۳

۲-۵- عبارات چشمه و چاه در معادلات ۱۳

فصل سوم اغتشاش

۳-۱- مقدمه ۱۵

۳-۲- روش میانگین گیری رینولدز ۱۶
۳-۳- فرضیهٔ بوزینس ۱۷
۳-۴- مدل $k-\varepsilon$ استاندارد ۱۸
۳-۵- روش RNG ۱۹
۳-۶- اثرات دیواره ۱۹
۳-۶-۱- ملاحضات برای شبکه نزدیک دیوار ۲۱
۳-۶-۲- تابع دیوار استاندارد ۲۱
۳-۷-روش بکار رفته در کار حاضر ۲۲

فصل چهارم: احتراق

۴-۱- مقدمه ۲۳
۴-۲- مدلهای احتراق ۲۴
۴-۲-۱- مدل PDF ۲۵
۴-۲-۲- حل معادله برای نمونه های جرمی ۲۵
۴-۲-۳- اثر نمونه های جرمی در معادلهٔ انرژی ۲۶
۴-۳- محاسبهٔ نرخ واکنش ۲۶
۴-۳-۱- نرخ آرنیوس ۲۶
۴-۳-۲- روش تلفات گردابه ای ۲۷
۴-۴- روش بکار رفته در کار حاضر ۲۸

فصل پنجم: انتقال حرارت تابشی

۵-۱- مقدمه ۲۹
۵-۲- معادلهٔ تشعشع ۳۰
۵-۳- روش P۱ ..... ۳۱
۵-۴- روش راسلند ۳۲
۵-۵- روش DTRM ۳۳
۵-۶- روش DO ۳۴
۵-۶-۱- معادلات مدل DO ۳۵

۵-۶-۲- گسسته سازی زاویه ای ۳۵
۵-۷- شرائط مرزی ۳۸
۵-۸- خواص تشعشعی ۳۸
۵-۹- روش بکار رفته در کار حاضر ۳۹

فصل ششم: نگاهی به روشهای عددی

۶-۱- حل دستگاه معادلات ۴۰
۶-۱-۱- روش SEGREGATED ۴۱
۶-۱-۲- روش COUPLED ۴۱
۶-۲- خطی سازی معادلات ۴۳
۶-۲-۱- روش ضمنی ۴۳
۶-۲-۲- روش صریح ۴۳
۶-۳- گسسته سازی ۴۴
۶-۳-۱- روش بالادست مرتبه اول ۴۵
۶-۳-۲- روش توانی ۴۶
۶-۳-۳- روش بالادست مرتبه دو ۴۶
۶-۳-۴- روش QUICK ۴۷
۶-۴- فرم خطی شده معادلات ۴۷
۶-۵- ضرائب تخفیف ۴۸
۶-۶- روش حل معادلات ۴۸
۶-۷- گسسته سازی معادلهٔ پیوستگی ۴۹
۶-۸- PRESSURE VELOCITY COUPLING ۵۰
۶-۸-۱- SIMPLE ۵۰
۶-۸-۲- SIMPLEC ۵۱
۶-۸-۳- PISO ۵۱
۶-۹- معیار همگرائی ۵۲
۶-۱۰- شبکهٔ محاسباتی ۵۳
۶-۱۱- خواص ۵۵

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تقدیم به مرکز

٦-١٢- شرائط مرزی ٥٦
٦-١٢-١- شرائط مرزی ورودی ٥٦
٦-١٢-٢- شرائط مرزی خروجی ٥٧
٦-١٢-٣- شرائط مرزی صفحهٔ تقارن ٥٧
٦-١٢-٤- شرائط مرزی دیواره ٥٧
٦-١٣- روش بکار رفته در کار حاضر ٥٨

فصل هفتم:نتایج

٧-١- مقدمه ٥٩
٧-٢-شعلهٔ bluff body ٦٠
٧-٣-تشریح میدان حل عددی ٦٢
٧-٤- طرح اولیه ٦٤
٧-٥- طرح اصلاحی ٧٠
٧-٦-بررسی شبکه ٧٧
٧-٧-مقایسه پارامترهای دو محفظه ٧٨
٧-٧-١-مقایسهٔ افت فشار ٧٨
٧-٧-٢- مقایسهٔ راندمان احتراق ٧٩
٧-٧-٣- مقایسهٔ دما در خروجی ٧٩
٧-٧-٤- مقایسهٔ فاکتور پروفیل و P.f. ٧٩
٧-٧-٥- احتراق پس از مرحلهٔ رقیق سازی ٨٠
٧-٨-نتیجه گیری ٨١

مراجع ٨٣

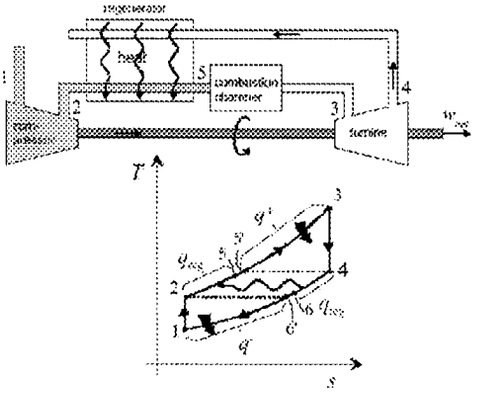
چکیده

گستردگی کاربرد توربین های گازی بر کسی پوشیده نیست. در این نوع توربین ها سه مرحلهٔ اصلی وجود دارد، یکی از این مراحل، انتقال انرژی گرمائی به سیال عامل می باشد که در محفظهٔ احتراق رخ می دهد. در کار حاضر طرحی برای تغییر در هندسهٔ یک نوع محفظهٔ احتراق، جهت بهبود شرائط کارکرد آن ارائه شده و اثرات این تغییر بر روی پارامترهای اساسی محفظه مورد بررسی قرار گرفته است. محفظهٔ احتراق از نوع صنعتی بوده و در شکل اصلی دارای یک زانو بوده است. محفظه در این شرائط کارکرد، دچار پوسیدگی در ناحیهٔ زانو شده است.برای رفع این مشکل در طرح اصلاحی این زانو حذف شده است. در واقع کار اصلی مقایسهٔ این دو طرح است. برای این مقایسه از یک حل عددی استفاده شده است. با توجه به دبی بالای هوا جریان متلاطم است. برای مدل کردن جریان مغشوش از مدل دو معادله ای اصلاح شده استفاده شده است که برای جریان چرخشی مناسب باشد. برای مدل کردن احتراق معادلهٔ انتقال برای تمامی نمونه های جرمی حل شده ونرخ واکنش از روش تلفات گردابه ای بدست آمده است. اثرات تشعشع با حل یک معادلهٔ انتقال برای شدت تشعشع در نظر گرفته شده است. پس از بدست آوردن پارامترهای محفظه قبل و بعد از تغییر و مقایسهٔ آنها، می توان نتیجه گرفت اگرچه طرح اصلاحی در زمینهٔ افت فشار و راندمان احتراق در محفظه بهبودهائی را در بر دارد، لیکن به علت شکل هندسی، توزیع دما در خروجی، حالت یکنواخت خود را از دست داده است.این مسئلهٔ بسیار با اهمیتی است و باید مورد توجه خاص قرار بگیرد، زیرا دمای خروجی محفظه باید در گسترهٔ محدودی باشد که پره ها و محفظهٔ توربین مجاز به کارکرد می باشند. البته اهمیت یکنواختی دما در کاربرد مشخص می شود، که در صورت یکنواخت بودن دما با داشتن دما در یک نقطه می توان در کل سطح خروجی دما را دانسته فرض کرد. نتیجه نهائی این که تغییر هندسه بدون تغییر در سایر قسمتهای محفظه ریسک بزرگی است و ممکن است مخارج سنگین خرابی توربین را در پی داشته باشد. در پایان روشهائی برای بهبود شرائط پیشنهاد شده که البته هر کدام باید در مورد این محفظهٔ خاص مورد بررسی دقیق قرار بگیرد.

فصل اول
مقدمه

۱-۱- چرخه توربین گازی ساده با بازیاب

هدف این پروژه بررسی محفظهٔ احتراق است. برای بیان شرایط حاکم بر این محفظه، لازم است نگاهی کوتاه بر چرخه توربین گازی ساده با بازیاب داشته باشیم[۱]. چرخه توربین گازی یکی از انواع چرخه های توانزائی است که سیال عامل آن درفاز گاز می باشد. اساس کار چرخه توربین گازی بر اساس چرخه ایده آل برایتون است. برای اضافه شدن راندمان چرخه یک المان به نام بازیاب[1] به آن اضافه می کنیم. در زیر شکل شماتیک این نوع چرخه و دیگرام دما آنتروپی آن دیده می شود.



شکل (۱-۱) شماتیک سیکل توربین گازی با بازیاب بهمراه نمایش تحول در دیاگرام(T-S)

1 Recuperator

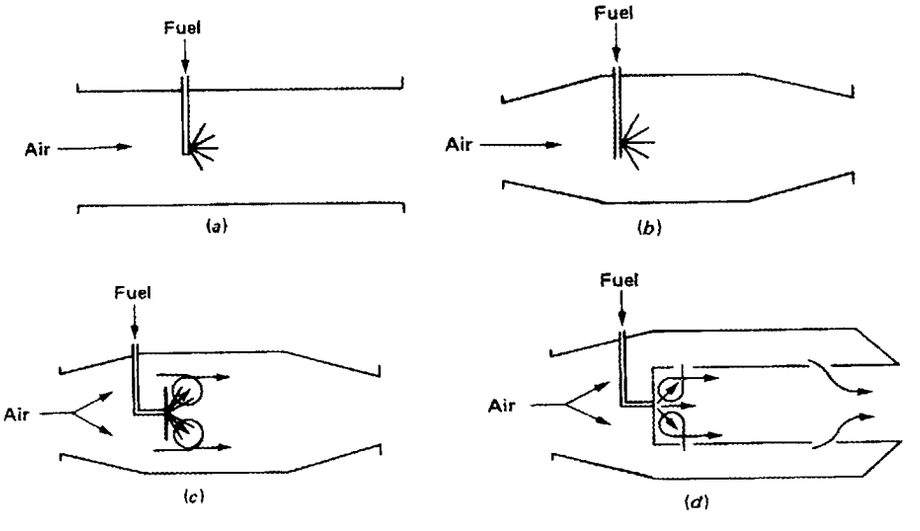
هوای محیط پس از عبور از صافی های هوا وارد کمپرسور می شود. پس از اینکه درکمپرسور تا فشار معینی کمپرس شد، وارد بازیاب می شود ومقداری دمای آن بالامی رود. سپس وارد محفظه احتراق می شود و گاز طبیعی(یا هر سوخت دیگری که مد نظر باشد) به آن اضافه می شود و در نتیجه احتراق انجام می شود.

در اثر این فرآیند بازهم دمای سیال عامل بالا می رود.این گاز گرم وپرفشار وارد توربین می شود و تا دما و فشار نقطه ٤ منبسط می شود .

گازهای گرم خروجی توربین پس از اینکه مقداری از انرژی حرارتی خود را در بازیاب به هوای ورودی می دهند، از طریق اگزوزها خارج می شوند.صرفنظر از جزئیات، توربین گازی که در این پروژه مد نظر بوده در چنین چرخه ای کار می کند.اماهدف مدل کردن محفظهٔ احتراق است، طبق این الگو ورودی های محفظه احتراق، سوخت(در دمای محیط وفشارمحفظه) ، هوای پرفشار(که تا دمای معینی در بازیاب پیش گرم شده است) و خروجی آن محصولات احتراق گرم و پرفشار می باشد.

۱-۲- محفظه احتراق

محفظه احتراق محلی است برای انجام احتراق. در صنعت انواع گوناگونی از محفظه های احتراق وجود دارد که ظاهراً بسیار متفاوت هستند. اما اگر بطور دقیقتر بررسی کنیم از نظر اساس کار، تقریباً تمام این محفظه ها یکسان هستند. مناسب است که بحثی داشته باشیم در مورد اینکه این اساس مشترک چیست و علل این شکل خاص چه می باشد[۲]. همانطور که مشخص است باید سوخت وهوا باهم ترکیب شوند تا عمل احتراق انجام شود. ساده ترین چیزی که بنظر میرسد این است که عبور جریان هوا از کف محفظه و تزریق سوخت به داخل این جریان صورت پذیرد. (شکل۱-۲-a)



شکل(۱-۲) روند تکامل محفظه احتراق

متاسفانه این شکل ساده قابل استفاده نیست،چون افت فشار فوق العاده زیادی خواهد داشت. افت فشار متناسب با توان دوم سرعت است و سرعت ورودی محفظه ها در حدود ۱۵۰ متر بر ثانیه می باشد، در این شرائط، تقریبا ۱/٤ فشاری که در کمپرسور تامین شده در محفظه افت می شود، که اصلا مناسب نیست. روشی که غالباً بکاربرده می شود استفاده از دیفیوزر است(شکل۱-۲-b). فاکتور کاهش سرعت این دیفیوزرها در حدود ٥ است. اما اشکال محفظه با دیفیوزر این است که چون هوا از اطراف نازل با سرعت عبور می کند، شرائط برای ثبات شعله مناسب نیست. پس باید یک حفاظ در مسیر هوا قرار دهیم تا در اطراف شعله سرعت هوا کم باشد(شکل۱-۲-c). تنها نقص باقیمانده این است که برای تامین دبی مورد نیاز توربین، احتیاج به مقدار بسیار زیادی هوا هست، که باعث بالا رفتن نسبت هوا به سوخت خواهد شد، که در چنین نسبتهایی، امکان احتراق هیدروکربنها وجود ندارد. برای حل این مشکل بجای حفاظ فوق الذکر از یک آستر سوراخ شده استفاده می شود(شکل۱-۲-d). کار این آستر آن است که، اولاً یک ناحیهٔ سرعت پائین در اطراف مشعل ها ایجاد می کند تا شعله نگهداری شود. ثانیاً هوا در دو مرحله وارد محفظه می شود، کسری از هوا که در حد نسبت سوخت به هوای مورد نیاز است، از کف محفظه وارد می شود، مابقی هوا در مرحلهٔ بعدی وارد شده و صرف خنک کردن محصولات احتراق می شود. در مباحث تئوری پیشنهاد شده ثلث هوا (و یا کمتر) صرف احتراق شود. بااستفاده از این آستر محفظه احتراق دارای نواحی گوناگونی خواهد بود.ناحیهٔ ابتدائی که در کف محفظه وجود دارد، ناحیهٔ چرخشی[1] که در این ناحیه اغلب سوخت وهوا برای احتراق آماده می شوند. ناحیهٔ شعله[2] که عمل احتراق در این ناحیه کامل می شود. ناحیهٔ رقیق سازی[3] که هوای اضافی با محصولات احتراق ترکیب می شود، تا دمای مناسب حاصل شود. در حالت ایده آل نباید در ناحیهٔ رقیق سازی احتراق انجام شود، اما در عمل گاهی مقداری سوخت به این ناحیه می رسد و در این مرحله عمل احتراق رخ می دهد.

۱-۳-- انواع محفظهٔ احتراق

محفظهٔ های احتراق اساساً به سه دسته عمده تقسیم می شوند[۲]. محفظه های حلقوی، محفظه های لوله ای، محفظه های صنعتی، محفظهٔ مورد بررسی در این پایان نامه از نوع محفظهٔ صنعتی می باشد.

۱-٤- پارامترهای مهم در محفظه احتراق

برای مقایسهٔ دو محفظه می توان یک سری پارامترهای تعیین کننده را مقایسه کرد[۲].

---

1 recirculation zone
2 burning zone
3 dilution zone

۱-٤-۱-راندمان محفظهٔ احتراق

این پارامتر که معیاری برای اندازه گیری کامل بودن یا نبودن احتراق است، بصورت زیر تعریف می شود:

$$\eta = \frac{\Delta h_{actual}}{\Delta h_{theoretical}} \qquad (۱-۱)$$

عبارت صورت مقدار انتالپی واقعی داده شده به سیال عامل و عبارت مخرج مقدار تئوری ازدیاد انتالپی در اثر سوختن سوخت می باشد.

۱-٤-۲-فاکتور پروفیل

نسبت بین حداکثر دمای خروجی و دمای میانگین خروجی که پارامتر بسیار با اهمیتی علی الخصوص در کار حاضر می باشد. بلحاظ اینکه در خروج محفظه ها در تعداد نقاط محدودی دماسنج وجود دارد، اگر فاکتور پروفیل نزدیک ۱ باشد میتوان با اطمینان به دمای دماسنج ها اعتماد کرد.

۱-٤-۳-Pattern Factor

بنوعی شکل بی بعد شده اختلاف دما در خروجی است که بدین شکل تعریف می شود:

$$P.F = \frac{T_{\max} - T_{av}}{T_{av} - T_{in}} \qquad (۱-۲)$$

$T_{\max}$ بیشترین دما در مقطع خروجی، T_{av} دمای متوسط وزنی در خروج از محفظه و T_{in} دمای میانگین وزنی دمای تمام ورودی ها به محفظه است. گفته شده مقدار P.F. بین ۰/۱۱ و ۰/٤۵ مناسب است[۲].در فصل نتایج بعداً به بررسی پارامترهای فوق خواهیم پرداخت.

۱-۵- تشریح مسئله

مسئله در مورد تغییری است که در یک نوع محفظهٔ احتراق توربین گاز مورد توجه بوده است. این توربین که در ایستگاه تقویت فشار گاز طبیعی و جهت تامین نیروی محرک کمپرسور بکار می رود، بصورت شماتیک در شکل (۱-۳)نشان داده شده است. اعداد نشان داده شده بر روی نقشه ها با اعداد روی سیکل شکل (۱-۱) مطابقت دارد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، بین محفظهٔ احتراق و ورودی توربین یک زانو وجود دارد. بلحاظ برطرف کردن مشکلات فنی و افزایش راندمان کلی توربین، پیشنهاد شده است که با حذف زانو، محفظهٔ احتراق بصورت مستقیم وعمود بر محور توربین قرار گیرد(شکل۱-٤). اما در این تغییر ملاحظات ظریفی وجود دارد، که باید مورد توجه قرار گیرد. از جمله اینکه دمای ورودی توربین باید بگونه ای باشد که در محدودهٔ مجاز برای پره ها و پوسته توربین قرار بگیرد. دیگر اینکه این نوع محفظهٔ جدید از نظر افت فشار باید مورد بررسی قرار گیرد. روشی که برای پیش بینی این مسئله بکار برده شده حل عددی معادلات بقاء برای کلیهٔ متغیرها می باشد.