



دانشگاه شهید چمران اهواز  
دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان

گزارش سالیانه فعالیت‌های انجام‌شده در سال ۱۳۸۵

**KHGCRO YR 1385**

۱ اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۶

گزارش سالانه فعالیت‌های ۱۳۸۵	عنوان
KHGCRO YR1385	کد گزارش
۱۳۸۶/۲/۱	تاریخ
<p>دکتر مرتضی بهبهانی‌نژاد، عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک دانشگاه شهید چمران  مهندس مازیار چنگیزیان، کارشناس ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه شهید چمران  مهندس سید محمد فاطمی اردستانی، کارشناسی ارشد فرآوری و انتقال گاز دانشگاه صنعت  نفت اهواز  خانم هاجر حیدری‌مهر، کارشناسی ارشد شیمی فیزیک ، دانشگاه شهید چمران اهواز</p>	تدوین کنندگان
<p>در این گزارش فعالیت‌های دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان در سال ۱۳۸۵ تشریح  شده است. عمده‌ی این فعالیت‌ها در ارتباط با نرم افزارهای مدل‌سازی جریان، فرآیند  خوردگی و حفاظت کاتدیک، مواد بوزا و سیستم های بوزنی به گاز، اطلاع‌رسانی،  استانداردسازی و غیره می باشد.</p>	چکیده

## فهرست مطالب

۱.....	مقدمه	۱
۳.....	مطالعه‌ای بر نرم‌افزارهای مدل‌سازی جریان در شبکه خطوط لوله توزیع گاز	۲
۵.....	معرفی نرم‌افزار PSSF	۱.۲
۶.....	قسمت‌های مختلف نرم‌افزار	۱.۱.۲
۷.....	نواربازار اجزای شبکه و اطلاعات ورودی آنها	۲.۱.۲
۱۶.....	صفحه اصلی نرم‌افزار	۳.۱.۲
۱۶.....	قرار دادن اجزای شبکه در صفحه اصلی نرم‌افزار	۴.۱.۲
۱۶.....	نواربازار اطلاعات خروجی	۵.۱.۲
۲۰.....	معرفی منوهای نرم‌افزار	۶.۱.۲
۳۲.....	شبیه‌سازی با نرم‌افزار	۷.۱.۲
۳۲.....	معرفی نرم‌افزار Pipe Phase	۲.۲
۳۳.....	انواع شبیه‌سازی در نرم‌افزار Pipe Phase	۱.۲.۲
۳۳.....	حل شبکه در نرم‌افزار Pipe Phase	۲.۲.۲
۳۴.....	انواع سیال موجود در نرم‌افزار	۳.۲.۲
۳۴.....	آغاز به کار با نرم‌افزار Pipe Phase	۴.۲.۲
۳۹.....	معرفی منوهای نرم‌افزار PIPEPHASE	۵.۲.۲
۵۴.....	معرفی نواربازار نرم‌افزار	۶.۲.۲
۵۵.....	معرفی اجزای شبیه‌سازی شبکه	۷.۲.۲
۸۰.....	نحوه شبیه‌سازی شبکه توزیع گاز با نرم‌افزارهای PSSF و PIPEPHASE	۳.۲
۸۰.....	نحوه شبیه‌سازی شبکه توزیع گاز با نرم‌افزار PSSF	۱.۳.۲
۸۱.....	انتخاب نوع سیال در شبکه در نرم‌افزار PSSF	۲.۳.۲
۸۵.....	قرار دادن اجزای شبکه در صفحه اصلی نرم‌افزار PSSF	۳.۳.۲
۸۵.....	وارد کردن اطلاعات ورودی هر جزء شبکه در نرم‌افزار PSSF	۴.۳.۲
۸۷.....	بررسی نتایج حل شبکه با نرم‌افزار PSSF	۵.۳.۲
۸۷.....	نحوه شبیه‌سازی شبکه توزیع گاز با نرم‌افزار PIPEPHASE	۶.۳.۲
۸۸.....	ایجاد یک پروژه جدید و فعال شدن نرم‌افزار PIPEPHASE	۷.۳.۲
۸۸.....	کامل کردن اطلاعات Simulation Setup Wizard نرم‌افزار PIPEPHASE	۸.۳.۲

انتخاب نوع مواد موجود در مخلوط گازی در نرم‌افزار PIPEPHASE.....	۹۳.۳.۲
قرار دادن اجزای شبکه در صفحه اصلی نرم‌افزار PIPEPHASE.....	۱۰.۳.۲
وارد کردن اطلاعات ورودی هر جزء شبکه در نرم‌افزار PIPEPHASE.....	۱۱.۳.۲
بررسی نتایج حل شبکه با نرم‌افزار PIPEPHASE.....	۱۲.۳.۲
شبیه‌سازی شبکه خطوط لوله شهر شوش.....	۴.۲
معرفی شبکه خطوط لوله شهر شوش.....	۱.۴.۲
شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار GpNet.....	۲.۴.۲
شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PSSF.....	۳.۴.۲
شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PIPEPHASE.....	۴.۴.۲
مقایسه نتایج حاصل از نرم افزارها و تحلیل آن‌ها.....	۵.۴.۲
نتیجه‌گیری نهایی.....	۶.۴.۲
مدل‌های جریان سیال.....	۵.۲
مدل جریان پایا.....	۱.۵.۲
مدل جریان ناپایا.....	۲.۵.۲
اهداف مدل کردن جریان در خطوط لوله.....	۳.۵.۲
معادلات پایه مدل جریان ناپایا در خطوط لوله.....	۴.۵.۲
مدل ریاضی جریان ناپایا در خطوط لوله.....	۵.۵.۲
دسته بندی روش‌های حل عددی جریان ناپایا در خطوط لوله انتقال گاز... ..	۶.۵.۲
روش‌های حل عددی جریان‌های ناپایا در خطوط لوله تک‌فازی انتقال گاز.....	۷.۵.۲
روش مشخصه (MOC).....	۸.۵.۲
روش اختلاف محدود صریح.....	۹.۵.۲
روش اختلاف محدود ضمنی.....	۱۰.۵.۲
روش رانگ کوتا.....	۱۱.۵.۲
روش جزء محدود.....	۱۲.۵.۲
روش MOL.....	۱۳.۵.۲
روش TVD.....	۱۴.۵.۲
روش‌های دیگر حل ناپایای جریان در خطوط لوله تک‌فازی انتقال گاز.....	۱۵.۵.۲
منابع.....	۶.۲

۱۲۹	خوردگی چیست؟	۱.۳
۱۳۱	مکان‌های ایجاد سل‌های خوردگی در لوله‌های زیرزمینی	۱.۱.۳
۱۳۶	مندهای کنترل خوردگی	۲.۳
۱۳۶	تئوری اصلی حفاظت کاتدی	۱.۲.۳
۱۳۸	هزینه‌های خوردگی در ایران	۳.۳
۱۴۳	الکتروشیمی خوردگی	۴.۳
۱۴۳	مقدمه‌ای بر ترمودینامیک خوردگی	۱.۴.۳
۱۵۲	مقدمه‌ای بر سینتیک خوردگی	۲.۴.۳
۱۶۱	الکتروشیمی حفاظت کاتدیک	۵.۳
۱۶۲	معیار حفاظت کاتدی	۱.۵.۳
۱۶۷	چگالی جریان مورد نیاز	۲.۵.۳
۱۶۸	سیستم‌های جریان اعمالی	۳.۵.۳
۱۷۰	فعالیت‌های انجام شده در راستای مدل‌سازی حفاظت کاتدیک	۶.۳
۱۷۲	مراجع	۷.۳
<b>۱۷۳</b>	<b>معرفی مواد بوزا و سیستم‌های بوزنی به گاز</b>	<b>۴</b>
۱۷۳	تاریخچه بودار کردن گاز طبیعی	۱.۴
۱۷۴	انتخاب ترکیب مناسب	۲.۴
۱۷۵	ترکیب مواد بوزا و اجزای آنها	۱.۲.۴
۱۷۹	رفتار مواد بوزا در خطوط لوله	۲.۲.۴
۱۸۰	انواع گازهای طبیعی	۳.۲.۴
۱۸۱	روش‌های مختلف بودار کردن گاز طبیعی	۳.۴
۱۸۶	بوزنی تبخیری	۱.۳.۴
۱۸۷	بوزنی چکه‌ای (تراوایی) تزریق مایع	۲.۳.۴
۱۸۸	بوزنی تزریق مستقیم	۳.۳.۴
۱۹۰	فرآیند بودهی به گاز	۴.۴
۱۹۰	آئین‌نامه‌های موجود در زمینه بودهی به گاز	۱.۴.۴
۱۹۶	سیستم‌های بوزنی متداول	۲.۴.۴
۱۹۶	معرفی مدل‌هایی از دستگاه‌های بوزنی	۳.۴.۴

۵.۴	وضعیت سیستم‌های بوزنی موجود در استان خوزستان و بررسی مشکلات آنها	۲۰۲
۱.۵.۴	سیستم‌های کنارگذر.....	۲۰۳
۲.۵.۴	بررسی سیستم‌های پالسی.....	۲۱۰
۳.۵.۴	جمع‌بندی مشکلات موجود در سیستم‌های بوزنی استان خوزستان.....	۲۱۴
۶.۴	مراجع.....	۲۱۵
۵	فعالیت‌های انجام شده در هفته پژوهش.....	۲۱۶
۱.۵	تهیه نقشه خطوط لوله گاز.....	۲۱۷
۲.۵	تهیه برگه‌های معرفی تجهیزات شرکت گاز.....	۲۲۱
۳.۵	استندها و پوسترها.....	۲۲۲
۱.۳.۵	استند معرفی دفتر پژوهش شرکت گاز.....	۲۲۲
۲.۳.۵	پوستر شماره ۱.....	۲۲۶
۳.۳.۵	پوستر شماره ۲.....	۲۲۶
۴.۵	محتوای CD تهیه شده.....	۲۳۲
۵.۵	بازدید از CGS و TBS غرب.....	۲۳۷
۶.۵	سمینارهای ارائه شده.....	۲۳۷
۶	سمینارهای ارائه شده.....	۲۳۸
۱.۶	مروری بر روش‌های عددی مدل سازی حفاظت کاتدیک.....	۲۳۸
۲.۶	جهت‌گیری مراکز تحقیقاتی گاز در دنیا، کشور و استان خوزستان.....	۲۳۸
۳.۶	قابلیت‌های نرم‌افزارهای شبیه سازی جریان گاز درون خطوط لوله.....	۲۳۹
۴.۶	بررسی عوامل موثر بر افزایش ظرفیت خطوط لوله انتقال گاز.....	۲۳۹
۱.۴.۶	بررسی انتخاب نرم‌افزار مناسب برای بررسی عوامل موثر بر افزایش دبی گاز	
	درون خطوط لوله.....	۲۴۱
۲.۴.۶	معرفی برنامه نوشته شده توسط نرم‌افزار MATLAB برای رسم نمودار عملیاتی	
	کمپرسورها	۲۴۲
۳.۴.۶	معرفی کارهایی که در پروژه انجام خواهد شد.....	۲۴۲

## ۷ فعالیت‌های انجام گرفته در راستای اطلاع‌رسانی و استانداردسازی تدوین گزارشات.....۲۴۳

طراحی وب‌سایت دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان.....	۲۴۳	۱.۷
صفحه اصلی.....	۲۴۴	۱.۱.۷
صفحه معرفی.....	۲۴۵	۲.۱.۷
بخش پروژه‌های تحقیقاتی.....	۲۴۵	۳.۱.۷
بخش سایت‌های مرتبط.....	۲۴۶	۴.۱.۷
بخش آرشیو.....	۲۴۶	۵.۱.۷
بخش گالری.....	۲۴۷	۶.۱.۷
بخش نقشه سایت.....	۲۴۷	۷.۱.۷
بخش ارتباط با ما.....	۲۴۷	۸.۱.۷
نحوه‌ی نگارش گزارش.....	۲۴۷	۲.۷
کلیات.....	۲۴۸	۱.۲.۷
چگونگی جایگذاری شکل‌ها و جداول.....	۲۵۰	۲.۲.۷
چگونگی جایگذاری معادلات.....	۲۵۱	۳.۲.۷
چگونگی ارجاع به مراجع و تهیه لیست مراجع.....	۲۵۱	۴.۲.۷
نکات نهایی.....	۲۵۲	۵.۲.۷

## ۸ سایر فعالیت‌ها.....۲۵۴

تهیه سر فصل‌های کتب طرح جامع بیست ساله گاز طبیعی کشور.....	۲۵۴	۱.۸
گزیده‌ای از نشریات و کنفرانس‌ها.....	۲۵۴	۲.۸
نشریات تخصصی در زمینه صنایع گاز.....	۲۵۴	۱.۲.۸
کنفرانس‌ها.....	۲۵۶	۲.۲.۸
تهیه بانک اطلاعاتی از نمایشگاه‌های صنایع در ارتباط با گاز طبیعی.....	۲۶۰	۳.۸
کنفرانس‌های برگزار شده در زمینه صنعت گاز.....	۲۶۰	۱.۳.۸
نمایشگاه‌های برگزار شده در مورد صنعت گاز.....	۲۶۱	۲.۳.۸
مقدمه‌ای بر تشکیل هیدرات‌های گازی در خطوط لوله گاز.....	۲۶۲	۴.۸
ساختمان هیدرات‌های گاز.....	۲۶۲	۱.۴.۸
مناطق پاییداری هیدرات.....	۲۶۴	۲.۴.۸
روش‌های جلوگیری از تشکیل هیدرات متان در خطوط لوله انتقال گاز.....	۲۶۵	۳.۴.۸

۲۶۶	شرکت در کنفرانس تخصصی گاز	۵.۸
۲۶۷	مراجع	۶.۸
۲۶۸	الف نتایج محاسبات نرم‌افزار GpNet	
۲۷۸	ب نتایج محاسبات نرم‌افزار PSSF	
۲۹۱	پ سمینارهای ارائه شده توسط دفتر پژوهش	
۲۹۱	پ.۱. مروری بر روش‌های عددی مدل‌سازی حفاظت کاتدیک	
۳۰۸	پ.۲. جهت‌گیری مراکز تحقیقاتی گاز در دنیا، کشور و استان خوزستان	
۳۳۳	پ.۳. قابلیت‌های نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جریان گاز درون خطوط لوله	
۳۴۸	ت سمینار پروژه کارشناسی ارشد	



## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱.۲: قسمت‌های مختلف پنجره نرم افزار Piping Systems Fluid Flow ..... ۷
- شکل ۲.۲: صفحه اطلاعات ورودی pipe ..... ۸
- شکل ۳.۲: صفحه اطلاعات ورودی Flow component ..... ۹
- شکل ۴.۲: صفحه اطلاعات ورودی Pressure Component ..... ۹
- شکل ۵.۲: صفحه اطلاعات ورودی Junction ..... ۱۰
- شکل ۶.۲: صفحه اطلاعات ورودی Manually Operated Valves ..... ۱۰
- شکل ۷.۲: صفحه اطلاعات ورودی Fans ..... ۱۱
- شکل ۸.۲: صفحه اطلاعات ورودی Pipe Reduction & Expansion ..... ۱۱
- شکل ۹.۲: صفحه اطلاعات ورودی Non – Return value ..... ۱۲
- شکل ۱۰.۲: صفحه اطلاعات ورودی Sprinklers ..... ۱۲
- شکل ۱۱.۲: صفحه اطلاعات ورودی Orifice plate ..... ۱۲
- شکل ۱۲.۲: صفحه اطلاعات ورودی Flow Controller ..... ۱۳
- شکل ۱۳.۲: صفحه اطلاعات ورودی Pressure Controller ..... ۱۳
- شکل ۱۴.۲: صفحه اطلاعات ورودی Generic  $k_f$  Component ..... ۱۴
- شکل ۱۵.۲: صفحه اطلاعات ورودی Generic flow Coefficient component ..... ۱۴
- شکل ۱۶.۲: صفحه اطلاعات ورودی Generic k factor component ..... ۱۵
- شکل ۱۷.۲: صفحه اطلاعات ورودی User Defined component ..... ۱۵
- شکل ۱۸.۲: صفحه اطلاعات ورودی Pressure Relief Valve ..... ۱۶
- شکل ۱۹.۲: سر برگ Errors نوار ابزار اطلاعات خروجی ..... ۱۷
- شکل ۲۰.۲: سر برگ Result نوار ابزار اطلاعات خروجی ..... ۱۷
- شکل ۲۱.۲: سر برگ Graph نوار ابزار اطلاعات خروجی ..... ۱۸
- شکل ۲۲.۲: سر برگ Warning / Hints نوار ابزار اطلاعات خروجی ..... ۱۹
- شکل ۲۳.۲: سر برگ Note نوار ابزار اطلاعات خروجی ..... ۱۹
- شکل ۲۴.۲: سر برگ Lists نوار ابزار اطلاعات خروجی ..... ۲۰
- شکل ۲۵.۲: گزینه‌های منوی File ..... ۲۱
- شکل ۲۶.۲: پنجره Print Designer که با انتخاب گزینه Print Design باز می‌شود ..... ۲۱
- شکل ۲۷.۲: پنجره Project Description که با انتخاب گزینه Project Description باز می‌شود ..... ۲۲
- شکل ۲۸.۲: پنجره Bill of Materials که با انتخاب گزینه Print a Bill of Materials باز می‌شود ..... ۲۳

- شکل ۲۹.۲: گزینه‌هایی که با انتخاب گزینه Export Data نشان داده می‌شود. ۲۳
- شکل ۳۰.۲: گزینه‌هایی که با انتخاب گزینه Import Data نشان داده می‌شود. ۲۴
- شکل ۳۱.۲: گزینه‌های منوی Edit. ۲۴
- شکل ۳۲.۲: گزینه‌های منوی Datasets. ۲۵
- شکل ۳۳.۲: نمونه‌ای از پنجره بانک اطلاعات اجزاء. ۲۶
- شکل ۳۴.۲: گزینه‌های منوی Properties. ۲۶
- شکل ۳۵.۲: پنجره‌ای که با انتخاب گزینه Calculation باز می‌شود. ۲۷
- شکل ۳۶.۲: گزینه‌های Default Components. ۲۷
- شکل ۳۷.۲: گزینه‌های Flowsheet. ۲۸
- شکل ۳۸.۲: گزینه‌های Fluid. ۲۸
- شکل ۳۹.۲: گزینه‌های Report Units. ۲۸
- شکل ۴۰.۲: پنجره‌ای که با کلیک گزینه Warning Limits باز می‌شود. ۲۹
- شکل ۴۱.۲: گزینه‌های منوی Tools. ۲۹
- شکل ۴۲.۲: پنجره Economic Pipe Sizer. ۳۰
- شکل ۴۳.۲: پنجره K Convertor. ۳۰
- شکل ۴۴.۲: پنجره Partial Volume Calculator. ۳۱
- شکل ۴۵.۲: گزینه‌های منوی View. ۳۱
- شکل ۴۶.۲: گزینه‌های منوی Help. ۳۱
- شکل ۴۷.۲: پنجره اصلی نرم‌افزار PIPEPHASE. ۳۵
- شکل ۴۸.۲: پنجره اولیه راهنمای ایجاد پروژه. ۳۶
- شکل ۴۹.۲: پنجره انتخاب نوع پروژه شبیه‌سازی. ۳۶
- شکل ۵۰.۲: پنجره انتخاب نوع سیال پروژه شبیه‌سازی. ۳۷
- شکل ۵۱.۲: پنجره انتخاب دستگاه آحاد پروژه شبیه‌سازی. ۳۸
- شکل ۵۲.۲: پنجره تایید انتخاب گزینه‌های پروژه شبیه‌سازی. ۳۸
- شکل ۵۳.۲: گزینه‌های منوی File. ۳۹
- شکل ۵۴.۲: پنجره‌ای که با انتخاب گزینه Run از منوی فایل به کار می‌رود. ۴۰
- شکل ۵۵.۲: پنجره‌ای که با انتخاب گزینه Local Setting از منوی فایل باز می‌شود. ۴۱
- شکل ۵۶.۲: پنجره‌ای که با انتخاب گزینه Remote Setting از منوی فایل باز می‌شود. ۴۱
- شکل ۵۷.۲: گزینه‌های منوی Edit. ۴۲

- شکل ۵۸.۲: گزینه های منوی View ..... ۴۲
- شکل ۵۹.۲: پنجره ای که با انتخاب گزینه Show Option از منوی view باز می‌شود ..... ۴۳
- شکل ۶۰.۲: گزینه Simulation Description از گزینه های منوی General ..... ۴۳
- شکل ۶۱.۲: گزینه Simulation Definition از گزینه های منوی General ..... ۴۴
- شکل ۶۲.۲: گزینه Input Units of Measurement از گزینه های منوی General ..... ۴۴
- شکل ۶۳.۲: گزینه PVT Data از گزینه های منوی General ..... ۴۵
- شکل ۶۴.۲: پنجره ای که بعد از کلیک بر روی Property Set 1 باز می‌شود ..... ۴۶
- شکل ۶۵.۲: گزینه Component Library از گزینه های منوی General ..... ۴۶
- شکل ۶۶.۲: گزینه Print Options از گزینه های منوی General ..... ۴۷
- شکل ۶۷.۲: گزینه Output Units of Measurement از گزینه های منوی General ..... ۴۷
- شکل ۶۸.۲: گزینه Calculation Methods از گزینه های منوی General ..... ۴۸
- شکل ۶۹.۲: گزینه Global Default از گزینه های منوی General ..... ۴۸
- شکل ۷۰.۲: گزینه های منوی Special Features ..... ۴۹
- شکل ۷۱.۲: گزینه Case Study از گزینه های منوی Special Features ..... ۴۹
- شکل ۷۲.۲: گزینه Time Stepping از گزینه های منوی Special Features ..... ۵۰
- شکل ۷۳.۲: گزینه Gas Lift Option از گزینه های منوی Special Features ..... ۵۰
- شکل ۷۴.۲: گزینه User Defined Splitting از گزینه های منوی Special Features ..... ۵۱
- شکل ۷۵.۲: گزینه NETOPT Optimization Data از گزینه های منوی Special Features ..... ۵۱
- شکل ۷۶.۲: گزینه TACITE Data for Link از گزینه های منوی Special Features ..... ۵۲
- شکل ۷۷.۲: گزینه User Database Settings از گزینه های منوی Special Features ..... ۵۲
- شکل ۷۸.۲: گزینه Compressor Performance Curve از گزینه های منوی Special Features ..... ۵۳
- شکل ۷۹.۲: گزینه Flow Device Schedule Database از گزینه های منوی Special Features ..... ۵۳
- شکل ۸۰.۲: گزینه های منوی Help ..... ۵۴
- شکل ۸۱.۲: شکل نمودار جریانی ..... ۵۶
- شکل ۸۲.۲: پنجره خواص منبع جریان در شبکه در حالت انتخاب سیال ترکیبی ..... ۵۶
- شکل ۸۳.۲: پنجره خواص دریافت کننده جریان در شبکه در حالت انتخاب سیال ترکیبی ..... ۵۷
- شکل ۸۴.۲: شکل نمودار جریانی ..... ۵۷
- شکل ۸۵.۲: پنجره انتخاب اجزای شبکه ..... ۵۸
- شکل ۸۶.۲: پنجره خواص جزء Pipe ..... ۵۹

۶۰	شکل ۸۷.۲: پنجره خواص جزء Riser
۶۰	شکل ۸۸.۲: پنجره خواص جزء Tubing
۶۱	شکل ۸۹.۲: پنجره خواص جزء Annulus
۶۲	شکل ۹۰.۲: پنجره خواص جزء IPR
۶۲	شکل ۹۱.۲: پنجره خواص جزء VFP
۶۳	شکل ۹۲.۲: پنجره خواص جزء Choke
۶۴	شکل ۹۳.۲: پنجره خواص جزء Regulator
۶۴	شکل ۹۴.۲: پنجره خواص جزء Orifice
۶۵	شکل ۹۵.۲: پنجره خواص جزء Valve
۶۶	شکل ۹۶.۲: پنجره خواص جزء Check Valve
۶۶	شکل ۹۷.۲: پنجره خواص جزء GL Valve
۶۷	شکل ۹۸.۲: پنجره خواص جزء Expander
۶۷	شکل ۹۹.۲: پنجره خواص جزء Compressor
۶۸	شکل ۱۰۰.۲: پنجره خواص جزء MS Compressor
۶۹	شکل ۱۰۱.۲: پنجره خواص جزء DPDT
۷۰	شکل ۱۰۲.۲: پنجره خواص جزء Heater
۷۰	شکل ۱۰۳.۲: پنجره خواص جزء Cooler
۷۱	شکل ۱۰۴.۲: پنجره خواص جزء Pump
۷۱	شکل ۱۰۵.۲: پنجره خواص جزء ESP
۷۲	شکل ۱۰۶.۲: پنجره خواص جزء Separator
۷۲	شکل ۱۰۷.۲: پنجره خواص جزء Injection
۷۳	شکل ۱۰۸.۲: پنجره خواص جزء GP Compl
۷۴	شکل ۱۰۹.۲: پنجره خواص جزء OP Compl
۷۴	شکل ۱۱۰.۲: پنجره خواص جزء Bend
۷۵	شکل ۱۱۱.۲: پنجره خواص جزء Tee
۷۵	شکل ۱۱۲.۲: پنجره خواص جزء Nozzle
۷۶	شکل ۱۱۳.۲: پنجره خواص جزء Entrance
۷۶	شکل ۱۱۴.۲: پنجره خواص جزء Exit
۷۷	شکل ۱۱۵.۲: پنجره خواص جزء Contract

- شکل ۱۱۶.۲: پنجره خواص جزء Expansion ..... ۷۸
- شکل ۱۱۷.۲: پنجره خواص جزء Venturi ..... ۷۸
- شکل ۱۱۸.۲: پنجره خواص جزء TAC Relief ..... ۷۹
- شکل ۱۱۹.۲: پنجره خواص جزء TAC Ctrl ..... ۷۹
- شکل ۱۲۰.۲: منوی پائین‌رونده که با کلیک دکمه Select Fluid باز می‌شود. .... ۸۱
- شکل ۱۲۱.۲: پنجره‌ای که با کلیک گزینه More... باز می‌شود. .... ۸۲
- شکل ۱۲۲.۲: گزینه Fluid از منوی Properties ..... ۸۲
- شکل ۱۲۳.۲: گزینه Gas/Liquid Physical Properties از منوی Datasets ..... ۸۳
- شکل ۱۲۴.۲: پنجره‌ای که با کلیک گزینه Gas/Liquid Physical Properties باز می‌شود ..... ۸۳
- شکل ۱۲۵.۲: پنجره‌ای که با کلیک گزینه Mix باز می‌شود ..... ۸۴
- شکل ۱۲۶.۲: خواص محاسبه شده برای مخلوط گازی جدید ..... ۸۴
- شکل ۱۲۷.۲: وارد کردن دمای محیط در شبکه ..... ۸۶
- شکل ۱۲۸.۲: اطلاعات ایستگاه تقلیل فشار ..... ۸۶
- شکل ۱۲۹.۲: اطلاعات بار هر گره یا دبی مصرف کننده ..... ۸۶
- شکل ۱۳۰.۲: پنجره اصلی نرم‌افزار PIPEPHASE ..... ۸۸
- شکل ۱۳۱.۲: پنجره اصلی نرم‌افزار PIPEPHASE ..... ۸۹
- شکل ۱۳۲.۲: پنجره اولیه راهنمای ایجاد پروژه ..... ۸۹
- شکل ۱۳۳.۲: پنجره انتخاب نوع پروژه شبیه‌سازی ..... ۹۰
- شکل ۱۳۴.۲: پنجره انتخاب نوع سیال پروژه شبیه‌سازی ..... ۹۰
- شکل ۱۳۵.۲: پنجره انتخاب نوع سیال پروژه شبیه‌سازی ..... ۹۱
- شکل ۱۳۶.۲: پنجره انتخاب دستگاه آحاد پروژه شبیه‌سازی ..... ۹۲
- شکل ۱۳۷.۲: پنجره تایید انتخاب گزینه‌های پروژه شبیه‌سازی ..... ۹۲
- شکل ۱۳۸.۲: پنجره انتخاب نوع مواد موجود در مخلوط گازی ..... ۹۳
- شکل ۱۳۹.۲: پنجره اضافه کردن مواد مخلوط گازی ..... ۹۴
- شکل ۱۴۰.۲: شکل جزء Compositional Source در صفحه اصلی ..... ۹۴
- شکل ۱۴۱.۲: پنجره خواص منبع جریان در شبکه در حالت انتخاب سیال ترکیبی ..... ۹۵
- شکل ۱۴۲.۲: شکل جزء Sink در صفحه اصلی ..... ۹۵
- شکل ۱۴۳.۲: پنجره خواص دریافت کننده جریان در شبکه در حالت انتخاب سیال ترکیبی ..... ۹۶
- شکل ۱۴۴.۲: شکل جزء Junction در صفحه اصلی ..... ۹۶

- شکل ۱۴۵.۲: پنجره خواص منبع جریان در شبکه در حالت انتخاب سیال ترکیبی..... ۹۶
- شکل ۱۴۶.۲: شکل نمودار جریانی..... ۹۷
- شکل ۱۴۷.۲: پنجره انتخاب اجزای شبکه..... ۹۷
- شکل ۱۴۸.۲: پنجره خواص جزء Pipe..... ۹۸
- شکل ۱۴۹.۲: مثالی از شکل چینش شبکه در این نرم‌افزار..... ۹۹
- شکل ۱۵۰.۲: پنجره اطلاعات Global Defaults..... ۱۰۰
- شکل ۱۵۱.۲: پنجره Run..... ۱۰۱
- شکل ۱۵۲.۲: شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار PSSF - قسمت اول..... ۱۱۰
- شکل ۱۵۳.۲: شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار PSSF - قسمت دوم..... ۱۱۱
- شکل ۱۵۴.۲: شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار PSSF - قسمت سوم..... ۱۱۱
- شکل ۱۵۵.۲: شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار GPNNet..... ۱۱۲
- شکل ۱۵۶.۲: قسمتی از شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار PIPEPHASE..... ۱۱۳
- شکل ۱.۳: شماتیک خوردگی آهن..... ۱۳۰
- شکل ۲.۳: تاثیر فلزات غیر هم جنس در تشکیل پیل خوردگی..... ۱۳۳
- شکل ۳.۳: خوردگی در اثر تفاوت ماهیت خاک..... ۱۳۴
- شکل ۴.۳: خوردگی در اثر اختلاف غلظت هوا..... ۱۳۵
- شکل ۵.۳: خوردگی لوله آهن تازه که در تماس با لوله کهنه می‌باشد..... ۱۳۵
- شکل ۶.۳: حفاظت گالوانیکی..... ۱۳۷
- شکل ۷.۳: بستر سازی..... ۱۳۸
- شکل ۸.۳: پایداری ترمودینامیکی مس و  $Cu^{++}$ ..... ۱۴۴
- شکل ۹.۳: دیاگرام پوربایکس برای فلز M، آب و اکسیژن..... ۱۵۰
- شکل ۱۰.۳: پتانسیل خوردگی آهن..... ۱۵۴
- شکل ۱۱.۳: تفاوت بین پلاریزاسیون و پتانسیل اضافی..... ۱۵۵
- شکل ۱۲.۳: رفتار تافل سیستم  $Cu^{++}/Cu$ ..... ۱۵۷
- شکل ۱۳.۳: نمودار پتانسیل مختلط برای آهن در یک محلول اسیدی..... ۱۶۰
- شکل ۱۴.۳: نمودار ساده شده پتانسیل مختلط برای آهن..... ۱۶۱
- شکل ۱۵.۳: نمودار ساده شده  $E - pH$  برای سیستم آهن - آب..... ۱۶۳
- شکل ۱۶.۳: نمودار  $E - \log|i|$  برای دو شیب آندی تافل..... ۱۶۴
- شکل ۱۷.۳: مقادیر تغییر پتانسیل..... ۱۶۵

- شکل ۱۸.۳: چگونگی تغییر پتانسیل پس از قطع ناگهانی جریان ..... ۱۶۶
- شکل ۱۹.۳: حفاظت کاتدی توسط اعمال جریان ..... ۱۶۸
- شکل ۱.۴: دستگاه بوزنی فتیله‌ای ..... ۱۸۲
- شکل ۲.۴: دستگاه بوزنی چکه‌ای ..... ۱۸۳
- شکل ۳.۴: دستگاه بوزنی کنارگذر جذبی ..... ۱۸۳
- شکل ۴.۴: دستگاه بوزنی تزریق پمپی ..... ۱۸۴
- شکل ۵.۴: دستگاه بوزنی پالسی الکترونیکی ..... ۱۸۴
- شکل ۶.۴: دستگاه بوزنی کنارگذر پمپی با محرک کنتور ..... ۱۸۵
- شکل ۷.۴: دستگاه بوزنی کنار گذر با کنترل سطح مایع (بالا) و کنترل دمایی (پایین) ..... ۱۸۷
- شکل ۸.۴: دستگاه بوزنی چکه‌ای ..... ۱۸۸
- شکل ۹.۴: دستگاه بوزنی تزریق مایع نوع اندازه گیر ..... ۱۸۹
- شکل ۱۰.۴: دستگاه بوزنی تزریق مایع نوع پمپی ..... ۱۸۹
- شکل ۱۱.۴: سیستم بوزنی مدل GOE 2000 ..... ۱۹۷
- شکل ۱۲.۴: سیستم بوزنی مدل GOE 07 ..... ۱۹۹
- شکل ۱۳.۴: شمایی از نحوه اتصال سیستم‌های بوزنی سری B ..... ۲۰۰
- شکل ۱۴.۴: شمای برش خورده‌ای از دستگاه بوزنی مدل B ..... ۲۰۱
- شکل ۱۵.۴: شمای برش خورده‌ای از دستگاه بوزنی مدل W ..... ۲۰۱
- شکل ۱۶.۴: شمایی از آشکارساز ..... ۲۰۲
- شکل ۱۷.۴: شماتیکی از نحوه قرار گرفتن دستگاه‌های بوزنی کنارگذر در خط اصلی ..... ۲۰۳
- شکل ۱۸.۴: نمونه‌ای از سیستم کنارگذر نصب شده در CGS شرق ..... ۲۰۴
- شکل ۱۹.۴: شماتیکی از مدل سری B شرکت king tool ..... ۲۰۵
- شکل ۲۰.۴: نمایی برش خورده جهت تعیین ابعاد مدل‌های سری B شرکت king tool ..... ۲۰۶
- شکل ۲۱.۴: طرح ابتکاری جایگزین اوریفیس ..... ۲۰۸
- شکل ۲۲.۴: نمایی برش خورده از یک شیر سلنوئیدی ..... ۲۰۹
- شکل ۲۳.۴: نمایی از متد کنارگذر پالسی ..... ۲۰۹
- شکل ۲۴.۴: سیستم بوزنی پالسی نصب شده در CGS شرق ..... ۲۱۱
- شکل ۲۵.۴: مدل GOE07 از تولیدات شرکت RMG ..... ۲۱۲
- شکل ۲۶.۴: سیستم بوزنی با منبع انرژی خورشیدی ..... ۲۱۳
- شکل ۱.۵: نمایی از غرفه دفتر پژوهش ..... ۲۱۷

- شکل ۲.۵: نقشه خطوط گاز اروپا و بخشی از خاورمیانه ..... ۲۱۸
- شکل ۳.۵: نقشه خطوط انتقال گاز و نفت ایران ..... ۲۱۹
- شکل ۴.۵: نقشه خطوط انتقال گاز استان خوزستان ..... ۲۲۰
- شکل ۵.۵: نقشه خطوط انتقال گاز استان خوزستان ..... ۲۲۱
- شکل ۶.۵: برگه‌های معرفی تجهیزات شرکت گاز ..... ۲۲۲
- شکل ۷.۵: مدل سازی حفاظت کاتدیک ..... ۲۲۴
- شکل ۸.۵: نمونه‌ای از دستگاه‌های بوزنی به گاز ..... ۲۲۴
- شکل ۹.۵: نرم افزارهای مدل سازی جریان در لوله ..... ۲۲۴
- شکل ۱۰.۵: استند معرفی دفتر پژوهش ..... ۲۲۵
- شکل ۱۱.۵: پوستر معرفی زمینه‌های تحقیقاتی دفتر پژوهش - ۱ ..... ۲۲۶
- شکل ۱۲.۵: پوستر معرفی زمینه‌های تحقیقاتی دفتر پژوهش ۲ ..... ۲۲۷
- شکل ۱۳.۵: نمونه‌ای از توپیک ..... ۲۲۸
- شکل ۱۴.۵: نمونه‌ای از توپیک ..... ۲۲۹
- شکل ۱۵.۵: نمونه‌ای از توپیک ..... ۲۲۹
- شکل ۱۶.۵: کتورهای دیافراگمی ..... ۲۳۰
- شکل ۱۷.۵: کتورهای توربینی ..... ۲۳۰
- شکل ۱۸.۵: کتورهای آلتراسونیک ..... ۲۳۱
- شکل ۱۹.۵: کتورهای روزنه‌ای ..... ۲۳۱
- شکل ۲۰.۵: کتورهای ورتکس شدینگ ..... ۲۳۲
- شکل ۲۱.۵: صفحه اول CD تهیه شده ..... ۲۳۲
- شکل ۲۲.۵: صفحه معرفی دفتر پژوهش شرکت گاز ..... ۲۳۳
- شکل ۲۳.۵: صفحه معرفی کادر پرسنلی دفتر پژوهش ..... ۲۳۴
- شکل ۲۴.۵: صفحه طرح‌های تحقیقاتی و گزارشات ..... ۲۳۴
- شکل ۲۵.۵: صفحه سمینارهای هفته پژوهش ..... ۲۳۵
- شکل ۲۶.۵: صفحه سمینارهای هفته پژوهش ..... ۲۳۶
- شکل ۲۷.۵: صفحه فیلم هفته پژوهش ..... ۲۳۷
- شکل ۱.۷: صفحه اصلی سایت دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان ..... ۲۴۴
- شکل ۲.۷: فرایندهای متداول گاز طبیعی در یک پالایشگاه گاز ..... ۲۵۰
- شکل ۱.۸: ساختارهای مختلف هیدرات گاز ..... ۲۶۴



---

شکل ۲.۸: منطقه پایداری هیدرات (HSZ) ..... ۲۶۴

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۲.۱: قسمتی از اطلاعات ورودی نرم‌افزار GPNet ..... ۱۰۲
- جدول ۲.۲: واحدهای متغیرهای خروجی نرم‌افزار GPNet ..... ۱۰۴
- جدول ۲.۳: قسمتی از اطلاعات ورودی نرم‌افزار PSSF ..... ۱۰۴
- جدول ۲.۴: واحدهای متغیرهای خروجی نرم‌افزار PSSF ..... ۱۰۵
- جدول ۲.۵: قسمتی از اطلاعات ورودی نرم‌افزار PIPEPHASE ..... ۱۰۶
- جدول ۲.۶: واحدهای متغیرهای خروجی نرم‌افزار PIPEPHASE ..... ۱۰۷
- جدول ۲.۷: دبی ورودی محاسبه شده به ایستگاه TBS توسط دو نرم‌افزار GPNet و PSSF ..... ۱۰۸
- جدول ۲.۸: فشار محاسبه شده در برخی از گره‌ها توسط دو نرم‌افزار GPNet و PSSF ..... ۱۰۸
- جدول ۲.۹: دبی عبوری در برخی از لوله‌ها توسط دو نرم‌افزار GPNet و PSSF ..... ۱۰۹
- جدول ۱.۳: نیروی محرکه الکتریکی فلزات نسبت به الکتروود هیدروژن ..... ۱۳۲
- جدول ۲.۳: نیروی محرکه الکتریکی فلزات نسبت به الکتروود مس ..... ۱۳۳
- جدول ۳.۳: هزینه‌های خوردگی در کشورهای مختلف ..... ۱۴۰
- جدول ۳.۴: پتانسیل الکتریکی فلزات نسبت به الکتروود هیدروژن [۶] ..... ۱۴۶
- جدول ۳.۵: پتانسیل شیمیایی استاندارد [۶] ..... ۱۴۷
- جدول ۳.۶: مقاومت خاک نسبت به میزان خوردگی [۸] ..... ۱۶۸
- جدول ۱.۴: مخلوط مرکاپتان‌ها ..... ۱۷۸
- جدول ۲.۴: مخلوط مرکاپتان و آلکیل سولفید ..... ۱۷۹
- جدول ۳.۴: مخلوط تتراهیدروتیوفن (THT) / مرکاپتان ..... ۱۷۹
- جدول ۴.۴: تجهیزات موجود در مدل سری B شرکت king tool ..... ۲۰۶
- جدول ۴.۵: ابعاد مدل‌های سری B شرکت king tool ..... ۲۰۶
- جدول ۴.۶: مشخصات مدل‌های سری B شرکت king tool ..... ۲۰۷
- جدول ۷.۱: مثالی از جدول گذاری در متن ..... ۲۵۱

## ۱ مقدمه

در این گزارش که گزارش سالیانه مربوط به سال ۱۳۸۵ در ارتباط با فعالیت‌های دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان می‌باشد، عمده فعالیت‌های انجام‌شده مورد بحث قرار گرفته‌است. برخی از این فعالیت‌ها در ارتباط با راه‌اندازی و آماده‌سازی مرکز، برخی در ارتباط با مباحث فنی در ارتباط با فعالیت‌های شرکت گاز استان، برخی در ارتباط با بازدیدهای انجام‌شده و برخی نیز در ارتباط با شرکت در نمایشگاه‌های مربوط به هفته پژوهش و ارائه سمینارهای مختلف می‌باشد. در این راستا به‌منظور حفظ دستاوردهای مطالعاتی و فعالیت‌های انجام‌شده سعی وافر در ارتباط با مستندسازی و استانداردسازی گزارشات تدوین‌شده صورت گرفته‌است. با وجود این مستندات به‌راحتی می‌توان در ارتباط با خط سیری که دفتر پژوهش دنبال می‌کند اظهار نظر کرده و چنانچه با نظرات کارشناسی و کارفرما نیاز به تغییر مسیر باشد، مسیر مناسب را دنبال نمود.

این گزارش در قالب هفت فصل مختلف تدوین شده‌است که فصل اول آن فصل حاضر تحت عنوان مقدمه می‌باشد. در فصل دوم نتیجه مطالعات انجام‌شده در زمینه نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جریان گاز در شبکه‌های توزیع مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌است. فصل سوم مطالعاتی را که در ارتباط با خوردگی و مسائل مربوط به آن انجام شده‌است مورد بحث قرار می‌دهد. نتیجه مطالعاتی که در ارتباط با مواد بوزا و روش‌های بوزنی انجام شده‌است در فصل چهارم ارائه شده‌است. عمده فعالیت‌هایی که در هفته پژوهش توسط دفتر انجام شده‌است در فصل پنجم این گزارش مورد بحث قرار گرفته‌است. مشخصات سمینارهای انجام‌شده در سال ۱۳۸۵ که عمدتاً در هفته پژوهش ارائه شد در فصل ششم گزارش تشریح شده است و درنهایت فصل هفتم به فعالیت‌های انجام‌شده در زمینه‌های مستندسازی اختصاص دارد.

شایان ذکر است که گزارش سالیانه حاضر تقریباً دربرگیرنده عمده مطالب ارائه‌شده در گزارشات ماهیانه ارسالی است با این تفاوت که برخی از مواردی که از اهمیت کمتری برخوردار بوده‌اند حذف شده‌اند. لذا خواننده با مطالعه این گزارش می‌تواند با عمده فعالیت‌هایی که توسط دفتر پژوهش از زمان راه‌اندازی (تیرماه ۱۳۸۵) تا پایان سال ۱۳۸۵ انجام شده‌است آشنا شود. با اینکه نهایت سعی و تلاش در این زمینه بوده‌است که دفتر پژوهش مطابق با مفاد قراردادی که در آبان‌ماه ۱۳۸۴ مابین

---

دانشگاه و شرکت گاز استان منعقد شده است به انجام فعالیت‌های مربوطه بپردازد ولی اذعان دارد که با توجه به حجم بالای فعالیت‌های ذکر شده در قرارداد مربوطه و تعداد پرسنل اندک مرکز دستیابی به کلیه شرح خدمات ذکر شده در یک بازه زمانی کوتاه امکان‌پذیر نیست. بنابراین انتظار می‌رود که در سال ۱۳۸۶ با همکاری مسئولین محترم مربوطه در شرکت گاز استان خوزستان بتوان تعداد کادر دفتر پژوهش را متناسب با حجم فعالیت‌ها افزایش داد تا بدین ترتیب امکان دستیابی سریع‌تر به اهداف ذکر شده فراهم گردد.

## ۲ مطالعه‌ای بر نرم‌افزارهای مدل‌سازی جریان در شبکه خطوط لوله توزیع گاز

امروزه شبیه‌سازی واحدهای صنعتی جایگاه بسیار مهمی را در جهان پیدا کرده‌است و شرکت‌های بیشماری در زمینه طراحی این نرم‌افزارها فعالیت کرده و رقابت سختی بین آنها برای کارکرد هر چه بهتر محصول نرم‌افزاری آنها وجود دارد. از طرفی تقاضای صنعت برای استفاده از این محصولات نرم‌افزاری روز به روز در حال افزایش است. از جمله مزیت‌های استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی که موجب رویکرد صنایع به استفاده از آنها شده‌است عبارتند از:

- انجام سریع محاسباتی که انجام آنها به صورت دستی بسیار طولانی و وقت‌گیر است.
- انجام محاسبات تکراری برای بدست آوردن جواب معادلات که انجام آن توسط محاسبات دستی امکان‌پذیر نیست.
- شبیه‌سازی واحد صنعتی در حالت پایا قبل از ساخته‌شدن آن و بررسی عملکرد آن واحد و رفع نقایص طراحی آن واحد.
- شبیه‌سازی واحد صنعتی در حالت ناپایا برای بررسی عملکرد آن واحد در حالت راه‌اندازی و یا از کار افتادن واحد و جلوگیری از خطرات احتمالی ناشی از آن.
- شبیه‌سازی واحد صنعتی ساخته شده و بهینه‌سازی شرایط عملیاتی آن واحد.

لذا با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی می‌توان از هدر رفتن سرمایه جلوگیری کرده و بهترین شرایط عملیاتی برای واحد صنعتی را بدست آورد.

این نرم‌افزارها عموماً به نرم‌افزارهای فرایندی معروف هستند که به شبیه‌سازی فرایند واحد صنعتی<sup>۱</sup> و تا حدی هم به شبیه‌سازی مکانیکی واحدهای صنعتی و در واقع به محاسبه ابعاد دستگاه‌ها<sup>۲</sup> می‌پردازند. برخی از این نرم‌افزارها عبارتند از:

۱. نرم‌افزارهای مورد استفاده در طراحی شبکه خطوط لوله انتقال گاز:

- نرم‌افزار Piping Systems Fluid Flow (PSFF)

- نرم‌افزار Pipe Phase

- نرم‌افزار GPL

۲. نرم‌افزارهای مورد استفاده در طراحی خطوط لوله انتقال تک فازی و دوفازی گاز

- نرم‌افزار Aspen Plus

- نرم‌افزار Hysys

- نرم‌افزار Pipesys

- نرم‌افزار Pipe Phase

۳. نرم‌افزارهای مورد استفاده در طراحی واحدهای فرایندی پالایش گاز

- نرم‌افزار Hysys

- نرم‌افزار Pipesys

- نرم‌افزار ProII

- نرم‌افزار Aspen Plus

در بخش‌های بعدی این گزارش نرم‌افزارهای مورد استفاده در طراحی شبکه خطوط لوله انتقال گاز معرفی می‌شوند.

<sup>1</sup> Process Design

<sup>2</sup> Mechanical Design

## ۱.۲ معرفی نرم‌افزار PSSF

نرم‌افزار PSSF برای طراحی یا تحلیل شبکه‌های لوله به کار می‌رود که حاصل دوازده سال تجربه بدست‌آمده در طراحی سیستم‌های جریان سیال در زمینه‌های مختلف است [۳۲]. این نرم‌افزار امکان طراحی و یا تحلیل شبکه‌های لوله‌کشی برای جریان‌های تراکم‌پذیر یا تراکم‌ناپذیر همراه با اجزای مختلف شبکه مانند لوله، پمپ، شیرها و غیره را فراهم می‌کند. لذا به وسیله آن می‌توان درستی عملکرد شبکه را قبل از آنکه ساخته شود بررسی کرد و مشکلات آن را برطرف، و از ضررهای مالی ناشی از اشتباهات طراحی جلوگیری کرد. برای یک کارخانه موجود می‌توان به شبیه‌سازی سیستم لوله‌کشی آن پرداخت و مشکلات آن را بررسی و برطرف کرد و در نتیجه کارآیی آن را بالا برد. هم‌چنین می‌توان با شبیه‌سازی کلی کارخانه رفتار آن را در هنگام راه‌اندازی و یا از کارانداختن بررسی کرد و از خطرات احتمالی ناشی از رفتار غیرپایای آن جلوگیری کرد. هم‌چنین از این نرم‌افزار می‌توان برای طراحی و یا شبیه‌سازی سیستم‌های لوله‌کشی توزیع گاز هم استفاده کرد.

استفاده از این نرم‌افزار بسیار آسان بوده و به تجربه خاصی نیاز ندارد. این نرم‌افزار برای طراحی شبکه یک صفحه اصلی در اختیار شما قرار می‌دهد که به راحتی می‌توانید اجزای شبکه را روی آن قراردید و هم‌چنین هنگام طراحی شبکه خطاهای طراحی را نمایش می‌دهد و از اشتباهات جلوگیری می‌کند و یک سری پیشنهادات مهندسی برای بهتر شدن عملکرد شبکه ارائه می‌دهد. ورود اطلاعات و مشاهده نتایج محاسبات هم در آن بسیار آسان است. موتور محاسباتی آن با سرعت ۳۲ بیت عمل می‌کند و لذا سرعت همگرایی خوبی ایجاد می‌کند و با هر تغییر در اطلاعات ورودی به طور خودکار محاسبات جدید را انجام می‌دهد. به طور کلی با توجه به دلایل زیر با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان بسیاری از مشکلات را حل نمود:

- قدرت محاسباتی بالای نرم‌افزار.
- امکان ساختن سریع شبکه همراه با پیغام خطا در هنگام ساختن شبکه.
- سهولت در ورود اطلاعات و مشاهده نتایج محاسبات امکان تغییر آسان پارامترها را برای رسیدن به بهترین نتیجه می‌دهد.
- وجود بانک اطلاعاتی امکان استفاده از اطلاعات معتبر و درست را فراهم می‌کند و لذا حجم اطلاعات ورودی کاهش می‌یابد.

- وجود پیغام‌های هشدار و پیشنهادات مهندسی در این نرم‌افزار شما را در انتخاب درست اجزای شبکه کمک می‌کند تا شبکه بتواند در شرایط قابل قبول عمل کرده و لذا امکان بهینه‌سازی شبکه را فراهم می‌کند.

## ۱.۱.۲ قسمت های مختلف نرم‌افزار

ابتدا با اجرای نرم‌افزار از مسیر زیر پنجره نرم‌افزار همانطور که در شکل ۱.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌گردد:

Start/All Programs/Piping Systems Fluid Flow

این پنجره شامل قسمت های زیر است:

۴. نوارابزار اجزای شبکه

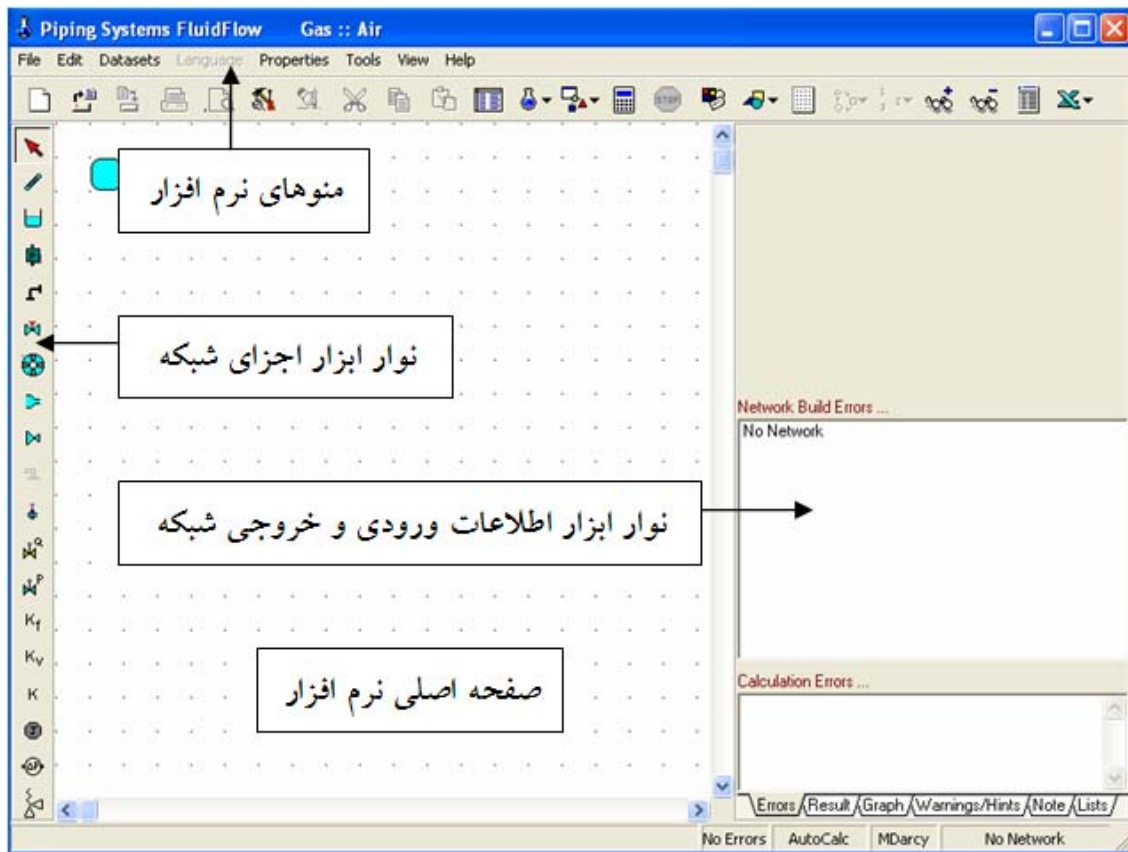
۵. صفحه اصلی نرم‌افزار

۶. نوارابزار اطلاعات ورودی و خروجی شبکه

۷. منوهای نرم‌افزار

برای قرار دادن اجزای شبکه روی صفحه اصلی نرم‌افزار کافی است با اشاره‌گر ماوس روی آن جزء در نوارابزار اجزاء کلیک کرده و در هر مکان روی صفحه اصلی کلیک مجدد نمود. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی و خروجی مربوط به آن جزء کافی است روی آن جزء در صفحه اصلی کلیک کرد. حال صفحه اطلاعات ورودی در سمت چپ صفحه نرم‌افزار و بالای نوارابزار اطلاعات و صفحه اطلاعات خروجی در پائین نوارابزار اطلاعات ظاهر می‌گردد. از طریق نوارابزار عمومی و منوها هم می‌توان تنظیمات لازم برای نرم‌افزار و شبکه را انجام داد. در ادامه قسمت های مختلف این نرم‌افزار مورد بحث قرار می‌گیرد.





شکل ۱.۲: قسمت‌های مختلف پنجره نرم‌افزار Piping Systems Fluid Flow

## ۲.۱.۲ نوار ابزار اجزای شبکه و اطلاعات ورودی آنها

اجزای شبکه از طریق نوار ابزار اجزاء در سمت چپ پنجره قابل دسترسی است. این نوار ابزار از منوی اجزای شبکه قابل نمایش است. جابجایی این نوار ابزار به طرفین صفحه اصلی، با کلیک چپ ماوس و نگه داشتن آن و کشیدن به طرفین صفحه امکان‌پذیر است. اولین دکمه این نوار ابزار، وسیله انتخاب اجزاء شبکه است و بقیه دکمه‌ها امکان قراردادن اجزاء را در صفحه اصلی فراهم می‌کند. برای قرار دادن اجزای شبکه روی صفحه اصلی نرم‌افزار کافی است با اشاره‌گر ماوس روی آن جزء در نوار ابزار کلیک کرد. با این کار اشاره‌گر به شکل آن جزء تغییر می‌کند و سپس در هر مکان روی صفحه اصلی که لازم است آن جزء قرار گیرد، می‌توان کلیک کرد. در ادامه اجزای شبکه موجود در نوار ابزار اجزاء معرفی می‌شوند.




۸. دکمه Select

برای انتخاب اجزای شبکه بعد از قرار دادن آنها روی صفحه اصلی به کار می‌رود.



## ۹. pipe

لوله برای اتصال هر دو جزء شبکه به هم استفاده می‌گردد و هر جزء برای این که در جریان محاسبات شبکه قرار گیرد، باید به لوله‌ای متصل باشد. برخی اجزاء نیاز به تعداد معینی اتصال لوله برای عملکرد خود دارند، لذا اگر بخواهیم لوله اضافی به آنها متصل شود، نرم‌افزار این اجازه را نمی‌دهد و اشاره گر ماوس به شکل  ظاهر می‌شود و اگر اتصال کم باشد، پیغام خطایی در سربرگ Errors واقع بر نوارابزار اطلاعات خروجی مشاهده می‌گردد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی جزء pipe کافی است ابتدا لوله را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. صفحه اطلاعات ورودی لوله در شکل ۲.۲ نشان داده شده‌است.

Component ID		
Temperature	520.0	°R
Pipe Length	0.5	metre
Pipe Type	Steel : Schedule 40	
Nominal Size	16 "	
Pipe Status	Open	
Internal Diam.	381.0	mm
Roughness	0.05	mm
Pipe Color Class	Black	

شکل ۲.۲: صفحه اطلاعات ورودی pipe



## ۱۰. Flow component

برای مشخص کردن نقاط ورودی و خروجی که دارای فشار مشخص هستند بکار می‌رود. علت این نامگذاری این است که فشار در این نقاط معلوم بوده و فقط دبی جریان در این نقاط محاسبه می‌گردد. از آن می‌توان به عنوان مخزن تامین کننده جریان و یا مخزن گیرنده جریان استفاده کرد. این جزء، هیچ گونه مقاومتی در مقابل جریان ایجاد نمی‌کند و تنها به یک اتصال لوله برای ایجاد جریان نیاز دارد. مقدار و جهت جریان در شبکه توسط خود نرم‌افزار با توجه به مقادیر ورودی شما برای خواص ارتفاع مبناء و فشار محاسبه می‌گردد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کنید تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۲.۲ نشان داده شده‌است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Pressure	0.0	bar g

شکل ۳.۲: صفحه اطلاعات ورودی Flow component



## ۱۱. Pressure Component

نقطه ورودی یا خروجی شبکه به حساب می‌آید و از آنجایی که جریان در آن معین بوده و فشار برای آن محاسبه می‌گردد، به این نام خوانده می‌شود. از آن می‌توان به عنوان مخزن تامین‌کننده جریان و یا مخزن گیرنده جریان استفاده کرد. این جزء، هیچ‌گونه مقاومتی در مقابل جریان ایجاد نمی‌کند و تنها به یک اتصال لوله برای ایجاد جریان نیاز دارد. مقدار فشار در شبکه توسط خود نرم‌افزار با توجه به مقدار ورودی شما برای خواص ارتفاع مبناء و یا دبی جریان محاسبه می‌گردد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۴.۲ ارائه شده است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Flow	0.0	kg/s
Flow Path	Flow Out of Network	

شکل ۴.۲: صفحه اطلاعات ورودی Pressure Component



## ۱۲. Junction

شامل لوله باز، زانویی، سه‌راهی، چهارراهی است. نرم‌افزار بطور خودکار و با توجه به تعداد لوله متصل به هم، یکی از چهار اتصال بالا را انتخاب می‌کند. برای لوله باز و زانویی، Head و Pressure در صفحه Result در نوارابزار اطلاعات نشان داده می‌شود ولی برای دو مورد دیگر Mean Pressure (متوسط فشار) و یا Mean Head (متوسط ارتفاع) نمایش داده می‌شود. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۵.۲ نشان داده شده است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Junction Type	Standard Bend	
Kf	30.0	
Quantity	1	
Selections ...		

شکل ۵.۲: صفحه اطلاعات ورودی Junction



### ۱۳. Manually Operated Valves

برای گذاشتن شیر بین لوله‌ها که به طور دستی باز و بسته می‌شود، از این وسیله می‌توان استفاده کرد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۶.۲ نشان داده شده‌است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Valve Name	Globe Valve	
% Open	100.0	
Quantity	1	
Selections ...		

شکل ۶.۲: صفحه اطلاعات ورودی Manually Operated Valves



### ۱۴. Pumps and Fans

اگر سیال انتخابی (بعداً توضیح داده می‌شود) تراکم پذیر باشد در نوارابزار فن را مشاهده می‌کنید و اگر سیال تراکم ناپذیر باشد، پمپ در نوارابزار مشاهده می‌گردد. پمپ، فن و یا کمپرسور اغلب کارخانه‌ها در بانک اطلاعات این نرم‌افزار وجود دارد. اولین لوله‌ای که به پمپ یا فن وصل می‌گردد، فرض می‌شود که به ورودی پمپ متصل شده‌است و لوله دوم متصل به خروجی خواهد بود. لوله خروجی با نقطه قرمز در ابتدای آن مشخص می‌گردد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۷.۲ نشان داده شده‌است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Fan Name	TD A205	
Impeller Dia.	2050.0	mm
Op. Speed	630	
Orientation	+	
Selections ...		

شکل ۷.۲: صفحه اطلاعات ورودی Fans



## ۱۵. Pipe Reduction &amp; Expansion

برای اتصال لوله هایی با قطرهای متفاوت به صورت هم مرکز و یا خارج از مرکز بکار می‌رود. با اتصال لوله، قطر آن بطور خودکار برای اتصال تنظیم می‌گردد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۸.۲ نشان داده شده‌است.



Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Reducer Type	Concentric	
Length	0.00	inches
Conn. Sizes	Undefined	

شکل ۸.۲: صفحه اطلاعات ورودی Pipe Reduction &amp; Expansion



## ۱۶. Non – Return value

مانند پمپ لوله اول به ورودی آن و دومی به خروجی آن وصل می‌شود که خروجی با نقطه قرمز در ابتدای لوله معین می‌گردد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۹.۲ نشان داده شده‌است.


Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
NRV Name	U/L Listed Swing Check Valve	
Kf	70.0	
Orientation	+	
Selections ...		

شکل ۹.۲: صفحه اطلاعات ورودی Non – Return value



## ۱۷. Sprinklers

این وسیله هنگامی قابل دسترسی در نوارابزار اجزاء است که سیال انتخابی تراکم‌ناپذیر باشد و ممکن است دارای یک یا دو اتصال لوله باشد. از آن می‌توان برای مدل کردن نازل‌های Spray Tower ها و Spray Condenser ها در شرایط عملیاتی فشار بالاتر و یا پائینتر از جو استفاده کرد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۱۰.۲ نشان داده شده است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Sprinkler	Spray Nozzle EA-1 15mm	
Exit Pressure	0.0	bar g
Selections ...		

شکل ۱۰.۲: صفحه اطلاعات ورودی Sprinklers



## ۱۸. Orifice plate

برای محدود کردن جریان داخل لوله بکار می‌رود که محاسبات بر اساس Sharpedged orifice plate انجام می‌گیرد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کنید تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۱۱.۲ نشان داده شده است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Orifice Size	10.0	mm

شکل ۱۱.۲: صفحه اطلاعات ورودی Orifice plate



## ۱۹. Flow Controller

مربوط به شیرهای کنترل‌کننده جریان است و اغلب محصولات کارخانه‌ها در بانک اطلاعاتی آن می‌باشد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۱۲.۲ نشان داده شده است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Control Valve	80mm Double Port KG Eqz	
Control Flow	10.0	m <sup>3</sup> /h
Orientation	+	
Selections ...		

شکل ۱۲.۲: صفحه اطلاعات ورودی Flow Controller



## ۲۰. Pressure Controller

بیانگر شیرهای کنترل‌کننده فشار است و اغلب محصولات کارخانه‌ها در بانک اطلاعاتی آن می‌باشد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۱۳.۲ نشان داده شده است.


Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Control Valve	80mm Double Port KG Eqz	
Control Type	Pressure Sustaining	
Control Press.	2.0	bar g
Orientation	+	
Selections ...		

شکل ۱۳.۲: صفحه اطلاعات ورودی Pressure Controller

۲۱. Generic  $k_f$  Component

برای شبیه‌سازی مقاومت جزءهایی بکار می‌رود که اندازه آنها با توجه به اندازه لوله متفاوت خواهد بود. مانند: Valves, Non Return valves. بدست آوردن  $k_f$  مشکل است، در نتیجه می‌توان آن را از  $k$  از مسیر Tools / K converte بدست آورد.

برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۱۴.۲ نشان داده شده‌است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Fitting Name	4" Angle Valve	
Kf	150.0	
Quantity	1	

شکل ۱۴.۲: صفحه اطلاعات ورودی Generic  $k_f$  Component

$K_v$

### ۲۲. Generic flow Coefficient component

برای شبیه‌سازی مقاومت جزئی که در نرم‌افزار نباشد استفاده می‌گردد. مانند مبدلهای حرارتی که افت هد آن برای جریان معین معلوم باشد و یا از طریق کارخانه سازنده در دسترس باشد. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کنید تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۱۵.۲ نشان داده شده‌است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Fitting Name	4" Angle Valve	
Quantity	1	


شکل ۱۵.۲: صفحه اطلاعات ورودی Generic flow Coefficient component

$K$

### ۲۳. Generic k factor component

برای مدل کردن جزءهای شبکه مانند شیرها، گرم کن ها و . . . بکار می‌رود که نشان دهنده مقاومت آنها در مقابل جریان است و معادل هد سرعت است که از معادله  $v^2/2g$  بدست می‌آید. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۱۶.۲ نشان داده شده‌است.



Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Fitting Name	4" Angle Valve	
K	2.47	
Quantity	1	

شکل ۱۶.۲: صفحه اطلاعات ورودی Generic k factor component




## ۲۴. Connectors

اتصال دهنده که در هر جای شبکه قابل جایگذاری است و مقاومتی در برابر جریان ایجاد نمی‌کند. این جزء برای یافتن فشار در هر نقطه از شبکه و یا برای اتصال لوله‌ها بکار می‌رود که هیچ محدودیتی برای تعداد لوله‌های متصل به آن وجود ندارد.



## ۲۵. User Defined component

این جزء به کاربر امکان معین کردن فرمولی برای افت فشار یا افت هد را در طول جزء می‌دهد. همچنین امکان دادن خواص جزئی را که در نرم‌افزار وجود ندارد را ایجاد می‌کند. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۱۷.۲ نشان داده شده است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Type	Constant Head Los:	Eq..+ +
Head Loss	1.0	bar 

شکل ۱۷.۲: صفحه اطلاعات ورودی User Defined component



## ۲۶. Pressure Relief Valve

برای جلوگیری از افزایش فشار بیش از حد مجاز آن بکار می‌رود. این شیر کمترین افت فشار را ایجاد می‌کند و تا زمانی که فشار از حد مجاز عبور نکند بسته می‌ماند. برای مشاهده صفحه اطلاعات ورودی این جزء کافی است ابتدا جزء را در صفحه اصلی قرار داده و سپس روی آن در صفحه اصلی کلیک کرد تا در نوارابزار اطلاعات ظاهر شود. این صفحه در شکل ۱۸.۲ نشان داده شده است.

Component ID		
Temperature	15.0	°C
Datum Level	0.0	metre
Valve	WB100	
Set Pressure	1.0	bar a
Standard Size	D ( 0.110 in2 / 71 mm2 )	
Special Size	71.0	mm2
Over Pressure	10	%
Balanced Bellows/Liquid		

شکل ۱۸.۲: صفحه اطلاعات ورودی Pressure Relief Valve

### ۳.۱.۲ صفحه اصلی نرم‌افزار


صفحه‌ای است که برای طراحی شبکه، اجزای شبکه روی آن قرار می‌گیرند و محدوده آن بیشتر از محدوده قابل رویت در پنجره نرم‌افزار است. برای اختصاصی کردن آن از زیر منوی Flow Sheet می‌توان استفاده کرد که از دو مسیر زیر قابل دسترسی است:

۲۷. کلیک راست روی صفحه اصلی

۲۸. منوی بالای صفحه توسط Properties/Flow sheet

### ۴.۱.۲ قرار دادن اجزای شبکه در صفحه اصلی نرم‌افزار

برای قرار دادن اجزای شبکه روی صفحه اصلی نرم‌افزار کافی است با اشاره‌گر ماوس روی آن جزء در نوار ابزار کلیک کنید که اشاره‌گر به شکل آن جزء تغییر می‌کند و سپس در هر مکان روی صفحه اصلی که می‌خواهید کلیک کنید.

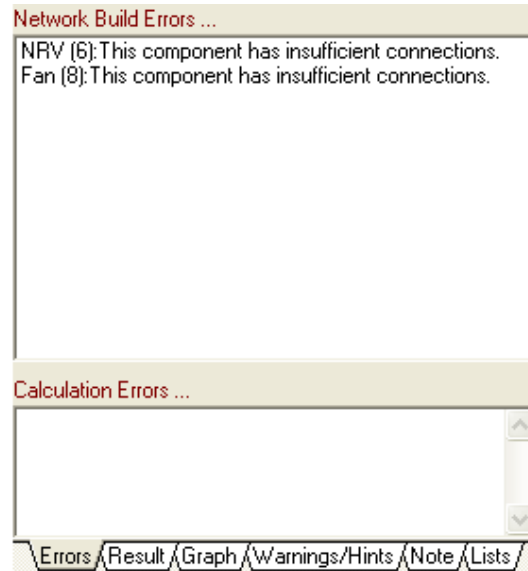
برای جابجا کردن شیء روی صفحه اصلی، در نوار ابزار اجزاء دکمه  (Deselect) را کلیک کنید یا کلید Ctrl را بزنید و سپس روی شیء کلیک کنید و آن را نگهدارید و با حرکت ماوس آن را جابجا کنید.

### ۵.۱.۲ نوار ابزار اطلاعات خروجی

این نوار ابزار در قسمت پائین و سمت چپ صفحه نرم‌افزار واقع است و به طور کلی نشان دهنده پیام‌های نرم‌افزار به کاربر است که دارای سر برگ‌های زیر می‌باشد:

## ۲۹. سر برگ Errors

هنگام طراحی شبکه، نرم‌افزار بطور خودکار به بررسی خطاهای طراحی شبکه و خطاهای محاسباتی و ورود اطلاعات می‌پردازد و آنها را در این سربرگ نمایش می‌دهد. این صفحه در شکل ۱۹.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۱۹.۲: سر برگ Errors نوار ابزار اطلاعات خروجی

## ۳۰. سر برگ Result

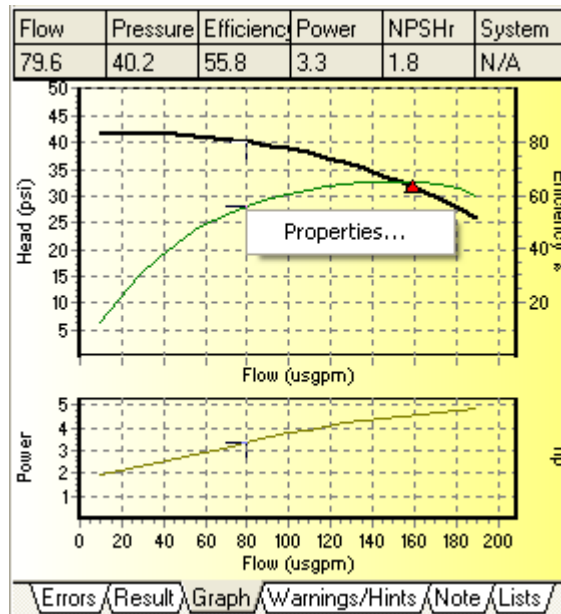
این سربرگ نتیجه محاسبات برای اجزای شبکه را نمایش می‌دهد که در شکل ۲۰.۲ نشان داده شده‌است.

Density	65.91	lb/ft <sup>3</sup>
Viscosity	0.98	cP
Vapour Pressure	-14.695	psi g
Pipe Size	0.8268	inches
Flowrate	4.82	usgpm
Average Velocity	2.89	ft/s
Pipe Friction Loss	0.697	psi
Absolute Roughness	0.0001640	feet
Reynolds Number	19967	-
Friction Factor	0.0301584	-
Hydraulic Gradient	0.0259179	
Warnings/Hints	No	
Entry Node Number/ID	5	orifice
Exit Node Number/ID	1	

شکل ۲۰.۲: سر برگ Result نوار ابزار اطلاعات خروجی

## ۳۱. سر برگ Graph

نمودار مربوط به هر جزء در شبکه مانند . مانند: پمپ و شیر و . را با کلیک روی آن جزء نشان می‌دهد. این سربرگ در شکل ۲۱.۲ نشان داده شده‌است.



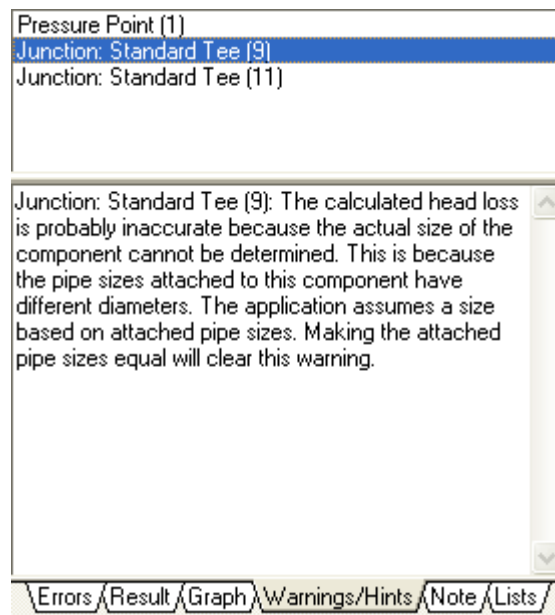
شکل ۲۱.۲: سر برگ Graph نوار ابزار اطلاعات خروجی

## ۳۲. سر برگ Warning / Hints

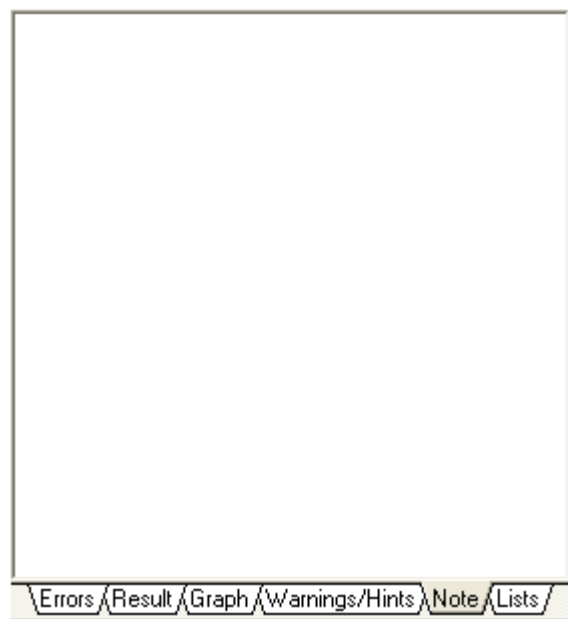
نوشته‌های این صفحه اصولاً مربوط به این موضوع هستند که چگونه جزء خاصی در شبکه طراحی شده توسط شما کار می‌کند و معایب آن چیست. این سر برگ حاوی دو قسمت است. در قسمت بالایی آن فهرستی از اجزاء که دارای پیغام خطا یا توصیه‌های مهندسی هستند نمایش داده می‌شود و در قسمت پایینی آن توضیحات مربوط به اجزاء نمایش داده می‌شود. با کلیک روی هر جزء یا کلیک روی فهرست توضیحات اجزاء در خود سربرگ، توضیحات مربوط به آن نشان داده می‌شود. اگر جزیی دارای پیغام Warning باشد، کادر دور آن به رنگ قرمز در می‌آید. این صفحه در شکل ۲۲.۲ نشان داده شده‌است.

## ۳۳. سر برگ Note

با کلیک روی هر جزء، صفحه‌ای برای نوشتن متن دلخواه درباره آن جزء، در این سربرگ مشاهده می‌گردد. با کلیک راست روی متن امکان ویرایش آن وجود دارد. اگر چند جزء با هم انتخاب شده باشند، صفحه نوشتن توضیحات غیرفعال می‌گردد. این صفحه در شکل ۲۳.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۲۲.۲: سربرگ Warning / Hints نوار ابزار اطلاعات خروجی

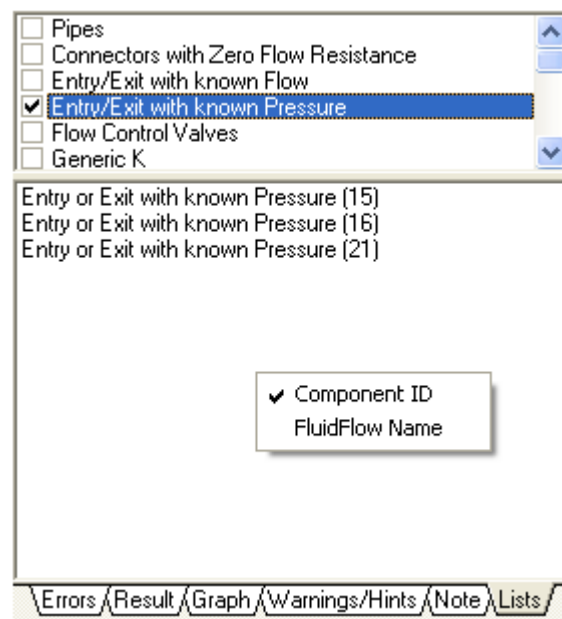


شکل ۲۳.۲: سربرگ Note نوار ابزار اطلاعات خروجی

### ۳.۴. سربرگ Lists

در این سربرگ لیستی از تمامی اجزای شبکه وجود دارد و دارای دو پنجره است. پنجره بالایی نوع اجزای شبکه را معین می‌کند و در پنجره پایینی تمامی اجزای شبکه که نوع آن در بالا معین شده لیست می‌گردد. این صفحه در شکل ۲۳.۲ نشان داده شده است. حال با کلیک روی نام جزء در پنجره پایینی، آن جزء شبکه انتخاب شده و تغییر رنگ می‌دهد. با پایین نگه داشتن

ctrl یا shift و کلیک ماوس می‌توان چند جزء را با هم انتخاب کرد. این صفحه در شکل ۲۲.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۲۴.۲: سربرگ Lists نوار ابزار اطلاعات خروجی

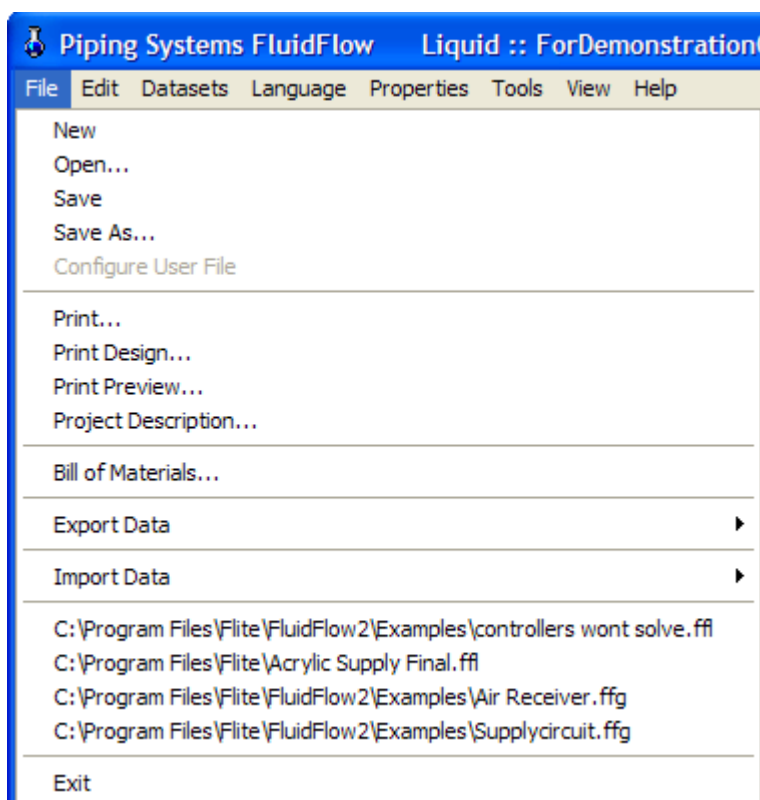
## ۶.۱.۲ معرفی منوهای نرم‌افزار

منوهای مختلف این نرم‌افزار عبارتند از:

### ۳۵. معرفی منوی File

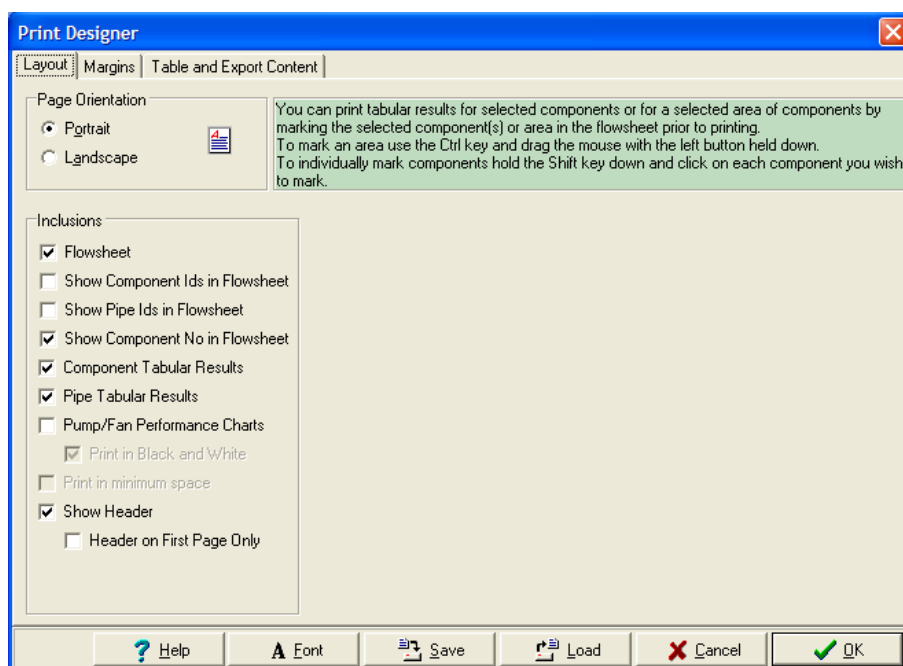
از طریق این منو امکان باز کردن و ذخیره کردن و چاپ پروژه‌های شبیه‌سازی وجود دارد که در شکل ۲۵.۲ نشان داده شده‌است و دارای قسمت‌های زیر است:

- از طریق گزینه New امکان ایجاد پروژه شبیه‌سازی جدید وجود دارد.
- از طریق گزینه Open امکان باز کردن پروژه شبیه‌سازی در نرم‌افزار وجود دارد.
- از طریق گزینه‌های Save و Save As امکان ذخیره سازی پروژه های شبیه‌سازی وجود دارد.
- از طریق گزینه Print امکان فرستادن اطلاعات به چاپگر وجود دارد.



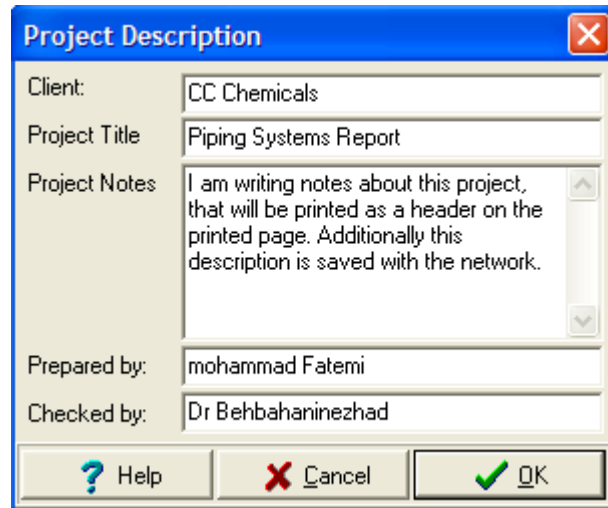
شکل ۲۵.۲: گزینه های منوی File

- با انتخاب گزینه Print Design پنجره Print Designer باز می‌گردد که در شکل ۲۶.۲ نشان داده شده‌است و امکان تنظیم خواص سند برای چاپ را می‌دهد.



شکل ۲۶.۲: پنجره Print Designer که با انتخاب گزینه Print Design باز می‌شود

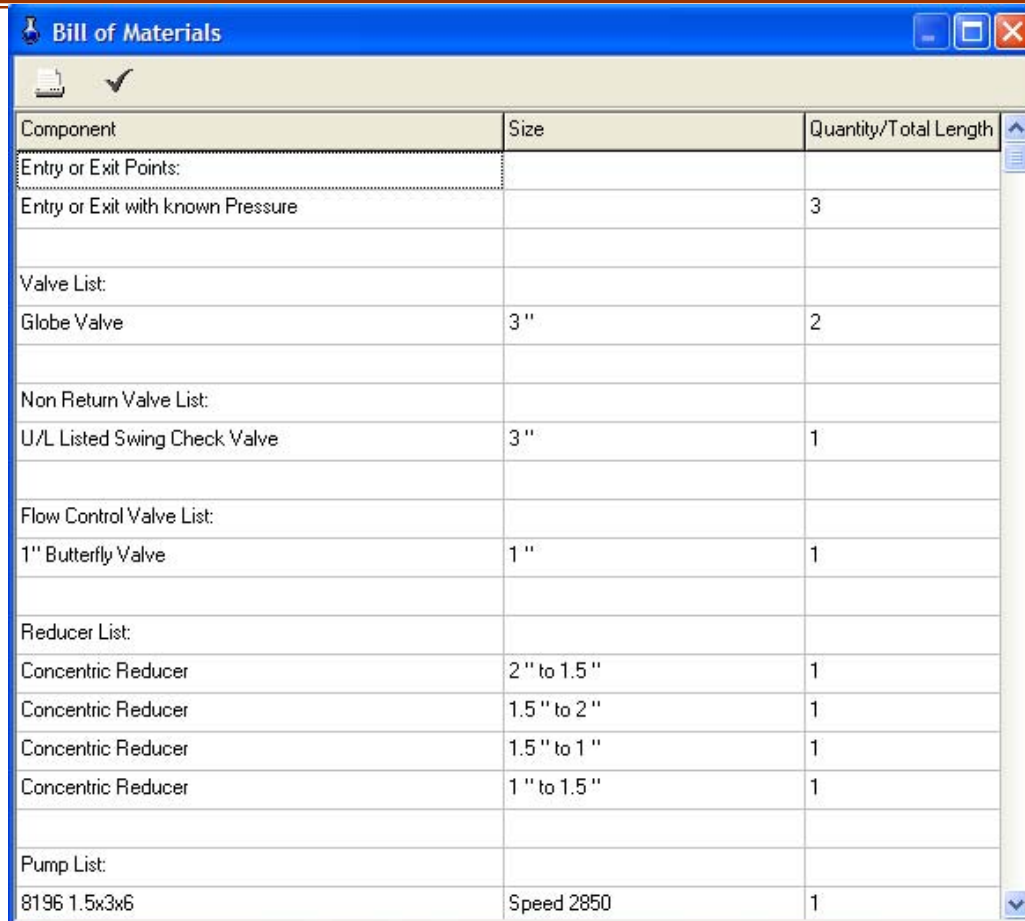
- با انتخاب گزینه Print Preview امکان مشاهده پروژه شبیه‌سازی قبل از چاپ وجود دارد.
- با انتخاب گزینه Project Description پنجره Project Description باز می‌شود که در شکل ۲۷.۲ نشان داده شده‌است و می‌توان سرنویس صفحات چاپی را تنظیم کرد.



شکل ۲۷.۲: پنجره Project Description که با انتخاب گزینه Project Description باز می‌شود

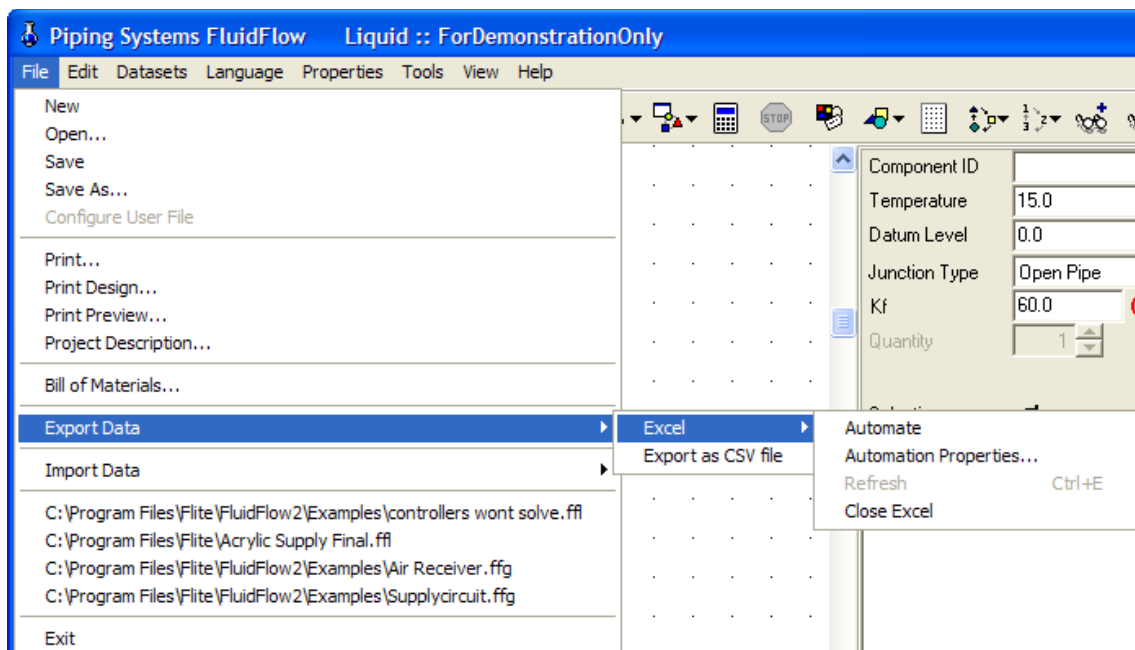
- با انتخاب گزینه Print a Bill of Materials پنجره ای که در شکل ۲۸.۲ نشان داده شده‌است باز می‌شود و یک جدول حاوی نوع و اندازه و تعداد تمامی اجزای شبکه و لوله‌ها را برای چاپ آماده می‌کند.
- با انتخاب گزینه Export Data گزینه‌هایی که در شکل ۲۹.۲ نشان داده شده‌است، مشاهده می‌شود که عبارتند از:
- گزینه Excel که با انتخاب این گزینه، گزینه‌های دیگری باز می‌شود که از طریق آنها امکان انتقال دو طرفه اطلاعات به Excel وجود دارد.
- گزینه Export As CSV file که از طریق آن امکان خروج اطلاعات به صورت فایل CSV\*. که از طریق Excel قابل دسترسی است، وجود دارد.





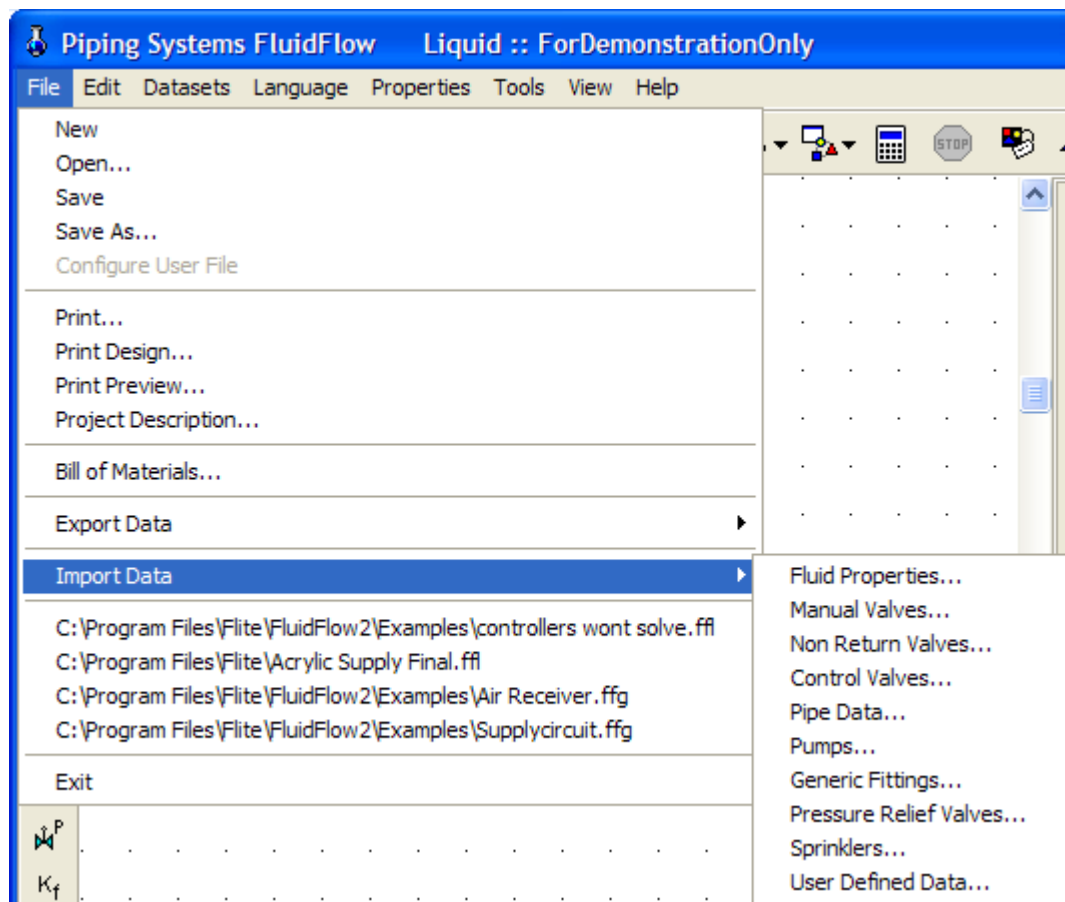
Component	Size	Quantity/Total Length
Entry or Exit Points:		
Entry or Exit with known Pressure		3
Valve List:		
Globe Valve	3"	2
Non Return Valve List:		
U/L Listed Swing Check Valve	3"	1
Flow Control Valve List:		
1" Butterfly Valve	1"	1
Reducer List:		
Concentric Reducer	2" to 1.5"	1
Concentric Reducer	1.5" to 2"	1
Concentric Reducer	1.5" to 1"	1
Concentric Reducer	1" to 1.5"	1
Pump List:		
8196 1.5x3x6	Speed 2850	1

شکل ۲۸.۲: پنجره Bill of Materials که با انتخاب گزینه Print a Bill of Materials باز می‌شود.



شکل ۲۹.۲: گزینه‌هایی که با انتخاب گزینه Export Data نشان داده می‌شود.

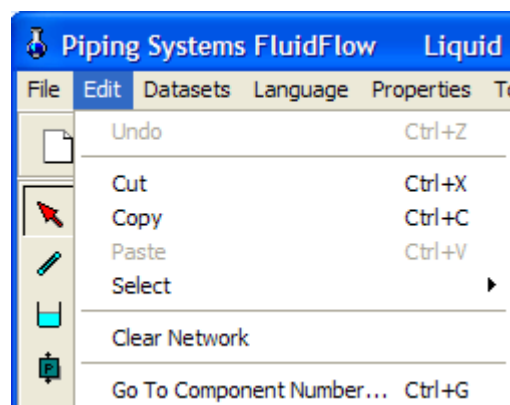
- با انتخاب گزینه Import Data گزینه‌هایی که در شکل ۳۰.۲ نشان داده شده‌است، مشاهده می‌شود که امکان وارد کردن اطلاعات به نرم‌افزار را می‌دهد.



شکل ۳۰.۲: گزینه‌هایی که با انتخاب گزینه Import Data نشان داده می‌شود.

### ۳۶. معرفی منوی Edit

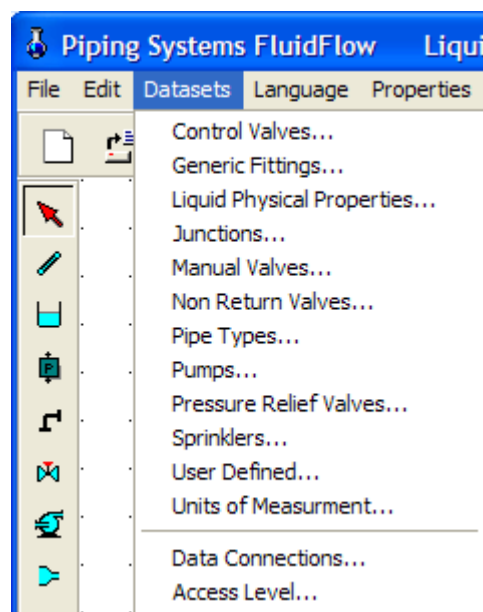
از طریق این منو امکان ویرایش پروژه‌های شبیه‌سازی وجود دارد که در شکل ۳۱.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۳۱.۲: گزینه‌های منوی Edit

## ۳۷. معرفی منوی Datasets

از طریق این منو امکان دسترسی به بانک اطلاعات نرم‌افزار وجود دارد که شامل اطلاعات مربوط به اجزاء و خواص فیزیکی سیال و واحدهای اندازه‌گیری است. این اطلاعات به صورت باینری و فشرده به منظور امنیت و سرعت دسترسی بالاتر ذخیره شده‌اند. از طریق آن امکان ارتباط با بانک‌های اطلاعاتی موجود در شبکه ایجاد می‌شود و یا اطلاعات بدست آمده از کارخانه‌های سازنده را می‌توان مستقیماً وارد نمود. هم‌چنین امکان محدود کردن دسترسی افراد در شبکه به اطلاعات را فراهم می‌کند. گزینه‌های این منو در شکل ۳۲.۲ نشان داده شده‌است. نمونه‌ای از پنجره بانک اطلاعات اجزاء در شکل ۳۳.۲ نشان داده شده‌است.



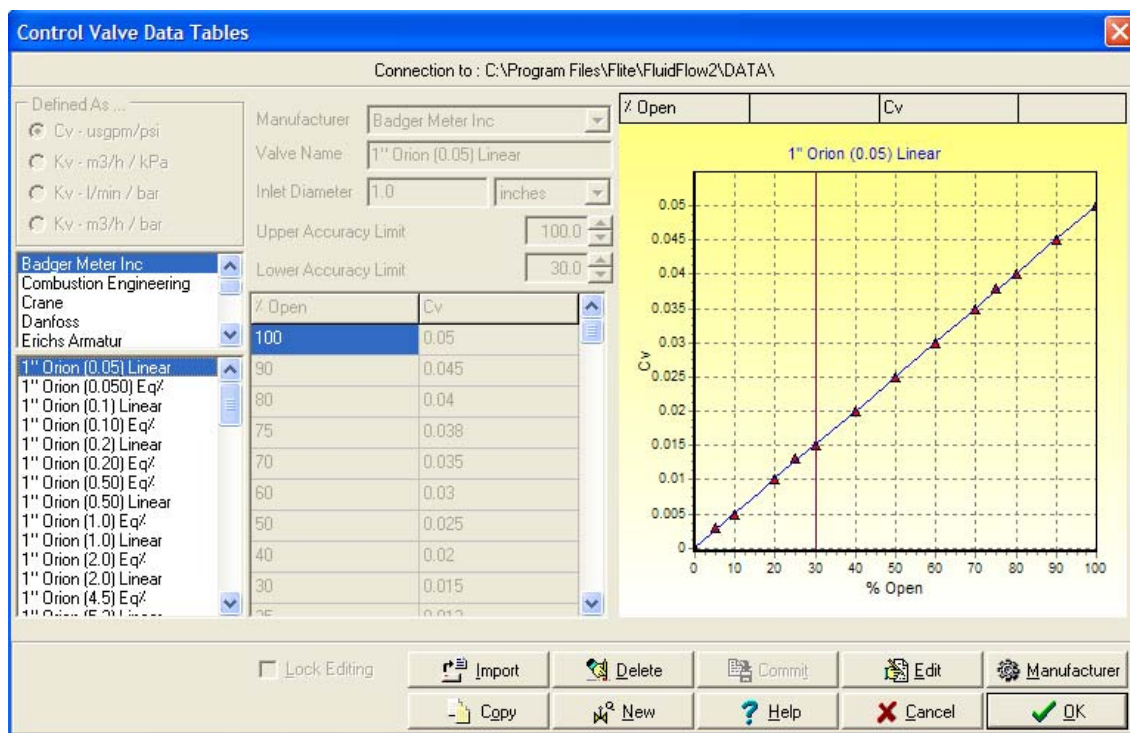
شکل ۳۲.۲: گزینه‌های منوی Datasets

## ۳۸. معرفی منوی Language

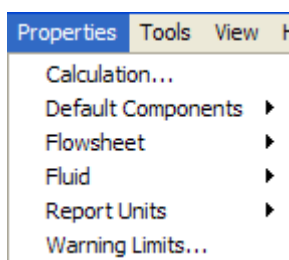
از طریق این منو امکان تغییر زبان نرم‌افزار وجود دارد.

## ۳۹. معرفی منوی Properties

از طریق این منو امکان تنظیم پارامترهای مختلف پروژه‌های شبیه‌سازی وجود دارد که در شکل ۳۴.۲ نشان داده شده‌است و دارای قسمت‌های زیر است:

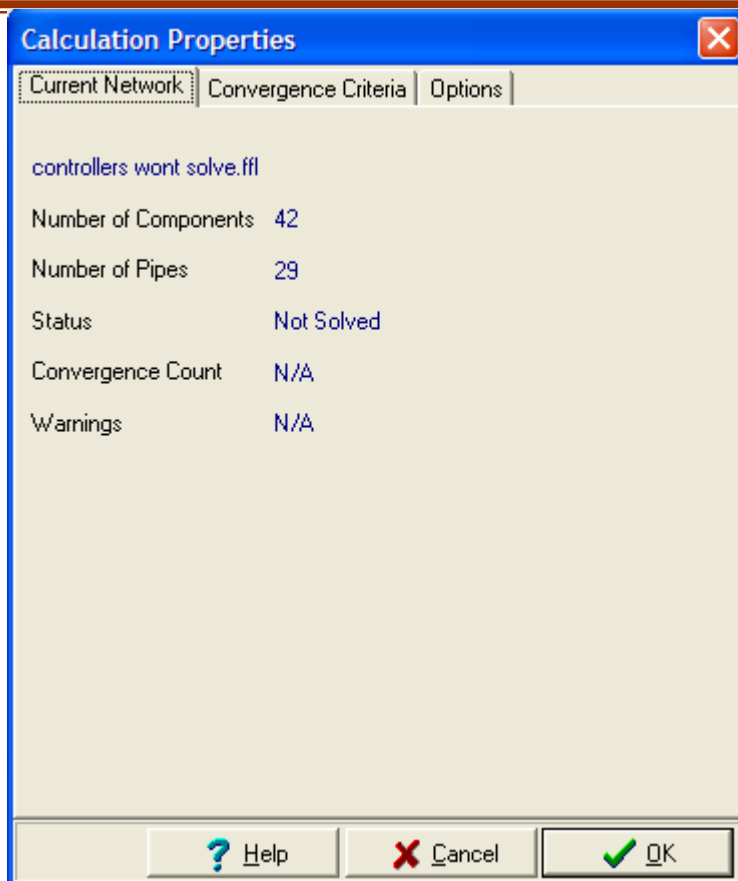


شکل ۳۳.۲: نمونه ای از پنجره بانک اطلاعات اجزاء

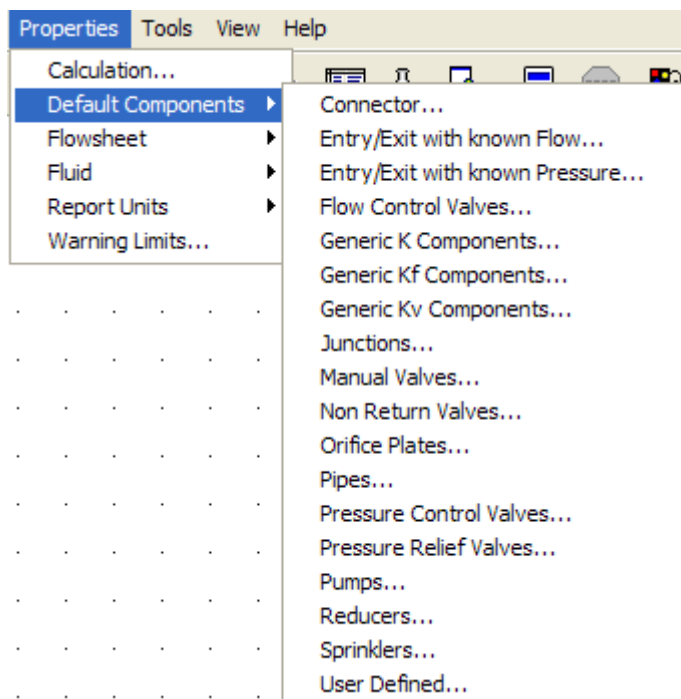


شکل ۳۴.۲: گزینه های منوی Properties

- با انتخاب گزینه Calculation پنجره‌ای که در شکل ۳۵.۲ نشان داده شده است باز می‌شود و از طریق آن امکان تنظیم پارامترهای محاسباتی و کاربردی وجود دارد.
- با انتخاب گزینه Default Components گزینه‌هایی که در شکل ۳۶.۲ نشان داده شده است باز می‌شود و از طریق آنها امکان تنظیم مقادیر پیش فرض اطلاعات اجزای شبیه‌سازی نرم‌افزار وجود دارد.

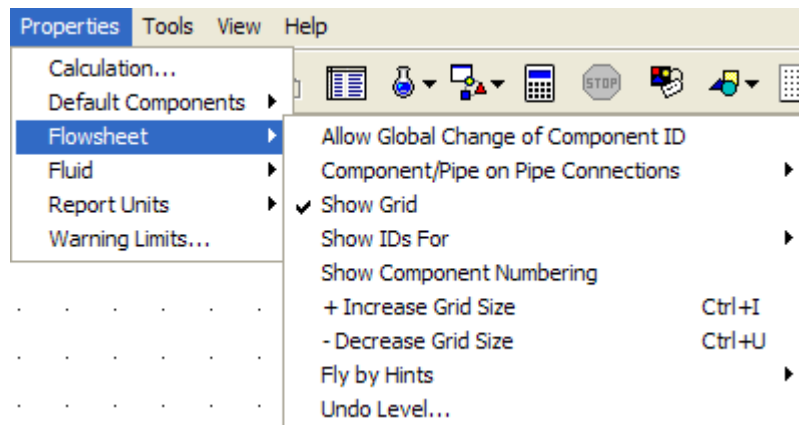


شکل ۳۵.۲: پنجره‌ای که با انتخاب گزینه Calculation باز می‌شود



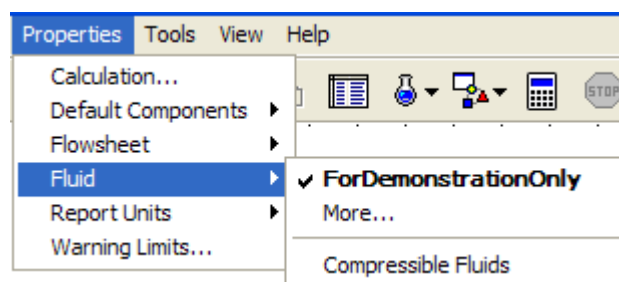
شکل ۳۶.۲: گزینه‌های Default Components

- با انتخاب گزینه Flowsheet گزینه‌هایی که در شکل ۳۷.۲ نشان داده شده‌است باز می‌شود و از طریق آنها امکان تنظیم پارامترهای گرافیکی اجزای شبیه‌سازی نرم‌افزار در صفحه اصلی نرم‌افزار وجود دارد.



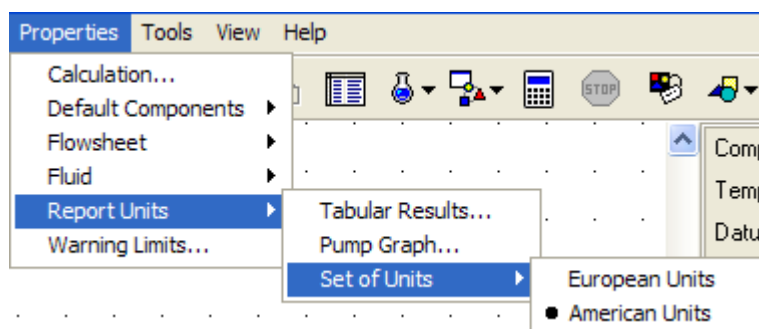
شکل ۳۷.۲: گزینه‌های Flowsheet

- با انتخاب گزینه Fluid گزینه‌هایی که در شکل ۳۸.۲ نشان داده شده‌است باز می‌شود و از طریق آنها امکان انتخاب سیال مورد استفاده در پروژه شبیه‌سازی وجود دارد.



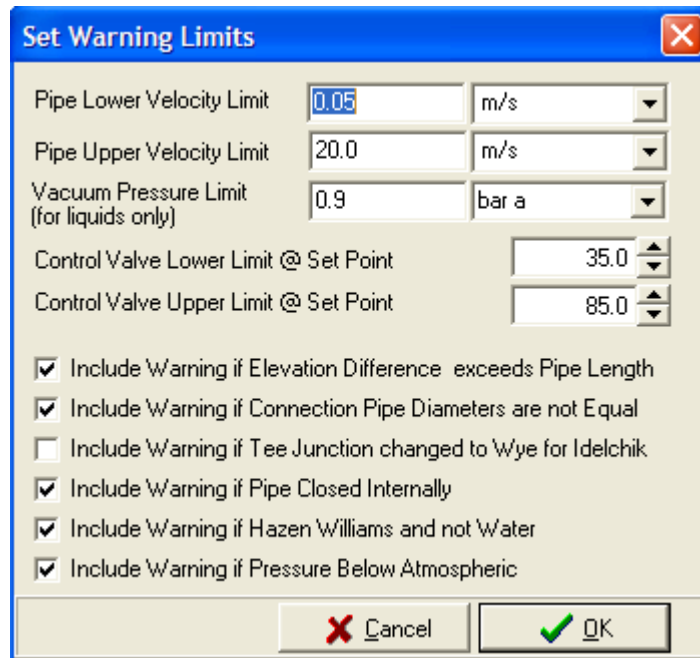
شکل ۳۸.۲: گزینه‌های Fluid

- با انتخاب گزینه Report Units گزینه‌هایی که در شکل ۳۹.۲ نشان داده شده‌است باز می‌شود و از طریق آنها امکان معین کردن دستگاه‌های واحدها و تنظیم ظاهر نمودارهای پمپ و فن در پروژه شبیه‌سازی وجود دارد.



شکل ۳۹.۲: گزینه‌های Report Units

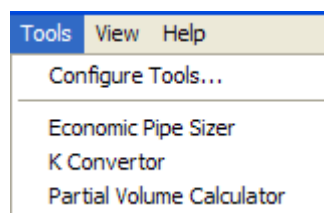
- با انتخاب گزینه Warning Limits پنجره‌ای که در شکل ۴۰.۲ نشان داده شده است باز می‌شود و از طریق آن امکان تنظیم پارامترها و چگونگی اعلام اختطار توسط نرم‌افزار در سربرگ Warning/Hints ایجاد می‌شود.



شکل ۴۰.۲: پنجره‌ای که با کلیک گزینه Warning Limits باز می‌شود.

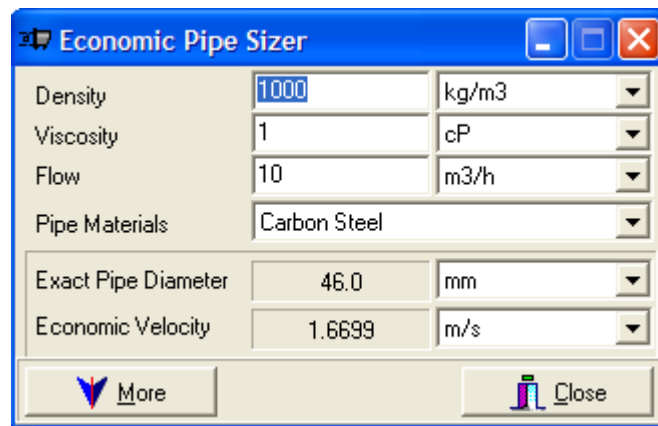
#### ۴۰. معرفی منوی Tools

- از طریق این منو امکان استفاده از نرم‌افزارهای جانبی نرم‌افزار Piping Systems وجود دارد که در شکل ۴۱.۲ نشان داده شده است و دارای قسمت‌های زیر است:



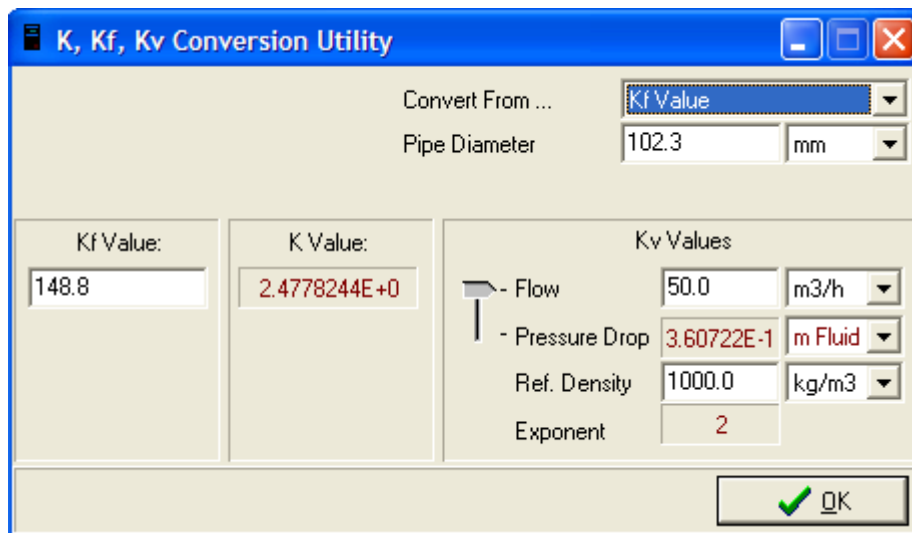
شکل ۴۱.۲: گزینه‌های منوی Tools

- با انتخاب گزینه Economic Pipe Sizer پنجره‌ای که در شکل ۴۲.۲ نشان داده شده است، باز می‌شود که از طریق آن امکان طراحی بهینه خط لوله موجود از نظر اقتصادی وجود دارد.



شکل ۴۲.۲: پنجره Economic Pipe Sizer

- با انتخاب گزینه K Converter پنجره‌ای که در شکل ۴۳.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و از طریق آن امکان تبدیل مقاومت های  $K$ ،  $K_f$  و  $K_v$  به هم وجود دارد.



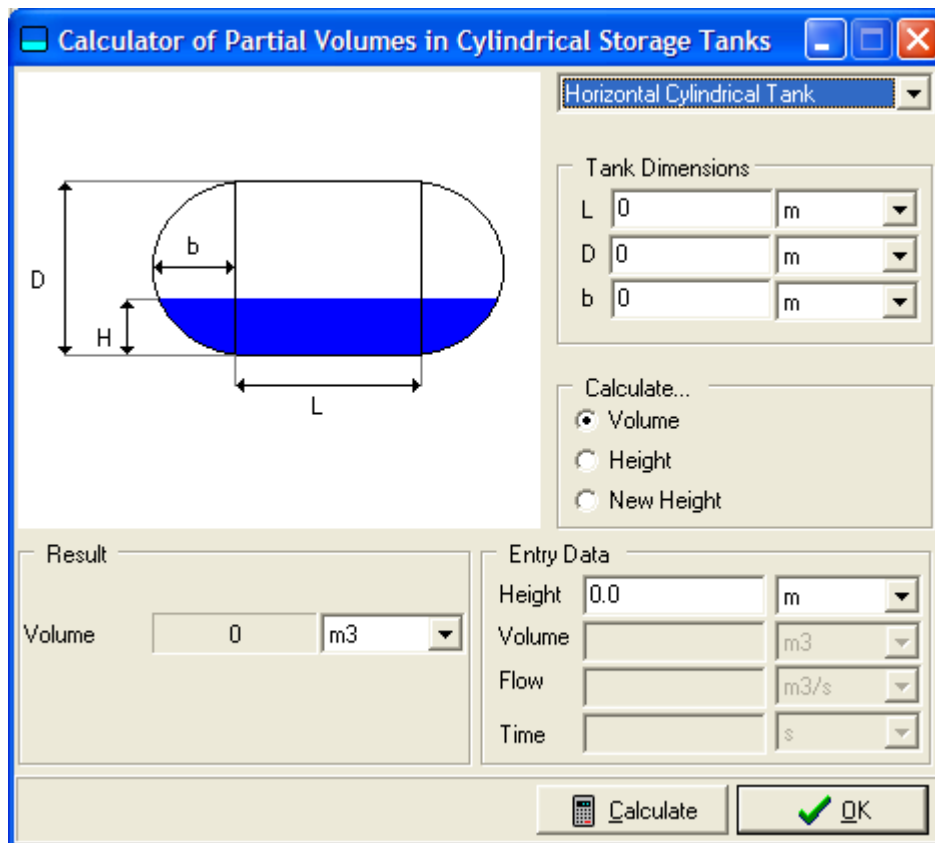
شکل ۴۳.۲: پنجره K Converter

- با انتخاب گزینه Partial Volume Calculator پنجره‌ای که در شکل ۴۴.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و از طریق آن امکان محاسبات اندازه مخازن وجود دارد.

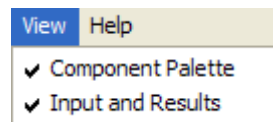
۴۱. معرفی منوی View

- از طریق این منو امکان تنظیم مشاهده‌شدن و یا نشدن نوار ابزارهای نرم‌افزار وجود دارد که در شکل ۴۵.۲ نشان داده شده‌است.





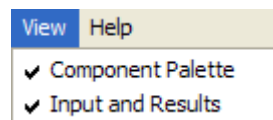
شکل ۴.۲: پنجره Partial Volume Calculator



شکل ۴.۵: گزینه‌های منوی View

## ۴.۲. معرفی منوی Help

از طریق این منو امکان دسترسی به راهنمای نرم‌افزار وجود دارد که در شکل ۴.۶ نشان داده شده‌است.



شکل ۴.۶: گزینه‌های منوی Help

## ۷.۱.۲ شبیه‌سازی با نرم‌افزار

به طور کلی برای طراحی شبکه با این نرم‌افزار مراحل زیر باید انجام شود:

۴۳. انتخاب نوع سیال در شبکه

۴۴. قرار دادن اجزای شبکه در صفحه اصلی نرم‌افزار

۴۵. وارد کردن اطلاعات ورودی هر جزء شبکه

۴۶. بررسی نتایج حل شبکه با نرم‌افزار

## ۲.۲ معرفی نرم‌افزار Pipe Phase

این نرم‌افزار یک برنامه شبیه‌سازی است که به منظور پیش‌بینی فشار، دما، ماندگی سیال مایع در چاه‌ها، خطوط لوله، سیستم‌های جمع‌آوری، و دیگر سیستم‌های خطی و شبکه‌ای شامل پمپ‌ها، چاه‌ها، لوله‌ها، کمپرسورها، جداسازها و تجهیزات دیگر در حالت پایا به کار می‌رود [۳۱]. این نرم‌افزار توسط SIMSCI (Simulation Sciences Inc.) طراحی شده‌است که از سال ۱۹۶۶ پیش‌تاز عرصه شبیه‌سازی بوده است.

این نرم‌افزار دارای توانایی بهینه‌سازی نیرومندی است که به نام NETOPT معروف است و به شما امکان می‌دهد تا عملکرد شبکه را به وسیله تعریف شرایط عملیاتی خاص در ضمن رعایت شدن محدودیت‌های شبکه، بهبود بخشید. به عنوان مثال می‌توان از حداکثر کردن میزان نفت تولیدی از سیستم جمع‌آوری چاه‌ها تحت شرایط تزریق گاز به مخزن و حداقل کردن هزینه سرمایه‌گذاری برای خط لوله جدید و مسائلی از این قبیل نام برد.

نرم‌افزار PIPEPHASE دارای نرم‌افزار جانبی به نام TACITE است که به شما امکان مدل‌کردن جریان سیال ناپایا و مدل سیال ترکیبی را در محیط نرم‌افزار Pipe Phase می‌دهد و همچنین قابلیت اتصال شبکه خطوط لوله را به نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مخزن Eclipse دارد و همچنین قابلیت برنامه‌نویسی هم وجود دارد که به API<sup>۳</sup> معروف است. زبان‌های برنامه‌نویسی مورد استفاده عبارتند از:

• C++

• Visual Basic

• FORTRAN 77

<sup>3</sup> Application Programmers Interface

## ۱.۲.۲ انواع شبیه‌سازی در نرم‌افزار Pipe Phase

این نرم‌افزار در هر دو زمینه طراحی اولیه<sup>۴</sup> و بررسی عملکرد واحد موجود<sup>۵</sup> می‌تواند استفاده شود:

۴۷. بررسی عملکرد واحد موجود

در این حالت شبیه‌سازی اطلاعات لوله، اتصالات و تجهیزات به نرم‌افزار وارد می‌شود و نرم‌افزار توزیع دما و فشار را محاسبه می‌کند.

۴۸. طراحی اولیه

در این حالت نرم‌افزار به محاسبه اندازه خطوط لوله و تجهیزات هم می‌پردازد.

در هر یک از حالات شبیه‌سازی، این نرم‌افزار ابزارهای نیرومندی در اختیار کاربر قرار می‌دهد که عبارتند از:

۴۹. Case Studies که برای بررسی اثر متغیرهای شبیه‌سازی بر روی پروژه شبیه‌سازی به کار می‌رود.

۵۰. Nodal Analyses که برای بررسی عملکرد کلی چاه‌ها و خطوط لوله و دیگر سیستم‌های تک اتصالی به عنوان تابعی از متغیرهای ورودی و دبی به کار می‌رود.

۵۱. Gaslift که برای بررسی تاثیر حمل مایع توسط گاز در چاه‌ها بر روی دبی خروجی از چاه‌ها به کار می‌رود.

۵۲. Sphering و یا pigging که به منظور بررسی توپکرانی به منظور خارج کردن مایعات انباشته‌شده در خطوط لوله و افزایش دبی خط به کار می‌رود.

۵۳. Optimization که برای بهینه‌سازی مسائل شبکه با رعایت شدن برخی محدودیت‌ها به کار می‌رود.

## ۲.۲.۲ حل شبکه در نرم‌افزار Pipe Phase

این نرم‌افزار دارای ترکیب پیچیده‌ای از الگوریتم‌های متفاوت برای محاسبه افت فشار و انتقال حرارت در شبکه خطوط لوله می‌باشد. دو الگوریتم مورد استفاده در این نرم‌افزار عبارتند از:

۵۴. الگوریتم PBAL که برای اکثر شبکه‌های خطوط لوله به کار می‌رود.

<sup>4</sup> Design  
<sup>5</sup> Rating

۵۵. الگوریتم MBAL که برای خطوط لوله تک فازی جواب سریعتری می‌دهد.

این نرم‌افزار برای حل شبکه به حدس‌های اولیه فشار در هر گره شبکه و دبی جریان در هر خط لوله، نیاز دارد که با تکرار محاسبات به جواب نهایی خواهد رسید.

### ۳.۲.۲ انواع سیال موجود در نرم‌افزار

سیال‌های متفاوتی در این نرم‌افزار قابل دسترسی است که عبارتند از:

#### ۵۶. سیال‌های ترکیبی<sup>۶</sup>

این سیالات مخلوطی از مواد شیمیایی با ترکیب درصدی مشخص هستند. نرم‌افزار به طور خودکار به محاسبات تعیین حالت این مخلوط از نظر دوفازی بودن می‌پردازد مگر این که سیال تک فاز تعریف شده باشد.

#### ۵۷. سیال‌های غیر ترکیبی شامل نفت سیاه، میعانات گازی، گاز، مایع و بخار

سیالات مایع و گاز، هر کدام سیالات تک فازی هستند. بخار، سیال تک جزئی دو فازی است. نفت سیاه و میعانات گازی سیالات چند جزئی دو فازی هستند.

#### ۵۸. نفت سیاه ترکیبی

در این حالت امکان ترکیب نفت سیاه با مدل سیالات ترکیبی وجود دارد. انواع سیال نشان دهنده این است که چگونه برنامه به محاسبه خواص فیزیکی سیالات برای محاسبات افت فشار و انتقال حرارت می‌پردازد. برای محاسبات بخار از جداول بخار GPSA استفاده می‌شود.

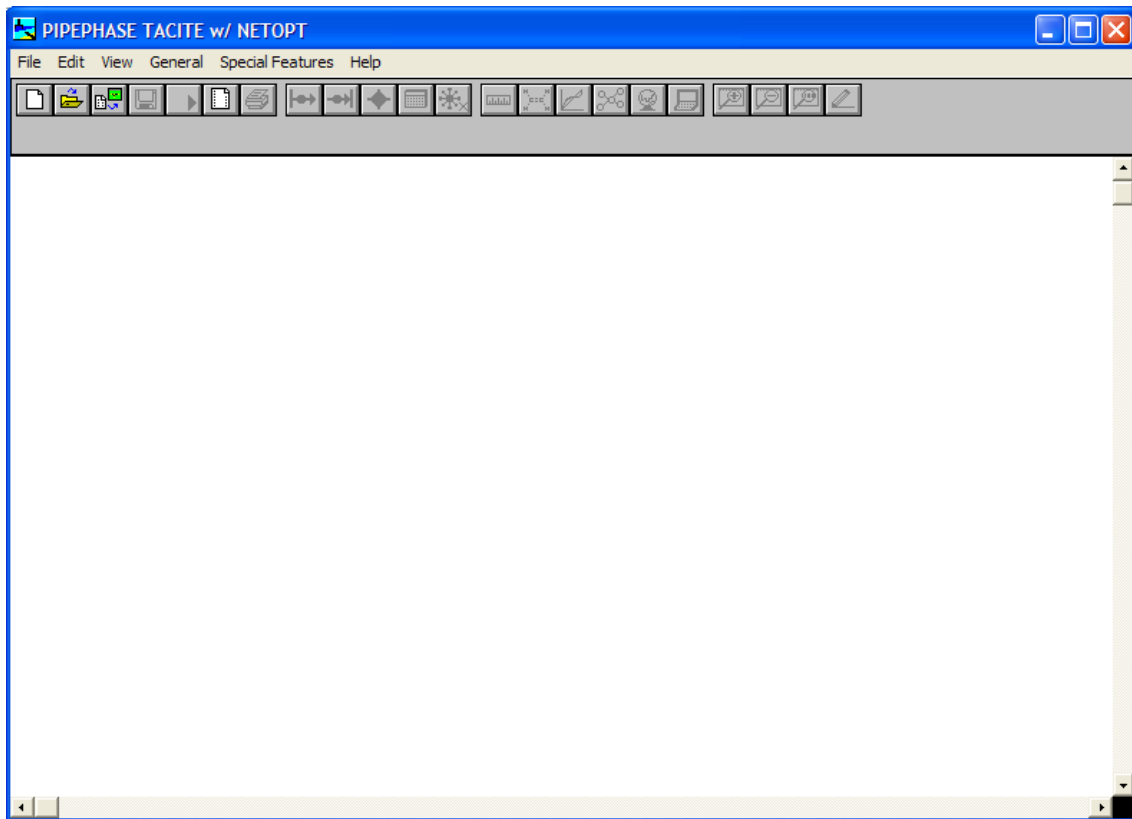
### ۴.۲.۲ آغاز به کار با نرم‌افزار Pipe Phase

برای اجرای نرم‌افزار کافی است از مسیر زیر اقدام کنید:

Start/All Programs/SIMSCI/ PIPEPHASE /PIPEPHASE 8. 1

با کلیک روی این گزینه پنجره اصلی نرم‌افزار همانطور که در شکل ۴۷.۲ نشان داده شده است مشاهده می‌گردد.

<sup>6</sup> Compositional



شکل ۴۷.۲: پنجره اصلی نرم‌افزار PIPEPHASE

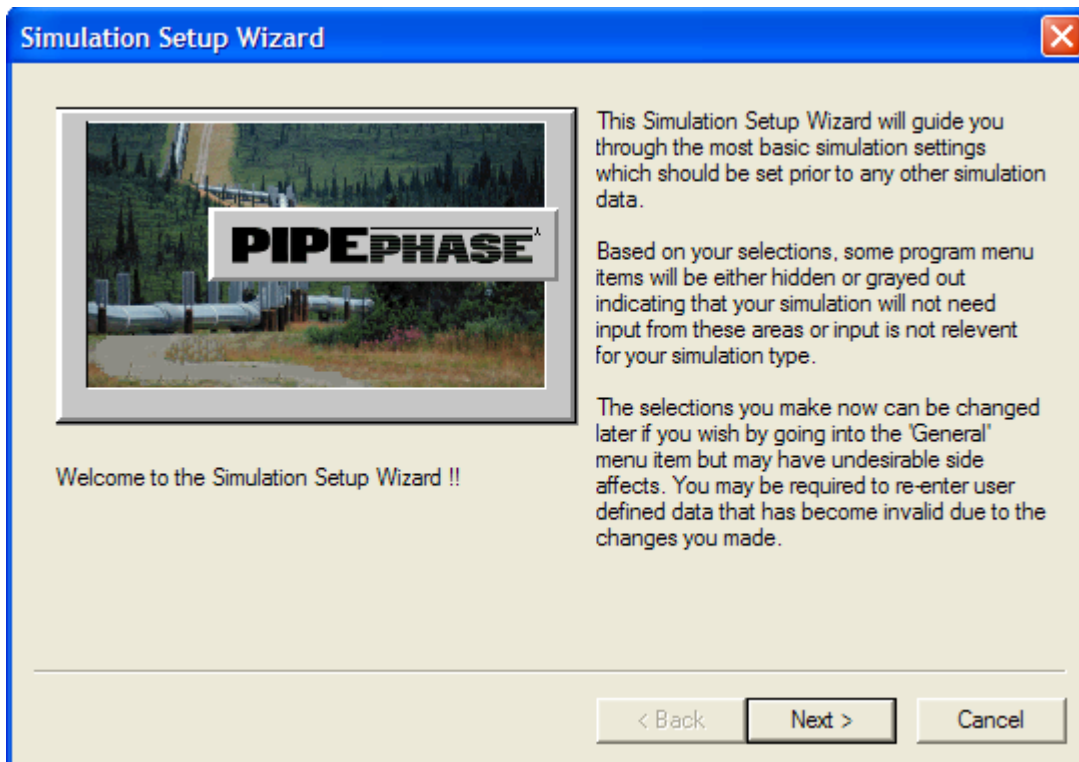
برای ایجاد یک پروژه جدید و فعال شدن نرم‌افزار کافی است از منوی File گزینه New را انتخاب کنید. حال پنجره‌ای باز می‌شود و در آن محل ذخیره شده پروژه را مشخص می‌کنید. سپس پنجره Simulation Setup Wizard باز می‌شود که در ایجاد پروژه شبیه‌سازی کمک می‌کند. مراحل این Wizard عبارتند از:

۵۹. پنجره اولیه که بعد از انتخاب محل ذخیره سازی پروژه مشاهده می‌شود و در شکل ۴۸.۲ نشان داده شده‌است.

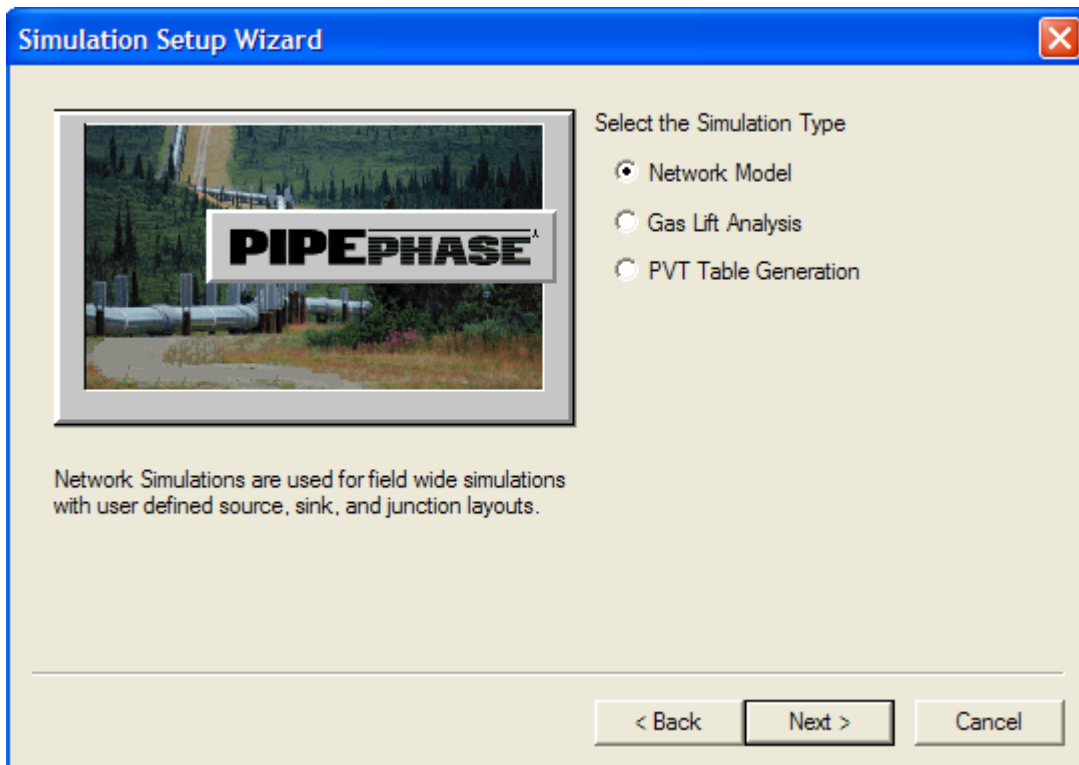
۶۰. پنجره انتخاب نوع پروژه شبیه‌سازی که با کلیک دکمه Next مشاهده می‌شود که در شکل ۴۹.۲ نشان داده شده‌است و دارای سه گزینه زیر است:

- گزینه Network Model که برای شبیه‌سازی شبکه خطوط لوله به کار می‌رود.
- گزینه Gas Lift Analysis که برای بررسی اثر حمل مایع توسط گاز در چاه‌ها به کار می‌رود و سیال مورد استفاده تنها نفت سیاه می‌تواند باشد.
- گزینه PVT Table Generation که برای تهیه جدول فشار-حجم-دما برای اجراهای بعدی نرم‌افزار به کار می‌رود. باین روش هنگام انجام محاسبات پروژه توسط نرم‌افزار، به جای

محاسبات Flash که وقت‌گیر است از این جداول استفاده می‌شود و سرعت شبیه‌سازی افزایش می‌یابد.

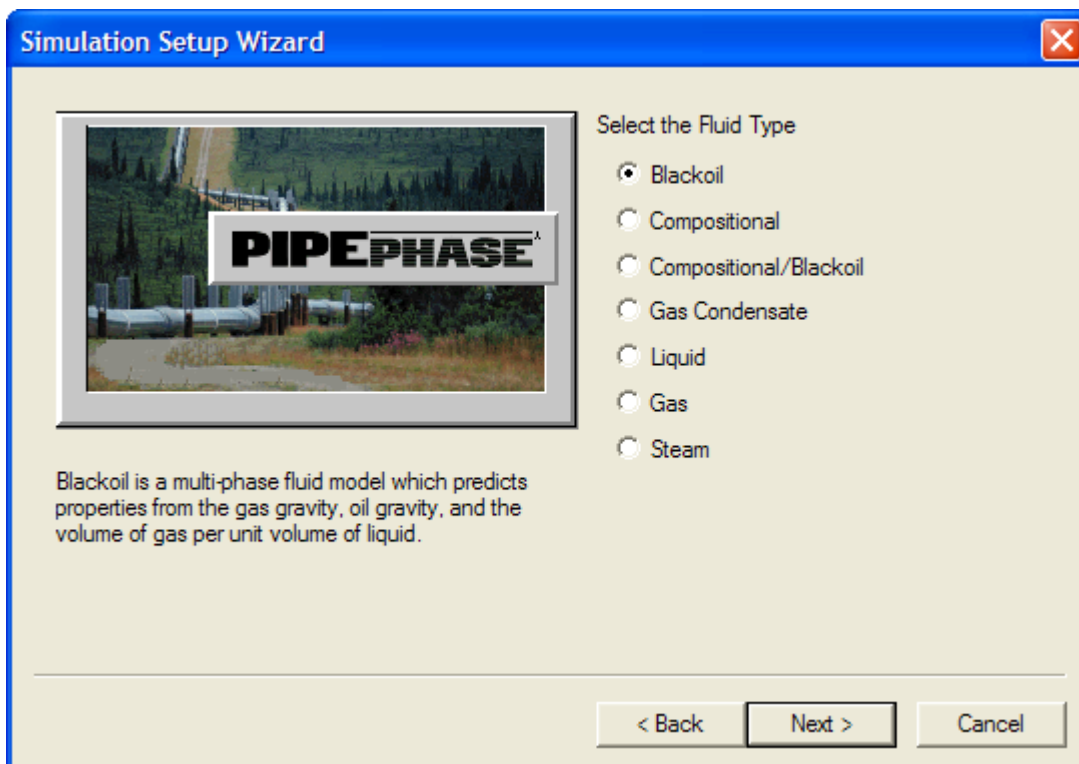


شکل ۴۸.۲: پنجره اولیه راهنمای ایجاد پروژه



شکل ۴۹.۲: پنجره انتخاب نوع پروژه شبیه‌سازی

۶۱. پنجره انتخاب نوع سیال مورد استفاده در پروژه شبیه‌سازی که با کلیک دکمه Next مشاهده می‌شود و در شکل ۵۰.۲ نشان داده شده‌است و گزینه‌های آن در بخش ۳.۳ معرفی خواهد شد.



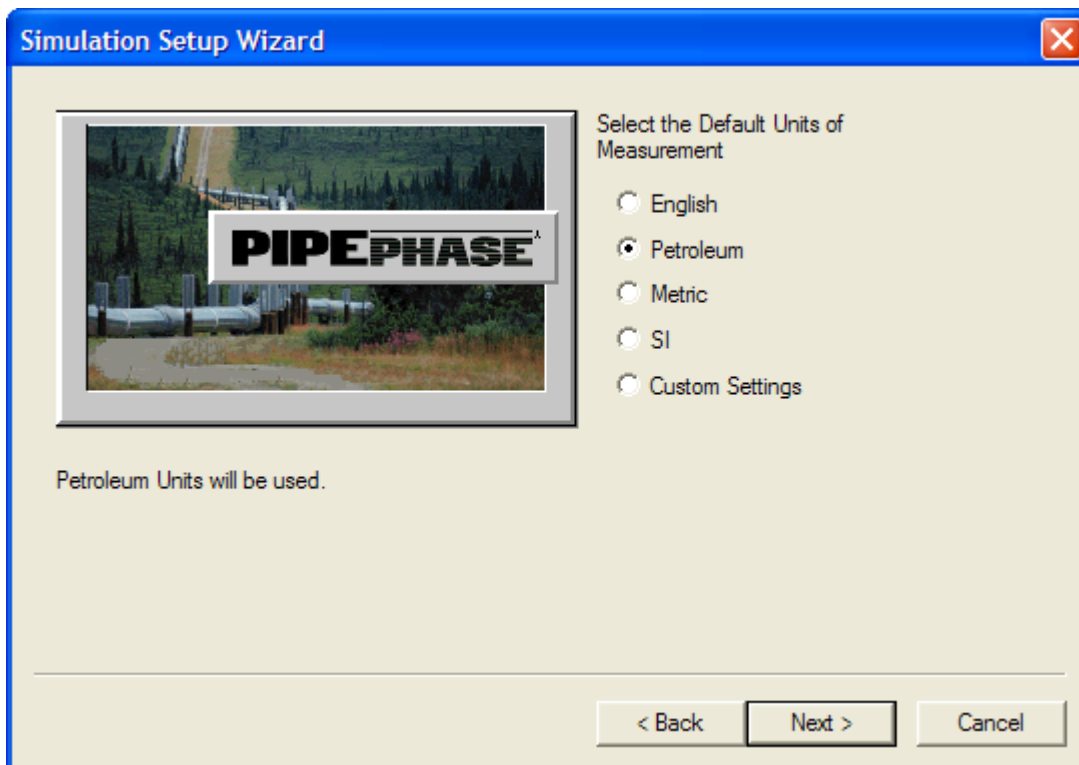
شکل ۵۰.۲: پنجره انتخاب نوع سیال پروژه شبیه‌سازی

۶۲. پنجره انتخاب دستگاه آحاد پروژه شبیه‌سازی که با کلیک دکمه Next مشاهده می‌شود و در شکل ۵۱.۲ نشان داده شده‌است.

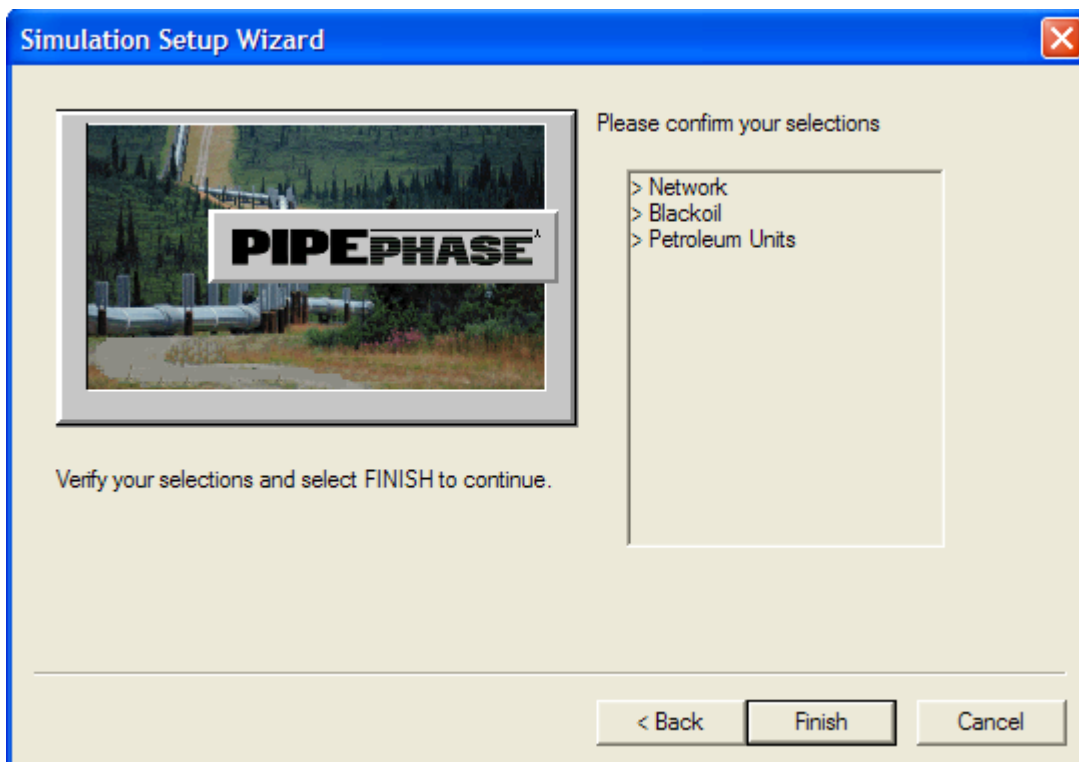
۶۳. پنجره تایید انتخاب گزینه‌های مراحل قبلی که با کلیک دکمه Next مشاهده می‌شود و در شکل ۵۲.۲ نشان داده شده‌است.

۶۴. با کلیک دکمه Finish در پنجره قبلی بسته به نوع انتخابات در طی راهنما پنجره‌های متفاوتی باز می‌شود که کاربرد آنها در قسمت‌های بعدی توضیح داده خواهد شد.

۶۵. پس از انجام مراحل بالا، محیط شبیه‌سازی نرم‌افزار مشاهده خواهد شد.



شکل ۵۱.۲: پنجره انتخاب دستگاه آحاد پروژه شبیه‌سازی



شکل ۵۲.۲: پنجره تایید انتخاب گزینه های پروژه شبیه‌سازی

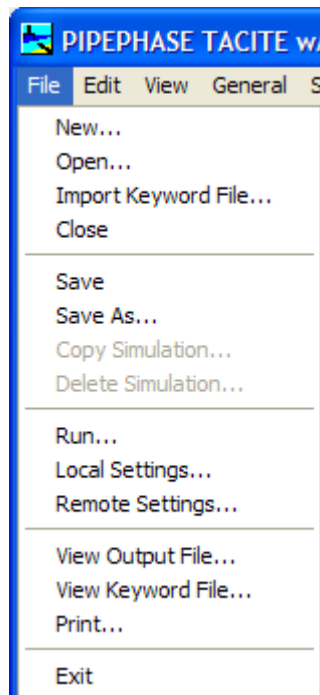


## ۵.۲.۲ معرفی منوهای نرم‌افزار PIPEPHASE

منوهای مختلف این نرم‌افزار عبارتند از:

### ۶۶. معرفی منوی File

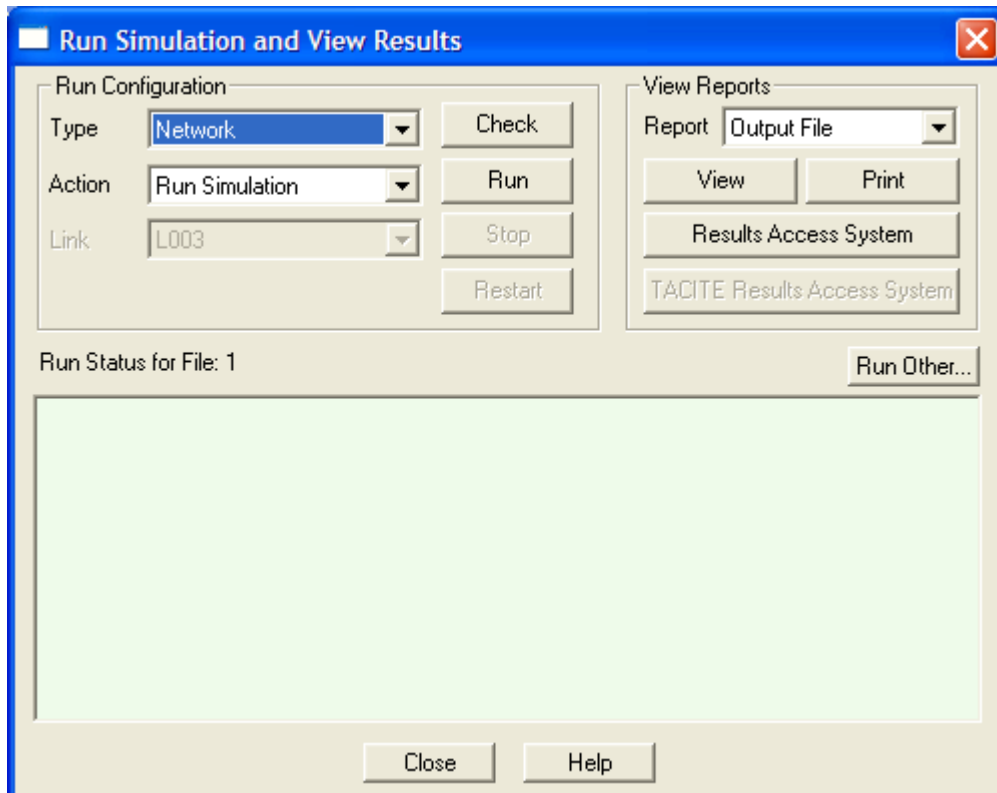
از طریق این منو امکان باز کردن و ذخیره کردن و چاپ پروژه‌های شبیه‌سازی وجود دارد که در شکل ۵۳.۲ نشان داده شده‌است و دارای قسمت‌های زیر است:



شکل ۵۳.۲: گزینه‌های منوی File

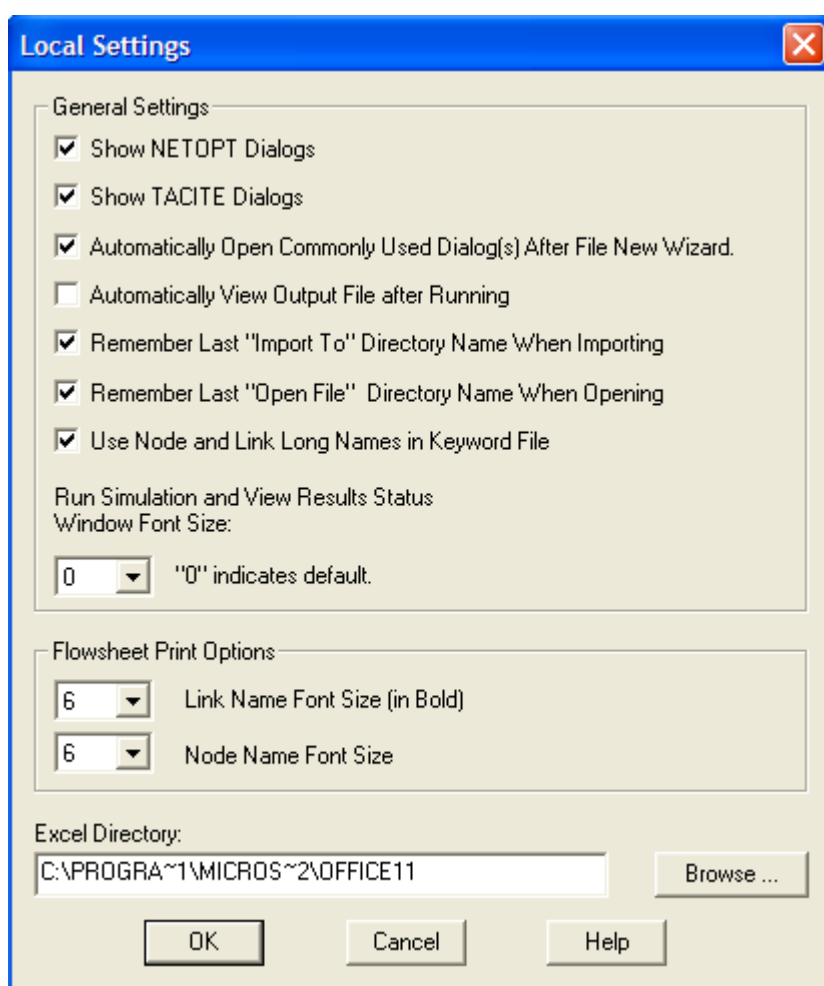
- از طریق گزینه New امکان ایجاد پروژه شبیه‌سازی جدید وجود دارد.
- از طریق گزینه Open امکان باز کردن پروژه شبیه‌سازی در نرم‌افزار وجود دارد.
- گزینه Import Keyword File که به منظور باز کردن PVT Data که از قبل برای پروژه تهیه شده‌است، به کار می‌رود.
- گزینه Close که برای بستن نرم‌افزار بکار می‌رود.
- از طریق گزینه‌های Save و Save As امکان ذخیره سازی پروژه‌های شبیه‌سازی وجود دارد.
- گزینه Copy Simulation که برای کپی کردن پروژه با نامی جدید بکار می‌رود.
- گزینه Delete Simulation به منظور حذف پروژه بکار می‌رود.

- گزینه Run برای اجراکردن و انجام محاسبات توسط نرم‌افزار و مشاهده نتایج حاصل از محاسبات، به کار می‌رود. با کلیک این دکمه پنجره‌ای که در شکل ۵۴.۲ نشان داده شده‌است باز می‌شود.

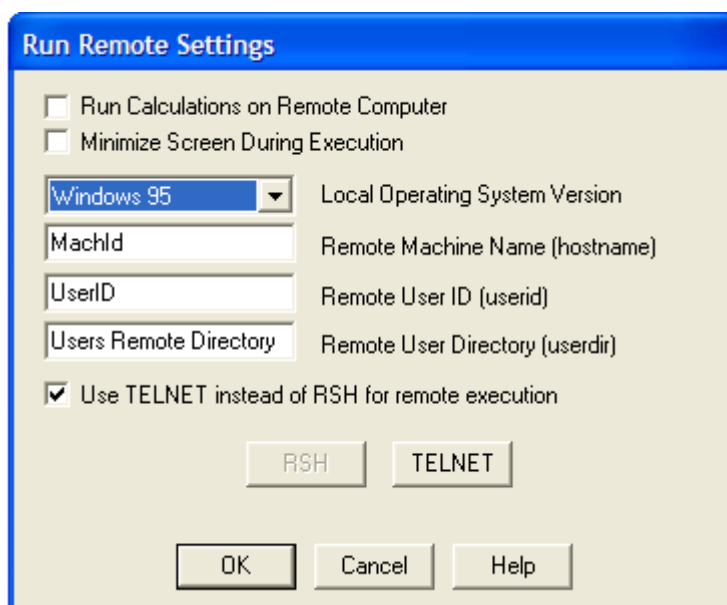


شکل ۵۴.۲: پنجره‌ای که با انتخاب گزینه Run از منوی فایل به کار می‌رود

- با انتخاب گزینه Local Setting پنجره‌ای که در شکل ۵۵.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و برای انجام برخی تنظیمات نرم‌افزار همانطور که در شکل مشاهده می‌شود به کار می‌رود.
- با انتخاب گزینه Remote Setting پنجره‌ای که در شکل ۵۶.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و می‌توان از آن برای اجرای برنامه از طریق UNIX Machine استفاده کرد.
- از طریق گزینه های View Keyword File و View Output File می‌توان فایل های ذخیره شده بر روی حافظه جانبی را در نرم‌افزار باز کرد.
- از طریق گزینه Print امکان فرستادن اطلاعات به چاپگر وجود دارد.



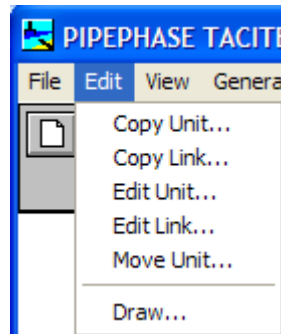
شکل ۵۵.۲: پنجره‌ای که با انتخاب گزینه Local Setting از منوی فایل باز می‌شود.



شکل ۵۶.۲: پنجره‌ای که با انتخاب گزینه Remote Setting از منوی فایل باز می‌شود.

## ۶۷. معرفی منوی Edit

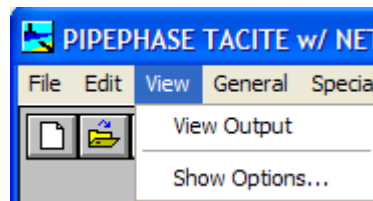
از طریق این منو امکان ویرایش پروژه‌های شبیه‌سازی وجود دارد که در شکل ۵۷.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۵۷.۲: گزینه‌های منوی Edit

## ۶۸. معرفی منوی View

از طریق این منو امکان تنظیمات نحوه مشاهده قسمت‌های مختلف نرم‌افزار وجود دارد. گزینه‌های این منو در شکل ۳۲.۲ نشان داده شده‌است.

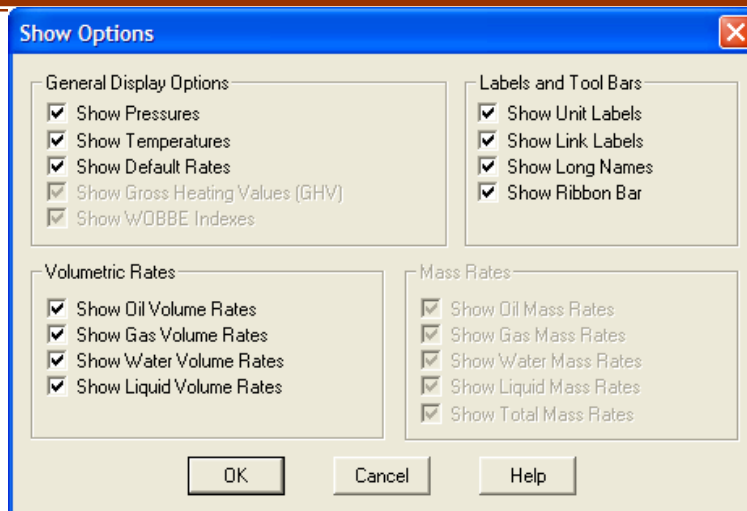


شکل ۵۸.۲: گزینه‌های منوی View

- با انتخاب گزینه View Output نتیجه انجام محاسبات در کنار شکل اجزای پروژه در نمودار جریانی مشاهده می‌شود.
- با انتخاب گزینه Show Option پنجره‌ای که در شکل ۵۹.۲ نشان داده شده‌است باز می‌شود و امکان تنظیمات نحوه مشاهده قسمت‌های مختلف نرم‌افزار وجود دارد.

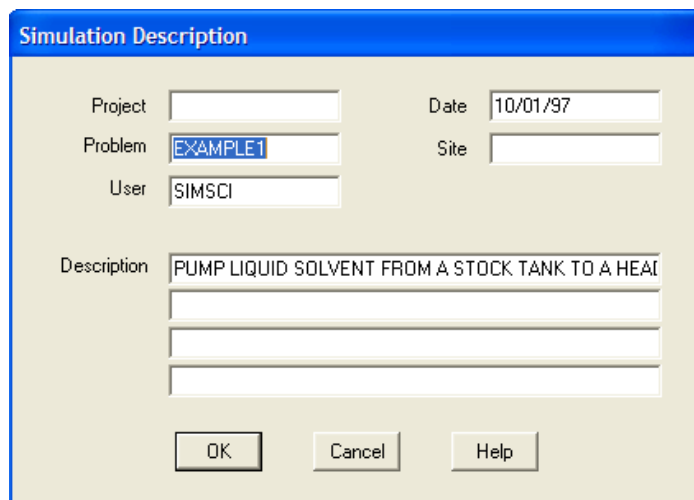
## ۶۹. معرفی منوی General

این منو دارای گزینه‌های زیر است:



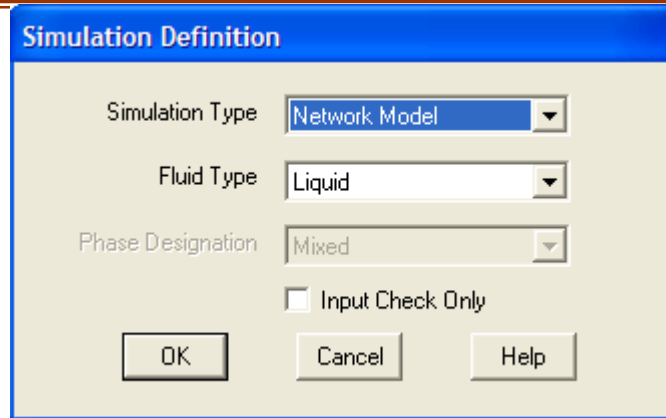
شکل ۵۹.۲: پنجره‌ای که با انتخاب گزینه Show Option از منوی view باز می‌شود

- گزینه Simulation Description که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۶۰.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و در آن امکان وارد کردن اطلاعات مربوط به نام ایجاد کننده پروژه و تاریخ ایجاد پروژه و موضوع پروژه و غیره برای آگاهی دیگر استفاده کنندگان از این پروژه وجود دارد.



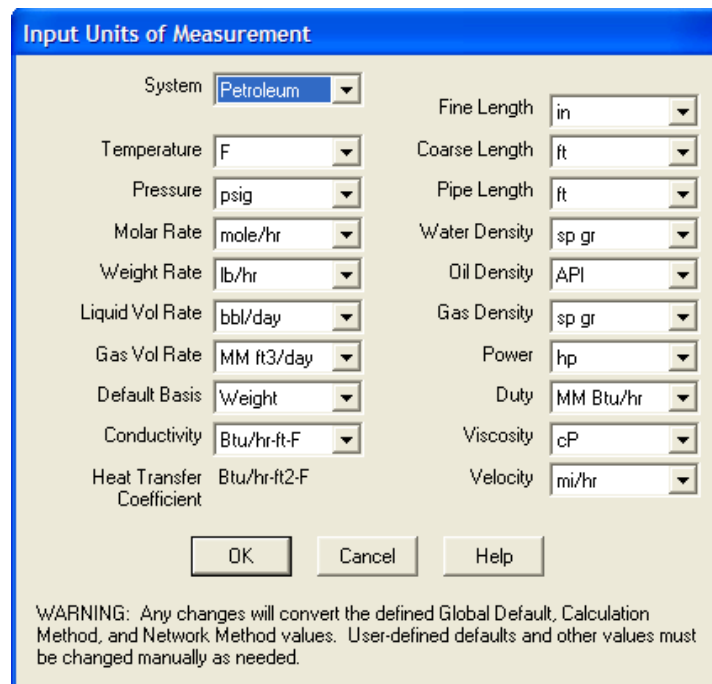
شکل ۶۰.۲: گزینه Simulation Description از گزینه‌های منوی General

- گزینه Simulation Definition که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۶۱.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و امکان تنظیم نوع پروژه شبیه‌سازی و نوع سیال مورد استفاده در شبکه وجود دارد.



شکل ۶۱.۲: گزینه Simulation Definition از گزینه های منوی General

- گزینه Input Units of Measurement که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۶۲.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و امکان انتخاب دستگاه ابعادی مورد استفاده در وارد کردن اطلاعات به نرم‌افزار وجود دارد.

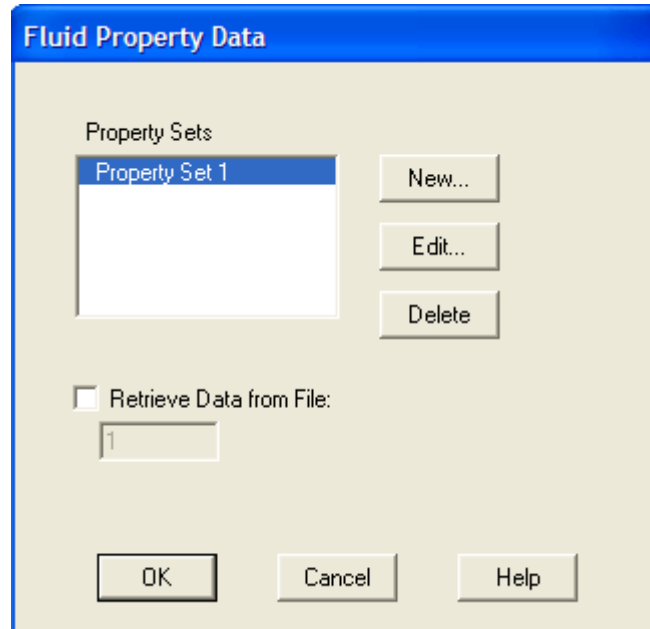


شکل ۶۲.۲: گزینه Input Units of Measurement از گزینه های منوی General

- گزینه PVT Data که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۶۳.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و امکان انتخاب معادلات حالت مورد استفاده در نرم‌افزار برای محاسبه خواص ترمودینامیکی سیالات، وجود دارد. بدین منظور کافی است بعد از کلیک بر روی دکمه New

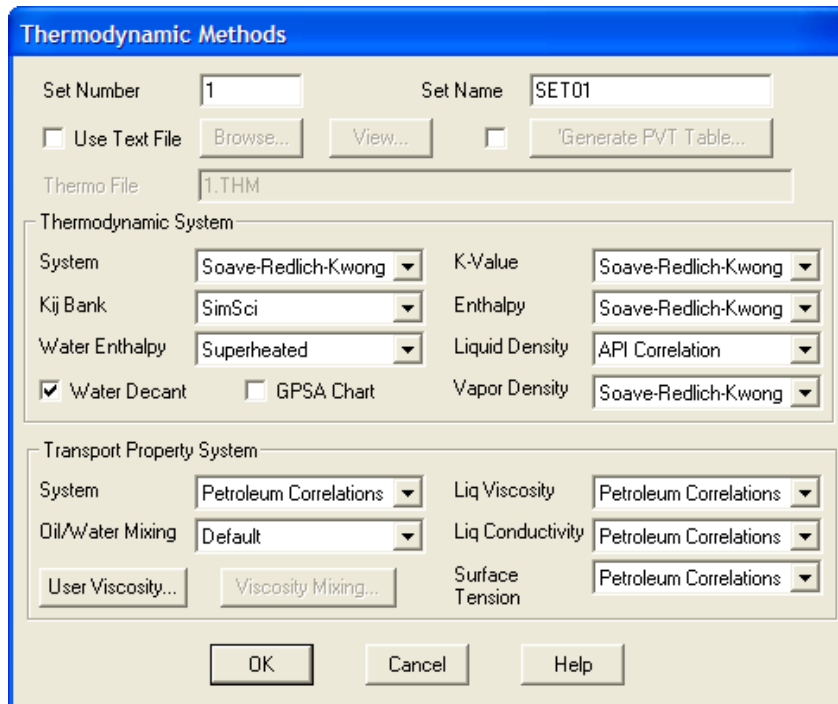
و ایجاد Property Set 1 بر روی Property Set 1 دو بار کلیک کرد تا پنجره‌ای که در شکل ۶۴.۲ نشان داده شده‌است باز شود.

- گزینه Component Library که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۶۵.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و امکان انتخاب مواد موجود در پروژه شبیه‌سازی وجود دارد.

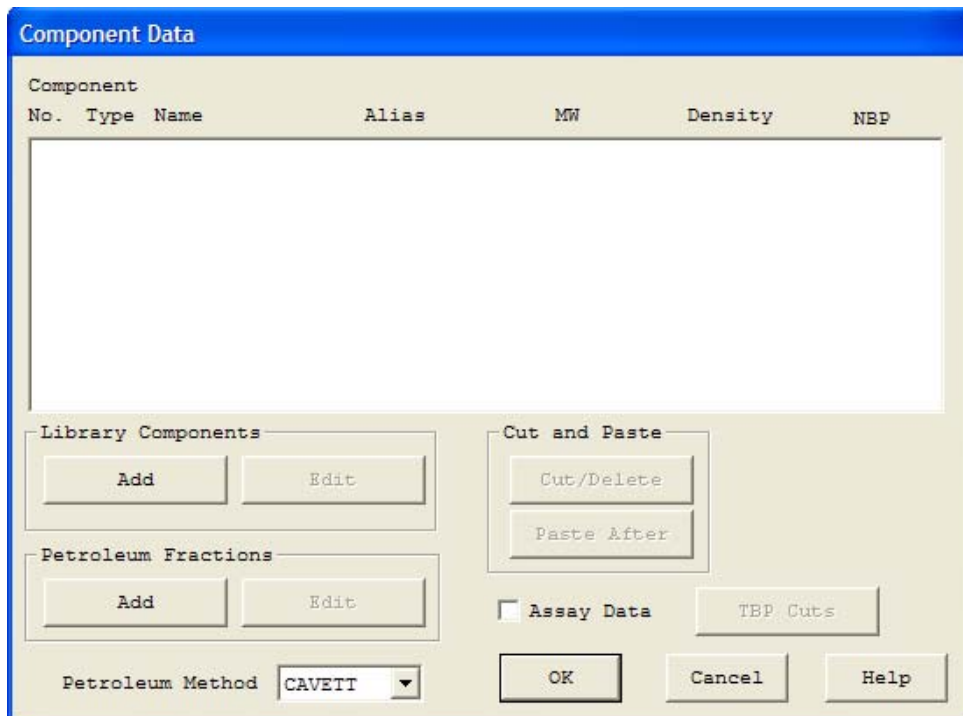


شکل ۶۳.۲: گزینه PVT Data از گزینه‌های منوی General

- گزینه Print Options که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۶۶.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و امکان تنظیم نوع سندها برای چاپ وجود دارد.
- گزینه Output Units of Measurement که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۶۷.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و امکان تنظیم دستگاه ابعادی مورد استفاده در سند چاپی پروژه وجود دارد.

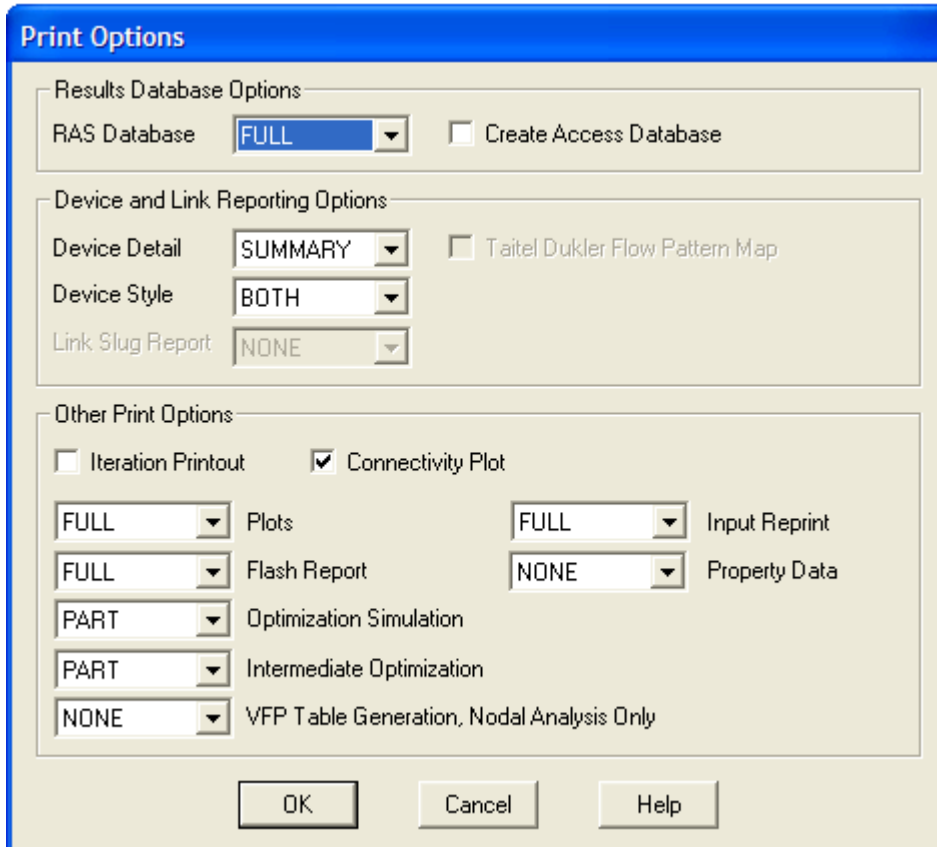


شکل ۶۴.۲: پنجره ای که بعد از کلیک بر روی Property Set 1 باز می‌شود.

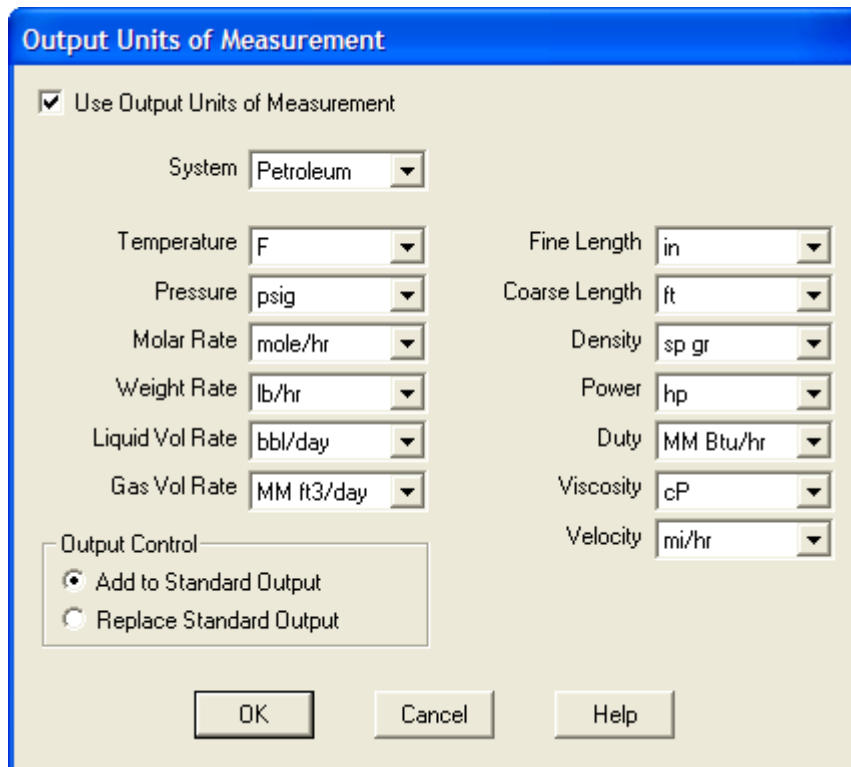


شکل ۶۵.۲: گزینه Component Library از گزینه های منوی General



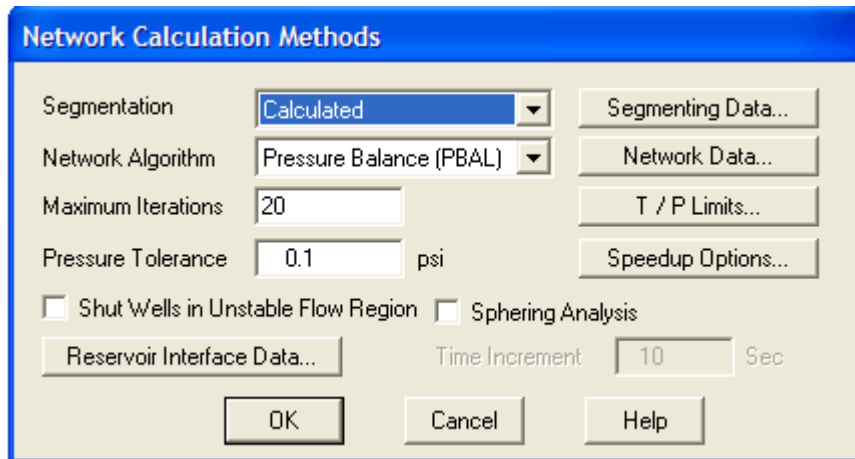


شکل ۶۶.۲: گزینه Print Options از گزینه های منوی General



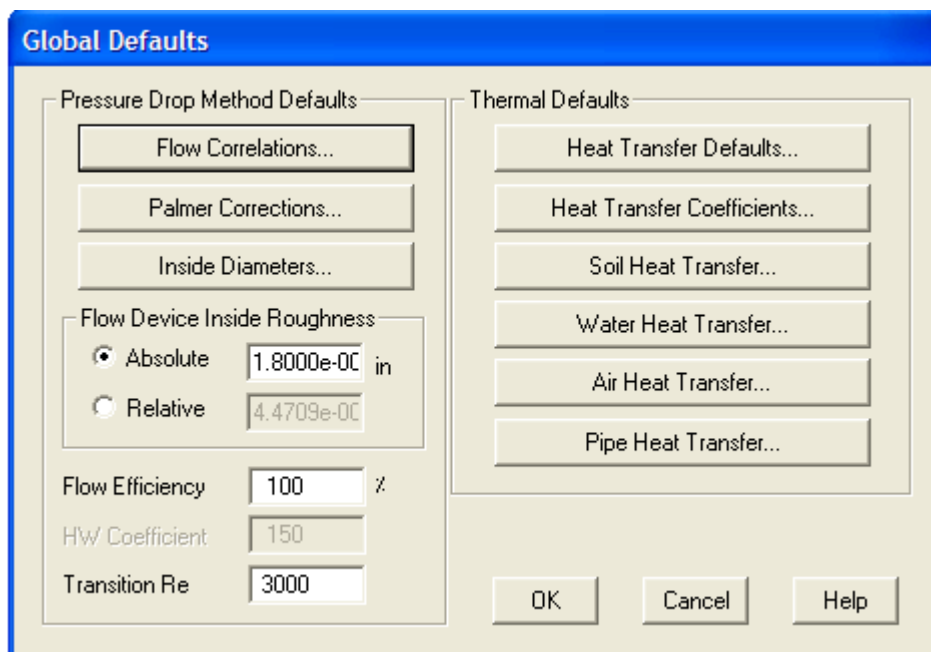
شکل ۶۷.۲: گزینه Output Units of Measurement از گزینه های منوی General

- گزینه Calculation Methods که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۶۸.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و امکان روش‌های انجام محاسبات در پروژه شبیه‌سازی وجود دارد.



شکل ۶۸.۲: گزینه Calculation Methods از گزینه‌های منوی General

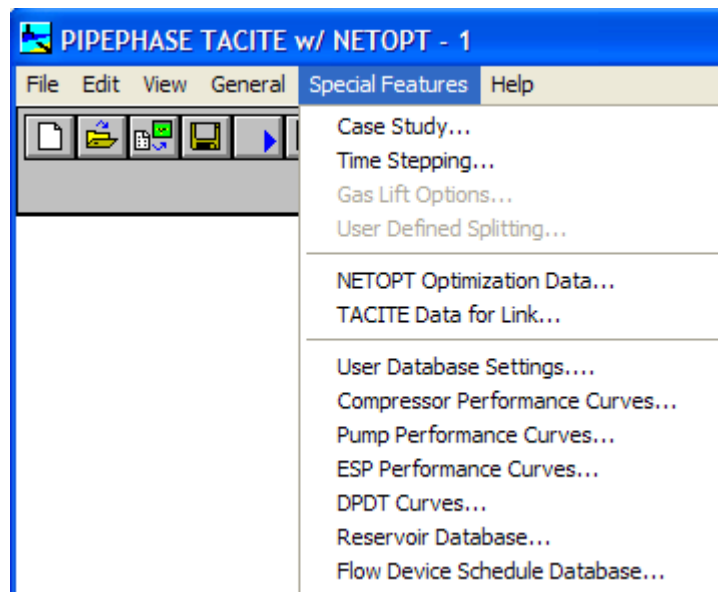
- گزینه Global Default که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۶۹.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و امکان تنظیم مقادیر پیش فرض خواص ترمودینامیکی و روش‌های پیش فرض محاسبات در پروژه شبیه‌سازی وجود دارد.



شکل ۶۹.۲: گزینه Global Default از گزینه‌های منوی General

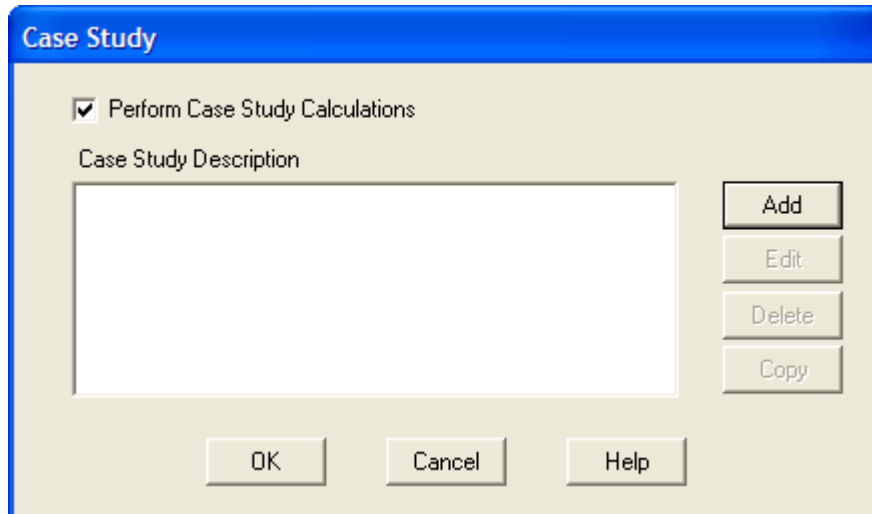
#### ۷.۰. معرفی منو Special Features

این منو در شکل ۷۰.۲ نشان داده شده‌است و دارای گزینه‌های زیر است:



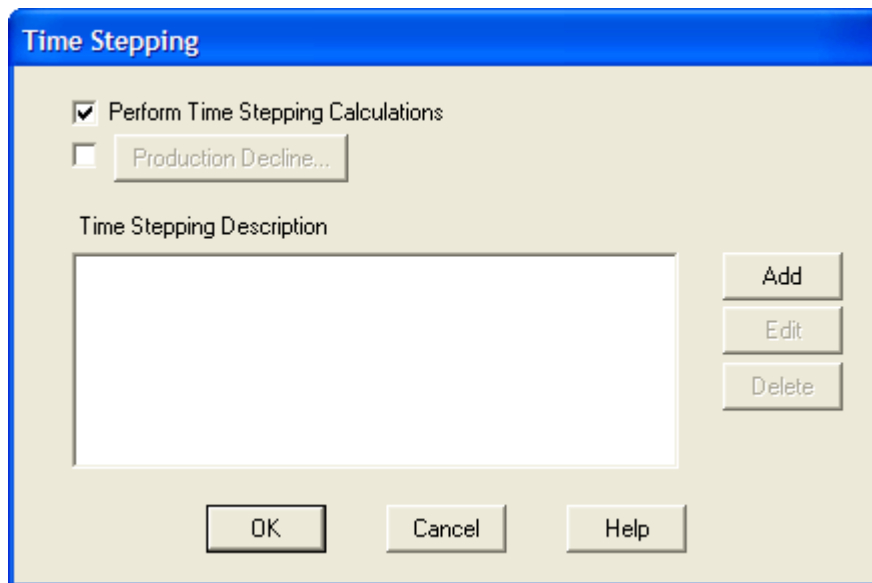
شکل ۷۰.۲: گزینه‌های منوی Special Features

- گزینه Case Study که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۷۱.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و در آن امکان بررسی اثر تغییر یکی از متغیرهای شبیه‌سازی بر دیگر متغیرهای فرایند وجود دارد.



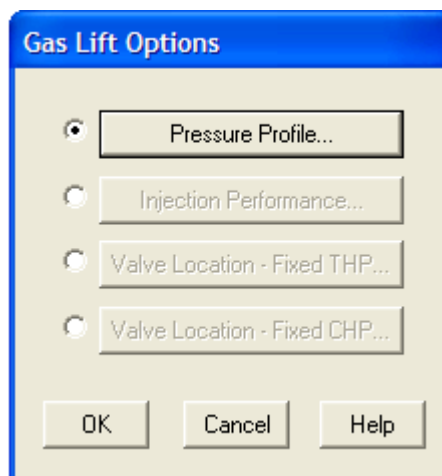
شکل ۷۱.۲: گزینه Case Study از گزینه‌های منوی Special Features

- گزینه Time Stepping که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۷۲.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و در آن امکان بررسی اثر تغییر عملکرد خطوط لوله با کاهش دبی خروجی از چاه بر اثر کاهش فشار مخزن در طول زمان وجود دارد.



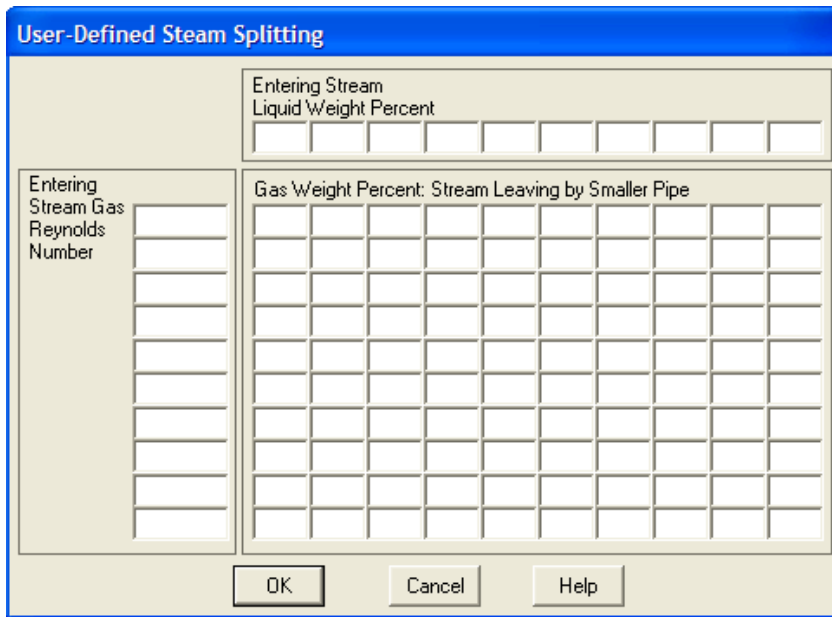
شکل ۷۲.۲: گزینه Time Stepping از گزینه های منوی Special Features

- گزینه Gas Lift Option که در حالت Gas Lift Analysis فعال بوده و با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۷۳.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و در آن امکان تنظیم نرم‌افزار برای محاسبات اثر بالابردگی مایع توسط گاز در چاه‌ها وجود دارد.



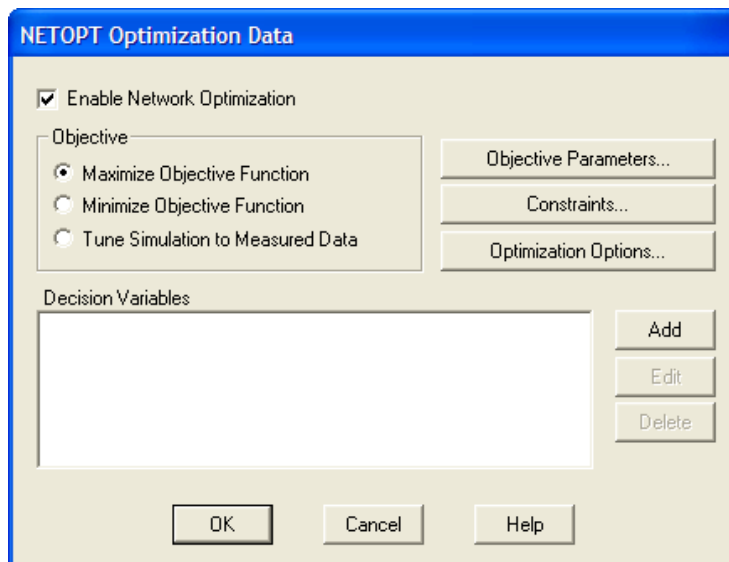
شکل ۷۳.۲: گزینه Gas Lift Option از گزینه های منوی Special Features

- گزینه User Defined Splitting که در حالتی که نوع سیال Steam باشد فعال بوده و با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۷۴.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و در آن امکان تنظیم نحوه تقسیم فازها در Steam Junction وجود دارد.

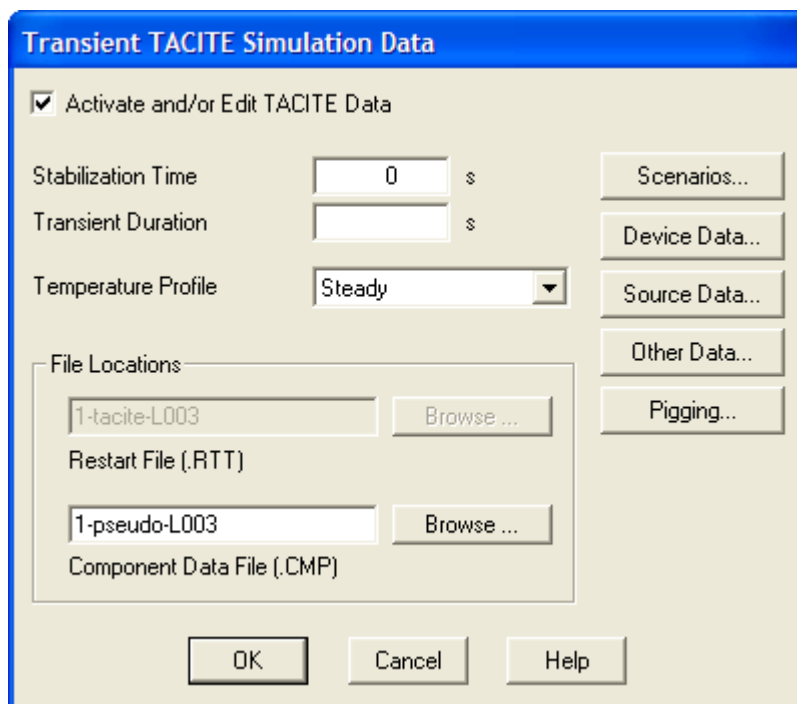


شکل ۷۴.۲: گزینه User Defined Splitting از گزینه های منوی Special Features

- گزینه NETOPT Optimization Data که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۷۵.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و در آن امکان بهینه‌سازی شرایط عملیاتی واحد شبیه‌سازی شده وجود دارد.
- گزینه TACITE Data for Link که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۷۶.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و از طریق آن امکان شبیه‌سازی ناپایای خطوط لوله وجود دارد.

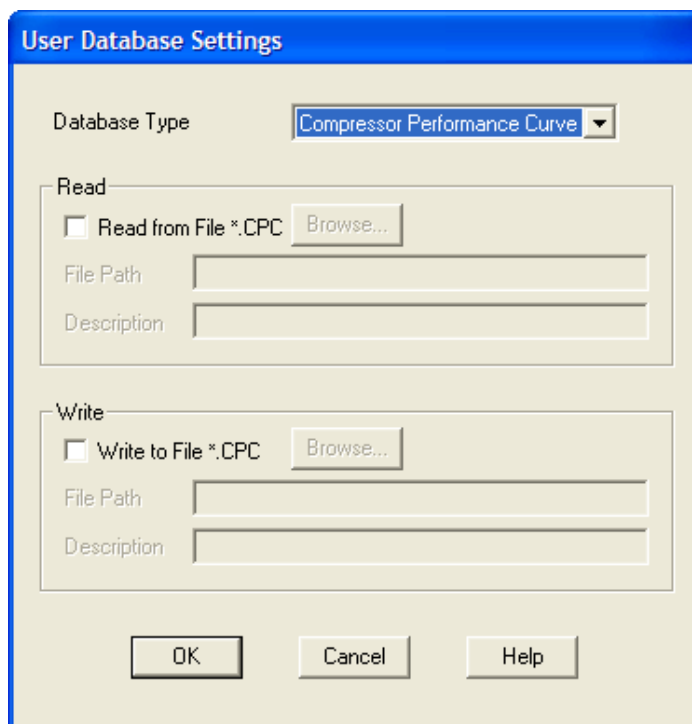


شکل ۷۵.۲: گزینه NETOPT Optimization Data از گزینه های منوی Special Features



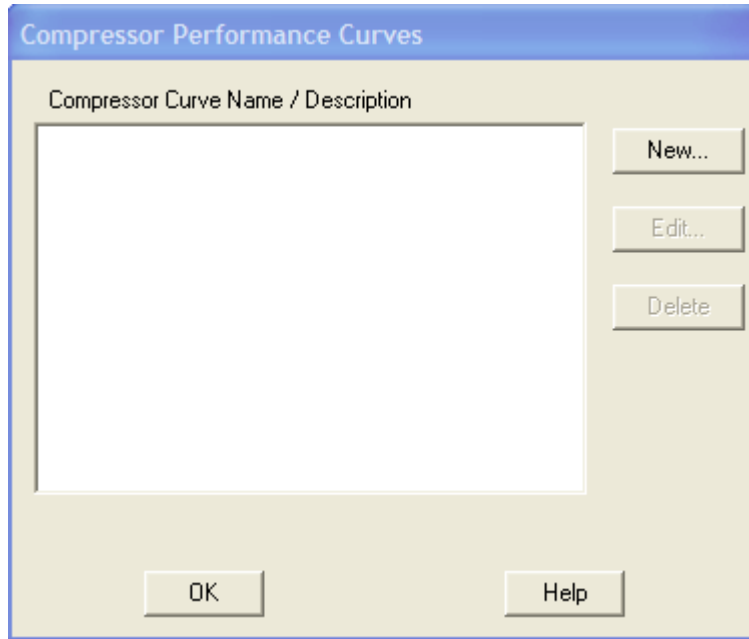
شکل ۷۶.۲: گزینه TACITE Data for Link از گزینه های منوی Special Features

- گزینه User Database Settings که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۷۷.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و از طریق آن امکان استفاده از بانک‌های اطلاعاتی کاربر در مورد نمودار عملیاتی پمپ و کمپرسور و... ایجاد شود.



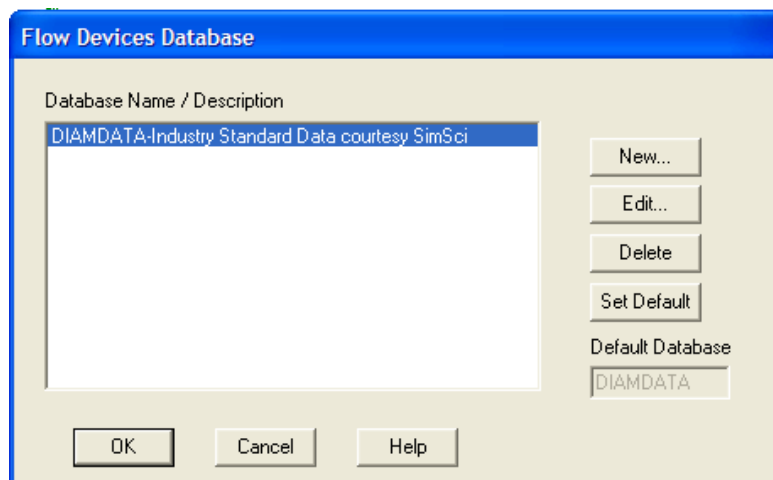
شکل ۷۷.۲: گزینه User Database Settings از گزینه های منوی Special Features

- گزینه های Compressor Performance Curve و Pump performance Curve و Esp و performance Curve و DPDT performance Curve و Reservoir Database که از طریق آنها امکان ایجاد بانک‌های اطلاعاتی پمپ و کمپرسور و . . . وجود دارد. نمونه ای از پنجره مربوط به انتخاب این گزینه ها در شکل ۷۸.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۷۸.۲: گزینه Compressor Performance Curve از گزینه های منوی Special Features

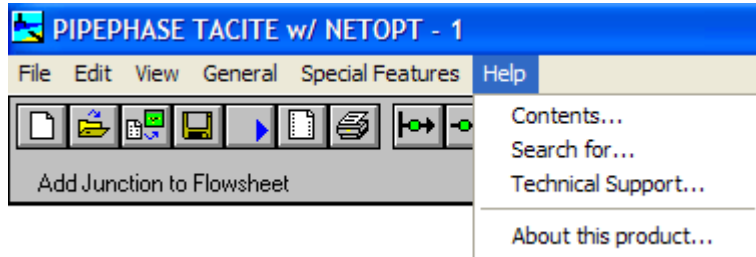
- گزینه های Flow Device Schedule Database که با انتخاب این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۷۹.۲ نشان داده شده‌است، باز می‌شود و از طریق آن امکان استفاده از بانک‌های اطلاعاتی در مورد قطر استاندارد لوله ها ایجاد شود.



شکل ۷۹.۲: گزینه Flow Device Schedule Database از گزینه های منوی Special Features

## ۷۱. معرفی منو Help

این منو در شکل ۸۰.۲ نشان داده شده‌است و به منظور راهنمایی کاربر به کار می‌رود.



شکل ۸۰.۲: گزینه‌های منوی Help

## ۶.۲.۲ معرفی نوار ابزار نرم‌افزار



این نوار ابزار در زیر منوهای نرم‌افزار مشاهده می‌شود و برای دسترسی سریعتر به برخی از قسمت‌های نرم‌افزار به کار می‌رود. دکمه‌های آن عبارتند از:

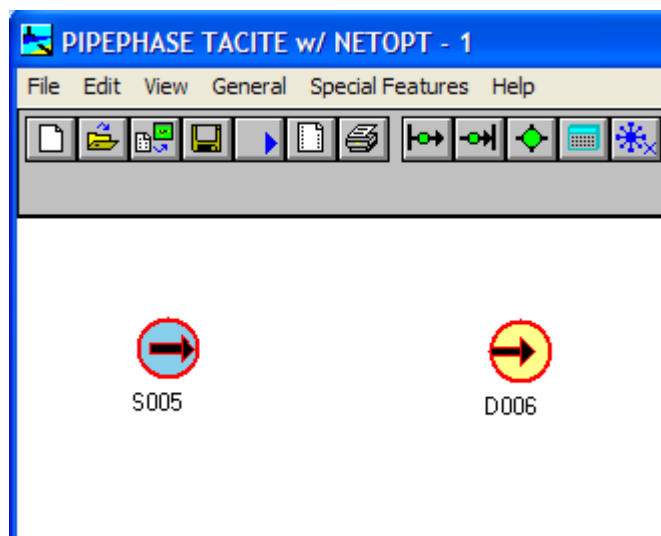
- ۷۲. دکمه  که به منظور ایجاد پروژه شبیه‌سازی جدید بکار می‌رود.
- ۷۳. دکمه  که به منظور باز کردن پروژه شبیه‌سازی موجود بکار می‌رود.
- ۷۴. دکمه  که به منظور باز کردن PVT Data که از قبل برای پروژه تهیه شده‌است، بکار می‌رود.
- ۷۵. دکمه  که به منظور ذخیره کردن پروژه شبیه‌سازی بکار می‌رود.
- ۷۶. دکمه  که با کلیک این دکمه محاسبات نرم‌افزار آغاز می‌شود.
- ۷۷. دکمه  که برای باز کردن فایل گزارش که قبلاً ایجاد شده‌است بکار می‌رود.
- ۷۸. دکمه  که برای چاپ فایل‌ها بکار می‌رود.
- ۷۹. دکمه  برای قرار دادن یک منبع ورودی جریان به شبکه بکار می‌رود.
- ۸۰. دکمه  برای قرار دادن یک گیرنده یا خروجی جریان در شبکه بکار می‌رود.
- ۸۱. دکمه  برای قرار دادن اتصالات لوله‌ها و یا گره در شبکه بکار می‌رود.



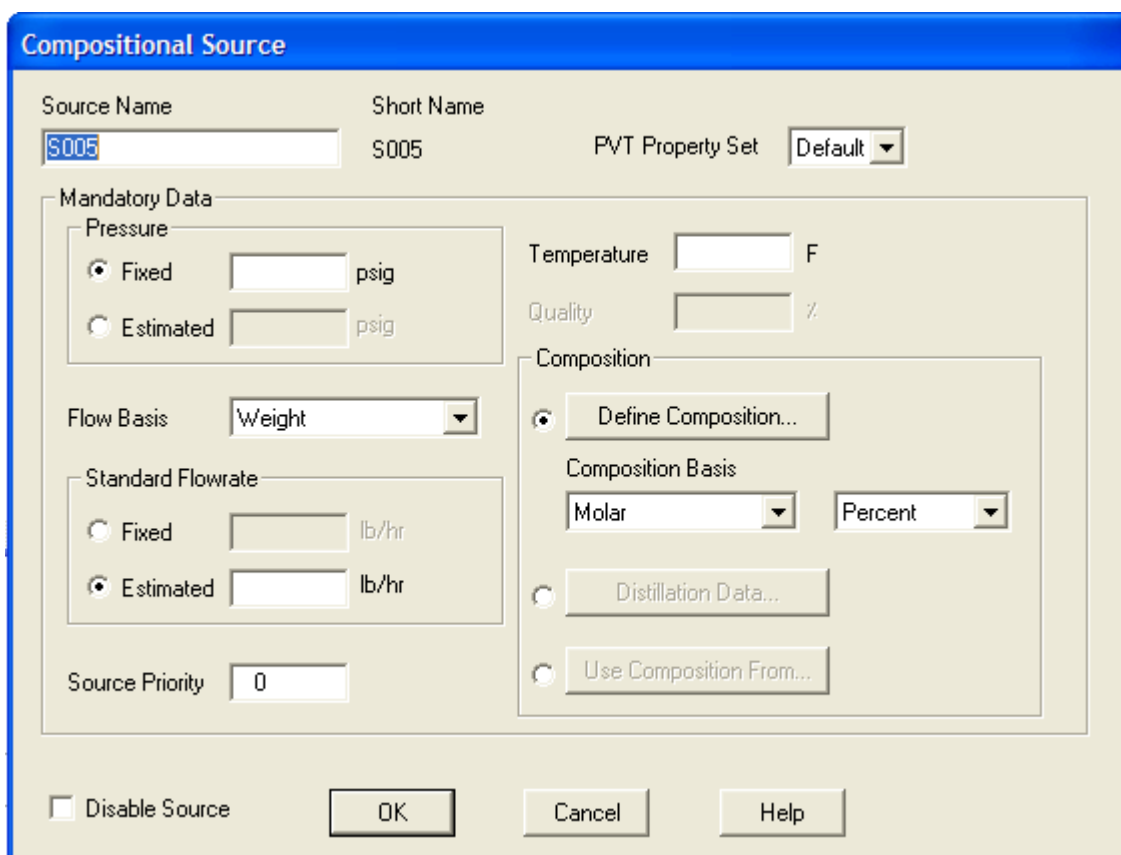
۸۲. دکمه  که با کلیک آن پنجره Calculator باز شده و یک متغیر از پروژه وارد آن شده و پس از انجام محاسبات روی آن نتیجه محاسبات به یکی از متغیرهای پروژه وارد می‌شود.
۸۳. دکمه  که برای محاسبات دما و فشار تشکیل هیدرات در اجزای پروژه بکار می‌رود.
۸۴. دکمه  که برای تنظیم واحدهای اندازه‌گیری در پروژه بکار می‌رود.
۸۵. دکمه  که برای انتخاب کردن مواد موجود در پروژه بکار می‌رود.
۸۶. دکمه  که برای معین کردن روش‌های محاسبات خواص ترمودینامیکی بکار می‌رود.
۸۷. دکمه  که برای تنظیم روش‌های محاسبات شبکه بکار می‌رود.
۸۸. دکمه  که برای تنظیم روش‌های پیش‌فرض حل شبکه و خواص سیال و غیره بکار می‌رود.
۸۹. دکمه  که برای بهینه‌سازی شبکه بکار می‌رود.
۹۰. دکمه‌های  که برای تغییر بزرگنمایی نمودار جریانی پروژه بکار می‌روند.
۹۱. دکمه  که برای Refresh کردن پروژه بکار می‌رود.

## ۷.۲.۲ معرفی اجزای شبیه‌سازی شبکه

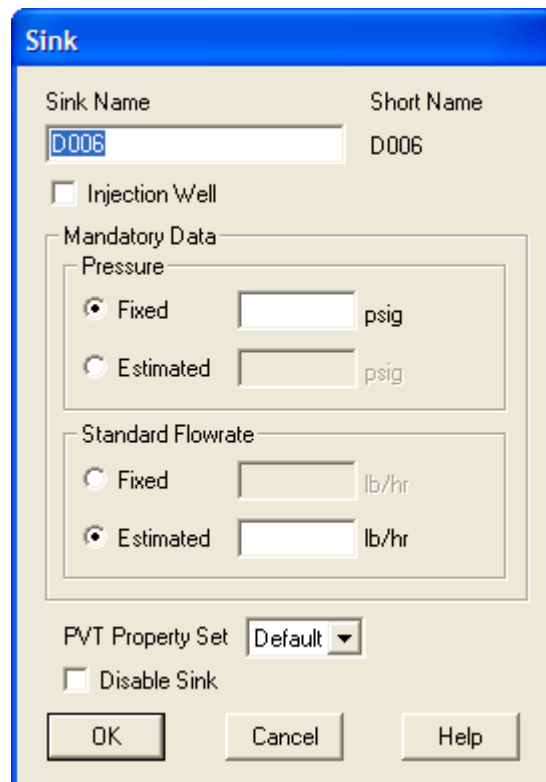
برای مشاهده اجزای شبکه ابتدا باید با کلیک دکمه  یک منبع ورودی جریان به شبکه قرار داد و سپس با کلیک دکمه  یک گیرنده یا خروجی جریان در شبکه در صفحه اصلی نمودار جریانی ایجاد کرد. شکل نمودار جریانی در این حالت در شکل ۸۱.۲ نشان داده شده‌است. برای مشاهده پنجره خواص این اجزاء به منظور وارد کردن اطلاعات کافی است دو بار روی شکل آنها در صفحه اصلی کلیک کرد. پنجره خواص آنها در شکل ۸۲.۲ و شکل ۸۳.۲ نشان داده شده‌است. حال برای متصل کردن این دو جزء به هم و تعریف تجهیزات موجود در شبکه مانند خطوط لوله، و کمپرسور و غیره کافی است ابتدا روی منبع جریان کلیک چپ کرد. در این حالت مربع کوچکی جلوی آن ظاهر می‌شود. حال باید روی آن مربع کلیک چپ کرده و آن را نگه داشت و به سمت مربع کوچکی که در پشت دریافت‌کننده جریان قرار دارد، کشید. اکنون دو جزء به هم متصل شده‌اند. شکل نمودار جریانی در این حالت در شکل ۸۴.۲ نشان داده شده‌است.



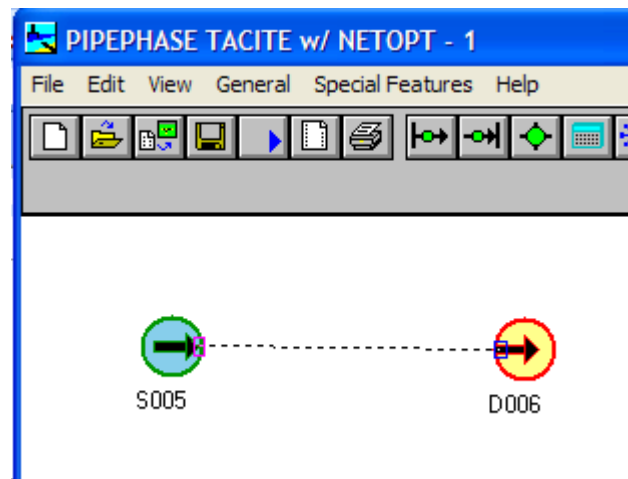
شکل ۱۱.۲: شکل نمودار جریانی



شکل ۱۲.۲: پنجره خواص منبع جریان در شبکه در حالت انتخاب سیال ترکیبی

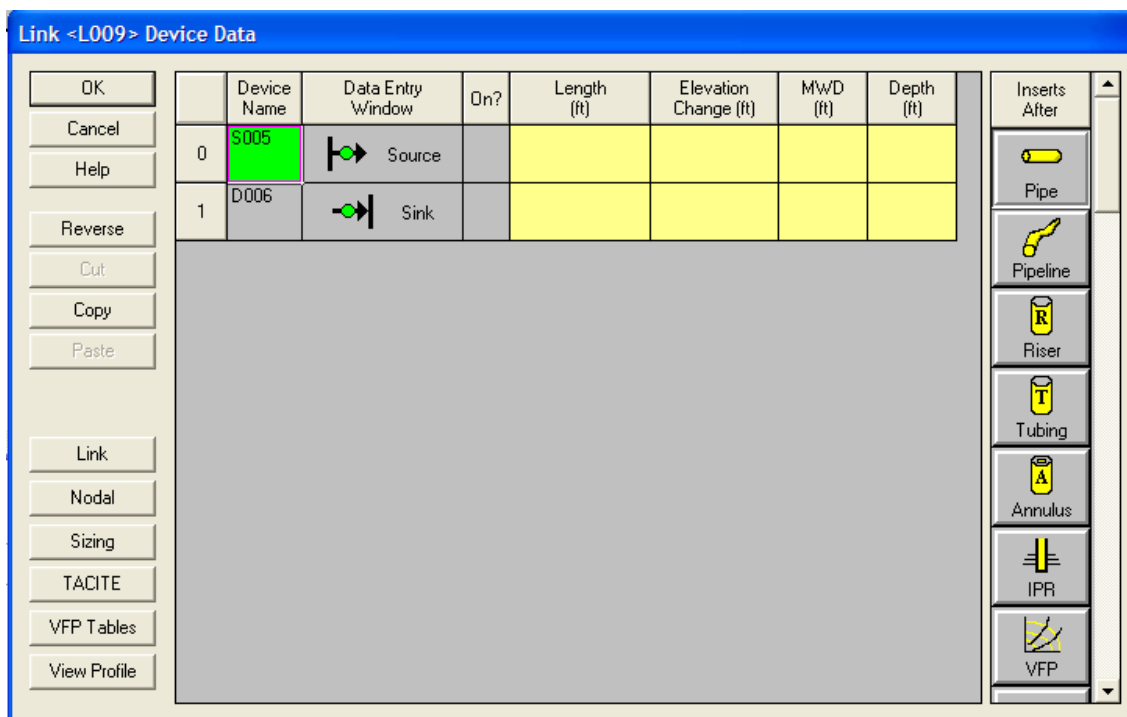


شکل ۸۳.۲: پنجره خواص دریافت کننده جریان در شبکه در حالت انتخاب سیال ترکیبی



شکل ۸۴.۲: شکل نمودار جریانی

اکنون برای مشاهده اجزای تشکیل دهنده شبکه کافی است روی خط بین منبع و دریافت کننده دو بار کلیک نمود تا پنجره‌ای که در شکل ۸۵.۲ نشان داده شده است باز شود. اجزای شبکه در نوارابزاری در سمت راست پنجره قرار دارند.



شکل ۸۵.۲: پنجره انتخاب اجزای شبکه

حال اجزای شبکه مورد بحث قرار می‌گیرند:



۹۲. جزء Pipe

این جزء برای تعریف تک لوله در شبکه خطوط لوله به کار می‌رود. برای قرار دادن آن کافی است روی آن در نوار ابزار کلیک کنید تا لوله به قسمت Data Entry Window اضافه شود. حال برای مشاهده پنجره خواص آن کافی است روی شکل آن در قسمت Data Entry Window کلیک کنید. پنجره خواص آن در شکل ۸۶.۲ نشان داده شده است.



۹۳. جزء Pipeline:

این جزء برای تعریف خط لوله در شبکه خطوط لوله به کار می‌رود. برای قرار دادن آن کافی است روی آن در نوار ابزار کلیک کرد تا لوله به قسمت Data Entry Window اضافه شود. حال برای مشاهده پنجره خواص آن کافی است روی شکل آن در قسمت Data Entry Window کلیک کنید. پنجره خواص آن مانند Pipe است.

شکل ۸۶.۲: پنجره خواص جزء Pipe



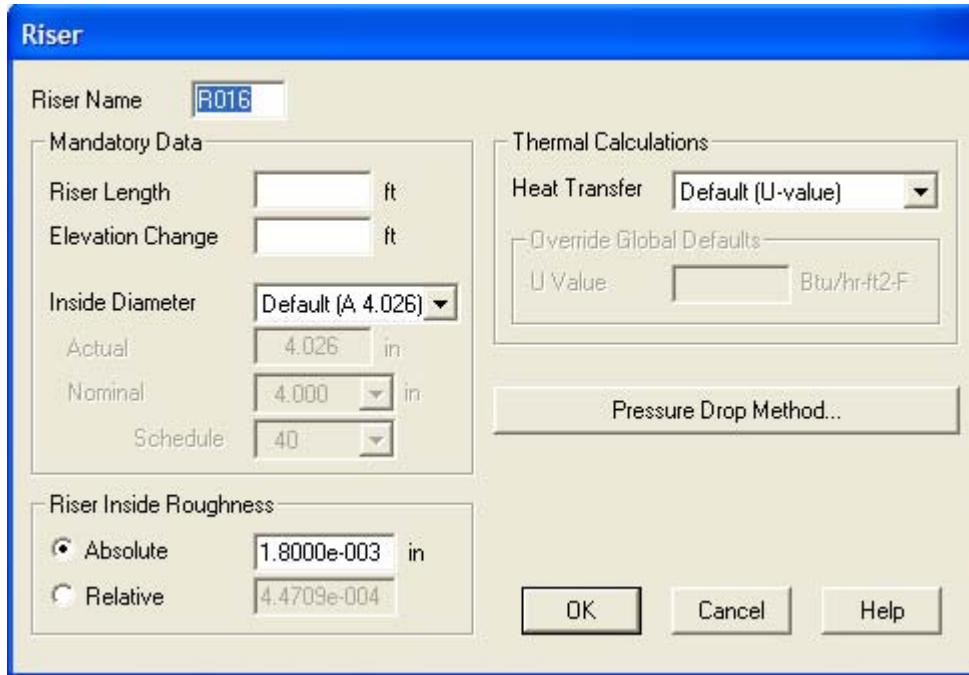
۹۴. جزء Riser

این جزء برای تعریف خط لوله عمودی در شبکه خطوط لوله به کار می‌رود. برای قرار دادن آن کافی است روی آن در نوارابزار کلیک کنید تا لوله به قسمت Data Entry Window اضافه شود. حال برای مشاهده پنجره خواص آن کافی است روی شکل آن در قسمت Data Entry Window کلیک کنید. پنجره خواص آن در شکل ۸۷.۲ نشان داده شده‌است.

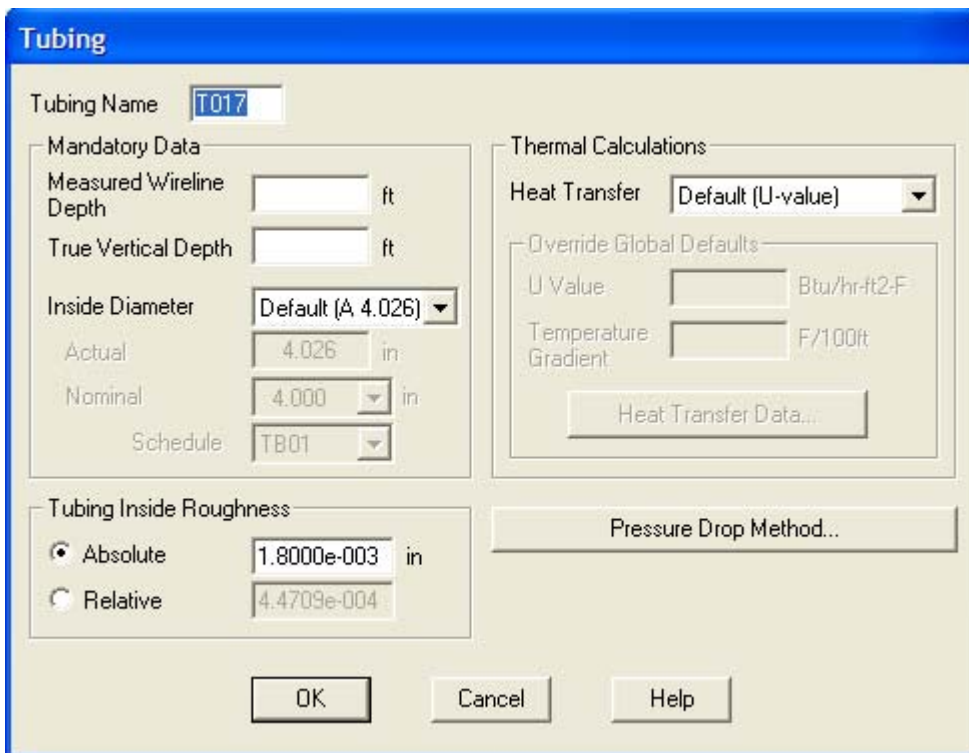


۹۵. جزء Tubing

این جزء برای تعریف لوله بهره برداری از چاه‌های گاز و نفت به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۸۸.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۸۷.۲: پنجره خواص جزء Riser



شکل ۸۸.۲: پنجره خواص جزء Tubing



۹۶. جزء Annulus

این جزء در شبیه‌سازی چاه‌های گاز و نفت به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۸۹.۲ نشان داده شده‌است.

شکل ۸۹.۲: پنجره خواص جزء Annulus



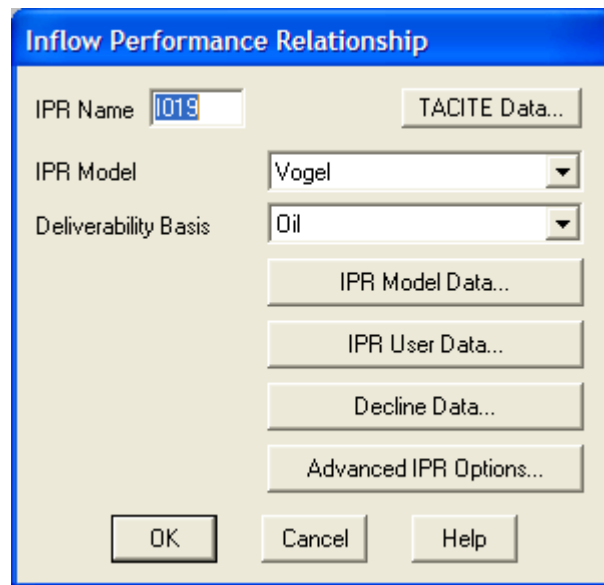
۹۷. جزء IPR

این جزء در شبیه‌سازی چاه‌های گاز و نفت به کار می‌رود و به منظور بررسی اثر کاهش فشار مخزن بر روی دبی ورودی به چاه از مخزن به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۹۰.۲ نشان داده شده‌است.

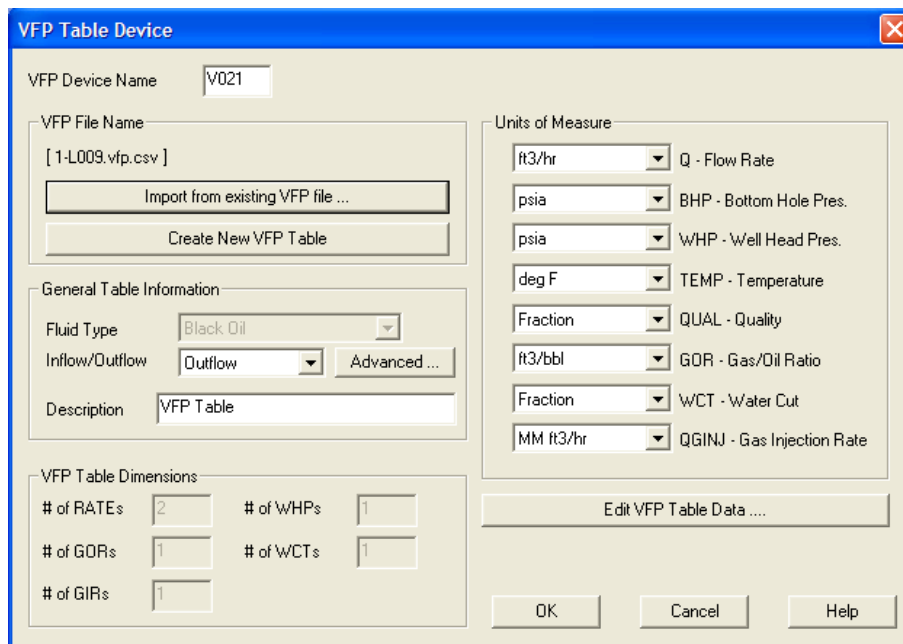


۹۸. جزء VFP

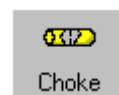
این جزء در شبیه‌سازی چاه‌های گاز و نفت به کار می‌رود و به منظور ایجاد جدول تغییرات پارامترهای چاه و مخزن نسبت به هم به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۹۱.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۹۰.۲: پنجره خواص جزء IPR



شکل ۹۱.۲: پنجره خواص جزء VFP



Choke

۹۹. جزء Choke

این جزء به منظور محدود کردن جریان در خطوط لوله و یا چاه به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۹۲.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۹۲.۲: پنجره خواص جزء Choke



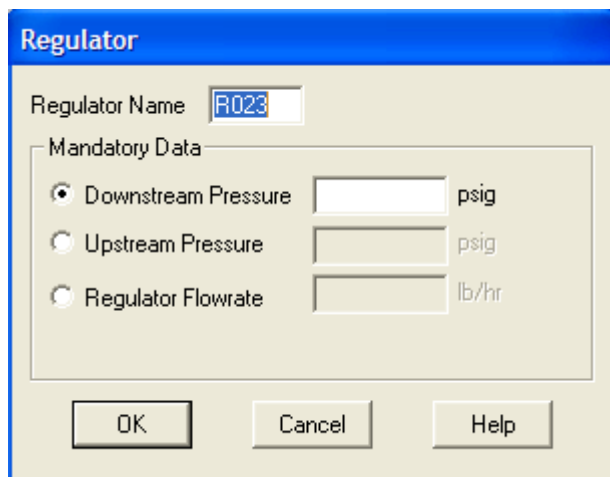
۱۰۰. جزء Regulator

این جزء به منظور محدود کردن فشار در خطوط لوله و یا چاه به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۹۳.۲ نشان داده شده‌است.

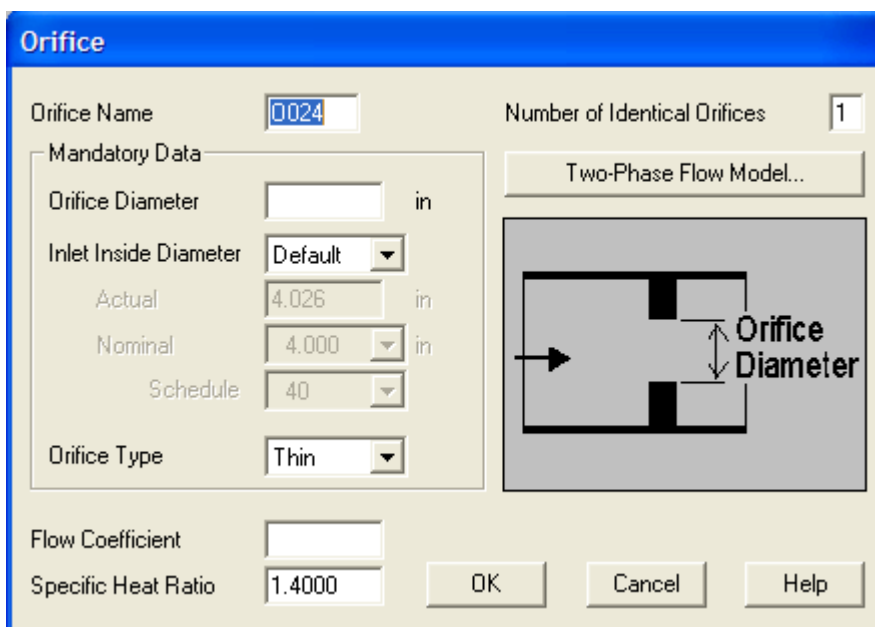


۱۰۱. جزء Orifice

این جزء به منظور اندازه‌گیری جریان در خطوط لوله به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۹۴.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۹۳.۲: پنجره خواص جزء Regulator

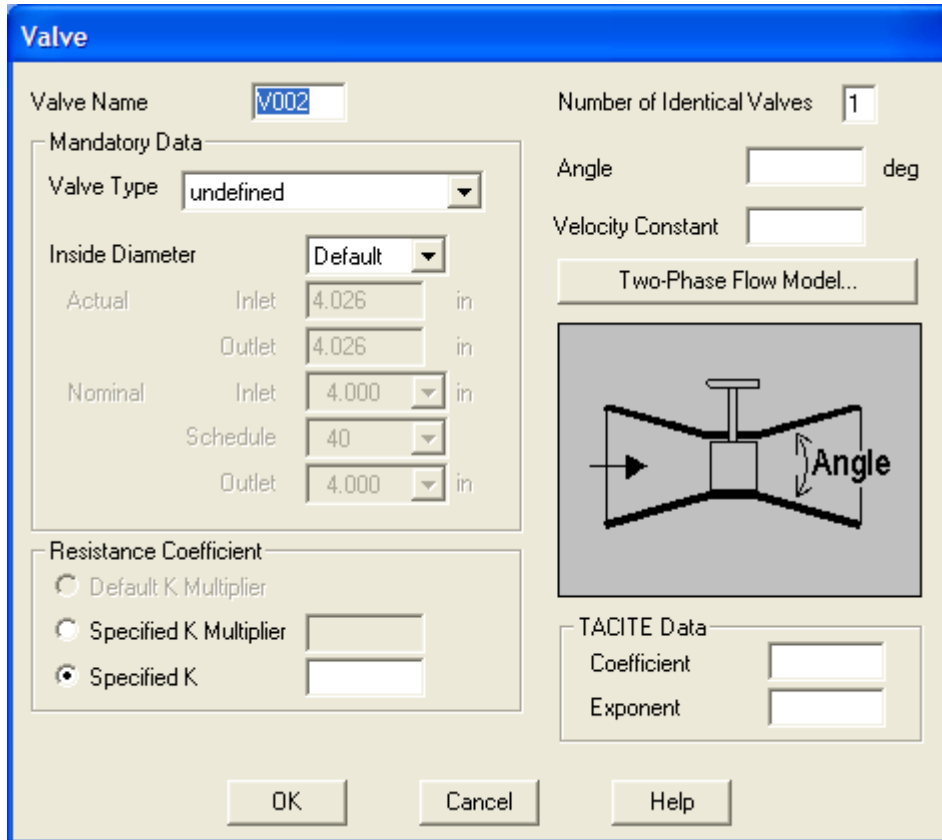


شکل ۹۴.۲: پنجره خواص جزء Orifice



۱۰۲. جزء Valve

این جزء به منظور محدود کردن و یا قطع جریان در خطوط لوله به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۹۵.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۹۵.۲: پنجره خواص جزء Valve



۱. جزء Check Valve

این جزء تنها اجازه عبور جریان در یک جهت خطوط لوله را می‌دهد و برای جلوگیری از برگشت جریان در خط به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۹۶.۲ نشان داده شده‌است.



۲. جزء GL Valve

این جزء در Gas Lift Analysis استفاده می‌شود. پنجره خواص آن در شکل ۹۷.۲ نشان داده شده‌است.

شکل ۹۶.۲: پنجره خواص جزء Check Valve

شکل ۹۷.۲: پنجره خواص جزء GLValve



۳. جزء Expander

این جزء در حالت انتخاب سیال Steam به کار می‌رود و برای بازیابی انرژی Steam با کاهش فشار جریان به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۹۸.۲ نشان داده شده‌است.



۴. جزء Compressor

این جزء برای تغییر فشار جریان گاز در خط لوله به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۹۹.۲ نشان داده شده‌است.

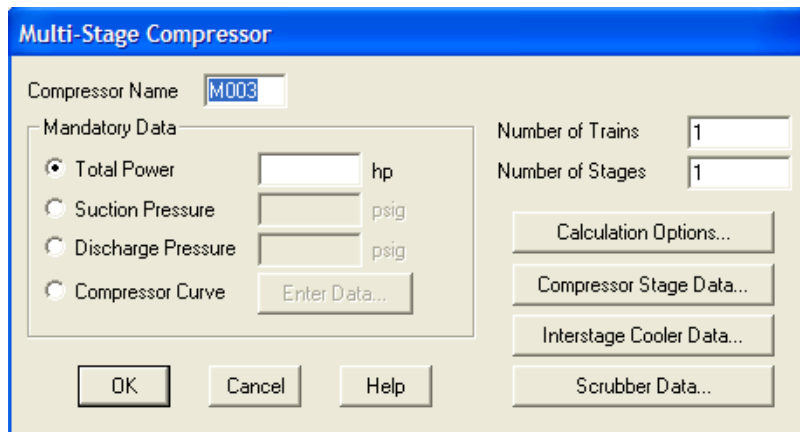
شکل ۹۸.۲: پنجره خواص جزء Expander

شکل ۹۹.۲: پنجره خواص جزء Compressor



## ۵. جزء MS Compressor

این جزء برای شبیه‌سازی مجموعه‌ای از کمپرسورها به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۰۰.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۱۰۰.۲: پنجره خواص جزء MS Compressor



## ۶. جزء DPDT

این جزء امکان تعریف دما و فشار به عنوان تابعی از دبی جریان را می‌دهد و برای پمپ و کمپرسور، گرم‌کن، سردکن و غیره می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. پنجره خواص آن در شکل ۱۰۱.۲ نشان داده شده‌است.



## ۷. جزء Heater

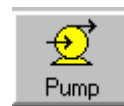
این جزء برای افزایش دمای سیال به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۰۲.۲ نشان داده شده‌است.



## ۸. جزء Cooler

این جزء برای کاهش دمای سیال به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۰۳.۲ نشان داده شده‌است.

شکل ۱۰۱.۲: پنجره خواص جزء DPDT



۹. جزء Pump

این جزء برای افزایش فشار سیال مایع به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۰۴.۲ نشان داده شده‌است.



۱۰. جزء ESP

این جزء برای تعیین مشخصات پمپ‌های غوطه‌ور به منظور افزایش فشار بکار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۰۵.۲ نشان داده شده‌است.

**Heater**

Heater Name

Mandatory Data

Outlet Temperature  F

Heater Duty  MM Btu/hr

Calculation Limits

Maximum Duty  MM Btu/hr

Maximum Temperature  F

Pressure Drop

Fixed Pressure Drop  psig

DP = Coefficient\*Rate<sup>Exponent</sup> (Rate = LB/SEC)

Coefficient

Exponent

OK Cancel Help

شکل ۱۰۲.۲: پنجره خواص جزء Heater

**Cooler**

Cooler Name

Mandatory Data

Outlet Temperature  F

Cooler Duty  MM Btu/hr

Calculation Limits

Max Duty  MM Btu/hr

Minimum Temperature  F

Pressure Drop

Fixed Pressure Drop  psig

DP = Coefficient\*Rate<sup>Exponent</sup> (Rate = LB/SEC)

Coefficient

Exponent

OK Cancel Help

شکل ۱۰۳.۲: پنجره خواص جزء Cooler



شکل ۱۰۴.۲: پنجره خواص جزء Pump

شکل ۱۰۵.۲: پنجره خواص جزء ESP



۱۱. جزء Separator

این جزء برای جداسازی سیال مایع و گاز در خطوط لوله دو فازی به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۰۶.۲ نشان داده شده‌است.

شکل ۱۰۶.۲: پنجره خواص جزء Separator



۱۲. جزء Injection

این جزء برای تزریق کردن سیال به خط لوله به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۰۷.۲ نشان داده شده‌است.

شکل ۱۰۷.۲: پنجره خواص جزء Injection



## ۱۳. جزء GP Compl

این جزء برای شبیه‌سازی فضای بین دیواره چاه و مخزن به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۰۸.۲ نشان داده شده‌است.

شکل ۱۰۸.۲: پنجره خواص جزء GP Compl



## ۱۴. جزء OP Compl

این جزء برای شبیه‌سازی فضای بین دیواره چاه و مخزن به کار می‌رود و از مدل McCleod استفاده می‌کند. پنجره خواص آن در شکل ۱۰۹.۲ نشان داده شده‌است.



## ۱۵. جزء Bend

این جزء برای تغییر جهت جریان به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۱۰.۲ نشان داده شده‌است.



## ۱۶. جزء Tee

این جزء برای تقسیم جریان به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۱۱.۲ نشان داده شده‌است.

**Open Perforated Completion**

Completion Name

**Mandatory Data**

Perforation Interval  ft

Perforation Diameter  in

Shot Density  / ft

Penetration Depth  in

**Permeability**

Crushed  mD

Reservoir  mD

**Reservoir Conditions**

None Declared

Overbalanced

Underbalanced

Crushed Thickness  in

OK Cancel Help

شکل ۱۰۹.۲: پنجره خواص جزء OP Compl

**Bend**

Bend Name

Number of Identical Bends

**Mandatory Data**

Inside Diameter   in

Actual  in

Nominal  in

Schedule

**Pipe Inside Roughness**

Absolute  in

Relative

Two-Phase Flow Model...

**Type of Bend**

Standard

Non-Standard

Angle  deg

R/D

**Resistance Coefficient**

Default K Multiplier

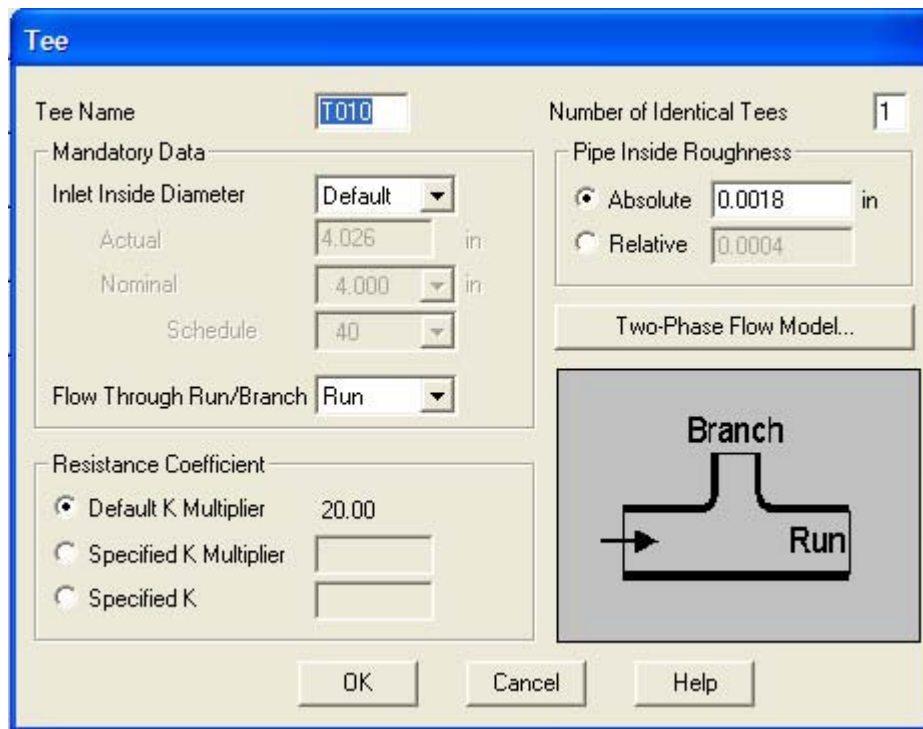
Specified K Multiplier

Specified K

**Diagram:** A diagram of a pipe bend showing the Angle, Diameter (D), and Radius (R).

OK Cancel Help

شکل ۱۱۰.۲: پنجره خواص جزء Bend

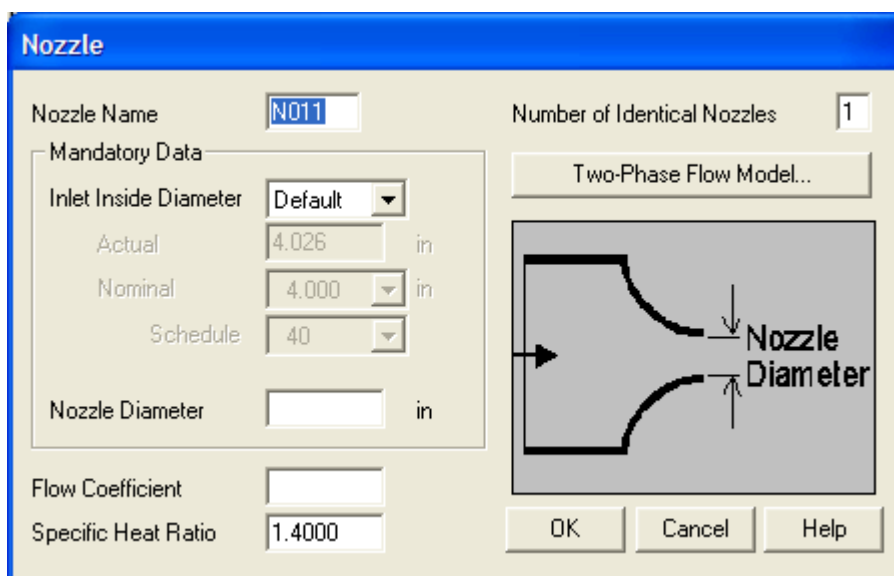


شکل ۱۱۱.۲: پنجره خواص جزء Tee



۱۷. جزء Nozzle:

این جزء برای محدود کردن و یا اندازه‌گیری دبی جریان به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۱۰.۲ و یا اندازه‌گیری دبی جریان به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۱۲.۲ نشان داده شده‌است.

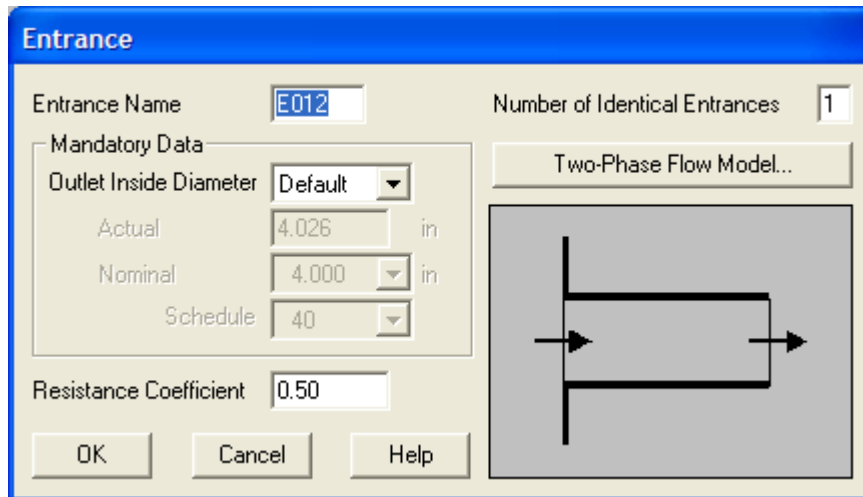


شکل ۱۱۲.۲: پنجره خواص جزء Nozzle



۱۸. جزء Entrance

این جزء برای اتصال خطوط لوله به ورودی مخازن به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۱۳.۲ نشان داده شده‌است.

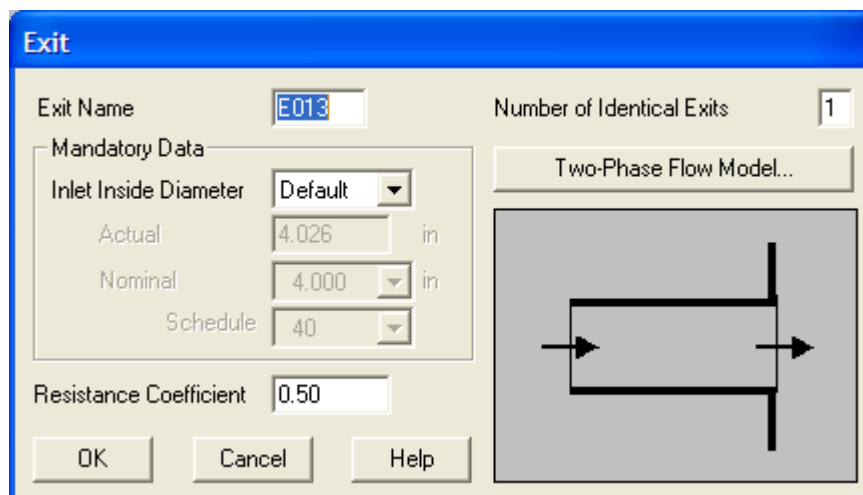


شکل ۱۱۳.۲: پنجره خواص جزء Entrance



۱۹. جزء Exit

این جزء برای اتصال خطوط لوله به خروجی مخازن به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۱۴.۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۱۱۴.۲: پنجره خواص جزء Exit



## ۲۰. جزء Contract

این جزء برای کاهش قطر لوله به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۱۵.۲ نشان داده شده‌است.

شکل ۱۱۵.۲: پنجره خواص جزء Contract



## ۲۱. جزء Expansion

این جزء برای افزایش قطر لوله به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۱۶.۲ نشان داده شده‌است.



## ۲۲. جزء Venturi

این جزء برای اندازه‌گیری دبی جریان به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۱۷.۲ نشان داده شده‌است.

شکل ۱۱۶.۲: پنجره خواص جزء Expansion

شکل ۱۱۷.۲: پنجره خواص جزء Venturi

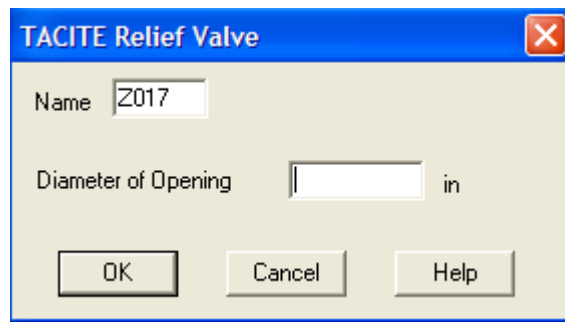


TAC Relief

۲۳. جزء TAC Relief

این جزء برای شیرهای اطمینان که در TACCITE استفاده می‌شود، به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۱۸.۲ نشان داده شده است.



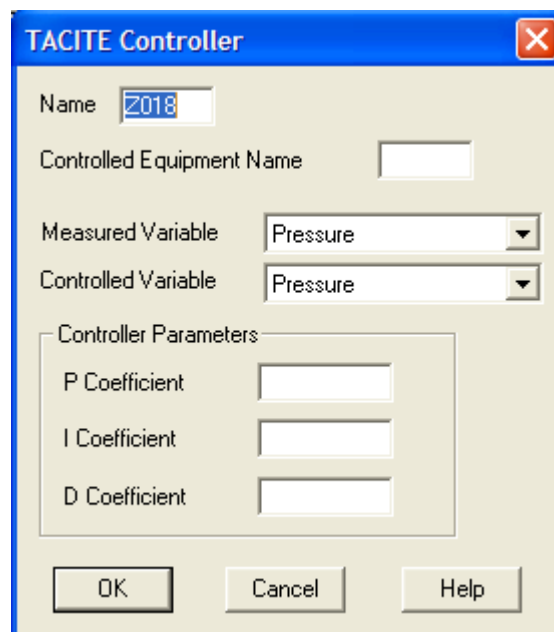


شکل ۱۱۸.۲: پنجره خواص جزء TAC Relief



۲۴. جزء TAC Ctrl

این جزء برای کنترلر PID که در TACCITE استفاده می‌شود، به کار می‌رود. پنجره خواص آن در شکل ۱۱۹.۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۱۹.۲: پنجره خواص جزء TAC Ctrl

## ۳.۲ نحوه شبیه‌سازی شبکه توزیع گاز با نرم‌افزارهای PSSF<sup>۷</sup> و PIPEPHASE

به منظور شبیه‌سازی شبکه خطوط لوله گاز اطلاعات زیر باید جمع‌آوری شوند:

۲۵. معین کردن مشخصات گاز ورودی به شهر مانند دمای گاز و ترکیب درصد اجزای گاز

۲۶. معین کردن فشار خروجی از ایستگاه شهری

۲۷. معین کردن تعداد مصرف‌کننده‌گان و تخمین میزان دبی مصرف هر یک از آنها

۲۸. معین کردن موقعیت لوله‌های شبکه توزیع، نحوه اتصال آنها به یکدیگر و تعیین طول و قطر آنها

هنگام طراحی شبکه خطوط لوله موارد ۲ و ۳ و ۴ و ۵ مجهول هستند، لذا حدس اولیه برای آنها با توجه به تجربیات ارائه شده و سپس صحت آنها با نرم‌افزار بررسی می‌شود. در این بخش نحوه شبیه‌سازی شبکه توزیع گاز توسط دو نرم‌افزار زیر ارائه می‌شود:

۲۹. نرم‌افزار PSSF

۳۰. نرم‌افزار PIPEPHASE

### ۱.۳.۲ نحوه شبیه‌سازی شبکه توزیع گاز با نرم‌افزار PSSF

ابتدا از مسیر Start/All Programs/Piping Systems Fluid Flow نرم‌افزار را اجرا کنید. سپس برای طراحی شبکه با این نرم‌افزار باید مراحل زیر را باید انجام دهید:

۳۱. انتخاب نوع سیال در شبکه

۳۲. قرار دادن اجزای شبکه در صفحه اصلی نرم‌افزار

۳۳. وارد کردن اطلاعات ورودی هر جزء شبکه

۳۴. بررسی نتایج حل شبکه با نرم‌افزار

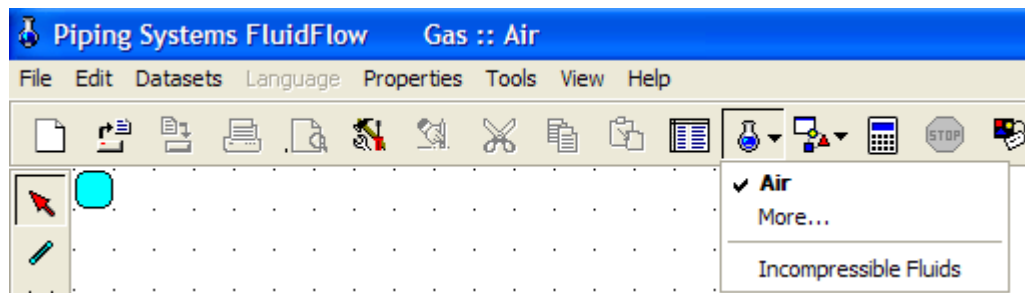
در ادامه به توضیح هر یک از مراحل فوق می‌پردازیم:

<sup>7</sup> Piping Systems Fluid Flow

### ۲.۳.۲ انتخاب نوع سیال در شبکه در نرم‌افزار PSSF

در ابتدا بعد از اجرا کردن نرم افزار باید نوع سیال مورد استفاده برای شبیه‌سازی خود را انتخاب کنید. بدین منظور از سه روش زیر می‌توانید استفاده کنید:

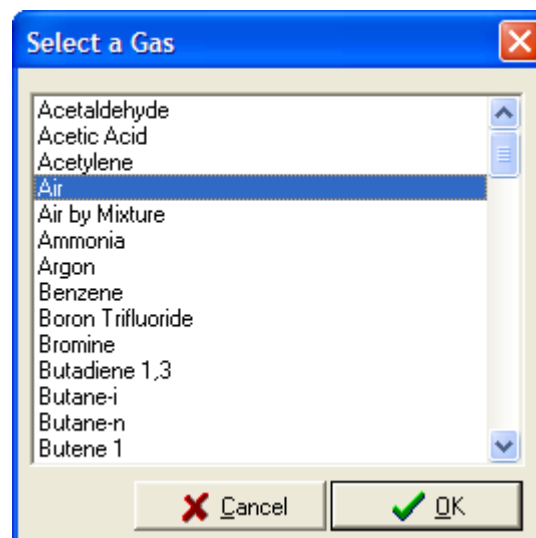
۳۵. استفاده از نوار ابزار اجزای نرم‌افزار و کلیک دکمه **Select Fluid**. با کلیک این دکمه منوی پائین رونده‌ای مشاهده می‌شود که در شکل ۳۸.۲ نشان داده شده‌است و دارای قسمت‌های زیر است:



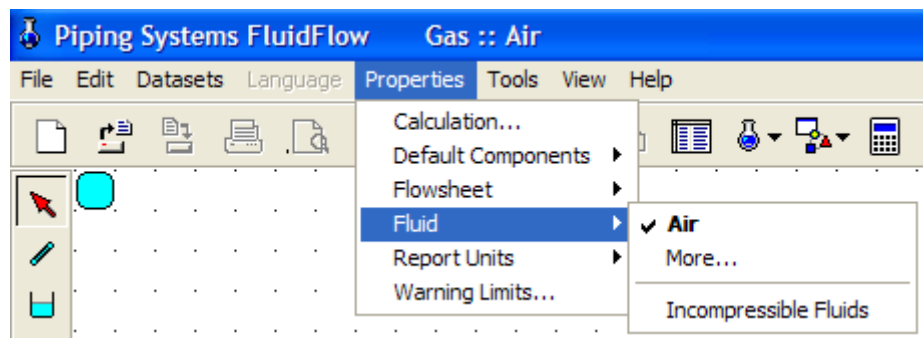
شکل ۳۸.۲: منوی پائین‌رونده که با کلیک دکمه **Select Fluid** باز می‌شود.

- گزینه اول که نشان دهنده سیال انتخاب شده برای استفاده در پروژه شبیه‌سازی است. در اینجا سیال پیش‌فرض هوا است.
- گزینه دوم یا گزینه **More...** که با کلیک این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۱۲۱.۲ نشان داده شده‌است باز می‌گردد و امکان انتخاب سیالی دیگر برای استفاده در پروژه شبیه‌سازی از بانک اطلاعاتی نرم‌افزار را به کاربر می‌دهد.
- گزینه سوم که برای تعیین تراکم‌پذیر بودن و یا تراکم‌ناپذیر بودن نوع سیال مورد استفاده در پروژه شبیه‌سازی بکار می‌رود. البته باید توجه داشت که در صورتی که نوع سیال قبلاً تراکم‌پذیر انتخاب شده باشد با کلیک گزینه **More..** تنها سیالات تراکم‌پذیر بانک نشان داده می‌شوند. همین حالت برای سیالات تراکم‌ناپذیر هم صادق است.

۳۶. استفاده از منوی **Properties** و گزینه **Fluid** که همان گزینه‌هایی که با کلیک دکمه **Select Fluid** در دسترس بود، مشاهده می‌شوند. این منو در شکل ۱۲۲.۲ نشان داده شده‌است.




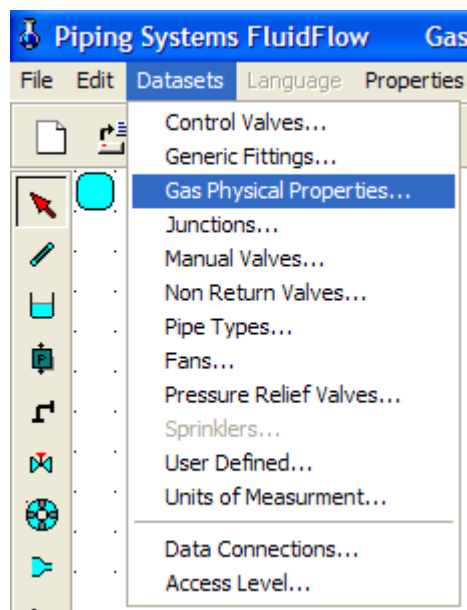
شکل ۱۲۱.۲: پنجره‌ای که با کلیک گزینه More... باز می‌شود.



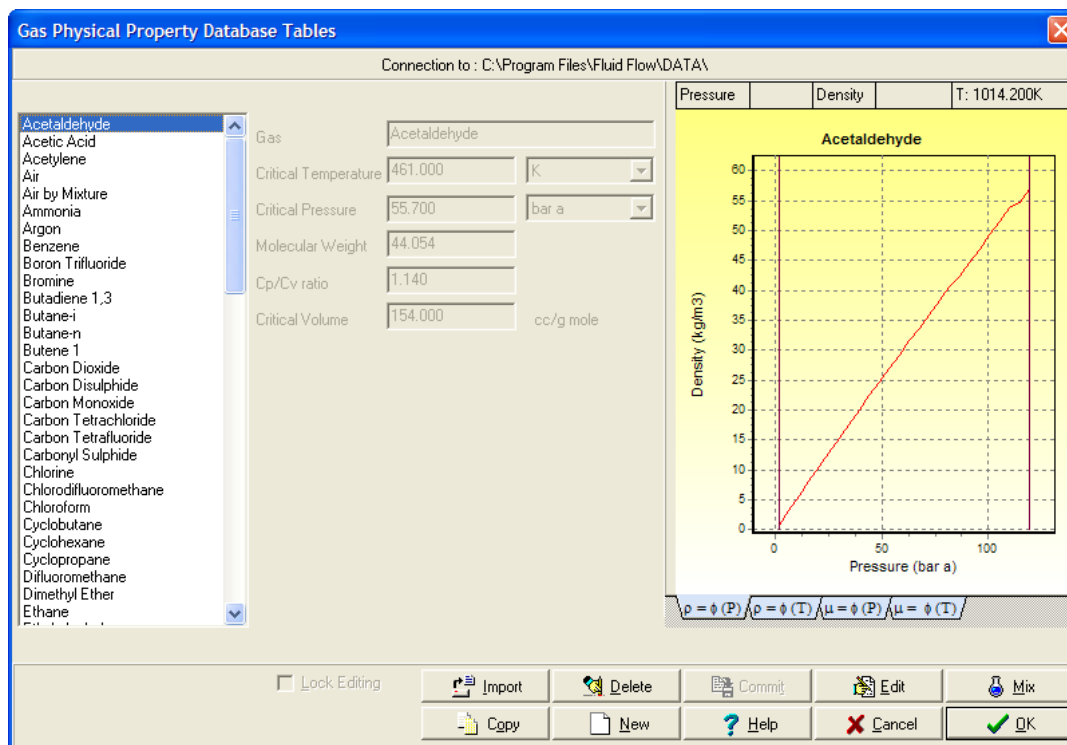
شکل ۱۲۲.۲: گزینه Fluid از منوی Properties

۳۷. استفاده از منوی Datasets و گزینه Gas/Liquid Physical Properties. این منو در شکل ۱۲۳.۲ نشان داده شده‌است. از این گزینه در حالتی استفاده می‌شود که ماده مورد نظر ما در بانک اطلاعاتی نرم‌افزار موجود نباشد. با کلیک این گزینه پنجره‌ای که در شکل ۱۲۴.۲ نشان داده شده‌است باز می‌گردد.

برای اضافه کردن مخلوط گازی جدید به بانک به روش زیر عمل می‌کنیم:  
ابتدا دکمه Mix را کلیک کنید تا پنجره انتخاب اجزای مخلوط باز گردد. در این پنجره ابتدا نام مخلوط گازی را در کادر Mixture Name تایپ کرده و سپس مواد تشکیل دهنده مخلوط را از لیست سمت چپ پنجره انتخاب کرده و با کلیک دکمه  به مخلوط خود اضافه می‌کنیم.



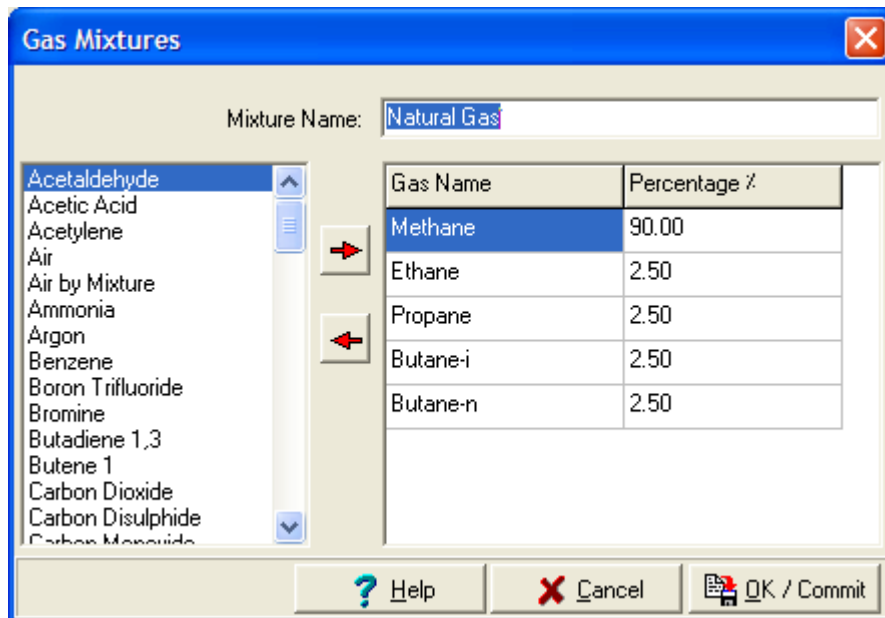
شکل ۱۲۳.۲: گزینه Gas/Liquid Physical Properties از منوی Datasets



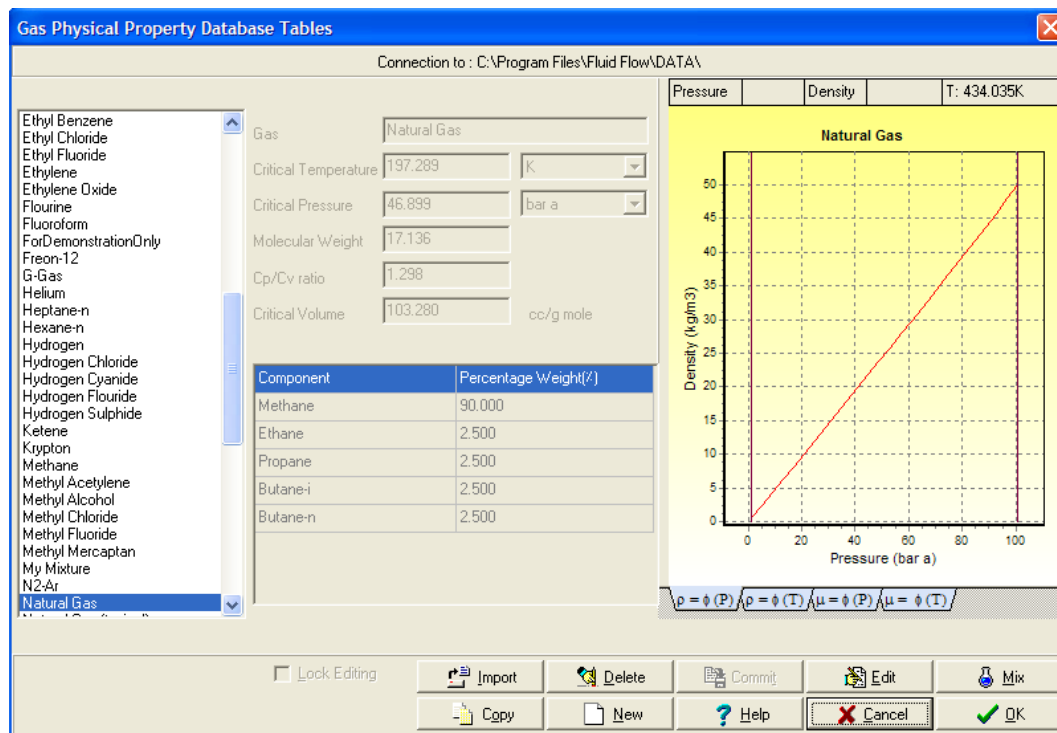
شکل ۱۲۴.۲: پنجره‌ای که با کلیک گزینه Gas/Liquid Physical Properties باز می‌شود

در پایان ترکیب درصد مولی هر یک از اجزای مخلوط را در کادر جلوی نام آن وارد می‌کنیم و دکمه Ok/Commit را کلیک می‌کنیم. نمونه کامل شده این پنجره در شکل ۱۲۵.۲ نشان داده شده است. با کلیک دکمه Ok نرم‌افزار بطور خودکار بقیه خواص لازم مخلوط برای انجام محاسبات خود

را محاسبه می‌کند که در شکل ۱۲۶.۲ نشان داده شده‌است. این خواص عبارتند از: دمای بحرانی مخلوط گازی، فشار بحرانی مخلوط گازی، جرم مولکولی مخلوط گازی، نسبت  $C_p/C_v$  مخلوط گازی و حجم بحرانی مخلوط گازی.



شکل ۱۲۵.۲: پنجره‌ای که با کلیک گزینه Mix باز می‌شود



شکل ۱۲۶.۲: خواص محاسبه شده برای مخلوط گازی جدید

### ۳.۳.۲ قرار دادن اجزای شبکه در صفحه اصلی نرم‌افزار PSSF

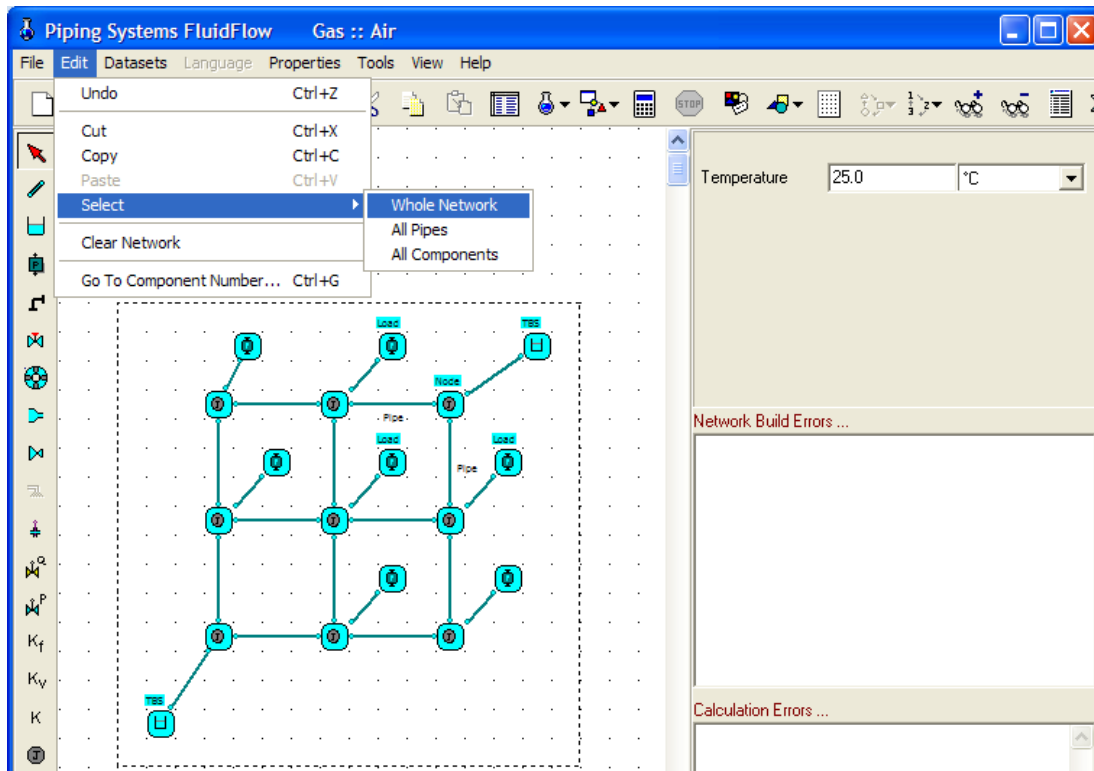
اجزایی از نرم‌افزار که در طراحی شبکه کاربرد دارند عبارتند از:

- ۳۸. جزء Pipe که برای شبیه‌سازی خطوط لوله شبکه بکار می‌رود.
  - ۳۹. جزء Flow Component که برای شبیه‌سازی ایستگاه تقلیل فشار بکار می‌رود.
  - ۴۰. جزء Pressure Component که برای شبیه‌سازی بار هر مصرف کننده بکار می‌رود.
  - ۴۱. جزء Connectors که برای شبیه‌سازی گره در شبکه خطوط لوله بکار می‌رود.
- نحوه قرار دادن اجزای شبکه در صفحه اصلی نرم‌افزار در بخش‌های قبلی آورده شده است.

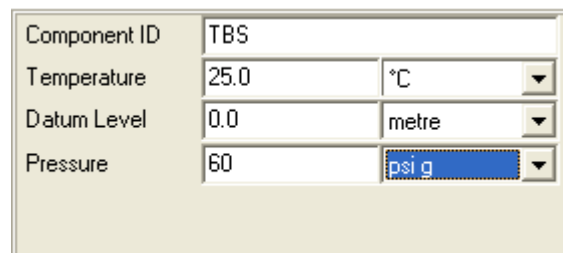
### ۴.۳.۲ وارد کردن اطلاعات ورودی هر جزء شبکه در نرم‌افزار PSSF

اطلاعات اجزای شبکه را به ترتیب زیر وارد کنید:

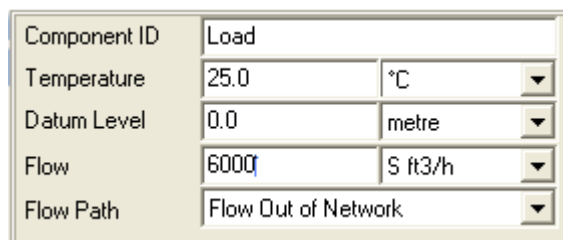
- ۴۲. وارد کردن دمای محیط در شبکه
- ابتدا از منوی Edit گزینه Select/WholeNetwork را انتخاب کنید. در این حالت متغیر مشترک هم اجزا که دما است در پنجره اطلاعات ورودی نرم‌افزار واقع در سمت راست پنجره نرم‌افزار مشاهده می‌شود. دمای شبکه را دمای محیط یعنی در حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد وارد کنید. شکل پنجره نرم‌افزار در این حالت در شکل ۱۲۷.۲ نشان داده شده است.
- ۴۳. وارد کردن اطلاعات ایستگاه تقلیل فشار
- بدین منظور جزء Flow component را با کلیک ماوس انتخاب کنید تا پنجره اطلاعات ورودی آن مشاهده شود. سپس تنها فشار خروجی از ایستگاه تقلیل فشار را در کادر Pressure همانطور که در شکل ۱۲۸.۲ نشان داده شده است وارد کنید.
- ۴۴. وارد کردن بار هر گره یا دبی مصرف کننده
- بدین منظور جزء Pressure component را با کلیک ماوس انتخاب کنید تا پنجره اطلاعات ورودی آن مشاهده شود. سپس تنها دبی هر مصرف کننده را در کادر Flow همانطور که در شکل ۱۲۹.۲ نشان داده شده است وارد کنید.



شکل ۱۲۷.۲: وارد کردن دمای محیط در شبکه



شکل ۱۲۸.۲: اطلاعات ایستگاه تقلیل فشار



شکل ۱۲۹.۲: اطلاعات بار هر گره یا دبی مصرف کننده

#### ۴۵. وارد کردن اطلاعات لوله‌ها

ابتدا از منوی Edit گزینه Select/All Pipes را انتخاب کنید. در این حالت پنجره اطلاعات همه لوله‌ها مشاهده می‌شود. حال اطلاعات مشترک همه لوله‌ها که قطر و ضخامت و زبری هستند را وارد کنید. شکل پنجره نرم‌افزار در این حالت در شکل ۱۲۷.۲ نشان داده شده‌است. در شبکه شبیه‌سازی شده دو نوع لوله وجود دارد:



- لوله متصل کننده گره به جزء Pressure Component که باید طول آن خیلی کم و در حدود ۰/۰۰۱ وارد شود. چون نمادی از مصرف کننده است و نباید مقاومتی در برابر جریان ایجاد کند. بدین منظور در همان حالتی که همه لوله‌ها در حالت انتخاب هستند طول آنها را ۰/۰۰۱ وارد کنید.
- لوله اتصال گره‌ها که لوله‌های اصلی شبکه هستند و طول های متفاوتی دارند. لذا باید اطلاعات آنها را تک تک وارد کرد. بدین منظور تک تک لوله ها را انتخاب و طول هر یک را وارد کنید.

اکنون اطلاعات شبکه کامل است و نرم‌افزار محاسبات را بطور خودکار انجام می‌دهد.

### ۵.۳.۲ بررسی نتایج حل شبکه با نرم‌افزار PSSF

برای بررسی نتایج حل شبکه با نرم‌افزار به نوار ابزار خروجی مراجعه کنید. این نوار ابزار در قسمت پائین و سمت چپ صفحه نرم‌افزار واقع است و به طور کلی نشان دهنده پیام‌های نرم‌افزار به کاربر است که در بخش‌های قبلی آورده شده است.

### ۶.۳.۲ نحوه شبیه‌سازی شبکه توزیع گاز با نرم‌افزار PIPEPHASE

برای اجرای نرم‌افزار کافی است از مسیر زیر اقدام کنید:

Start/All Programs/SIMSCI/ PIPEPHASE /PIPEPHASE 8. 1

با کلیک روی این گزینه پنجره اصلی نرم‌افزار همانطور که در شکل ۴۷.۲ نشان داده شده است مشاهده می‌گردد. حال برای طراحی شبکه با این نرم‌افزار باید مراحل زیر را باید انجام دهید.

۴۶. ایجاد یک پروژه جدید و فعال شدن نرم‌افزار

۴۷. کامل کردن اطلاعات Simulation Setup Wizard

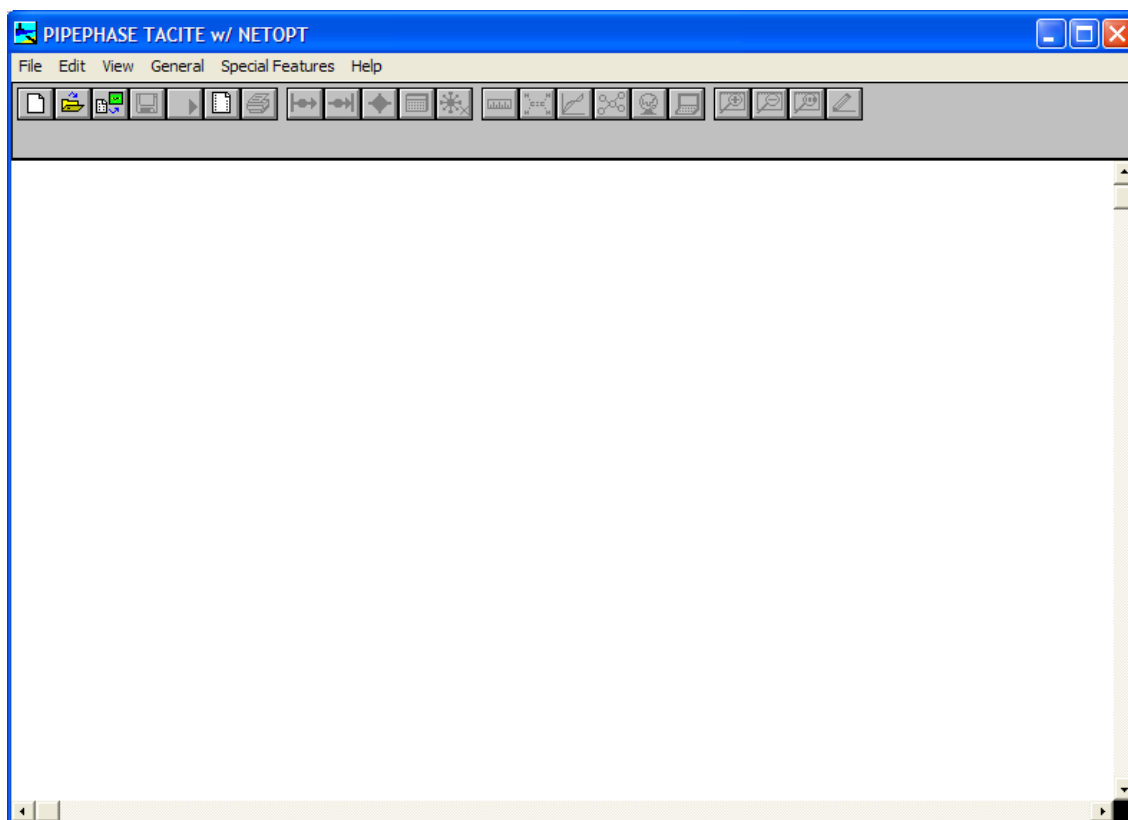
۴۸. انتخاب نوع مواد موجود در مخلوط گازی

۴۹. قرار دادن اجزای شبکه در صفحه اصلی نرم‌افزار

۵۰. وارد کردن اطلاعات ورودی هر جزء شبکه

۵۱. بررسی نتایج حل شبکه با نرم‌افزار

در ادامه به توضیح هر یک از مراحل فوق می‌پردازیم:



شکل ۱۳۰.۲: پنجره اصلی نرم‌افزار PIPEPHASE

### ۷.۳.۲ ایجاد یک پروژه جدید و فعال شدن نرم‌افزار PIPEPHASE

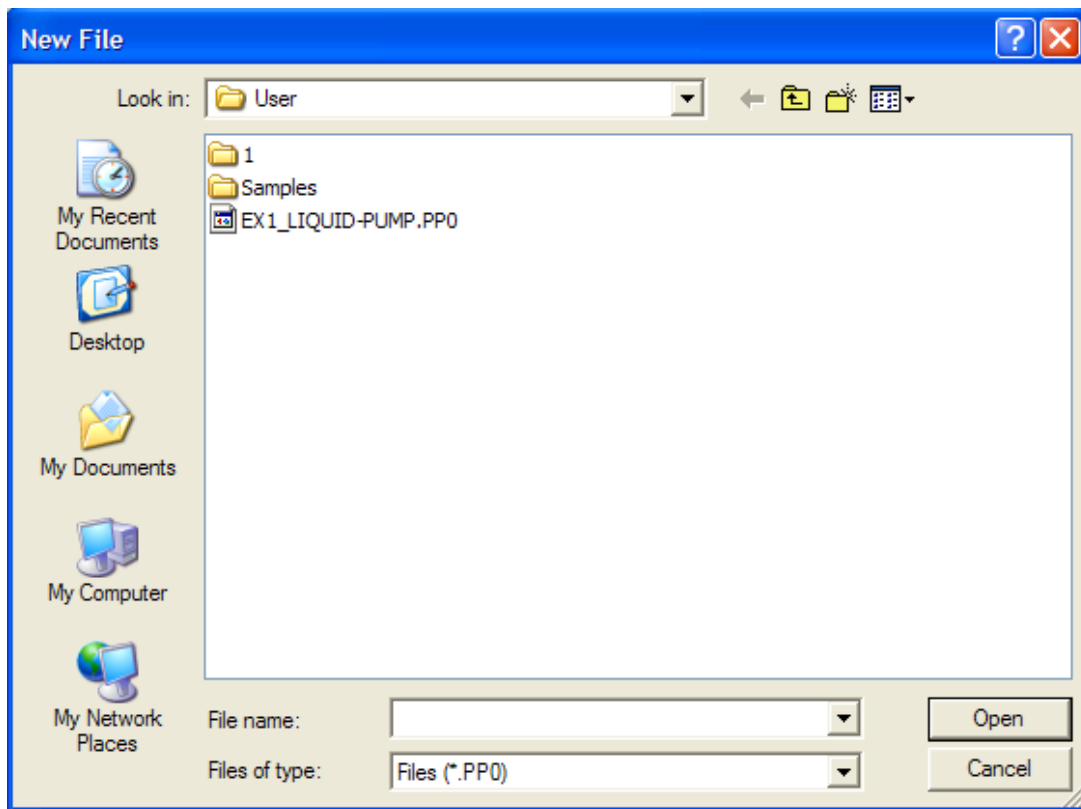
برای ایجاد یک پروژه جدید و فعال شدن نرم‌افزار کافی است از منوی File گزینه New را انتخاب کنید. حال پنجره‌ای باز می‌شود و در آن محل ذخیره شده پروژه را مشخص می‌کنید. این پنجره در شکل ۱۳۱.۲ نشان داده شده است.

### ۸.۳.۲ کامل کردن اطلاعات Simulation Setup Wizard نرم‌افزار PIPEPHASE

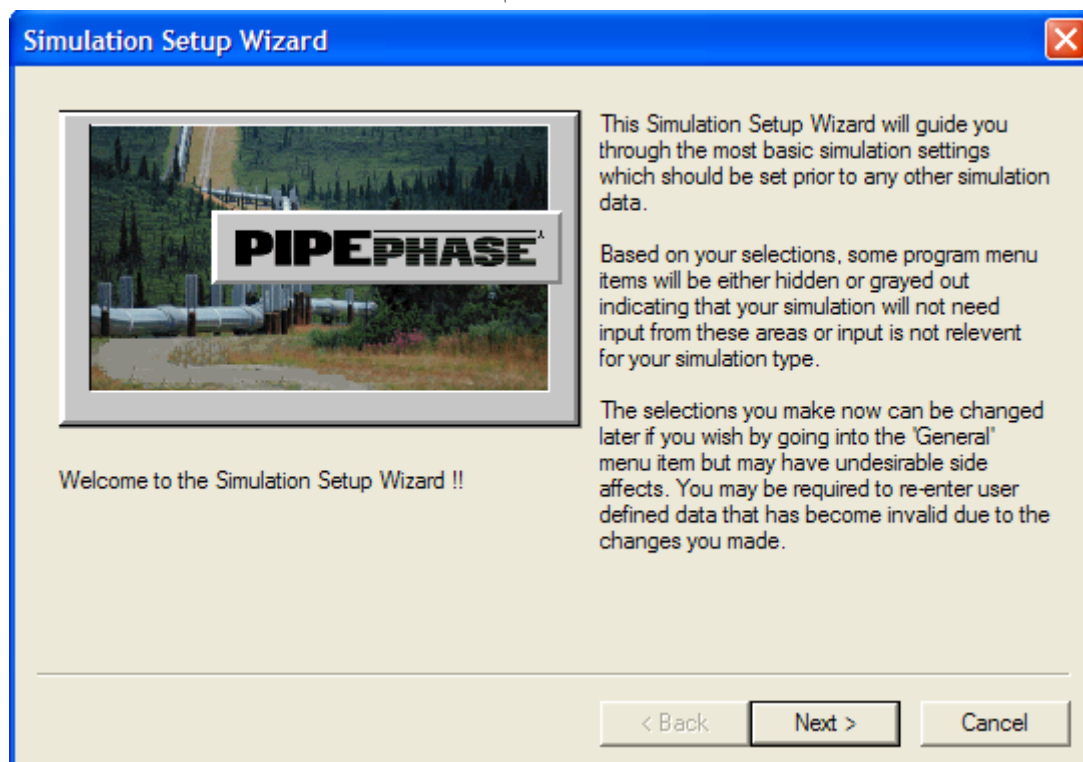
پس از ایجاد یک پروژه جدید و فعال شدن نرم‌افزار، پنجره Simulation Setup Wizard باز می‌شود که در ایجاد پروژه شبیه‌سازی کمک می‌کند. مراحل این Wizard عبارتند از:

۵۲. پنجره اولیه که بعد از انتخاب محل ذخیره سازی پروژه مشاهده می‌شود و در شکل ۴۸.۲ نشان داده شده است.

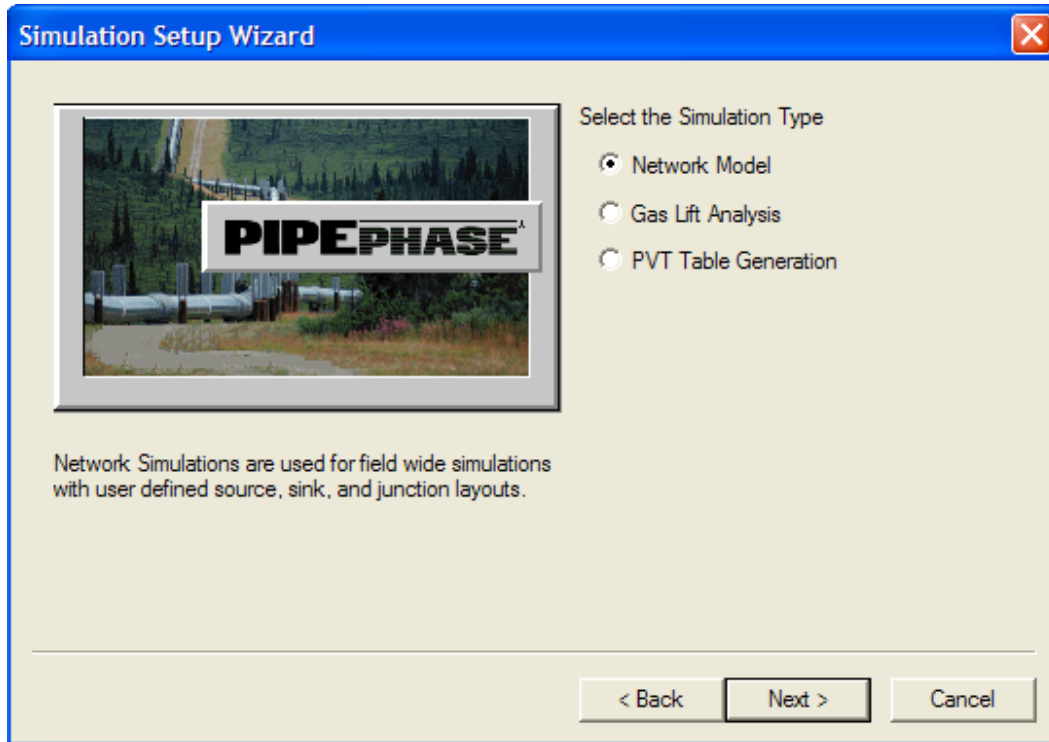
۵۳. پنجره انتخاب نوع پروژه شبیه‌سازی که با کلیک دکمه Next مشاهده می‌شود که در شکل ۴۹.۲ نشان داده شده است. گزینه Network Model که برای شبیه‌سازی شبکه خطوط لوله بکار می‌رود.



شکل ۱۳۱.۲: پنجره اصلی نرم‌افزار PIPEPHASE

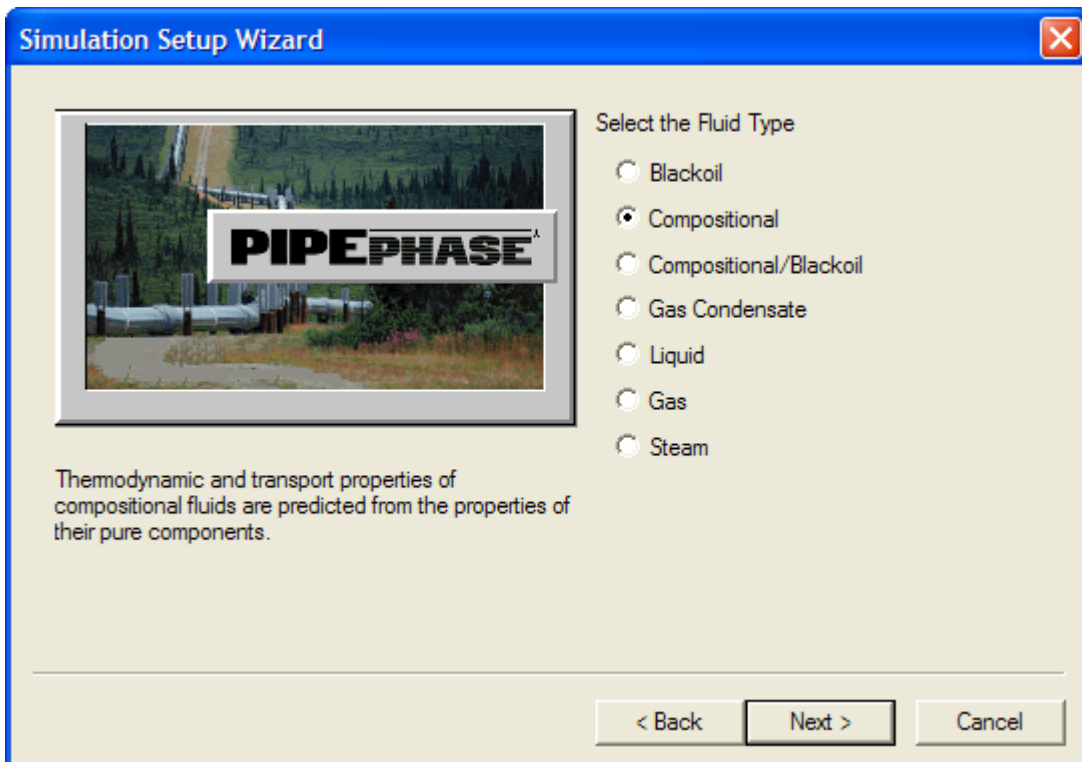


شکل ۱۳۲.۲: پنجره اولیه راهنمای ایجاد پروژه



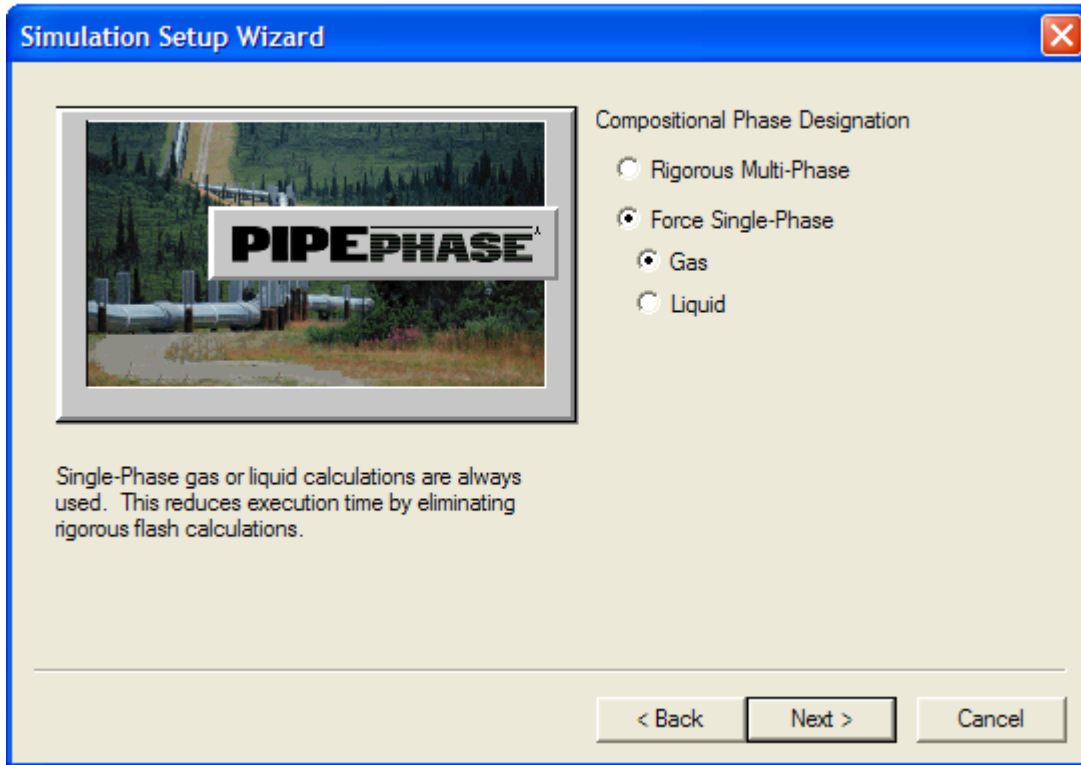
شکل ۱۳۳.۲: پنجره انتخاب نوع پروژه شبیه‌سازی

پنجره انتخاب نوع سیال مورد استفاده در پروژه شبیه‌سازی که با کلیک دکمه Next مشاهده می‌شود و در شکل ۵۰.۲ نشان داده شده‌است. گزینه **Compositional** برای شبیه‌سازی شبکه خطوط لوله بکار می‌رود.



شکل ۱۳۴.۲: پنجره انتخاب نوع سیال پروژه شبیه‌سازی

۵۴. پنجره انتخاب تک‌فازی یا دو فازی بودن جریان که با کلیک دکمه Next مشاهده می‌شود و در شکل ۱۳۵.۲ نشان داده شده‌است. گزینه Force-Single Phase و زیر گزینه Gas شبیه‌سازی شبکه خطوط لوله بکار می‌رود.

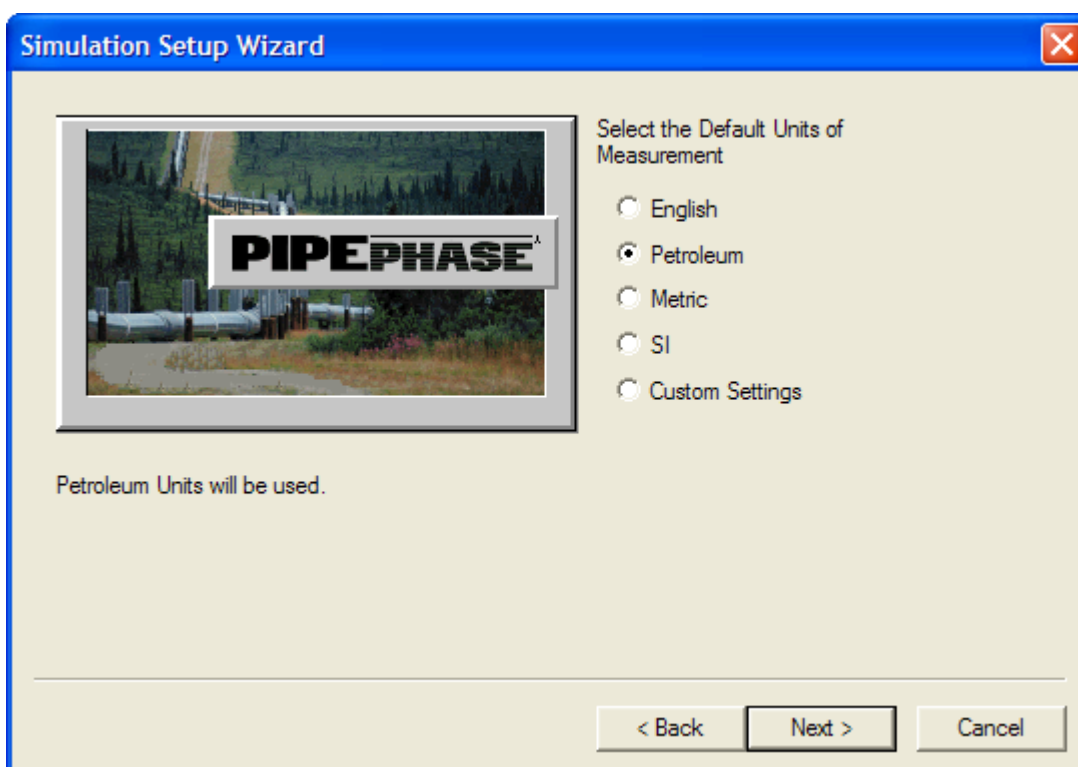


شکل ۱۳۵.۲: پنجره انتخاب نوع سیال پروژه شبیه‌سازی

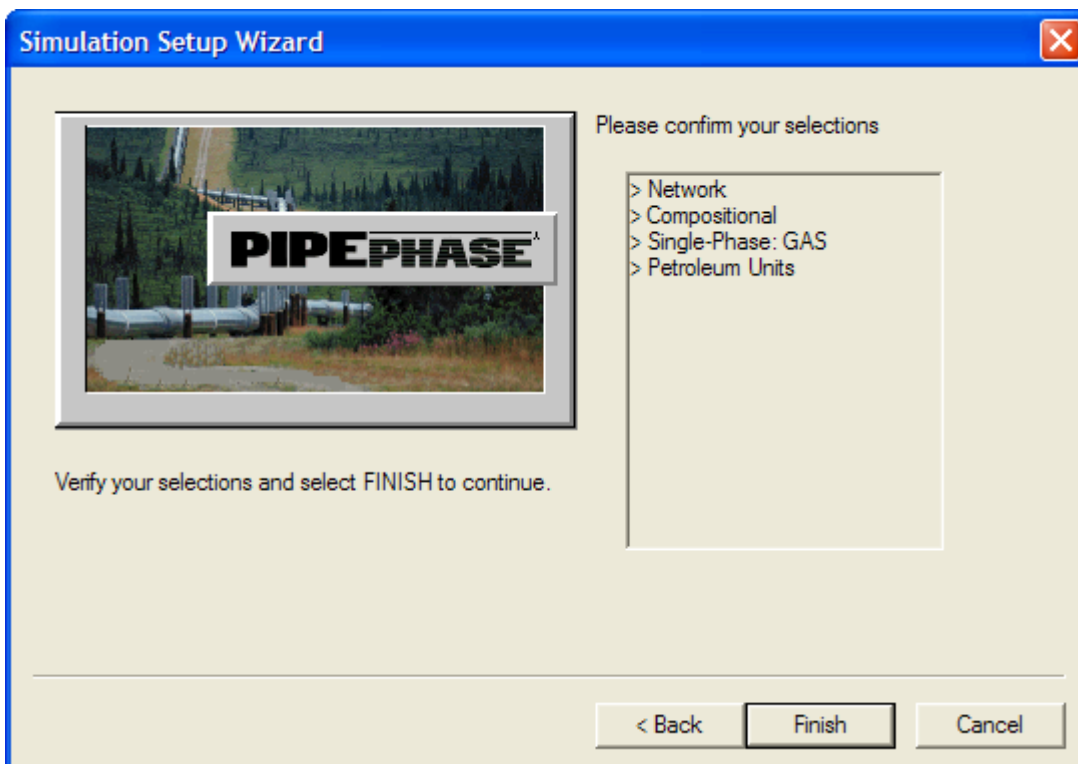
۵۵. پنجره انتخاب دستگاه آحاد پروژه شبیه‌سازی که با کلیک دکمه Next مشاهده می‌شود و در شکل ۵۱.۲ نشان داده شده‌است.

۵۶. پنجره تایید انتخاب گزینه‌های مراحل قبلی که با کلیک دکمه Next مشاهده می‌شود و در شکل ۵۲.۲ نشان داده شده‌است.

۵۷. با کلیک دکمه Finish، پنجره Simulation Setup Wizard بسته شده و محیط شبیه‌سازی نرم‌افزار مشاهده خواهد شد.



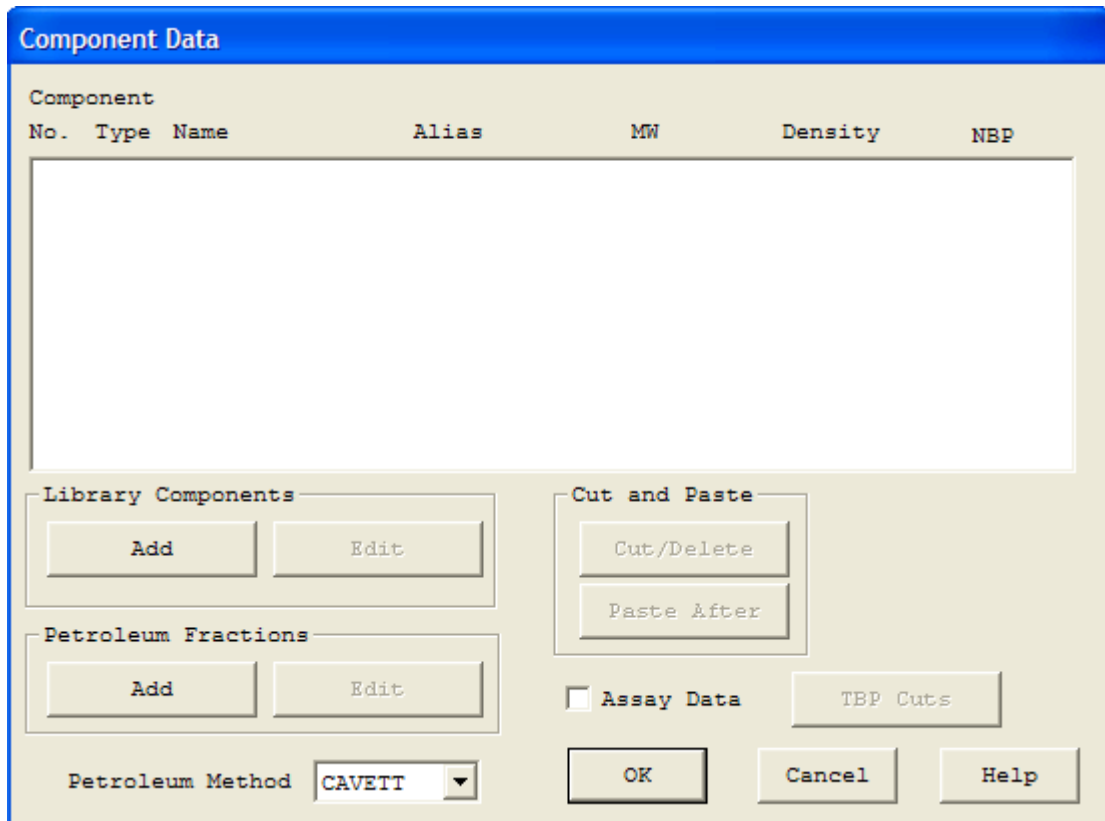
شکل ۱۳۶.۲: پنجره انتخاب دستگاه آحاد پروژه شبیه‌سازی



شکل ۱۳۷.۲: پنجره تایید انتخاب گزینه‌های پروژه شبیه‌سازی

### ۹.۳.۲ انتخاب نوع مواد موجود در مخلوط گازی در نرم‌افزار PIPEPHASE

با کلیک دکمه با کلیک دکمه Finish و بسته شدن پنجره Simulation Setup Wizard ، پنجره انتخاب نوع مواد موجود در مخلوط گازی باز می‌شود. این پنجره در شکل ۱۳۸.۲ نشان داده شده‌است.




شکل ۱۳۸.۲: پنجره انتخاب نوع مواد موجود در مخلوط گازی

برای انتخاب مواد دکمه Add از قسمت Library Components را کلیک کنید تا پنجره‌ای که در شکل ۱۳۹.۲ نشان داده شده‌است باز شود. حال از این پنجره مواد مورد نظر را انتخاب کرده و دکمه Add Component را برای اضافه کردن آن ماده به مخلوط گازی کلیک کنید. سپس دکمه Ok را کلیک کنید.

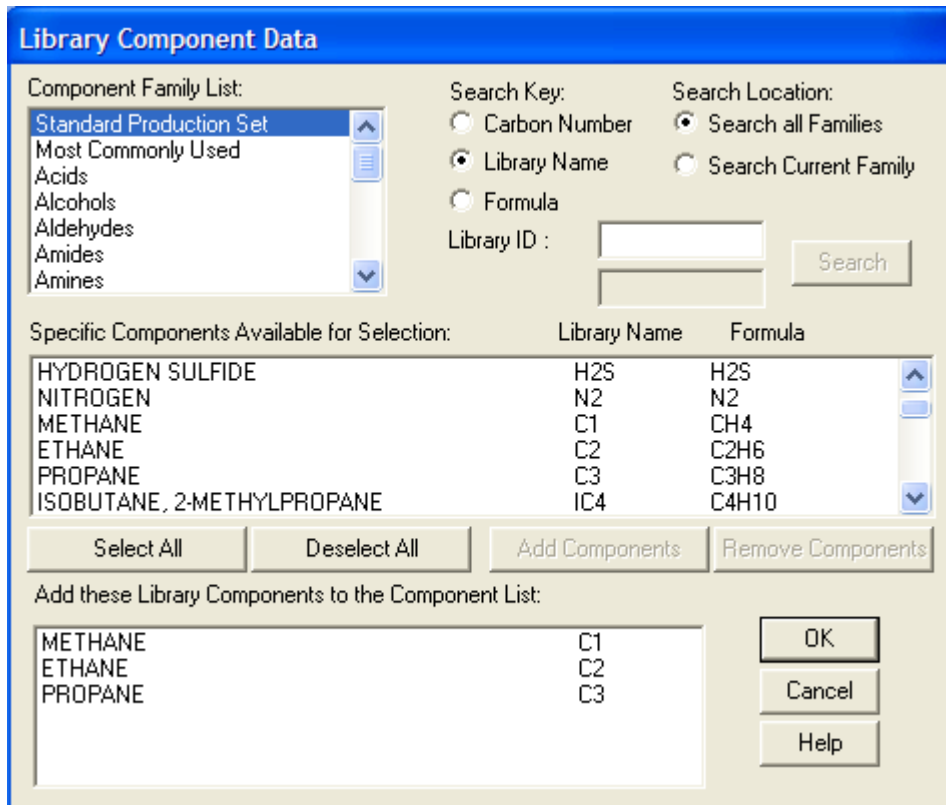
### ۱۰.۳.۲ قرار دادن اجزای شبکه در صفحه اصلی نرم‌افزار PIPEPHASE

اجزایی از نرم‌افزار که در طراحی شبکه کاربرد دارند عبارتند از:

۵۸. جزء Compositional Source


برای قرار دادن این جزء ابتدا روی دکمه  با ماوس کلیک کرده و سپس روی صفحه اصلی نمودار جریانی کلیک کنید. شکل این جزء در صفحه اصلی در شکل ۸۱.۲ نشان داده

شده‌است. برای مشاهده پنجره خواص این جزء به منظور وارد کردن اطلاعات کافی است دو بار روی شکل آن در صفحه اصلی کلیک کنید. پنجره خواص آن در شکل ۸۲.۲ نشان داده شده‌است. این جزء برای شبیه‌سازی ایستگاه تقلیل فشار بکار می‌رود.



شکل ۱۳۹.۲: پنجره اضافه کردن مواد مخلوط گازی

## ۵۹. جزء Sink

برای قرار دادن این جزء ابتدا روی دکمه  با ماوس کلیک کرده و سپس روی صفحه اصلی نمودار جریانی کلیک کنید. شکل این جزء در صفحه اصلی در شکل ۸۳.۲ نشان داده شده‌است. برای مشاهده پنجره خواص این جزء به منظور وارد کردن اطلاعات کافی است دو بار روی شکل آن در صفحه اصلی کلیک کنید. پنجره خواص آن در شکل ۱۴۳.۲ نشان داده شده‌است. این جزء برای شبیه‌سازی بار هر گره یا مصرف کننده بکار می‌رود.



S001

شکل ۱۴۰.۲: شکل جزء Compositional Source در صفحه اصلی




شکل ۱۴۱.۲: پنجره خواص منبع جریان در شبکه در حالت انتخاب سیال ترکیبی



شکل ۱۴۲.۲: شکل جزء Sink در صفحه اصلی

## ۶۰. جزء Junction

برای قرار دادن این جزء ابتدا روی دکمه  با ماوس کلیک کرده و سپس روی صفحه اصلی نمودار جریانی کلیک کنید. شکل این جزء در صفحه اصلی در شکل ۱۴۴.۲ نشان داده شده است. برای مشاهده پنجره خواص این جزء به منظور وارد کردن اطلاعات کافی است دو بار روی شکل آن در صفحه اصلی کلیک کنید. پنجره خواص آن در شکل ۱۴۵.۲ نشان داده شده است. این جزء برای شبیه‌سازی ایستگاه تقلیل فشار بکار می‌رود.

شکل ۱۴۳.۲: پنجره خواص دریافت کننده جریان در شبکه در حالت انتخاب سیال ترکیبی

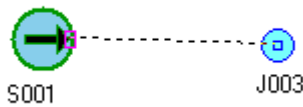
J003

شکل ۱۴۴.۲: شکل جزء Junction در صفحه اصلی

شکل ۱۴۵.۲: پنجره خواص منبع جریان در شبکه در حالت انتخاب سیال ترکیبی

## ۶۱. جزء Pipe

قبل از قرار دادن این جزء باید ۳ جزء بالا در شبکه قرار داده شوند. بعنوان مثال برای متصل کردن دو جزء Source و Junction، ابتدا روی منبع جریان کلیک چپ کرد. در این حالت مربع کوچکی جلوی آن ظاهر می‌شود. حال باید روی آن مربع کلیک چپ کرده و آن را نگه داشت و به سمت مربع کوچکی که در وسط Junction قرار دارد، کشید. اکنون دو جزء به هم متصل شده‌اند. شکل نمودار جریانی در این حالت در شکل ۸۴.۲ نشان داده شده‌است.

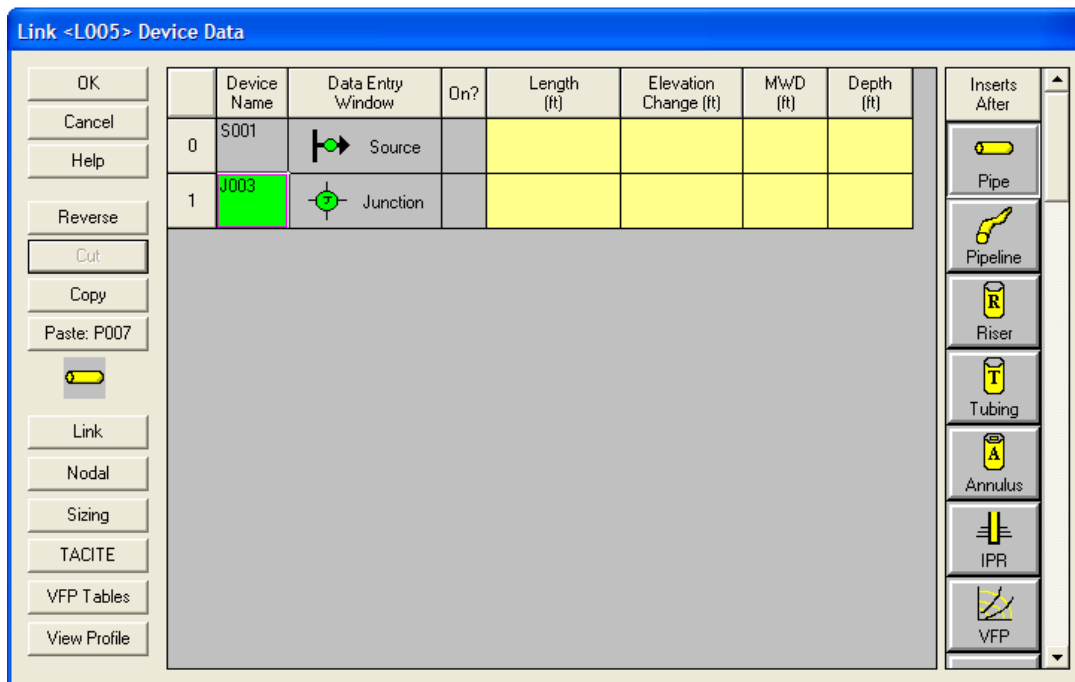


شکل ۱۴۶.۲: شکل نمودار جریانی

اکنون برای تعریف لوله کافی است روی خط بین Source و Junction دو بار کلیک نمود تا پنجره‌ای که در شکل ۸۵.۲ نشان داده شده‌است باز شود. سپس از نوار ابزار اجزای نرم‌افزار که در



سمت راست پنجره قرار دارد دکمه را برای اضافه کردن جزء Pipe کلیک کرد.



شکل ۱۴۷.۲: پنجره انتخاب اجزای شبکه

حال برای مشاهده پنجره خواص آن کافی است روی شکل آن در قسمت Data Entry Window کلیک کنید. پنجره خواص آن در شکل ۱۴۸.۲ نشان داده شده است. جزء Pipe برای تعریف تک لوله در شبکه خطوط لوله بکار می‌رود.

شکل ۱۴۸.۲: پنجره خواص جزء Pipe

به همین ترتیب می‌توان دیگر اجزاء را به هم وصل و لوله را به آن‌ها اضافه کرد. مثالی از شکل چپ‌ش شبکه در این نرم‌افزار در شکل ۱۴۹.۲ نشان داده شده است.

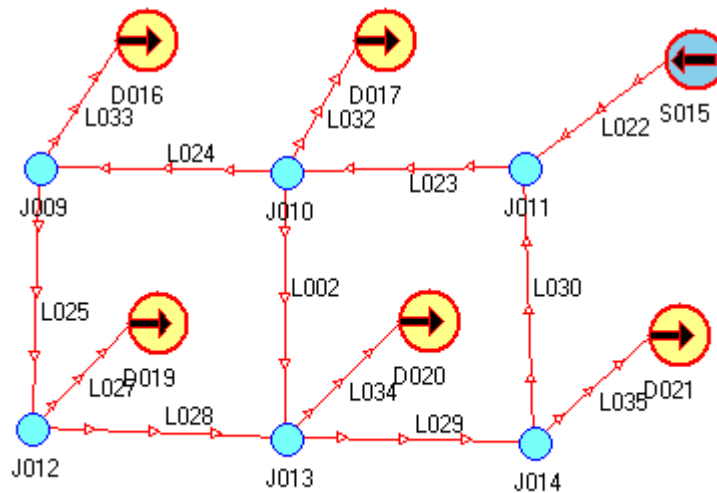
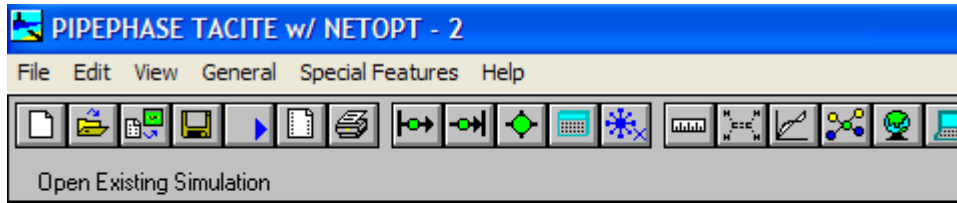
### ۱۱.۳.۲ وارد کردن اطلاعات ورودی هر جزء شبکه در نرم‌افزار PIPEPHASE

اطلاعات اجزای شبکه را به ترتیب زیر وارد کنید:

۶۲. وارد کردن اطلاعات ایستگاه تقلیل فشار

بدین منظور بر روی شکل جزء Compositional Source در صفحه اصلی دو بار کلیک کنید تا پنجره اطلاعات ورودی آن مشاهده شود. سپس اطلاعات آن را طبق مراحل زیر وارد کنید:

- نام آن را از طریق کادر Source Name ویرایش کنید.
- در قسمت Pressure و کادر Fixed فشار خروجی از ایستگاه تقلیل فشار را وارد کنید.



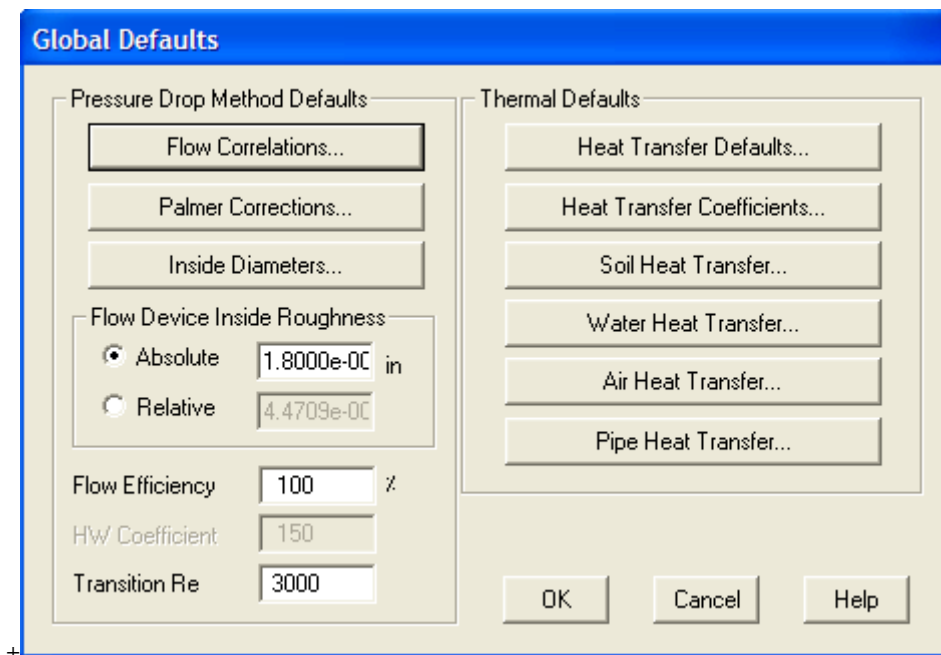
شکل ۱۴۹.۲: مثالی از شکل چینش شبکه در این نرم‌افزار

- در **Standard Flow Rate** و **Estimated** مقداری به عنوان حدس اولیه دبی خروجی از ایستگاه وارد کنید.
  - در **Temperature** مقدار دمای سیال را وارد کنید.
  - در قسمت **Composition** دکمه **Define Composition** را کلیک کنید و ترکیب درصد اجزای مخلوط گازی را وارد کنید.
  - سپس دکمه **OK** را کلیک کنید.
۶۳. وارد کردن بار هر گره یا دبی مصرف کننده
- بدین منظور بر روی شکل جزء **Sink** در صفحه اصلی دو بار کلیک کنید تا پنجره اطلاعات ورودی آن مشاهده شود. سپس اطلاعات آن را طبق مراحل زیر وارد کنید:
- نام آن را از طریق کادر **Sink Name** ویرایش کنید.
  - در قسمت **Pressure** و **Estimated** حدس اولیه ای برای فشار تحویلی به مصرف کننده وارد کنید.

- در Standard Flow Rate و کادر Fixed مقداری دبی مصرف کننده را وارد کنید.
- سپس دکمه OK را کلیک کنید.

۶۴. وارد کردن اطلاعات لوله‌ها

ابتدا از منوی General گزینه Global Defaults را انتخاب کرده تا پنجره‌ای که در شکل ۱۵۰.۲ نشان داده شده است باز گردد.



شکل ۱۵۰.۲: پنجره اطلاعات Global Defaults

اطلاعات این پنجره را طبق مراحل زیر وارد کنید:

- دکمه Flow Correlations را کلیک کنید تا پنجره مربوط به آن باز شود. سپس معادله مورد نظر خود را برای محاسبات کلیه لوله‌ها انتخاب کنید.
- دکمه Inside Diameter را کلیک کنید تا پنجره مربوط به آن باز شود و قطر مشترک خطوط لوله شبکه را وارد کنید.
- در قسمت Flow Device Inside Roughness زبری مشترک خطوط لوله شبکه را وارد کنید.
- سپس دکمه OK را کلیک کنید.


در شبکه شبیه‌سازی شده دو نوع لوله وجود دارد:

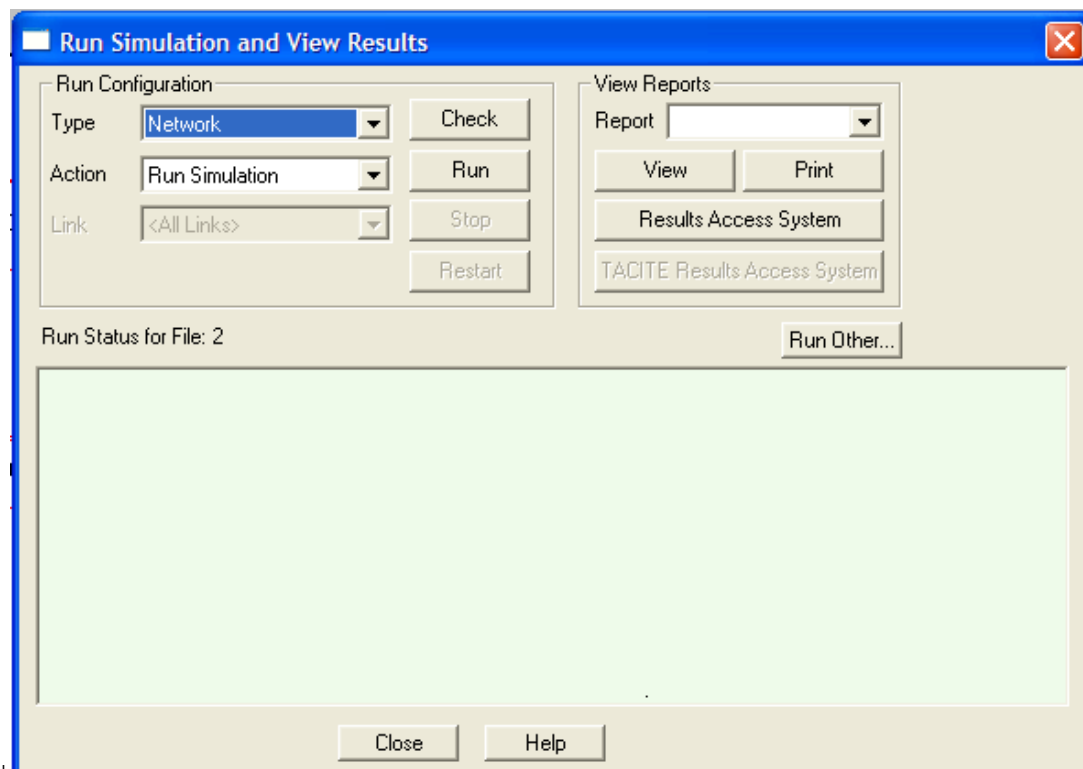
۶۵. لوله متصل کننده گره به جزء Sink که باید طول آن خیلی کم و در حدود ۰/۰۰۱ وارد شود. چون نمادی از مصرف کننده است و نباید مقاومتی در برابر جریان ایجاد کند.

۶۶. لوله اتصال گره‌ها که لوله‌های اصلی شبکه هستند و طول‌های متفاوتی دارند.

برای وارد کردن بقیه اطلاعات لوله‌ها باید به پنجره خواص هر یک مراجعه و اطلاعات آنها را وارد کنید.

### ۱۲.۳.۲ بررسی نتایج حل شبکه با نرم‌افزار PIPEPHASE

برای حل شبکه توسط نرم‌افزار دکمه Run  را کلیک کرده تا پنجره‌ای که در شکل ۱۵۱.۲ نشان داده شده است، باز شود. در این پنجره ابتدا دکمه Check را کلیک کنید تا نرم‌افزار شبکه را از لحاظ کامل بودن اطلاعات ورودی چک کند. در صورت کامل بودن اطلاعات ورودی دکمه RUN را برای انجام محاسبات کلیک کنید. برای مشاهده نتایج هم کافی است از قسمت View Report استفاده کنید.



شکل ۱۵۱.۲: پنجره Run

## ۴.۲ شبیه‌سازی شبکه خطوط لوله شهر شوش

به منظور مقایسه عملکرد و نتایج محاسبات نرم‌افزارهای PSSF و PIPEPHASE و GPNet شبکه خطوط لوله شهر شوش توسط این سه نرم‌افزار شبیه‌سازی شده است.

### ۱.۴.۲ معرفی شبکه خطوط لوله شهر شوش

شبکه توزیع این شهر دارای یک ایستگاه TBS با فشار ۶۰ و ۵۲ psig گره یا مصرف کننده می‌باشد. گاز ورودی به این شهر دارای وزن مخصوصی برابر با ۰/۶۵ می‌باشد. اکنون به بررسی نحوه شبیه‌سازی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط هر یک از نرم‌افزارها می‌پردازیم. به منظور مقایسه عملکرد نرم‌افزارها سه مورد بررسی می‌گردد:

۶۷. مقایسه نوع اطلاعات ورودی نرم‌افزارها

۶۸. مقایسه نحوه محاسبات توسط نرم‌افزارها

۶۹. مقایسه نتایج محاسبات نرم‌افزارها

### ۲.۴.۲ شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار GPNet

۷۰. اطلاعات ورودی نرم‌افزار GPNet

- قسمتی اطلاعات ورودی برای شبیه‌سازی شبکه توزیع شهر شوش با استفاده از نرم‌افزار GPNet در جدول ۱.۲ نشان داده شده است. این اطلاعات در پنجره General Setting نرم‌افزار وارد می‌شود.

جدول ۱.۲: قسمتی از اطلاعات ورودی نرم‌افزار GPNet

نام سربرگ	نام خاصیت	مقدار وارد شده
سربرگ General	Speicific Gravity	0.65
	Compressibility Factor	1
	Coincidence Factor	1
	Pipe Length Modify Factor	1
سربرگ Units	Pipe Length	m
	Pressure	psig
	Pipe Diameter	inch
	Gas Flow Rate	1000 cubic foot/day
سربرگ Equation	Equation for Pressure Drop	Panhandle Revised



• در سربرگ Equation امکان انتخاب معادلات زیر وجود دارد.

- Panhandle
- Weymouth
- Spitzglass Low Pressure
- Spitzglass High Pressure
- Panhandle Revised
- IGT

• وارد کردن فشار ایستگاه TBS که ۶۰ psig است.

• وارد کردن اطلاعات دبی هر یک از مصرف‌کننده‌ها و یا دبی خروجی از هر گره در نرم افزار

• وارد کردن طول و قطر هر لوله

۷۱. نقاط ضعف در اطلاعات ورودی نرم‌افزار GPNet

- نگرش دمای سیال در شبکه از کاربر
- ثابت فرض کردن ضریب تراکم‌پذیری سیال در تمامی شبکه
- عدم توانایی در وارد کردن ترکیب درصد گاز توسط کاربر
- نگرش زبری لوله برای محاسبات افت فشار

۷۲. نحوه محاسبات توسط نرم‌افزار GPNet

این نرم‌افزار با توجه به اطلاعات وارد شده، حدس اولیه‌ای برای فشار در هر گره و دبی ورودی به ایستگاه TBS زده و سپس معادلات تمامی لوله‌ها و گره‌ها را همزمان حل می‌کند و نتایج محاسبات را به عنوان حدس مرحله بعد محاسبات قرار می‌دهد و آنقدر محاسبات را تکرار می‌کند تا جواب دو مرحله محاسبات با هم یکی شود.

۷۳. نتایج محاسبات نرم‌افزار GPNet

به منظور سهولت در مقایسه نتایج نرم‌افزارها باید واحدهای متغیرهای خروجی نرم‌افزارها یکسان باشد. واحدهای متغیرهای خروجی نرم‌افزار GPNet از طریق سربرگ Gegeral Setting قابل تنظیم است که در

جدول ۲.۲ نشان داده شده است. نتایج کامل محاسبات در پیوست الف آورده شده است.

جدول ۲.۲: واحدهای متغیرهای خروجی نرم‌افزار GPNet

نام سربرگ	نام خاصیت	مقدار وارد شده
Units سربرگ	Pipe Length	m
	Pressure	psig
	Pipe Diameter	inch
	Gas Flow Rate	1000 cubic foot/day
	Gas Velocity	ft/s

### ۳.۴.۲ شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PSSF

۷۴. اطلاعات ورودی نرم‌افزار PSSF

- قسمتی اطلاعات ورودی برای شبیه‌سازی شبکه توزیع شهر شوش با استفاده از نرم افزار PSSF در جدول ۳.۲ نشان داده شده‌است. این اطلاعات در پنجره General Setting نرم‌افزار وارد می‌شود.

جدول ۳.۲: قسمتی از اطلاعات ورودی نرم‌افزار PSSF

نوع اطلاعات	نام خاصیت	مقدار وارد شده
اطلاعات عمومی خط لوله	Roughness	0 mm
	Pipe Type	Steel:Schedule 40
	Pipe LengthUnit	m
	Pipe Diameter Unit	inch
اطلاعات عمومی	Pressure Unit	psig
	Temperature	25 CC
	Gas Flow Rate	S ft <sup>3</sup> /h
	Equation for Pressure Drop	MDarcy

- انتخاب نوع سیال شبکه که ترکیب درصد اجزای گاز را از کاربر می‌گیرد. لذا ترکیب درصد گاز طوری انتخاب شد که وزن مخصوص آن مساوی ۰/۶۵ گردد. البته نرم‌افزار یک سیال فرضی برای گاز بنام Natural Gas(Typical) دارد، که وزن مخصوص آن مساوی ۰/۶۵ می‌گردد. برای شبیه‌سازی از این سیال استفاده شده‌است.
- وارد کردن فشار ایستگاه TBS که ۶۰ psig است.
- وارد کردن اطلاعات دبی هر یک از مصرف کنندگان و یا دبی خروجی از هر گره در نرم افزار

- وارد کردن طول و قطر هر لوله

۷۵. نقاط ضعف در اطلاعات ورودی نرم‌افزار PSSF

عدم توانایی کاربر در انتخاب معادلات گوناگون افت فشار برای محاسبات شبکه

۷۶. نقاط قوت در اطلاعات ورودی نرم‌افزار PSSF

- گرفتن دما از کاربر در هر نقطه از شبکه
- محاسبه ضریب تراکم پذیری گاز در هر نقطه از شبکه با توجه به دما و فشار گاز
- گرفتن زبری لوله از کاربر

۷۷. نحوه محاسبات توسط نرم‌افزار PSSF

روش انجام محاسبات در این نرم‌افزار به علت تجاری بودن آن معرفی نشده است.

۷۸. نتایج محاسبات نرم‌افزار PSSF

به منظور سهولت در مقایسه نتایج نرم‌افزارها باید واحدهای متغیرهای خروجی نرم‌افزارها یکسان باشد. واحدهای متغیرهای خروجی در این نرم‌افزار قابل تنظیم نیستند که در جدول ۴.۲ نشان داده شده است. نتایج کامل محاسبات در پیوست ب آورده شده است.

جدول ۴.۲: واحدهای متغیرهای خروجی نرم‌افزار PSSF

نام سربرگ	نام خاصیت	مقدار وارد شده
Units سربرگ	Pipe Length	m
	Pressure	psig
	Pipe Diameter	inch
	Gas Flow Rate	lb/min
	Gas Velocity	ft/s

#### ۴.۴.۲ شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PIPEPHASE

۷۹. اطلاعات ورودی نرم‌افزار PIPEPHASE

- ابتدا از مسیر General / Simulation Definition ، نوع سیال شبکه را از کادر Fluid Type Gas، انتخاب کنید.
- قسمتی اطلاعات ورودی برای شبیه‌سازی شبکه توزیع شهر شوش با استفاده از نرم افزار PIPEPHASE در جدول ۵.۲ نشان داده شده است.

جدول ۵.۲: قسمتی از اطلاعات ورودی نرم‌افزار PIPEPHASE

نام پنجره	نام خاصیت	مقدار وارد شده
Global Default	Flow Correlation(pipe)	Panhandle B
	Inside Diameter(pipe)	Actual 4 in
	Flow Device Inside Roughness	0in
	Heat Transfer Default(pipe)	Isothermal
	Ambient Temperature	25 cc
Input Unit of Measurement		
	Temperature	C
	Pressure	psig
	Gas Vol Rate	MM ft <sup>3</sup> /day
	Pipe Length	m

- انتخاب نوع سیال شبکه که وزن مخصوص آن مساوی ۰/۶۵ وارد می‌گردد. این کار از طریق Fluid Property Data انجام می‌شود.

- وارد کردن فشار ایستگاه TBS که ۶۰ psig است.

- وارد کردن اطلاعات دبی هر یک از مصرف‌کننده‌ها و یا دبی خروجی از هر گره در نرم‌افزار

- وارد کردن طول و قطر هر لوله

۸۰. نقاط قوت در اطلاعات ورودی نرم‌افزار PIPEPHASE

- گرفتن دما از کاربر در هر نقطه از شبکه

- محاسبه ضریب تراکم‌پذیری گاز در هر نقطه از شبکه با توجه به دما و فشار گاز

- امکان انتخاب معادلات گوناگون محاسبه افت فشار توسط کاربر

۸۱. نحوه محاسبات توسط نرم‌افزار PIPEPHASE

این نرم‌افزار علاوه بر اطلاعات وارد شده، حدس اولیه‌ای برای فشار در هر گره و دبی ورودی به ایستگاه TBS از کاربر می‌گیرد و سپس معادلات تمامی لوله‌ها و گره‌ها را همزمان حل می‌کند و نتایج محاسبات را به عنوان حدس مرحله بعد محاسبات قرار می‌دهد و آنقدر محاسبات را تکرار می‌کند تا جواب دو مرحله محاسبات با هم یکی شود.

## ۸۲. نتایج محاسبات نرم‌افزار PIPEPHASE

به منظور سهولت در مقایسه نتایج نرم‌افزارها باید واحدهای متغیرهای خروجی نرم‌افزارها یکسان باشد. واحدهای متغیرهای خروجی در این نرم‌افزار قابل تنظیم نیستند که در جدول ۶.۲ نشان داده شده است.

جدول ۶.۲: واحدهای متغیرهای خروجی نرم‌افزار PIPEPHASE

نام سربرگ	نام خاصیت	مقدار وارد شده
Units سربرگ	Pipe Length	m
	Pressure	psig
	Pipe Diameter	inch
	Gas Flow Rate	lb/min
	Gas Velocity	ft/s

## ۵.۴.۲ مقایسه نتایج حاصل از نرم‌افزارها و تحلیل آن‌ها

موارد مقایسه نتایج حاصل از نرم‌افزارها عبارتند از:

- مقایسه دبی ورودی محاسبه شده به ایستگاه TBS
- مقایسه فشار محاسبه شده در هر گره
- مقایسه دبی عبوری از هر لوله
- مقایسه جهت جریان در لوله‌ها

با توجه به نداشتن لیسانس نرم‌افزار PIPEPHASE امکان انجام محاسبات توسط این نرم‌افزار وجود نداشت. ولی با تحقیقات به عمل آمده از شرکت نویسنده برنامه GPNet، نتایج محاسبات نرم‌افزار PIPEPHASE با GPNet یکسان است. لذا در ادامه به مقایسه نتایج دو نرم‌افزار GPNet و PSSF می‌پردازیم.

از بین معادلات انتخابی نرم‌افزار GPNet، نتایج محاسبات معادله Panhandle Revised همخوانی خوبی با نتایج محاسبات نرم‌افزار PSSF داشت. لذا برای مقایسه از نتایج محاسبات با این معادله استفاده شده است.

## ۸۳. مقایسه دبی ورودی محاسبه شده به ایستگاه TBS

دبی ورودی محاسبه شده به ایستگاه TBS توسط دو نرم‌افزار GPNet و PSSF در

جدول ۷.۲ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که نتایج مشابهی دارند.

جدول ۷.۲: دبی ورودی محاسبه شده به ایستگاه TBS توسط دو نرم‌افزار GPNet و PSSF

نرم‌افزار GPNet	۵۷۵۹/۹۸ Mf3/d	۱۹۸/۶۸ lb/min
نرم‌افزار PSSF	۱۹۹/۵۵ lb/min	

۸۴. مقایسه فشار محاسبه شده در هر گره

فشار محاسبه شده در برخی از گره‌ها توسط دو نرم‌افزار GPNet و PSSF در جدول ۸.۲

ارائه شده است. مشاهده می‌شود که نتایج مشابهی دارند.

۸۵. مقایسه دبی عبوری از هر لوله

سرعت و دبی عبوری در برخی از لوله‌ها توسط دو نرم‌افزار GPNet و PSSF در جدول ۹.۲

ارائه شده است. مشاهده می‌شود که نتایج مشابهی دارند.

جدول ۸.۲: فشار محاسبه شده در برخی از گره‌ها توسط دو نرم‌افزار GPNet و PSSF

فشار در گره (psig)	نرم‌افزار GPNet	نرم‌افزار PSSF
گره ۰	۵۳/۹	۵۵/۳۹۳
گره ۲	۵۴	۵۵/۵۲۳
گره ۳	۵۳/۸	۵۵/۳۶
گره ۴	۵۳/۹	۵۵/۴۲۸
گره ۵	۵۴/۳	۵۵/۷۹۴
گره ۶	۵۴/۵	۵۵/۹۶۹
گره ۷	۵۴/۴	۵۵/۸۱۲
گره ۸	۵۴/۷	۵۶/۱۰۲
گره ۹	۵۳/۷	۵۵/۲۸۸
گره ۱۰	۵۳/۷	۵۵/۲۳۹

جدول ۹.۲: دبی عبوری در برخی از لوله‌ها توسط دو نرم‌افزار GPNet و PSSF

نرم‌افزار PSSF	نرم‌افزار GPNet	دبی عبوری از لوله (lb/min)
۱۷/۲۸	۱۷/۴۲	لوله ۳۵
۱۸/۶۶	۱۸/۷۸	لوله ۱
۲۰/۳۹	۲۰/۵۰	لوله ۲۷
۲۰/۱۱	۲۰/۱۲	لوله ۲۶
۴/۵۷	۴/۵۱	لوله ۲
۱۶/۶۱	۱۶/۳۷	لوله ۴۳
۲۱/۸۷	۲۱/۵۷	لوله ۴۲
۵۰/۵۸	۵۰/۳۶	لوله ۲۸

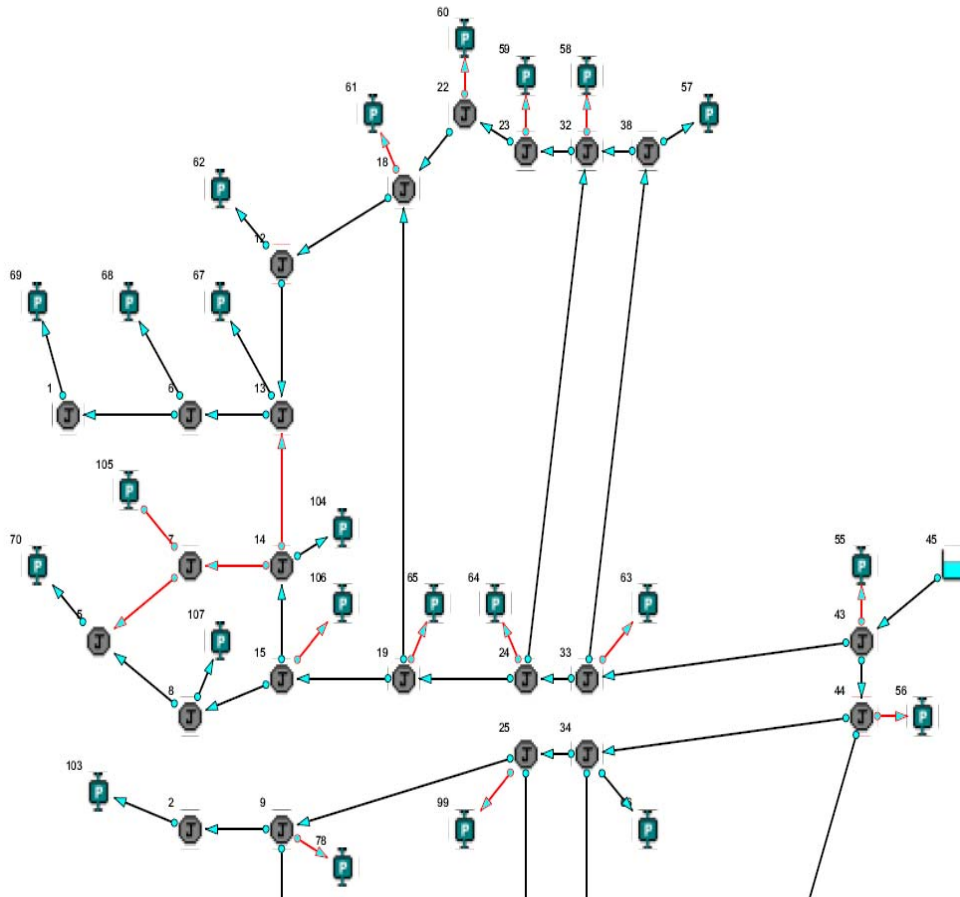
## ۸۶. مقایسه جهت جریان در لوله‌ها

جهت جریان در لوله‌ها هم که توسط نرم‌افزارها بدست آمده است، همخوانی دارند. شکل شماتیک شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار PSSF در شکل ۱۵۲.۲ و شکل ۱۵۳.۲، شکل شماتیک شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار GPNet در شکل ۱۵۵.۲، شکل شماتیک شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار PIPEPHASE در شکل ۱۵۶.۲ نشان داده شده است.

## ۶.۴.۲ نتیجه‌گیری نهایی

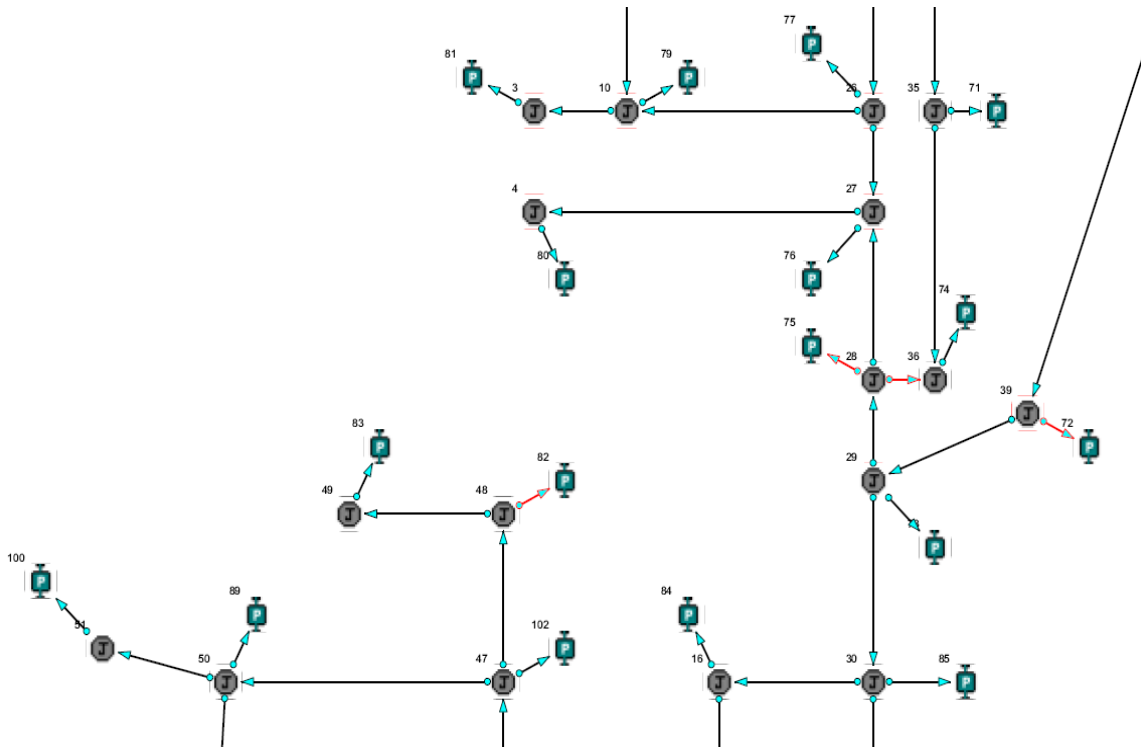
- نرم‌افزار GPNet قابلیت شبیه‌سازی نسبتاً مناسب شبکه خطوط لوله گاز شهری را دارد. همچنین این نرم‌افزار نتایج نسبتاً دقیقی ارائه می‌دهد. بدلیل اینکه اطلاعات کاملی از کاربر دریافت نمی‌کند و ساده‌سازی‌هایی مانند ثابت بودن دما و زبری خطوط لوله در نظر گرفته شده است، از این رو ممکن است در مورد شبکه‌های لوله پلاستیکی نتایج آن با خطا مواجه شود.
- نرم‌افزار PSSF قابلیت شبیه‌سازی مناسب شبکه خطوط لوله گاز شهری را دارد. همچنین این نرم‌افزار نتایج بهتری نسبت به نرم‌افزار GPNet ارائه می‌دهد. چون اطلاعات دقیقتری از کاربر دریافت می‌کند. همچنین این نرم‌افزار در دسترس نیز می‌باشد. لذا استفاده از این نرم‌افزار در کنار نرم‌افزار GPNet توصیه می‌شود.

- نرم‌افزار PIPEPHASE قابلیت شبیه‌سازی مناسب شبکه خطوط لوله گاز شهری را دارد. با اطلاعات موجود از شرکت نویسنده برنامه GpNet، نتایج محاسبات نرم‌افزار PIPEPHASE با GpNet یکسان است.

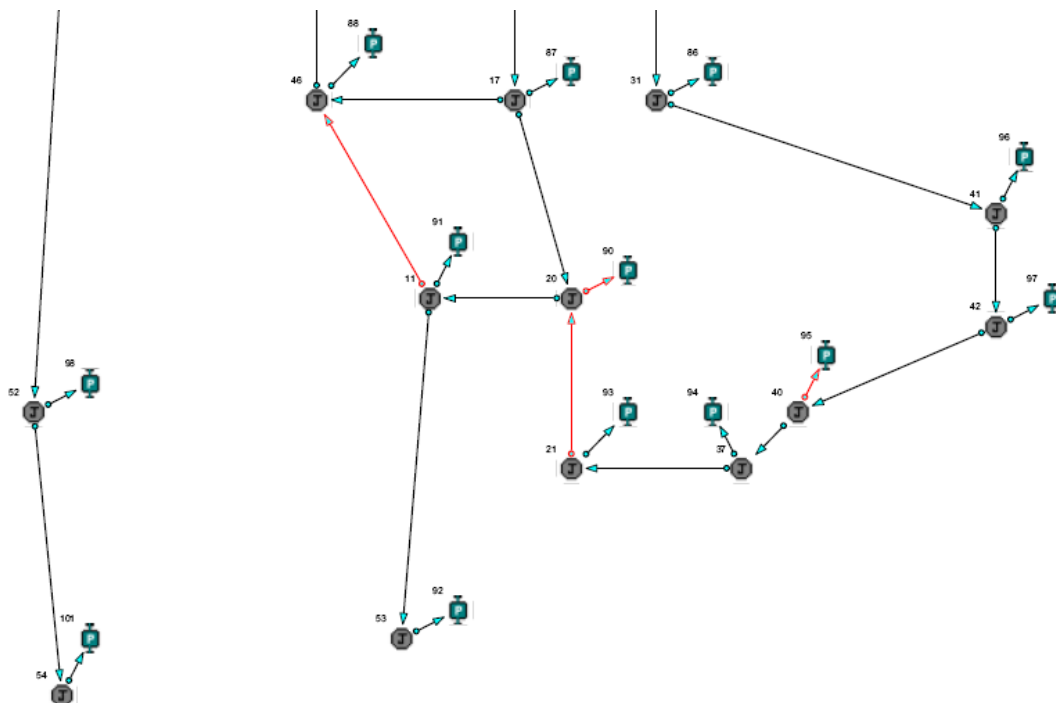


شکل ۱۵۲.۲: شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار PSSF - قسمت اول

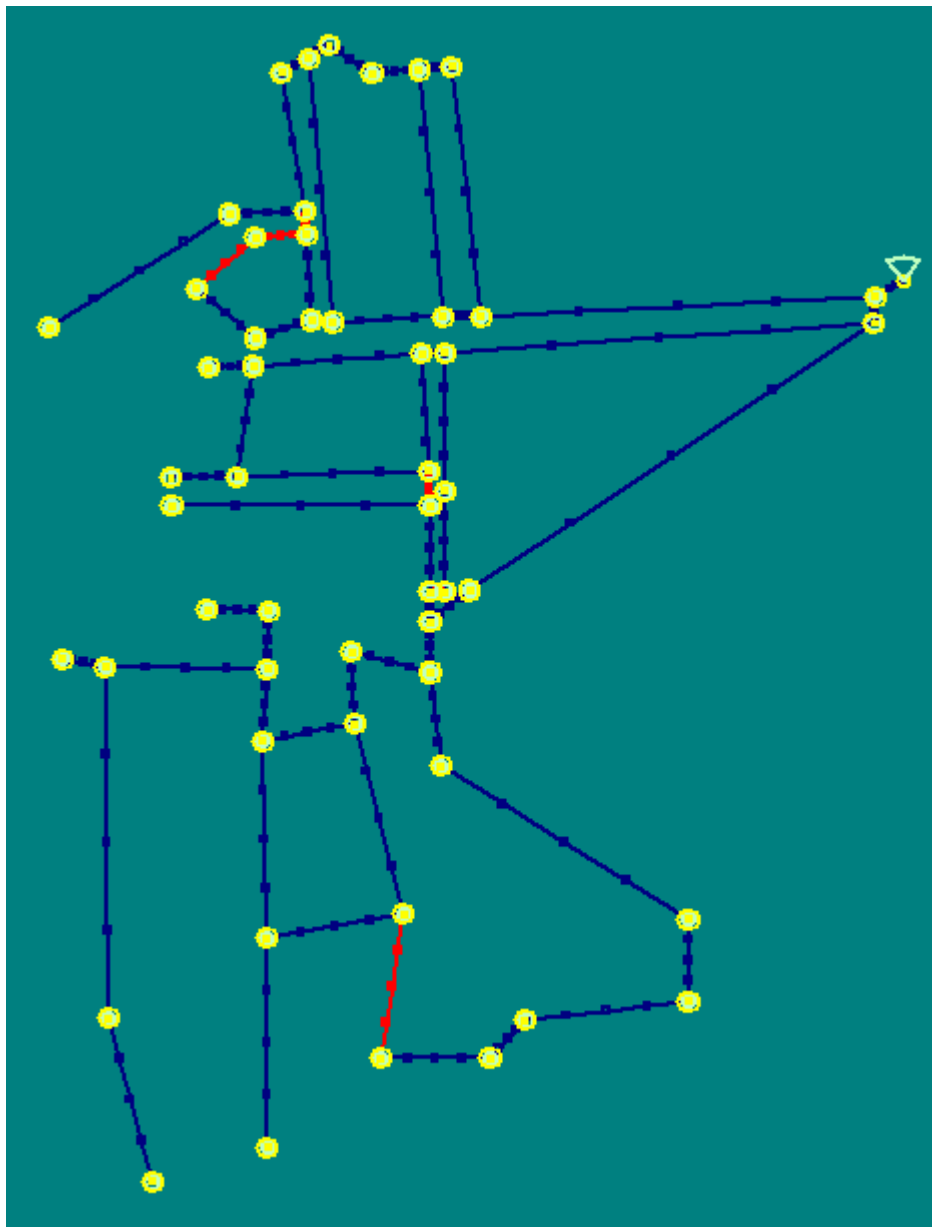




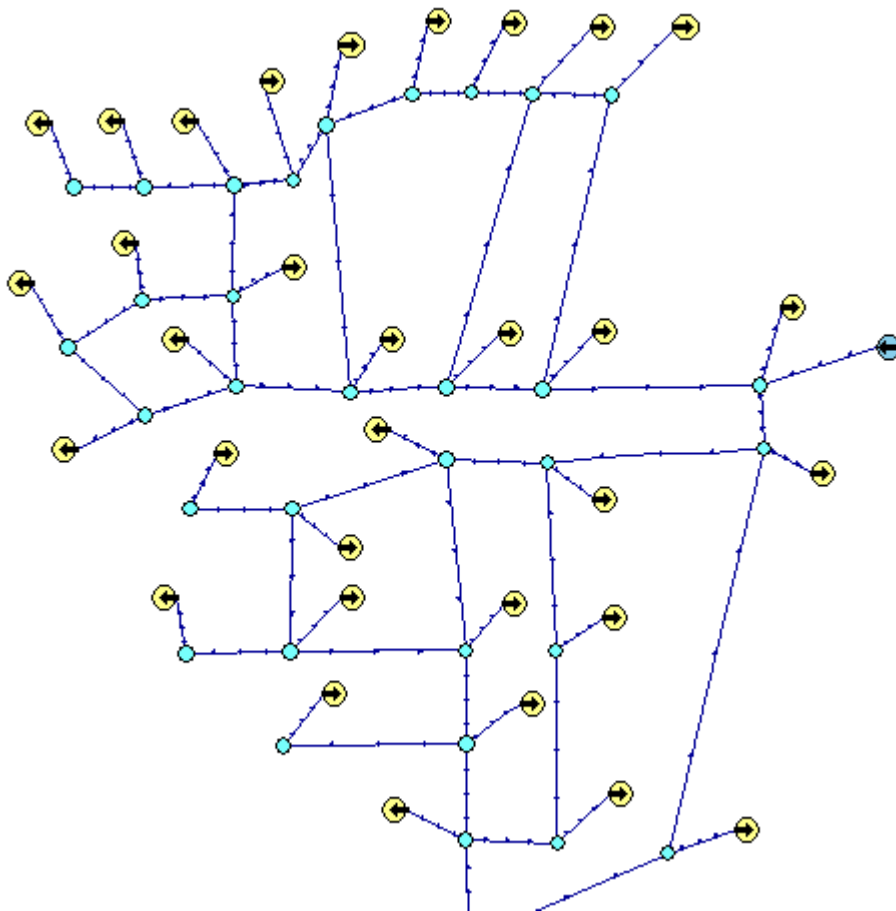
شکل ۱۵۳.۲: شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار PSSF - قسمت دوم



شکل ۱۵۴.۲: شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار PSSF - قسمت سوم



شکل ۱۵۵.۲: شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار GPNet



شکل ۱۵۶.۲: قسمتی از شبکه شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار PIPEPHASE

## ۵.۲ مدل‌های جریان سیال

مدل‌های جریان سیال به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

۸۷. مدل جریان پایا<sup>۸</sup>

۸۸. مدل جریان ناپایا<sup>۹</sup>

### ۱.۵.۲ مدل جریان پایا

مدل پایا برای پیش‌بینی مقدار جریان و افت فشار و دما در خط لوله بکار می‌رود. در این حالت فرض می‌شود که سیستم در یک بازه زمانی طولانی کار کرده‌است و تمامی خواص سیستم بعد از آن بازه زمانی طولانی، با تغییر زمان در تمامی نقاط سیستم ثابت بماند.

<sup>۸</sup> Steady State Models

<sup>۹</sup> Unsteady State (Transient or Dynamic) Models

## ۲.۵.۲ مدل جریان ناپایا

طبیعت جریان درون خطوط لوله گاز همواره ناپایا است. بدین معنی که شرایط ترمودینامیکی جریان مانند دما و فشار و دبی و غیره همواره با زمان در حال تغییر است. در بسیاری از موارد خطوط لوله انتقال و توزیع گاز برای شرایط ثابت تولید و تقاضای گاز طراحی و ساخته می‌شوند. اما این شرایط طراحی که با زمان ثابت است با توجه به یکی از عوامل زیر با زمان تغییر می‌کند:

۸۹. راه‌اندازی و یا از کار افتادن ایستگاه‌های تقویت فشار

۹۰. استفاده از تجهیزات ذخیره‌سازی گاز و تزریق گاز در مواقع لزوم به خط لوله

۹۱. تغییرات مصرف در بین مصرف‌کنندگان گاز طبیعی

۹۲. نشستی خطوط لوله و یا شکسته شدن آنها

۹۳. توانا بودن سیستم برای کارکردن در شرایط متفاوت به منظور عملکرد صحیح شرکت‌های انتقال به تعهدات خود در رساندن مقدار مورد نیاز گاز طبیعی به مصرف‌کننده.

۹۴. آرایش مناسب کمپرسورها در ایستگاه‌های تقویت فشار به منظور عملکرد بهینه آنها.

۹۵. تغییرات دمای سیال خط لوله بر اثر تغییر دمای محیط

۹۶. تغییر دادن نقطه تنظیم<sup>۱۰</sup> در سیستم‌های کنترلی

تحقیقات درباره این پدیده‌های گذرا به طراحی بهینه و اقتصادی خطوط لوله منجر می‌شود. در این راستا استفاده از سیستم‌های کنترلی پیشرفته برای کاهش تاثیر عوامل ناپایا بر سیستم ضروری به نظر می‌رسد.

سانتس<sup>۱۱</sup> در سال ۱۹۹۷ درباره اهمیت شبیه‌سازی ناپایا و فواید استفاده از آن مطالبی را ارائه کرده‌است. ایشان اشاره کرده‌اند که شبیه‌سازی ناپایا تنها ابزاری برای آموزش کارکنان عملیاتی به منظور کنترل سیستم نیست، بلکه به عنوان ابزاری مناسب برای طراحی بهینه خطوط لوله نیز به حساب می‌آید. این مقاله بیشتر بر روی خط لوله بدون شاخه جانبی گاز بدون تجهیزات ذخیره‌سازی متمرکز شده‌است. جریان در این خط لوله بر اساس هر یک ساعت بازه زمانی با توجه به تغییر نیاز مصرف‌کننده تغییر می‌کند و جریان ناپایا را بوجود می‌آورد [۱].

<sup>10</sup> Set Point

<sup>11</sup> Santos

آقای محیط‌پور<sup>۱۲</sup> و همکارانش در سال ۱۹۹۶ مطالبی را درباره اهمیت شبیه‌سازی ناپایا در طراحی و بهینه‌سازی خطوط لوله انتقال‌گاز ارائه کرده‌اند. در این مقاله نویسندگان توضیح داده‌اند که شبیه‌سازی پایا برای بهینه‌سازی خط لوله هنگامی که عرضه و تقاضا ثابت باشد و تغییر چشمگیری در دبی ورودی و خروجی سیستم بوجود نیاید، ابزار مناسبی بحساب می‌آید. در واقعیت، دبی جرمی در خط لوله با زمان در حال تغییر است و لذا شبیه‌سازی مناسب و کاربردی در این حالت شبیه‌سازی ناپایای سیستم است [۲].

## ۳.۵.۲ اهداف مدل کردن جریان در خطوط لوله

اهداف مدل کردن جریان در خطوط لوله عبارتند از:

۹۷. ردگیری محصولات در خط لوله<sup>۱۳</sup> که به منظور بررسی چگونگی حرکت محصولات در خط، نحوه تغییر ترکیب و کیفیت محصولات و غیره بکار می‌رود.

۹۸. موازنه جرمی خط لوله<sup>۱۴</sup> که نشان‌دهنده جریان خالص ورودی و خروجی از سیستم در یک بازه زمانی کوتاه و یا بازه زمانی طولانی است. موازنه جرمی خط لوله به منظور بررسی کارکرد مناسب خط لوله و یا فرایندهای اندازه‌گیری جریان بکار می‌رود. برای محاسبه دقیقتر موازنه جرمی خط لوله مدل جریان باید قدرت پیش‌بینی تغییر فشرده شدن گاز در خط لوله<sup>۱۵</sup> را دارا باشد.

۹۹. توزیع فشرده‌شدن گاز در خط لوله<sup>۱۶</sup> که برای تخمین توزیع محصولات گازی در خط لوله به منظور تنظیم میزان گاز ذخیره شده در خط لوله به کار می‌رود.

۱. نمایش لحظه به لحظه تغییرات فشار با کامپیوتر<sup>۱۷</sup> که بوسیله این مدل‌ها این تغییرات در نقاط بین دو سنسور فشاری پیش‌بینی می‌شود.

۲. توانایی انتقال گاز توسط خط لوله<sup>۱۸</sup> که بوسیله این مدل‌ها حداکثر دبی قابل دسترسی در خطوط پیش‌بینی می‌شود.

<sup>12</sup> Mohitpour

<sup>13</sup> Product Tracking

<sup>14</sup> Line Balance

<sup>15</sup> Line Packing

<sup>16</sup> Line Pack Distribution

<sup>17</sup> Pressure Monitoring

<sup>18</sup> Deliverability

۳. نمایش لحظه به لحظه عملکرد کمپرسورها با کامپیوتر<sup>۱۹</sup> که با مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل‌ها با مشخصات کارخانه سازنده کمپرسورها، می‌توان عملکرد آنها را بررسی کرد و در جهت بهینه‌سازی واحد تقویت فشار اقدام نمود.

#### ۴.۵.۲ معادلات پایه مدل جریان ناپایا در خطوط لوله

جریان ناپایا در خطوط لوله انتقال گاز را می‌توان به صورت یک بعدی در نظر گرفت. معادلات مبنایی که جریان ناپایا را در خطوط لوله مشخص می‌کنند از معادلات قوانین بقای جرم، مومنتوم، انرژی و معادله حالت حاصل می‌شوند. در عمل نوع مدل ریاضی بدست آمده بستگی به فرض‌هایی دارد که با توجه شرایط مسئله انجام می‌شود. جریان همدمای در جریان ناپایا هنگامی بوجود می‌آید که تغییرات خواص ناپایا بسیار آرام باشد. در واقع سرعت تغییر دمای گاز به علت انتقال حرارت هدایتی بین لوله و خاک آنقدر کم است که می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. جریان غیر همدمای هنگامی بوجود می‌آید که تغییرات خواص ناپایا شدید باشد. در واقع تغییرات فشار آنقدر سریع است که وقت کافی برای انتقال حرارت بین لوله و خاک باقی نمی‌ماند و جریان آدیاباتیک فرض می‌شود. در عمل جریان ناپایای گاز غیر همدمای بوده و به عنوان تابعی از فاصله مطرح می‌شود که بوسیله معادلات انرژی قابل پیش‌بینی است.

#### ۴. قانون بقای جرم (معادله پیوستگی)<sup>۲۰</sup>

بطور کلی معادله پیوستگی بصورتی که در فرمول (۱.۲) ارائه شده است، تعریف می‌شود:

$$-\frac{\partial(\rho w)}{\partial x} = \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (1.2)$$

در فرمول (۱.۲)،  $w$  سرعت جریان و  $\rho$  جرم‌حجمی گاز است. با جاگذاری  $M = \rho w A$  در فرمول (۱.۲) خواهیم داشت:

$$-\frac{1}{A} \frac{\partial M}{\partial x} = \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (2.2)$$

در فرمول (۲.۲)  $A$  بیانگر سطح مقطع عرضی لوله و  $M$  بیانگر دبی جرمی می‌باشد.

#### ۵. قانون دوم نیوتن (معادله مومنتوم)<sup>۲۱</sup>

معادله پایه مومنتوم در فرمول (۳.۲) نشان داده شده است [3].

$$-\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{2f\rho w^2}{D} - g\rho \sin \alpha = \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial x} \quad (۳.۲)$$

در معادله (۳.۲)،  $f$  نشان‌دهنده ضریب اصطکاک فینینگ<sup>۲۲</sup>،  $g$  نشان‌دهنده ثابت گرانش،  $\alpha$  نشان‌دهنده زاویه بین افق و جهت  $x$  محور لوله است. ترم  $\frac{\partial(\rho w)}{\partial t}$  نشان‌دهنده نیروی

اینرسی گاز،  $\frac{2f\rho w^2}{D}$  نشان‌دهنده نیروی اصطکاک هیدرولیکی،  $g\rho \sin \alpha$  نشان‌دهنده نیروی گرانش و  $\frac{\partial(\rho w^2)}{\partial x}$  نشان‌دهنده فشار دینامیکی جریان گاز است.

۶. معادله حالت

معادله حالت گاز بیانگر ارتباط بین خواص ترمودینامیکی گاز است که در فرمول (۴.۲) نشان داده شده است.

$$\frac{P}{\rho} = ZRT \quad (۴.۲)$$

در معادله (۴.۲)  $P$  فشار گاز،  $\rho$  جرم‌حجمی گاز،  $Z$  ضریب تراکم‌پذیری گاز،  $R$  ثابت گازها و  $T$  دمای جریان گاز می‌باشد.

۷. قانون بقای انرژی<sup>۲۳</sup>

معادله پایه قانون بقای انرژی با استفاده از منبع [4] در فرمول (۵.۲) ارائه شده است.

$$q\rho A dx = \frac{\partial}{\partial t} \left[ (\rho A dx) \left( c_v T + \frac{w^2}{2} + gz \right) \right] + \left[ (\rho w A dx) \left( c_v T + \frac{P}{\rho} + \frac{w^2}{2} + gz \right) \right] \quad (۵.۲)$$

<sup>21</sup> Newton's Second Law of Motion (Momentum Equation)

<sup>22</sup> Fanning Friction Factor

<sup>23</sup> Conservation Law of Energy

در معادله (۵.۲)  $q$  نشان‌دهنده دبی انرژی حرارتی بر واحد جرم،  $c_v$  نشان‌دهنده ضریب گرمایی ویژه در حجم ثابت است.

### ۵.۵.۲ مدل ریاضی جریان ناپایا در خطوط لوله

برای حل جریان ناپایا باید دستگاه معادلات حاصل از معادلات (۱.۲) تا (۵.۲) را با روش‌های عددی حل کرد. حال با توجه به نوع مسئله و شرایط مرزی مسئله می‌توان دستگاه حاصله را ساده‌سازی کرد. به عنوان مثال برای جریان ناپایا در خطوط لوله دو فرض ساده‌کننده زیر را به کار می‌بریم:

- خط لوله افقی در نظر گرفته شود لذا ترم‌های زیر در معادله (۵.۲) صفر می‌گردد:

$$\rho g \sin \alpha = 0 \quad , \quad \frac{\partial}{\partial x}(\rho w A g z dx) = 0 \quad (7.2)$$

- انتقال حرارت در خط تنها از طریق هدایت در دیواره لوله و گاز در طول خط لوله باشد و لذا معادله انرژی به صورت زیر می‌گردد:

$$q \rho A dx = A \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx - k_L (T - T_{ground}) dx \quad (7.2)$$

### ۶.۵.۲ دسته‌بندی روش‌های حل عددی جریان ناپایا در خطوط لوله انتقال گاز

خطوط لوله گاز دارای اجزای متفاوتی هستند که با توجه به این اجزاء روش‌های حل عددی آنها دسته‌بندی می‌شوند:

۸. روش‌های حل عددی جریان ناپایا در خطوط لوله دوفازی جمع‌آوری گاز<sup>۲۴</sup> که بین چاه‌ها و پالایشگاه‌ها وجود دارند.
۹. روش‌های حل عددی جریان ناپایا در خطوط لوله تک‌فازی انتقال گاز<sup>۲۵</sup> که بین خروجی پالایشگاه‌ها و مصرف‌کننده‌گان قرار دارند.
۱۰. روش‌های حل عددی جریان ناپایا در ایستگاه‌های تقویت‌فشار<sup>۲۶</sup> که در خطوط لوله تک‌فازی انتقال گاز وجود دارند.

<sup>24</sup> Gas Gathering Systems

<sup>25</sup> Gas Transmission Systems

<sup>26</sup> Gas Compressor Stations



۱۱. روش‌های حل عددی جریان ناپایا در شبکه خطوط لوله گاز<sup>۲۷</sup> که گاز را بین مصرف‌کننده‌گان شهری و غیره تقسیم می‌کند.

۱۲. روش‌های حل عددی جریان ناپایا که در طراحی سیستم‌های کنترلی موجود در موارد ۱ الی ۴ بکار می‌روند.

۱۳. روش‌های حل عددی جریان ناپایا در سیستم‌های ۱ الی ۵ با در نظر گرفتن غیر هم‌دما بودن جریان سیال در آنها.

## ۷.۵.۲ روش‌های حل عددی جریان‌های ناپایا در خطوط لوله تک‌فازی انتقال گاز

رفتار ناپایای سیال در خطوط لوله طویل دارای ثابت‌های زمانی بسیار طولانی است، تا سیستم به حالت پایا برسد. این رفتار به دلیل مقاومت در مقابل حرکت سیال در خطوط لوله و همچنین ظرفیت بالای انتقال سیال توسط خطوط لوله می‌باشد. رفتار سیستم در مدت زمان رسیدن سیستم از حالت ناپایا به پایا توسط یک سیستم اولر ناهمگن و هاپربولیک غیرخطی از قوانین بقای جرم، مومنتوم و انرژی در حالت یک‌بعدی قابل توصیف است. روش اختصاصی حل این چنین سیستم‌هایی باید دقیق بوده و همچنین سرعت محاسباتی قابل قبولی دارا باشد.

روش‌های کلی حل عددی معمول برای چنین سیستم‌هایی عبارتند از:

۱۴. روش مشخصه‌ها<sup>۲۸</sup> (MOC)

۱۵. روش اختلاف محدود صریح<sup>۲۹</sup>

۱۶. روش اختلاف محدود ضمنی (کرانک نیکلسون)<sup>۳۰</sup>

۱۷. روش رانگ کوتا<sup>۳۱</sup>

۱۸. روش جزء محدود<sup>۳۲</sup>

۱۹. روش MOL<sup>۳۳</sup> [۵]

۲۰. روش TVD<sup>۳۴</sup> [۴]

27 Gas Distribution Systems

28 Method of Characteristics

29 Explicit Finite Difference Method

30 Implicit Finite Difference Method(Crank Nicholson Method)

31 Runge-Kutta

32 Finite Element Method

33 (MOL)Method of Lines

در بخش‌های بعدی این فصل مبانی روش‌های فوق ارائه می‌شود.

## ۸.۵.۲ روش مشخصه (MOC)

از جمله افرادی که در این زمینه فعالیت کرده‌اند، عبارتند از:

۲۱. زائو<sup>۳۵</sup> و آدومی<sup>۳۶</sup> در سال ۱۹۹۵ یک روش جدید برای حل یک‌بعدی جریان ناپایا در خطوط لوله انتقال گاز افقی بدون صرف‌نظر کردن از ترم‌های قانون بقای مومنتوم، ارائه کرده‌اند. در شبیه‌سازی ناپایای خطوط لوله تک‌فازی انتقال‌گاز، بسیاری از روش‌ها ترم اینرسی را در معادلات مومنتوم در نظر نمی‌گرفتند. این فرض سبب خطی شدن دستگاه معادلات دیفرانسیل جزئی می‌گشت. روش‌های عددی که قبلاً برای حل این دستگاه خطی استفاده می‌شد، شامل روش مشخصه و روش‌های گوناگون ضمنی و غیر ضمنی اختلاف محدود بود. صرف نظر کردن از ترم اینرسی در معادلات مومنتوم سبب کم‌شدن دقت نتایج شبیه‌سازی ناپایا می‌شود [۶].

۲۲. وایلی<sup>۳۷</sup> و همکارانش در سال ۱۹۷۴ و یوو<sup>۳۸</sup> در سال ۱۹۷۱ با استفاده از یک ضریب تصحیح‌کننده برای ترم اینرسی در معادله حرکت و روش حل عددی مشخصه به بهینه‌سازی توانایی محاسباتی برای آنالیز جریان ناپایا در خطوط لوله انتقال گاز پرداختند [۷] و [۸].

۲۳. ایسا<sup>۳۹</sup> و اسپالدینگ<sup>۴۰</sup> در سال ۱۹۷۲ معادلات مبنای جریان یک‌بعدی، ناپایا، تراکم‌پذیر در یک لوله شوک که اثر اصطکاک با دیواره و انتقال حرارت هم در آن در نظر گرفته شده بود را ارائه کردند. آنها از روش Hartree Hybrid استفاده کردند که ترکیبی از روش مشخصه و استفاده از شبکه‌بندی مستطیلی بود. آنها پیشنهاد کردند که ضریب اصطکاک و عدد استانتون را می‌توان در جریان‌های شوک تیوب<sup>۴۱</sup> ثابت فرض کرد [۹].

<sup>34</sup> Higher Resolution Explicit TVD Method

<sup>35</sup> Zhou

<sup>36</sup> Adewumi

<sup>37</sup> Wylie

<sup>38</sup> Yow

<sup>39</sup> Issa

<sup>40</sup> Spalding

<sup>41</sup> Shock-Tube

## ۹.۵.۲ روش اختلاف محدود صریح

در روش اختلاف محدود صریح مقادیر لازم برای انجام محاسبات مراحل بعدی براحتی از محاسبات مرحله قبل بدست می‌آید. در این روش مشتق پارامتر نسبت به زمان با فرمول (۸.۲) جایگزین می‌شود.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{u_i^{j+1} - u_i^j}{\Delta t} \quad (۸.۲)$$

در فرمول (۸.۲)  $i$  شمارنده بعد مکان و  $j$  شمارنده بعد زمان است. در این فرمول از تفاضل پیشرو استفاده می‌شود که مرتبه خطا در آن از درجه ۱  $[O(\Delta t)]$  است. همچنین در این روش مشتق پارامتر نسبت به زمان با فرمول (۹.۲) جایگزین می‌شود.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{u_{i+1}^j - 2u_i^j + u_{i-1}^j}{(\Delta x)^2} \quad (۹.۲)$$

در فرمول (۹.۲)  $i$  شمارنده بعد مکان و  $j$  شمارنده بعد زمان است. در این فرمول از تفاضل مرکزی استفاده می‌شود که مرتبه خطا در آن از درجه ۲  $[O(\Delta x)^2]$  است. این روش پایداری مناسبی در محاسبات ندارد. علت ناپایداری محاسبات در روش اختلاف محدود صریح، هم مرتبه نبودن خطای محاسبات برای دو عبارت جایگزین شده اختلاف محدود پیشرو برای زمان و مرکزی برای مکان است [۱۱] و [۱۰].

## ۱۰.۵.۲ روش اختلاف محدود ضمنی

روش اختلاف محدود ضمنی دارای مزیت‌هایی مانند دارا بودن پایداری در بازه‌های زمانی بزرگ است، که سبب شده است تا ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی ناپایای خطوط لوله انتقال گاز باشد. ترم انرژی پتانسیل نقش بسیار مهمی در آنالیز جریان گاز داشته و قابل صرف‌نظر کردن نمی‌باشد. در نظر گرفتن غیرهم‌دما بودن جریان هم، برای افزایش دقت محاسبات ضروری به نظر می‌رسد [۱۲].

در روش اختلاف محدود ضمنی یا روش کرانک-نیکلسون مرتبه خطای محاسبات برای دو عبارت جایگزین شده اختلاف محدود پیشرو برای زمان و مرکزی برای مکان در روش اختلاف محدود صریح یکی می‌شود تا پایداری روش تضمین شود. بدین منظور اگر معادله (۸.۲) برای مرکز بازه زمانی تعریف شود، اختلاف پیشرو به مرکزی بدل می‌شود و لذا معادله (۹.۲) به صورت معادله (۱۰.۲) تغییر می‌کند [۱۱].

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{2} \left[ \frac{u_{i+1}^j - 2u_i^j + u_{i-1}^j}{(\Delta x)^2} + \frac{u_{i+1}^{j+1} - 2u_i^{j+1} + u_{i-1}^{j+1}}{(\Delta x)^2} \right] \quad (10.2)$$

از جمله افرادی که در این زمینه فعالیت کرده‌اند، عبارتند از:

۲۴. وایلی و همکارانش در سال ۱۹۷۱ روش اختلاف محدود مرکزی ضمنی<sup>۴۲</sup> را ارائه کرده‌اند و این روش را با روش مشخصه<sup>۴۳</sup> مقایسه کرده‌اند. آنها نشان دادند که روش ضمنی برای بازه‌های زمانی بزرگ بسیار دقیقتر است. بنابراین در روش حل ضمنی حداکثر بازه زمانی انتخابی توسط فرکانس متغیرهای اعمال شده بر شرایط مرزی محدود می‌شود. البته همانند روش مشخصه همگرایی روش ضمنی هم در انتخاب حداکثر بازه زمانی موثر است [۱۳].

۲۵. پرایس<sup>۴۴</sup> و همکارانش در سال ۱۹۹۶ یک روش برای محاسبه ضریب اصطکاک و ضریب انتقال حرارت کلی موثر در شرایط عملیاتی خط لوله ارائه کرده‌اند. این مدل ناپایای جریان براساس حل عددی معادلات جریان ناپایا در یک بعد (موازنه جرم و مومنتوم و انرژی) بوسیله یک روش دقیق اختلاف محدود ضمنی، بوجود آمده‌است. در این روش، شبیه‌سازی ناپایای خط لوله بدون در نظر گرفتن اثر جریان آشفته<sup>۴۵</sup>، انجام شده‌است [۱۴].

۲۶. دین<sup>۴۶</sup> و ریئتسما<sup>۴۷</sup> در سال ۱۹۸۳ معادلات مبناء برای جریان یک‌بعدی، ناپایا و تراکم‌پذیر که اثر اصطکاک با دیواره و انتقال حرارت هم در آن در نظر گرفته شده‌بود را ارائه کردند. این روش معادله انرژی را به یک پارامتر در معادله جرم تبدیل می‌کند بدون این‌که جریان هم‌دما و آیزنتروپیک فرض شود. آنها روش مشخصه را همراه با روش اختلاف محدود به عنوان روش حل انتخاب کرده و خطای محاسبات را درجه ۲ فرض کردند [۱۵].

۲۷. کیوچی<sup>۴۸</sup> در سال ۱۹۹۴ روش حل عددی اختلاف محدود ضمنی را برای حل جریان ناپایای همدمای تراکم‌پذیر استفاده کرده‌است. آنالیز پایداری نیومن در معادلات اختلاف محدود خط لوله (بعد از صرف نظر کردن از ترم اینرسی در معادلات مومنتوم) نشان می‌دهد که معادلات

<sup>42</sup> central implicit finite difference method

<sup>43</sup> method of characteristics

<sup>44</sup> Price

<sup>45</sup> Turbulent Flow

<sup>46</sup> Deen

<sup>47</sup> Reintsema

<sup>48</sup> Kiuchi

پایداری لازم را دارا نیستند. وی این روش را با روش‌های دیگر مانند روش مشخصه، روش لاکس-وندورف<sup>۴۹</sup>، روش گای<sup>۵۰</sup> و روش کرانک نیکلسون مقایسه کرده و نشان داد که روش اختلاف محدود ضمنی برای تعداد محدود بخش‌های خط لوله و بازه زمانی طولانی بسیار دقیقتر است. این خاصیت سبب می‌شود که این روش برای خطوط لوله صنعتی گاز بسیار مناسب باشد. چون با این روش زمان محاسبات عددی بسیار کم می‌شود [۱۶].

۲۸. بیم<sup>۵۱</sup> و وارمینگ<sup>۵۲</sup> در سال ۱۹۷۶ یک روش حل بر مبنای روش حل اختلاف محدود ضمنی بوجود آوردند که به منظور حل عددی موثر دستگاه معادلات هایپربولیک غیر خطی به فرم قانون بقاء به کار می‌رود. نتیجه این الگوریتم حل خطای درجه ۲ و محاسبات غیر تکرار شونده است که از فرم فاکتورگیری فضایی<sup>۵۳</sup> استفاده می‌کند.

۲۹. لونوگو<sup>۵۴</sup> در سال ۱۹۸۶ یک روش حل همدمای برای خطوط لوله انتقال گاز با استفاده از روش حل عددی کرانک - نیکلسون برای حل معادلات جریان ناپایا ارائه کرده‌است. این روش با فرض خطی بودن معادلات، جواب نسبتاً دقیقی را بدست می‌آورد و همچنین ۲۵ درصد در زمان محاسبات صرفه جویی می‌گردد [۱۷].

## ۱۱.۵.۲ روش رانگ کوتا

روش رانگ کوتا که در اغلب موارد از آن استفاده می‌شود، بر اساس انتخاب  $n$  جمله از سری تیلور برای محاسبات عددی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای است. در این بین روش رانگ کوتای مرتبه ۴ کاربرد بیشتری در محاسبات عددی دارد که مرتبه خطا در آن از مرتبه ۴ است [۱۱].  
از جمله افرادی که در این زمینه فعالیت کرده‌اند، عبارتند از:

۳۰. اوسیاداکس<sup>۵۵</sup> در سال ۱۹۸۷ از روش RKC<sup>۵۶</sup> برای حل معادلات دیفرانسیلی معمولی که از تقلیل معادلات دیفرانسیل جزئی نوع سهموی حاصل از مدل MOL بدست آمده‌اند، استفاده کرده‌است [۱۸].

<sup>49</sup> Lax-Wendroff

<sup>50</sup> Guy

<sup>51</sup> Beam

<sup>52</sup> Warming

<sup>53</sup> Spatially Factored Form

<sup>54</sup> Lunogo

<sup>55</sup> Osiadacz

<sup>56</sup> Runge-Kutta Chebyshev

۳۱. ابراهیم<sup>۵۷</sup> و ادومی<sup>۵۸</sup> در سال ۱۹۹۶ یک فرایند عددی برای شبیه‌سازی ناپایا در جریان دو بعدی گاز ارائه کردند و از یک روش خاص رانگ کوتا برای بدست آوردن مشخصات دقیق جریان استفاده کردند. لذا مدل TVD برای دقت بالاتر محاسبات در نقاط تیز ناپیوسته جلویی استفاده شد [۱۹].

## ۱۲.۵.۲ روش جزء محدود

از روش جزء محدود برای اشکال ناموزون می‌توان استفاده کرد. در این روش شبکه‌بندی و فاصله بین گره‌ها با توجه به نوع مسئله می‌تواند متفاوت انتخاب شود و لذا شبکه‌بندی برای مرزهای ناموزون مسئله امکان‌پذیر می‌گردد. معمولاً سه روش برای روش حل عددی جزء محدود استفاده می‌شود [۱۲]:

۳۲. روش جزء محدود Rayleigh-Ritz

۳۳. روش جزء محدود Galerkin

۳۴. روش جزء محدود Collocation

از جمله افرادی که در این زمینه فعالیت کرده اند، عبارتند از:

۳۵. ریچفورد<sup>۵۹</sup> و دوپوند<sup>۶۰</sup> در سال ۱۹۷۴ از روش جزء محدود گالرکین<sup>۶۱</sup> با در نظر گرفتن جزء دو بعدی در زمان و مکان برای شبیه‌سازی جریان گاز ناپایای همدم استفاده کردند [۲۰].

## ۱۳.۵.۲ روش MOL

این روش بر مبنای تبدیل مسائل مقدار مرزی<sup>۶۲</sup> به یک دستگاه معادلات دیفرانسیل معمولی<sup>۶۳</sup> در زمان، بوسیله استفاده از تقسیم‌بندی در طول مکان، بوجود آمده است. دستگاه معادلات دیفرانسیل معمولی حاصل شده از این روش، با روش انتگرال‌گیری عددی با مرتبه و گام متغیر<sup>۶۴</sup> قابل حل است. مزیت استفاده از این روش نسبت به دیگر روش‌ها این است که پایداری و همگرایی خوبی در حل بسیاری از مسائل از خود نشان می‌دهد [۲۱].

<sup>57</sup> Ibraheem

<sup>58</sup> Adewumi

<sup>59</sup> Rachford

<sup>60</sup> Dupont

<sup>61</sup> Galerkin Finite Element Method

<sup>62</sup> Initial Boundary Value Problem

<sup>63</sup> Ordinary Differential Equation

<sup>64</sup> variable step/variable order methods of numerical integration

با توجه به مطالعات قبلی در زمینه روش MOL [۲۳ و ۲۴]، این روش برای پیش‌بینی رفتار ناپایای سیال در خطوط لوله انتقال گاز جواب مناسبی می‌دهد. خاصیت معمول این روش استفاده از شبکه‌بندی فضایی ثابت است.

مطالعات اخیر در زمینه این روش [۲۵ و ۲۶] نشان می‌دهد که تغییر شبکه‌بندی فضایی با توجه به نوع مسئله ابزار بسیار مهمی در افزایش کارایی و دقت روش به حساب می‌آید. اسیداکس در سال ۱۹۸۷ از روش  $RKC^{65}$  برای حل معادلات دیفرانسیلی معمولی که از تقلیل معادلات دیفرانسیل جزئی نوع سهموی حاصل از مدل MOL بدست آمده‌اند، استفاده کرده‌است [۱۸].

## ۱۴.۵.۲ روش TVD

روش TVD توسط زائو و ادومی [۷] ارائه شده‌است. این روش امکان بدست‌آوردن توزیع ناپایای خواص را با دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها فراهم می‌آورد و امکان حذف کردن نوسانات در بخش‌های ناپیوستگی جواب که معمولاً در روش‌های دیگر وجود دارد را فراهم می‌آورد. همچنین منطقه پایداری حل عددی آن بسیار وسیع است.

از جمله افرادی که در این زمینه فعالیت کرده‌اند، عبارتند از:

۳۶. ادومی و زائو<sup>۶۶</sup> در سال ۲۰۰۰ روش هیبریدی TVD را ارائه کردند [۲۶].

۳۷. چانگ<sup>۶۷</sup> در سال ۲۰۰۱ از روش مشخصه و  $TVD^{68}$  استفاده کرد و این دو روش را با هم مقایسه کرد [۲۷].

۳۸. ابراهیم<sup>۶۹</sup> و ادومی در سال ۱۹۹۶ یک فرایند عددی برای شبیه‌سازی ناپایا در جریان دو بعدی گاز ارائه کردند و از یک روش خاص رانگ کوتا برای بدست آوردن مشخصات دقیق جریان استفاده کردند. لذا مدل TVD برای دقت بالاتر محاسبات در نقاط تیز ناپیوسته جلویی استفاده شد [۱۹].

## ۱۵.۵.۲ روش‌های دیگر حل ناپایای جریان در خطوط لوله تک فازی انتقال گاز

از جمله کسانی که روش‌های گوناگون حل معادلات ناپایا در خطوط لوله انتقال گاز را ارائه داده‌اند، عبارتند از:

<sup>65</sup> Runge-Kutta Chebyshev

<sup>66</sup> Zhou

<sup>67</sup> Chang

<sup>68</sup> Total Variation Diminishing

<sup>69</sup> Ibraheem

۳۹. مادوکس<sup>۷۰</sup> و زائو در سال ۱۹۸۳ از تکنیک محاسبات افت فشار ناشی از اصطکاک در حالت پایا در هر بازه زمانی، برای تعیین رفتار ناپایای سیستم خط لوله از طریق رابطه افت فشار با موازنه جرمی استفاده کردند [۲۸].

۴۰. هاتی<sup>۷۱</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۱ تحقیقاتی درباره پروفایل ناپایای فشار و شار جرمی گاز در خطوط لوله افقی که بوسیله باز و بسته شدن کامل و یا ناقص شیر در یک خط لوله ایجاد می‌شود، انجام دادند. آنها هشت نوع شرایط مزری متفاوت استفاده کردند [۲۹].

۴۱. اسپاداکس و بل<sup>۷۲</sup> در سال ۱۹۹۵ یک روشی را بر مبنای تکنیک تجزیه-تطبیق<sup>۷۳</sup> ارائه کردند که برای انجام محاسبات موازی توسط کامپیوتر مناسب است [۳۰].

## ۶.۲ منابع

- [1] Santos, S.P., 1997, "Transient Analysis, A Must in Gas Pipeline Design", 29th Annual Meeting Pipeline Simulation Interest Group (PSIG), Oct. 15-17, Tucson, Arizona.
- [2] Mohitpour, M., Thompson, W., and Asante, B., 1996, "Importance of Dynamic Simulation on the Design and Optimization of Pipeline Transmission Systems", Proceedings of the International Pipeline Conference, American Society of Mechanical Engineers, Vol.2, pp. 1183-1188.
- [3] Daneshyar, H., "One-dimensional compressible flow", Pergamon Press, New York, 1976
- [4] Shapiro, A., H., "The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow", New York, 1953
- [5] M.J. Zucrow, J.D. Hofman, Gas Dynamics, Vols. I & II, Willey, 1976.
- [6] Zhou, J. and Adewumi, M.A., 1995, "Simulation of Transient Flow in Natural Gas Pipelines", 27th Annual Meeting Pipeline Simulation Interest Group (PSIG), Oct. 18-20, Albuquerque, New Mexico.
- [7] Wylie, E.B., Streeter, V.L., and Stiner, M.A., 1974, "Unsteady State Natural-Gas Calculations in Complex Piping Systems", Society of Petroleum Engineers Journal, Feb., pp. 35-43.
- [8] Yow, W., 1971, "Analysis and Control of Transient Flow in Natural Gas Piping Systems", Ph.D. Thesis, The University of Michigan.
- [9] Issa, R.I., and Spalding, D.B., 1972, "Unsteady One-Dimensional Compressible Frictional Flow with Heat Transfer", Journal Mechanical Engineering Science, Vol. 14, No.6, pp. 365- 369.

<sup>70</sup> Maddox

<sup>71</sup> Hati

<sup>72</sup> Bell

<sup>73</sup> Decomposition-Coordination



- 
- [10] H.H. Rachford, T. Dupont, A fast highly accurate means of modelling transient flow  
in gas pipelines by variational methods, Soc. Pet.Eng. J. 14 (1974) 165–178.
- [11] Gerald.”Applied Numerical Analysis”.
- [12] S. Abarbanel, D. Gottlieb, E. Turkel, Difference schemes with four order accuracy for hyperbolic equations, SIAM J. Appl. Math. 29 (1975) 329–351.
- [13] Wylie, E.B., Stoner, M.A., and Streeter, V.L., 1971, “Network System Transient Calculation by Implicit Methods”, Society of Petroleum Engineers Journal, Dec., pp. 356-362.
- [14] Price, G.R, McBrien, R.K., Rizopoulos, S.N., and Golshan, H., 1996, “Evaluating the Effective Friction Factor and Overall Heat Transfer Coefficient During Unsteady Pipeline Operation”, Proceedings of the International Pipeline Conference, American Society of Mechanical Engineers, Vol.2, pp. 1175-1182.
- [15] Deen, J.K., and Reintsema, S.R, 1983, “Modeling of High-Pressure Gas Transmission Lines”, Appl. Math. Modeling, Vol.7, Aug. pp. 268-273.
- [16] Kiuchi, T., 1994, “An Implicit Method for Transient Gas Flow in Pipe Networks”, Int. J. Heat and Fluid Flow, Vol. 15, No. 5, pp. 378-383.
- [17] Luongo, C.A., 1986, “An Efficient Program for Transient Flow Simulation in Natural Gas Pipelines”, 15th Annual Meeting Pipeline Simulation Interest Group (PSIG), Oct. 30-31, New Orleans, Louisiana.
- [18] Osiadacz, A.J., 1987, Simulation and Analysis of Gas Networks, Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- [19] Ibraheem, S.O., and Adewumi, M.A., 1996, “Higher-Resolution Numerical Solution for 2-D Transient Natural Gas Pipeline Flows”, Society of Petroleum Engineers, SPE 35626, pp. 473-482.
- [20] Rachford, H.H., and Dupont, T.A., 1974, “A Fast Highly Accurate Means of modeling Transient Flow in Gas Pipelines by Variational Methods”, Society of Petroleum Engineers Journal, pp. 356-362.
- [21] W.E. Schiesser, The Numerical Method Of Lines, Academic Press, 1991.
- [22] S.O. Ibraheem, M.A. Adewumi, Higher-Resolution numerical solution for 2-D transient natural gas pipeline flow, SPE 35626(1996) 473–482.
- [23] A.J. Osiadacz, Simulation and Analysis of Gas Networks, Gulf Publishing, 1987.
- [24] A. Vande Wouwer, Ph. Saucez, W.E. Schiesser, Adaptive Method of Lines, Chapman-Hall, 2001.
- [25] M. Berjins, P.J. Capon, P.K. Jimack, On spatial adaptivity and interpolation when using the method of lines, Appl. Numer. Math. 26 (1998) 117–133.
- [26] J. Zhou, M.A. Adewumi, Simulation of transients in natural gas pipelines using hybrid TVD schemes, Int. J. Numer. Methods Fluids 32 (2000) 407–437.

- 
- [27] Chang, S., 2001, "A Program Development for Unsteady Gas Flow Analysis in Complex Pipe Networks", 33rd Annual Meeting Pipeline Simulation Interest Group (PSIG), Oct. 17-19, Salt Lake City, Utah.
- [28] Maddox, R.N., and Zhou, P., 1983, "Use of Steady -State Equations for Transient Flow Calculations", 15th Annual Meeting Pipeline Simulation Interest Group (PSIG), Oct. 27- 28, Detroit, Michigan
- [29] Hati, A., Verma, N., and Chhabra, R., 2001, "Transient Analysis of Gas Flow in a Straight Pipe", Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 79, No. 1, Feb. pp. 18-27.
- [30] Osiadacz, A.J., and Bell, D.J., 1995, "Dynamic Simulation of Gas Networks by Decomposition and Coordination", Mathematical Engineering in Industry, Vol. 5, No. 3, pp. 235-254.
- [31] Invensys System Inc. PIPEPHASE 8.1 Manual. 9/24/2003
- [32] Flite Software Ltd. Piping Systems Fluid Flow V2.33 Manual. 2003

## ۳ مطالعه‌ای بر فرآیند خوردگی و روش‌های حفاظت از خوردگی

قرن بیستم را می‌توان قرن شکوفایی علم و صنعت جهان دانست. اما همانطور که می‌دانیم به موازات رشد علوم و صنایع، مشکلات و موانعی نیز در کنار آنان رشد کرده و اهمیت خود را بیش از پیش نشان می‌دهند. یکی از این موانع پدیده خوردگیست که سالانه میلیاردها دلار به صنایع کشورها خسارت وارد می‌کند. البته مسئله خوردگی مسئله جدیدی نیست ولی با توجه به نیاز روز افزون صنایع به استفاده از فلزات، این مشکل نیز به همین میزان رشد نموده‌است. طبق آمارهای موجود کل هزینه سالانه سیل‌ها، گردبادها، آتش‌سوزی‌ها، رعدوبرق‌ها و زمین‌لرزه‌ها کمتر از هزینه خوردگی می‌باشد [۱]. از طرفی هزینه‌های خوردگی در دهه‌های آینده به دلیل کمبود جهانی مواد ساختمانی، افزایش هزینه تولید و مصرف انرژی، افزایش وسیع در تعداد و محدوده کاری کارخانجات و فاکتورهای دیگر به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت. جدا از مخارج مستقیم ریالی و دلاری، خوردگی یک مشکل جدی است زیرا بطور روشنی باعث تمام شدن منابع طبیعی و نیز صدمه زدن به محیط زیست می‌گردد.

با توجه به موارد ذکر شده و روند رو به رشد صنعت در کشورما، بررسی این پدیده و اعمال روش‌های کاهش اثرات آن باعث صرفه‌جویی کلان و حفظ منابع اولیه کشور می‌شود. در ادامه با مفهوم خوردگی و روش‌های کنترل آن بیشتر آشنا می‌شویم.

### ۱.۳ خوردگی چیست؟

در آغاز بهتر است مفهوم نسبتاً صریحی از خوردگی داشته‌باشیم تا بتوانیم با روشنی بیشتری در مورد طرق مبارزه با آن بحث کنیم. بعضی می‌گویند خوردگی همان اکسیدشدن است. بعضی می‌گویند همان تاثیر شیمیایی است. بعضی می‌گویند خوردگی فقط یک پدیده الکتریکی است مثل الکترولیز.

این تعاریف هر کدام در مواردی صحت دارند ولی فقط گوشه‌ای از مطلب را بیان می‌کنند نه تمام آن را. ما فعلاً برای هدفی که در پیش داریم، در مورد یک لوله مدفون شده در خاک، خوردگی را یک پدیده الکتروشیمیایی منظور داشته و وجود اکسیژن را برای خوردگی ضروری می‌دانیم. با قبول این تعریف به بیان شرایطی می‌پردازیم که با واقع شدن آنها یک سل خوردگی می‌تواند فعالیت داشته باشد.

مکانیزم خوردگی همانگونه که در شکل ۱.۳ مشخص شده می‌تواند مبتنی بر اصول و شرایط زیر

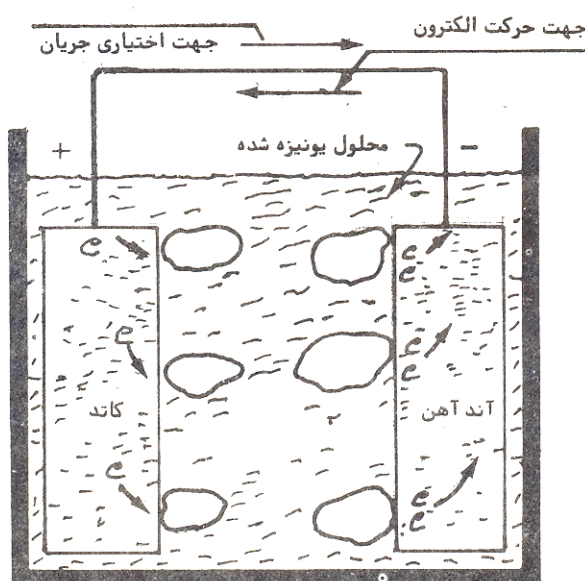
رخ دهد:

۴۲. یک کاتد و یک آند باید موجود باشد.

۴۳. آند و کاتد باید اختلاف پتانسیل داشته باشند.

۴۴. آند و کاتد با یک رابط فلزی باید به هم متصل باشند.

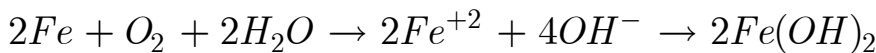
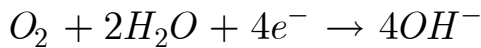
۴۵. آند و کاتد باید در یک الکترولیت هادی قرار داشته باشند.



شکل ۱.۳: شماتیک خوردگی آهن

حال برای یک لوله در زیر خاک فراهم شدن شرایط ۱ و ۲ را شرح می‌دهیم. برای شرط سوم خود لوله به عنوان یک رابط فلزی عمل می‌کند و شرط چهارم با توجه به اینکه رطوبت موجود در خاک هادی است فراهم می‌شود. با فراهم شدن این شرایط است که جریان الکتریکی برقرار شده، فلز در ناحیه آندی خورده خواهد شد.

اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد باعث بوجود آمدن یک جریان الکترونی از طرف آند به کاتد در مدار فلزی بین آند و کاتد خواهد گردید. در آند فلز با از دست دادن الکترون‌ها، تولید یون‌های آهن با بار مثبت خواهد کرد که با OH موجود در آن حوالی تولید ئیدروکسید دو ظرفیتی آهن به فرمول  $Fe(OH)_2$  خواهد کرد که با دو مرحله اکسید شدن بصورت  $Fe_2O_3$  یا همان زنگ آهن در خواهد آمد.



بهرتر است نکات زیر را جهت اجتناب از اشتباه به خاطر داشته باشیم:

- جهت جریان الکتروسیته (خلاف جهت الکترون‌ها) در مدار فلزی از کاتد به آند خواهد بود.
- جهت جریان الکتروسیته در داخل الکترولیت از آند به کاتد خواهد بود.
- خوردگی فلز در آند یعنی قطبی که جریان از آن به طرف الکترولیت خارج می‌شود اتفاق می‌افتد.
- فلزی که جریان را از محیط اطراف دریافت می‌کند خورده نمی‌شود.

مقدار کاهش وزن فلز با شدت جریان خوردگی متناسب خواهد بود. یک آمپر جریان مستقیم که از فولاد به سمت خاک خارج می‌شود می‌تواند سالانه حدود ۲۰ پوند فولاد را بخورد و البته در مسائل مربوط به خوردگی به ندرت با چنین شدت جریان زیادی مواجه خواهیم شد و معمولاً شدت جریان در حدود چند میلی‌آمپر است. ولی نباید غافل بود حتی یک میلی‌آمپر در طول سال اگر فقط از چند نقطه لوله خارج شود، می‌تواند باعث ایجاد هفت عدد سوراخ به قطر ۰.۲۵ اینچ روی یک لوله ۲ اینچ با ضخامت استاندارد گردد.

### ۱.۱.۳ مکان‌های ایجاد سل‌های خوردگی در لوله‌های زیرزمینی

در بحث فوق گفته شد که با وجود یک کاتد و یک آند و واقع شدن سایر شرایط، سل خوردگی بطور مداوم فعال خواهد بود. اکنون نوبه آن رسیده که به این سؤال پاسخ دهیم که نقاط آندی و کاتدی در یک لوله زیرزمینی چگونه حادث می‌شوند. شرایطی وجود دارد که به تشکیل نقاط آندی و کاتدی منجر می‌شوند. با آگاهی یافتن از این شرایط می‌توان در مرحله طراحی و نصب لوله‌ها اقداماتی را

انجام داد که این شرایط را خنثی کرده و عمر لوله‌ها را افزایش دهیم. اینک به شرح مختصری در مورد شرایط منجر به تشکیل نقاط آندی و کاتدی می‌پردازیم. [۲]

### سل‌های مرکب از فلزات غیر همجنس

هر فلزی که در داخل الکترولیتی قرار داده شود، پتانسیلی نسبت به آن الکترولیت پیدا خواهد کرد که هرگاه یک الکتروود دیگر به عنوان مرجع در دسترس داشته باشیم بسادگی می‌توانیم اختلاف پتانسیل بین الکتروود مرجع و فلز مورد نظر را اندازه‌گیری کنیم.

در جدول ۱.۳ پتانسیل بعضی فلزات در املاح همین فلزات را در مقایسه با الکتروود هیدروژن مشاهده می‌کنید.

جدول ۱.۳: نیروی محرکه الکتریکی فلزات نسبت به الکتروود هیدروژن

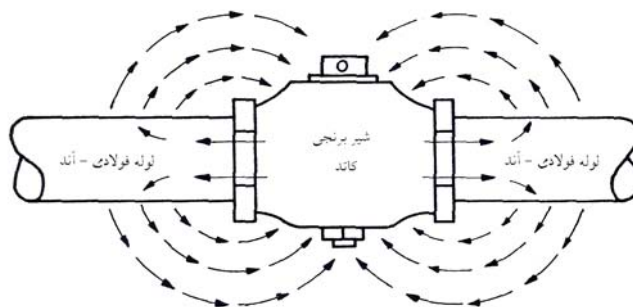
فلز	پتانسیل
منیزیم	-۲.۳۷
آلومینیوم	-۱.۶۶
روی	-۰.۷۶
آهن	-۰.۴۴
قلع	-۰.۱۳
سرب	-۰.۱۴
هیدروژن	-۰.۰۰
مس	۰.۳۴ تا ۰.۵۲
نقره	۰.۸۰
پلاتین	۱.۲۰
طلا	۱.۵ تا ۱.۶۸

در جدول ۲.۳ پتانسیل بعضی از فلزات را در خاک خنثی و یا آب در مقایسه با الکتروود مرجع مسی مشاهده می‌کنید. در این جدول از هر دو فلزی که انتخاب شود هر کدام که در رده پایین‌تر جدول باشند کاتد و آنکه بالاتر است آن‌د را تشکیل خواهد داد.

جدول ۲.۳: نیروی محرکه الکتریکی فلزات نسبت به الکتروود مس

فلز	پتانسیل
منیزیم خالص تجارتي	-۱.۷۵
آلیاژ منیزیم	-۱.۶
روی	-۱.۱
آلیاژ آلومینیوم	-۱.۰۵
آلومینیوم خالص تجارتي	-۰.۸
آهن (تمیز و براق)	-۰.۵ تا -۰.۸
آهن (زنگ زده)	-۰.۲ تا -۰.۵
چدن	-۰.۵
سرب	-۰.۵
آهن قرار داده شده در سیمان	-۰.۲
مس - برنج - برنز	-۰.۲
چدن سیلیس دار	-۰.۲
لایه نازک اکسید روی آهن	-۰.۲
کربن - گرافیت - کک	+۰.۳

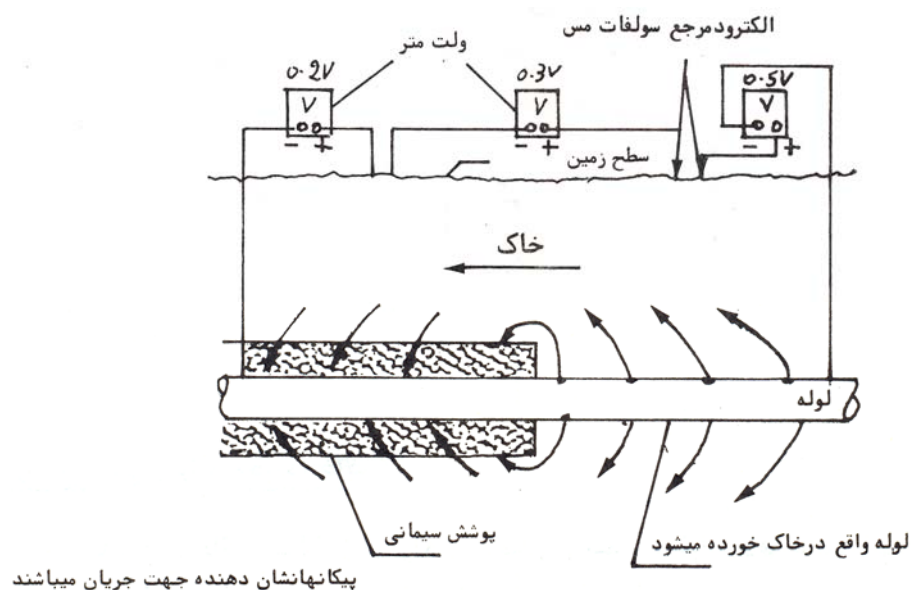
به عنوان مثال هرگاه یک شیر برنجی به یک لوله فولادی بدون روکش متصل شود، شرایط برای تشکیل سل فلزات غیر هم جنس آماده‌بوده از اینرو فولاد عمر بسیار کوتاهی خواهد داشت.



شکل ۲.۳: تاثیر فلزات غیر هم جنس در تشکیل پیل خوردگی

## خوردگی ناشی از شرایط مختلف خاک

فرض کنید که ترکیب خاک محیط اطراف لوله از منطقه‌ای به منطقه دیگر اختلاف داشته باشد. در این صورت اختلاف پتانسیل بین دو قسمت لوله واقع در این دو محیط مختلف حاصل شده و سل خوردگی تشکیل خواهد شد. به عنوان یک مثال خاص قرار داشتن قسمتی از فولاد در سیمان و بقیه در خاک را در شکل ۳.۳ ملاحظه می‌کنید. بردارها نشان دهنده جهت جریان الکتریکی هستند.



پیکان‌نشان دهنده جهت جریان میباشند

شکل ۳.۳: خوردگی در اثر تفاوت ماهیت خاک

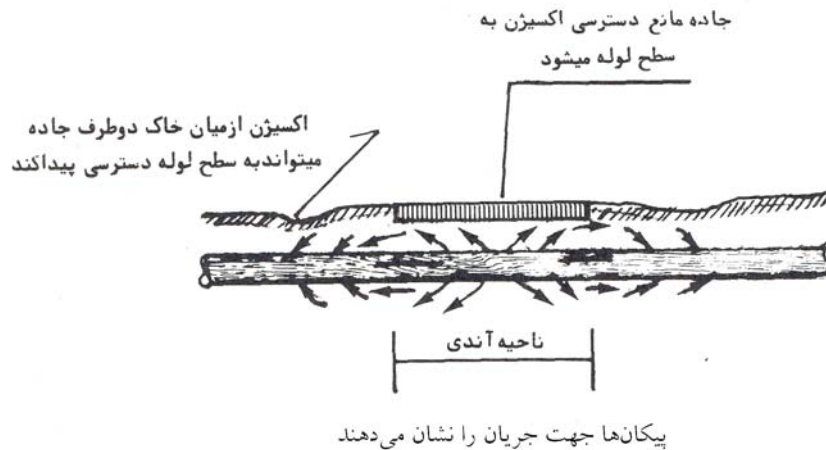
## سل‌های مرکب از اختلاف غلظت هوا

هرگاه در اطراف لوله غلظت هوای موجود از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت باشد این نوع سل خوردگی که شاید مهمترین سل‌ها باشد تشکیل می‌شود.

به عنوان مثال به لوله‌ای که در ناحیه‌ای از زیر یک جاده آسفالت شده عبور می‌کند در شکل ۴.۳

توجه کنید.



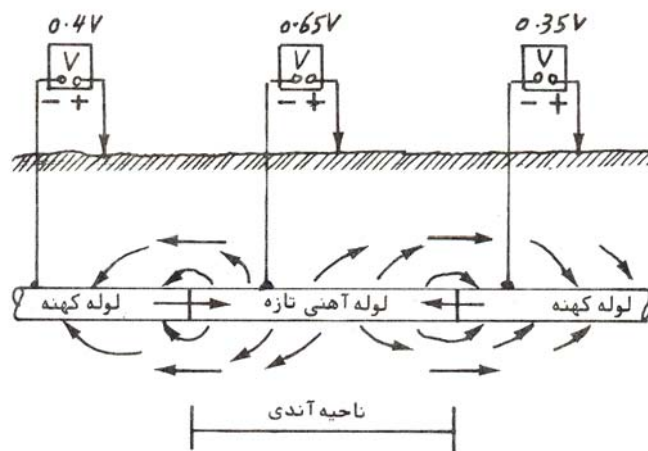


شکل ۴.۳: خوردگی در اثر اختلاف غلظت هوا

در ناحیه زیر آسفالت بخصوص بخش میانی، نفوذ اکسیژن به محیط اطراف لوله مشکل‌تر است لذا بین این منطقه از لوله و مناطق دورتر یک سل غلظتی هوایی تشکیل شده و منجر به خوردگی شدید لوله در ناحیه زیر آسفالت می‌گردد. یک مثال دیگر عبارت از اینکه لوله از زیر نهری عبور نماید، در آن صورت لوله واقع در قسمت زیر نهر آندی بوده و خوردگی زیادتری خواهد داشت.

#### اتصال یا مجاورت لوله تازه و کهنه

فرض کنید قسمتی از یک لوله فولادی کهنه با قسمت جدیدی تعویض شود، در این صورت پتانسیل لوله تازه نسبت به محیط اطراف غیر از پتانسیل لوله قدیم خواهد بود (به علت وجود محصولات خوردگی بر روی نقاط لوله کهنه)، در نتیجه همان طور که در شکل ۵.۳ مشخص دیده می‌شود یک پیل خوردگی تشکیل شده و لوله تازه خوردگی زیادتری خواهد داشت و زودتر از لوله کهنه سوراخ می‌شود.



شکل ۵.۳: خوردگی لوله آهن تازه که در تماس با لوله کهنه می‌باشد.

### ۲.۳ متدهای کنترل خوردگی

با شناخت عواملی که منجر به خوردگی یک لوله می‌شوند می‌توان در مورد روش‌های مقابله بحث کرد. روش‌های اصلی مقابله با خوردگی لوله عبارتند از:

۴۶. استفاده از پوشش‌ها

از پوشش انتظار می‌رود که بصورت یک قشر پیوسته و عایق الکتریکی سطح لوله را پوشانیده و نتیجتاً مقاومت زیادی در مدار خوردگی حاصل نماید بطوریکه شدت جریان خوردگی کاهش داده شود.

۴۷. استفاده از اتصالات عایق در مورد تاسیسات با فلزات غیر هم‌جنس

کاربرد طریقه دوم محدود است و اگر چه می‌توان با کار گذاشتن اتصالات عایق بین فلزات غیر هم‌جنس از تشکیل سل خوردگی جلوگیری نمود ولی از تشکیل سل‌های موضعی در آنها جلوگیری به عمل نیامده و هر کدام برای خود خوردگی خواهند داشت.

۴۸. حفاظت کاتدی

سیستم حفاظت کاتدی بطور ساده عبارتست از اعمال یک جریان مستقیم از یک منبع خارجی که در جهت مخالف خروج جریان از نواحی آندی عمل می‌کند. با این اعمال جریان تمام ساختمان فلزی از محیط اطراف جریان دریافت کرده و مجموعاً به یک کاتد بزرگ تبدیل خواهد شد.

با توجه به اهمیت روش محافظت کاتدی در ادامه بیشتر با این روش آشنا می‌شویم.

#### ۱.۲.۳ تئوری اصلی حفاظت کاتدی

در بحث گذشته بیان شد که در پروسه خوردگی لوله، نقاط آندی و کاتدی در هر جا موجود بودند و جریان الکتریسیته که در نواحی آندی از فلز به محیط اطراف خارج می‌شد باعث ایجاد خوردگی شده و در نقاط کاتدی که جریان از محیط اطراف به فلز می‌رسید خوردگی صورت نمی‌گرفت. در حقیقت اگر جریان الکتریسیته از طرف محیط به تمام سطح لوله برسد دیگر لوله خوردگی نخواهد داشت و بدین ترتیب کل لوله کاتدی خواهد بود. این دقیقاً کاری است که یک سیستم حفاظت کاتدی انجام می‌دهد. یعنی جریان مستقیم از یک منبع خارجی به تمام سطح لوله می‌رسد. هرگاه مقدار این جریان بطور متناسب تنظیم شود بر تمامی جریان‌های ناحیه آندی فائق آمده و یک جریان منتهجه بطرف لوله

در تمام سطوح آن خواهیم داشت و در این صورت است که تمام سطح لوله به کاتد تبدیل شده و حفاظت بطور کامل اعمال می‌گردد.

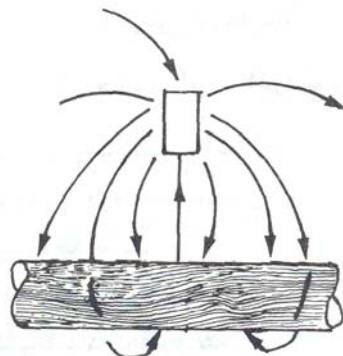
بدین ترتیب جریان خروجی از آند توسط جریان حفاظتی خنثی می‌گردد. خروج جریان فقط از بستر آند طراحی شده اتفاق افتاده و موجبات خوردگی این آندها فراهم خواهد شد، معمولاً سعی می‌شود که به عنوان آند از موادی استفاده شود که طول عمر نسبتاً زیادی داشته باشند. بدین ترتیب نتیجه گرفته می‌شود که سیستم حفاظت کاتدی خوردگی را حذف نکرده بلکه آنرا از سیستم لوله مورد حفاظت به یک بستر آند طرح شده منتقل می‌نماید که با آزمایش ساده‌ای می‌توان عمر مفید بستر آندی را تشخیص داده و نسبت به تعویض آن اقدام نمود.

در حالت کلی عایق الکتریکی و پوشش محافظ باید با حفاظت کاتدی حمایت شوند. حفاظت کاتدی در دو روش انجام می‌گیرد [۳]:

#### ۴۹. حفاظت گالوانیکی

در این روش فلزی که خاصیت آندی قویتری از فولاد دارد معمولاً منگنز یا روی - همانطور که در شکل ۶.۳ دیده می‌شود، با یک سیم مسی به سطح فولاد وصل می‌شود. در این حالت مجموعه به مانند باطری عمل می‌کند که فلز انتخابی ما نقش آند، فولاد نقش کاتد و خاک نقش الکترولیت را بازی می‌کند.

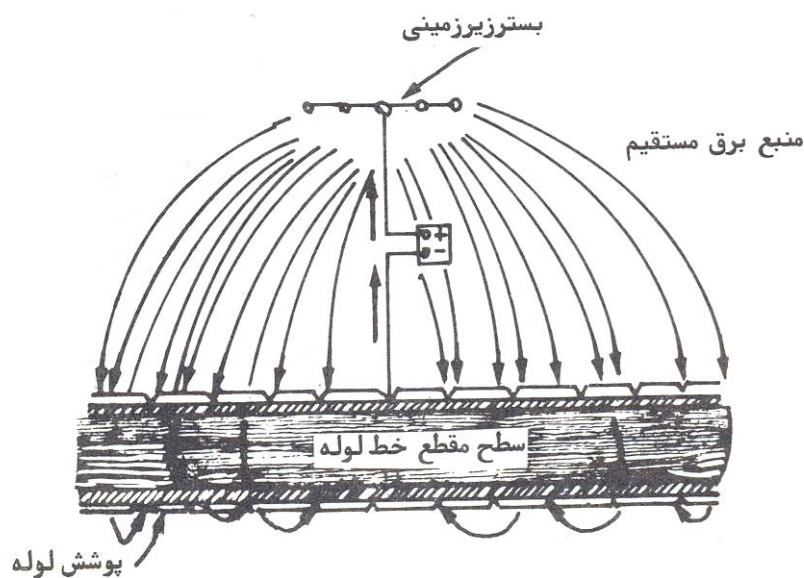
آند فداشونده روی یا منیزیم که به لوله وصل شده و با خروج جریان لوله را حفظ می‌کند



شکل ۶.۳: حفاظت گالوانیکی

## ۵۰. روش بسترسازی (حفاظت با جریان اعمالی)

مقدار زیادی فلز بی‌ارزش یا گرافیت که به عنوان بستر آنرا حساب می‌آوریم، در فاصله‌ای از لوله در زمین کار گذاشته می‌شود. این بستر به جریان مثبت برق ولتاژ بالا و لوله به جریان منفی برق متصل است. این شرایط را می‌توان یک پمپ الکترونی در نظر گرفت که ورودی آن به بستر متصل و خروجی آن به لوله‌های گاز متصل می‌باشد. هنگامیکه الکترون‌ها در حال کنده‌شدن از مواد بستر می‌باشند، واکنش آندی روی بستر انجام می‌شود و لوله‌ها در نقش کاتد ظاهر می‌شوند. رفتار واقعی این فرآیند به جنس مواد بستر بستگی دارد. نمونه‌ای از کاربرد این روش در شکل ۷.۳ ارائه شده است.



شکل ۷.۳: بسترسازی

حال پس از آشنایی مختصر با فرآیند خوردگی و روش‌های کنترل آن، مطالعه‌ای بر آمار منتشر شده در باب خسارات و هزینه‌های خوردگی در کشورمان خواهیم داشت تا اهمیت بررسی این موضوع بیشتر مشخص شود.

## ۳.۳ هزینه‌های خوردگی در ایران

همانطور که ذکر شد خوردگی فلزات یکی از مشکلات اصلی در صنایع است که متأسفانه اقدامات زیربنایی جهت کنترل آن به صورت جدی انجام نگرفته است. نتیجه آن صرف هزینه‌های بسیار گزافی است، که بصورت مستقیم و غیر مستقیم توسط صاحبان صنایع پرداخت می‌گردد. آماري که بصورت

مستند گویای پرداخت این هزینه‌ها باشد در دسترس نبوده و اقدامات سازمان‌های ذی ربط چون انجمن خوردگی ایران در جهت دستیابی به این آمار تاکنون موفقیت آمیز نبوده است.

عدم آگاهی نسبت به عوامل و فاکتورهای ایجادکننده خوردگی و آشنا نبودن به روش‌های حفاظتی تجهیزات و تاسیسات صنعتی باعث گشته که انهدام و نابودی فلزات در صنایع به عنوان یک واقعیت مسلم و یک پدیده اجتناب ناپذیر مطرح باشد. بی‌اطلاعی از اهمیت و نقش خوردگی در زندگی و محیط کار سالانه میلیون‌ها دلار به اقتصاد مملکت ضرر می‌رساند. نتایج حاصل از بررسی‌های انجام گرفته در صنایع مختلف ایران نشانگر این حقیقت است که تنها تعداد محدود و انگشت شماری از کارخانه‌ها و صنایع به چگونگی مطالعه و برآورد تقریبی هزینه‌های ناشی از خوردگی آگاهی دارند. در بسیاری از موارد خسارات و هزینه‌های ناشی از خوردگی در قالب خرج‌های تعمیراتی نهفته است به عنوان مثال در یکی از موارد که ادعا می‌شد هیچگونه مشکلی در زمینه خوردگی وجود ندارد، چگونه برطرف کردن مشکلات خوردگی را تعویض سریع لوله‌های خورده شده ذکر نموده بودند.

پیشرفت سریع صنعت و فن آوری همواره کاربرد روز افزون مواد از جمله فلزات و آلیاژهای مختلف را به همراه داشته‌است. این افزایش میزان مصرف، مسلماً ضایعات ناشی از خوردگی و زنگ‌زدگی تجهیزات و دستگاه‌ها را زیادتر می‌نماید که نه تنها منجر به بروز زیان‌های اقتصادی می‌گردد بلکه در اغلب موارد خطرات جانی نیز به همراه دارد.

واقعیت این است که عرضه تولیدات صنعتی به بازار کاملاً رقابتی است و فاکتوری که می‌تواند در قیمت نهایی تولیدات به نحو چشمگیری موثر باشد، کاهش هزینه‌های تعمیراتی، افزایش عمر مفید قطعات و بطور کلی پیشگیری از خسارات وارده ناشی از خوردگی به تاسیسات است. صرفنظر از خسارات اقتصادی که بواسطه پدیده خوردگی بطور مستقیم و غیر مستقیم متوجه صنعت است، این پدیده تأثیرات منفی دیگری نظیر از دست رفتن انرژی ماده ایمنی و خطرات زیست محیطی خواهد داشت.

اصولی‌ترین روش در کنترل خوردگی آشنایی مدیران صنایع با پدیده خوردگی و آگاهی از حجم مبالغ پرداختی در این رابطه بصورت کمی است که می‌تواند مقدمه‌ای در جهت استفاده از تکنولوژی‌های مدرن در کنترل خوردگی باشد. اقدامات مربوط به تعیین خسارات سالانه خوردگی در کشورهای صنعتی، که بر اساس درصدی از درآمدهای ناخالص ملی در نظر گرفته می‌شود، از سوی سازمان‌های رسمی تهیه و انتشار می‌یابد. این آمار مبنای توجه صاحبان صنایع در امر کنترل خوردگی و بکارگیری آن در صنایع است.

با توجه به اینکه در کشور ما آمار مستدلی برای هزینه‌های خوردگی ارایه نگردیده و تلاش‌های انجمن خوردگی نیز تا حدودی ناکام مانده‌است لذا مجبور به ارزیابی آمار دیگر کشورهای جهان هستیم که در مقایسه حداقل وضعیت کشور خودمان را با مشابه‌سازی تا حدودی تخمین بزنیم. در تجزیه و تحلیل اقتصاد خوردگی از نظر تعیین هزینه‌های مستقیم خوردگی، اقتصاد ایالات متحده آمریکا به پنج قسمت اصلی تقسیم‌بندی شده‌است. این قسمت‌ها شامل ساختارهای کلان، خدمات، حمل نقل، تولید و ساخت و بخش دولتی است که به نوبه خود به ۲۶ بخش فرعی تقسیم شده‌اند. هزینه‌های مستقیم خوردگی بر مبنای ۳.۱ درصد از مجموع تولید ناخالص داخلی برای ۵ قسمت مذکور معادل ۹.۱۳۷ میلیارد دلار است. در جدول ۳.۳ هزینه‌های خوردگی کشورهایی که این آمار را استخراج کرده‌اند، آورده شده است. این آمار نشان می‌دهد که هزینه ملی خوردگی بین ۱.۵ تا ۵.۲ درصد درآمد ناخالص ملی تغییر می‌کند. [۴]

جدول ۳.۳: هزینه‌های خوردگی در کشورهای مختلف

کشور	سال	هزینه خوردگی کل
آمریکا	۱۹۴۹	۵.۵ میلیارد دلار
هند	۱۹۶۰	۳۲۰ میلیون دلار
فنلاند	۱۹۶۵	۵۴ میلیون دلار
آلمان غربی	۱۹۶۷	۶ میلیارد دلار
انگلستان	۱۹۷۰	۱.۳۶۵ میلیارد پوند
ژاپن	۱۹۷۴	۹.۲ میلیارد دلار
آمریکا	۱۹۷۵	۷۰ میلیارد دلار
استرالیا	۱۹۸۲	۲ میلیارد دلار
کویت	۱۹۹۵	۱ میلیارد دلار
آمریکا	۱۹۹۸	۲۷۹ میلیارد دلار

همانگونه که قبلاً ذکر شد هیچگونه آمار مشخص کننده‌ای از هزینه‌ها و خسارات خوردگی بصورت مستقیم و یا غیرمستقیم در ایران وجود ندارد. هر گونه آماری که تاکنون از طرف انجمن خوردگی ایران ارائه شده بر مبنای استفاده از روش‌های معمول در کشورهای صنعتی نظیر ایالت متحده آمریکا بوده است که بر مبنای درصدی از تولید ناخالص ملی محاسبه گردیده است. در سالهای اخیر بررسی‌های جدیدی در مورد هزینه‌های خوردگی در کشور انجام شده که در ذیل نمونه‌ای از آن را مطالعه می‌نماییم. [۵]

همانند تقسیم‌بندی که در کشور آمریکا در بخش صنایع و گروه‌های مربوط به خوردگی انجام شده، بانک مرکزی ایران با مشخص کردن چهار گروه اصلی و بر اساس ۵ درصد تولید ناخالص ملی هزینه‌های ناشی از خوردگی را در سال ۱۳۷۹ برابر با ۵۵۰ تریلیون ریال برآورد کرده‌است. در نظر گرفتن ۵ درصد از تولید ناخالص ملی به علت استفاده محدود از تکنولوژی خوردگی در ایران می‌باشد. چهار گروه اصلی که در این راستا عمده سهم را دارا می‌باشند شامل بر :

۵۱. گروه کشاورزی

۵۲. گروه نفت

۵۳. گروه صنایع و معادن

۵۴. گروه خدمات

هر کدام از گروه‌های اصلی نیز زیر شاخه‌هایی دارند که در ادامه به هزینه‌های خوردگی در هر بخش اشاره خواهیم کرد.

• گروه کشاورزی

با توجه به سستی بودن بخش اعظم کشاورزی در ایران تصور نمی‌شود هیچگونه تمهیداتی از نظر کنترل خوردگی برای تجهیزات کشاورزی مخصوصاً مخازن نگهداری آب، لوله‌های انتقال آب و استفاده از پوشش‌های مقاوم جهت کنترل خوردگی جوی در مناطق کشاورزی بکار گرفته‌شود. تهیه آماری از خسارات خوردگی در گروه کشاورزی به دلایل بیشماری غیر ممکن است. لذا این خسارات به طور تقریبی و بر اساس ۵ درصد از تولید ناخالص ملی برابر با ۳۷۳ میلیارد ریال ( معادل ۴۶.۶ میلیون دلار) می‌گردد.

• گروه نفت

صنایع نفت، گاز و پتروشیمی را می‌توان گروه پیش‌تاز در کنترل خوردگی دانست. زیرا مواد اولیه مورد استفاده در این صنعت بعلاوه دارا بودن ترکیباتی نظیر هیدروژن سولفور، آب همراه با انواع نمک‌ها، نفتانیک اسید، مرکاپتان‌ها و غیره خورنده می‌باشند، لذا اقدامات لازم جهت خوردگی برای هر واحد به هنگام تاسیس، مورد نظر واقع می‌گردد. با در نظر گرفتن استفاده از تکنولوژی‌های خوردگی در جهت کاهش خسارت خوردگی به میزان ۲۰ الی ۲۵ درصد در گروه نفت، نهایتاً خسارات خوردگی سالانه برابر با ۵۱۱.۷ میلیارد تومان در سال می‌باشد که معادل ۶۴۰ میلیون دلار می‌گردد.

- گروه صنایع و معادن

گروه صنایع و معادن با داشتن چهار زیر گروه معدن، صنعت، صنعت برق و گاز و آب و ساختمان بر اساس ۵ درصد از تولید ناخالص ملی دارای خسارت خوردگی معادل ۵۲۳ میلیارد تومان در سال می‌باشد. در این بین قرار گرفتن برق، گاز و آب که بخش صنعتی-خدماتی است با ساختمان در گروه صنایع و معادن جهت تعیین هزینه‌های مستقیم خوردگی موردی ندارد، ولی ناچاراً براساس تقسیم‌بندی‌های بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران عمل شده‌است. احتمال استفاده از تکنولوژی خوردگی در تجهیزات بهره‌برداری از معادن بعید به نظر می‌رسد و صناعی نظیر فولادسازی، نیروگاه‌ها و کارخانجات متعلق به بانک صنعت و معدن در حد توانایی از تکنولوژی کنترل خوردگی استفاده می‌نمایند که در این زمینه شرکت فولاد مبارکه در بعضی موارد هم گوی سبقت را از صنایع نفت ربوده است. رقم تقریبی که برای هزینه‌های خوردگی در این گروه پیشنهاد شده برابر با ۵۲۳ میلیارد تومان در سال برابر با ۶۵۴ میلیون دلار می‌شود.

- گروه خدمات

این گروه با دارا بودن ۲۶۸۰۵۴ میلیارد ریال معادل ۵۰ درصد از تولید ناخالص ملی را شامل می‌گردد که خسارات مستقیم خوردگی بر اساس ۵ درصد از تولید ناخالص ملی برابر با ۱۳۴۰ میلیارد تومان در سال ۱۳۷۹ برآورد می‌گردد، که معادل ۱۶۷۵ میلیون دلار می‌باشد.

مجموع هزینه‌های تحمیل شده به کشور در اثر پدیده خوردگی همان گونه که در بالا اشاره شد رقمی بالغ بر ۲۷۵۰۰ میلیارد ریال می‌شود، که میزان در خور توجهی می‌باشد.

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته از گزارش مذکور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۵۵. خسارات مستقیم خوردگی در سال ۱۳۷۹ معادل ۲۱.۱۵ درصد از بودجه کشور را شامل بوده‌است.

۵۶. خسارات مستقیم خوردگی در سال ۱۳۷۹ معادل ۳.۳۷ برابر مجموع بودجه تعیین شده از جانب دولت در بخش اقتصادی بوده‌است.

۵۷. ۴۸ برابر مبلغی که دولت در سال ۱۳۷۹ در بخش صنعت و معدن تحت عنوان اعتبارات عمرانی معین نموده بود توسط خوردگی از بین رفته‌است. همین امر در سال ۱۳۷۵ معادل ۱۷ برابر مبلغی بود که دولت در بخش صنعت و معدن سرمایه‌گذاری کرده‌است.



۵۸. با استفاده از تکنولوژی‌های مربوط به کنترل خوردگی در صنایع ایران می‌توان حداقل ۲۰ درصد از خسارات خوردگی را کاهش داد که معادل ۵۵۰ میلیارد تومان است، که برآحتی از محل این صرفه‌جویی می‌توان ۱۰۰۰۰ مدرسه در مناطق محروم روستایی احداث نمود.

آمار و ارقام موجود هر چند که کاملاً دقیق نمی‌باشند ولی حدود هزینه‌های خوردگی در کشور را مشخص می‌نمایند. با توجه به این هزینه سرسام‌آور توجه و پرداختن به مسئله خوردگی امری حیاتی برای رشد و شکوفایی اقتصاد مملکت می‌باشد. برای مطالعه و بررسی دقیق این پدیده نیاز به آشنایی با علم الکتروشیمی می‌باشد. در بخش بعدی کلیاتی در مورد الکتروشیمی خوردگی ارائه شده‌است.

### ۴.۳ الکتروشیمی خوردگی

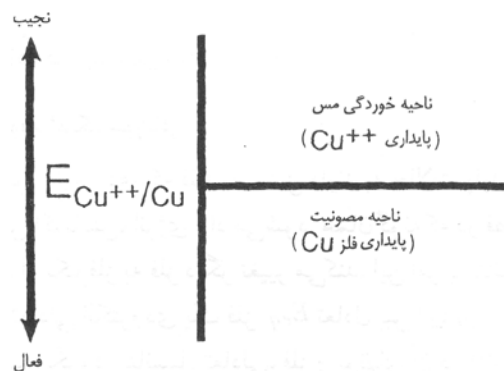
الکتروشیمی را می‌توان به عنوان یک علم شیمی و تکنولوژی که با خواص یونها در محلول و واکنش‌های آنها در فصل مشترک فلز - محلول سر و کار دارد، تعریف کرد. برای جلوگیری از خوردگی فلزات، در حله اول باید با عوامل این پدیده و در واقع الکتروشیمی خوردگی و معادلات حاکم در این زمینه آشنا شویم.

الکتروشیمی را می‌توان از دیدگاه‌های ترمودینامیکی و سینتیکی بررسی کرد. ترمودینامیک مشخص می‌کند که در شرایط معین، چه تغییر حالت‌هایی امکان پذیر است و حداقل انرژی لازم برای انجام تغییر حالت به چه میزان است. سینتیک با آهنگ فرآیندها سروکار دارد به عنوان مثال میزان انرژی لازم برای به‌دست آوردن آهنگ مناسب تولید را تعیین می‌کند. در فرآیند خوردگی شاخه ترمودینامیک الکتروشیمی می‌تواند مشخص کند که خوردگی اتفاق می‌افتد یا نه و از سوی دیگر سینتیک نشان می‌دهد که خوردگی با چه سرعتی انجام می‌شود و یا اینکه یک خط لوله تا چه مدتی در یک محیط خاص دوام می‌آورد.

### ۱.۴.۳ مقدمه‌ای بر ترمودینامیک خوردگی

خوردگی به این دلیل رخ می‌دهد که فلزات تمایل دارند به حالت پایدارتر اکسیدی خود باز گردند. در نتیجه واکنش اکسایش، انرژی آزاد می‌شود. تمایل به اکسید شدن از یک فلز به فلز دیگر تغییر می‌کند، این امر با پتانسیل الکترودی فلز در ارتباط است. پتانسیل تعادلی الکترودی یک فلز ( $E_{eq}$ ) تعادل بین اجزای اکسید و احیا شده آنرا نشان می‌دهد. به عبارت دیگر در پتانسیل تعادلی، فلز و یون‌های آن در کنار یکدیگر حضور دارند و هیچ تمایلی به انجام واکنش در جهت تولید یکی از آنها نیست. در مورد مس، پتانسیل تعادلی ( $E_{eq}$ ) که توسط یک خط افقی در شکل ۸.۳ مشخص شده

است، شرایطی را نشان می‌دهد که  $Cu^{++}$  و  $Cu$  هر دو در کنار یکدیگر حضور دارند. بنابراین خط افقی، دامنه‌ی پایداری یون‌های مس ( $Cu^{++}$ ) و مس ( $Cu$ ) را از یکدیگر جدا می‌کند.



شکل ۸.۳: پایداری ترمودینامیکی مس و  $Cu^{++}$

این خط دلالت بر آن دارد که، وقتی پتانسیل الکترود به پتانسیلی متفاوت از  $E_{eq}$  رسانده شود سیستم در شرائطی قرار می‌گیرد که یا  $Cu^{++}$  پایدار باشد (در این حالت خوردگی رخ می‌دهد) و یا فلز پایدار باشد، بنابراین خوردگی اتفاق نمی‌افتد و گفته می‌شود در شرائط مصونیت قرار دارد. فرایند معکوس و تغییرات انرژی مربوط بدان مربوط به ترمودینامیک است. در این بخش بعضی از نکات مهم ترمودینامیک شیمیایی که در درک بهتر جنبه‌های مختلف الکتروشیمی خوردگی مفیدند، ارائه خواهد شد. در این رابطه، مخصوصاً معادله نرنست همراه با مثال‌هایی درباره‌ی چگونگی استفاده از آن در محاسبه‌ی پتانسیل تعادلی توضیح داده خواهد شد و بحث تا رسم و استفاده از نمودارهای پتانسیل PH گسترش خواهد یافت.

### پتانسیل برگشت پذیر و معادله نرنست

عامل موثر در پدیده خوردگی اختلاف پتانسیل بین اجزا می‌باشد. از اینرو برای پیش‌بینی پدیده خوردگی باید ابتدا پتانسیل لوله و محیط اطراف آنرا مشخص نمود. برای شروع این مبحث بهتر است با یک سری تعاریف اولیه آشنا شویم.

### الکتروود برگشت پذیر

ویژگی اول الکتروود برگشت پذیر این می‌باشد که، یک واکنش شیمیایی است که با تغییر جهت جریان الکتریکی، در جهت معکوس پیش رود. برای مثال می‌توان الکتروود  $Cu^{++}/Cu$  را نام برد. وقتی که این الکتروود به عنوان آند عمل کند، داریم:



با معکوس شدن جریان الکتروود به صورت کاتد عمل کرده و داریم:



این امر مشابه با حالتی نیست که یک صفحه آهنی را در یک محلول اسیدی غوطه‌ور کنیم. در این حالت، فرآیند آندی اکسیداسیون آهن و تولید الکترون است و این فرآیند به صورت خودبه‌خود روی می‌دهد و جریانی تولید می‌کند. حال اگر به آهن بوسیله یک منبع خارجی جریانی القا شود، واکنش کاتدی تولید هیدروژن و مصرف الکترون رخ می‌دهد، در واقع برخلاف مورد قبل آهنی تولید نمی‌شود.

الکتروود برگشت پذیر ایده‌آل را هم از طریق تغییر انرژی آزاد ( $\Delta G$ ) مشخص و بررسی می‌کنند. تغییر انرژی آزاد، اختلاف انرژی‌های آزاد حالت نهایی و حالت اولیه بین محصولات و مواد اولیه واکنش الکتروشیمیایی است. در الکتروود برگشت‌پذیر تغییر انرژی آزاد در اکسایش و کاهش با هم برابر می‌باشد.

برای واکنش احیا، انرژی آزاد مربوط به واکنش برگشت پذیر طبق فرمول (۴.۳) است. در حالت اکسایش رابطه (۵.۳) برقرار است.



$$\Delta G_{red} = G_{red} - G_{ox}$$



$$\Delta G_{ox} = G_{ox} - G_{red}$$

در یک فرآیند برگشت پذیر الکتروودی، هیچ نوع انرژی دیگری بجز تغییر انرژی آزاد که تفاوت بین حالت احیا و اکسایش است، دخالت ندارد. بنابراین  $\Delta G_{ox} = -\Delta G_{red}$ . در یک سیستم الکتروشیمیایی که در دما و فشار ثابت عمل می‌کند، تغییر انرژی آزاد همان تغییر انرژی آزاد بوده که با  $\Delta G$  نشان داده می‌شود. این انرژی آزاد در حالت تعادلی توسط رابطه (۶.۳) با پتانسیل برگشت پذیر الکتروود ارتباط دارد [۶]:

$$\Delta G^o = -zFE^o \quad (۶.۳)$$

z: ظرفیت یا عدد والانس واکنش دهنده

F: ثابت فاراده برابر با ۹۶۵۰۰ C/mol

$E^\circ$ : پتانسیل استاندارد الکترو

همچنین انرژی آزاد گیبس به فرم کلی زیر نیز قابل ارائه است:

$$\Delta G = \left( \sum v_i \mu_i \right)_{product} - \left( \sum v_i \mu_i \right)_{reactants} \quad (۷.۳)$$

$v_i$ : تعداد مول یا یون موجود در واکنش

$\mu_i$ : پتانسیل شیمیایی واکنش دهنده‌ها

با ادغام دو معادله (۶.۳) و (۷.۳):

$$E = -\frac{\Delta G}{nF} \quad (۸.۳)$$

or :

$$E = -\frac{\sum v_i \mu_i}{zF}$$

در جدول ۴.۳ و جدول ۵.۳ مقادیر پتانسیل الکتریکی استاندارد و نیز پتانسیل شیمیایی چند فلز و یون و مولکول ارائه شده است.

جدول ۴.۳: پتانسیل الکتریکی فلزات نسبت به الکترو هیدروژن [۶]

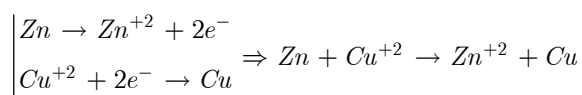
	Reduction Reaction	$E^\circ (V_{SHE})$	
Noble ↑	$Au^{+3} + 3e^- = Au$	+1.498	
	$O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2H_2O$	+1.229	
	$Pt^{+2} + 2e^- = Pt$	+1.200	
	$Pd^{+2} + 2e^- = Pd$	+0.987	
	$Ag^+ + e^- = Ag$	+0.799	
	$Cu^{+2} + 2e^- = Cu$	0.337	
	$Re^{+3} + 3e^- = Re$	0.300	
	↓	$2H^+ + 2e^- = H_2$	0.000
		$Fe^{+3} + 3e^- = Fe$	-0.036
		$Pb^{+2} + 2e^- = Pb$	-0.126
$Sn^{+2} + 2e^- = Sn$		-0.136	
$Ni^{+2} + 2e^- = Ni$		-0.250	
$Co^{+2} + 2e^- = Co$		-0.277	
$Cd^{+2} + 2e^- = Cd$		-0.403	
$Fe^{+2} + 2e^- = Fe$		-0.440	
$Cr^{+3} + 3e^- = Cr$		-0.744	
$Zn^{+2} + 2e^- = Zn$		-0.763	
↓ Active	$Ti^{+2} + 2e^- = Ti$	-1.630	
	$Al^{+3} + 3e^- = Al$	-1.662	
	$Mg^{+2} + 3e^- = Mg$	-2.363	
	$Na^+ + e^- = Na$	-2.714	
	$K^+ + e^- = K$	-2.925	
	$Li^+ + e^- = Li$	-3.045	

جدول ۵.۳: پتانسیل شیمیایی استاندارد [۶]

Name	$\mu^\circ$ (kJ/mol)	Name	$\mu^\circ$ (kJ/mol)
Al	0	Cu	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-1576.41	CuO	-127.19
Al(OH) <sub>3</sub>	-1137.63	Cu(OH) <sub>2</sub>	-356.90
Al <sup>+3</sup>	-481.16	CuSO <sub>4</sub>	-661.91
AlO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-839.77	Cu <sup>+2</sup>	+64.98
Cr	0	Fe	0
Cr(OH) <sub>2</sub>	-587.85	Fe(OH) <sub>2</sub>	-483.54
Cr(OH) <sub>3</sub>	-900.82	Fe(OH) <sub>3</sub>	-694.54
Cr <sup>+3</sup>	-215.48	FeSO <sub>4</sub>	-829.69
CrO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-835.93	Fe <sup>+2</sup>	-84.94
H <sub>2</sub> (g)	0	Fe <sup>+3</sup>	-10.59
H <sup>+</sup>	0	Zn	0
OH <sup>-</sup>	-157.30	Zn(OH) <sub>2</sub>	-559.09
H <sub>2</sub> O	-237.19	Zn <sup>+2</sup>	-147.21

حال فرض کنید می‌خواهیم پتانسیل الکتریکی یک پیل الکتروشیمیایی گالوانیکی با الکتروود مس و روی که هر کدام در تعادل با یون‌های خود می‌باشند را بدست آوریم. برای این کار از هر دو جدول ۴.۳ و جدول ۵.۳ می‌توان استفاده نمود.

واکنش‌های موجود شامل بر:



برای محاسبه پتانسیل پیل بر اساس پتانسیل شیمیایی (جدول ۵.۳) با استفاده از معادله (۸.۳) و به کمک جدول ۵.۳ داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{Cu^{+2}/Cu}^\circ = -\frac{(v\mu^\circ)_{Cu} - (v\mu^\circ)_{Cu^{+2}}}{zF} \\ E_{Cu^{+2}/Cu}^\circ = -\left[ \frac{(1)(0) - (1)(+64.98 \text{ kJ/mol})}{(2)(96.50 \text{ kJ/mol.V})} \right] \\ E_{Cu^{+2}/Cu}^\circ = +0.337 \text{ V} \\ E_{Zn/Zn^{+2}}^\circ = -\frac{(v\mu^\circ)_{Zn^{+2}} - (v\mu^\circ)_{Zn}}{zF} \\ E_{Zn/Zn^{+2}}^\circ = -\left[ \frac{(1)(-147.21 \text{ kJ/mol}) - (1)(0)}{(2)(96.50 \text{ kJ/mol.V})} \right] \\ E_{Zn/Zn^{+2}}^\circ = +0.763 \text{ V} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E_{Cu^{+2}/Zn^{+2}}^\circ = -\frac{(v\mu^\circ)_{Zn^{+2}} - (v\mu^\circ)_{Cu^{+2}}}{zF} \\ E_{Cu^{+2}/Zn^{+2}}^\circ = E_{Cu^{+2}/Cu}^\circ + E_{Zn/Zn^{+2}}^\circ \\ E_{Cu^{+2}/Zn^{+2}}^\circ = +1.10 \text{ V} \end{array} \right.$$

برای محاسبه پتانسیل پیل بر اساس پتانسیل الکتریکی باید از رابطه (۹.۳) استفاده نمود [۶]:

$$E_{cell}^\circ = E_{cathode}^\circ - E_{anode}^\circ \quad (9.3)$$

طبق رابطه فوق و به کمک جدول ۴.۳ داریم:

$$\begin{cases} E_{cathode}^o = E_{Cu^{+2}/Cu}^o = +0.337 \\ E_{anode}^o = E_{Zn/Zn^{+2}}^o = -0.0763 \end{cases} \Rightarrow E_{cell}^o = E_{cathode}^o - E_{anode}^o = +1.10V$$

همانطور که انتظار داشتیم هر دو روش یک مقدار را برای پتانسیل پیل بدست آوردند. روابط فوق برای شرایط استاندارد<sup>۷۴</sup> قابل استفاده بوده و برای شرایطی غیر از آن و به عبارتی شرایط غیر تعادلی می‌بایست از فرمول (۱۰.۳) استفاده نمود. [۶]

$$\Delta G = \Delta G^o + RT \ln(K) \quad (10.3)$$

K: ثابت تعادل واکنش

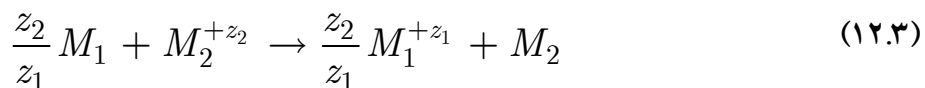
R: ثابت جهانی گاز  $8.314510 \text{ Jmol}^{-1}K^{-1}$

$\Delta G^o$ : انرژی آزادگیس در حالت تعادلی

در این رابطه K ثابت تعادل می باشد که از رابطه (۱۱.۳) بدست می‌آید.

$$K = \frac{\sum \text{Product}}{\sum \text{Reactants}} \quad (11.3)$$

مقدار K در واکنش خوردگی فلز برابر با رابطه (۱۲.۳) می‌باشد.



Thus :

$$K = \frac{[M_1^{+z_1}]^{z_2/z_1} \cdot [M_2]}{[M_1]^{z_2/z_1} \cdot [M_2^{+z_2}]}$$

با توجه به رابطه (۶.۳) و (۱۰.۳) داریم:

<sup>۷۴</sup> غلظت ۱ mol/l، دمای ۲۵°C و فشار ۱ اتمسفر

$$E = E^o - \frac{RT}{zF} \ln(K) \quad (۱۳.۳)$$

معادله فوق به معادله نرنست<sup>۷۵</sup> مشهور است. این رابطه امکان تعیین تمایل به خوردگی فلزات مختلف را میسر می‌کند. همچنین روشی برای محاسبه‌ی اختلاف پتانسیل در خوردگی دو فلزی و محاسبه بیشترین انرژی قابل دسترس از یک پیل گالوانیکی را فراهم می‌کند.

### مفهوم پتانسیل برگشت پذیر

پتانسیل برگشت پذیر که با استفاده از معادله نرنست محاسبه شده است، اطلاعات بسیار مفیدی را در زمینه‌ی خوردگی به ما می‌دهد. به عنوان مثال، وقتی که یک صفحه‌ی مسی در محلولی حاوی یون‌های  $Cu^{++}$  غوطه‌ور شود، پتانسیل برگشت پذیر، پتانسیل الکترودی مربوط به حالت تعادلی بین  $Cu^{++}$  و مس فلزی را به ما می‌دهد. تحت این شرایط، دو حالت یونیزه شده و احیا شده‌ی مسی پایدار بوده و در کنار یکدیگر حضور دارند. برای غلظت  $0.01 \text{ g ion/L}$  پتانسیل برگشت پذیر برابر با  $+0.28$  ولت است. هر پتانسیل اعمال شده‌ای که بیشتر از این مقدار باشد، مثلاً  $+0.32$  ولت، با توجه به ثابت بودن  $E^o$  این مقدار معادل با افزایش غلظت یون‌های مس به میزان بیشتر از  $0.01 \text{ g ion/L}$  می‌باشد و به عبارتی مس در محلول حل و خورده می‌شود. از اینرو می‌توان گفت که یک فلز وقتی خورده می‌شود که پتانسیل آن نجیبتر از پتانسیل برگشت پذیر آن باشد. شایان ذکر است که معادله نرنست تنها قادر به اندازه‌گیری پتانسیل برگشت پذیر است، به عبارتی تنها وقتی که الکتروود در محلولی از یون‌های خود است قادر به پیش بینی پتانسیل می‌باشد.

### نمودارهای PH- پتانسیل

نمودارهای پتانسیل بر حسب PH که به نمودارهای پوربه مشهورند، اولین بار در سال ۱۹۸۳ توسط آقای پوربه<sup>۷۶</sup> ارائه شدند. این دیاگرام‌ها وسیله‌ای مناسب برای مطالعه پدیده خوردگی اند و همچنین محدوده پایداری یون‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدها را معین می‌نماید. این دیاگرام‌ها سه محدوده مهم را برای ما مشخص می‌کنند که شامل بر محدوده خوردگی<sup>۷۷</sup>، محدوده روئین شدن<sup>۷۸</sup> و محدوده مصونیت<sup>۷۹</sup> می‌باشد هر چند که نمی‌توان به کمک آن نرخ خوردگی را تعیین نمود.

<sup>75</sup> Nernst Equation

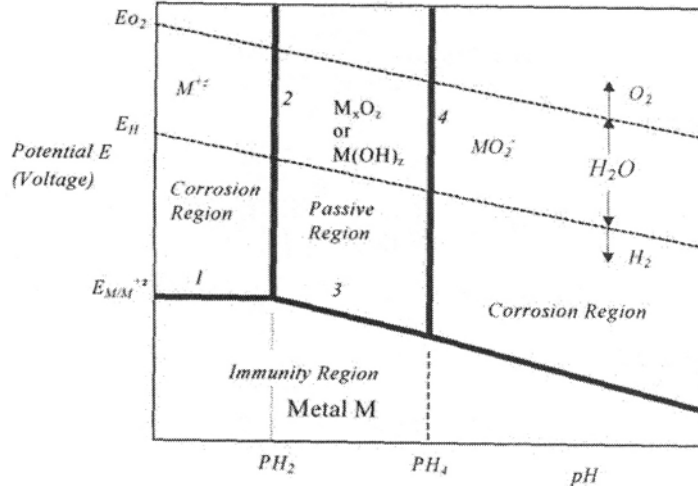
<sup>76</sup> Pourbaix diagrams

<sup>77</sup> corrosion

<sup>78</sup> passivation

<sup>79</sup> immunity

وجود ناحیه روئین شده در واقع ناشی از تشکیل یک لایه نازک از اکسید فلز روی سطح آن است. این لایه بسیار نازک سبب افزایش مقاومت فلز در برابر خوردگی شده و میزان خوردگی را به نحو چشمگیری کاهش می‌دهد. البته این حالت پس از اینکه سطح فلز در معرض خوردگی قرار گرفت امکان تشکیل می‌یابد. ناحیه مصونیت هم بخشی است که فلز از لحاظ خوردگی ایمن است. در ادامه با خطوط مختلفی که در این دیاگرام ممکن است رسم شود بیشتر آشنا می‌شویم. [۶]



شکل ۹.۳: دیاگرام پوربایکس برای فلز M، آب و اکسیژن

۵۹. خط افقی ۱

فرآیند مبین این خط، واکنش ذیل می‌باشد.



$$K = \frac{[M^{+z}]}{[M]} = [M^{+z}] \quad (b)$$

این خط همانطور که در رابطه (b) و دیاگرام نشان داده شده مخصوص واکنش‌هایی است که مستقل از تغییرات pH باشند و تنها شامل انتقال الکترون باشند. با استفاده از معادله نرنست برای

$$[M^{+z}] = 10^{-6} \text{ mol/l} \quad \text{و دمای } T=298\text{K} \text{ داریم}$$

$$E_1 = E_{M/M^{+z}}^o - \frac{2.303RT}{zF} \log [M^{+z}] \quad (c)$$

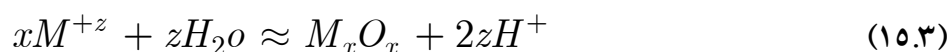


$$E_1 = E_{M/M^{+z}}^o - \frac{0.3552}{z} \quad (14.3)$$

با معلوم بودن نوع فلز مقدار پتانسیل استاندارد آن نیز مشخص می‌باشد. مقدار پتانسیل با فرض ثابت بودن  $E^o$  مقدار ثابت داشته و نسبت به نوع فلز متغیر است.

۶۰. خط قائم شماره ۲

واکنش مبین این خط واکنش ترکیب یک یون فلزی با آب می‌باشد.



$$K = \frac{[H^+]^{2z}}{[M^{+z}]^x} \quad (a)$$

$$\log(K) = 2z \log[H^+] - x \log[M^{+z}] \quad (b)$$

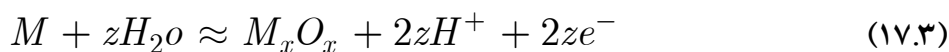
$$\log(K) = -2z(pH_2) - 6x \quad (c)$$

$$pH_2 = -\frac{1}{2z}[\log(K) + 6x] \quad (16.3)$$

همانطور که در رابطه (۱۶.۳) نشان داده شده، مقدار pH کاملاً مستقل از E می‌باشد. شایان ذکر است که اکسید فلزی در سمت راست واکنش بنا به فلز انتخابی می‌تواند با  $M(OH)_2$  یا  $M(OH)_3$  جایگزین شود.

۶۱. خط شیبدار شماره ۳

واکنش مبین این خط واکنش ترکیب یک فلز با آب می‌باشد.

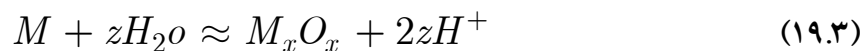


$$K = [H^+]^{2z} \quad (a)$$

این واکنش شامل تبادل الکترون و هیدروژن می‌باشد. چنانچه معادله نرنست را ساده کنیم به رابطه (۱۸.۳) می‌رسیم. از اینرو دانستن  $E_{M/M_xO_x}^o$  ضروری است.

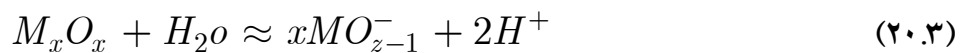
$$E_3 = E_{M/M_xO_x}^o - .0592(pH) \quad (18.3)$$

در شکل ۹.۳ می‌بینیم که خط ۲ و ۳ در pH بدست آمده از فرمول (۱۶.۳) در نقطه‌ای با هم تلاقی می‌کنند. در مقادیر بیشتر از این pH پروسه غیر فعال شدن فلز طبق رابطه (۱۹.۳) شروع می‌شود. در واقع اکسید فلز تشکیل دهنده یک لایه رسوب بوده که باعث افزایش مقاومت فلز در برابر خوردگی می‌شود.



۶۲. خط قائم شماره ۴

واکنش مبین این خط واکنش ترکیب یک اکسید فلزی با آب می‌باشد.



$$K = [H^+]^2 [MO_{z-1}^-]^x \quad (a)$$

$$\text{letting } [MO_{z-1}^-]^x = 10^{-6} \text{ mol/l}$$

$$\log(K) = 2 \log[H^+] + x \log[MO_{z-1}^-] \quad (b)$$

$$\log(K) = -2(pH_4) - 6x \quad (c)$$

$$pH_4 = -0.5[6x + \log(K)] \quad (21.3)$$

### ۲.۴.۳ مقدمه‌ای بر سینتیک خوردگی

از نقطه نظر مهندسی، یک از مهمترین مسائل در زمینه خوردگی، سرعت خوردگی می‌باشد. سیستم‌های خوردگی در حالت تعادلی قرار نداشته و از این رو نمی‌توان از محاسبات ترمودینامیکی

استفاده نمود. سرعت واکنش روی سطح الکتروود مستقیماً به پتانسیل الکتروولیت بستگی دارد. چنانچه الکتروود و الکتروولیت در حالت تعادل باشند سرعت خوردگی برابر با صفر می‌باشد. سینتیک الکتروشیمیایی خوردگی فلز را با مشخص کردن حداقل سه پارامتر پلاریزاسیون می‌توان مشخص نمود. این سه پارامتر شامل بر دانسیته جریان خوردگی، پتانسیل خوردگی و شیب تافل می‌باشد. پس از آن رفتار خوردگی با استفاده از منحنی‌های پلاریزاسیون مشخص می‌شود. مشخص نمودن این پارامترها در نهایت منجر به یافتن مقاومت پلاریزاسیون و سرعت خوردگی می‌شود.

قبل از پرداختن به بحث اصول سینتیک خوردگی با چند تعریف مهم آشنا می‌شویم.

- پتانسیل اضافی<sup>۸۰</sup>

پتانسیل اضافی عبارت است از تغییر در پتانسیل برگشت پذیر الکتروشیمیایی یک الکتروود، تحت شرایطی که یک جریان الکتریکی از آن عبور کند. این مقدار را با  $\eta$  نشان می‌دهیم.

$$\eta = E_{i \neq 0} - E_{eq} \quad (22.3)$$

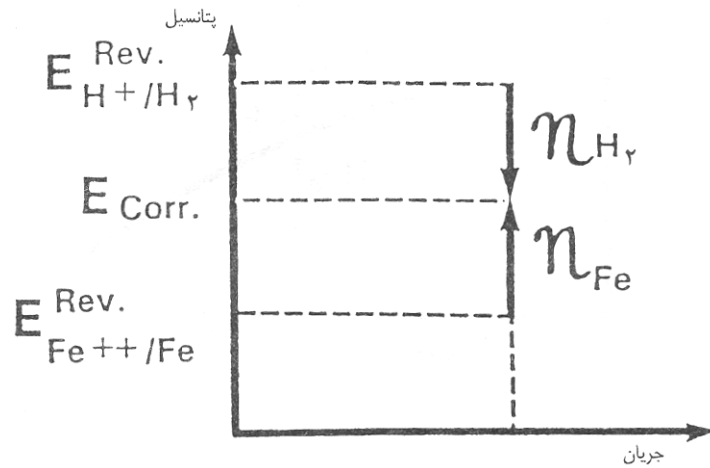
پتانسیل اضافی یک کمیت سینتیکی بوده و حاصل آهنگ واکنش الکتروودی است. پتانسیل اضافی تابعی از چگالی جریان در فصل مشترک فلز - محلول است:

$$\eta = \eta(i) \quad (23.3)$$

- پلاریزاسیون<sup>۸۱</sup>

در رابطه با خوردگی آهن در یک محلول اسیدی، پتانسیل استراحت، پتانسیل برگشت‌پذیر نیست. هنگامی که آهن در حالت استراحت است و هیچ جریان خارجی بر آن اعمال نمی‌شود، آهن به طور خود به خود خورده شده و به پتانسیل جدیدی به نام پتانسیل خوردگی (شکل ۱۲.۳) می‌رسد.

<sup>80</sup> overpotential  
<sup>81</sup> polarization



شکل ۱۰.۳: پتانسیل خوردگی آهن

تحت چنین شرایطی قدر مطلق جریان مربوط به اکسایش آهن ( $i_{Fe}$ ) با قدر مطلق جریان مربوط به آزاد شدن هیدروژن ( $i_{H_2}$ ) برابر است. این میزان جریان را جریان خوردگی  $I_{corr}$  نامند.

$$I_{corr} = i_{Fe} = i_{H_2} \quad (24.3)$$

لیکن، در چنین سیستم مختلفی امکان اعمال جریان خارجی و در نتیجه فراهم کردن شرایط برای انجام یکی از واکنش‌های اکسایش و احیا وجود دارد. برای مثال با تامین الکترون زیادتر و در نتیجه افزایش سرعت احیای هیدروژن می‌توان پتانسیل الکتروود را از  $E_{corr}$  به  $E_{i \neq 0}$  تغییر داد. تغییر پتانسیل یک فلز در حال خورده شدن را پلاریزاسیون نامند. در شرایطی که جریان خارجی اعمال شود، پلاریزاسیون را می‌توان با معادله زیر مشخص نمود.

$$\varepsilon \equiv E_{i \neq 0} - E_{corr} \quad (25.3)$$

با اعمال یک جریان کاتدی (رساندن الکترون به کاتد)، آهنگ آزاد شدن هیدروژن افزایش یافته و آهنگ اکسایش آهن کاهش می‌یابد.

$$\begin{aligned} i_{H_2} &> i_{Fe} \\ i_{H_2} &= i_{Fe} + i_{imp} \\ |\varepsilon| &> E_{corr} - E_{eq}^{Fe^{++}/Fe} \end{aligned}$$

اختلاف در مقدار الکترون‌ها از جریان اعمالی  $i_{imp}$  تامین می‌شود.

$$i_{H_2} > i_{Fe} \quad (26.3)$$

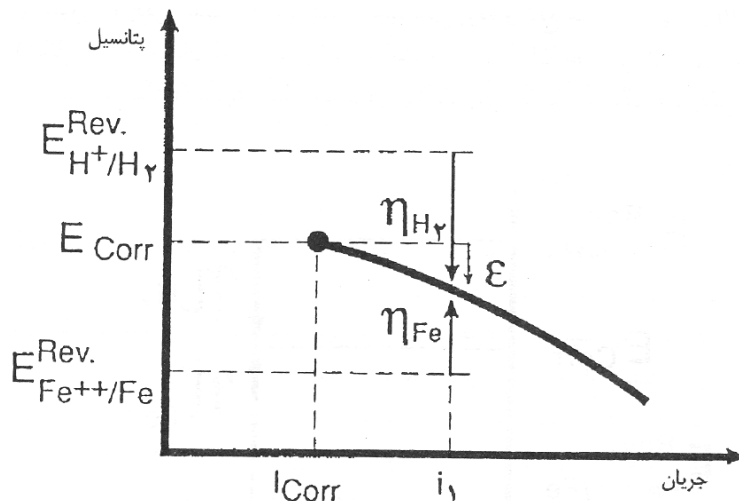
$$i_{H_2} = i_{Fe} + i_{imp}$$

$$|\varepsilon| > E_{corr} - E_{eq}^{Fe^{++}/Fe}$$

با افزایش جریان کاتدی اعمال شده، جریان و آهنگ خوردگی آهن کاهش می‌یابد. از نظر پتانسیل هر چه جریان کاتدی افزایش یابد مقدار  $E_{i \neq 0}$  کمتر می‌شود. در نهایت، وقتی که  $E_{eq}^{Fe^{++}/Fe}$  از  $E_{i \neq 0}$  کمتر شود، آهن نسبت به خوردگی مصون می‌ماند. در این حالت

$$|\varepsilon| > E_{corr} - E_{eq}^{Fe^{++}/Fe} \quad (27.3)$$

تفاوت بین پلاریزاسیون و پتانسیل اضافی در شکل ۱۱.۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۱.۳: تفاوت بین پلاریزاسیون و پتانسیل اضافی

### دانسیته جریان

همانگونه که در بخش قبل ذکر شد، با تغییر پتانسیل الکترود از  $E_{corr}$  به  $E_{i \neq 0}$ ، سیستم از حالت تعادل خارج شده و دیگر سرعت واکنش‌های رفت و برگشت با هم یکسان نمی‌باشد. در این حالت دانسیته جریان طبق معادله باتلر-والمر<sup>۸۲</sup> (رابطه (۲۸.۳)) با پتانسیل جدید ارتباط دارد. [۶]

<sup>82</sup> Butler-Volmer equation

$$i = i_o \left\{ \exp \left[ \frac{\alpha z F \eta}{RT} \right]_f - \exp \left[ -\frac{(1-\alpha) z F \eta}{RT} \right]_r \right\} \quad (28.3)$$

where :

$$\eta = E - E_o$$

$E =$  Applied potential

$\alpha =$  Symmetry Coefficient, usually  $\alpha = 0.5 \pm 0.2$

$f$  : reduction

$r$  : oxidation

پارامتر  $i_o$  همان  $I_{corr}$  در حالت تعادل است. هرگاه میزان پتانسیل اضافی  $\eta$  از نظر مقدار کم باشد با خطی سازی معادله فوق به رابطه (۳۰.۳) میرسیم.

$$\exp(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{k!} \simeq 1 + x$$

$$i \simeq i_o \left[ \left( 1 + \alpha z F \eta / RT \right) - \left( 1 - (1 - \alpha) z F \eta / RT \right) \right] \quad (29.3)$$

for  $\eta < 0.01V$

$$i \simeq i_o \left( \frac{z F \eta}{RT} \right) \quad (30.3)$$

معادله باتلر-والمر را با یک تقریب دیگر هم می‌توان ساده‌سازی کرد. چنانچه در معادله (۲۸.۳)

فرض کنیم

$$\exp \left[ \frac{\alpha z F \eta}{RT} \right]_f \gg \exp \left[ -\frac{(1-\alpha) z F \eta}{RT} \right]_r \quad (31.3)$$

در این حالت داریم

$$i \simeq i_o \exp \left( \frac{\alpha z F \eta}{RT} \right) \quad (32.3)$$

و با مرتب سازی برحسب پتانسیل اضافی به معادله تافل (رابطه (۳۳.۳)) می‌رسیم.

$$\eta = a + b \log(i) \quad (۳۳.۳)$$

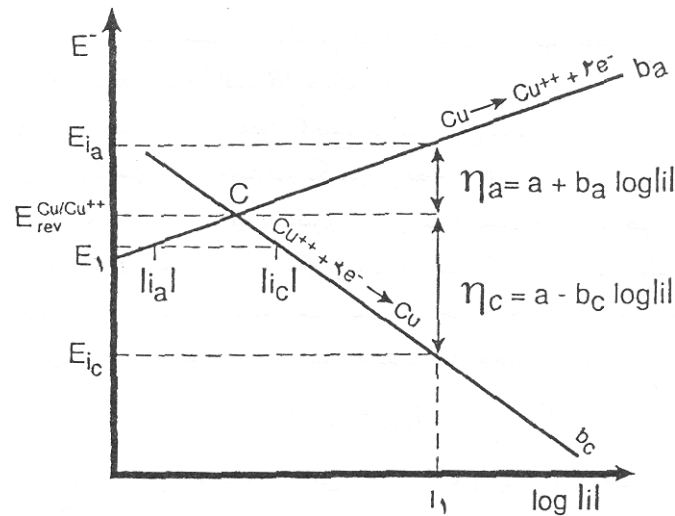
$$a = -\frac{2.303RT}{\alpha z F} \log(i_0)$$

$$b = \frac{2.303RT}{\alpha z F}$$

معادله فوق برای پلاریزاسیون آندیک هم کاربرد دارد [۶]. معادله فوق در واقع پتانسیل اضافی را به صورت خطی تابعی از  $\eta = F(\log(i))$  تعریف می‌کند. در معادله تافل، شیب تافل (b) بویژه پارامتر مهمی است. علامت آن برای فرآیندهای آندی مثبت و برای فرآیندهای کاتدی منفی است.

### نمودار E-log(i)

رفتار تافل را معمولاً در نمودار E-log(i) نشان می‌دهند. در شکل ۱۲.۳، چنین نموداری برای الکتروده رفتار تافل را معمولاً در نمودار E-log(i) نشان داده شده‌است. در این رابطه واکنش آندی طبق رابطه (۲.۳) و کاتدی طبق رابطه (۳.۳) می‌باشد.



شکل ۱۲.۳: رفتار تافل سیستم  $Cu^{++}/Cu$

با رسم خطوط تافل آندی و کاتدی، این دو خط در نقطه C یکدیگر را قطع می‌کنند. این نقطه نشان دهنده‌ی آهنگ یکسان برای فرآیندهای آندی و کاتدی است. در این نقطه  $|i_a| = |i_c|$  و به عبارتی کلیه الکترون‌هایی که از آند خارج می‌شوند توسط کاتد به مصرف می‌رسند. در هر حالت جریان خالص در یک الکتروده، برابر با مجموع جریان‌های حاصل از عبور بارها از فصل مشترک فلز-محلول است.

$$i_{net} = i_a + i_c \quad (۳۴.۳)$$

در این مورد  $i_{net} = 0$ ، زیرا آهنگ فرآیند کاتدی و آندی برابر می‌باشد، ولی علامت جریان آنها مخالف یکدیگر است.

از شکل ۱۲.۳ مشاهده می‌شود که اعمال یک پتانسیل اضافی کاتدی ( $E_1$ ) بر پتانسیل تعادلی الکتروود، سبب بر هم زدن حالت تعادل و تغییر در جریان‌های آندی و کاتدی می‌شود. هنگامی که پتانسیل اضافی کاتدی ( $E_{ic}$ ) به اندازه کافی زیاد باشد، جریان آندی ( $i_a$ ) در مقایسه با جریان کاتدی ( $i_c$ ) قابل اغماض می‌باشد. تفسیر فیزیکی این پدیده، توقف تجزیه آند به یونهای مس و الکترون و تبدیل یونهای مس درون الکتروولیت به مس می‌باشد. در این حالت یک جریان خالص کاتدی برقرار خواهد شد.

$$i_{net} = i_a + i_c < 0 \quad (۳۵.۳)$$

کمیت منفی چگالی جریان خالص، بیانگر آهنگ احیا بر روی الکتروود است. برای یک واکنش کاتدی خالص، آهنگ احیا را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد. [۷]

$$i_{net} = zFK [Cu^{++}] \quad (۳۶.۳)$$

### پتانسیل مختلط

برای الکترودهای تنها، به عنوان مثال مس غوطه‌ور شده در محلول  $CuSO_4$ ، واکنش اکسایش طبق رابطه (۲.۳) عکس واکنش احیا (رابطه (۳.۳)) است. در حالت استراحت هر دو واکنش با آهنگ یکسان انجام می‌شوند و یک پتانسیل تعادلی برای الکترودها مشاهده می‌شود که توسط معادله نرنست قابل محاسبه است. اما برای الکتروودی مانند آهن که در محلولی از یون‌های هیدروژن غوطه‌ور است، دو واکنش مختلف که به صورت برگشت‌ناپذیر انجام می‌شوند، مشاهده می‌شود. در اینجا واکنش کاتدی آزاد شدن هیدروژن است ولی واکنش آندی اکسایش هیدروژن نیست بلکه اکسایش آهن است. در حالت استراحت و در غیاب جریان الکتریکی خارجی، چنین الکتروودی خورده می‌شود و پتانسیل آن برگشت پذیر نیست، بنابراین از معادله نرنست قابل محاسبه نخواهد بود. پتانسیل استراحتی که از اثر این دو واکنش به دست می‌آید، به پتانسیل مختلط موسوم است. همچنین به علت اکسایش فلز این پتانسیل به پتانسیل خوردگی ( $E_{corr}$ ) مشهور است. مقدار این پتانسیل، بین پتانسیل‌های تعادلی واکنش‌های شرکت کننده در این فرآیند ( $E_{eq}^{Fe}, E_{eq}^{H_2}$ ) قرار دارد. (شکل ۱۲.۳)



سیتیک هر کدام از این واکنش‌ها و پتانسیل نسبی آنها به شرایط خاصی مانند ویژگی محیط آنها بستگی دارد و در نتیجه، مقدار واقعی پتانسیل خوردگی به متغیرهایی که در دو واکنش خوردگی موثرند بستگی دارد.

### نمودار پتانسیل مختلط

با استفاده از نمودارهای پتانسیل مختلط یا نمودارهای پتانسیل - لگاریتم قدر مطلق چگالی جریان  $(E - \log|i|)$  می‌توان فرآیندهای الکترودی را در جریان‌ها بیشتر از جریان خوردگی فلزات و آلیاژها را در محیط‌های خاص آبی خیلی سریع مشخص کرد.

این نمودارها بر این اساسند که در محیط‌های آبی، فرآیندهای الکترودی معمولاً تحت کنترل پلاریزاسیون فعالسازی<sup>۸۳</sup> بوده و اینکه بر اساس رابطه تافل (۳۷.۳) پتانسیل اضافی بستگی به لگاریتم چگالی جریان دارد. [۷]

$$\eta = a \pm b \log|i| \quad (۳۷.۳)$$

این نمودار جدید را می‌توان با مطالعه خوردگی آهن در محلول اسیدی نشان داد. با رسم خطوط تافل آندی و کاتدی برای آهن، این دو خط در نقطه‌ای که آهنگ انحلال آهن با رسوب آن یکسان است همدیگر را قطع می‌نمایند. این دو آهنگ برابر با چگالی جریان تبادلی<sup>۸۴</sup> است.

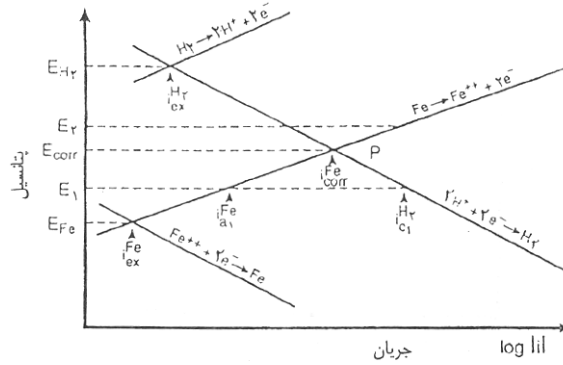
$$i_a^{Fe} = i_c^{Fe} = i_{ex}^{Fe} \quad (۳۸.۳)$$

بنابراین، پتانسیل الکتروود در جریان تبادلی، به پتانسیل تعادلی فلز موسوم است و با استفاده از معادله نرنست قابل محاسبه است. از آنجایی که آهن در یک محیط آبی غوطه‌ور است، سیستم دومی که همان سیستم  $H^+ / H_2$ ، نیز وجود داشته و باید در نظر گرفته شود. هر کدام از رفتارهای آندی و کاتدی الکتروود هیدروژن را می‌توان توسط خط تافل نشان داد. این دو خط در پتانسیل تعادلی هیدروژن که بیشتر از پتانسیل تعادلی آهن است، و چگالی جریان  $(i_{ex}^{H_2})$  را مشخص می‌کند یکدیگر را قطع می‌کنند. (شکل ۱۳.۳)

وقتی که این چهار خط به طور مستقل رسم شوند، می‌توان اثر متقابل واکنش‌های الکتروشیمیایی بوجود آمده در مورد خوردگی را بحث کرد.

<sup>83</sup> Activation polarization

<sup>84</sup> Exchange current



شکل ۱۳.۳: نمودار پتانسیل مختلط برای آهن در یک محلول اسیدی

جریان کاتدی کل برابر با مجموع تمام جریان‌های واکنش‌های احیایی است که انجام می‌شود.

$$i_{cath}^{tot} = i_c^{Fe} + i_c^{H_2} \quad (۳۹.۳)$$

که در آن

$$i_c^{Fe} = zFK_{Fe} (Fe^{2+})^{Z_{Fe}} \quad (۴۰.۳)$$

$$i_c^{H_2} = zFK_{H_2} (Fe^{2+})^{Z_{H_2}} \quad (۴۱.۳)$$

در اکثر موارد عملی خوردگی، محیط آبی حاوی مقدار بسیار کمی از یون‌های  $Fe^{2+}$  است،

ولی غلظت  $H^+$  زیاد بوده در نتیجه می‌توان ادعا کرد

$$i_c^{Fe} \ll i_c^{H_2}$$

or :

$$i_{cath}^{tot} = i_c^{H_2} \quad (۴۲.۳)$$

با استفاده از بحث مشابهی می‌توان نشان داد که واکنش کلی آندی عملاً فقط توسط آهن مشخص می‌شود. در این نمودار خط احیای هیدروژن، خط انحلال آهن را در نقطه P قطع می‌کند.

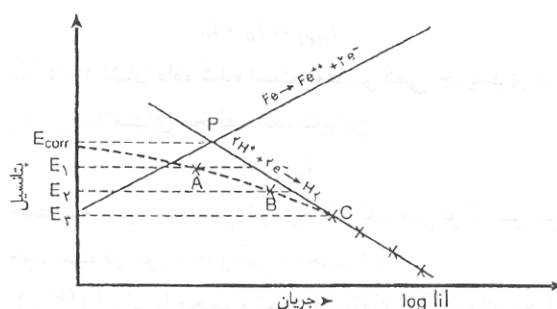
نقطه P، آهنگ انحلال فلز با آهنگ آزاد شدن هیدروژن برابر است. در این شرایط، هیچ جریان الکتریکی بین فلز و یک منبع خارجی تبادل نمی‌شود. در اینجا آهنگ انحلال آهن همان آهنگ

تخریب فلز بوده که در نتیجه همان آهنگ خوردگی است. (رابطه (۴۳.۳))

$$i_a^{Fe} = i_c^{H_2} = i_{corr} \quad (۴۳.۳)$$

پتانسیل استراحت مربوطه، پتانسیل خوردگی یا پتانسیل مختلط کل سیستم است. اعمال جریان کمی از الکترون‌ها به فلز آهن، پتانسیل الکتروود را کمی به سمت مقادیر فعال‌تر (کم‌تر) جابه‌جا می‌کند. این تغییر مربوط به پلاریزاسیون کاتدی در یک پتانسیل الکتروود  $E_1$  می‌شود. در این پتانسیل، آهنگ احیای هیدروژن برابر با  $i_{c_1}^{H_2}$  و آهنگ انحلال آهن برابر با  $i_{a_1}^{Fe}$  است. شکل ۱۴.۳ نشان می‌دهد که  $i_{c_1}^{H_2}$  از  $i_{a_1}^{Fe}$  بیشتر است. از این رو جریان کاتدی خالصی طبق معادله (۴۴.۳) برقرار است. این جریان با نقطه A در شکل ۱۴.۳ نشان داده شده است.

$$i_{net} = i_{a_1}^{Fe} + i_{c_1}^{H_2} \quad (44.3)$$



شکل ۱۴.۳: نمودار ساده شده پتانسیل مختلط برای آهن

برای پتانسیل فعال‌تری مانند  $E_2$ ، قدر مطلق  $i_c^{H_2}$  افزایش یافته و قدر مطلق  $i_a^{Fe}$  کاهش می‌یابد. طبق معادله (۴۴.۳)، جریان خالص افزایش یافته و با نقطه B نشان داده می‌شود. در پتانسیل کمتری چون  $E_3$ ، در مقایسه با  $i_c^{H_2}$  مقدار  $i_a^{Fe}$  قابل اغماض شده و  $i_{net} = i_c^{H_2}$  است. نقطه مربوط به موقعیت پتانسیل-جریان در این حالت (نقطه‌ی C) روی خط تافل هیدروژن قرار می‌گیرد. (شکل ۱۴.۳)

مقادیر جریان‌های خالص که در نقاط A، B و C تعیین شده‌اند را می‌توان با نقطه‌چین به یکدیگر وصل نمود. این خط نقطه‌چین نشان می‌دهد که در اثر اندکی پلاریزاسیون، جریان خالص از رفتار پلاریزاسیون فاصله می‌گیرد. برای پلاریزاسیون کاتدی بیش از  $E_3$ ، آهنگ انحلال آهن بسیار کم و قابل اغماض بوده و تنها احیای هیدروژن انجام می‌گیرد.

### ۵.۳ الکتروشیمی حفاظت کاتدیک

در صنعت نوین خطوط لوله، مخازن، پوسته‌ی چاه‌ها، سازه‌های بتنی مسلح، کابل‌های ارتباطی و غیره، استفاده گسترده‌ای از فلزات در زیرزمین می‌شود. این امر نشانگر سرمایه‌گذاری بسیار زیاد در این زمینه است. اگر این سازه‌های فلزی که در تماس مستقیم با خاک یا آب هستند حفاظت نشوند دچار خوردگی می‌شوند.

خسارات و هزینه‌های تحمیلی خوردگی به طور مفصل در بخش‌های قبل مورد بررسی قرار گرفت. در مورد روش‌های مقابله با آن نیز به طور مختصر در بخش پیشین اشاره شده‌است. از جمله روش‌های متداول در این زمینه حفاظت کاتدیک می‌باشد.

حفاظت کاتدیک ایده‌ی ساده‌ی است که توسط آن با کاتد کردن تمامی سازه‌ی فلزی واکنش‌های آندی را متوقف می‌کنند. این یک روش الکتروشیمی برای جلوگیری از خوردگی بوده که برای سازه‌های غوطه‌ور در یک محیط یا الکترولیت رسانا نظیر آب، خاک و یا بتن استفاده می‌شود. حفاظت کاتدی اگر خوب و صحیح اعمال شود می‌تواند فلزات بدون پوشش و یا نواحی هالیدی<sup>۸۵</sup> در سطح فلز پوشش داده شده را حفاظت کند.

اصول و روش‌های اعمال حفاظت کاتدیک در قسمت قبل ذکر شده‌است. از جمله این روش‌ها حفاظت کاتدی به روش جریان اعمالی می‌باشد که در ادامه با این روش بیشتر آشنا می‌شویم.

### ۱.۵.۳ معیار حفاظت کاتدی

اساس کار حفاظت کاتدیک لوله به روش جریان اعمالی، اعمال جریان در خلاف جریان‌های آندی به لوله تحت حفاظت می‌باشد. سؤال اساسی در این زمینه مقدار جریان لازم برای حفاظت می‌باشد. واضح است که با توجه به شرایط خاک از نظر مقاومت الکتریکی، میزان و کیفیت عایق پوششی و سطح لوله مقدار جریان مورد نیاز متفاوت خواهد بود. لذا مقدار جریان را نمی‌توان برای ارزیابی اینکه سیستم تحت حفاظت کاتدی کامل قرار دارد یا نه بعنوان معیار در نظر گرفت. با عبور جریان، پتانسیل لوله نسبت به خاک در جهت منفی تغییر پیدا می‌کند، از آنجا که دلیل اصلی خوردگی اختلاف پتانسیل بین اجزا می‌باشد، پتانسیل جدیدی را که لوله بعد از اعمال جریان حفاظتی اختیار خواهد کرد بعنوان معیار محسوب می‌نمایند.

در استانداردهای مربوط به حفاظت کاتدیک سه معیار اصلی برای حفاظت لوله‌های فولادی زیر خاک یا درون آب و نیز لوله‌های چدنی از خوردگی ذکر شده است [۸]:

۶۳. پتانسیل<sup>۸۶</sup>  $(CSE) -850 \text{ mV}$  لوله نسبت به خاک پس از اعمال حفاظت کاتدیک

۶۴. جابه‌جایی پتانسیل

۶۵.  $100 \text{ mV}$  پلاریزاسیون

<sup>۸۵</sup> Holidays حفره‌ها و سوراخ‌هایی هستند که در سطح پوشش‌های اعمالی بوجود می‌آیند.

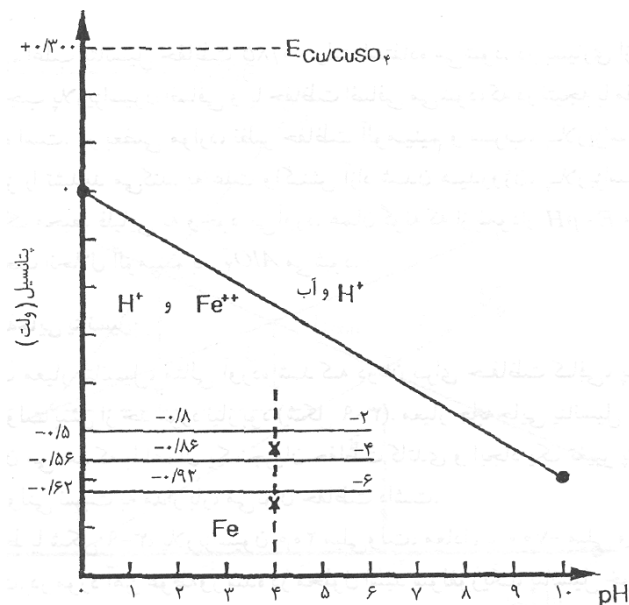
<sup>۸۶</sup> در مقایسه با الکتروود مرجع مسی / سولفات مس

احتمال یا عدم احتمال خوردگی را می‌توان با در نظر گرفتن هر یک از معیارهای بالا بررسی کرد. هر یک از معیارهای ذکر شده کاربردها و محدودیت‌هایی دارند که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

### پتانسیل $mV$ (CSE) $-۸۵۰$ لوله پس از اعمال حفاظت کاتدیک

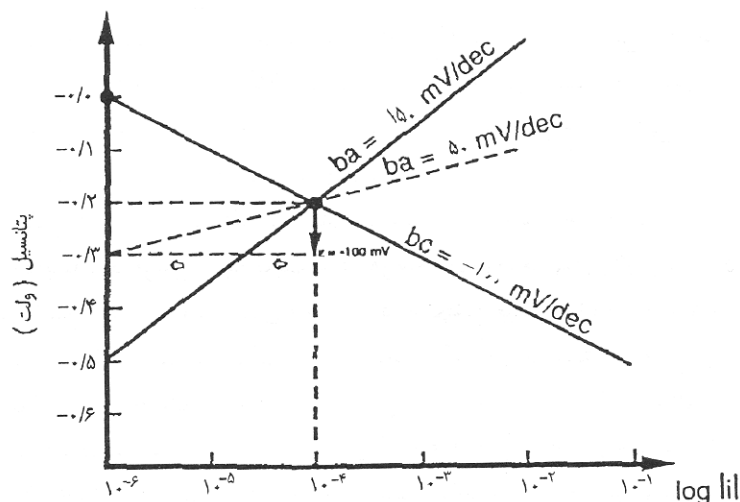
در سال ۱۹۳۳ میلادی، بر اساس نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده در شرایط عملی، کهن<sup>۸۷</sup> پتانسیل  $-۰.۸۵$  ولت نسبت به CSE را برای حفاظت آهن پیشنهاد کرد. گرچه در این پتانسیل اغلب مقدار کمی خوردگی مشاهده شده‌است، اما این عدد به طور وسیع و گسترده‌ای پذیرفته شده می‌باشد. [۸]

با استفاده از نمودار  $E - pH$ ، می‌توان یک درک کیفی از پتانسیل حفاظت داشت. شکل ۱۵.۳ یک نمودار ساده  $E - pH$  مربوط به آهن-آب را نشان می‌دهد. در این نمودار می‌توان مشاهده کرد که پتانسیل  $-۰.۸۵$  V نسبت به CSE در ناحیه‌ای بین پایداری  $Fe$  و  $Fe^{2+}$ ، واقع می‌شود. متناسب با غلظت  $Fe^{2+}$ ، این پتانسیل می‌تواند در ناحیه خوردگی یا مصونیت قرار بگیرد. لیکن برای آهنی که نزدیک به حفاظت باشد، غلظت  $Fe^{2+}$  بسیار کم بوده و می‌توان فرض نمود غلظت برابر با  $10^{-6}$  گرم یون در لیتر است. در این حالت پتانسیل برگشت پذیر در حدود  $-۰.۹۲$  V نسبت به CSE است. می‌بینیم که برای این غلظت پتانسیل  $-۰.۸۵$  هنوز در ناحیه خوردگی است.



شکل ۱۵.۳: نمودار ساده شده  $E - pH$  برای سیستم آهن-آب

در شکل ۱۶.۳ شمایی از نمودار  $E - \log|i|$  برای دو رفتار متفاوت تافل مربوط به منحنی پلاریزاسیون آندی فلز نشان داده شده است. در اینجا آهنگ خوردگی  $10^{-6}$  آمپر بر سانتیمتر مربع قابل قبول در نظر گرفته شده است. برای یک شیب آندی تافل برابر با  $50 \text{ mV/dec}$ ، حفاظت با پلاریزاسیون  $100$  میلی ولت حاصل می‌شود. در حالی که برای شیب تافلی  $150 \text{ mV/dec}$ ، پتانسیل لازم برای حفاظت برابر با  $300 \text{ mV}$  است.



شکل ۱۶.۳: نمودار  $E - \log|i|$  برای دو شیب آندی تافل

همانطور که از شکل ۱۶.۳ پیداست، میزان پلاریزاسیون کاتدی برای حفاظت کافی بستگی به رفتار تافل آندی آهن دارد. مع هذا، تعیین مقادیر واقعی شیب آندی تافل کار مشکلی است، زیرا که در عمل آزمایشات و نتایج حاصل چندان تکرار پذیر نیستند. [۷]

معمولا تعریف دقیق یک معیار حفاظت خوب برای یک حالت خاص بسیار مشکل است. میزان پتانسیل مورد نظر، و یا به عبارت دقیقتر آهنگ خوردگی باقیمانده (پس از حفاظت) قابل قبول، امری است که باید با توجه به آگاهی از شرایط کار، هزینه‌ها و مدت زمان اعمال حفاظت در نظر گرفته شود.

همانطور که ذکر شد در عمل، اغلب پتانسیل حفاظت  $0.85 \text{ V}$  - استفاده می‌شود. در بسیاری از موارد این پتانسیل منجر به پلاریزاسیون اضافی و یا حفاظت اضافی می‌شود که در نتیجه با مقداری اتلاف انرژی همراه است.

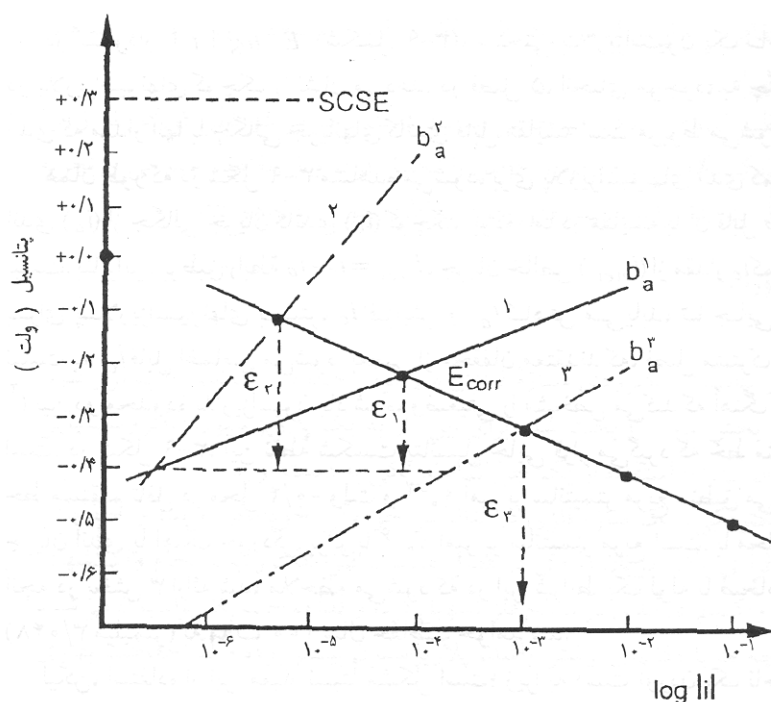
### جابه‌جایی پتانسیل

این معیار برای حفاظت کاتدی نشان می‌دهد که با اعمال یک جریان حفاظت کاتدی و ایجاد یک تغییر پتانسیل منفی  $300 \text{ mV}$  می‌توان حفاظت داشت. در مورد آهن غوطه‌ور در محلول اسید سولفوریک، پتانسیل خوردگی  $570 \text{ mV}$  - است. لذا یک تغییر پتانسیل  $300 \text{ mV}$ ، پتانسیل فلز را به

$mV$  -۸۷۰ نسبت به CSE می‌رساند. این عدد نزدیک به معیار  $mV$  -۸۵۰ است. مع هذا باید توجه داشت که معیار جابجایی پتانسیل، اختلاف پتانسیل بین پتانسیل استراحت در جریان صفر و یک کمیت در حالت پلاریزه شده که شامل افت IR باشد را اندازه می‌گیرد. مقدار جابه‌جایی پتانسیل برابرست با

$$\Delta E = \varepsilon_{elec} + IR_s \quad (۴۵.۳)$$

افت ولتاژ IR می‌تواند از موردی به مورد دیگر تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته باشد و در نتیجه برای مقادیر جابه‌جایی یکسان پتانسیل، پلاریزاسیون‌های متفاوت حفاظت را موجب شود. در شکل ۱۷.۳ سه مورد متفاوت نشان داده شده است که با توجه به آنها می‌توان دو معیار فوق را مقایسه نمود. فرض بر این است که در هر سه مورد منحنی‌های پلاریزاسیون کاتدی یکسان باشند. اما سه رفتار متفاوت آندی وجود دارد. همچنین فرض شده که افت IR قابل اغماض باشد. ملاحظه شده است که آهنگ خوردگی  $10^{-6}$  آمپر بر سانتیمتر مربع به حدی کم است که می‌توان در این حالت حفاظت کافی و قابل قبول داشت. شکل ۱۷.۳ نشان می‌دهد که تحت این شرایط، در مورد (۱) پلاریزاسیون  $\varepsilon_1 = -200mV$  و در مورد (۲) پلاریزاسیون  $\varepsilon_2 = -300mV$  لازم است. در هر دو مورد، معیار پتانسیل  $mV$  -۷۰۰ نسبت به CSE استفاده شده است. اما در مورد (۳) پلاریزاسیون  $\varepsilon_3 = -350mV$  نیاز است و معیار پتانسیل آن  $mV$  -۹۵۰ نسبت به CSE است.

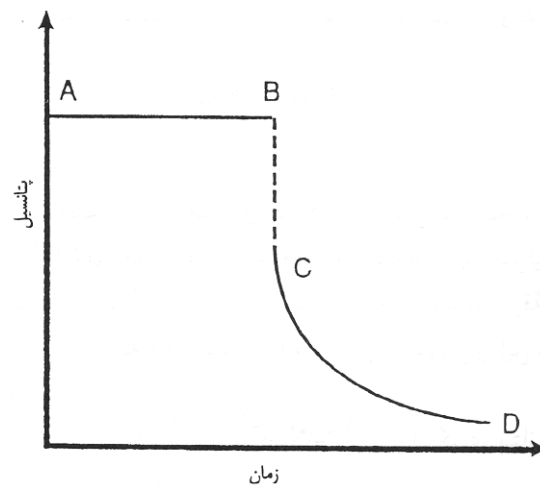


شکل ۱۷.۳: مقادیر تغییر پتانسیل

بحث معیار جابه‌جایی پتانسیل نشان می‌دهد که این روش از معیار پتانسیل دقیقتر نیست. علت این امر این است که، در هر دو مورد، منحنی‌های پلاریزاسیون قابل اعتمادی در دسترس نیست. به علاوه، از آنجایی که اندازه‌گیری‌ها شامل پتانسیل افت IR نیز است، معیار جابه‌جایی پتانسیل تا اندازه‌ای موجب عدم اطمینان می‌شود.

### ۱۰۰ mV پلاریزاسیون

۱۰۰ mV پلاریزاسیون، عبارت از حداقل ۱۰۰ mV پلاریزاسیون منفی نسبت به پتانسیل خوردگی بعد از قطع جریان است. این اندازه‌گیری باید درست بعد از قطع جریان و قبل از اینکه دی پلاریزاسیونی رخ دهد انجام شود. این مقدار توسط نقطه C در شکل ۱۸.۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۸.۳: چگونگی تغییر پتانسیل پس از قطع ناگهانی جریان

بنابراین تعیین مقدار دقیق C با استفاده از تجهیزات ارزان قیمتی که معمولاً در محل کار وجود دارد مشکل است. در آزمایشگاه توسط یک آسیلوسکوپ سریع، می‌توان پلاریزاسیون را بطور دقیق اندازه گرفت.

### نتیجه‌گیری

تمامی این معیارهای حفاظت تا اندازه‌ای ارزش عملی دارند، ولی مقادیر پیشنهاد شده لزوماً حداقل نیاز برای جلوگیری از خوردگی را فراهم نمی‌کنند. در حالت کلی، مقادیر بحرانی با ویژگی‌های محیط تغییر می‌کنند. این موضوع می‌تواند توضیحی باشد برای اینکه چرا اغلب معیار  $-0.85$  V نسبت به CSE به عنوان حد بالایی استفاده می‌شود. همچنین دلیلی است بر اینکه چرا در بسیاری از مواد حفاظت را می‌توان با مقادیر پتانسیل مثبت‌تر (یا کمتر منفی) به دست آورد. اغلب تنها یک پلاریزاسیون  $-100$  mV نسبت به پتانسیل خوردگی که تحت تاثیر افت IR نباشد، می‌تواند حفاظت



کافی برقرار کند. از آنجایی که تغییر پتانسیل پیشنهادی  $300\text{ mV}$  - شامل افت IR اضافه شده به پلاریزاسیون بوده، در حالی که در معیار  $100\text{ mV}$  فرض بر این است که مقاومت اهمی ناچیز باشد. معیارهای حفاظت کاتدی، مقادیر مشخصی نیستند که بتوان در هر شرائطی کورکورانه از آنها استفاده کرد. استفاده‌کنندگان باید هر مورد خاص را تحلیل کرده و از مفاهیم عمومی و تجزیه استفاده کنند تا اینکه بتوانند برای سیستم خود حفاظت خوبی را فراهم کنند.

### ۲.۵.۳ چگالی جریان مورد نیاز

با یک تغییر در پتانسیل الکتروود سازه‌ی فلزی می‌توان حفاظت کاتدی را برقرار کرد. همانطور که در فصل قبل نیز اشاره شده برای این کار به یک پلاریزاسیون الکتروشیمیایی نیاز است که می‌توان آنرا با استفاده از یک جریان الکتریکی بدست آورد.

در غیاب جریان الکتریکی، یک سازه فلزی در پتانسیل خوردگی خود باقی مانده و حفاظتی انجام نمی‌گیرد. برقراری یک جریان کاتدی در فصل مشترک فلز-الکتروولیت انجام واکنش‌های کاتدی را نسبت به واکنش‌های آندی تسهیل کرده و لذا موجب پلاریزاسیون می‌شود. هر چه جریان کاتدی بیشتر باشد، پلاریزاسیون بیشتر بوده و لذا حفاظت بهتری انجام می‌شود. ناگفته نماند که برای جریان اعمالی محدودیت‌هایی چون میزان اتلاف انرژی و همچنین ترد شدن فلز در اثر احیای بیش از حد هیدروژن<sup>۸۸</sup> را قائل می‌شوند.

### مقدار چگالی جریان حفاظت

چگالی جریان مورد نیاز برای حفاظت یک سازه‌ی فلزی با طبیعت الکتروولیت و سازه‌ی فلزی تغییر می‌کند. در خاک‌های بسیار خورنده در مقایسه با محیط‌هایی با خوردگی کمتر، چگالی بیشتری برای حفاظت نیاز است. در مقایسه با خاک‌های با مقاومت زیاد، یک خاک با رسانایی زیاد و مقاومت کم، به چگالی جریان بیشتری نیاز دارد. در یک الکتروولیت اسیدی‌تر، به دلیل اینکه مقدار  $H^+$  بیشتری وجود دارد، خوردگی بیشتر است. همچنین اسیدیته‌ی زیاد موجب رسانایی الکتریکی زیاد محیط می‌شود. به طور کلی، با افزایش رسانایی الکتریکی خاک، خوردگی آن نیز افزایش می‌یابد. در جدول ۶.۳ مقادیر تقریبی مقاومت خاک و خوردگی پیش بینی شده مربوط به آن نشان داده شده است.

جدول ۶.۳: مقاومت خاک نسبت به میزان خوردگی [۸]

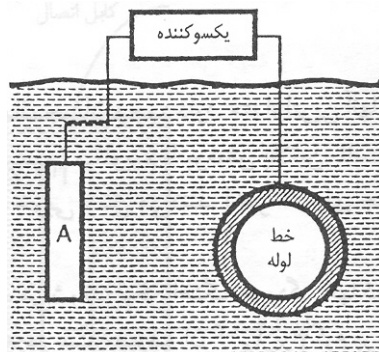
Pin Spacing (Feet)	Soil Resistivity (ohm-cm)			
	Set A	Set B	Set C	Set D
2.5	960	1100	3300	760
5	965	1000	2200	810
7.5	950	1250	1150	1,900
10	955	1500	980	3,800
12.5	960	1610	840	6,900
15	955	1710	780	12,500

جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی همانطور که بیان شد به عواملی نظیر مقاومت خاک و میزان اکسیژن بستگی دارد. در این رابطه، مقاومت خاک مهم است. در خاک‌های با مقاومت زیاد، جریان کاتدی لازم برای حفاظت واحد سطح کمتر است. لیکن، برای حفاظت نواحی با دمش هوا (اکسیژن) به چگالی جریان بیشتری نیاز است. تحقیقات زیادی نشان داده‌اند که چگالی جریان مورد استفاده برای حفاظت یک سازه‌ی فلزی بدون پوشش در خاک، از ۰.۵ تا ۲۰ میکروآمپر بر فوت مربع تغییر می‌کند.

خاک و الکترولیت‌های آبی ممکن است با گذشت زمان تغییر کنند. به عنوان مثال، اسیدیته، هدایت و غلظت اکسیژن ممکن است تغییر کرده و لذا تغییراتی در خوردگی محیط ایجاد کنند. این امر ممکن است در میزان تاثیر سیستم حفاظت موثر باشد. در مورد آب دریا، غلظت اکسیژن یک پارامتر مهمی است که می‌تواند با زمان و مکان تغییر یابد.

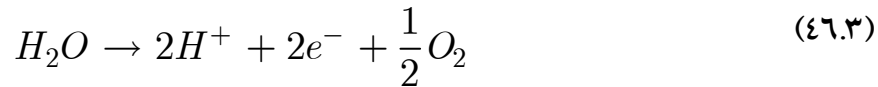
### ۳.۵.۳ سیستم‌های جریان اعمالی<sup>۸۹</sup>

در این مورد منبع الکتروسیته از خارج تامین می‌شود. برای این منظور، بین آندهایی که در خاک مدفون شده‌اند و سازه‌ای که قرار است حفاظت شود، جریان مستقیمی اعمال می‌شود. معمولاً یک یکسو کننده، جریان AC با ولتاژ بالا را به جریان DC با ولتاژ پایینتر تبدیل می‌کند. این یک سیستم الکترولیتی است. (شکل ۱۹.۳)



شکل ۱۹.۳: حفاظت کاتدی توسط اعمال جریان

معمولا ترجیح داده می‌شود که از آندهای انحلال ناپذیر (مصرف نشدنی) که عمر طولانی دارند استفاده شود. آندهای خنثی اغلب عبارتند از: گرافیت، سیلیسیم، تیتانیوم، نئوبیم با پوشش پلاتین و یا پلیمرهای رسانا. بنابراین، واکنش آندی عمدتاً تجزیه آب است. [۷]



در بعضی موارد ترجیح داده می‌شود که از قراضه‌ی آهن و یا لوله‌های کهنه به عنوان آند قابل انحلال (مصرف شدنی) استفاده شود. در این حالت، مقدار زیادی فلز مورد نیاز بوده و واکنش آندی طبق معادله (۴۷.۳) است.



در یک ولتاژ اعمال شده، جریان توسط مقاومت الکترولیت و پلاریزاسیون آندی و کاتدی محدود می‌شود. مزیت سیستم جریان اعمال شده در این است که، با استفاده از منبع خارجی (یکسو کننده) می‌توان هر مقدار پتانسیل مورد نیاز برای تامین چگالی جریان مورد نظر به سازه‌ی فلزی را فراهم کرد.

بر طبق قرارداد، جریان الکتریکی از آند دفن شده به داخل الکترولیت وارده شده و از الکترولیت به سازه فلزی که قرار است در زیر خاک محافظت شود وارد می‌شود. بنابراین، لازم است که آند به قطب مثبت یکسوکننده و سازه به قطب منفی آن وصل شود. اگر اتصال‌ها برعکس انجام شود، پدیده‌ی حفاظت عکس شده و سازه به عنوان آند عمل می‌کند. در نتیجه، فلزی که قرار بود حفاظت شود، به سرعت خورده می‌شود.

لازم است که تمام کابل‌هایی که از یکسوکننده به آند متصل می‌شوند از نظر الکتریکی عایقکاری شوند. این امر به منظور جلوگیری از خوردگی و تخریب سریع هادی‌های مسی بوده که می‌توانند به عنوان آند عمل کنند. همچنین لازم است، که کابل‌هایی که به سازه کاتدی متصل‌اند نیز از نظر الکتریکی عایق کاری شوند. علت این امر، جلوگیری از مصرف بخشی از جریان حفاظت‌کننده توسط این کابل‌هاست. یکسوکننده‌هایی که امروزه استفاده می‌شوند، عموماً سلینیومی یا سیلیسیم‌ی هستند. این موضوع به خاطر بازدهی تبدیل انرژی بسیار خوب این نوع یکسوکننده‌هاست.

### آندهای مورد استفاده در سیستم‌های اعمال جریان

در این زمینه آندهای متعددی قابل استفاده می‌باشند. ولی در حالت کلی این نوع آندها را به دو دسته می‌توان تقسیم کرد.

## ۶.۶. آندهای خنثی

متداولترین آندهای در این دسته عبارت‌اند از: گرافیت، چدن سیلیسیم‌دار (۱۴ درصد سیلیسیم) و نئوبیم با پوشش پلاتین. در بسیاری از کاربردها، هر سه نوع آند به خوبی عمل می‌کنند. آندهای خنثی هم خورده می‌شوند، لیکن آهنگ خوردگی آنها کم و متفاوت است. در مقایسه با نئوبیم با پوشش پلاتین مه سرعت مصرف آن  $3 \times 10^{-3}$  گرم بر آمپر ساعت (g/Ah) است، آهنگ خوردگی گرافیت و چدن با سیلیسیم زیاد در حدود یک تا دو پوند در سال (۴۵۴ تا ۹۰۸ گرم در سال) است. برای کاهش دادن مقاومت خاک در نزدیکی آند (یعنی محلی که چگالی جریان زیاد است) اغلب از یک پشت‌بند<sup>۹۰</sup> خرده کک<sup>۹۱</sup> با مقاومت ویژه کم ( $\rho \simeq 60 \Omega cm$ ) استفاده می‌شود.

۶.۷. آندهای مصرفی<sup>۹۲</sup>

معمولاً این آندها از قراضه‌ی آهن، خطوط راه آهن کهنه و لوله‌های کهنه تشکیل شده و در مواردی اقتصادی‌اند. لیکن، مقدار آنها باید به اندازه‌ی کافی زیاد باشد تا آنکه برای مدت زمانی طولانی دوام داشته باشند. با استفاده از قانون فاراده می‌توان میزان مصرف فلز آند را محاسبه کرد. در رابطه با آهن، ۸.۲۶ آمپر ساعت جریان موجب انحلال ۲۷.۹ گرم آهن می‌شود.

## ۶.۳. فعالیت‌های انجام شده در راستای مدل‌سازی حفاظت کاتدیک

پس از معرفی و آشنایی با الکتروشیمی خوردگی و استخراج معادلات حاکم در پدیده خوردگی نوبت به مدل‌سازی ریاضی مسئله جهت آماده نمودن برای حل عددی می‌باشد. در این فصل هدف ارائه فعالیت‌هایی است که در راستای مدل‌سازی حفاظت کاتدیک انجام شده‌است.

در این راستا با جستجوهای انجام شده در مقالات و کتب مربوطه، منابع متعددی در این زمینه یافت شده که نیاز به بررسی و مطالعه دقیق دارد. ناگفته نماند که اکثر مقالاتی که در زمینه مدل‌سازی عددی حفاظت کاتدیک در دسترس است در رابطه با اعمال حفاظت کاتدیک در کشتی ارائه شده‌اند. از نکاتی که در حین مطالعه‌ی این مقالات جلب توجه می‌نماید، گرایش همگانی پژوهشگران به استفاده از روش المان مرزی برای حل معادلات حاکم بر مسئله است. با توجه به نوپا بودن این روش این موضوع بیانگر اهمیت این روش و نیز کارایی منحصر به فرد آن در حل معادلات به صورت عددی می‌باشد. در ذیل تعدادی از مقالات و منابع یافت شده در این زمینه نام برده شده‌است.

<sup>۹۰</sup> Back-fill<sup>۹۱</sup> Coke breeze<sup>۹۲</sup> Soluble anodes (Consumeable)

۶۸. طراحی و بهینه‌سازی حفاظت کاتدیک با استفاده از مدل سازی کامپیوتری (مقاله)
۶۹. مدل سازی کامپیوتری به عنوان ابزاری برای کنترل و کاهش خوردگی (مقاله)
۷۰. حفاظت کاتدیک به روش جریان اعمالی در کشتی (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)
۷۱. مدل سازی حفاظت کاتدیک برای شبکه خطوط لوله (پایان‌نامه دکترا)
۷۲. مدل سازی حفاظت کاتدیک به روش المان مرزی (مقاله)
۷۳. روش المان مرزی برای معادلات پتانسیل با شرایط مرزی غیر خطی (مقاله)
۷۴. روش‌های المان مرزی کارا در تحلیل خوردگی (مقاله)
۷۵. مدل سازی سه بعدی حفاظت کاتدی یک مخزن به کمک روش المان مرزی (مقاله)
۷۶. مدل سازی کامپیوتری حفاظت کاتدیک در کشتی‌ها (مقاله)
۷۷. مدل سازی ریاضی حفاظت کاتدیک کف یک مخزن (مقاله)

با مطالعه مقالات و منابع موجود و بررسی‌های انجام گرفته بر ماهیت مسئله در می‌یابیم که معادله حاکم بر مسئله خوردگی لوله‌های فولادی در خاک یک معادله لاپلاس ( $\nabla^2 u = 0$ ) است. همین موضوع خود توجه کننده استفاده مکرر از روش المان مرزی برای محاسبات حفاظت کاتدیک می‌باشد. با مشخص شدن فرم معادله حاکم، برای حل معادله داشتن شرایط مرزی ضروری می‌باشد. این شرایط مرزی در واقع همان مسائل سینتیک خوردگی بوده که در مباحث قبلی به صورت مبسوط ارائه شده است. البته ناگفته نماند که برای حل و نیز ساده سازی مسئله احتیاج به فرضیاتی است که بنا به شرایط مختلف باید در نظر گرفته شوند. این قسمت از پروسه کاری که در واقع تعیین شرایط مرزی متناسب با مسئله خوردگی لوله‌های مدفون در خاک در استان خوزستان می‌باشد نیاز به جمع آوری اطلاعات بیشتر و یا حتی انجام آزمایشات به صورت عملی دارد. از اینرو برای جلوگیری از انفصال در مطالب ترجیح داده شد تا ارائه گزارش کاملی از مطالب گردآوری شده به زمانی که اطلاعات در این زمینه تکمیل شد موکول شود.

فاز بعدی کار آشنایی با روش المان مرزی برای حل معادلات حاکم می‌باشد. این فاز هم به موازات فعالیت‌های انجام شده در زمینه تعیین معادلات حاکم و شرایط مرزی در دست اقدام بوده و مطالعات اولیه در باب آشنایی با این روش و نیز نوع برنامه‌نویسی آن انجام گرفته‌است. از دلایل کاربرد گسترده این روش نوع برخورد آن با مسائل می‌باشد. روند کار بدین صورت است که پس از مشخص شدن معادله حاکم، آنرا به فرم انتگرالی تبدیل کرده، سپس انتگرال‌های موجود که

انتگرال‌های حجمی (در حالت سه بعدی) یا انتگرال‌های سطحی (در حالت دوبعدی) می‌باشند به کمک قضیه دیورژانس از انتگرال روی حجم به انتگرال روی سطح و یا از انتگرال روی سطح به انتگرال روی خط تبدیل می‌شود. سپس با توجه به شرائط مرزی مقادیر مجهول روی مرز را یافته و پس از آن مقدار تابع مجهول را در هر نقطه از شبکه می‌توان محاسبه نمود.

با توجه به مطالب فوق، برای حل عددی دیگر نیازی به شبکه‌بندی کل ناحیه مورد نظر نمی‌باشد، بلکه تنها با شبکه‌بندی مرز ناحیه می‌توان به جواب مطلوب دست یافت. کارایی این روش در شبکه‌هایی که گره‌های متعددی دارند در مقایسه با دیگر روش‌های حل عددی چون المان محدود به خوبی قابل مشاهده می‌باشد.

در مسئله خوردگی لوله‌ها با توجه به اینکه میزان پتانسیل روی سطح لوله به عنوان معیار برای وجود ریسک خوردگی در نظر گرفته می‌شود، با استفاده از روش المان مرزی و تعریف سطح لوله به عنوان مرز مسئله به راحتی و بدون حل معادلات اضافی می‌توان به مقصود دست یافت.

### ۷.۳ مراجع

- [۱] Fontana. Mars. G, *Corrosion Engineering*, 3<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill Book Company, 1988
- [۲] A. W. Peabody, *Control of Pipeline Corrosion*, N A C E International, 1978
- [۳] G. G. Wilson, R. T. Ellington and J. Forwalter, *Gas Distribution*, Institute of Gas Technology, Chicago 16, Illinois, 1963
- [۴] <http://www.itan.ir>
- [۵] پیشنهادی، ا. و معینی، غ.، اقتصاد خوردگی در ایران (با نگرشی بر مشکلات ، آمار و ارزیابی‌ها)، مجموعه مقالات هشتمین کنگره ملی خوردگی، دانشگاه تهران، تهران، خرداد ۱۳۸۲
- [۶] N. Perez, *Electrochemistry and Corrosion Science*, 1<sup>st</sup> Edition, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, 2004
- [۷] D. L. Piron, *The Electrochemistry of Corrosion*, 1<sup>st</sup> Edition, NACE, 1991.
- [۸] A. W. Peabody, *Peabody's Control of Pipeline Corrosion*, Second Edition, NACE press, Houston, Texas, 2001

## ۴ معرفی مواد بوزا و سیستم‌های بوزنی به گاز

یکی از اهداف صنعت گاز ارائه سرویس بهتر به مصرف‌کنندگان است و در همین راستا به دلیل اینکه گاز طبیعی پس از استخراج و تصفیه هیچ بوی خاصی ندارد و در صورت تجمع یا نشت، نشتی آن به سهولت قابل تشخیص نیست، طی فرآیند یا فرآیندهایی به آن مواد بوزا اضافه می‌کنند تا بدین ترتیب ضریب ایمنی مصرف گاز افزایش یابد. روش‌های بودار کردن گاز از گذشته تا به امروز پیشرفت‌های زیادی کرده‌است و این روند همچنان ادامه دارد.

### ۱.۴ تاریخچه بودار کردن گاز طبیعی

بودار کردن گاز طبیعی برای اولین بار توسط وان‌کواگلیوز<sup>۹۳</sup> در سال ۱۸۸۰ در آلمان پیشنهاد شد. وی اتیل مرکاپتان را به عنوان عامل شناسایی گاز مایع آبی رنگ (گازی که با عبور بخار از روی کک داغ یا دیگر مواد کربن‌دار ساخته می‌شود و شامل مونوکسید، هیدروژن، دی‌اکسیدکربن و نیتروژن است و با شعله آبی می‌سوزد) پیشنهاد کرد.

گاز مصنوعی<sup>۹۴</sup> که در قرن گذشته کاربرد داشت دارای ترکیباتی بود که بوی خاصی به گاز می‌دادند. پس از اینکه گاز طبیعی با کیفیت بالا جایگزین گاز مصنوعی با کیفیت پایین شد، به دلیل اینکه فاقد این ترکیبات بود، عدم بوی آن تشخیص نشتی و تجمع آن را مشکل می‌ساخت. این مسئله موجب بروز فاجعه در سال ۱۹۳۷ در مدرسه ابتدایی New London شد و مدرسه را با خاک یکسان کرد و تعداد زیادی از دانش‌آموزان کشته شدند.

با توجه به این‌که گاز طبیعی عاری از هرگونه ترکیبات بوزا بود جهت بودار کردن آن در پالایشگاه ترکیبات بودار کننده گاز مصنوعی به میزان دو برابر موجود در گاز مصنوعی به گاز طبیعی تزریق می‌شد. رشد صنایع شیمیایی در طول جنگ جهانی دوم منجر به کشف مواد شیمیایی با کیفیت بسیار مناسب برای بودار کردن گاز طبیعی شد. این دسته از مواد شیمیایی شامل مولکول‌های کم

---

<sup>93</sup> Von Quaglios

<sup>94</sup> Manufacture gas

وزن (C3-C4)، زنجیره شاخه‌دار آلکیل مرکاپتان‌ها، آلکیل سولفیدها و یک‌سولفید حلقوی بودند. در سال ۱۹۶۰ بودارکردن گاز طبیعی با استفاده از ترکیبی از این مواد انجام می‌شد. استفاده از این ترکیبات سنتز شده پیشرفت مهمی در صنعت گاز به شمار می‌آید. اگرچه، این ترکیبات مضراتی نیز داشتند. برخی از ویژگی‌های این ترکیبات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۷۸. تعداد زیادی از این ترکیبات بر اساس علائق و نظرات شخصی اصلاح شده بودند و نه بر اساس دلایل فنی و بسیاری از آنها فقط در نسبت اجزا با هم تفاوت داشتند.

۷۹. ترکیباتی که برای اولین بار سنتز شده بودند مقدار زیادی ناخالصی به همراه داشتند و این ناخالصی‌ها بخشی از ویژگی‌های این ترکیبات شده بودند. امروزه به واسطه پیشرفت تکنولوژی مخلوط ترکیبات بوزا با درجه خلوص بالا ساخته می‌شود، کیفیت آنها تغییر کرده‌است ولی ویژگی‌های آنها خیر. برای مثال S- بوتیل مرکاپتان (SBM) در گذشته به عنوان ناخالصی از فرآیند تولید t- بوتیل مرکاپتان به دست می‌آمد ولی در حال حاضر اگر شما به ۱-۳٪ SBM نیاز داشته باشید باید آن را به طور جداگانه ساخته و سپس به مخلوط اضافه کنید.

۸۰. امروزه دانش زیادی در مورد وضع خطوط لوله و کیفیت گاز و تأثیر آن روی بوی مواد بودار به دست آمده‌است. اگر این اطلاعات در هنگام آغاز سنتز ترکیبات بوزا در دسترس بودند بی‌شک بسیاری از ترکیبات دیگر نیازی به اصلاح کردن نداشتند.

تا کنون تاریخچه بودار کردن گاز طبیعی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه پیشرفت‌هایی که در حال حاضر در این زمینه حاصل شده‌است مورد بررسی قرار می‌گیرد. [۱]

## ۲.۴ انتخاب ترکیب مناسب

با توجه به پیشرفت‌هایی که در زمینه ترکیبات بوزا انجام شده برای انتخاب یک ترکیب مناسب باید به مسائل زیر توجه شود:

۸۱. نوع ترکیب و اجزای سازنده آن

۸۲. وضع خطوط لوله

۸۳. کیفیت گاز طبیعی بودار شده



## ۱.۲.۴ ترکیب مواد بوزا و اجزای آنها

موادبوزا ترکیباتی کاملاً بودار، فرّار و قابل اشتعال هستند. مواد بوزا دارای خواص فیزیکی و شیمیایی خاصی هستند. این خواص عبارتند از: بوی گاز<sup>۹۵</sup>، آستانه بودهی پایین (آستانه بودهی پایین یعنی مقدار خیلی کمی از ماده بوزا بوی خیلی زیادی تولید کند تا افراد از تجمع یا نشت گاز آگاه شوند.)، اثر زیاد بو<sup>۹۶</sup>، پایداری در برابر اکسیداسیون خطوط لوله و نفوذ پذیری خوب در خاک.

### اجزای مواد بوزا

مواد بوزایی که امروزه به کار می‌روند معمولاً ترکیب دو یا چند جز از موادی هستند که به ویژگی‌های دلخواه دست‌یافته‌اند. بنابراین آگاهی در مورد ویژگی‌های اجزا تشکیل دهنده بسیار اهمیت دارد. سه گروه شیمیایی اصلی که مواد بوزا از ترکیب آنها به دست می‌آیند عبارتند از:

۸۴. آلکیل مرکاپتان‌ها

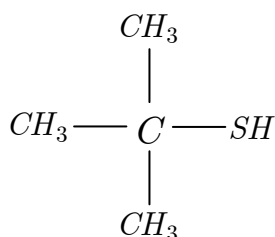
۸۵. آلکیل سولفیدها

۸۶. سولفید حلقوی

### مخلوط مرکاپتان‌ها:

این گروه که قسمت عمده مخلوط مواد بوزا را تشکیل می‌دهد شامل ترکیبات زیر می‌باشد:

- t- بوتیل مرکاپتان (TBM)



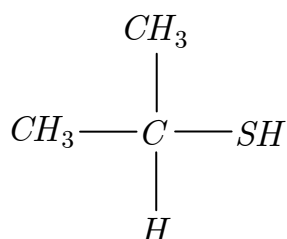
TBM تنها عامل بودار کننده گاز طبیعی است. آستانه بودهی پایین، بوی گاز مانند، نفوذ پذیری خوب در خاک، پایداری زیاد در برابر اکسیداسیون مرکاپتان‌ها، باعث می‌شود که TBM به بهترین ماده بودار کننده تبدیل شود. با توجه به نقطه انجماد بالای TBM (۳۴° F)

<sup>95</sup> Gassy odor

<sup>96</sup> High odor impact

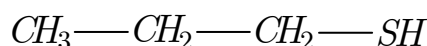
برای جلوگیری از انجماد، باید با ماده دیگری ترکیب شود. به جز این مورد، TBM بهترین و تنها ماده بوزا خواهد بود.

- ایزوپروپیل مرکاپتان (IPM)



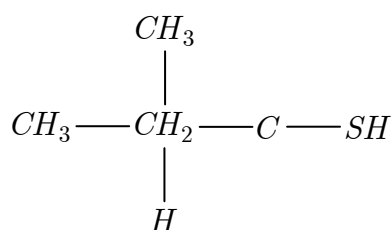
IPM بوی گاز مانند قوی و نقطه انجماد پایینی ( $-20.2^\circ F$ ) دارد. در میان مرکاپتان‌ها IPM دومین ترکیبی است که مقاومت زیادی در برابر اکسیداسیون دارد. IPM معمولاً با TBM ترکیب می‌شود تا نقطه انجماد را در حین افزایش اثر بو پایین آورد. IPM نیز بهترین ماده بودار کننده است ولی به ندرت از آن استفاده می‌شود.

- نرمال پروپیل مرکاپتان (NPM)



NPM جز اصلی ترکیبات مواد معطر نیست و معمولاً ۳-۶٪ از ترکیب را شامل می‌شود. NPM آسانتر از بقیه مرکاپتان‌ها اکسیده می‌شود، دارای نقطه انجماد پایینی ( $-171^\circ F$ ) و بویی قوی است. NPM معمولاً یک ترکیب جانبی در فرآیند ساخت IPM بوده است. نرمال پروپیل مرکاپتان به علت مقاومت کمی که در برابر اکسیداسیون دارد ماده بودار کننده مناسبی به شمار نمی‌آید.

- بوتیل مرکاپتان نوع دوم (SBM)

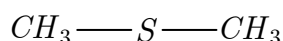


SBM معمولاً به صورت ناخالصی از ساخت TBM حاصل می‌شود و کمترین مقدار را در ترکیب مواد بوزا دارد (حدود ۱-۳٪) و به همین علت وجود آن در ترکیب ماده بودارکننده هیچ تأثیر مهمی روی بوی TBM ندارد. SBM یک مرکاپتان شاخه‌دار است که در مقابل اکسیداسیون مقاوم است. این ترکیب بوی قوی، نقطه انجماد پایین، نقطه جوش بالا و فشار بخار پایینی دارد. فشار بخار پایین آن، اثر بو<sup>۹۷</sup> را جبران می‌کند.

#### مخلوط آلکیل سولفیدها:

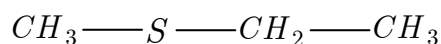
آلکیل سولفیدها نیز در مقابل اکسیداسیون مقاوم هستند اما اثر بوی آنها به اندازه مرکاپتان‌ها نیست. به همین علت آنها به عنوان تنها ماده بودار کننده مورد توجه قرار نمی‌گیرند. عملکرد عمده آلکیل سولفیدها در پایین آوردن نقطه انجماد TBM است این گروه ترکیبات زیر را شامل می‌شود:

- دی متیل سولفید (DMS)



دی متیل سولفید در موارد زیادی به ویژه به همراه TBM به عنوان یکی از اجزا ترکیب ماده بودار کننده به کار می‌رود. DMS در خطوط لوله اکسیده نخواهد شد و همچنین نفوذ پذیری خوبی در خاک دارد. DMS فشار بخار بیشتری نسبت به TBM دارد بنابراین ترکیب TBM/DMS برای بوزن‌های نوع تبخیری مناسب نیست.

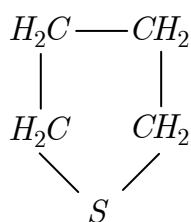
- متیل اتیل سولفید (MES)



MES آخرین ماده‌ای است که به مخلوط ماده بودارکننده با TBM اضافه می‌شود. متیل اتیل سولفید در خطوط لوله اکسیده نمی‌شود، فشار بخاری همانند فشار بخار TBM دارد بنابراین مخلوط MES/TBM برای بوزن‌های نوع تبخیری و تزریقی مناسب است.

#### سولفید حلقوی:

- تترا هیدرو تیوفن (THT) یا تیوفان



THT مقاومت بسیار زیادی در برابر اکسیداسیون خطوط لوله دارد. این ترکیب دارای بوی خاصی است ولی اثر و نفوذ پذیری کمی در خاک دارد. THT ممکن است به صورت خالص یا مخلوط با TBM به کار برده شود. THT می‌تواند به تنهایی به عنوان یک ماده بودار کننده مورد استفاده قرار گیرد.

#### اجزا مخلوط:

مخلوط مواد بودار کننده‌ای که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد در یکی از سه دسته زیر قرار دارد:

- اجزای مخلوط همگی مرکاپتان باشند.
- مخلوطی از مرکاپتان‌ها و آلکیل سولفیدها
- ترکیبی از هیدروتیوفن (THT) و مرکاپتان

رایج‌ترین مخلوط‌های بوزا به همراه ابزارهایی که امروزه برای بودار کردن گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد در جداول زیر آمده است:

جدول ۱.۴: مخلوط مرکاپتان‌ها

Spotleak 1009 (%) Odorant	اجزای مخلوط
۷۹	TBM
۱۵	IPM
۶	NPM
روش بوزنی: بوزنی تبخیری یا تزریقی	

جدول ۲.۴: مخلوط مرکاپتان و آلکیل سولفید

Spotleak 1450 (%)	Spotleak 1007 (%)	Spotleak 1420 (%)	اجزای مخلوط
۱۰	۸۰	۷۵	TBM
۱۰	۰	۲۵	DMS
۰	۲۰	۰	MES
۷۰	۰	۰	IPM
۱۰	۰	۰	NPM
تزریق مایع	تبخیری یا تزریق مایع	تزریق مایع	روش بوزنی

جدول ۳.۴: مخلوط تتراهیدروتیوفن (THT) / مرکاپتان

Spotleak 1039 (%)	اجزای مخلوط
۵۰	THT
۵۰	TBM
تزریق مایع	روش بوزنی

#### ۲.۲.۴ رفتار مواد بوزا در خطوط لوله

موضوع بسیار مهم در توزیع گاز، تأمین دائمی ایمنی لازم در سراسر سیستم توزیع به وسیله نگهداری مواد بوزا است. معمولاً برای حفظ مقدار ماده بوزای به کار رفته، مواد بوزای مکمل مورد نیاز است. آزمایشات نشان می‌دهد که عواملی که در ذیل آورده شده‌اند، اثرات مواد بوزا را که به عنوان عامل هشداردهنده در گاز به کار می‌روند کاهش می‌دهند:

- واکنش مواد بوزا با لوله استیل برای تشکیل سولفید آهن بدون بو.
- جذب مواد بوزا روی دیواره خطوط لوله در حین کاهش جریان.
- اکسیداسیون مواد بوزای دسته مرکاپتان در خطوط لوله و تولید دی‌سولفید که بوی کمتری دارد.
- واکنش مواد بوزای گروه مرکاپتان با اتیل و متیل مرکاپتان که به طور طبیعی در برخی گازها وجود دارند و تولید ماده دی‌سولفید با بوی کمتر.
- پوشانده شدن مواد بوزا توسط هیدروکربن‌های سنگین‌تر با زنجیره‌های طولانی.
- انحلال مواد بوزا توسط تغلیظ یا تقطیر.

- لوله‌های پلاستیکی جدید موادبوزا را تا زمانی که به تعادل برسند جذب می‌کنند.
- جذب مواد بوزا به وسیله نفت موجود در خطوط لوله.

### ۳.۲.۴ انواع گازهای طبیعی

به منظور انتخاب بهتر مواد بوزا، کیفیت گاز مورد نیاز باید بررسی شود. انواع گازها عبارتند از:

- گاز خشک بدون بوی طبیعی
- گاز تر بدون بوی طبیعی
- گاز خشک با بوی طبیعی
- گاز تر با بوی طبیعی
- گازهای مکمل ذخیره گازی موجود

#### گاز خشک بدون بوی طبیعی

گاز خشک بدون بوی طبیعی، ساده‌ترین گاز برای بودار کردن است. با هر یک از مخلوط‌های مواد بودار کننده رایج می‌توان این گاز را به طور رضایت بخشی بودار کرد مشروط بر اینکه بوزنی پیوسته به درستی انجام شود.

#### گاز تر بدون بوی طبیعی

مایعات تقطیر شده در خطوط لوله، ماده بودار کننده را جذب می‌کنند. بعضی از موانع بودار کردن ممکن است به علت بویی باشد که ناخالصی‌ها به گاز می‌دهند.

مواد بودار کننده با بالاترین فشار بخار و پایین‌ترین آستانه بدهی به بهترین نحو عمل می‌کنند. مخلوط‌هایی با IPM بالا (با فشار بخار بالا) در این موقعیت بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. مخلوط‌های TBM برای غلبه بر پوشانده شدن بهتر عمل می‌کنند اما برای جاهایی که سطح مایعات بالا است پیشنهاد نمی‌شوند.

هرگز THT یا مخلوط‌های THT برای بودار کردن این نوع گاز استفاده نمی‌شود زیرا فشار بخار پایین و مقدار پایین ثابت تعادل (Kd) آنها باعث افزایش جذب در استخرهای محصولات میعانی می‌شود که منجر به سرعت بخشیدن فرآیند از بین رفتن بوی ماده بودار کننده می‌شود. همچنین اگر استفاده از گاز خشک‌کننده به تعویق افتد محصول میعانی همراه با مقدار زیادی از ماده بودار کننده

نامحلول می‌تواند فرآیند تبخیر شدن را تسریع کند که منجر به بیش از حد بودار شدن جریان گاز می‌شود.

### گاز خشک با بوی طبیعی

گاز خشک با بوی طبیعی شامل مقداری متیل و اتیل مرکاپتان است که می‌تواند باعث اکسید شدن TBM به دی‌سولفید شود که فشار بخار و اثر بوی پایینی دارد. در صورت افزایش میزان مرکاپتان‌های طبیعی بهتر است که از مخلوط‌های سولفید استفاده شود که در مقابل اکسیداسیون پایدارتر هستند. در این میان مخلوط‌های THT مناسب‌تر هستند. دی‌متیل سولفید در مقابل اکسیداسیون پایدارتر است اما فاقد اثر بو می‌باشد و به صورت یک ماده بودار کننده که به تنهایی به‌توان از آن استفاده کرد، محسوب نمی‌شود.

### گاز تر با بوی طبیعی

بودار کردن این گاز به‌طور رضایت‌بخش تقریباً غیرممکن است. اگر مایعات مشکل اصلی باشند می‌توان از مخلوط‌هایی با پایه IPM برای بودار کردن گاز استفاده کرد. اگر مرکاپتان طبیعی آلوده کننده باشد می‌توان از مخلوط THT استفاده کرد.

### گازهای مکمل ذخیره گازی موجود

این تکنیک که شامل افزایش پروپان رقیق شده با هوا به گاز طبیعی است موقعیتی مشابه گاز با بوی طبیعی را نتیجه می‌دهد که اتیل مرکاپتان به کار برده شده برای بودار کردن پروپان، موجب افزایش اکسیداسیون مواد بودار کننده با پایه مرکاپتان می‌شود. همچنین وجود اکسیژن و رطوبت، احتمال اکسیداسیون مرکاپتان را افزایش می‌دهد. بنابراین حتی اگر پروپان بودار نشده خریداری شود، شرایط اکسیداسیون اگرچه کاهش می‌یابد ولی همچنان وجود دارد.

## ۳.۴ روش‌های مختلف بودار کردن گاز طبیعی

کنترل و اعمال به‌صرفه و اقتصادی روند بو دهی گاز نیازمند به تجهیزات و دستگاه‌هایی متناسب با شرایط متغیر و مختلف دبی گاز می‌باشد. در ابتدای روند بو دهی به گاز، دستگاه‌های متعددی در این زمینه مورد استفاده شرکت‌ها بود. در ساده‌ترین نوع این دستگاه‌ها ماده بوزا به‌طور مستقیم به‌وسیله یک شیر سوزنی<sup>۹۸</sup> به گاز در شاخه اصلی تزریق می‌شد. مقدار ماده بوزا توسط مشاهده سطح مایع و به‌وسیله یک دریچه کنترل تنظیم می‌شود. گسترش سریع کاربرد بودار کردن گاز بازار بزرگی

<sup>98</sup> Needle valve

را برای این صنعت ایجاد کرده‌است. ورود تولیدکنندگان این دستگاه‌ها به این زمینه، استانداردسازی موفق و یکنواختی طراحی را به وجود آورده‌است. [۲]

روش‌های بوزنی امروزه را می‌توان در دو گروه اصلی تقسیم بندی کرد:

۸۷. روش بوزنی تبخیری

۸۸. روش بوزنی تزریق مایع

دستگاه‌های بوزنی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

۸۹. دستگاه بوزنی فتیله‌ای<sup>۹۹</sup>

۹۰. دستگاه بوزنی چکه‌ای (تراوایی)<sup>۱۰۰</sup>

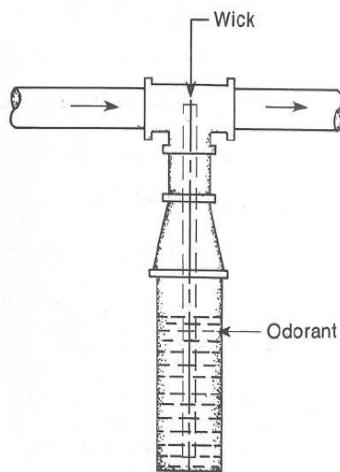
۹۱. دستگاه بوزنی کنارگذر جذبی<sup>۱۰۱</sup>

۹۲. دستگاه بوزنی تزریق پمپی<sup>۱۰۲</sup>

۹۳. دستگاه بوزنی کنارگذر پالسی الکترونیکی<sup>۱۰۳</sup>

۹۴. دستگاه بوزنی کنارگذر پمپی با محرک کنتور<sup>۱۰۴</sup> [۳]

شکل‌های ۱.۲ تا ۶.۲ نمونه‌ای از این نوع دستگاه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱.۴: دستگاه بوزنی فتیله‌ای

<sup>99</sup> Wick odorizer

<sup>100</sup> Drip odorizer

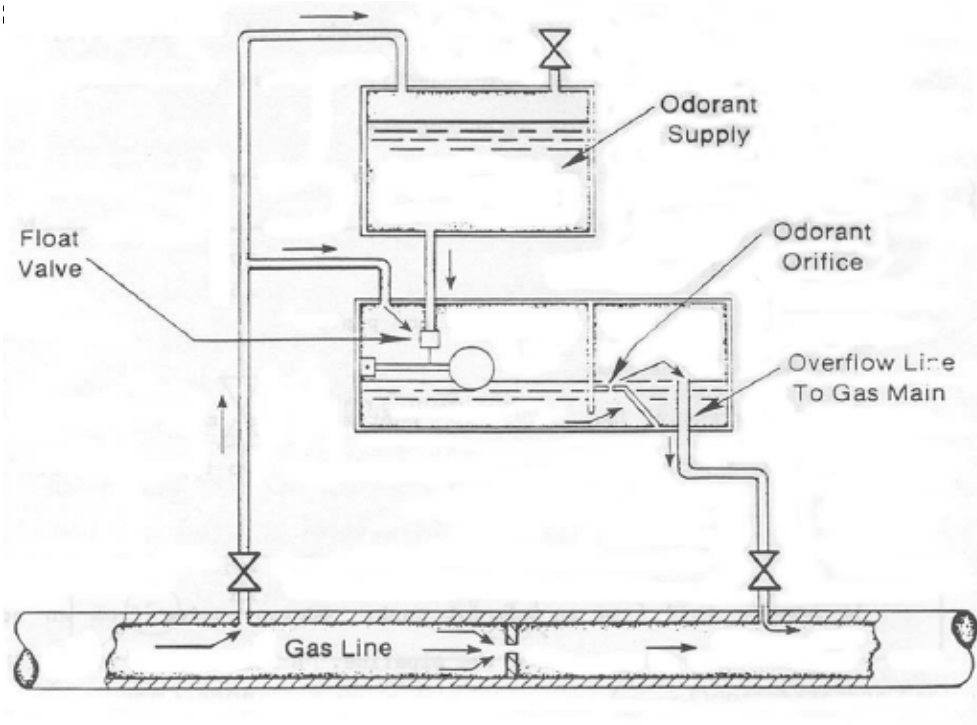
<sup>101</sup> Absorption By-Pass odorizer

<sup>102</sup> Injection Pumps odorizer

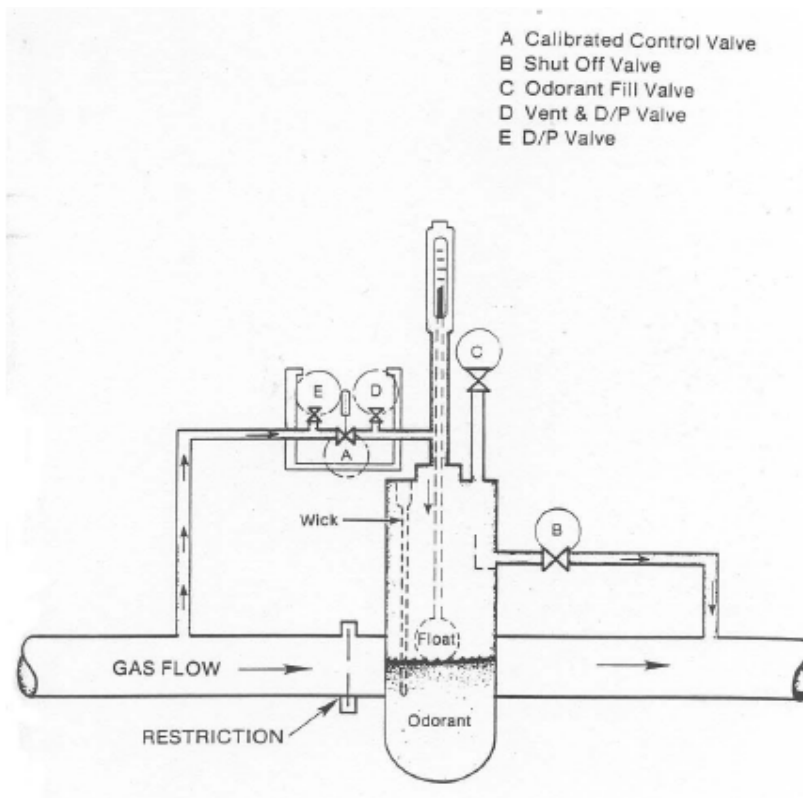
<sup>103</sup> Electronic Pulse By-Pass odorizer

<sup>104</sup> Meter Driven Pump By-Pass odorizer



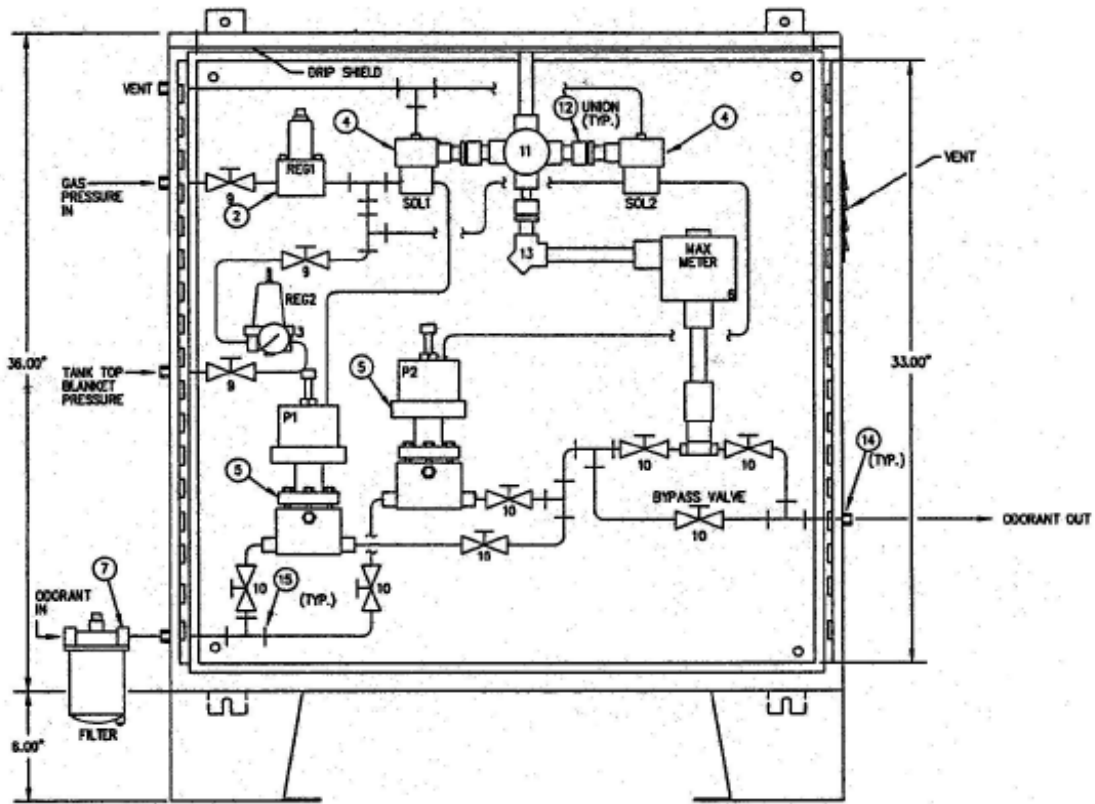


شکل ۲.۴: دستگاه بوزنی چک‌های

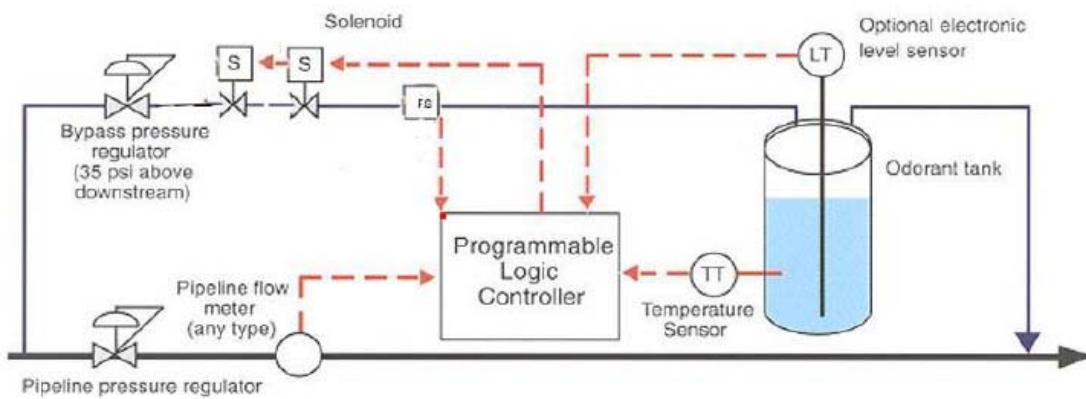


- A Calibrated Control Valve
- B Shut Off Valve
- C Odorant Fill Valve
- D Vent & D/P Valve
- E D/P Valve

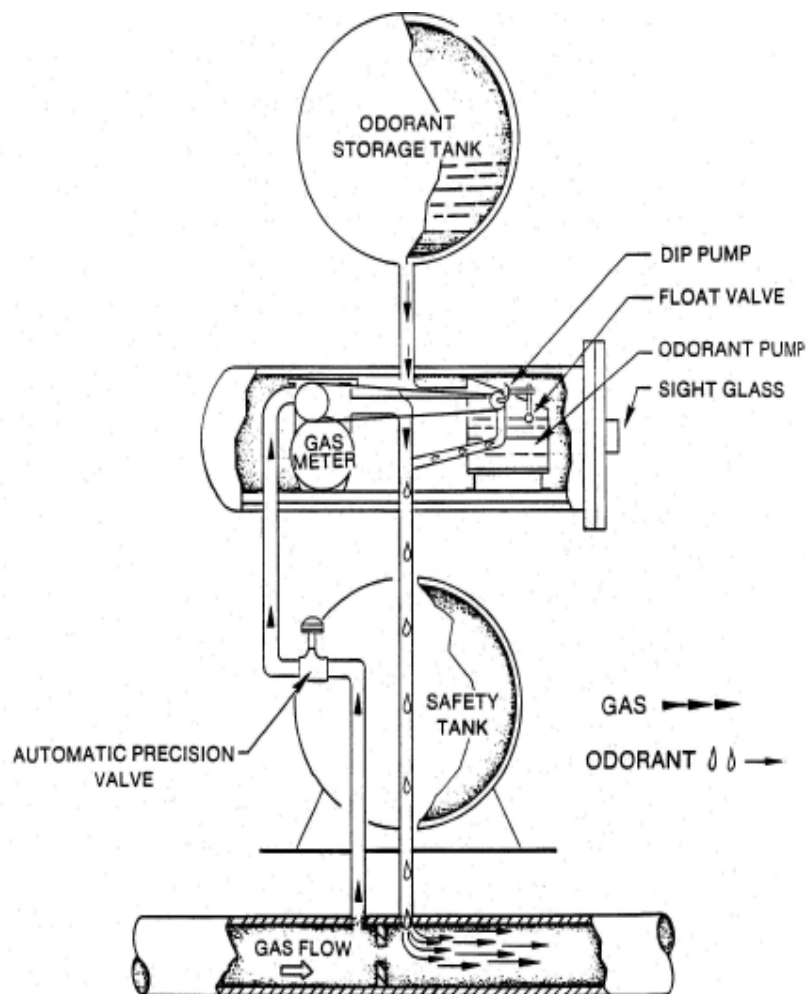
شکل ۳.۴: دستگاه بوزنی کنارگذر جذبی



شکل ۴.۴: دستگاه بوزنی تزریق پمپی



شکل ۵.۴: دستگاه بوزنی بالسی الکترونیکی



شکل ۶.۴: دستگاه بوزنی کنارگذر پمپی با محرک کنتور

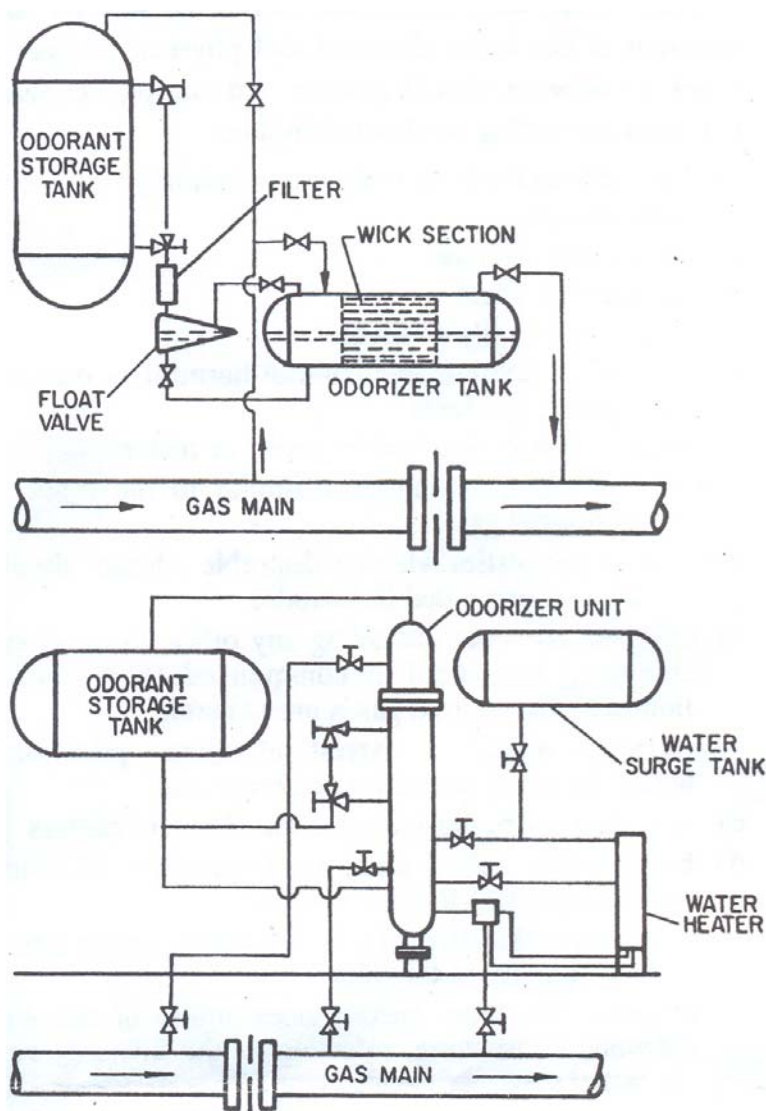
نوع دستگاه‌های بوزنی برای کاربردهای خاص به عواملی بستگی دارد. از جمله این عوامل ماکزیمم دبی جریان گاز، میزان تغییر در دبی جریان، میزان تغییر فشار استاتیک، نوع ماده بوزای به کار رفته، حساسیت سیستم توزیع، میزان بازرسی، موقعیت، دسترسی به دستگاه‌ها و عوامل اقتصادی می‌باشد. با در نظر گرفتن عوامل فوق می‌توان نوع عمومی این دستگاه را انتخاب کرد. هر چند که دستگاه بوزنی تبخیری جذبی نوع کنار گذر<sup>۱۰۵</sup> رایج‌ترین دستگاه مورد استفاده است، ولی یک نوع دستگاه برای استفاده در همه موارد کارایی ندارد. نصب هر دستگاهی مشکلات خاص خود را در فرآیند کنترل دارد و باید از نظر ایمنی و اقتصادی مورد آزمایش قرار داده شود. به‌علاوه نصب فیزیکی و بررسی هزینه‌ها از جمله عواملی هستند که روی انتخاب دستگاه‌های بوزنی تاثیر می‌گذارند. در بسیاری از حالات قوانین بودار کردن ایجاب می‌کند که ضریب ایمنی ماده بوزا و دستگاه بوزنی مورد استفاده مورد تایید قرار گیرند.

کنترل نسبت ماده بوزا به جریان معمولاً به صورت یک مشکل در فرآیند بودار کردن گاز مطرح می‌شود که این مشکل توسط دستگاه‌های کنترل اتوماتیک برطرف شده‌است. در هر سیستم کنترل نسبت جریان، هم جریان گاز هم جریان ماده بوزا باید اندازه‌گیری شود. مسائل کنترل به سرعت پیچیده می‌شوند زیرا اندازه‌گیری صحیح جریان بسیار کم ماده بوزا مشکل است.

### ۱.۳.۴ بوزنی تبخیری<sup>۱۰۶</sup>

روش کنار گذر شامل برقراری انشعابی باریک در جریان گاز، اشباع کردن گاز خروجی از انشعاب با بخار موادبوزا و بازگرداندن آن به درون جریان اصلی گاز است. در این روش دبی موجود در شاخه انشعابی، دمای مخزن اشباع و نوع ماده بوزای به کار رفته باید مورد توجه قرار گیرند. چنانچه مخلوطی از مواد با نقاط جوش مختلف مورد استفاده قرار گیرند، ممکن است ماده بوزا در مجرای اشباع سازی تجزیه شده و منجر به انباشته شدن ترکیبات با دمای جوش بالاتر در مخزن شود. به همین علت مواد بوزایی که برای بوزنی به طریق انشعاب گیری انتخاب می‌شوند باید نقطه جوش مشخصی داشته باشند.

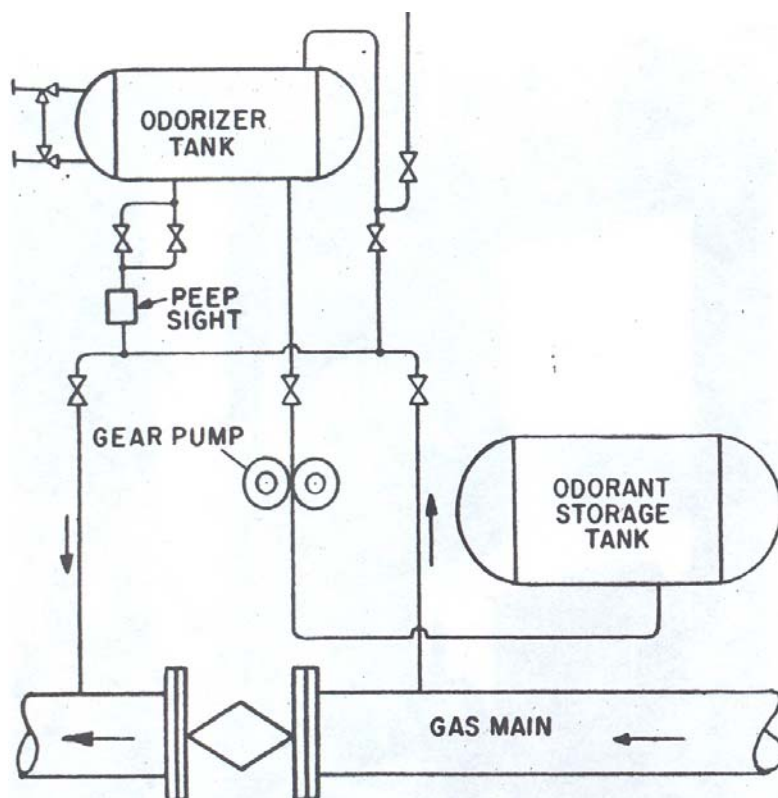
برای تأسیسات کوچک از دستگاه‌های بوزنی نوع تبخیری جذبی که تمامی گاز از درون دستگاه بوزنی نوع تبخیری جذبی عبور می‌کند استفاده می‌شود. در این دستگاه‌ها، فتیله کوچکی در وسط جریان گاز قرار داده شده که با ماده بوزا اشباع می‌شود. در صورت افزایش جریان گاز تعداد فتیله‌ها بیشتر و یا اندازه آنها بزرگتر می‌شود. ماده بوزای مورد نیاز پیوسته به این واحد افزوده می‌شود یا مقدار آن به وسیله یک سوپاپ شناور از منبع مجاور تنظیم می‌شود. برای تأسیسات بزرگتر، از دستگاه‌های بوزنی تبخیری جذبی کنار گذر تزریق مستقیم استفاده می‌کنند. دستگاه‌های بوزنی تبخیری جذبی (شکل ۱۵۲.۲) از یک تانک مجهز به یک یا چند فتیله تشکیل شده که در خط انشعاب گاز قرار گرفته‌است. کنترل دبی در شاخه انشعابی گاز از میان تانک به وسیله تنظیم دستی سوپاپ دریچه کنترل و گازی که درون خط اصلی قرار داده شده‌است به دست می‌آید. به علت اینکه مقدار ماده بوزا با جریان گاز متناسب باشد باید دستگاه بوزنی را بر اساس دبی گاز و تغییرات دما تنظیم کرد. این نوع دستگاه بوزنی متناوباً سرویس می‌شود. و ماده بوزا به وسیله فشار گاز یا پمپ از تانک استیل به درون دستگاه بوزنی فرستاده می‌شود. این ویژگی دستگاه از تبخیر ماده بوزا در اتمسفر (هوا) در طول فرآیند سرویس دهی پیشگیری می‌کند.



شکل ۷.۴: دستگاه بوزنی کنار گذر با کنترل سطح مایع (بالا) و کنترل دمایی (پایین)

### ۲.۳.۴ بوزنی چکه‌ای<sup>۱۰۷</sup> (تراوایی) تزریق مایع

ساده‌ترین دستگاه بوزنی چکه‌ای شامل یک تانک بوزنی، یک سوپاپ کوچک، یک صفحه نمایش شیشه‌ای و یک دستگاه تنظیم کننده دستی اتصال دبی جریان به خطوط لوله می‌باشد. نوع موثرتر دستگاه بوزنی با شاخه انشعابی گاز، که به‌طور یک‌دست با شیر گلوبی سوپاپ خفه کننده بر روش شاخه اصلی متصل شده در شکل ۸.۴ دیده می‌شود.

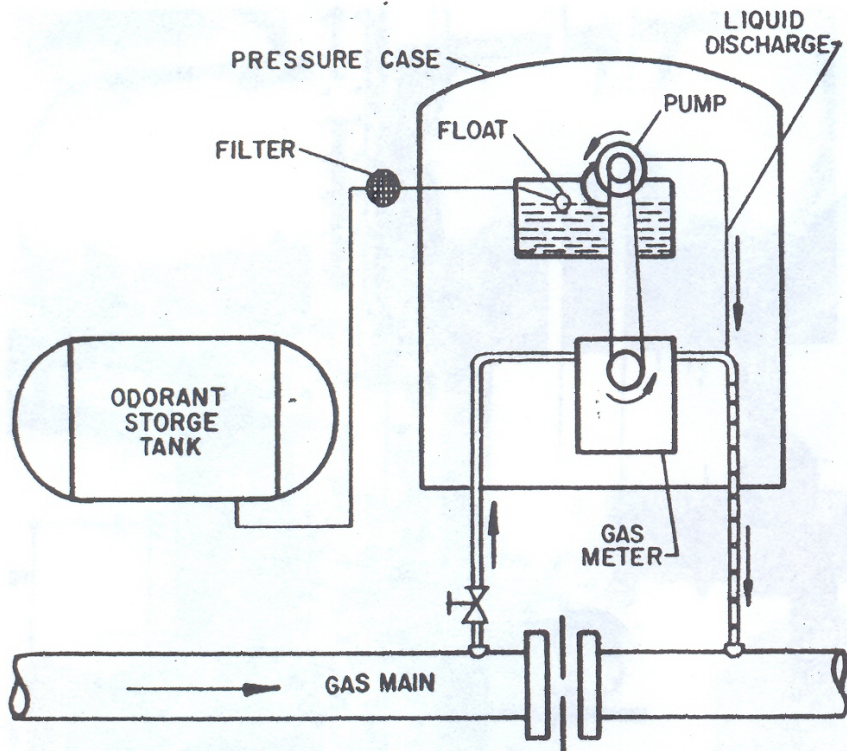


شکل ۸.۴: دستگاه بوزنی چکهای

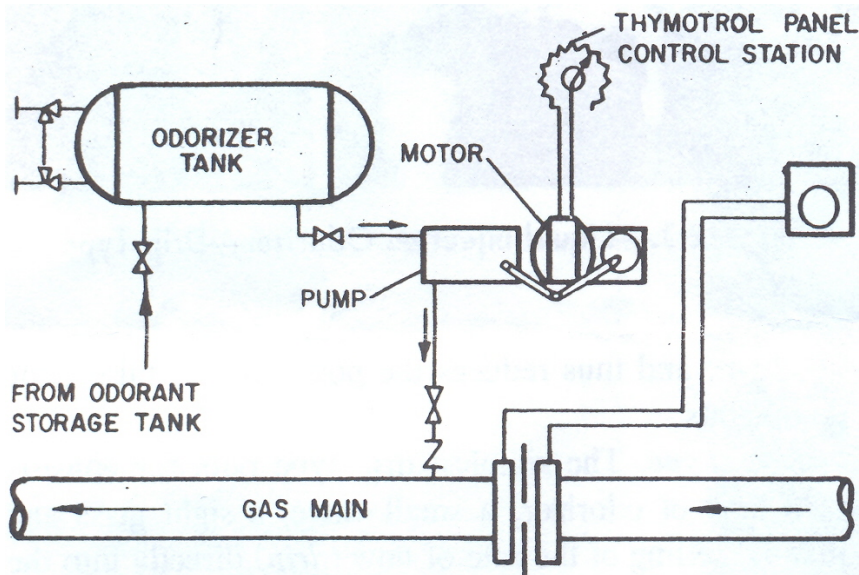
### ۳.۳.۴ بوزنی تزریق مستقیم<sup>۱۰۸</sup>

یک نوع از دستگاه بوزنی تزریق مستقیم روی انشعاب گرفته شده از خط گاز قرار داده می‌شود. گاز درون انشعاب از یک دستگاه اندازه‌گیری دبی جابه‌جایی مثبت که یک پمپ را می‌گرداند عبور می‌نماید. میزان خروجی پمپ برای تنظیم سرعت ماده بودار مورد نیاز اندازه‌گیری شده‌است. این نوع از دستگاه‌های بوزنی به تنظیمات دستی برای کارکرد در دبی‌های مختلف گاز نیاز دارند.

انواع دیگر این دستگاه در شکل ۹.۴ و شکل ۱۰.۴ نشان داده شده‌اند. دستگاه اندازه‌گیری ماده بوزا در این سیستم یک پمپ اندازه‌گیری است. سیستم کنترل سرعت پمپ را به‌طور مستقیم نسبت به جریان گاز و نسبت ماده بوزا به گاز تنظیم می‌کند. چنانچه پمپ به درستی طراحی شده باشد، قادر است جریان مینیمم را با دقت اندازه‌گیری کرده و این میزان دقت را در محدوده مورد نیاز برقرار سازد.



شکل ۹.۴: دستگاه بوزنی تزریق مایع نوع اندازه‌گیر



شکل ۱۰.۴: دستگاه بوزنی تزریق مایع نوع پمپی

یک سیستم تزریق پیچیده‌تر سیستمی است که بعد از جبران تغییرات دما و فشار جریان گاز، به‌طور خودکار جریان را تنظیم می‌کند. این امر موجب می‌شود که نسبت ماده بوزا و گاز به میزان دقیق‌تری تنظیم شود. به این نوع دستگاه، دستگاه بوزنی یکپارچه<sup>۱۰۹</sup> نیز گفته می‌شود.

#### ۴.۴ فرآیند بودهی به گاز

در بخش‌های قبل لزوم و اهمیت اضافه نمودن مواد بوزا، معرفی سیستم‌های بوزنی و کلیاتی در این زمینه ارائه شد. در این بخش ابتدا با بررسی آئین‌نامه‌های موجود در این زمینه، کلیات شرایط استفاده از سیستم‌های بوزنی و مقدار ماده‌ای که باید به گاز اضافه شود، معرفی گشته و در ادامه به بررسی دو روش متداول بوزنی به گاز و بررسی مزایا و معایب هر یک پرداخته می‌شود. به منظور تکمیل اطلاعات در زمینه روش‌های متداول بوزنی به گاز، محصولات مختلف چندین شرکت تولید کننده سیستم‌های بوزنی به طور مختصر معرفی می‌شوند.

#### ۱.۴.۴ آئین‌نامه‌های موجود در زمینه بودهی به گاز

بخش‌های مختلف صنایع نفت و گاز با توجه به اهمیت و کاربرد وسیع در عرصه جهانی دارای استانداردها و بخش‌نامه‌های اجرائی بوده که تمامی صنایع مرتبط ملزم به رعایت این دستورات می‌باشند. یکی از سرفصل‌های بخش توزیع و انتقال گاز مربوط به فرآیند بودهی به گاز می‌باشد. در این رابطه عنوان ۴۹ سرفصل ۱۹۲ از کد آئین‌نامه فدرالی<sup>۱۱۰</sup> شامل بر حداقل شرایط لازم برای توزیع و انتقال ایمن گاز می‌باشد. در این بخش موارد ذیل به چشم می‌خورد.

۹۵. مشخص نمودن خطوطی که نیاز به بودهی دارند.

۹۶. حداقل میزان ماده بوزا برای قابل تشخیص بودن گاز

۹۷. ملاحظات مربوط به مواد بوزا و فرآیند بودهی به گاز

۹۸. نظارت و بازرسی خطوط لوله گاز برای بررسی عملکرد سیستم بودهی

قبل از ارائه موارد مربوط به فرآیند بوزنی گاز به منظور شفاف سازی نوع قوانین مربوطه در این زمینه به بررسی کلی آئین‌نامه و تعاریف موجود در آن پرداخته می‌شود.

<sup>109</sup> Integration odorizer

<sup>110</sup> 49 CFR Part 192 or Part 192



## مروری بر انواع آئین‌نامه‌ها

آئین‌نامه‌ها و مقررات در دو دیدگاه و زبان مختلف نگارش می‌شوند که مشتمل بر موارد ذیل است.

### ۹۹. آئین‌نامه‌های مشخصاتی<sup>۱۱۱</sup>

این نوع آئین‌نامه‌ها با ذکر خصوصیات و مشخصات از جمله جنس، اندازه، طرز ساخت برای مواردی که باید ساخته شوند، نحوه نصب و راه‌اندازی و ارائه دیگر جزئیات مربوطه به طور مبسوط، بیان می‌شوند. به عنوان مثال طبق این آئین‌نامه‌ها لوله‌های پلاستیکی که در صنایع گازی مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید از استاندارد ASTM D2513 پیروی نمایند. تنها لوله‌هایی که از این کد پیروی می‌کنند طبق آئین‌نامه قابلیت استفاده در صنایع گازی را دارند.

این نوع آئین‌نامه‌ها مزایای متعددی دارند که از آن جمله می‌توان تسهیل در انتخاب مواد و اجزا برای کاربردهای خاص و نیز تسهیل در امر نظارت بر کار و تعیین تخلف مجری کار را نام برد. از معایب این نوع آئین‌نامه‌ها می‌توان عدم اشاره به میزان ایمنی لازم، عدم توجه به شرایط مختلف کاری و محیطی و نیز از بین بردن انگیزه‌ها برای تغییر و بهبود کار را ذکر نمود.

### ۱. آئین‌نامه‌های اجرایی<sup>۱۱۲</sup>

در این نوع آئین‌نامه‌ها نحوه کار به مجری و پیمانکار واگذار شده و تنها فعالیت‌ها و نکات لازم جهت کسب ایمنی ذکر می‌شود. همانگونه که در ادامه اشاره خواهد شد بسیاری از قوانین مربوط به سیستم‌های بوته‌ای به گاز از این نوع قوانین می‌باشند. به عنوان مثال در این آئین‌نامه‌ها ذکر شده است که به منظور بررسی میزان بوته‌ای مناسب به گاز باید از خطوط لوله به طور متناوب نمونه برداری شود. حال آنکه منظور از تناوب دوره و نیز نحوه نمونه‌گیری و آزمایش به چه ترتیب می‌باشد را به مجری واگذار می‌نماید.

سرفصل ۱۹۲ به چندین فصل تقسیم می‌شود و هر یک از این فصل‌ها مشتمل بر مباحث مربوط به گاز و خطوط لوله می‌باشند. به عنوان مثال فصل C به مباحث مربوط به طراحی خطوط لوله و فصل M مربوط به تعمیرات و نگهداری می‌باشد. این فصل‌ها خود به دو گروه اصلی ذیل تقسیم می‌شوند.

<sup>111</sup> Specification language

<sup>112</sup> Performance language

- قوانین قابل اجرا برای لوله‌هایی که پس از ۱۲ مارس سال ۱۹۷۱ وارد سرویس شده‌اند.
- قوانینی که هیچ محدودیت زمانی نداشته و برای تمامی خطوط لوله سازگارند. به این نوع قوانین، قوانین معطوف به گذشته<sup>۱۱۳</sup> گویند.

فصول A، I، K، L و M از نوع عطف به گذشته می‌باشند. اطلاعات مربوط به بوزنی گاز در زیر بخش ۶۲۵ فصل L گردآوری شده و از این رو صرفنظر از زمان بارگزاری خطوط لوله می‌توان از دستورات ذکر شده در این کد استفاده نمود.

### سرفصل ۱۹۲ فصل L

مباحث مطرح شده در این بخش حداقل استانداردهای لازم برای توزیع و انتقال گاز توسط خطوط لوله را ارائه می‌نماید. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که عبارت توزیع و انتقال گاز شامل بر عملیات جمع‌آوری، انتقال یا توزیع گاز توسط خطوط لوله و یا ذخیره‌ی گاز می‌باشد. چنانچه یک خط لوله جزء بخش‌های فوق نباشد نمی‌توان از کد ۱۹۲ برای آن استفاده نمود. همچنین منظور از گاز، گاز طبیعی، گاز قابل اشتعال و یا گاز سمی می‌باشد. از این رو خطوط حاوی گازهای دیگر چون گاز هیدروژن مشمول بند ۱۹۲ نمی‌شوند.

گاز طبیعی پس از تولید و فرآوری از چاه‌های نفت و گاز قابل استفاده است. معمولاً خطوط لوله‌ای که بلافاصله پس از بخش‌های تولید و فرآوری وجود دارند، به خطوط گردآورنده<sup>۱۱۴</sup> مشهورند. خطوط انتقال<sup>۱۱۵</sup> خطوطی هستند که گاز را از خط گردآورنده یا منابع ذخیره گاز به مراکز توزیع یا ذخیره گاز منتقل می‌کنند. به هر خط دیگری غیر از دو خط فوق خط توزیع<sup>۱۱۶</sup> گویند. خطوط توزیع نیز به نوبه خود به دو گروه ذیل تقسیم می‌شوند.

#### ۲. خطوط لوله اصلی

این خطوط در واقع به عنوان منبع تغذیه خطوط سرویس شناخته می‌شوند.

#### ۳. خطوط لوله سرویس

این خطوط گاز را از خط اصلی گرفته و بدست مشتری می‌رسانند.

تعاریف فوق به منظور یادآوری اصطلاحات مربوط به خطوط لوله بوده و اطلاعات بیشتر در مرجع [۴] ذکر شده است.

<sup>113</sup> Retroactive

<sup>114</sup> Gathering line

<sup>115</sup> Transmission line

<sup>116</sup> Distribution Line

همانگونه که ذکر شد در این بخش مباحث ذیل گنجانده شده که در ادامه به آنها می‌پردازیم.

۴. مشخص نمودن خطوطی که نیاز به بودهی دارند.

۵. حداقل میزان ماده بوزا برای قابل تشخیص بودن گاز

۶. ملاحظات مربوط به مواد بوزا و فرآیند بودهی به گاز

۷. نظارت و بازرسی خطوط لوله گاز برای بررسی عملکرد سیستم بودهی

### خطوطی که گاز درون آنها باید بودار باشد

زیر بخش ۶۲۵a خطوطی را که گاز درون آنها باید خواه به صورت طبیعی، خواه با اعمال فرآیند بوزنی، بودار باشد را شامل بر خطوط توزیع گاز و نیز خطوط انتقالی که در نواحی با درجه ۳ یا ۴ قرار دارند، می‌داند. در مورد خطوط انتقال درون نواحی با درجه ۳ و ۴ چندین مورد استثناء وجود دارد که در ادامه ناحیه بندی و نیز این مستثنیات بیشتر توضیح داده خواهد شد.

درجه ناحیه که در مورد خطوط انتقال گاز بدان اشاره شد در واقع بیانگر میزان جمعیت موجود در اطراف خطوط لوله می‌باشد. با تعیین تعداد واحدهای مسکونی در فاصله ۲۲۰ یاردی از هر سمت لوله در طول یک مایل از لوله و یا تعداد زمین یا ساختمان‌هایی که انسان‌ها در آنها رفت‌وآمد می‌کنند در طول ۱۰۰ مایلی لوله می‌توان درجه ناحیه را مشخص نمود. هرگاه ۴۶ واحد یا بیشتر در طول ۱ مایل از لوله در فاصله ۲۲۰ یاردی از هر سمت لوله، مسکونی باشند و یا ساختمان یا بخشی که ۲۰ نفر آدم برای ۵ روز هفته و بمدت ۱۰ هفته در طول سال در آنجا ساکن باشند، این نواحی جزء کلاس ۳ محسوب می‌شوند. ناحیه درجه ۴، نواحی با ساختمان‌های ۴ طبقه به بالا در فاصله ۲۲۰ یاردی از هر سمت لوله را شامل می‌شود.

همانطور که ذکر شد خطوط انتقالی که از این نواحی می‌گذرند باید بودهی شوند مگر اینکه:

- حداقل ۵۰٪ از طول لوله پس از این نواحی در مناطق با درجه ۱ و ۲ قرار گیرد.<sup>۱۱۷</sup>

فرض کنید یک خط انتقال گاز به طول ۱۰۰ مایل با شرایطی چون قرار گرفتن ۳۸ مایل اول طول لوله در ناحیه با درجه ۱، از ۳۸ مایلی تا ۴۸ مایلی در ناحیه‌ای با درجه ۳، از ۴۸ مایلی تا ۸۲ مایلی در ناحیه با کلاس ۱ یا ۲، از ۸۲ مایلی تا ۹۲ مایلی در ناحیه با درجه ۳ و از ۹۲ مایلی تا آخر (۱۰۰ مایلی) نیز در ناحیه با درجه ۲، موجود باشد. در این حالت نیازی به بودار بودن گاز درون لوله تا فاصله ۸۲ مایلی نمی‌باشد. تا فاصله ۳۸ مایلی که نیازی به بودار بودن

<sup>۱۱۷</sup> منظور از نواحی با درجه ۱ و ۲، نواحی با تعداد جمعیت مسکونی کمتر از درجه ۳ و ۴ می‌باشد.

گاز نداریم به این علت است که بیش از ۵۰٪ طول پائین دست لوله در این ناحیه در نواحی با درجه ۱ است (۴۲ مایل در نواحی درجه ۱ و ۲ و ۲۰ مایل در در ناحیه درجه ۳). از طرفی از فاصله ۸۲ مایلی به علت اینکه کمتر از ۵۰٪ طول پائین دست لوله در مناطق درجه ۱ و ۲ است نیاز به بوزنی به گاز داریم. (۸ مایل در ناحیه ۱ و ۲ و ۱۰ مایل در ناحیه با درجه ۳)

• خطوط انتقالی که بمنظور ارسال گاز به برخی صنایع مانند موارد ذیل طراحی شده‌اند (برای خطوطی که قبل از ۵ می سال ۱۹۷۵ وارد سرویس شده‌اند)

۸. مخازن ذخیره گاز طبیعی

۹. پالایشگاه‌های گاز

۱۰. کارخانه‌های صنعتی که بودار بودن گاز منجر به ایجاد اثر نامطلوب در محصولات، کاهش فعالیت کاتالیزورها و کاهش واکنش‌های شیمیایی در آنها می‌شود.

• خطوط انتقالی که بیش از ۵۰٪ از طول لوله در نواحی ۱ و ۲ قرار دارند.

به‌جزء موارد فوق خط انتقال درون نواحی ۳ و ۴ نیاز به بودهی دارند. شایان ذکر است که خطوط گردآورنده نیز چنانچه از حدود و اطراف شهرها عبور کنند باید مانند خطوط انتقال گاز با آنها برخورد شود.

### حداقل میزان بودهی برای تشخیص گاز

میزان بودهی به گاز باید به میزانی باشد که هرگاه مقدار گاز در هوا به اندازه ۲۰٪ حداقل لازم برای انفجار ناگهانی (LEL)<sup>۱۱۸</sup> در محیط رسید، گاز به راحتی توسط یک فرد عادی قابلیت شناسایی داشته باشد.

حداقل میزان گاز لازم در هوا برای انفجار برای گازهای متفاوت فرق می‌کند. در رابطه با گاز طبیعی غلظت ۴/۵٪ تا ۵٪ گاز طبیعی در هوا را به عنوان حداقل آستانه انفجار می‌دانند. برای میعانات گازی<sup>۱۱۹</sup> این مقدار را ۲/۵٪ می‌دانند. با توجه به اعداد مذکور زمانی باید گاز در محیط قابل شناسایی باشد که درصد غلظت آن به ۱٪ در هوا برسد. از این رو میزان حداقل بودهی به گاز باید به نحوی باشد که در شرایط فوق (غلظت گاز در هوا به میزان ۱٪) بتوان بوی گاز را حس نمود.

در سیستم‌های بوزنی متداول امروزه چون سیستم کنارگذر و سیستم پالسی میزان ماده بوزا به گاز توسط روش‌ها و فرمول‌های متعددی تنظیم می‌شود که از آن‌جمله می‌توان به تغییر اختلاف فشار

<sup>118</sup> Lower explosion limit

<sup>119</sup> LPG

ورودی و خروجی برای مدل‌های کنار گذر و نیز تغییر میزان بودهی توسط پنل کنترلی مدل‌های پالسی، بسته به میزان دبی گاز درون لوله اشاره نمود. به هر روشی که مقدار ماده تزریقی را بتوان تغییر داد، نباید نکته‌ای که در فوق به عنوان حداقل میزان ماده بوزا برای شناسای گاز در غلظت ۱٪ بیان شد، فراموش شود.

### ملاحظات مربوط به مواد بوزا و فرآیند بودهی به گاز

زیر بخش ۶۲۵ مشخصات مواد بوزا را این‌گونه می‌شمارد.

- ماده بوزا با مقدار مصرف کم نباید برای افراد و شبکه لوله مضر باشد.
- محصولات ناشی از احتراق گاز نباید تحت تاثیر ماده بوزا اسیدی یا خورنده شوند.
- ماده‌ی بوزا نباید بیش از ۲/۵ واحد در ۱۰۰ واحد حل شود.

این زیر بخش میزان بودهی ثابت به گاز را متذکر شده تا میزان بوی گاز کمتر یا بیشتر از حالت لازم نشود. عوامل متعددی در تغییر میزان ماده‌ای که به گاز زده می‌شود نقش دارند که از آن جمله می‌توان به تغییر در شرایط کاری، استفاده از دستگاه بوزنی نامناسب، استفاده ناصحیح از تجهیزات و نصب نادرست آنها اشاره نمود. به عنوان مثال استفاده از دستگاه‌های بوزنی کنار گذر بدون عایق کاری مخزن، ماده‌ی بوزا را در معرض دمای محیط قرار داده و ممکن است منجر به تبخیر ماده‌ی بوزا شده که در نهایت باعث افزایش ماده‌ی اضافه شده به گاز می‌شود.

### نظارت و بازرسی خطوط لوله گاز برای بررسی عملکرد سیستم بودهی

به منظور کسب اطمینان از عملیات بوزنی به گاز باید به صورت دوره‌ای، از گاز نمونه‌برداری شده و روی آن آزمایش انجام گردد. حال در این بین سئوالاتی در رابطه با زمان دوره‌ای نمونه برداری، نحوه انجام آزمایش و محل‌های نمونه برداری مطرح می‌شود.

زمان دوره‌ای نمونه‌برداری تحت تاثیر عوامل مختلف، متغیر می‌باشد. در واقع زیر بخش ۶۲۵ در بحث بازرسی از سری قوانین اجرایی بوده و دست مجری را برای چگونگی اعمال آنها متناسب با شرایط کاری با در نظر گرفتن ایمنی سیستم، بازگذاشته است. از عوامل موثر بر میزان بازرسی می‌توان به اندازه شبکه، راه‌اندازی خطوط جدید، سن شبکه، نشتی میانگین در شبکه، نوع لوله‌ها و نوع ماده‌ی بوزا اشاره نمود.

در مورد میزان ماده‌بوزا علاوه بر کمک از حس بویایی به کمک عیارسنجی گاز و تجزیه آن می‌توان به مقدار ماده‌ی بوزای درون آن پی‌برد.

برای محل‌های انجام نمونه‌گیری توصیه شده‌است در جاهایی که احتمال بروز مشکل در آنها بیشتر است، عملیات نمونه‌برداری انجام گردد. از جمله این محل‌ها نقاط کم فشار شبکه می‌باشد.

#### ۲.۴.۴ سیستم‌های بوزنی متداول

با توجه به آنکه گاز طبیعی عاری از هر گونه بویی می‌باشد و استفاده از آن به علت اینکه هیچ شناسایی ندارد خطرناک خواهد بود، به گاز طبیعی ماده‌ی بوزا اضافه می‌کنند. روش‌های افزایش ماده‌ی بوزا به گاز طبیعی به طور مفصل در بخش قبل آورده شده‌است. به‌طور کلی دو روش در دنیا و هم‌چنین در خوزستان، برای بوزنی به گاز متداول هستند که عبارتند از:

##### ۱۱. روش کنارگذر

در این روش مقداری گاز از جریان اصلی جدا شده، وارد سیستم بوزنی می‌شود و پس از آنکه ماده‌ی بوزا را جذب کرد مجدداً به جریان اصلی گاز باز می‌گردد و به این وسیله ماده بوزا را با تمام گاز مخلوط می‌شود. دستگاه‌هایی که با این روش ماده بوزا را به گاز اضافه می‌کنند ساختار ساده‌ای دارند و به همین علت از نظر مکانیکی مشکل خاصی برایشان پیش نمی‌آید. به علت ساده بودن ساختار مکانیکی دستگاه، امکان تنظیم دقیق میزان ماده‌ی بوزای تزریقی وجود ندارد.

##### ۱۲. روش پالسی

در روش پالسی پس از آنکه میزان ماده‌ی بوزای مورد نیاز برای تزریق به گاز توسط کاربر دستگاه به واحد کنترل دستگاه داده شد، دستگاه طی فرآیندی مقدار ماده‌ی بوزای مشخص شده را به گاز اضافه می‌نماید. این دستگاه از دقت نسبتاً خوبی برخوردار است ولی به علت اینکه از دو قسمت الکتریکی (واحد کنترل) و مکانیکی تشکیل شده‌است امکان خراب شدن آن زیاد است.

#### ۳.۴.۴ معرفی مدل‌هایی از دستگاه‌های بوزنی

در ادامه به معرفی دو مدل از دستگاه‌هایی که به روش‌های ذکر شده در بخش فوق کار می‌کنند و ساخته‌ی شرکت RMG و King Tool Company می‌باشند، می‌پردازیم.

### دستگاه بوزنی مدل GOE 2000

این دستگاه باروش تزریق ماده بوزا را به گاز اضافه می‌کند. در این دستگاه پمپ تنظیم نسبت<sup>۱۲۰</sup> با دریافت پالس‌های الکتریکی (این پالس‌ها به وسیله دستگاه کنترل قابل تنظیم هستند) حجم مشخصی از ماده‌ی بوزا را از طریق سوزن تزریق<sup>۱۲۱</sup> به درون جریان گاز تزریق می‌کند. نمونه‌ای از این دستگاه در شکل ۱۵۲.۲ به چشم می‌خورد.



شکل ۱۱.۴: سیستم بوزنی مدل GOE 2000

این دستگاه دارای دو مخزن ماده‌ی بوزا است که عبارتند از مخزن اصلی و مخزن ذخیره (مخزن اصلی با گنجایش ۵۰۱ و ۱۰۰۱ ماده بوزا به مخزن ذخیره‌ای با ظرفیت ۱۷۱ و مخزن اصلی با ظرفیت ۲۰۰۱ ماده بوزا به مخزن ذخیره‌ای با ظرفیت ۳۵۱ نیاز دارد) این مخازن با وسایل زیر تجهیز شده‌اند:

<sup>120</sup> Proportioning pump

<sup>121</sup> Injection nozzle

۱۳. نشانگر سطح<sup>۱۲۲</sup> با بورت اندازه‌گیری و لیترسنج

آشکارساز سطح شامل بورت اندازه‌گیری است که این بورت برای بررسی مقدار ماده‌ی بوزای فرستاده شده به پمپ تنظیم نسبت به کار می‌رود. لیتر سنج برای نشان دادن میزان ماده بوزای باقیمانده در مخازن به کار می‌رود. در این لیتر سنج دو نشان قرمز رنگ و یک نشان سبز رنگ وجود دارد. دو نشان قرمز رنگ محدوده اندازه‌گیری غلظت را مشخص می‌کنند که زمان تعویض مخزن ماده بوزا را مشخص می‌کند.

۱۴. ارتفاع سنج مخزن<sup>۱۲۳</sup>

این دستگاه در مخزن ذخیره قرار می‌گیرد و زمانی که مقدار ماده بوزا در درون مخزن ذخیره از ۸۰۰mm لبه بالایی مخن ذخیره کمتر شود شروع به کار می‌کند و زنگ هشدار آن به صدا در می‌آید.

## ۱۵. پمپ تنظیم نسبت

ماده بوزا از طریق این پمپ به سوزن تزریق و از آنجا به جریان گاز فرستاده می‌شود. این پمپ از انفجار جلوگیری می‌کند.

۱۶. پمپ دستی<sup>۱۲۴</sup>

این پمپ برای انتقال ماده بوزا از مخزن اصلی به مخزن ذخیره در زمان آغاز به کار دستگاه یا هنگام تعویض مخزن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱۷. فیلتر کربن فعال<sup>۱۲۵</sup>

این فیلتر از ورود بخارات ماده بوزا به درون جو جلوگیری می‌کند.

با توجه به اینکه بودار کردن گاز به منظور ایجاد عاملی برای شناسایی گاز انجام می‌شود به همین منظور محاسبه غلظت ماده بوزا از اهمیت خاصی برخوردار است. با استفاده از روابط زیر می‌توان غلظت مورد نیاز از ماده بوزا را محاسبه نمود.

---

<sup>122</sup> Level indicator

<sup>123</sup> Level switch

<sup>124</sup> Hand pump

<sup>125</sup> Activated carbon filter



$$c = \frac{d \cdot V_d}{Q_n} \cdot f \quad ۱.۴$$

$c$  = غلظت ماده بوزا در گاز ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

$d$  = چگالی ماده بوزا ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$V_d$  = حجم اولیه ( $\text{mm}^3$ )

$f$  = فرکانس ( $\text{pulses}/\text{h}$ )

$Q_n$  = سرعت جریان گاز در حالت پایه ( $\text{m}^3$ )

هنگام استفاده از این دستگاه باید این نکته را مد نظر قرار داد که این دستگاه باید در اتاقی مجزا با سیستم تهویه مناسب نصب شود، همچنین دمای اتاق باید در محدوده  $5-40^\circ\text{C}$  باشد. [۵]

### دستگاه بوزنی مدل GOE 07

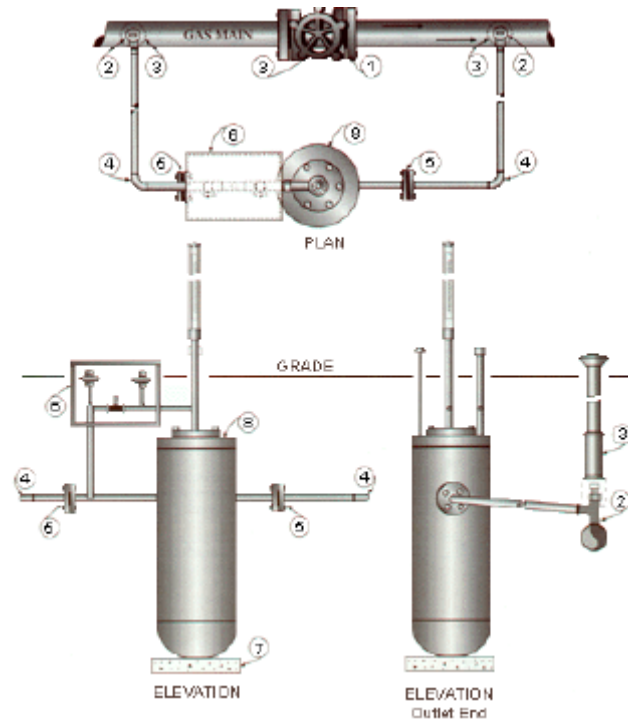
این دستگاه همانند سیستم بوزنی GOE 2000 با این تفاوت که واحد کنترل آن پیشرفته‌تر از واحد کنترل GOE 2000 است. [۵]



شکل ۱.۲.۴: سیستم بوزنی مدل GOE 07

## دستگاه‌های بوزنی سری B و سری W

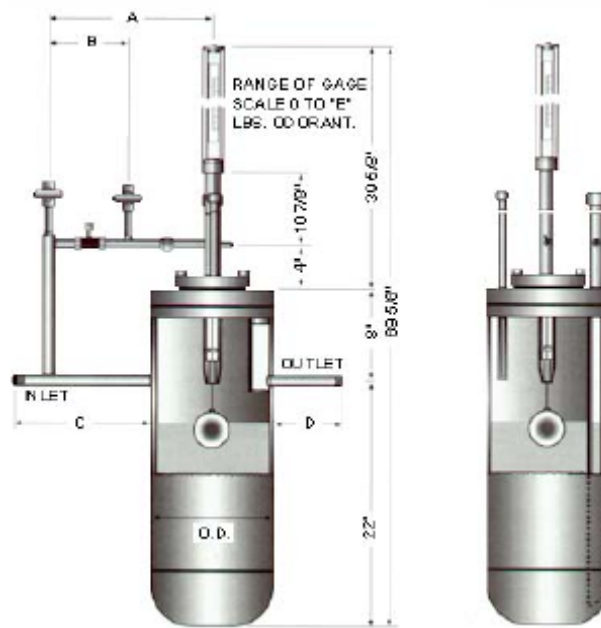
این دستگاه‌ها که توسط شرکت King Tool ساخته شده‌اند به روش کنار گذر ماده بوزا را به گاز اضافه می‌کنند. سیستم‌های بوزنی سری B برای بوزنی مقادیر بالاتر از ۸ میلیون فوت مکعب بر ساعت و سیستم‌های بوزنی سری W برای بوزنی مقادیر کمتر از ۵۰۰ فوت مکعب بر ساعت استفاده می‌شوند.



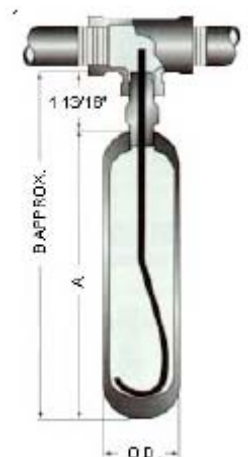
شکل ۱۳.۴: شمایی از نحوه اتصال سیستم‌های بوزنی سری B

در این سیستم‌های بوزنی مقداری گاز از جریان اصلی جدا شده وارد دستگاه بوزنی می‌شود و پس از آنکه ماده بوزا را جذب کرد به جریان اصلی گاز باز می‌گردد و به این طریق همه جریان گاز بودار می‌شود.

شمای برش خورده‌ای از سیستم‌های بوزنی مدل B و W در زیر آمده است.



شکل ۱۴.۴: شمای برش خورده‌ای از دستگاه بوزنی مدل B



شکل ۱۵.۴: شمای برش خورده‌ای از دستگاه بوزنی مدل W

مقدار ماده‌ی بوزای موجود در مخزن سیستم بایک آشکارساز<sup>۱۲۶</sup> که از یک لوله استیل ضد نشت و نفوذناپذیر، یک کپسول مغناطیسی و یک حلقه‌ی نشانگر با رنگ روشن که برای نشان دادن سطح ماده‌ی بوزا درون مخزن به کار می‌رود تشکیل شده‌است.



شکل ۱۶.۴: شمایی از آشکارساز

سیستم‌های بوزنی مدل B و W فقط در صورت تغییر دمای محیط و یا تغییر مخلوط ماده بوزا به تنظیم نیاز دارند. به علت ساده بودن این دستگاه‌ها از نظر مکانیکی مشکل زیادی نخواهند داشت و به همین علت از نظر اقتصادی مقرون به صرفه هستند. [۶]

از معایب این نوع دستگاه‌ها می‌توان به عدم انعطاف‌پذیری آنها برای اضافه نمودن مقادیر متفاوت ماده‌ی بوزا به گاز، نسبت به مدل‌های پالسی اشاره نمود. در این مدل‌ها میزان بوده‌ی به اختلاف فشاری که توسط اوریفیس در مسیر اصلی گاز ایجاد می‌شود وابسته بوده و برای تغییر آن باید اوریفیس را تعویض نمود. از دیگر معایب آن نیز می‌توان به نیاز بررسی مداوم مخزن ماده بوزا برای اطمینان از وجود کافی ماده بوزا، اشاره نمود. حال آنکه در سیستم‌های پالسی ذکر شده سنسور موجود در مخزن به محض اینکه ماده‌ی بوزا از حد مشخصی کمتر شد هشدار می‌دهد.

## ۵.۴ وضعیت سیستم‌های بوزنی موجود در استان خوزستان و بررسی

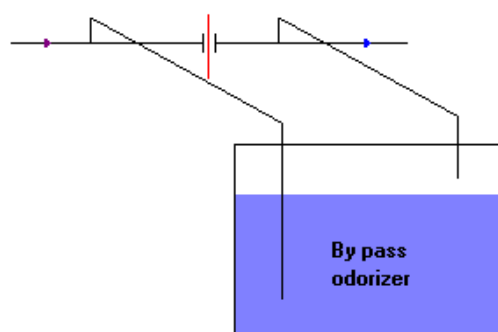
### مشکلات آنها

در بخش‌های پیشین به بررسی و معرفی مدل‌های موجود دستگاه‌های بوزنی به گاز، و همچنین معرفی شرکت‌های تولید کننده در این زمینه پرداخته شد. به منظور بررسی وضعیت سیستم‌های کنونی بوزنی در استان خوزستان، بازدید از دو ایستگاه تقلیل فشار شرق و غرب انجام گرفت که در بخش‌های آتی به موارد و مشکلاتی که در زمینه فرآیند بوزنی رویت گردید پرداخته می‌شود. در بخش‌های قبل اشاره شد که در استان خوزستان از دو نوع سیستم بوزنی کنارگذر و پالسی استفاده می‌شود، در ادامه سعی بر این است که مسائل و مشکلات این سیستم‌ها با تفصیل بیشتری مورد بحث قرار گیرد.

#### ۱.۵.۴ سیستم‌های کنارگذر<sup>۱۲۷</sup>

از بین دو سیستم کنارگذر و پالسی از نوع کنارگذر بیش از نوع پالسی در سطح استان استفاده می‌شود. در واقع از سیستم پالسی تنها در CGS غرب و شرق اهواز استفاده شده و سیستم کنارگذر در مابقی ایستگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم پالسی موجود نیز اخیراً وارد ایستگاه‌ها شده‌است و قبلاً در این ایستگاه‌ها نیز از سیستم کنارگذر استفاده می‌شده‌است.

همان‌طور که در بخش‌های قبل ذکر شده‌است، فعالیت دستگاه‌های بوزنی کنارگذر نیازمند به ایجاد اختلاف فشار در مسیر گاز می‌باشد، که این اختلاف فشار توسط اوریفیس نصب شده در مسیر گاز ایجاد می‌شود. شماتیکی از این سیستم در شکل ۱۵۲.۲ به چشم می‌خورد.



شکل ۱۷.۴: شماتیکی از نحوه قرار گرفتن دستگاه‌های بوزنی کنارگذر در خط اصلی

در شکل ۱۸.۴ دستگاه کنارگذر نصب شده در CGS شرق به چشم می‌خورد. هر چند که این سیستم هم اکنون از خط خارج شده و سیستم پالسی جایگزین آن شده‌است، ولی از آنجا که ایستگاه‌ها با تجهیزات تقریباً یکسانی ساخته می‌شوند در بقیه ایستگاه‌های کاهش فشار گاز استان خوزستان نیز از مدل‌های مشابه مدل فوق استفاده می‌شود.



شکل ۱۸.۴: نمونه‌ای از سیستم کنارگذر نصب شده در CGS شرق

یکی از دلایل اصلی کاربرد گسترده سیستم‌های کنارگذر، برخورداری این سیستم‌ها از ساختار ساده، عدم وجود اجزای الکتریکی و در نتیجه عدم نیاز به منبع الکتریکی و تعمیرات و نگهداری آسان را می‌توان نام برد. ولی در کنار این مزایا معایبی نیز دارند که در ذیل به آنها پرداخته می‌شود. پس از بررسی‌های انجام گرفته بر روی سیستم‌های کنارگذر موجود در خوزستان به معایب ذیل می‌توان اشاره نمود:

۱۸. عدم توانایی کارکرد مناسب در دبی‌های بالا

۱۹. عدم کنترل آسان میزان بودهی به گاز

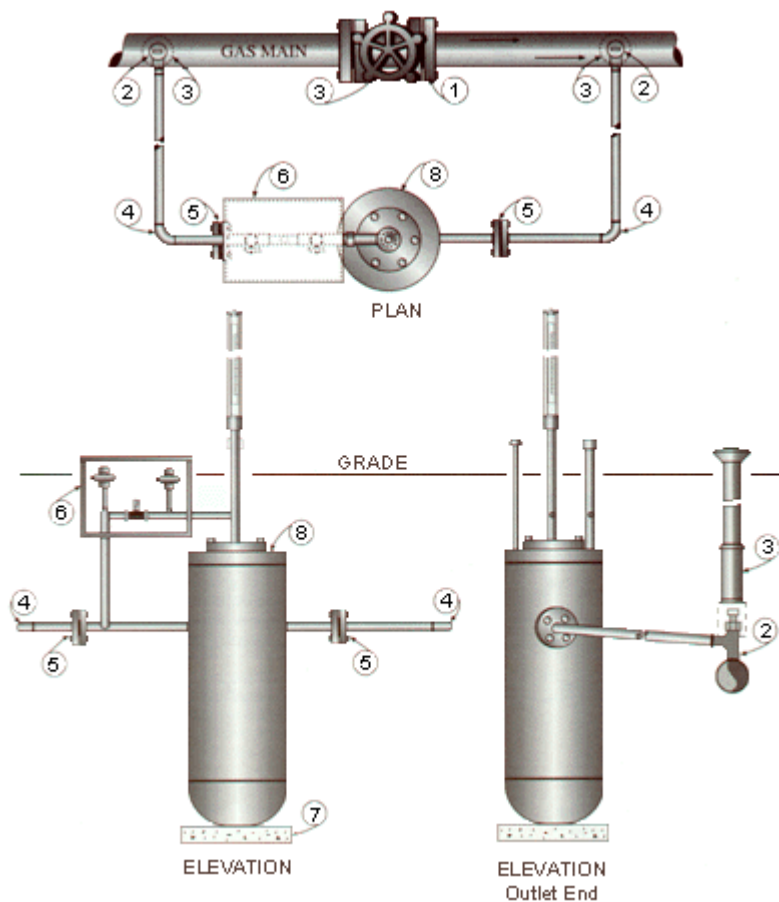
۲۰. مصرف بیش از حد ماده‌ی بوزا که خود ناشی از عدم تنظیم مناسب و نیز عدم سهولت در تغییر کارکرد سیستم می‌باشد.

۲۱. نیاز به بازرسی مداوم برای اطمینان از وجود ماده‌ی بوزای کافی در مخزن

۲۲. ایجاد افت فشار در خط (مدلهایی که با اوریفیس کار می‌کنند)

در واقع دستگاه‌های موجود در ایستگاه‌های کاهش فشار استان خوزستان برای کارکرد در دبی‌هایی تا حد  $5000 \text{ m}^3/\text{hr}$  (بنا به گفته پرسنل دست‌اندرکار)<sup>۱۲۸</sup> طراحی شده، حال آنکه دبی عبوری از CGS ها خیلی فراتر از این میزان است. به عنوان مثال از CGS شرق دبی برابر با  $120000 \text{ m}^3/\text{hr}$  عبور می‌کند.

در زمینه افزایش کارایی این نوع سیستم‌ها برای کارکرد در دبی‌های بالاتر با توجه به جستجوهای انجام گرفته، می‌توان به تولیدات سری B شرکت کینگ‌تول<sup>۱۲۹</sup> اشاره نمود. برخی مشخصات و مدل‌های این سری در شکل ۱۹.۴ و شکل ۲۰.۴ و همچنین جدول ۱.۲، جدول ۵.۴ و جدول ۶.۴ ارائه شده است. سری B این شرکت قابلیت نصب بر خطوطی با دبی برابر با  $220000 \text{ m}^3/\text{hr}$  را دارا می‌باشند. [۷]

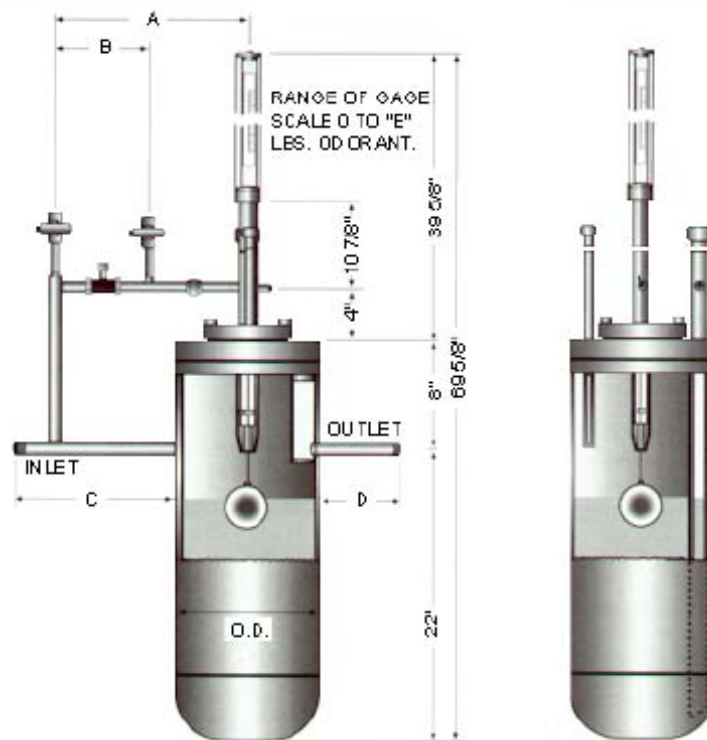


شکل ۱۹.۴: شماتیکی از مدل سری B شرکت King Tool

<sup>۱۲۸</sup> متاسفانه دسترسی به اطلاعات فنی مدل‌های موجود امکان‌پذیر نبود.

جدول ۴.۴: تجهیزات موجود در مدل سری B شرکت king tool

"B" SERIES TYPICAL INSTALLATION		
ITEM	QUANTITY	SUGGESTED MATERIAL
1	1	Orifice Plate or Gate Valve
2	2	1"-Steel Angle Gate Valve
3	3	Valve Handle Extensions to Fit Condition
4	2	1"-90 Deg. Elbows
5	2 Pr.	1"-Screwed Flanges or Unions
6	1	Valve Box with Cover
7	1	Concrete Block
8	1	King Tool Odorizer



شکل ۴.۴: نمایشی برش خورده جهت تعیین ابعاد مدل‌های سری B شرکت king tool

جدول ۵.۴: ابعاد مدل‌های سری B شرکت king tool

"B" SERIES DIMENTIONS						
ODORIZER MODEL	1-B	2-B	3-B	4-B	5-B	6-B
O.D.	6-5/8"	10-3/4"	16"	20"	24"	30"
A	12"	13-7/8"	12-1/4"	12-1/4"	14"	17"
B	6"	7-1/2"	6"	6"	7-1/2"	7-1/2"
C	13"	12"	4-1/2"	4-1/2"	4-1/2"	4-1/2"
D	4"	6"	3"	3"	3"	3"
E	15	40	95	140	200	370

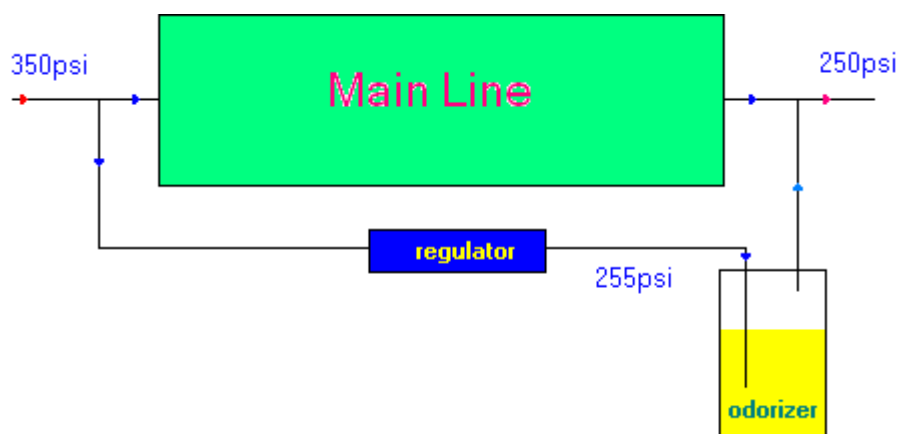


جدول ۶.۴ مشخصات مدل‌های سری B شرکت king tool

"B" SERIES SPECIFICATION						
ODORIZER MODEL	1-B	2-B	3-B	4-B	5-B	6-B
NPT Inlet & Outlet Size	1"	1"	1"	1"	1"	1"
Approx. Reservoir Capacity in Gallons	2.22	6.00	14.0	20.0	30.0	55.0
Gauge Range in Lbs. Odorant/lb	0.85	2.38	5.5	8.7	12.8	19.6
Rated Capacity in Lbs. Odorant/Hr.	0.15	0.50	0.75	1.00	1.50	4.00
Maximum Capacity in SCFH	150,000	500,000	750,000	1,000,000	1,500,000	4,000,000
300 PSIG Design	140	180	260	300	370	510
500 PSIG Design	140	195	340	440	475	720
720 PSIG Design	160	250	430	550	615	910
1000 PSIG Design	175	310	550	675	730	1200

از دیگر مشکلات این سیستم‌ها ایجاد افت فشار در مسیر لوله می‌باشد. اختلاف فشار ایجاد شده متناسب با دبی و قطر سوراخ اوریفیس می‌باشد. گزارشات دریافتی حاکی از این قضیه است که در پیک مصرف وجود این اوریفیس باعث ایجاد افت فشار زیادی در طول لوله شده که در برخی موارد این افت فشار تا ۸۰psi در مسیر لوله نیز می‌رسد. از این رو یکی از عوامل مهم در عدم صلاحیت این نوع سیستم‌ها ایجاد افت فشار در خط لوله است. البته یکی از روش‌هایی که توسط پرسنل شرکت گاز استان خوزستان ابداع شده<sup>۱۳۰</sup> استفاده از یک رگلاتور به جای اوریفیس در مسیر گاز است. در این روش گاز ورودی به مخزن به جای اینکه از خطوط اصلی خروجی از CGS با فشار ۲۵۰psi وارد مخزن شود، با گرفتن انشعابی از خط ورودی به ایستگاه (خط ۳۵۰psi) و نصب رگلاتوری روی این انشعاب، با شکستن فشار آن به فشار ۲۵۰psi، گاز با این فشار وارد مخزن شده و لوله‌ی خروجی از مخزن به خط با فشار ۲۵۰psi متصل می‌شود. به این ترتیب به وسیله تنظیم رگلاتور نصب شده روی شاخه‌ی فرعی میزان اختلاف فشار و در نتیجه‌ی آن میزان بودهی به گاز، از تنوع و انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار است. در شکل ۲۱.۴ شماتیکی از طرح ابتکاری فوق به چشم می‌خورد.

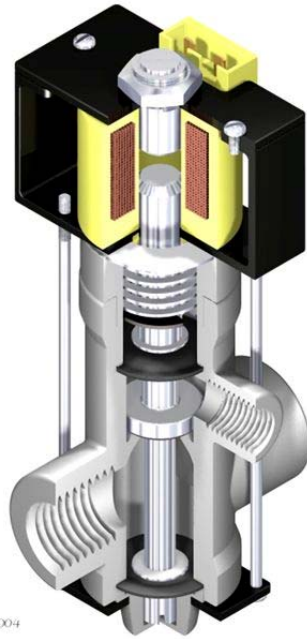
<sup>۱۳۰</sup> آقای مهندس مشاک بخش تعمیرات و نگهداری



شکل ۲۱.۴: طرح ابتکاری جایگزین اوریفیس

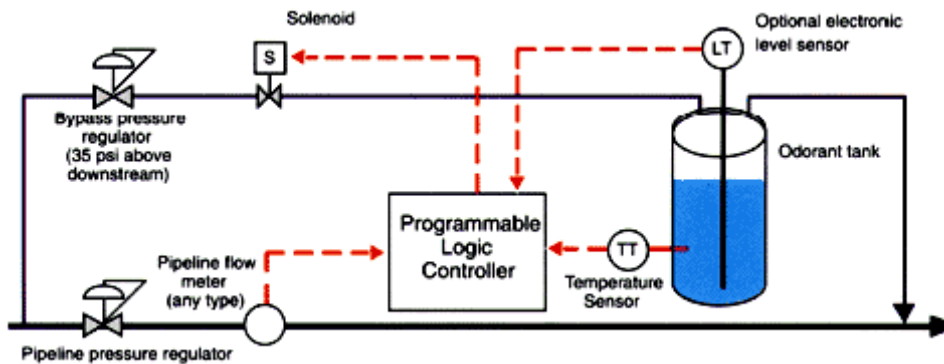
سیستم فوق در CGS غرب پیاده سازی شده ولی از آنجا که همچنان مشکل عدم کنترل پذیری آن موجود است، سیستم پالسی موجود در ایستگاه فعال بوده و از این سیستم تنها در زمان عدم فعالیت سیستم پالسی استفاده می‌شود. با این حال می‌توان برای غلبه بر مشکلات افت فشار بالای ناشی از وجود اوریفیس در مسیر خط اصلی گاز در ایستگاه‌هایی که فاقد سیستم پالسی هستند از این روش استفاده نمود.

از متدهای جدیدی که در جهت رفع معایب این گونه سیستم‌ها ارائه شده است استفاده از روش کنارگذر پالسی می‌باشد. این روش در واقع ادغام دو حالت کنارگذر و پالسی است. اصول کار مانند سیستم‌های کنارگذر بوده و گاز بر اساس اختلاف فشار بین ورودی و خروجی مخزن، درون آن جریان می‌یابد. تا اینجای کار سیستم مانند حالت کنارگذر معمولی است. همانطور که می‌دانیم در سیستم‌های پالسی میزان تزریق ماده‌ی بوزا به دبی گاز عبوری از خطوط لوله وابسته است. همانطور که در بخش قبل در مورد نحوه عملکرد سیستم‌های پالسی بحث شده، پمپ الکتریکی با گرفتن دستور از واحد کنترلی ماده بوزا را به گاز تزریق می‌کند. در سیستم جدید کنارگذر- پالسی به جای تزریق ماده‌ی بوزا به گاز، گاز به مخزن تزریق می‌شود. عمل تزریق گاز به مخزن توسط یک شیر سلنوئیدی انجام می‌شود. دستور برای باز و بسته شدن شیر توسط بخش کنترلی به شیر داده شده که میزان این باز و بسته شدن وابسته به دبی گاز و نیز تعداد پالس‌هایی است که از دبی سنج به واحد کنترلی فرستاده می‌شود. شماتیکی از یک شیر سلنوئیدی در شکل ۲۲.۴ دیده می‌شود.



شکل ۲۲.۴: نمایی برش خورده از یک شیر سلنوییدی

شماتیکی از سیستم فوق در شکل ۲۳.۴ دیده می‌شود.



شکل ۲۳.۴: نمایی از متد کنارگذر پالسی

از شرکت‌های پیشرو در این زمینه می‌توان شرکت Odor Eyes<sup>۱۳۱</sup> را نام برد. از مزایای این نوع سیستم‌ها می‌توان موارد ذیل را ذکر نمود:

- توانایی عمل با دقت بالا برای جریان‌های خیلی پایین‌تر از شرایط متداول کاری
- توانایی سیستم در تنظیم جریان شاخه‌ی فرعی به منظور جبران اثرات ناشی از تغییر دما روی میزان غلظت بخارات مواد بوزا

<sup>۱۳۱</sup> برای اطلاعات بیشتر به منبع [۸] مراجعه شود.

- عدم نیاز سیستم به تعمیرات و نگهداری مداوم به علت عدم وجود اجزای متحرک و نیز پمپ الکتریکی، نسبت به سیستم‌های پالسی

#### ۲.۵.۴ بررسی سیستم‌های پالسی

با پیشرفت صنایع و تکنولوژی سیستم‌های بوزنی نیز تکامل یافته و به نوع پالسی تغییر روش داده‌اند. همانگونه که در قسمت قبل ذکر شد یکی از مشکلات سیستم‌های کنارگذر موجود ایجاد افت فشار در مسیر است، این افت فشار توسط اوریفیس اعمال شده و میزان آن بستگی به قطر سوراخ درون اوریفیس دارد. از آنجا که با گسترش شبکه و افزایش مشترکین میزان لازم بودهی به گاز نیز افزایش می‌یابد، به منظور افزایش بودهی به گاز باید اختلاف فشار بین ورودی و خروجی را تغییر داد که خود نیازمند به تغییر در سایز قطر سوراخ اوریفیس می‌باشد. از این رو تغییر در قطر اوریفیس برای تأمین بودهی لازم نیز، یکی دیگر از مشکلات استفاده از این سیستم‌ها است. در مقابل، سیستم‌های پالسی بدون نیاز به ایجاد افت فشار با دریافت پالس از کنتور نصب شده در مسیر گاز و تنظیم سیستم کنترلی، مقدار مشخصی ماده‌ی بوزا به گاز اضافه می‌کنند. مقدار بودهی لازم به گاز توسط قسمت ایمنی مشخص شده و برای آن مقداری برابر با  $0/15mg$  تا  $0/2mg$  به ازای هر  $m^3$  گاز در نظر گرفته شده‌است. با استفاده از سیستم‌های کنارگذر هر ۴ روز یک بار یک بشکه‌ی  $120kg$  ماده بوزا باید تزریق شود، در حالی که با تعویض سیستم از حالت کنارگذر به پالسی، میزان تعویض مخزن با مصرف کنونی گاز به ماهی یک بار تغییر می‌یابد.

سیستم‌های پالسی شرق و غرب از نظر کارکرد شبیه به هم می‌باشند و از کلیاتی چون دیگر مدل‌های سیستم‌های پالسی که در بخش‌های قبل ذکر شده برخوردار هستند. در مقایسه مدل‌های موجود در این دو ایستگاه با مدل‌های روز می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۲۳. در مدل‌های جدید برای کاهش موارد بازدید به مخزن یک سطح سنج<sup>۱۳۲</sup> در مخزن نصب شده است. این وسیله علاوه بر نشان دادن میزان مایع درون مخزن، هرگاه سطح مایع درون مخزن از مقدار تعیین شده‌ای پایینتر رود شروع به هشدار دادن و ایجاد صدا می‌نماید. هشدار ایجاد شده قابلیت انعکاس در بخش کنترل نیز داشته و نیازی به وجود در محل برای شنیدن صدای زنگ نمی‌باشد.

۲۴. مدل‌های جدید از سیستم‌های کنترلی پیشرفته‌ای برخوردار بوده و قابلیت کنترل و مشاهده اطلاعات سیستم از راه دور را نیز دارا می‌باشند.

۲۵. مدل‌های پالسی موجود در CGS غرب و شرق با توجه به مشکلاتی که برای نصب و راه‌اندازی سیستم اولیه داشتند با دستکاری و اضافه و کم نمودن برخی تجهیزات هم اکنون در حال استفاده می‌باشند. در این بین در مقایسه با تجهیزات موجود در سیستم‌های امروزی به نظر می‌رسد که تجهیزات مربوط به ایمنی آنگونه که باید در این سیستم‌ها در نظر گرفته نشده‌است (در مقایسه با سیستم‌های امروزی). هرچند که تمامی شیرهای موجود در سیستم از نوع یک طرفه می‌باشند و گزارشی نیز در مورد مشکلات مرتبط با ایمنی این دستگاه‌ها تاکنون ارائه نشده است. شکل ۲۴.۴ نمونه سیستم پالسی نصب شده در CGS شرق و شکل ۲۵.۴ یکی از مدل‌های شرکت RMG [۵] را نشان می‌دهند. شایان ذکر است دستگاهی که توسط خود پرسنل بسته شده با هزینه‌ای بسیار کمتر از نمونه‌های مشابه خارجی فراهم گردیده است. [۹]



شکل ۲۴.۴: سیستم بوزنی پالسی نصب شده در CGS شرق



شکل ۲۵.۴: مدل GOE07 از تولیدات شرکت RMG

۲۶. برد کنترلی سیستم‌های پالسی نیاز به برق ۲۲۰ ولت داشته که آنرا به برق ۱۲ ولت تبدیل می‌کند. جهت افزایش ایمنی با ابتکار آقای مهندس مشاک به جای ورود برق مستقیم ۲۲۰ ولت به برد، جریان لازم توسط یک باتری ۱۲ ولتی تامین شده که خود این باتری به یک شارژر (از نوع شارژر گوشی‌های بیسیم) وصل می‌باشد. با توجه به نیاز بسیار پائین برد، در حدود ۱ A/hr، باتری قابلیت کار تا نزدیک به ۱۰۰ ساعت را دارا بوده و در صورت قطع برق سیستم بدون هیچ خللی قادر به ادامه کار می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه مدل‌های روز، چنین امکانی در مدل‌های مورد مطالعه دیده نشده است. هر چند که مدل‌هایی نیز طراحی و ساخته شده‌اند که انرژی الکتریکی لازم را توسط باتری‌های خورشیدی تامین می‌کنند. شکل ۲۶.۴ نمونه‌ای از این سیستم‌ها را نشان می‌دهد. [۸]

۲۷. دستگاه‌های امروزی در صورت قطع سیگنال ورودی از کنتور به طور اتوماتیک به حالت دستی<sup>۱۳۳</sup> که از پیش برای چنین مواقعی در نظر گرفته شده تغییر وضعیت داده و فرآیند بوزنی را ادامه می‌دهند که این حالت نیز در سیستم‌های موجود در CGS غرب و شرق پیش بینی شده و در صورت عدم دریافت پالس از کنتور پس از ۱۵ دقیقه وارد حالت دستی شده و میزان بودهی از قبل توسط کاربر برای چنین مواقعی تنظیم شده است.



شکل ۲۶.۴: سیستم بوزنی با منبع انرژی خورشیدی

۲۸. یکی از مشکلاتی که موقع بازدید توسط پرسنل دفتر گاز از CGS غرب به آن برخورد شد، وجود بوی زنده‌ی ماده‌ی بوزا در محل ایستگاه و مناطق اطراف ایستگاه بود. در مقایسه با CGS شرق این بو تا حدودی غیر عادی بوده و شاید گواه بر وجود نشتی در سیستم بوزنی باشد. با توجه به اینکه این ایستگاه در منطقه‌ای مسکونی ( ناحیه پردیس ۲ ) واقع بوده وجود این بو مطمئناً اثرات سوئی بر زندگی و سلامت ساکنان منطقه خواهد گذاشت که لازم است به آن رسیدگی شود. در واقع مسئله نشتی از موارد مهم در زمینه ساخت تجهیزات بوزنی و اتصالات مرتبط به آنها بوده و باید در تمامی ایستگاه‌ها سیستم بوزنی از این لحاظ مطمئن باشد.

۲۹. از مشکلاتی که در زمینه بودهی در سیستم‌های کنونی ایستگاه‌های کاهش فشار گاز در استان خوزستان به چشم می‌خورد می‌توان به عدم بوزنی به گاز طی فرآیند تعویض مخزن و یا به وجود آمدن اشکال فنی در سیستم‌ها اشاره کرد. تولیدات شرکت Walker این محدودیت را نداشته و بدون خارج کردن سیستم از سرویس می‌توان مخزن را تعویض نمود. در این رابطه همانگونه که قبلاً اشاره شد با ابتکار آقای مشاک با استفاده از یک سیستم کنارگذر که با اختلاف فشار ایجاد شده توسط رگلاتور کار می‌کند، در صورت هر گونه خرابی یا عدم فعالیت سیستم پالسی، توسط کاربر سیستم کنارگذر وارد خط شده و امکان بودهی به گاز را فراهم می‌کند. این سیستم در CGS غرب به اجرا در آمده ولی CGS شرق فاقد بخش کمکی می‌باشد.

### ۳.۵.۴ جمع‌بندی مشکلات موجود در سیستم‌های بوزنی استان خوزستان

با مطالعه و جمع‌بندی مطالب ذکر شده در دو بخش پیشین، موارد زیر را می‌توان از جمله معایب عمده موجود در سیستم‌های بوزنی استان خوزستان برشمرد. ناگفته نماند اطلاعات فوق ماحصل بازدید از دو ایستگاه تقلیل فشار موجود در اهواز بوده و بازدیدی از دیگر ایستگاه‌های استان انجام نگرفته، ولی با توجه به شباهت‌های کلی این ایستگاه‌ها، می‌توان موارد ذیل را به حالت کلی تعمیم داد.

- عدم تناسب سیستم‌های بوزنی موجود با دبی کارکرد ایستگاه‌ها (سیستم‌های کنارگذر)
- عدم اطلاع دقیق از میزان بودهی به گاز توسط سیستم‌های بوزنی (سیستم‌های کنارگذر)
- ناتوانی از تنظیم میزان لازم برای بودهی به گاز توسط این سیستم‌ها (سیستم‌های کنارگذر)
- مصرف بیش از حد ماده‌ی بوزا که ناشی از عدم کنترل پذیری سیستم‌ها برای تعیین میزان لازم ماده‌ی بوزا برای تزریق به گاز می‌باشد (سیستم‌های کنارگذر)
- ایجاد افت فشار در زمان پیک مصرف در نقاط بحرانی سیستم (سیستم‌های کنارگذر)
- نیاز مداوم سیستم‌ها برای بازدید به منظور آگاهی از وجود مقدار کافی ماده‌ی بوزا در مخزن
- وجود نشتی در سیستم
- عدم امکان سرویس به خط در صورت خرابی دستگاه بوزنی

نکته‌ی دیگری که در این میان باید به آن اشاره شود در مورد مکان‌های بوزنی به گاز است. طبق مدارک موجود تنها در CGS‌ها گاز بودار می‌شود، حال چنانچه خطوط انتقال گاز از نواحی که در بخش قبل ذکر شده، عبور کنند، بدون بو بوده و نیازمند به بودهی می‌باشند. در غیر این صورت ممکن است مشکل آفرین گردند.

بسیاری از مشکلات فوق با تعویض سیستم‌های کنارگذر و جایگزینی سیستم‌های پالسی مرتفع می‌شوند. به نظر می‌رسد که هزینه‌ای که به منظور تعویض این نوع سیستم‌ها باید صرف شود در مقابل هزینه‌هایی چون خطرات احتمالی از عدم بودهی مناسب و همچنین هزینه‌ی تأمین ماده‌ی بوزا در بلند مدت ناچیز می‌باشد.



## ۶.۴ مراجع

- [۱] [www.arkma-inc.com](http://www.arkma-inc.com)
- [۲] [G. G. Wilson, R. T. Ellington and J. Forwalter, Gas Distribution, Institute of Gas Technology, Chicago 16, Illinois, 1963](#)
- [۳] <http://www.cga.ca>
- [۴] مطالعه‌ی ایجاد مرکز تحقیقات گاز خوزستان، مرتضی بهبهانی نژاد، بهمن ۱۳۸۴
- [۵] <http://www.rmg.de>
- [۶] <http://www.kingtoolcompany.com>
- [۷] <http://www.kingtoolcompany.com>
- [۸] <http://www.welkereng.com>
- [۹] مهندس مشاک، مشاوره‌ی حضوری در محل، بخش تعمیرات و نگهداری شرکت گاز

## ۵ فعالیت‌های انجام شده در هفته پژوهش

در این فصل فعالیت‌های انجام شده در هفته پژوهش در آذرماه ۱۳۸۵ توسط دفتر پژوهش گاز استان خوزستان تشریح می‌شود. این فعالیت‌ها عبارتند از :

۱. تهیه تابلو در مورد اهداف و زمینه‌های فعالیت دفتر پژوهش

۲. ارائه زمینه‌های کاری با ارائه تصاویر مرتبط

۳. منتخبی از فعالیت‌های انجام شده دفتر پژوهش تاکنون

۴. تهیه چکیده‌ای از مباحث فوق به صورت بروشور

۵. ارائه سمینارهای کاربردی در مباحث ذیل

- جهت‌گیری مراکز تحقیقاتی گاز در دنیا، کشور و استان خوزستان
- قابلیت‌های نرم افزارهای شبیه سازی جریان گاز درون خطوط لوله
- مروری بر روش‌های عددی در زمینه مدل‌سازی حفاظت کاتدیک

۶. ارائه لیستی از پروژه‌های تعریف شده در زمینه صنایع گاز

۷. تهیه نقشه خطوط لوله گاز

۸. تهیه CD معرفی دفتر و زمینه فعالیت‌های پژوهشی

۹. تهیه برگه‌های معرفی تجهیزات شرکت گاز

با توجه به نیاز اساسی کارهای گرافیکی و طراحی به زمان و نیز حوصله و سلیقه بسیار، برای طراحی و آماده‌سازی مراتب فوق زمان زیادی صرف شد، ولی در نهایت نتیجه کار رضایت بخش بود. در شکل ۱.۵ نمایی از غرفه دفتر پژوهش گاز در نمایشگاه هفته پژوهش که در آذر ماه سال ۱۳۸۵ در دانشگاه شهید چمران اهواز برگزار شد دیده می‌شود. با توجه به وقت محدود دفتر پژوهش

برای آماده سازی غرفه (در حدود دو هفته)، فرصتی برای طراحی بروشورها باقی نماند و انشاءا.. این مورد برای نمایشگاه‌های آتی تهیه خواهد شد.

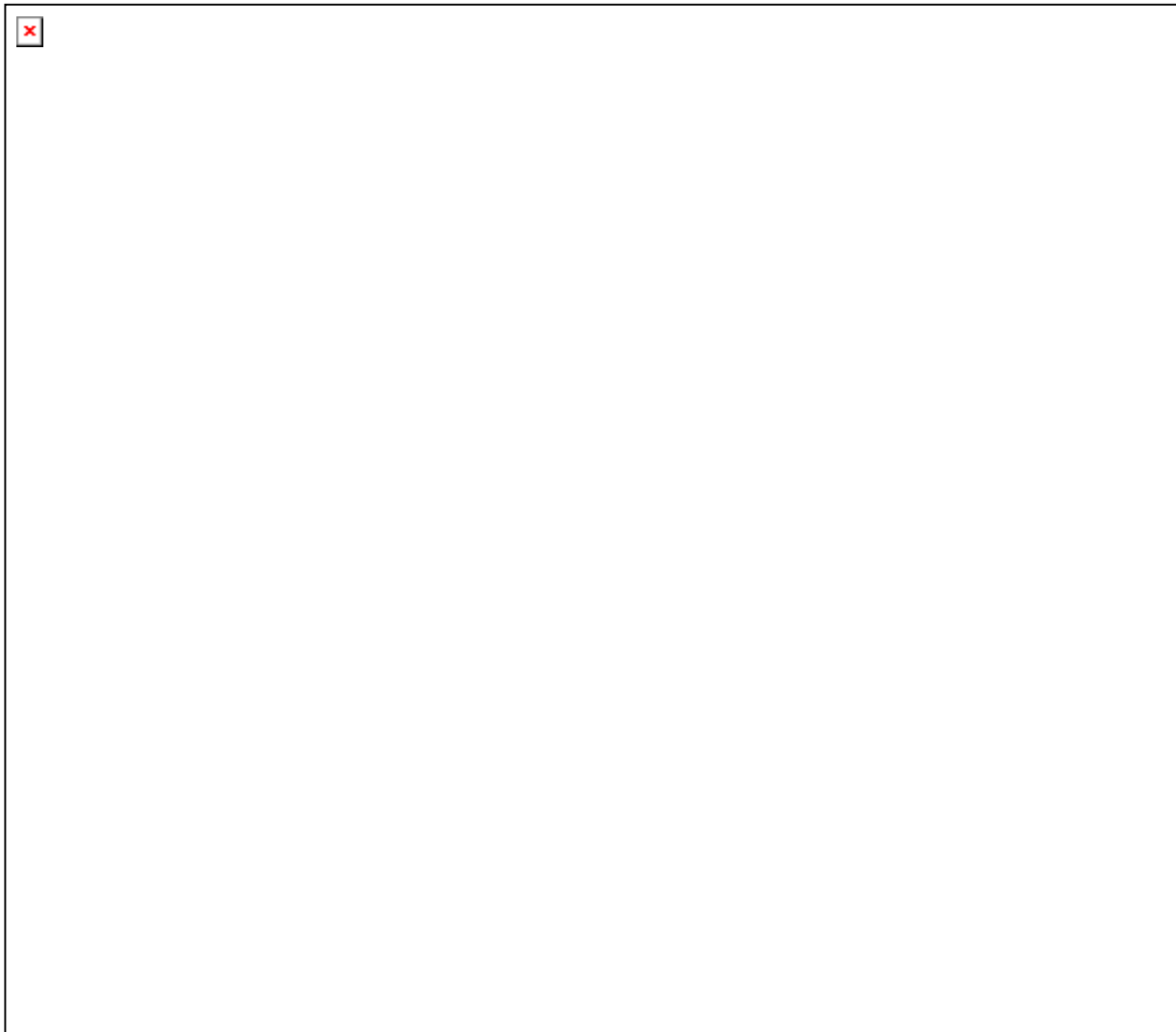


شکل ۱.۵: نمایی از غرفه دفتر پژوهش

## ۱.۵ تهیه نقشه خطوط لوله گاز

در راستای آشنایی علاقه‌مندان با توزیع شبکه انتقال گاز، با هماهنگی‌های انجام گرفته، تهیه چهار نقشه از توزیع خطوط انتقال گاز ممکن شد. این نقشه‌ها مشتمل بر موارد زیر است.

۱. نقشه خطوط انتقال گاز اروپا و خاورمیانه که در شکل ۲.۵ نشان داده شده است.



شکل ۲.۵: نقشه خطوط گاز اروپا و بخشی از خاورمیانه

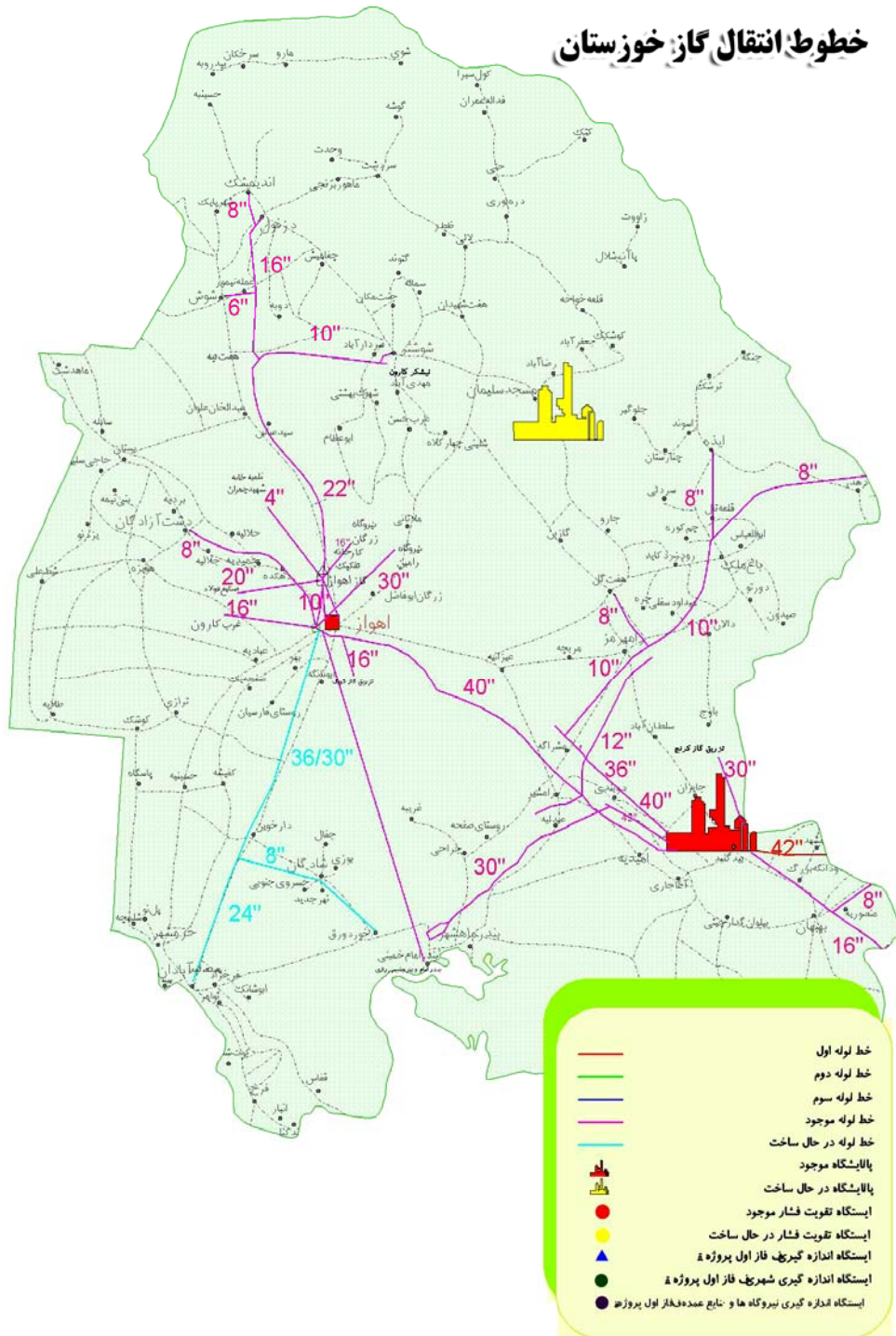
۲. نقشه خطوط انتقال گاز و نفت ایران که در شکل ۳.۵ نشان داده شده است.



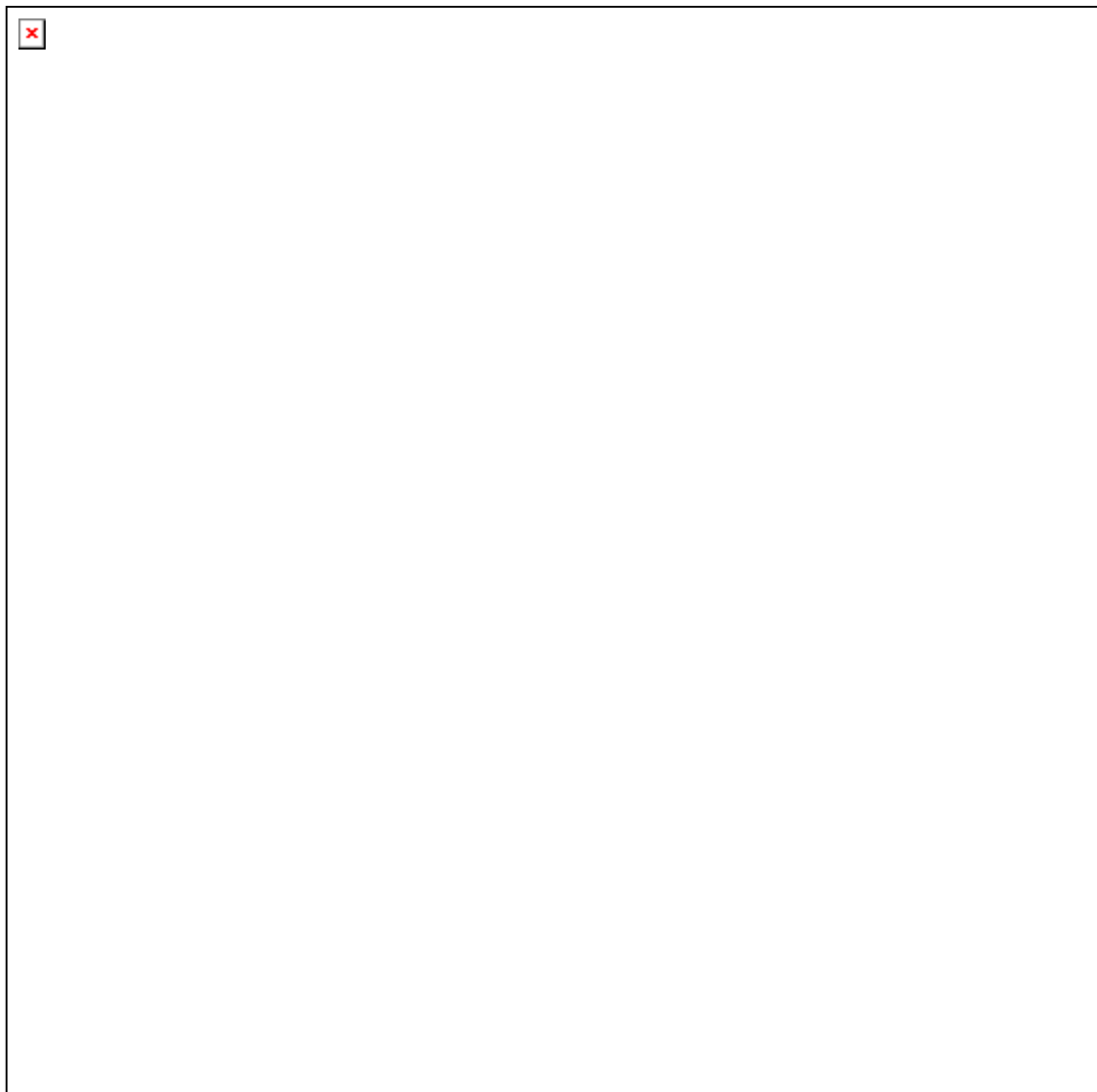
شکل ۳.۵: نقشه خطوط انتقال گاز و نفت ایران

۳. نقشه خطوط انتقال گاز استان خوزستان که در شکل ۴.۵ شکل ۲.۵ نشان داده شده است.

۴. نقشه خطوط انتقال گاز اهواز که در شکل ۵.۵ شکل ۲.۵ نشان داده شده است.



شکل ۴.۵: نقشه خطوط انتقال گاز استان خوزستان



شکل ۵.۵: نقشه خطوط انتقال گاز استان خوزستان

## ۲.۵ تهیه برگه‌های معرفی تجهیزات شرکت گاز

به منظور معرفی تجهیزات ارسالی شرکت گاز و نیز مشخص نمودن کاربری هر یک، برگه‌هایی طراحی و آماده شد که در شکل ۶.۵ نمونه‌ای از آنها دیده می‌شود.



شکل ۶.۵: برگه‌های معرفی تجهیزات شرکت گاز

### ۳.۵ استندها و پوسترها

به منظور معرفی و آشنایی علاقه‌مندان با اهداف و زمینه‌های فعالیت دفتر پژوهش، یک استند و دو پوستر با محتوای مطالبی در مورد اهداف و زمینه‌های فعالیت دفتر پژوهش طراحی و ارائه گردید. در ذیل مطالب استند و پوسترها ذکر شده است.

#### ۱.۳.۵ استند معرفی دفتر پژوهش شرکت گاز

در استند معرفی دفتر، موارد زیر به چشم می‌خورد.

##### ۵. تاریخچه

دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان از تیرماه ۱۳۸۵ در دانشکده مهندسی فعالیت خود را به طور رسمی آغاز نمود. در ابتدا این دفتر فعالیت خود را با یک عضو هیئت علمی، یک کارشناس و یک دانشجوی کارشناسی ارشد شروع کرد. هم‌اکنون یک دکترای مهندسی مکانیک، یک نفر دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، یک نفر دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فرآوری و انتقال گاز و یک نفر دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی، کادر پرسنلی دفتر پژوهش را تشکیل می‌دهند.



## ۶. اهداف

دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان با انگیزه شناسایی آخرین نوآوری‌ها و تکنولوژی‌های جدید مطرح در صنایع گاز و مرتبط با فعالیت‌های شرکت گاز استان خوزستان و همچنین ایجاد یک بستر پژوهشی جهت سوق دادن فعالیت‌های تحقیقاتی اعضای هیئت علمی و دانشجویان به سمت نیازهای تحقیقاتی آن شرکت، تاسیس شد.

## ۷. شرح خدمات

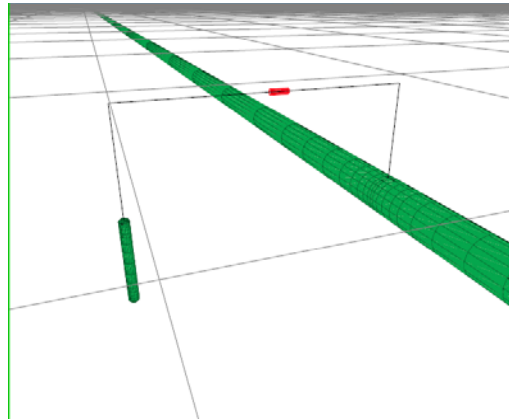
با توجه به اهداف و انگیزه‌های اصلی در ایجاد دفتر پژوهش، خدمات دفتر به شرح ذیل می‌باشد.

- پیگیری و یافتن آخرین نوآوری‌ها و تکنولوژی‌های جدید در زمینه صنعت گاز مرتبط با فرآیندها و فعالیت‌های شرکت گاز خوزستان
- جستجوهای کتابخانه‌ای و اینترنتی در زمینه آخرین یافته‌های علمی و پژوهشی در زمینه گاز در داخل و خارج کشور
- ارائه مشاوره در زمینه مسائل و مشکلاتی که توسط شرکت گاز استان خوزستان به این دفتر ارجاع می‌شود
- تهیه بانک اطلاعاتی از موسسات تحقیقاتی گاز در داخل و خارج کشور
- ارائه گزارش ماهیانه در زمینه یکی از فرآیندها یا فعالیت‌های شرکت گاز استان خوزستان که در ذیل به آنها اشاره شده‌است
- برگزاری سمینارهای ماهیانه جهت آشنایی اساتید و دانشجویان با مسائل و مشکلات و اولویت‌های پژوهشی شرکت گاز خوزستان
- هدایت دانشجویان در جهت تعریف پروژه کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا
- تهیه بانک اطلاعاتی از محققین در زمینه گاز

## ۸. فعالیت‌های انجام شده

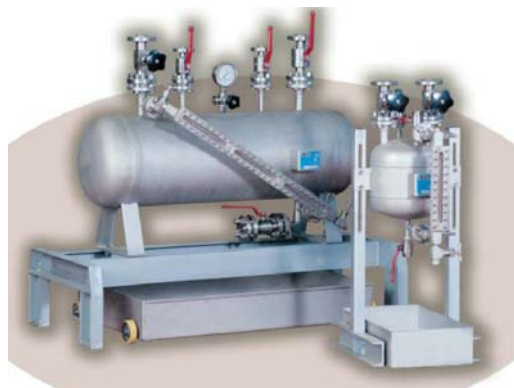
اکنون که زمانی نزدیک به ۶ ماه از تاسیس دفتر پژوهش می‌گذرد، فعالیت‌های انجام شده توسط دفتر به شرح زیر می‌باشد.

- مطالعه روش‌های حفاظت کاتدیک محاسباتی



شکل ۷.۵: مدل سازی حفاظت کاتدیک

- مطالعه روش‌های مختلف بودار کردن گاز



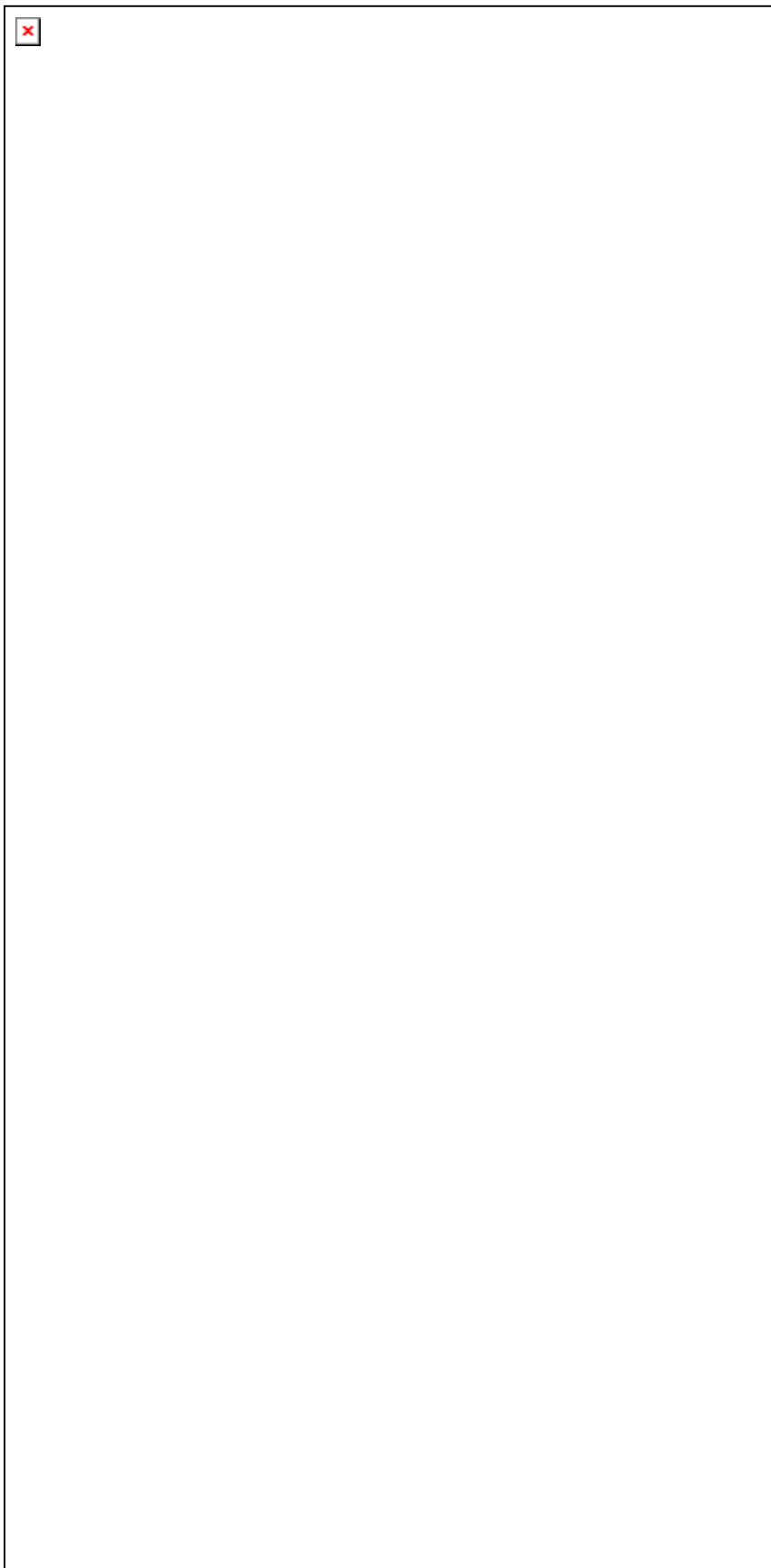
شکل ۸.۵: نمونه‌ای از دستگاه‌های بوزنی به گاز

- مطالعه وضعیت نرم‌افزارهای موجود طراحی و تحلیل شبکه‌های گاز



شکل ۹.۵: نرم افزارهای مدل سازی جریان در لوله

- تعریف دو طرح تحقیقاتی در زمینه جریان‌های غیردائم و حفاظت کاتدیک محاسباتی
- تهیه الگوی مستندسازی گزارشات



شکل ۱۰.۵: استند معرفی دفتر پژوهش

### ۲.۳.۵ پوستر شماره ۱

در این پوستر زمینه‌هایی که مورد مطالعه دفتر پژوهش قرار گرفته‌اند به طور مختصر معرفی شده‌اند. . که مشتمل بر موارد زیر است.



شکل ۱۱.۵: پوستر معرفی زمینه‌های تحقیقاتی دفتر پژوهش - ۱

۹. ایستگاه‌های تقلیل فشار شهری (CGS) و ناحیه ای (TBS)

۱۰. نرم افزارهای مدل سازی جریان

۱۱. بودار کردن گاز

### ۳.۳.۵ پوستر شماره ۲

در ادامه معرفی زمینه فعالیت‌های انجام شده توسط دفتر، این پوستر نیز طراحی شد. که مشتمل بر موارد زیر است.



شکل ۱۲.۵: پوستر معرفی زمینه‌های تحقیقاتی دفتر پژوهش ۲

## ۱۲. خوردگی

### ۱۳. کلیاتی در مورد توپک‌ها

توپک در واقع کره یا استوانه‌ای از پلاستیک فشرده است که معمولاً قطر آن مساوی با قطر خط لوله انتقال جریان می‌باشد. اما برخی توپک‌ها قابلیت تغییر قطر خود را برای انطباق با قطر خط لوله دارند. توپک‌ها معمولاً در ابتدای خط لوله و در سر چاه‌ها وارد خط لوله می‌شوند و با فشار گاز در طول خط لوله به حرکت در می‌آیند و سپس در انتهای خط لوله جریان دو فازی از آن خارج می‌شوند. از این روش معمولاً در خطوط لوله واقع در خشکی استفاده می‌شود.



شکل ۱۳.۵: نمونه‌ای از توپک

- موارد انجام توپک رانی
- دلائل مختلفی برای استفاده از عملیات توپک رانی وجود دارد . برخی از این موارد در ذیل ذکر شده است.
- زدودن مایعات تجمع یافته در خط لوله انتقال جریان‌های دو فازی درحین عملیات و یا هنگام انجام آزمایش‌های هیدرواستاتیکی خط لوله
- پاک کردن رسوبات مختلف درون خط لوله اعم از جامدات ته نشین شده در دیواره لوله
- آغشته نمودن جداره داخلی خط لوله به پوشش‌های محافظ به منظور جلوگیری از خوردگی و فرسایش لوله
- بررسی میزان خوردگی و ضخامت خط لوله برای تنظیم میزان فشار خط لوله و یا تعمیرآن .



شکل ۱۴.۵: نمونه‌ای از توپک

- روش‌های توپک رانی در خطوط لوله

توپک رانی به روش‌های متعددی انجام می‌گیرد که در ذیل بدان‌ها اشاره شده است.

- توپک رانی حین عملیات، در این حالت عملیات توپک رانی در حین عملیات انتقال گاز انجام می‌شود.
- توپک رانی با توقف عملیات، در این حالت ابتدا عملیات انتقال گاز متوقف شده و سپس توپک با فشار گاز تزریقی به خط در طول خط لوله حرکت می‌کند.



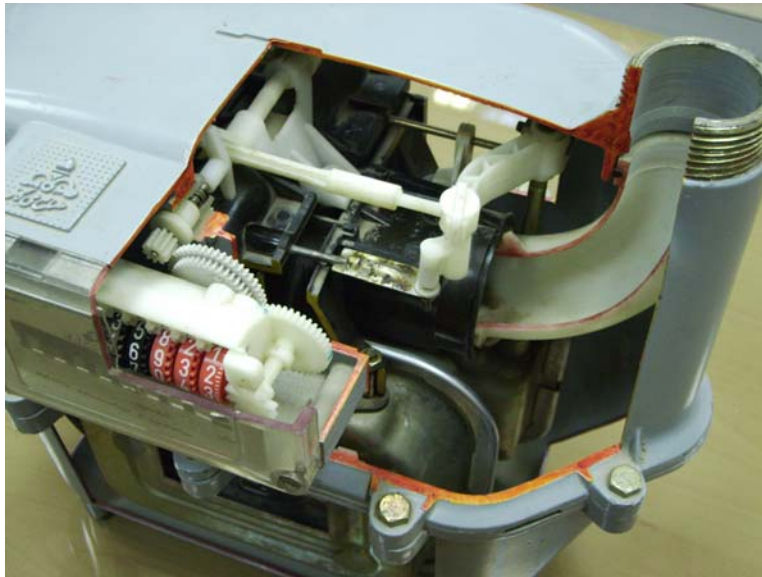
شکل ۱۵.۵: نمونه‌ای از توپک

## ۱۴. کنتورهای متداول در صنایع گاز

در ذیل به معرفی چند نمونه از پرکاربردترین کنتورها می‌پردازیم.

- کنتورهای دیافراگمی

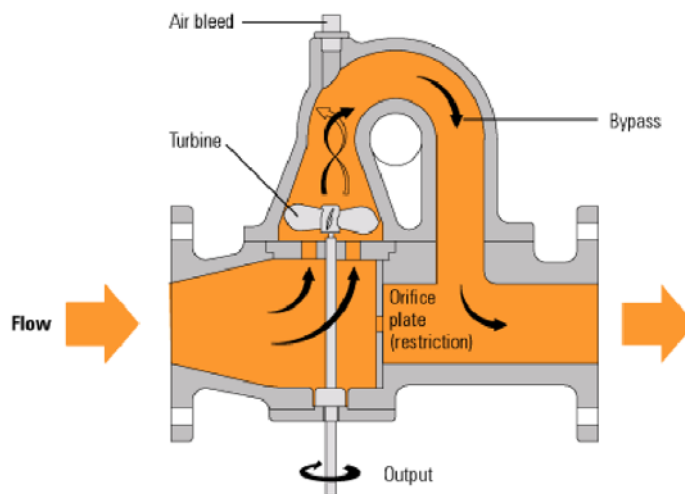
در این نوع کنتورها از نوع جابجایی مثبت می‌باشند که با توجه به پر و خالی شدن متناوب مخزن‌های مربوطه و حرکت دیافراگم مورد نظر حجم مصرفی گاز اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۱۶.۵: کنتورهای دیافراگمی

- کنتورهای توربینی

در این نوع با توجه به سرعت چرخش پره توربین دبی اندازه‌گیری می‌شود.

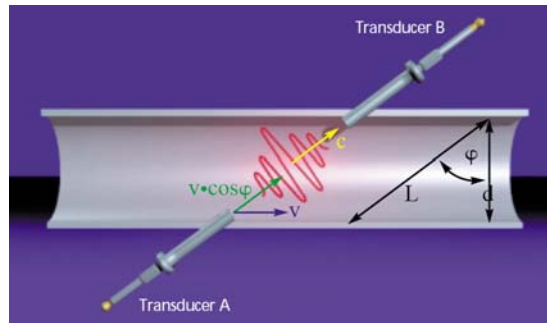


شکل ۱۷.۵: کنتورهای توربینی



• کتورهای آلتراسونیک

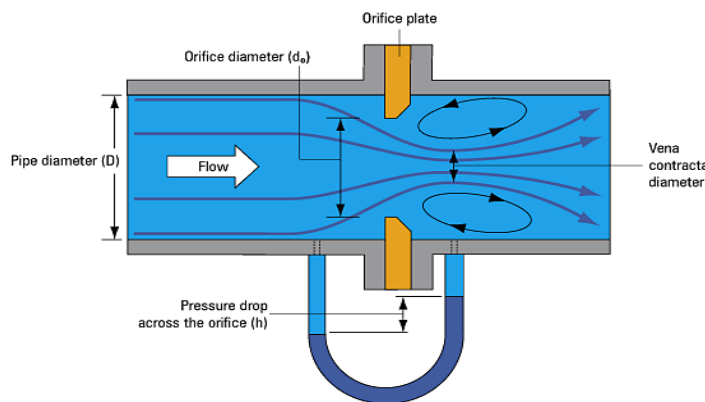
در این وسیله سرعت جریان با اندازه‌گیری اختلاف زمانی بین دو موج مافوق صوت که یکی در جهت جریان و دیگری در خلاف جهت جریان حرکت می‌کنند، بدست می‌آید.



شکل ۱۸.۵: کتورهای آلتراسونیک

• کتورهای روزنه‌ای

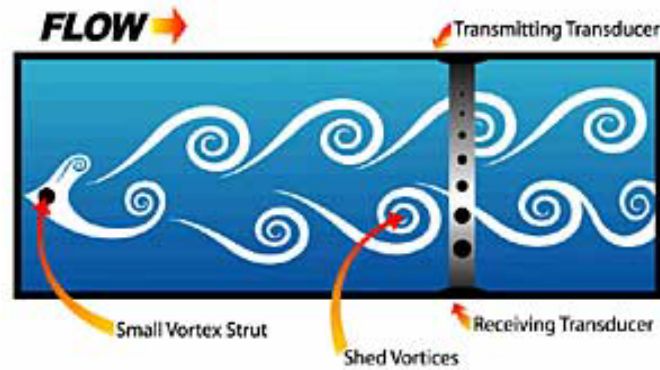
اندازه‌گیری دبی با اریفیس، پرکاربردترین وسیله در صنایع گاز است. با اندازه‌گیری افت فشار ایجاد شده در جریان در هنگام عبور از روزنه، دبی گاز بدست می‌آید.



شکل ۱۹.۵: کتورهای روزنه‌ای

• کتورهای ورتکس شدید

در این نوع کتورها با اندازه‌گیری فرکانس گردابه‌های جدا شده از یک مانع مورد نظر در مسیر جریان دبی اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۲۰.۵: کنتورهای ورتکس شدینگ

## ۴.۵ محتوای CD تهیه شده

این CD در راستای معرفی فعالیت‌های این دفتر تهیه شده است که صفحه اول آن در شکل ۲۱.۵ نشان داده شده است و دارای قسمت‌های زیر می‌باشد:



شکل ۲۱.۵: صفحه اول CD تهیه شده

## ۱۵. معرفی دفتر پژوهش شرکت گاز

در این قسمت به تشریح نحوه ایجاد دفتر پژوهش و اهداف تعیین شده برای فعالیت‌های دفتر پژوهش پرداخته شده است. شکل این صفحه از CD در شکل ۲۲.۵ نشان داده شده است. در این صفحه با کلیک دکمه ادامه به بخش‌های بعدی معرفی دفتر می‌توانید مراجعه کنید و با کلیک دکمه بازگشت می‌توانید به صفحه اول CD بازگردید.

## ۱۶. معرفی کادر پرسنلی دفتر پژوهش

در این قسمت به معرفی کادر پرسنلی دفتر پژوهش پرداخته شده‌است. برای مشاهده اطلاعات مربوط به هر فرد کافی است روی عکس آن فرد کلیک کنید. شکل این صفحه از CD در شکل ۲۳.۵ نشان داده شده‌است. در این صفحه با کلیک دکمه بازگشت می‌توانید به صفحه اول CD بازگردید.

## معرفی دفتر پژوهش شرکت گاز



اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۴ تفاهم‌نامه‌ای مابین شرکت گاز استان خوزستان و دانشگاه شهید چمران اهواز به امضا رسید که در آن طرفین به توافق رسیدند که همکاری‌های پژوهشی و آموزشی مابین دانشگاه و شرکت به صورت مستمر برقرار شود. در ماده ۳ این تفاهم‌نامه ایجاد دفتر پژوهشی شرکت گاز در دانشگاه مورد تاکید قرار گرفته‌است. در راستای ماده ۳ این تفاهم‌نامه قراردادی در آبان‌ماه ۱۳۸۴ مابین دانشگاه و شرکت گاز استان به امضا رسید که توسط آن تجهیز و راه‌اندازی دفتر پژوهشی موردنظر به صورت رسمی آغاز گردید. دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان واقع در دانشکده مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز در تاریخ ۱۳۸۵/۴/۱ فعالیت خود را آغاز نمود.

بازگشت

ادامه

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵

شکل ۲۲.۵: صفحه معرفی دفتر پژوهش شرکت گاز



## معرفی کادر پرسنلی دفتر پژوهش







بازگشت

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵

شکل ۲۳.۵: صفحه معرفی کادر پرسنلی دفتر پژوهش

### ۱۷. طرح‌های تحقیقاتی و گزارشات

در این قسمت گزارشات تهیه شده توسط دفتر و فرم‌های پروپوزال و پروژه‌های تحقیقاتی شرکت گاز ارائه شده‌است. برای مشاهده اطلاعات مربوط به هر قسمت کافی است روی متن آن موضوع کلیک کنید. شکل این صفحه از CD در شکل ۲۴.۵ نشان داده شده‌است. در این صفحه با کلیک دکمه بازگشت می‌توانید به صفحه اول CD بازگردید.



## طرح‌های تحقیقاتی و گزارشات

گزارشات دفتر پژوهشی

پروژه‌های تحقیقاتی شرکت گاز استان خوزستان

فرم‌های پروپوزال طرح‌های تحقیقاتی

فرم‌های پروپوزال پروژه‌های کارشناسی ارشد و دکترا

بازگشت

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵

شکل ۲۴.۵: صفحه طرح‌های تحقیقاتی و گزارشات

## ۱۸. سمینارهای هفته پژوهش

در این قسمت سمینارهای ارائه شده در هفته پژوهش، ارائه شده است. برای مشاهده اطلاعات مربوط به هر قسمت کافی است روی شکل آن موضوع کلیک کنید. شکل این صفحه از CD در شکل ۲۵.۵ نشان داده شده است. در این صفحه با کلیک دکمه بازگشت می‌توانید به صفحه اول CD بازگردید.

## ۱۹. پوستره‌های هفته پژوهش

در این قسمت پوستره‌های تهیه شده در هفته پژوهش، ارائه شده است. برای مشاهده هر پوستر کافی است روی شکل آن موضوع کلیک کنید. شکل این صفحه از CD در شکل ۲۶.۵ نشان داده شده است. در این صفحه با کلیک دکمه بازگشت می‌توانید به صفحه اول CD بازگردید.

**سمینارهای هفته پژوهش**

دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان

مروزی بر روش‌های عددی در زمینه مدل سازی حفاظت کاتدی

مهندس امیر جانگورانی  
کارشناس ارشد مهندسی مکانیک  
دانشگاه شهید چمران اهواز

دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان

جهت گیری مراکز تحقیقاتی گاز در دنیا، کشور و استان خوزستان

مترقی بهایی آزاد  
هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک  
دانشگاه شهید چمران اهواز

دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان

قابلیت‌های نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جریان گاز درون خطوط لوله

ارنه دهقان  
مهندس سید سعید زاهدی اوستایی  
کارشناس ارشد فرآیند و انتقال گاز  
دانشگاه صنعت نفت

شرکت ملی گاز ایران  
پروژه دیسپینگ ملی

بسم الله الرحمن الرحیم  
اندازه گیری جریان گاز

شرکت ملی گاز ایران  
شرکت گاز استان خوزستان  
آزاده

**بازگشت**

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵

شکل ۲۵.۵: صفحه سمینارهای هفته پژوهش



شکل ۲۶.۵: صفحه سمینارهای هفته پژوهش

## ۲۰. فیلم هفته پژوهش

در این قسمت فیلم تهیه شده در هفته پژوهش، ارائه شده است. برای مشاهده فیلم کافی است روی شکل آن کلیک کنید. این فیلم نشان‌دهنده مراحل مختلف تولید نفت و گاز است. شکل این صفحه از CD در شکل ۲۷.۵ نشان داده شده است. در این صفحه با کلیک دکمه بازگشت می‌توانید به صفحه اول CD بازگردید.



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵

شکل ۲۷.۵: صفحه فیلم هفته پژوهش

## ۵.۵ بازدید از CGS و TBS غرب

این بازدید در تاریخ ۲۸ آذر ماه سال ۱۳۸۵ با هدف آشنایی دانشجویان علاقه‌مند با واحدهای CGS و TBS به مناسبت هفته پژوهش انجام شده‌است. محل بازدید CGS و TBS غرب اهواز بود که با هماهنگی شرکت گاز اهواز انجام شد. با توجه به شباهت CGS و TBS غرب با شرق و گزارش ارائه شده از CGS و TBS شرق در مهر ماه از تکرار مطالب خودداری می‌شود.

## ۶.۵ سمینارهای ارائه شده

به منظور آشنایی هر چه بیشتر علاقه‌مندان با فعالیت‌های دفتر پژوهش، سه سمینار مرتبط با فعالیت‌های پژوهشی دفتر در هفته پژوهش تحت عناوین زیر تهیه و ارائه گردید.

۲۱. مروری بر روش‌های عددی مدل سازی حفاظت کاتدیک

۲۲. جهت‌گیری مراکز تحقیقاتی گاز در دنیا، کشور و استان خوزستان

۲۳. قابلیت‌های نرم‌افزارهای شبیه سازی جریان گاز درون خطوط لوله

## ۶ سمینارهای ارائه شده

به منظور آشنایی هر چه بیشتر علاقه‌مندان با فعالیتهای دفتر پژوهش، سه سمینار مرتبط با فعالیتهای پژوهشی دفتر در هفته پژوهش تحت عناوین زیر تهیه و ارائه گردید.

۲۴. مروری بر روش‌های عددی مدل سازی حفاظت کاتدیک

۲۵. جهت‌گیری مراکز تحقیقاتی گاز در دنیا، کشور و استان خوزستان

۲۶. قابلیت‌های نرم‌افزارهای شبیه سازی جریان گاز درون خطوط لوله

سمیناری نیز مربوط به پروژه کارشناسی ارشد رشته فراوری و انتقال گاز دانشگاه صنعت نفت توسط سید محمد فاطمی اردستانی نیز در دی ماه ۱۳۸۵ ارائه شده است.

### ۱.۶ مروری بر روش‌های عددی مدل سازی حفاظت کاتدیک

به منظور آشنایی اساتید و دانشجویان با روش‌های جدید اعمال و طراحی حفاظت کاتدیک، با توجه به فعالیتهای اخیر دفتر پژوهش در این زمینه، سمیناری تحت عنوان فوق ارائه گردید. اعم مباحث این سمینار شامل بر روش‌های مدل‌سازی، تعریف معادلات حاکم، تعیین شرایط مرزی و نیز فرضیات لازم برای حل مسئله می‌باشد. در انتها چندین نمونه از مدل سازی‌های انجام گرفته در این زمینه، مورد بررسی قرار گرفته است. اسلایدهای ارائه شده در این سمینار در پیوست (پ) آورده شده است.

### ۲.۶ جهت‌گیری مراکز تحقیقاتی گاز در دنیا، کشور و استان خوزستان

در این سمینار برنامه‌های تحقیقاتی مراکز پیشرو در زمینه تحقیقاتی صنعت گاز مورد بحث قرار گرفته است. این برنامه‌ها مشتمل بر یک برنامه پنج‌ساله مربوط به سال‌های ۲۰۰۵ الی ۲۰۰۹ میلادی می‌باشد که در آن کلیات برنامه‌ها در تمامی زمینه‌ها از تولید تا مصرف گاز طبیعی ارائه شده است. بدلیل اینکه دفتر پژوهش گاز بیشتر در زمینه‌های توزیع گاز فعالیت می‌نماید، در این سمینار



برنامه‌های تحقیقاتی آینده در زمینه‌های توزیع گاز مورد بحث قرار گرفته‌است. پس از آن وضعیت مراکز تحقیقاتی گاز در کشور و در استان خوزستان در زمینه‌های پالایش، انتقال و توزیع مورد بحث قرار گرفته‌است. اسلایدهای ارائه شده در این سمینار در پیوست (پ) آورده شده‌است.

### ۳.۶ قابلیت‌های نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جریان گاز درون خطوط لوله

به منظور آشنایی اساتید و دانشجویان با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی خطوط لوله انتقال و توزیع گاز، با توجه به فعالیت‌های اخیر دفتر پژوهش در این زمینه، سمیناری تحت عنوان فوق ارائه گردید. اعم مباحث این سمینار شامل بر تعریف مدل‌سازی و شبیه‌سازی، مزیت‌های شبیه‌سازی، معرفی انواع نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مورد استفاده در مراحل مختلف تولید نفت و گاز، معرفی دو نرم‌افزار توزیع گاز با نام‌های pipephase و piping systems fluid flow و معرفی روش حل و نقاط قوت و ضعف آن‌ها می‌باشد. اسلایدهای ارائه شده در این سمینار در پیوست (پ) آورده شده‌است.

### ۴.۶ بررسی عوامل موثر بر افزایش ظرفیت خطوط لوله انتقال گاز

بررسی عوامل موثر بر افزایش ظرفیت خطوط لوله انتقال گاز به عنوان موضوع پروژه کارشناسی ارشد مهندس سید محمد فاطمی اردستانی دانشجوی رشته فراوری و انتقال گاز دانشگاه صنعت نفت اهواز، مطرح گردیده است. پس از تحقیقات لازم در زمینه عوامل موثر بر افزایش ظرفیت خطوط لوله انتقال گاز، سمیناری برای معرفی این پارامترها و هدف پروژه و فعالیت‌هایی که در این پروژه انجام خواهد شد، در تاریخ ۸۵/۱۰/۲۷ در دانشگاه صنعت نفت اهواز ارائه گردید. اسلایدها و مباحث ارائه شده در این سمینار در پیوست (ج) ارائه شده‌است. مباحث و موضوعات مطرح شده در سمینار عبارتند از:

۲۷. گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (EIA) درباره وضعیت مصرف انرژی و گاز در جهان و ایران

در این بخش به بررسی گزارش آژانس بین‌المللی انرژی درباره مصرف کلی انرژی در جهان، مصرف انرژی در جهان به تفکیک نوع منبع انرژی مورد استفاده، مصرف انرژی به تفکیک نوع مصرف‌کننده‌گان از سال ۱۹۷۵ تا کنون و پیش‌بینی مصرف تا سال ۲۰۳۰، پرداخته شده است. همچنین جایگاه ایران از لحاظ میزان ذخایر گاز در دنیا، ارائه شده‌است.

۲۸. معرفی روش‌های انتقال گاز

در این بخش به معرفی روش‌های انتقال گاز در دنیا پرداخته شده‌است که عبارتند از:

- انتقال گاز با خطوط لوله فولادی (PNG)
- انتقال گاز با روش گاز طبیعی مایع شده (LNG)
- انتقال گاز با روش هیدرات گازی (GTS)
- انتقال گاز با روش گاز طبیعی فشرده (CNG)
- انتقال گاز با تبدیل آن به برق و سپس انتقال برق (GTW)
- انتقال گاز با تبدیل آن به محصول‌های انرژی‌بر مانند فولاد (GTC)

۲۹. معرفی معادلات و فرمول‌های مورد استفاده در خطوط لوله انتقال گاز و ایستگاه‌های تقویت فشار

در این بخش به معرفی فرمول‌ها و معادلات مورد استفاده برای محاسبه دبی عبوری و افت فشار در خطوط لوله انتقال گاز و همچنین معادلات مربوط به محاسبه توان کمپرسور، پرداخته شده‌است. این معادلات در کتاب‌های مربوط به انتقال گاز در دسترس هستند.

۳۰. معرفی عوامل موثر بر افزایش دبی جریان گاز در خطوط لوله انتقال گاز

در این بخش به معرفی عوامل موثر بر افزایش دبی جریان گاز در خطوط لوله انتقال گاز، پرداخته شده‌است که عبارتند از:

- پارامترهای مربوط به جنس خط لوله که عبارتند از:
  - قطر خط لوله
  - ضخامت دیواره خط لوله
  - زبری خط لوله
  - ضریب اصطکاک خط لوله
- پارامترهای مربوط به نوع گاز درون خط لوله که عبارتند از:
  - جرم حجمی گاز
  - ضریب تراکم گاز

- گراندروی گاز
- پارامترهای عملیاتی خط لوله که عبارتند از:
  - تغییر ارتفاع خط لوله
  - دمای متوسط گاز
  - فشار عملیاتی گاز
- پارامترهای مربوط به انتقال حرارت خط لوله که عبارتند از:
  - عمق دفن خط لوله
  - ضریب انتقال حرارت خاک
  - دمای خاک
- پارامترهای مربوط به ایستگاه‌های تقویت فشار که عبارتند از:
  - توان کمپرسور
  - نسبت تراکم گاز در کمپرسور
  - بازده آدیاباتیک کمپرسور
  - دمای هوای محیط
  - مقدار سوخت مصرفی توسط توربین کمپرسور
  - توان نمایی آیزنتروپیک

#### ۱.۴.۶ بررسی انتخاب نرم‌افزار مناسب برای بررسی عوامل موثر بر افزایش دبی گاز

##### درون خطوط لوله

در این بخش به بررسی مقایسه نرم‌افزارها از لحاظ دارا بودن توانایی لازم برای بررسی اثر پارامترهای فوق بر دبی خط لوله پرداخته می‌شود. این نرم‌افزارها عبارتند از:

- نرم‌افزار HYSYS
- نرم‌افزار ASPEN
- نرم‌افزار PIPEPHASE
- برنامه‌نویسی با نرم‌افزار MATLAB

## ۲.۴.۶ معرفی برنامه نوشته شده توسط نرم‌افزار MATLAB برای رسم نمودار عملیاتی

### کمپرسورها

در این بخش به معرفی برنامه نوشته شده به منظور رسم نمودار عملیاتی کمپرسور، پرداخته می‌شود. محور افقی نمودار دبی عبوری از کمپرسور و محور عمودی هد مورد نیاز کمپرسور است. این نمودار بر حسب دوره‌های مختلف و بازده‌های مختلف آن رسم شده است. این نمودار مبنایی برای بهینه‌سازی مصرف سوخت در ایستگاه‌های تقویت فشار است.

## ۳.۴.۶ معرفی کارهایی که در پروژه انجام خواهد شد

در این بخش به معرفی کارهایی که در این پروژه انجام خواهد شد، پرداخته شده است که عبارتند از:

- بررسی عوامل موثر بر افزایش ظرفیت خطوط لوله انتقال گاز توسط نرم‌افزارهای معرفی شده
- بررسی اثر تزریق هیدروکربن‌های سنگین به خط لوله بر دبی عبوری از آن
- بهینه‌سازی مصرف سوخت در ایستگاه‌های تقویت فشار گاز

## ۷ فعالیت‌های انجام گرفته در راستای اطلاع‌رسانی و استانداردسازی تدوین گزارشات

علاوه بر فعالیت‌های پژوهشی انجام گرفته توسط دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان در سال گذشته، فعالیت‌های دیگری نیز در راستای توسعه خدمات و نیز معرفی و ارتباط هر چه بیشتر دفتر پژوهش با سایر محققین و متخصصین زمینه‌های گاز طبیعی در سطح استان و کشور، انجام گرفت که از آن جمله میتوان به تاسیس سایت دفتر پژوهش اشاره نمود. این فعالیت زمینه ساز حرکتی خواهد بود که بتوان ارتباط تحقیقاتی دفتر پژوهش گاز را با سایر مراکز تحقیقاتی در سطح جهان برقرار نماید.

از دیگر فعالیت‌های زیربنایی دفتر می‌توان به تهیه و تدوین نحوه‌ی صحیح گزارش نویسی اشاره نمود که نقش به‌سزایی در نگارش استاندارد گزارش و نیز هم‌سانی فرمت آنها با یکدیگر ایفا می‌نماید.

در این فصل به شرح دو بخش فوق پرداخته می‌شود.

### ۱.۷ طراحی وب‌سایت دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان

به منظور طراحی سایت دفتر پژوهش، پس از گذراندن یک دوره فشرده آموزش نرم‌افزار پورتال توسط آقای مهندس مازیار چنگیزیان، برای طراحی و استخراج پیکره کلی سایت دفتر پژوهش اقدام گردید. شایان ذکر است که بخش‌های در نظر گرفته‌شده، با توجه به ماهیت سایت و نوع کاربری آن به تدریج تکمیل گشته و در حال حاضر با توجه به مدت اندک از راه اندازی سایت چندین بخش آن فعلاً غیر فعال می‌باشد. در ذیل بخش‌های در نظر گرفته‌شده در طراحی سایت برای ارائه هر چه بهتر خدمات و اطلاع‌رسانی بیشتر در زمینه‌های مرتبط با صنایع گاز، به اختصار معرفی می‌شوند.

## ۱.۱.۷ صفحه اصلی

صفحه اصلی در واقع همان Home Page سایت بوده که به محض ورود کاربر به سایت، این صفحه بالا می‌آید. در صفحه اصلی سایت دفتر آورده شده است.



شکل ۱.۷: صفحه اصلی سایت دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان

بخش‌های در نظر گرفته شده برای این صفحه شامل بر موارد زیر است.

## ۳.۱. اخبار

در این بخش تازه‌ترین اخبار مرتبط با یافته‌های علمی جدید در صنایع گاز، سیاست‌ها و فعالیت‌های جدید مربوط به صنایع گاز، خبرهای مربوط به شرکت گاز استان خوزستان و نیز دفتر پژوهش شرکت گاز مندرج خواهد شد.

## ۳.۲. جستجو در سایت

برای تسهیل در فرآیند دسترسی کاربران به اطلاعات مورد نیاز، این بخش در صفحه اصلی در نظر گرفته شده است.

## ۳.۳. جستجو در Google

با توجه با کاربرد وسیع موتور جستجوگر Google و امکان استفاده همزمان آن در هر لحظه، این بخش نیز در صفحه اصلی گنجانده شده است.

### ۲.۱.۷ صفحه معرفی

این بخش جزء زیر بخش‌های صفحه اصلی بوده و خود دارای زیر بخش‌هایی تحت عناوین ذیل است که در آنها کلیاتی در مورد دفتر پژوهش، زمینه‌فعالیت‌ها و نیز پرسنل دفتر پژوهش ذکر شده است.

- تاریخچه

کلیاتی در مورد زمان شروع به کار و معرفی دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان در این بخش ذکر شده است.

- شرح خدمات

مختصری از شرح خدمات و وظایف و اهداف تاسیس دفتر در این بخش گردآوری شده است.

- پرسنل

به منظور معرفی و امکان تماس مستقیم با پرسنل دفتر این صفحه طراحی شده است.

### ۳.۱.۷ بخش پروژه‌های تحقیقاتی

این بخش به موضوعات و مباحث مطرح شده در باب پژوهش و تحقیقات تخصیص یافته و دارای چند زیر بخش به قرار زیر است.

#### ۳۴. طرح‌های پژوهشی تعریف شده

در این بخش لیستی از پروژه‌های تحقیقاتی مطرح شده از طرف شرکت گاز همراه با فرم ارائه پروپوزال در اختیار علاقه‌مندان قرار می‌گیرد.

#### ۳۵. پروژه‌های انجام شده

در این بخش لیستی از پروژه‌های که با تصویب شورای پژوهش شرکت گاز انجام گرفته و به اتمام رسیده‌اند در اختیار علاقه‌مندان قرار می‌گیرد.

#### ۳۶. پروژه‌های در دست اجرا

در این بخش لیستی از پروژه‌های که با تصویب شورای پژوهش شرکت گاز در حال اجرا می‌باشند در اختیار علاقه‌مندان قرار می‌گیرد.

#### ۳۷. وضعیت کلی پروژه‌ها

در این بخش وضعیت کلی پروژه‌ها اعم از زمان شروع، زمان خاتمه، مجری و دیگر اطلاعات موجود در باب پروژه‌ها، گنجانیده شده است.

#### ۴.۱.۷ بخش سایت‌های مرتبط

هدف از احداث این بخش گردآوری یک مجموعه کامل از وب سایت‌های شرکت‌ها و موسسات پژوهشی است که در زمینه صنایع گازی فعالیت داشته و بدین طریق کاربران سایت امکان دسترسی مستقیم به این سایت‌ها را پیدا می‌کنند.

#### ۵.۱.۷ بخش آرشیو

این بخش مشتمل بر موارد زیر است و در ادامه به تشریح هر یک از بخش‌های ذیل می‌پردازیم.

۳۸. دانلود

۳۹. کتب موجود در دفتر پژوهش شرکت گاز

۴۰. نرم افزارهای موجود در دفتر پژوهش شرکت گاز

#### دانلود

در این بخش یک سری اطلاعات جهت دانلود در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. اطلاعاتی که در این بخش قابلیت دانلود دارد شامل بر موارد زیر می‌باشد.

- گزارشات ماهیانه دفتر پژوهش

به منظور آگاهی علاقه‌مندان به زمینه‌های کاری دفتر پژوهش، چکیده‌ای از گزارشات ماهیانه دفتر پژوهش همراه با فهرست مطالب این گزارشات در بخش فوق بارگذاری شده است و کاربر با کلیک بر روی هر کدام می‌تواند به راحتی مورد دلخواه خود را دانلود نماید.

- نرم افزارها

در این بخش یک سری از نرم‌افزارها که توسط پرسنل دفتر گردآوری و دانلود شده است در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.

- EBOOK

این بخش نیز به منظور دانلود Ebook های گردآوری شده توسط پرسنل دفتر در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.



### کتاب موجود در دفتر پژوهش

در این بخش لیستی از کتاب موجود در دفتر گاز به همراه فهرست مطالب آنها در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.

### نرم‌افزارهای موجود در دفتر پژوهش

در این بخش لیستی از نرم‌افزارهای موجود در دفتر گاز به همراه فهرست مطالب آنها در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.

### ۶.۱.۷ بخش گالری

این بخش با هدف ارائه عکس‌ها و فیلم‌های بازدیدهای انجام گرفته توسط دفتر پژوهش شرکت گاز و نیز ارائه عکس‌ها و فیلم‌های آموزشی در زمینه‌های مرتبط با صنایع گاز در نظر گرفته شده است.

### ۷.۱.۷ بخش نقشه سایت

یکی از ابزارهای کلیدی برای جستجو در سایت و نیز دسترسی سریع و راحت به مورد دلخواه استفاده از نقشه راهنمای سایت می‌باشد که در آن بخش‌های مختلف سایت با نمودار درختی به یکدیگر مرتبط شده و به کاربر جهت یافتن بخش مطلوب کمک شایانی می‌نمایند.

### ۸.۱.۷ بخش ارتباط با ما

این بخش به منظور ارتباط مستقیم کاربران با دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان در نظر گرفته شده است.

### ۲.۷ نحوه‌ی نگارش گزارش

به منظور تدوین گزارشات ارسالی از دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان در ابتدا لازم است که فرمت این گزارشات تهیه شود تا کلیه گزارشات ارسالی با یک فرمت استاندارد و یکسان قابل ارائه باشد. در این بخش چگونگی تدوین گزارشات ارسالی تشریح خواهد شد. در نهایت یک فایل الگو برای تدوین گزارشات تهیه می‌شود که در آن کلیه فونت‌ها، پاراگراف‌بندی‌ها و فصل‌بندی‌های گزارش توضیح داده شده و توسط آن دسترسی سریع و آسان به شکل‌ها، جداول و منابع موجود در گزارش و اعمال تغییرات در آنها با توجه به امکانات نرم افزار Word میسر می‌باشد.

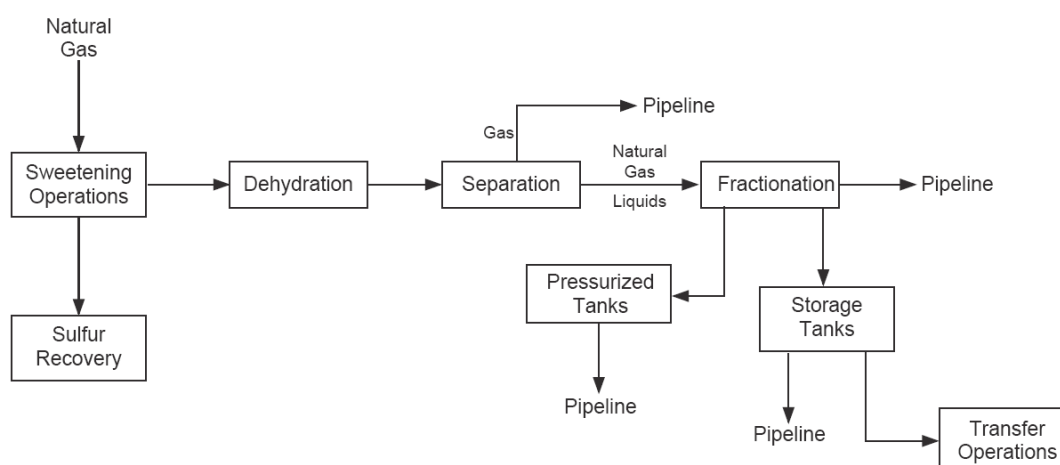




هرگاه در متن نیاز به زیر نویس کردن مطلبی باشد (مثلا معادل لاتین کلمه یا اسم شخص) کفایت که به منوی Insert\Reference\footnote مراجعه کرده و روی Insert کلیک نمایید.<sup>۱۳۴</sup> در نهایت برای تایپ پاورقی لاتین باید شماره انتهای صفحه را چپ‌چین نمود.

## ۲.۲.۷ چگونگی جایگذاری شکل‌ها و جداول

برای جایگذاری شکل‌ها از یک جدول تک‌ستون دو ردیفه استفاده می‌شود. نیازی به تعریف این جدول نیست. بلکه کافی است که جدول موجود و شکل درون آن را که در اینجا ارائه شده است، در محل مربوطه کپی کرده و تنها شکل و زیرنویس آنرا عوض کرد. پس از آن با استفاده از کلید F9 می‌توان شماره آنرا update نمود. برای ارجاع به یک شکل نیز کافی است که از منوی Insert\Reference\Cross reference و انتخاب Figure در بخش Reference type و Only label and number در بخش Insert reference to عنوان شکل مورد نظر را کلیک نمود. در زیر این موارد برای شکل ۱۵۲.۲ انجام شده است.



شکل ۲.۷: فرایندهای متداول گاز طبیعی در یک پالایشگاه گاز

برای جایگذاری جداول از یک جدول تک‌ستون دو ردیفه استفاده می‌شود. نیازی به تعریف این جدول نیست. بلکه کافی است که جدول موجود که در ذیل ارائه شده است، در محل مربوطه کپی کرده و تنها جدول داخلی و زیرنویس آنرا عوض کرد. پس از اینکه تعداد ستون وردیف مورد نیاز تعریف شد از Table Style استفاده می‌شود. پس از آن با استفاده از کلید F9 می‌توانید شماره آنرا update نمایید. برای ارجاع به یک جدول نیز کفایت که از منوی Insert\Reference\Cross

reference و انتخاب Table در بخش Reference type و Only label and number در بخش Insert reference to عنوان جدول مورد نظر را کلیک کرد. در زیر این موارد برای جدول ۱.۲ انجام شده‌است.

جدول ۱.۷: مثالی از جدول گذاری در متن

مثالی از جدول	مثالی از جدول	مثالی از جدول
مثالی از جدول	مثالی از جدول	مثالی از جدول
مثالی از جدول	مثالی از جدول	مثالی از جدول

باید به خاطر داشت قبل و بعد از شکل‌ها و جداول می‌بایست یک خط، فاصله گذاشت.

### ۳.۲.۷ چگونگی جایگذاری معادلات

برای جایگذاری معادلات در متن از جدول زیر کپی تهیه کرده و در مکان دلخواه بارگذاری می‌شود. باید به یاد داشت پس از تایپ در محیط Math Type از منوی Size\Define اندازه حالت Full را برابر با ۱۵ قرار داده شود.

$$f(x) = \int x^2 dx \quad (۱.۷)$$

### ۴.۲.۷ چگونگی ارجاع به مراجع و تهیه لیست مراجع

به‌طور کلی مراجعی که امکان ارجاع به آنها در متن وجود دارد، احتمالاً یکی از موارد زیر خواهد بود:

۴۳. کتاب لاتین

۴۴. کتاب فارسی

۴۵. نشریه لاتین

۴۶. نشریه فارسی

۴۷. مقاله لاتین

۴۸. مقاله فارسی

۴۹. آدرس اینترنتی

شایان ذکر است که پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها همانند کتاب در نظر گرفته خواهند شد. شماره هرکدام از مراجع با توجه به ترتیب استفاده مرجع مربوطه در متن خواهد بود، یعنی اینکه اولین مرجعی که در متن به آن اشاره می‌شود، شماره ۱، بعدی شماره ۲ و به همین ترتیب ادامه خواهد یافت. برای ارجاع در متن کفایت شماره مرجع را در علامت [ ]، که با استفاده از کلیدهای Shift + Z or X فراخوانی می‌شود، قرارداد. برای روشن‌شدن مطلب برای هرکدام از نمونه‌های فوق یک مثال در زیر مطابق با ترتیب ذکر شده ارائه شده است:

[1] A. L. Kohl and R. B. Nielsen, *Gas purification*, 5<sup>th</sup> Edition, Gulf Publication Company, Houston, Texas, 1997.

[۲] بختیار، م، *ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۲*، دفتر برنامه‌ریزی انرژی وزارت نیرو، زمستان ۱۳۸۳.

[3] Florea, R., Hall, K. C. and Cizmas, P.G., Reduced-Order Modeling of Unsteady Viscous Flow in a Compressor Cascade, *AIAA Journal*, Vol.36, pp.1039-1048, 1998.

[۴] اصفهانیان، و.، بهبهانی‌نژاد، م. و کوثری، ف.، حل معادلات ناویراستوکس دوبعدی به روش المان‌های مرزی بدون نیاز به گسسته‌سازی میدان محاسباتی، *نشریه دانشکده فنی*، جلد ۳۳، شماره ۴، ص. ۱۱۴-۱۰۵، اسفند ۱۳۷۸.

[5] W. R. Qualls, Benefits of Integrating NGL Extraction LNG Liquefaction Technology, *proceedings of the AIChE 2005 Spring, National Meeting, 5th Topical Conference on Natural Gas Utilization*, 2005.

[۶] بهبهانی‌نژاد، م.، صالح‌زاده نوبری، ع. و شاهوردی، ح.، یک الگوی رتبه‌کاسته جدید برای محاسبه جریان‌های غیردائم سه‌بعدی براساس مقادیر ویژه غیرصفر و روش المان‌های مرزی، *مجموعه مقالات نهمین کنفرانس دینامیک شماره‌ها*، دانشگاه شیراز، شیراز، اسفند ۱۳۸۳.

[7] [http://seipr.stanford.edu/about/Natural\\_Gas.pdf](http://seipr.stanford.edu/about/Natural_Gas.pdf).

## ۵.۲.۷ نکات نهایی

علاوه بر موارد بالا نکاتی که در ادامه ذکر شده است لازم است هنگام تایپ گزارش مد نظر قرار گیرد.

۵۰. نکته اول

چنانچه در حین تایپ متن به هر دلیلی در منوی Style and Formatting یک Style جدید ظاهر شد، بلافاصله بایست آنرا حذف نمود.

## ۵۱. نکته دوم

برای تایپ مناسب متن حتما بایستی B فونت‌ها روی کامپیوتر مورد نظر نصب شده باشد.

## ۵۲. نکته سوم

در نوشتن افعال چند بخشی دقت شود بخش‌های مختلف بدون فاصله از هم نوشته شوند. به عنوان مثال گرفته است غلط و گرفته است درست می باشد. کلمات چند بخشی نیز از این قاعده پیروی می کنند.

## ۵۳. نکته چهارم

برای کلیه کلماتی که با (ها) جمع بسته می شوند، حتما های جمع جدا شده باشد. البته به استثنای ضمائری مانند آنها و غیره. به عنوان مثال کلاس‌ها، تمرین‌ها، درس‌ها

## ۵۴. نکته پنجم

برای تایپ کلماتی مانند می شوند، می باشد، می گردد و کلیه افعالی که با می شروع می شود حتما بایستی می از فعل مربوط بدون هیچ فاصله‌ای جدا شده باشد. به عنوان مثال کلمه می باشد صحیح است ولی کلمات می باشد و می باشد به صورت غلط تایپ شده اند.

## ۵۵. نکته ششم

برای تایپ کلماتی مانند شده اند، نامه‌ای و غیره، هیچ فاصله‌ای نباید مابین ه و حرف بعدی قرارگیرد. برای مثال شده اند صحیح و شده اند غلط تایپ شده است.

## ۵۶. نکته هفتم

هنگام استفاده از کاما حتما لازم است که کامای مربوطه بدون هیچ فاصله‌ای به کلمه قبلی متصل بوده و با یک فاصله از کلمه بعدی جدا شود. برای مثال استفاده از کاما، صحیح و استفاده از کاما ، غلط می باشد. دیگر علامات نگارشی چون نقطه، علامت سؤال، علامت تعجب و غیره، نیز مشمول این قاعده می شوند.

## ۸ سایر فعالیت‌ها

علاوه بر فعالیت‌هایی که در بخش‌های گذشته چکیده‌ای از آنها ارائه گردید، فعالیت‌های دیگری نیز در زمینه‌های مختلف انجام گرفته‌است که در این بخش مروری بر خلاصه‌ی آنها می‌شود.

### ۱.۸ تهیه سرفصل‌های کتب طرح جامع بیست‌ساله گاز طبیعی کشور

سرفصل‌های سی و پنج جلد کتاب مربوط به طرح جامع بیست‌ساله گاز کشور تهیه شده‌است. تهیه این سرفصل‌ها به صورت جداگانه می‌تواند کمک بسیاری به علاقمندان این مجموعه بنماید زیرا فرد مزبور می‌تواند به راحتی با مراجعه به این سرفصل‌ها، کتاب موردنظر را یافته و به راحتی بخش مربوطه را با صرف کوتاه‌ترین زمان ممکن مورد مطالعه قرار دهد.

### ۲.۸ گزیده‌ای از نشریات و کنفرانس‌ها

یکی از عوامل مهم در رشد و شکوفایی صنایع، آگاهی مدیران و دست‌اندرکاران آن صنایع از آخرین اختراعات و اکتشافات جدید در رابطه با آن صنعت می‌باشد. در این زمینه حضور فعال در سمینارها و همایش‌های مرتبط و همچنین استفاده از نشریات معتبر کمک شایانی به افزایش آگاهی افراد و به روز رسانی اطلاعات آنها می‌کند. با توجه به این مطلب در این فصل سعی بر آن است تا چندین کنفرانس و نشریه تخصصی در زمینه گاز معرفی شود.

### ۱.۲.۸ نشریات تخصصی در زمینه صنایع گاز

پس از جستجو در سایت‌های مختلف و بررسی بیش از ۵۰۰ نشریه، نشریاتی را که در آنها به طور اختصاصی به صنایع گاز پرداخته شده بود برگزیده و در این بخش به آنها اشاره می‌شود.



این نشریه برای اولین بار در سال ۱۹۰۲ توسط انتشارات PennWell به چاپ رسیده است. این نشریه به صورت هفتگی منتشر می‌شود و تاکنون ۴۰ شماره از آن در ۱۰۴ جلد منتشر شده است. این نشریه شامل آخرین اخبار جهانی نفت و گاز، تحلیل وقایع رخ داده در صنایع نفت و گاز، معرفی تکنولوژی مناسب برای طراحی، عملکرد و نگهداری و همچنین ارائه آمارهای مهمی از فعالیت‌های بازارهای جهانی می‌باشد. [۱]

## ۲. Journal of Natural Gas Chemistry

این نشریه از فوریه سال ۱۹۹۲ به صورت فصل‌نامه منتشر شده است. از ژانویه سال ۲۰۰۲ نشریه به طور مشترک توسط موسسه فیزیک شیمی Dalian و موسسه شیمی آلی Chengdu دانشکده علوم چین تألیف می‌شود و توسط انتشارات Science Press of China منتشر می‌شود. تاکنون ۱۵ شماره از آن هر یک در ۴ جلد به چاپ رسیده است.

در این نشریه به موضوعاتی در زمینه شیمی گاز طبیعی، شیمی متان، شیمی هیدروکربن‌های کوچک و منابع انرژی هیدروژن پرداخته شده است. [۲]

## ۳. Oil, Gas & Petrochem Equipment Magazine Online

اولین شماره این مجله در سال ۱۹۵۴ توسط انتشارات PennWell منتشر گردید و تاکنون ۱۱ شماره از آن در ۵۲ جلد منتشر گردیده است. این مجله به معرفی دستاوردهای جدید در زمینه ابزارها، فرآورده‌ها و سیستم‌های صنایع نفت و گاز و همچنین سرویس‌هایی برای حفاری و تولید چاه و پالایش آن می‌پردازد. [۱]

## ۴. Oil & Gas Financial Journal

این نشریه اطلاعات جامعی در مورد سرمایه‌گذاری نفت و گاز و همچنین اطلاعاتی در مورد مناطق محلی و بین‌المللی نفت و گاز در اختیار مدیران صنایع نفتی قرار می‌دهد. تاکنون ۳ جلد از این نشریه در ۱۱ شماره توسط انتشارات PennWell به چاپ رسیده است. [۱]

## ۵. Offshore

این مجله به صورت ماهنامه منتشر می‌شود و در سال ۱۹۵۴ برای اولین بار منتشر شده است. این مجله شامل کلید واژه مجلاتی است که در زمینه نفت و گاز منتشر می‌شوند. [۱]

## ۲.۲.۸ کنفرانس‌ها

در این بخش کنفرانس‌هایی را که تاکنون در زمینه صنایع گاز در سراسر دنیا برگزار شده به همراه موضوعات مورد بحث در این کنفرانس‌ها ارائه می‌شود. متأسفانه اطلاعات کاملی در مورد بسیاری از کنفرانس‌ها یافت نشد.

### ۱. "Industrial Gas Users Association's 2004 NATURAL GAS CONFERENCE"

این کنفرانس در تاریخ ۲۰۰۴/۱۱/۴ تا ۲۰۰۴/۱۱/۵ در هتل Westin Harbour Castle، تورنتو برگزار شده است (متأسفانه هیچگونه اطلاعاتی در مورد جزئیات این کنفرانس یافت نشد). [۳]

### ۲. "Industrial Gas Users Association's 2006 NATURAL GAS CONFERENCE" November 9-10, 2006 Toronto, Ontario

IGUA انجمن مصرف‌کنندگان صنایع گاز استان‌های مانی‌توبا، کبک، انتاریو (کانادا) می‌باشد که سالانه بیش از ۱۴۶ Bcf از تولیدات صنعت گاز کانادا را مصرف می‌کند. در این کنفرانس به بررسی موضوعات زیر پرداخته شده است:

- سیاستگذاری‌های وزارت نفت انتاریو
- نگرشی بر عرضه و تقاضای گاز در آمریکای شمالی
- Outcome of the Natural Gas Electricity Interface Review (NGEIR)
- دیدگاه‌های کارشناسان در مورد قیمت گاز [۴]

### ۳. Annual Conferences on the Natural Gas Industry (European Autumn Gas Conferences)

متأسفانه در مورد جزئیات این کنفرانس‌ها هیچگونه اطلاعاتی یافت نشد [۵]. در ادامه تنها سال برگزاری و مکان آن ذکر می‌شود.

- اسپانیا، بارسلونا سال ۲۰۰۴ (موسسه میزبان: GAS NATURAL)
- جمهوری چک، شهر پراگ سال ۲۰۰۳ (موسسه میزبان: TRANS GAS)
- ایتالیا، شهر فلورانس سال ۲۰۰۲ (موسسه میزبان: ENI)
- هلند، شهر Nordwijk سال ۲۰۰۱ (موسسه میزبان: Gasunie)
- اسکاتلند، شهر ادینبرگ سال ۲۰۰۰ (موسسه میزبان: Scottish Power)
- آلمان، شهر کلن ۱۹۹۹ (موسسه میزبان: Ruhrgas)
- بلژیک، شهر بروکسل ۱۹۹۸ (موسسه میزبان: Distrigas)

- اسپانیا، شهر بارسلونا ۱۹۹۷ (موسسه میزبان: GasNatural)
- دانمارک، شهر کپنهاگ ۱۹۹۶ (موسسه میزبان: DANGAS)
- ایتالیا، شهر ونیز سال ۱۹۹۵ (موسسه میزبان: Snam)
- فرانسه، پاریس ۱۹۹۴ (موسسه میزبان: Gaz de France)
- بلژیک، شهر بروکسل ۱۹۹۳ (موسسه میزبان: Distrigas)
- آلمان، شهر برلین ۱۹۹۲ (موسسه میزبان: Ruhrgas)
- هلند، آمستردام ۱۹۹۱ (موسسه میزبان: Gasunie)
- دانمارک، شهر کپنهاگ ۱۹۹۰ (موسسه میزبان: DANGAS)
- انگلستان، شهر لیدز ۱۹۸۹ (موسسه میزبان: British Gas)
- ایتالیا، شهر میلان ۱۹۸۸ (موسسه میزبان: Snam)
- فرانسه، شهر پاریس ۱۹۸۷ (موسسه میزبان: Gaz de France)
- سوئیس، شهر ژنو ۱۹۸۶

#### ۴. Annual Conferences on the Natural Gas Industry (Mediterranean Gas Conferences)

متأسفانه در مورد جزئیات این کنفرانس‌ها هیچگونه اطلاعاتی یافت نشد. در ادامه تنها سال برگزاری و مکان آن ذکر می‌شود.

- الجزایر، شهر الجزیره ۲۰۰۳ (موسسه میزبان: Sona Trach)
- تونس، شهر تونس ۲۰۰۱ (موسسه میزبان: STEG)
- ایتالیا، شهر پالرمو ۱۹۹۹ (موسسه میزبان: ENI)
- ترکیه، استانبول ۱۹۹۸ (موسسه میزبان: BOTAS)
- ایتالیا، شهر رم ۱۹۹۷ (موسسه میزبان: ENI)
- مراکش، رباط ۱۹۹۶ (موسسه میزبان: BP)
- فرانسه، کن ۱۹۹۵ (موسسه میزبان: Gaz de France)
- ترکیه، استانبول ۱۹۹۴ (موسسه میزبان: BOTAS)
- تونس، شهر تونس ۱۹۹۳ (موسسه میزبان: Ministry of Energy)
- اسپانیا، شهر مادرید ۱۹۹۲

#### ۵. Annual Conferences on the Natural Gas Industry (Central European Gas Conferences)

متأسفانه در مورد جزئیات این کنفرانس‌ها هیچگونه اطلاعاتی یافت نشد. در ادامه تنها سال برگزاری و مکان آن ذکر می‌شود.

- مجارستان، شهر بوداپست ۲۰۰۵ (موسسه میزبان: MOL)
- جمهوری اسلواکی، شهر براتیسلاوا ۲۰۰۴ (موسسه میزبان: SPP)
- کرواسی، شهر زاگرب ۲۰۰۳ (موسسه میزبان: INA)
- فنلاند، شهر هلسینکی ۲۰۰۲ (موسسه میزبان: Gasum Oy)
- لهستان، شهر ورشو ۲۰۰۱ (موسسه میزبان: PGNiG S.A.)
- جمهوری چک، شهر پراگ ۲۰۰۰ (موسسه میزبان: Transgas)
- آلمان، شهر لیبزیک ۱۹۹۹ (موسسه میزبان: VNG)
- رومانی، بخارست ۱۹۹۸ (موسسه میزبان: Romgas)
- روسیه، سنت پترزبورگ ۱۹۹۷ (موسسه میزبان: Lentransgas)
- لهستان، شهر ورشو ۱۹۹۶ (موسسه میزبان: PGNiG S.A.)
- رومانی، بخارست ۱۹۹۵ (موسسه میزبان: MOL)
- جمهوری چک، شهر پراگ ۱۹۹۴

۶. کنفرانس‌های گروه انرژی Ziff [۶]

متأسفانه در مورد جزئیات این کنفرانس‌ها هیچگونه اطلاعاتی یافت نشد. در ادامه تنها سال برگزاری و مکان آن ذکر می‌شود.

- "Operation Excellence Seminar" October 11-12, 2006, Houston
- "North American Gas Strategies Conference" April 24-25, 2006, Houston
- "Gas Storage Conference Re-Shaping the Gas Storage Market for LNG"  
February 27-28, 2006 Houston
- "North American Gas Strategies Conference" October 24-25, 2005  
Calgary
- "Operations Excellence in North America and International" April 6, 2005  
Houston
- "North American Gas Strategies Conference" April 4-5, 2005 Houston
- "Gas Storage 2005" February 2, 2005 Houston
- "North American Gas Strategies Conference Living with Higher Gas  
Prices: The Fine Balance Between Supply & Demand PLUS: Northern  
Gas" November 8-9, 2004 Calgary
- "North American Gas Strategies Conference Turning the page to New  
Supplies: Is LNG the Answer?" April 19-20, 2004 Houston
- "North American Gas Strategies Conference Aligning Supply with  
Markets: At What Price? PLUS: Frontier Gas – Alaska, Mackenzie Delta

- & East Coast Updates on Unconventional Supplies" November 3-4, 2003  
Calgary
- "7<sup>th</sup> Annual – North American Gas Strategies Conference Fact or Fiction: Is Gas Supply Available to Meet Growing Demand?" April 7-8, 2003  
Houston
- "Market Confidence Conference Market Confidence in the Energy Industry: Ramifications & Remedies" January 28, 2003 Houston
- "North American Gas Strategies Conference Visualizing Stability: Gas 2002 & Beyond" October 28-30, 2002 Calgary
- "North American Gas Strategies Conference Surviving Volatility" April 15-16, 2002 Houston
- "Gas Storage Conference Redefining the Fundamentals" February 6-7, 2002 Houston
- "North American Gas Strategies Conference The Future of Western Canada's Gas Supply: Stretched to the Limit?" November 5-7, 2001  
Houston
- "Pacific Northwest Gas Strategies Conference PNW 2001: Current Realities, Future Expectations" October 2, 2001 Portland
- "Gas Storage Conference Source of Stability or Chaos?" June 22, 2001  
Houston
- "North American Gas Strategies Conference Winter's Aftermath: A New Era for Northern & Frontier Gas" April 2-3, 2001 Houston
- "Stretching Frontier"- 5<sup>th</sup> Doha Conference on Natural Gas January 3, 2005, Duha .۷

این کنفرانس در زمینه ارائه پیشرفت‌های صورت گرفته در صنعت گاز قطر در زمینه‌های گاز طبیعی مایع (LNG) و میعانات گازی (GTL) به منظور جذب سرمایه‌گذاری‌های خارجی برگزار شده است. [۷]

۸. یازدهمین همایش بین‌المللی نفت و گاز موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، تحولات اخیر در نفت و گاز جهان: چالش‌ها و فرصت‌ها،

۹. "8<sup>th</sup> Natural Gas Conversion Symposium" May 27-31, 2007 Brazil

در این کنفرانس موضوعات زیر بررسی خواهند شد: [۸]

- تولید گاز سنتزی
- هیدروکربن‌های سنتز شده FT
- تولید و تبدیل متانول و دی‌متیل‌اتر به یکدیگر
- تولید گاز هیدروژن از سلول‌های سوختی
- تولید متناوب سوخت از گاز طبیعی
- Natural Gas to chemical
- تولید و تبدیل پارافین‌های سبک

- Catalytic Combustion
- تبدیل متان به اولفین‌ها و آروماتیک‌ها از طریق هیدروژن‌زدایی
- Technology demonstration and commercial activities
- بررسی جنبه‌های اقتصادی فرآیندهای صنعتی
- تولید انرژی از گاز طبیعی

### ۳.۸ تهیه بانک اطلاعاتی از نمایشگاه‌های صنایع در ارتباط با گاز طبیعی

یکی از اهداف دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان تهیه بانک اطلاعاتی از کنفرانس‌ها و نمایشگاه‌های برگزار شده در زمینه صنایع گاز می‌باشد، در این راستا کنفرانس‌ها و نمایشگاه‌های زیر تاکنون شناخته شده‌اند.

#### ۱.۳.۸ کنفرانس‌های برگزار شده در زمینه صنعت گاز

۱۰. "Natural Gas: what growth, for what markets, as regards high oil prices?", 2&9 February, 2006, Paris and Lyon

به علت اینکه استفاده از گاز به عنوان منبع انرژی در دهه‌های اخیر افزایش یافته است و گاز نقش مهم و حیاتی در آینده دارد شرکت نفت فرانسه (IFP) کنفرانسی را در زمینه رشد صنایع گاز و ایجاد تعادل در بازار انرژی برقرار کرده است. [۹]

۱. "International Gas Summit", 24-25 October 2005, Paris

این کنفرانس که توسط شرکت نفت فرانسه برگزار گردیده، در سه بخش زیر به بررسی صنعت گاز پرداخته است: [۹]

- European Gas Market Key Issues
- رابطه بازارهای گاز و الکتریسیته، قوانین جدید، فرصت‌های جدید
- دورنمای LNG و بازارهای جدید

۲. "World Gas Conference 2006", 5 June 2006, Amsterdam, The Netherlands

بیست و سومین کنفرانس جهانی گاز ۹-۵ ژوئن ۲۰۰۶ در آمستردام، هلند برگزار شده است. این گردهمایی به منظور اعلام نتایج تحقیقات انجام شده در زمینه‌های، چگونگی تأثیرات انرژی بر جامعه و محیط زیست، ارتباط ذخایر، انتقال، توزیع و مصرف گاز با انرژی تولید شده، برگزار شده است. در کنار این کنفرانس نمایشگاه جهانی گاز نیز به منظور نمایش آخرین تکنولوژی‌ها و تولیدات در زمینه انرژی و صنایع مرتبط با آن برگزار شده است. [۱۰]

۳. "Second Annual LNG Award Gala Dinner 2006", 12 October 2006, Rome, Italy

در این کنفرانس به بررسی اهمیت LNG در بازار انرژی جهان پرداخته شده است. [۱۱]

۴. "Seventh Annual World Summit Rome", 11-13 October 2006, Rome, Italy

۵. "15<sup>th</sup> International Conference & Exhibition on Liquefied Natural Gas (LNG15)", 24-27 April 2007, Barcelona

کنفرانس‌های LNG هر سه سال یکبار برگزار می‌شوند. این کنفرانس‌ها فرصتی است برای صنایع گاز طبیعی مایع از سراسر دنیا، کشورهای مصرف کننده و کشورهای تولید کننده، تا همدیگر را ملاقات کرده و به بحث و گفتگو با هم بپردازند. [۱۲]

۶. "International Gas Union 23<sup>rd</sup> World Gas Conference" , 5-9 June 2006, Amsterdam – NL

در این کنفرانس در مورد مسایلی از قبیل ابزارهای اندازه‌گیری و کنترل گاز، خطوط لوله و مواد سازنده آن، بررسی شده است. [۱۳]

### ۲.۳.۸ نمایشگاه‌های برگزار شده در مورد صنعت گاز

در این بخش نمایشگاه‌های برگزار شده در زمینه صنایع گاز با توجه به مراجع [۱۴، ۱۵] ارائه شده است.

۱. "The 4<sup>th</sup> China (Shanghai) International Gas Technology & Equipment Exhibition 2005" , 10-12 March 2005, Shanghai Mart, Shanghai, China

۲. "China Northeast 8<sup>th</sup> International Heading, Air-Conditioning, Gas & Pipe Equipment Exhibition", 29-31 March 2005, Shenyang International Exhibition Center

۳. "The 2<sup>nd</sup> Fujian International Gas Applied Technology & Equipment Exhibition" ۳ March 31- April 2 , 2005, Fuzhou International Exhibition Center

۴. "CIGTE The 6<sup>th</sup> China International Gas Technology and Equipment Exhibition", ۴ April 7-9, 2005, Beijing Agricultural Exhibition Center

۵. "Changsha Gas Technology and Equipment Exhibition 2005", June 17-19, 2005, Hunan Exhibition Center, Changsha, Hubei

۶. "CIGEC China International Gas Exhibition & Conference", November 2 to 4, 2005, Shanghai Exhibition Center

۷. "Algeria 2006 10<sup>th</sup> Africa Oil and Gas Trade & Finance, Conference & Exhibition", 2-5 April 2006, Algiers, Algeria

۸. "TUROGE Turkish Oil & Gas Exhibition and Conference", March 2006, Bilkent Congress Centre, Ankara, Turkey

۹. "GIOGIE Georgian International Oil, Gas, Energy and Infrastructure Conference", March 2006, Sheraton Metachi Palace, Tbilisi, Georgia

۱۰. "KIOGE Kazakhstan International Oil and Gas Exhibition and Conference", 4-7 October 2005, Atakent Exhibition Centre, Almaty, Kazakhstan
۱۱. "SIOGE South African International Oil & Gas Exhibition- alongside 18<sup>th</sup> World Petroleum Congress", 26-29 September 2005, Sandton Convention Center, Johannesburg, South Africa
۱۲. "MIOGE International Exhibition of Equipment for the Oil and Gas Industry", 21-24 June 2005, Expocentr, Moscow, Russia
۱۳. "Russian Petroleum & Gas Congress Russian Petroleum & Gas Congress – alongside MIOGE exhibition", 21-23 June 2005, Expocentr, Moscow, Russia
۱۴. "Caspian Oil & Gas Sport and Exhibition Complex named after Heydar Aliyev" 7-10 June 2005, Sports Palace, Baku, Azerbaijan
۱۵. "OGU Uzbekistan International Oil & Gas Exhibition and Conference", 17-19 May 2005, Uzexpocentre, Tashkent, Uzbekistan
۱۶. "North Caspian Oil & Gas Exhibition North Caspian Regional Oil and Gas [6]Exhibition", 6-8 April 2005, Atyrau, Kazakhstan
۱۷. "Saudi Energy Forum Exhibition", 18-20 November 2006, Dammam, Saudi Arabia
۱۸. "Nigeria Oil & Gas (NOG) 2006 Exhibition", 3-5 April 2006, Abuja, Nigeria
۱۹. "INTERGAS III", 18-20 December 2005, Cairo, Egypt
۲۰. "NOG 2005 – Nigeria Oil & Gas Exhibition", 18-20 April 2005, Abuja, Nigeria
۲۱. "Nigeria Oil & Gas (NOG) 2004 Exhibition", 19-21 April 2004, Abuja, Nigeria

## ۴.۸ مقدمه‌ای بر تشکیل هیدرات‌های گازی در خطوط لوله گاز

هیدرات‌های گازی از قرار گرفتن مولکول‌های هیدروکربن‌هایی مانند متان، اتان، پروپان، بوتان و پنتان در حفره‌های خالی شبکه بلوری آب تشکیل می‌شود. این ترکیب یک ماده واکسی شکل است که اگر در خطوط انتقال گاز تشکیل شود موجب مسدود شدن خطوط لوله می‌شود. این ماده در دما و فشار محیط پایدار است. هیدرات‌های گازی برای اولین بار در سال ۱۹۶۴ در سرزمین‌های یخبندان سیبری کشف شد.

### ۱.۴.۸ ساختمان هیدرات‌های گاز

هیدرات‌های گازی ماده‌ای یخ مانند است که از یک شبکه میزبان (شبکه مولکول‌های آب) و یک یا چند نوع مولکول میهمان (هیدروکربن‌ها) تشکیل شده‌است، مولکول‌های میهمان به‌طور طبیعی در فاز گازی هستند. برهم‌کنش بین مولکول‌های آب و گاز از نوع برهم‌کنش‌های فیزیکی است به همین علت



پیوندی که میان مولکول‌های گاز و آب برقرار می‌شود خیلی ضعیفتر از پیوند هیدروژنی است که بین مولکول‌های آب به تنهایی وجود دارد.

هیدرات گاز ۳ ساختار متفاوت دارد که عبارتند از: ساختار I، ساختار II و ساختار H. ساختارهای I و II تقارن مکعبی و ساختار H تقارن هشت‌وجهی دارد. آب خالص در ساختار هشت‌وجهی منجمد می‌شود در حالی که هیدرات‌های گازی در ساختارهای مکعبی تشکیل می‌شود. با توجه به اندازه مولکول میهمان (هیدروکربن‌ها) هیدرات‌های گازی می‌تواند شامل یک یا هر سه ساختار فوق باشد.

### ساختار I (S-I)

در ساختار I هر ۶ مولکول آب یک سلول را تشکیل می‌دهند که از ۲ حفره دوازده‌وجهی<sup>۱۳۵</sup> و ۶ حفره چهارده‌وجهی<sup>۱۳۶</sup> تشکیل شده است. این ساختار می‌تواند بیش از ۸ مولکول اتان و متان را با قطرهای بیش از ۵.۸ آنگستروم در خود جای دهد. مولکول‌های پروپان نمی‌توانند در این ساختار منجمد شوند.

### ساختار II (S-II)

در ساختار II هر ۱۳۶ مولکول آب یک سلول را تشکیل می‌دهند که از ۱۶ حفره دوازده‌وجهی و ۸ حفره شانزده‌وجهی تشکیل شده است. این ساختار ۲۴ مولکول هیدروکربن را با قطرهای بیش از ۶.۹ آنگستروم می‌تواند در خود جای دهد. در این ساختار علاوه بر متان و اتان مولکول‌های پروپان و ایزوبوتان نیز می‌توانند در این ساختار منجمد شوند.

### ساختار H (S-H)

ساختار H کمپاب‌ترین ساختار در ساختمان هیدرات‌های گازی است که هر ۳۴ مولکول آب یک سلول را تشکیل می‌دهند که از ۳ حفره ده‌وجهی<sup>۱۳۷</sup> و ۲ حفره دوازده‌وجهی نامنظم<sup>۱۳۸</sup> و ۱ حفره بیست‌وجهی<sup>۱۳۹</sup> تشکیل شده است که می‌تواند مولکول‌های بزرگی مانند ایزو پنتان را در خود جای دهد. انواع ساختارهای هیدرات در شکل زیر نشان داده شده است.

هیدرات‌های هیدروکربن‌ها ترکیبات غیر استوکیومتری هستند به عبارت دیگر ترکیب درصد این ترکیبات ثابت نیست. در یک شبکه هیدرات تمامی سایت‌ها با مولکول‌های هیدروکربن اشغال

<sup>135</sup> Dodecahedral

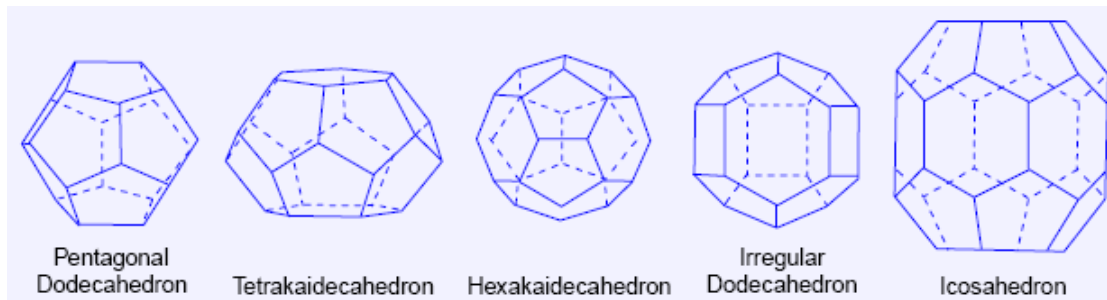
<sup>136</sup> Tetrakaidecahedral

<sup>137</sup> Pentagonal dodecahedral

<sup>138</sup> Irregular dodecahedral

<sup>139</sup> Icosahedral

نمی‌شوند، با این وجود می‌توان با کاهش دما یا افزایش فشار تعداد سایت‌هایی را که هیدروکربن‌ها می‌توانند اشغال کنند افزایش داد.



شکل ۱.۸: ساختارهای مختلف هیدرات گاز

به علت تفاوت چگالی که بین آب و گاز وجود دارد یک حجم مشخصی از آب می‌تواند از ۷۰ تا ۱۶۰ برابر حجم خود، گاز طبیعی را در خود جای دهد و این موضوع به تعداد حفره‌هایی که مولکول‌های گاز طبیعی می‌تواند به خود اختصاص دهد بستگی دارد. به طور کلی ۷۰ تا ۹۰ درصد ساختار هیدرات‌های گازی را ساختار I تشکیل می‌دهد.

#### ۲.۴.۸ مناطق پایداری هیدرات

مناطق که شرایط طبیعی دما و فشار آنها اجازه تشکیل و پایدار ماندن را به هیدرات گاز می‌دهد، مناطق پایداری هیدرات (HSZ)<sup>۱۴۰</sup> نامیده می‌شوند (شکل). در قطب شمال به علت اینکه دمای هوا بسیار پایین است منطقه پایداری هیدرات فاصله زیادی از سطح زمین ندارد در حالی که در اقیانوس‌ها منطقه پایداری هیدرات در حدود ۴۵۰ متر زیر آب قرار دارد، این منطقه فشاری حدود ۴۵ اتمسفر و دمایی در محدوده ۴-۶ درجه سانتیگراد دارد.



شکل ۲.۸: منطقه پایداری هیدرات (HSZ)

<sup>140</sup> The Hydrate Stability Zone

هیدرات‌گازی در منطقه پایداری تشکیل هیدرات به چهار صورت در طبیعت یافت می‌شود:

- به صورت دانه‌های بذر مانند منتشر شده در رسوبات کف دریا (رایج‌ترین نوع مشاهده شده)
- به صورت تجمع‌های کوچک (گره مانند)
- به صورت لایه‌های باریک
- به صورت قطعات بزرگ در رسوبات کف دریا

زیر منطقه هیدرات‌گازی منطقه گاز آزاد<sup>۱۴۱</sup> وجود دارد، که اگر آب از گاز اشباع شده باشد فاصله میان منافذ رسوبات با آب نمک که شامل گاز نامحلول یا حباب‌های گاز می‌باشد، پر می‌شود. برای تشکیل هیدرات‌گاز در رسوبات کف دریا باید شرایط خاصی وجود داشته باشند. این شرایط عبارتند از:

۲۲. شرایط ترمودینامیکی مناسب برای تشکیل هیدرات‌گاز باید وجود داشته باشد به عبارت دیگر آن منطقه باید منطقه پایداری هیدرات باشد.

۲۳. به اندازه کافی باید گاز در مجاورت رسوبات یا به وسیله باکتری‌ها در درون منطقه پایداری هیدرات تولید شود.

۲۴. گازهای تولید شده باید توانایی نفوذ به قسمت بالایی منطقه پایداری هیدرات را داشته باشند.

۲۵. در منطقه پایداری هیدرات باید آب وجود داشته باشد [۱۶].

### ۳.۴.۸ روش‌های جلوگیری از تشکیل هیدرات متان در خطوط لوله انتقال گاز

هیدرات متان در دمای ۳۹°F و کمتر از آن و در فشاری بیش از ۱۶۶ psig در صورت وجود آب در خطوط لوله انتقال گاز تشکیل می‌شود (هیدرات متان در دمای بالاتر از ۷۰°F و فشاری بالاتر از ۲۹۰۰ psig نیز تشکیل می‌شود). برای جلوگیری از تشکیل هیدرات متان ۶ روش وجود دارد که عبارتند از:

۱. خارج کردن آب موجود در سیستم (بهترین روش برای جلوگیری از تشکیل هیدرات‌گاز)

۲. دمای سیستم، در دمایی بالاتر از دمای تشکیل هیدرات ثابت شود.

<sup>141</sup> Free-gas zone

۳. فشار سیستم، پایین‌تر از فشار مورد نیاز برای تشکیل هیدرات ثابت شود.
۴. تزریق ماده بازدارنده (متانول یا مونو اتیلن گلیکول) به سیستم که دمای تشکیل هیدرات را به دمایی پایین‌تر از دمای سیستم منتقل می‌کند.
۵. افزایش بازدارنده سینتیکی (پلیمرهای با وزن مولکولی پایین) که با هیدرات پیوند تشکیل می‌دهد و زمان رشد کریستال‌های هیدرات را به تأخیر می‌اندازد که این مدت زمان، از زمان حضور آب آزاد در سیستم بیشتر است.
۶. افزایش ماده ضد انعقاد که از تجمع کریستال‌های هیدرات جلوگیری می‌کند. [۱۷]

## ۵.۸ شرکت در کنفرانس تخصصی گاز

از نظر مخازن گاز طبیعی، کشور ایران در ردیف دو کشور اول دنیا قرار دارد. بر اساس نیاز کشور به نیروهای متخصص در صنعت نفت و گاز، دانشگاه شیراز و شرکت ملی گاز ایران با همکاری یکدیگر در یک اقدام کم سابقه، نسبت به احداث یک دانشکده بسیار عظیم و مجهز تحت عنوان "دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز" در دانشگاه شیراز اقدام نمودند. با احداث چنین دانشکده‌ای شناخت و آگاهی از نیازهای تحقیقاتی کشور در صنعت گاز بسیار لازم و ضروری بنظر می‌رسد. بر اساس این نیاز، بخش مهندسی شیمی، نفت و گاز دانشگاه شیراز در خردادماه ۱۳۸۴ و بمنظور سپاس و قدردانی از همکاری‌های شرکت ملی گاز ایران در اجرای این پروژه عظیم علمی، فرهنگی مصمم گردید تا همایشی تحت عنوان "اولین همایش ملی تخصصی گاز" را در آبانماه ۱۳۸۵ برگزار نماید. در این اطلاع‌رسانی محورهای علمی همایش بصورت زیر تعریف شدند:

۱. مخازن گاز و گاز میعانی و بهره‌برداری از آنها
۲. چاه‌آزمایی چاه‌های گاز و گاز میعانی و تزریق گاز به مخازن
۳. فراورش گاز
۴. انتقال و توزیع گاز
۵. جریان‌های دوفازی گاز-مایع
۶. معضلات سطح‌الارضی مربوط به صنعت گاز (تشکیل هیدرات، خوردگی، مسائل زیست محیطی و غیره)
۷. مسائل مربوط به تولید و مصرف CNG و GTL و LNG

۸. جایگاه اقتصادی صنایع گاز در سبد انرژی

۹. کاربردهای گاز در صنایع پتروشیمی

جناب آقای دکتر بهبهانی‌نژاد به نمایندگی از دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان در این همایش شرکت داشته‌اند.

## ۶.۸ مراجع

- [۱] <http://www.ogj.com>
- [۲] <http://www.jngc.org>
- [۳] <http://www2.nrcan.gc.ca>
- [۴] <http://www.igua.ca>
- [۵] <http://www.economatters.com>
- [۶] <http://www.ziffenergycoferences.com>
- [۷] <http://www.qp.com.qa>
- [۸] <http://www.igu.org>
- [۹] <http://www.ifp.fr>
- [۱۰] <http://www.marcogaz.org>
- [۱۱] <http://www.thecwcgroup.com>
- [۱۲] <http://www.lng15.com>
- [۱۳] <http://www.wgc2006.nl>
- [۱۴] [http://www.ite\\_exhibitions.com](http://www.ite_exhibitions.com)
- [۱۵] <http://www.thecwcgroup.com>
- [۱۶] <http://www.eia.doe.gov>
- [۱۷] <http://www.gastechnology.org>

# الف نتایج محاسبات نرم افزار GPNet




Date:	2/25/2007
Time:	10:59:04
Project Name	shoosh -final 5000
Project File Name:	C:\Documents and Settings\ali1\Desktop\Esfand-Fatemi\GPNet\shoosh -final 5000.GPML
Project description	

## General Settings





Setting Name	Value
Lowest Allowable Pressure (Psia)	0
Specific Gravity	0.65
Compressibility Factor	1
Coincidence Factor for Flow Calculation	1
Pipes Length Modification Factor	1
Equation	anhandle Revised
Length Input Unit	m
Length Output Unit	m
Pressure Input Unit	m
PressureOutput Unit	psig
Diameter Input Unit	Inch
Diameter Output Unit	Inch
Flow Input Unit	MF3/d
Flow Output Unit	MF3/d
Velocity Output Unit	ft/s


Nodes Data				
				
Node Name	Load	Pressure	Calculated Pressure	Comments
	Mf3/d	psig	psig	
0	40.0		53.9	
2	50.0		54.0	
3	50.0		53.8	
4	20.0		53.9	
5	20.0		54.3	
6	40.0		54.5	
7	150.0		54.4	
8	30.0		54.7	
9	120.0		53.7	
10	100.0		53.7	
11	20.0		55.2	
12	240.0		54.9	
13	100.0		55.4	
14	120.0		55.0	
15	100.0		54.8	
16	160.0		54.8	
17	120.0		54.7	
18	120.0		54.9	
19	300.0		54.9	
20	40.0		54.9	
21	140.0		55.1	
22	20.0		55.5	
23	110.0		50.4	
24	140.0		48.5	
25	40.0		46.6	
26	230.0		46.6	
27	100.0		46.7	
28	50.0		46.9	
29	110.0		47.1	
30	110.0		47.3	
31	180.0		48.2	
32	50.0		45.9	
33	200.0		45.9	
34	140.0		45.5	
35	120.0		45.3	
36	110.0		45.3	
37	110.0		46.6	
38	180.0		45.4	
39	200.0		53.8	
40	50.0		59.9	
41	50.0		59.7	
42	200.0		53.6	



Nodes Data				
				
Node Name	Load	Pressure	Calculated Pressure	Comments
	Mf3/d	psig	psig	
43	40.0		53.8	
44	150.0		53.8	
45	140.0		53.7	
46	0.0		53.7	
47	50.0		54.9	
48	180.0		54.9	
49	110.0		53.7	
50	60.0		46.9	
51	80.0		46.6	
52	160.0		46.0	
53	210.0		46.4	
55	10.0	60.		انحدگاه

Pipes Data					
					
Pipe Name	From Node	To Node	Length	Diameter	Comments
			m	Inch	
1	0	2	140	4	
2	3	4	900	4	
3	5	6	560	4	
4	7	8	410	4	
5	9	10	150	4	
6	11	12	640	4	
7	13	14	680	4	
8	15	12	400	3	
9	15	16	100	3	
10	17	18	500	3	
11	14	19	280	4	
12	19	20	50	4	
13	21	22	120	6	
14	23	24	210	4	
15	25	26	480	4	
16	26	27	360	4	
17	27	28	200	4	
18	28	29	250	4	
19	29	30	220	4	
20	23	31	820	4	
21	32	33	150	4	
22	34	35	630	4	
23	35	36	110	4	
24	25	37	70	4	
25	34	38	220	4	
26	3	39	50	4	
27	2	5	250	4	
28	8	40	710	4	
29	13	41	720	4	
30	10	42	810	4	
31	43	44	350	4	
32	44	45	350	4	
33	45	46	300	4	
34	20	18	270	4	
35	3	0	40	4	
36	5	7	50	4	
37	7	5	50	4	
38	13	11	50	4	
39	11	47	560	4	
40	47	48	120	4	
41	8	6	50	4	
42	6	4	440	4	
43	4	43	60	4	

Pipes Data					
					
Pipe Name	From Node	To Node	Length	Diameter	Comments
			m	Inch	
44	18	12	50	4	
45	49	9	70	4	
46	39	9	260	6	
47	46	49	120	4	
48	49	43	650	4	
49	47	15	650	4	
50	40	41	30	6	
51	41	22	1330	6	
52	20	21	90	4	
53	21	23	210	4	
54	24	50	210	4	
55	50	51	80	4	
56	25	50	450	4	
57	32	52	200	4	
58	52	51	150	4	
59	34	52	420	4	
60	51	37	450	4	
61	37	53	900	4	
62	31	30	520	4	
63	40	55	50	8	

Total Pipe Usage			
Material No.	Material Name	Inside Diameter	Total Usage
		Inch	m
1001	Pipe	4.0	17980.0
1002	Pipe	3.0	1000.0
1003	Pipe	6.0	1740.0
1004	Pipe	8.0	50.0

Results									
Equation: Panhandle Revised									
From Node	Pressure	Flow Direction	To Node	Flow	Pressure Drop	Velocity	Inside Diameter	Length	PipeName/ Comment
	psig			MG/d	psig	ft/s	Inch	m	
55	60.0	>>>	40	5759.98	0.13	44.38	8.0	50.0	63
0	53.86	>>>	3	504.54	0.04	16.93	4.0	40.0	35
		<<<	2	544.54	0.15	18.25	4.0	140.0	1
2	54.01	>>>	0	544.54	0.15	18.25	4.0	140.0	1
		<<<	5	594.53	0.33	19.86	4.0	250.0	27
3	53.82	<<<	0	504.54	0.04	16.93	4.0	40.0	35
		>>>	39	585.3	0.06	19.66	4.0	50.0	26
		<<<	4	130.76	0.06	4.39	4.0	900.0	2
4	53.89	>>>	3	130.76	0.06	4.39	4.0	900.0	2
		>>>	43	474.69	0.05	15.93	4.0	60.0	43
		<<<	6	625.45	0.64	20.88	4.0	440.0	42
5	54.34	>>>	2	594.53	0.33	19.86	4.0	250.0	27
		<<<	7	161.71	0.01	5.39	4.0	50.0	36
		<<<	6	291.1	0.18	9.69	4.0	560.0	3
		<<<	7	161.71	0.01	5.39	4.0	50.0	37
6	54.52	>>>	4	625.45	0.64	20.88	4.0	440.0	42
		>>>	5	291.1	0.18	9.69	4.0	560.0	3
		<<<	8	956.55	0.17	31.75	4.0	50.0	41
7	54.35	>>>	5	161.71	0.01	5.39	4.0	50.0	36
		>>>	5	161.71	0.01	5.39	4.0	50.0	37
		<<<	8	473.43	0.34	15.73	4.0	410.0	4
8	54.69	>>>	6	956.55	0.17	31.75	4.0	50.0	41
		>>>	7	473.43	0.34	15.73	4.0	410.0	4
		<<<	40	1459.99	5.18	46.64	4.0	710.0	28

Results									
Equation: Panhandle Revised									
From Node	Pressure	Flow Direction	To Node	Flow	Pressure Drop	Velocity	Inside Diameter	Length	PipeName/ Comment
	psig			MG/d	psig	ft/s	Inch	m	
9	53.74	<<<	49	34.69	0.0	1.17	4.0	70.0	45
		>>>	10	300.0	0.05	10.09	4.0	150.0	5
		<<<	39	385.31	0.02	5.75	6.0	260.0	46
10	53.69	<<<	9	300.0	0.05	10.09	4.0	150.0	5
		>>>	42	200.0	0.13	6.73	4.0	810.0	30
11	55.24	>>>	12	397.44	0.38	13.11	4.0	640.0	6
		>>>	47	407.76	0.35	13.44	4.0	560.0	39
		<<<	13	825.2	0.12	27.12	4.0	50.0	38
12	54.87	<<<	11	397.44	0.38	13.11	4.0	640.0	6
		>>>	18	75.19	0.01	2.49	4.0	50.0	44
		>>>	15	82.25	0.05	4.84	3.0	400.0	8
13	55.36	>>>	11	825.2	0.12	27.12	4.0	50.0	38
		>>>	14	396.22	0.4	13.05	4.0	680.0	7
		<<<	41	1321.43	4.31	42.08	4.0	720.0	29
14	54.97	<<<	13	396.22	0.4	13.05	4.0	680.0	7
		>>>	19	276.23	0.08	9.13	4.0	280.0	11
15	54.82	<<<	12	82.25	0.05	4.84	3.0	400.0	8
		>>>	16	160.0	0.05	9.42	3.0	100.0	9
		<<<	47	177.76	0.08	5.88	4.0	650.0	49
16	54.77	<<<	15	160.0	0.05	9.42	3.0	100.0	9
17	54.73	<<<	18	120.0	0.13	7.06	3.0	500.0	10
18	54.86	<<<	12	75.19	0.01	2.49	4.0	50.0	44
		>>>	17	120.0	0.13	7.06	3.0	500.0	10
		<<<	20	164.8	0.03	5.45	4.0	270.0	34

Results									
Equation: Panhandle Revised									
From Node	Pressure	Flow Direction	To Node	Flow	Pressure Drop	Velocity	Inside Diameter	Length	PipeName/ Comment
	psig			Mf3/d	psig	ft/s	Inch	m	
19	54.89	<<<	14	276.23	0.08	9.13	4.0	280.0	11
		<<<	20	23.77	0.0	0.79	4.0	50.0	12
20	54.89	>>>	18	164.8	0.03	5.45	4.0	270.0	34
		>>>	19	23.77	0.0	0.79	4.0	50.0	12
		<<<	21	228.57	0.19	7.55	4.0	90.0	52
21	55.07	>>>	20	228.57	0.19	7.55	4.0	90.0	52
		>>>	23	2490.01	4.66	84.89	4.0	210.0	53
		<<<	22	2858.57	0.39	41.77	6.0	120.0	13
22	55.46	>>>	21	2858.57	0.39	41.77	6.0	120.0	13
		<<<	41	2878.58	4.21	40.71	6.0	1330.0	51
23	50.41	<<<	21	2490.01	4.66	84.89	4.0	210.0	53
		>>>	24	1542.49	1.92	55.3	4.0	210.0	14
		>>>	31	837.51	2.27	30.11	4.0	820.0	20
24	48.5	<<<	23	1542.49	1.92	55.3	4.0	210.0	14
		>>>	50	1402.5	1.64	51.72	4.0	210.0	54
25	46.6	<<<	26	57.5	0.01	2.16	4.0	480.0	15
		>>>	37	389.97	0.05	14.64	4.0	70.0	24
		<<<	50	372.47	0.26	13.95	4.0	450.0	56
26	46.61	>>>	25	57.5	0.01	2.16	4.0	480.0	15
		<<<	27	287.5	0.13	10.78	4.0	360.0	16
27	46.73	>>>	26	287.5	0.13	10.78	4.0	360.0	16
		<<<	28	387.5	0.13	14.49	4.0	200.0	17
28	46.86	>>>	27	387.5	0.13	14.49	4.0	200.0	17
		<<<	29	437.5	0.2	16.32	4.0	250.0	18

Results									
Equation: Panhandle Revised									
From Node	Pressure	Flow Direction	To Node	Flow	Pressure Drop	Velocity	Inside Diameter	Length	PipeName/ Comment
	psig			Mf3/d	psig	ft/s	Inch	m	
29	47.06	>>>	28	437.5	0.2	16.32	4.0	250.0	18
		<<<	30	547.5	0.27	20.35	4.0	220.0	19
30	47.33	>>>	29	547.5	0.27	20.35	4.0	220.0	19
		<<<	31	657.51	0.82	24.22	4.0	520.0	62
31	48.15	<<<	23	837.51	2.27	30.11	4.0	820.0	20
		>>>	30	657.51	0.82	24.22	4.0	520.0	62
32	45.93	>>>	33	200.0	0.03	7.59	4.0	150.0	21
		<<<	52	249.99	0.05	9.48	4.0	200.0	57
33	45.91	<<<	32	200.0	0.03	7.59	4.0	150.0	21
34	45.45	>>>	35	230.0	0.15	8.81	4.0	630.0	22
		>>>	38	180.0	0.03	6.89	4.0	220.0	25
		<<<	52	550.0	0.54	20.94	4.0	420.0	59
35	45.3	<<<	34	230.0	0.15	8.81	4.0	630.0	22
		>>>	36	110.0	0.01	4.22	4.0	110.0	23
36	45.3	<<<	35	110.0	0.01	4.22	4.0	110.0	23
37	46.55	<<<	25	389.97	0.05	14.64	4.0	70.0	24
		>>>	53	210.0	0.17	7.9	4.0	900.0	61
		>>>	51	69.97	0.0	2.63	4.0	450.0	60
38	45.42	<<<	34	180.0	0.03	6.89	4.0	220.0	25
39	53.76	<<<	3	585.3	0.06	19.66	4.0	50.0	26
		>>>	9	385.31	0.02	5.75	6.0	260.0	46
40	59.87	>>>	8	1459.99	5.18	46.64	4.0	710.0	28
		>>>	41	4250.0	0.2	58.34	6.0	30.0	50
		<<<	55	5759.98	0.13	44.38	8.0	50.0	63

Results									
Equation: Panhandle Revised									
From Node	Pressure	Flow Direction	To Node	Flow	Pressure Drop	Velocity	Inside Diameter	Length	PipeName/ Comment
	psig			MF3/d	psig	ft/s	Inch	m	
41	59.67	>>>	13	1321.43	4.31	42.08	4.0	720.0	29
		>>>	22	2878.58	4.21	40.71	6.0	1330.0	51
		<<<	40	4250.0	0.2	58.34	6.0	30.0	50
42	53.57	<<<	10	200.0	0.13	6.73	4.0	810.0	30
43	53.83	<<<	4	474.69	0.05	15.93	4.0	60.0	43
		>>>	44	245.14	0.08	8.23	4.0	350.0	31
		>>>	49	189.56	0.09	6.37	4.0	650.0	48
44	53.75	<<<	43	245.14	0.08	8.23	4.0	350.0	31
		>>>	45	95.14	0.01	3.2	4.0	350.0	32
45	53.74	<<<	44	95.14	0.01	3.2	4.0	350.0	32
		<<<	46	44.86	0.0	1.51	4.0	300.0	33
46	53.74	>>>	45	44.86	0.0	1.51	4.0	300.0	33
		<<<	49	44.86	0.0	1.51	4.0	120.0	47
47	54.9	<<<	11	407.76	0.35	13.44	4.0	560.0	39
		>>>	15	177.76	0.08	5.88	4.0	650.0	49
		>>>	48	180.0	0.02	5.95	4.0	120.0	40
48	54.88	<<<	47	180.0	0.02	5.95	4.0	120.0	40
49	53.74	>>>	9	34.69	0.0	1.17	4.0	70.0	45
		<<<	43	189.56	0.09	6.37	4.0	650.0	48
		>>>	46	44.86	0.0	1.51	4.0	120.0	47
50	46.86	<<<	24	1402.5	1.64	51.72	4.0	210.0	54
		>>>	25	372.47	0.26	13.95	4.0	450.0	56
		>>>	51	970.03	0.31	36.34	4.0	80.0	55
51	46.56	<<<	37	69.97	0.0	2.63	4.0	450.0	60
		<<<	50	970.03	0.31	36.34	4.0	80.0	55
		>>>	52	960.0	0.57	36.22	4.0	150.0	58
52	45.99	>>>	32	249.99	0.05	9.48	4.0	200.0	57

Results									
Equation: Panhandle Revised									
From Node	Pressure	Flow Direction	To Node	Flow	Pressure Drop	Velocity	Inside Diameter	Length	PipeName/ Comment
	psig			MF3/d	psig	ft/s	Inch	m	
		>>>	34	550.0	0.54	20.94	4.0	420.0	59
		<<<	51	960.0	0.57	36.22	4.0	150.0	58
53	46.38	<<<	37	210.0	0.17	7.9	4.0	900.0	61

## ب نتایج محاسبات نرم افزار PSSF



Piping Systems Fluid Flow Report						
Component Type	Component ID	Temperature	Flow Through Component	Total Pressure In	Pressure Loss	Total Pressure Out
		(cc)	lb/min	psi g	psi	psi g
Pressure Point	42	25	0	55.111	0	55.111
Pressure Point	48	25	0	55.982	0	55.982
Pressure Point	16	25	0	55.869	0	55.869
Pressure Point	17	25	0	55.829	0	55.829
Pressure Point	45	25	0	55.285	0	55.285
Pressure Point	10	25	0	55.239	0	55.239
Pressure Point	46	25	0	55.288	0	55.288
Pressure Point	44	25	0	55.301	0	55.301
Pressure Point	47	25	0	55.997	0	55.997
Pressure Point	15	25	0	55.91	0	55.91
Pressure Point	37	25	0	49.964	0	49.964
Pressure Point	39	25	0	55.307	0	55.307
Pressure Point	9	25	0	55.288	0	55.288
Pressure Point	49	25	0	55.289	0	55.289
Pressure Point	43	25	0	55.383	0	55.383
Pressure Point	24	25	0	51.448	0	51.448
Pressure Point	50	25	0	50.216	0	50.216
Pressure Point	3	25	0	55.36	0	55.36
Pressure Point	4	25	0	55.428	0	55.428
Pressure Point	25	25	0	49.996	0	49.996
Pressure Point	26	25	0	49.998	0	49.998
Pressure Point	0	25	0	55.393	0	55.393
Pressure Point	2	25	0	55.523	0	55.523
Pressure Point	6	25	0	55.969	0	55.969
Pressure Point	11	25	0	56.317	0	56.317
Pressure Point	12	25	0	55.955	0	55.955

Pressure Point	18	25	0	55.953	0	55.953
Pressure Point	20	25	0	55.977	0	55.977
Pressure Point	21	25	0	55.992	0	55.992
Pressure Point	23	25	0	52.865	0	52.865
Pressure Point	31	25	0	51.226	0	51.226
Pressure Point	5	25	0	55.794	0	55.794
Pressure Point	8	25	0	56.102	0	56.102
Pressure Point	13	25	0	56.421	0	56.421
Pressure Point	14	25	0	56.057	0	56.057
Pressure Point	19	25	0	55.977	0	55.977
Pressure Point	27	25	0	50.094	0	50.094
Pressure Point	7	25	0	55.812	0	55.812
Pressure Point	22	25	0	56.311	0	56.311
Pressure Point	28	25	0	50.19	0	50.19
Pressure Point	30	25	0	50.547	0	50.547
Pressure Point	29	25	0	50.342	0	50.342
Pressure Point	40	25	0	59.885	0	59.885
Pressure Point	41	25	0	59.726	0	59.726
Entry/Exit known Pressure	55	25	199.55	60	0	60
Pressure Point	51	25	0	49.962	0	49.962
Pressure Point	52	25	0	49.528	0	49.528
Pressure Point	32	25	0	49.476	0	49.476
Pressure Point	33	25	0	49.45	0	49.45
Pressure Point	34	25	0	49.081	0	49.081
Pressure Point	38	25	0	49.049	0	49.049
Pressure Point	35	25	0	48.94	0	48.94
Pressure Point	53	25	0	49.794	0	49.794
Pressure Point	36	25	0	48.933	0	48.933

Entry/Exit known Flow	40	25	1.73	59.885	0	59.885
Entry/Exit known Flow	41	25	1.73	59.726	0	59.726
Entry/Exit known Flow	7	25	5.2	55.812	0	55.812
Entry/Exit known Flow	5	25	0.69	55.794	0	55.794
Entry/Exit known Flow	2	25	1.73	55.523	0	55.523
Entry/Exit known Flow	0	25	1.39	55.393	0	55.393
Entry/Exit known Flow	3	25	1.73	55.36	0	55.36
Entry/Exit known Flow	39	25	6.93	55.307	0	55.307
Entry/Exit known Flow	8	25	1.04	56.102	0	56.102
Entry/Exit known Flow	6	25	1.39	55.969	0	55.969
Entry/Exit known Flow	4	25	0.69	55.428	0	55.428
Entry/Exit known Flow	13	25	3.46	56.421	0	56.421
Entry/Exit known Flow	9	25	4.16	55.288	0	55.288
Entry/Exit known Flow	10	25	3.46	55.239	0	55.239
Entry/Exit known Flow	42	25	6.93	55.111	0	55.111
Entry/Exit known Flow	45	25	4.85	55.285	0	55.285
Entry/Exit known Flow	14	25	4.16	56.057	0	56.057
Entry/Exit known Flow	22	25	0.69	56.311	0	56.311
Entry/Exit known Flow	21	25	4.85	55.992	0	55.992

Entry/Exit known Flow	19	25	10.39	55.977	0	55.977
Entry/Exit known Flow	20	25	1.39	55.977	0	55.977
Entry/Exit known Flow	18	25	4.16	55.953	0	55.953
Entry/Exit known Flow	12	25	8.31	55.955	0	55.955
Entry/Exit known Flow	47	25	1.73	55.997	0	55.997
Entry/Exit known Flow	15	25	3.46	55.91	0	55.91
Entry/Exit known Flow	17	25	4.16	55.829	0	55.829
Entry/Exit known Flow	16	25	5.54	55.869	0	55.869
Entry/Exit known Flow	32	25	1.73	49.476	0	49.476
Entry/Exit known Flow	33	25	6.93	49.45	0	49.45
Entry/Exit known Flow	24	25	4.85	51.448	0	51.448
Entry/Exit known Flow	23	25	3.81	52.865	0	52.865
Entry/Exit known Flow	31	25	6.24	51.226	0	51.226
Entry/Exit known Flow	50	25	2.08	50.216	0	50.216
Entry/Exit known Flow	51	25	2.77	49.962	0	49.962
Entry/Exit known Flow	34	25	4.85	49.081	0	49.081
Entry/Exit known Flow	25	25	1.39	49.996	0	49.996
Entry/Exit known Flow	37	25	3.81	49.964	0	49.964
Entry/Exit known Flow	53	25	7.28	49.794	0	49.794

Entry/Exit known Flow	26	25	7.97	49.998	0	49.998
Entry/Exit known Flow	27	25	3.46	50.094	0	50.094
Entry/Exit known Flow	28	25	1.73	50.19	0	50.19
Entry/Exit known Flow	30	25	3.81	50.547	0	50.547
Entry/Exit known Flow	29	25	3.81	50.342	0	50.342
Entry/Exit known Flow	35	25	4.16	48.94	0	48.94
Entry/Exit known Flow	11	25	0.69	56.317	0	56.317
Entry/Exit known Flow	38	25	6.24	49.049	0	49.049
Entry/Exit known Flow	36	25	3.81	48.933	0	48.933
Entry/Exit known Flow	52	25	5.54	49.528	0	49.528
Entry/Exit known Flow	48	25	6.24	55.982	0	55.982
Entry/Exit known Flow	49	25	3.81	55.289	0	55.289
Entry/Exit known Flow	46	25	0	0	0	0
Entry/Exit known Flow	43	25	1.39	55.383	0	55.383
Entry/Exit known Flow	44	25	5.2	55.301	0	55.301

Piping Systems Fluid Flow Report

Component Identifier	Pipe Connection Component No's	Length (m)	Pipe Type/Classification	Internal Diameter (in)	Friction Loss (psi)	Pipe Velocity (ft/s)
63	(45) to (43)	50	Steel : Schedule 40	8	0.115	38.44
	(43) to (55)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.34
50	(43) to (44)	30	Steel : Schedule 40	6	0.159	50.5
28	(43) to (33)	710	Steel : Schedule 40	4	3.783	39.03
	(44) to (56)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.34
29	(44) to (34)	720	Steel : Schedule 40	4	3.305	36
51	(44) to (39)	1330	Steel : Schedule 40	6	3.415	34.01
	(33) to (63)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	0.84
4	(33) to (38)	410	Steel : Schedule 40	4	0.29	13.08
41	(33) to (24)	50	Steel : Schedule 40	4	0.132	27.19
	(34) to (66)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	2.8
7	(34) to (35)	680	Steel : Schedule 40	4	0.364	11.19
38	(34) to (25)	50	Steel : Schedule 40	4	0.103	23.68
13	(39) to (29)	120	Steel : Schedule 40	6	0.319	35.4
	(39) to (72)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	0.56
	(38) to (57)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	4.24
36	(38) to (32)	50	Steel : Schedule 40	4	0.018	8.89

3	(24) to (32)	560	Steel : Schedule 40	4	0.175	8.3
42	(24) to (19)	440	Steel : Schedule 40	4	0.541	17.81
	(24) to (64)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.13
11	(35) to (36)	280	Steel : Schedule 40	4	0.079	7.87
	(35) to (71)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.38
6	(25) to (26)	640	Steel : Schedule 40	4	0.362	11.54
39	(25) to (9)	560	Steel : Schedule 40	4	0.32	11.61
	(25) to (99)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	0.56
52	(29) to (28)	90	Steel : Schedule 40	4	0.015	5.82
	(29) to (73)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.95
53	(29) to (30)	210	Steel : Schedule 40	4	3.127	70.24
	(32) to (58)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	0.57
27	(32) to (23)	250	Steel : Schedule 40	4	0.272	16.65
2	(19) to (18)	900	Steel : Schedule 40	4	0.068	3.75
43	(19) to (15)	60	Steel : Schedule 40	4	0.045	13.63
	(19) to (65)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	0.57
	(36) to (74)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	8.46
8	(26) to (10)	400	Steel : Schedule 40	3	0.045	3.84
44	(26) to (27)	50	Steel : Schedule 40	4	0.002	2.67

	(26) to (77)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	6.77
	(9) to (78)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.41
49	(9) to (10)	650	Steel : Schedule 40	4	0.087	5.17
40	(9) to (2)	120	Steel : Schedule 40	4	0.016	5.08
	(2) to (103)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	5.08
12	(28) to (36)	50	Steel : Schedule 40	4	0	0.59
34	(28) to (27)	270	Steel : Schedule 40	4	0.024	4.11
	(28) to (75)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.13
	(30) to (85)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.25
14	(30) to (16)	210	Steel : Schedule 40	4	1.417	46.47
20	(30) to (31)	820	Steel : Schedule 40	4	1.639	23.77
	(23) to (59)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.42
1	(23) to (22)	140	Steel : Schedule 40	4	0.13	15.3
26	(18) to (12)	50	Steel : Schedule 40	4	0.053	16.52
	(18) to (61)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.42
48	(15) to (14)	650	Steel : Schedule 40	4	0.094	5.41
31	(15) to (8)	350	Steel : Schedule 40	4	0.082	7.09
	(15) to (106)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.14
9	(10) to (3)	100	Steel : Schedule 40	3	0.042	8.03



	(3) to (81)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	4.52
	(10) to (79)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	2.82
	(27) to (76)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.39
10	(27) to (4)	500	Steel : Schedule 40	3	0.125	6.02
	(4) to (80)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.39
54	(16) to (17)	210	Steel : Schedule 40	4	1.231	43.58
	(16) to (84)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	4.25
	(31) to (86)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	5.49
62	(31) to (41)	520	Steel : Schedule 40	4	0.68	19.06
35	(22) to (18)	40	Steel : Schedule 40	4	0.032	14.19
	(22) to (60)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.14
46	(12) to (13)	260	Steel : Schedule 40	6	0.019	4.82
	(12) to (62)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	5.7
47	(14) to (7)	120	Steel : Schedule 40	4	0.001	1.16
45	(14) to (13)	70	Steel : Schedule 40	4	0.001	1.12
	(14) to (104)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.13
32	(8) to (5)	350	Steel : Schedule 40	4	0.016	2.83
	(8) to (107)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	4.27
	(17) to (87)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.86

56	(17) to (20)	450	Steel : Schedule 40	4	0.221	11.14
55	(17) to (46)	80	Steel : Schedule 40	4	0.255	31.41
19	(41) to (42)	220	Steel : Schedule 40	4	0.205	15.88
	(41) to (96)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.39
5	(13) to (6)	150	Steel : Schedule 40	4	0.049	8.55
	(13) to (67)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.42
33	(7) to (5)	300	Steel : Schedule 40	4	0.003	1.16
	(7) to (105)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	0
	(5) to (70)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.99
24	(20) to (11)	70	Steel : Schedule 40	4	0.032	10.72
	(20) to (90)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.24
58	(46) to (47)	150	Steel : Schedule 40	4	0.434	29.83
	(46) to (88)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	2.49
18	(42) to (40)	250	Steel : Schedule 40	4	0.152	12.53
	(42) to (97)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.4
	(6) to (68)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	2.85
30	(6) to (1)	810	Steel : Schedule 40	4	0.128	5.7
	(1) to (69)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	5.71
60	(11) to (46)	450	Steel : Schedule 40	4	0.002	0.79

61	(11) to (53)	900	Steel : Schedule 40	4	0.169	6.53
	(53) to (92)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	6.54
	(11) to (91)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.42
	(47) to (102)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	5.01
57	(47) to (48)	200	Steel : Schedule 40	4	0.052	7.82
59	(47) to (50)	420	Steel : Schedule 40	4	0.447	17.21
17	(40) to (37)	200	Steel : Schedule 40	4	0.096	11.01
	(40) to (95)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.55
	(48) to (82)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	1.57
21	(48) to (49)	150	Steel : Schedule 40	4	0.026	6.26
	(49) to (83)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	6.26
22	(50) to (52)	630	Steel : Schedule 40	4	0.141	7.25
	(50) to (89)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	4.41
25	(50) to (51)	220	Steel : Schedule 40	4	0.032	5.67
	(51) to (100)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	5.67
	(37) to (94)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.1
16	(37) to (21)	360	Steel : Schedule 40	4	0.096	7.92
23	(52) to (54)	110	Steel : Schedule 40	4	0.007	3.47
	(54) to (101)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.47

---

	(52) to (98)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	3.79
15	(21) to (20)	480	Steel : Schedule 40	4	0.002	0.79
	(21) to (93)	0.001	Steel : Schedule 40	4	0	7.14

# پ سمینارهای ارائه شده توسط دفتر پژوهش

پ.۱ مروری بر روش‌های عددی مدل سازی حفاظت کاتدیک



**دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان**

## مروری بر روش‌های عددی در زمینه مدل سازی حفاظت کاتدیک

مهندس مازیار چنگیزیان  
کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک  
دانشگاه شهید چمران اهواز

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## فهرست مطالب

- مقدمه‌ای بر خوردگی
- معادلات حاکم بر مسئله
- روش‌های محاسباتی در تحلیل خوردگی
- نتیجه‌گیری

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## مقدمه‌ای بر خوردگی

- خوردگی چیست؟
- اهمیت پرداختن به خوردگی
- انواع خوردگی
- عامل اصلی در ایجاد خوردگی
- موارد متداول ایجاد خوردگی
- روش‌های حفاظت از خوردگی
- حفاظت کاتدی

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## خوردگی چیست؟

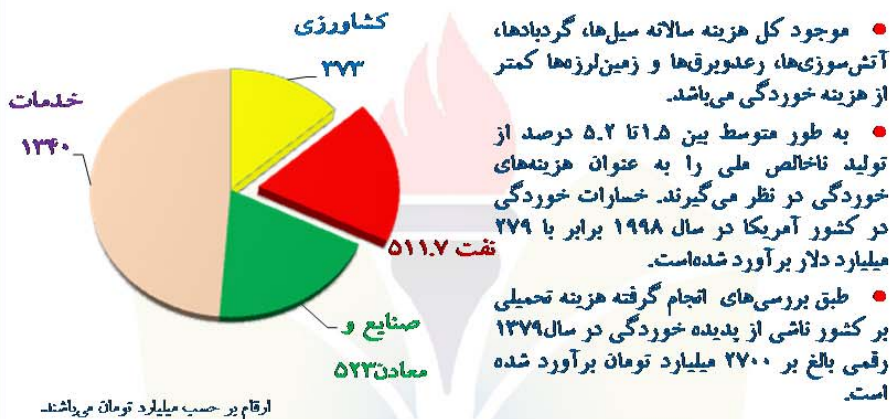
خوردگی عبارت است از تهاجم، فساد و دگرگونی در خواص و مشخصات مواد (عموماً فلزات) به علت واکنش آنها با محیط اطراف



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## اهمیت پرداختن به خوردگی



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## اهمیت پرداختن به خوردگی

### بررسی هزینه‌های خوردگی

- خسارت مستقیم خوردگی در سال ۱۳۷۹ معادل ۲۱/۱۵ درصد از بودجه کشور را شامل بوده‌است.
- خسارت مستقیم خوردگی در سال ۱۳۷۹ معادل ۲/۳۷ برابر مجموع بودجه تعیین شده از جانب دولت در بخش اقتصادی بوده‌است.
- ۴۸ برابر مبلغی که دولت در سال ۱۳۷۹ در بخش صنعت و معدن تحت عنوان اعتبارات عمراتی معین نموده بود توسط خوردگی از بین رفته‌است. همین امر در سال ۱۳۷۵ معادل ۱۷ برابر مبلغی بود که دولت در بخش صنعت و معدن سرمایه گذاری کرده‌است.
- با استفاده از تکنولوژی‌های مربوط به کنترل خوردگی در صنایع ایران می‌توان حداقل ۲۰ درصد از خسارات خوردگی را کاهش داد که معادل ۵۵۰ میلیارد تومان است.

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## انواع خوردگی

تقسیم‌بندی انواع خوردگی معمولاً بر پایه نمای ظاهری منطقه تخریب شده انجام می‌گیرد. تقسیم‌بندی زیر بر اساس الگوی NASA-KSC می‌باشد. در حال حاضر نظر واحدی در مورد تقسیم‌بندی انواع خوردگی وجود ندارد.



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵

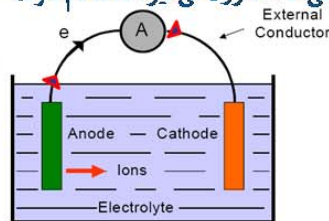




## عامل اصلی خوردگی

فلز	پتانسیل
منیزیم	-۰/۲۳۷
آلومینیوم	-۰/۱۶۶
روی	-۰/۷۶
آهن	-۰/۲۴
قلع	-۰/۱۳
سرب	-۰/۰۱۴
هیدروژن	۰
مس	۰/۴
نقره	۰/۸
پلاتین	۱/۲
طلا	۱/۵۵

- عامل اصلی پدیده خوردگی تمایل فلزات دفع الکترون و رسیدن به حالت پایدار خود می‌باشد.
- در خوردگی گالوانیکی اختلاف در تمایل فلزات به جذب یا دفع الکترون، عامل اصلی خوردگیست.
- بخشی که الکترون از دست می‌دهد آند و بخشی که الکترون می‌گیرد کاتد نام دارد.

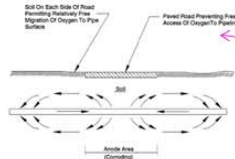


بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵

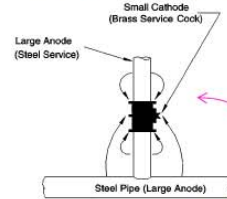


## موارد متداول ایجاد خوردگی

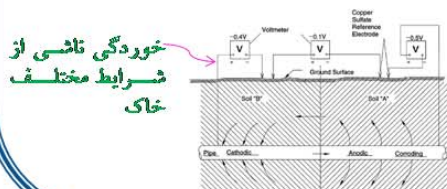
همان‌گونه که قبلاً ذکر شد خوردگی گالوانیکی (اتصال دو فلز غیر هم جنس) از موارد متداول خوردگی است. علاوه بر این حالت وجود رطوبت و اکسیژن نیز از عوامل اصلی خوردگی شناخته شده‌اند. با محدود کردن مسئله خوردگی به لوله‌ها در ذیل به حالت‌های متداول تشکیل خوردگی بر سطح فلز اشاره خواهیم کرد.



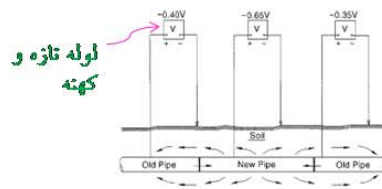
محل‌های مرکب از اختلاف خلقت هوا



محل‌های مرکب از فلزات غیر همجنس



خوردگی ناشی از شرایط مختلف خاک



لوله تازه و کهنه

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## روش‌های حفاظت از خوردگی

با شناخت عواملی که منجر به خوردگی یک لوله می‌شوند می‌توان در مورد روش‌های مقابله بحث کرد. روش‌های اصلی مقابله با خوردگی لوله عبارتند از:

### • استفاده از پوشش‌ها

- به منظور ایزوله کردن و ایجاد جلوگیری از تماس مستقیم اکترولیت با فلز
- ایجاد مقاومت زیاد در مدار خوردگی و در نتیجه کاهش جریان خوردگی
- صرفنظر از نوع پوشش و نحوه‌ی نصب آن بهترین پوشش‌ها نیز پس از گذشت زمان دچار آسیب می‌شوند.



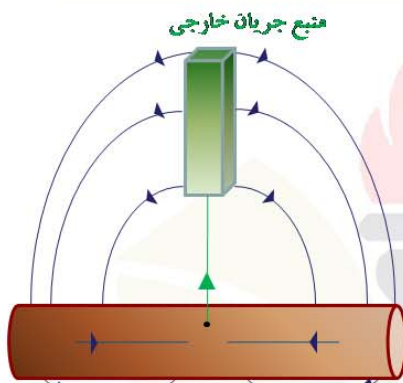
بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## روش‌های حفاظت از خوردگی

### • حفاظت کاتدی

سیستم حفاظت کاتدی بطور ساده عبارتست از اعمال یک جریان مستقیم از یک منبع خارجی که در جهت مخالف خروج جریان از نواحی آندی عمل می‌کند. با این اعمال جریان تمام ساختمان فلزی از محیط اطراف جریان دریافت کرده و مجموعاً به یک کاتد بزرگ تبدیل خواهد شد.



لوله که تبدیل به کاتد شده است

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵

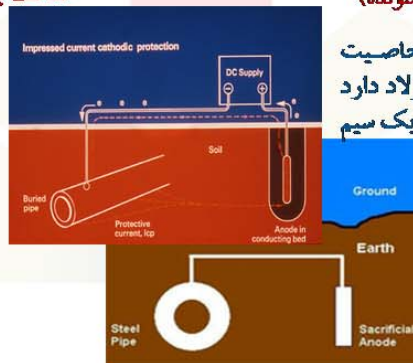


## حفاظت کاتدیک

همانگونه که در بخش قبل ذکر شد، حفاظت کاتدیک به کمک یک منبع جریان خارجی از خروج جریانهای آندی از فلز مورد حفاظت جلوگیری کرده و فلز را تبدیل به کاتد می‌کند. این فرآیند خود به دو شکل متفاوت اجرا می‌شود.

### حفاظت به روش جریان اعمالی

عامل تامین جریان در این روش، یک منبع جریان مستقیم است که الکترون‌ها را از بستر آندی (لوله) تزیریق می‌نماید.



### حفاظت گالوانیکی (آند فدا شونده)

در این روش فلزی که خاصیت آندی قویتری از فولاد دارد معمولاً منگنز یا روی با یک سیم مسی به سطح فولاد وصل می‌شود.

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## طراحی سیستم حفاظت کاتدیک

با طراحی یک سیستم حفاظت کاتدیک باید بتوان به موارد زیر پاسخ داد.

ی میزان جریان لازم برای حفاظت کل سیستم

ی فاصله بین آندها و نیز جریان خروجی هر یک

برای طراحی صحیح نیاز به اطلاعات زیر می‌باشد.

- جنس فلز و یا آلیاژهای موجود در آن
- سطح سازه و عمر طراحی
- میزان مقاومت پوشش و اثرات محیط بر پوشش

- وجود یا عدم وجود پوشش
- بافت محیط و مقاومت آن
- عوامل خورنده در محیط

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### معیار حفاظت

- معیار روش حفاظت کاتدیک برای مصونیت فلز از خوردگی، پتانسیل  $V_{0.85}$  - نسبت به الکتروود مس /سولفات مس روی سطح فلز می‌باشد. از این رو میزان جریان اعمالی باید به حدی باشد که بتواند پتانسیل روی سطح لوله را به این مقدار برساند.

یزوگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### معادلات حاکم بر مسئله

تعریف مسئله  
شرایط مرزی مسئله

یزوگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### تعریف مسئله

- مراحل مدل سازی

۱. استخراج معادله حاکم بر مسئله

۲. تعیین هندسه مسئله

۳. یافتن شرایط مرزی مدل

یزوگداشت هفتم پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### تعریف مسئله

- معادله حاکم بر مسئله

$$\nabla^2 \phi = 0$$

در این رابطه  $\phi$  برابر با تابع پتانسیل الکتریکی در فیلد می باشد.

رابطه تابع پتانسیل با جریان به فرم  $\vec{i} = \nabla \phi$  می باشد.

رابطه فوق معادله حاکم بر مسئله در الکترولیت (خاک یا دریا) می باشد. با حل این معادله می توان مقادیر تابع پتانسیل را در کل ناحیه که سطح فلز نیز جزئی از آن می باشد محاسبه کرد و با پتانسیل مرجع مقایسه نمود.

یزوگداشت هفتم پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### شرایط مرزی مسئله

**مدل سازی دوبعدی**

- شرط مرزی عدم خروج جریان در مرز خاک- هوا
- شرط مرزی روی آند از منحنی پلاریزاسیون
- شرط مرزی روی کاتد از منحنی پلاریزاسیون

**معایب**

- صرفنظر از افت پتانسیل در طول لوله برای مسافت‌های طولی
- این مدل سازی برای آندهای نزدیک به لوله
- رابطه غیر خطی بین جریان و پتانسیل روی سطح آند و کاتد

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### شرایط مرزی مسئله

**مدل سازی سه بعدی**

- شرط مرزی روی آند از منحنی پلاریزاسیون
- شرط مرزی روی کاتد
- بخش عایق  $i = n \cdot \nabla \phi = \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$
- بخش بدون عایق =؟
- شرط مرزی بر صفحه عمود بر مقطع لوله =؟
- شرط مرزی بر صفحات موازی لوله مانند مدل سازی دو بعدی

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران  
اهواز آذر ماه ۱۳۸۵



### شرایط مرزی مسئله

• شرط مرزی روی آندها

- پتانسیل یکنواخت روی سطح آندها  $u_a = \text{constant}$
- جریان یکنواخت بر روی آندها  $i_a = \frac{I}{A}$
- منحنی پلاریزاسیون (رابطه‌ی غیر خطی بین جریان و پتانسیل روی آندها)  $i_a = F(\phi)$

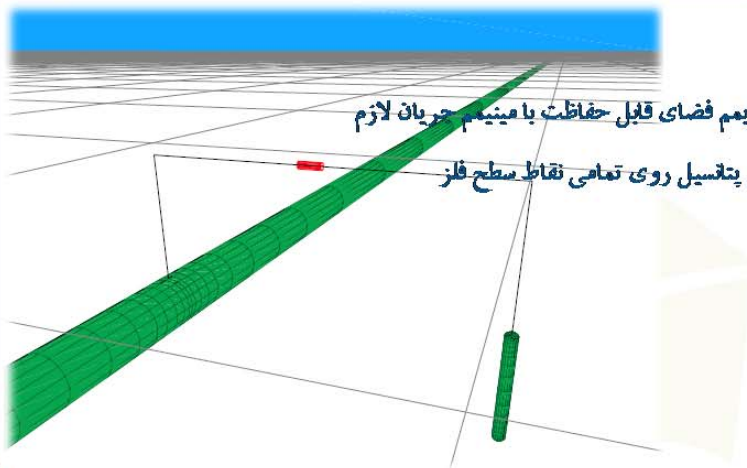
بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### مدل سازی عددی حفاظت کاتدیک

• هدف

- ماکزیمم فضای قابل حفاظت با مینیمم جریان لازم
- تعیین پتانسیل روی تمامی نقاط سطح فلز



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## روش‌های محاسباتی در تحلیل خوردگی

### ● مقدمه‌ای بر روش المان مرزی

#### ○ تاریخچه و معرفی

### ● مروری بر نتایج سایرین

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## مقدمه‌ای بر روش المان مرزی

### ● تاریخچه

یکی از جدیدترین روش‌های حل عددی برای اغلب مسائل مهندسی، روش المان مرزی است. این روش حدوداً از سال ۱۹۷۰ به عنوان یک ابزار کاربردی قوی شروع و طی سالیان متمادی توسعه یافت. در ابتدا محدود به مسائل خطی بوده و از ۱۹۸۰ به بعد استفاده از این روش برای حل معادلات غیر خطی رواج یافت.

### ● مزایای روش المان مرزی

عدم نیاز به تولید شبکه درون میدان محاسباتی  
توانایی محاسبه جواب در نقاط داخلی ناحیه با دقت بالا  
حل مسئله فقط بر روی نقاط مرزی و در واقع حل مسئله با یک بند کمتر  
کاهش چشمگیر زمان محاسبات و نیز توان انجام محاسبات با کامپیوترهای معمولی

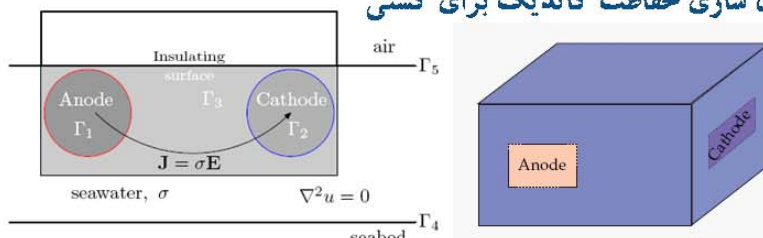
بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





### مروری بر نتایج سایرین

#### • مدل سازی حفاظت کاتدیک برای کشتی



Position	Exact	BEM, N = 496		BEM, N = 1984	
	$u \times 10^{-1}$	$\bar{u} \times 10^{-1}$	Relative error	$\bar{u} \times 10^{-1}$	Relative error
(-4,5,3)	1.66667	1.66989	$1.9338 \times 10^{-3}$	1.66756	$5.376 \times 10^{-4}$
(-3,5,3)	2.00000	2.00191	$9.564 \times 10^{-4}$	2.00059	$2.955 \times 10^{-4}$
(-2,5,3)	2.50000	2.49768	$9.291 \times 10^{-4}$	2.49953	$1.876 \times 10^{-4}$
(-1,5,3)	3.33333	3.31607	$5.1798 \times 10^{-3}$	3.32919	$1.2431 \times 10^{-3}$
(5,5,3)	3.33333	3.31607	$5.1798 \times 10^{-3}$	3.32919	$1.2431 \times 10^{-3}$
(6,5,3)	2.50000	2.49768	$9.291 \times 10^{-4}$	2.49953	$1.876 \times 10^{-4}$
(7,5,3)	2.00000	2.00191	$9.564 \times 10^{-4}$	2.00059	$2.955 \times 10^{-4}$
(8,5,3)	1.66667	1.66989	$1.9338 \times 10^{-3}$	1.66756	$5.376 \times 10^{-4}$

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### مروری بر نتایج سایرین

#### • مدل سازی حفاظت کاتدیک برای لوله های مدفون

- استفاده از روش BEM و FEM
- در نظر گرفتن افت ولتاژ در طول لوله
- توزیع یکنواخت پتانسیل در راستای  $\Gamma$
- شرایط ثابت خاک در طول لوله
- تقسیم بندی شبکه به دو ناحیه درون و بیرون لوله

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



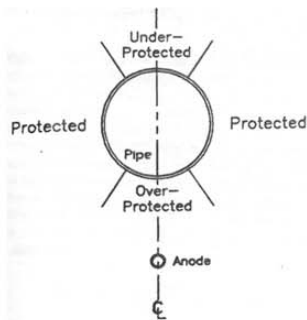
### مروری بر نتایج سایرین

- توزیع جریان و پتانسیل روی لوله‌های پوشش دار همراه با هالیدی
- بررسی خطوط لوله در خاک با مقاومت بالا
- مدل سازی دو بعدی مسئله
- آندهای موازی با سطح لوله

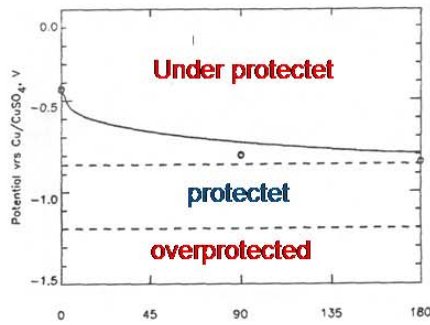
بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### مروری بر نتایج سایرین



حفاظت کاتدی به روش جریان  
اعمالی، آندها در نزدیکی کف لوله

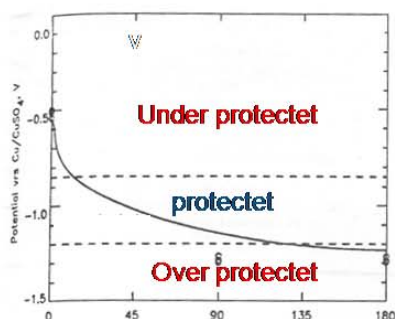


توزیع مقادیر محاسبه شده پتانسیل (خط تو پر) و  
اندازه‌گیری شده (O) روی لوله‌ای با ۲/۴٪  
هالیدی در زاویه ۰ درجه و فاصله ۱ فوت تا  
لوله. میزان پتانسیل اعمالی برابر با ۰/۸ ولت

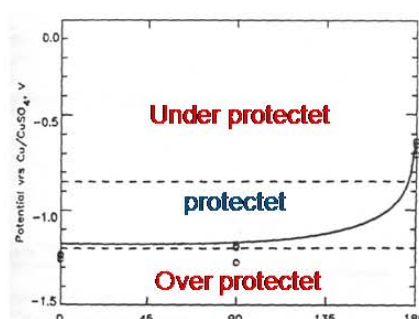
بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### مروری بر نتایج سایرین



توزیع مقادیر محاسبه شده پتانسیل (خط تو پر) و اندازه گیری شده (O) روی لوله ای با ۲/۴٪ هالیدی در زاویه ۰ درجه و فاصله ۵ فوت تا لوله. میزان پتانسیل اعمالی برابر با ۱/۷ ولت



توزیع مقادیر محاسبه شده پتانسیل (خط تو پر) و اندازه گیری شده (O) روی لوله ای با ۲/۴٪ هالیدی در زاویه ۱۸۰ درجه و فاصله ۵ فوت تا لوله. میزان پتانسیل اعمالی برابر با ۱.۷ ولت

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### مروری بر نتایج سایرین

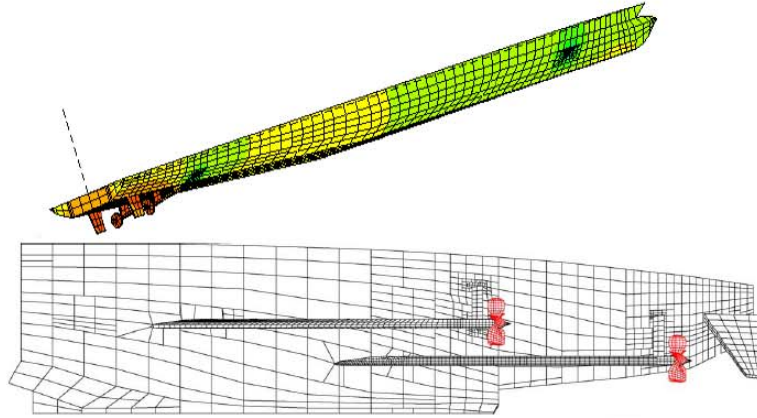
• جزئیات هندسی و میزان دقت لازم برای مدل کردن حفاظت کاتدیک در کشتی ها

- پوشش با هالیدی
- حل برای شرایط استاتیک و دینامیک
- جریان و ولتاژ ورودی به آندها یکسان
- پتانسیل مطلوب برابر با  $\pm 0.05 / -0.85$  نسبت به نقره / کلرید نقره
- کشتی درون مکعبی که لبه های آن در فاصله ۲۰ برابر طول کشتی قرار دارند، محصور شده است

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



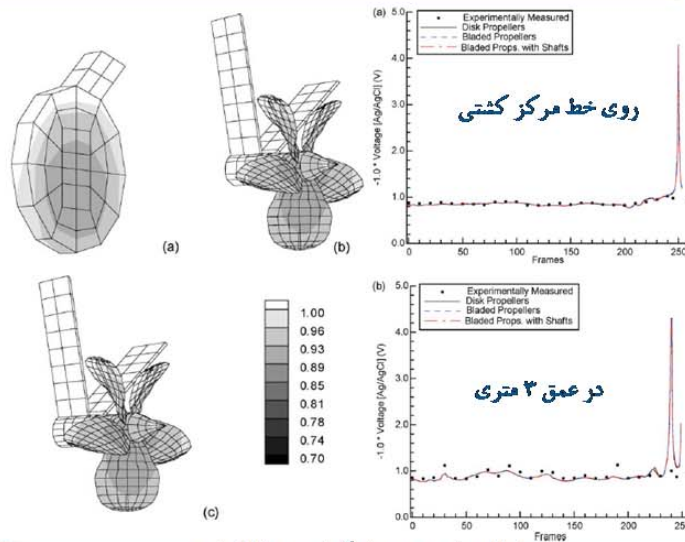
### شبکه بندی



بزرگداشت هفتاد و هفتمین سالگرد تأسیس دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



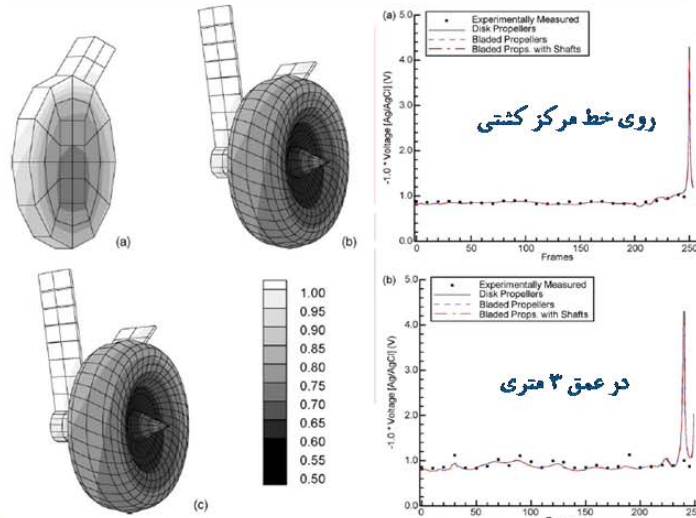
### توزیع پتانسیل بر حسب مکان (استاتیک)



بزرگداشت هفتاد و هفتمین سالگرد تأسیس دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### توزیع پتانسیل بر حسب مکان (دینامیک)



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### نتیجه گیری

- مدل سازی مسئله سبب ممانعت از خطاهای احتمالی ناشی از انتخاب مکان نامناسب مراجع انتخابی می شود. (پتانسیل کل سطح قابل محاسبه است)
- علاوه بر تعیین جریان لازم برای حفاظت از خوردگی، قابلیت بررسی حالت **overprotection** و جلوگیری از آن نیز وجود دارد.
- استفاده از روش **BEM** با کم کردن یک بعد از مسئله، حل روی مرز مسئله و نیز امکان استفاده برای هندسه های پیچیده مناسب ترین روش برای مدل کردن سیستم حفاظت کاتدیک می باشد.

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵

## ۲.پ جهت گیری مراکز تحقیقاتی گاز در دنیا، کشور و استان خوزستان



### دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان

## جهت گیری مراکز تحقیقاتی گاز در دنیا، کشور و استان خوزستان

مرتضی بهبهانی نژاد  
هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک  
دانشگاه شهید چمران اهواز

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### فهرست مطالب

- مقدمه‌ای بر گاز طبیعی
- جهت گیری مراکز تحقیقاتی گاز در دنیا
- وضعیت تحقیقات گاز در کشور
- وضعیت تحقیقات گاز در استان خوزستان
- پرسش و پاسخ

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## مقدمه‌ای بر گاز طبیعی

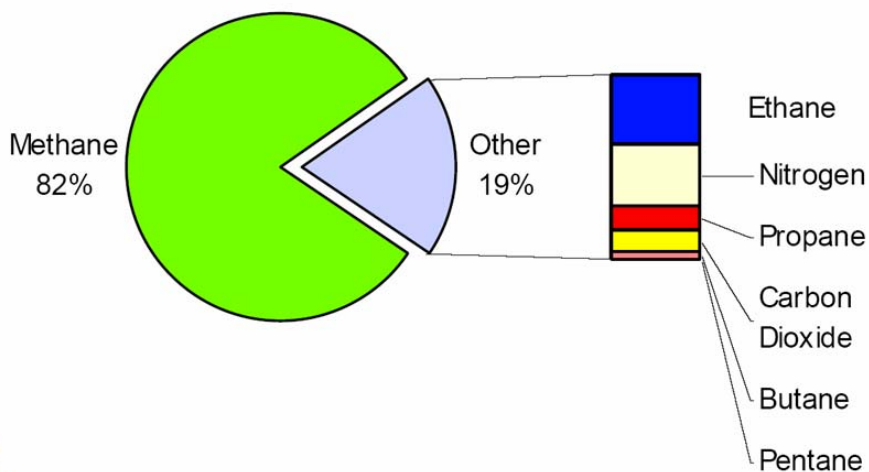
- ترکیبات متداول گاز طبیعی
- ذخائر گاز طبیعی در دنیا
- زنجیره تولید تا مصرف گاز طبیعی



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



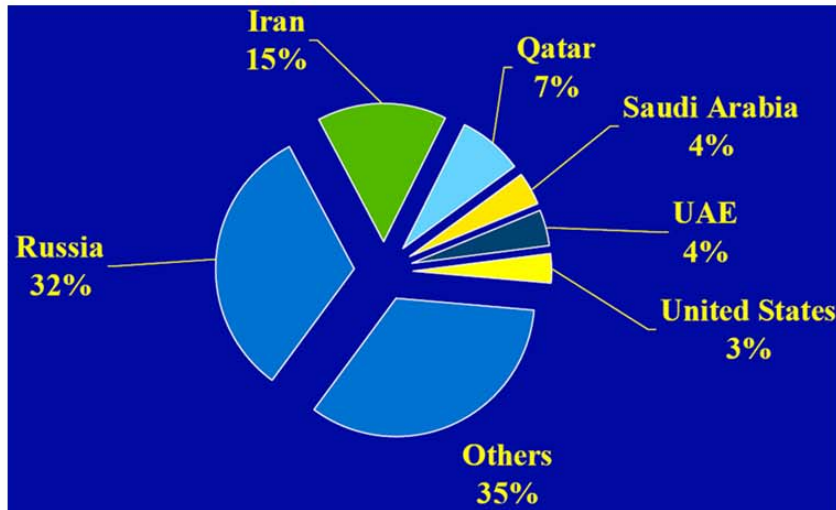
## درصد ترکیبات متداول گاز طبیعی



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



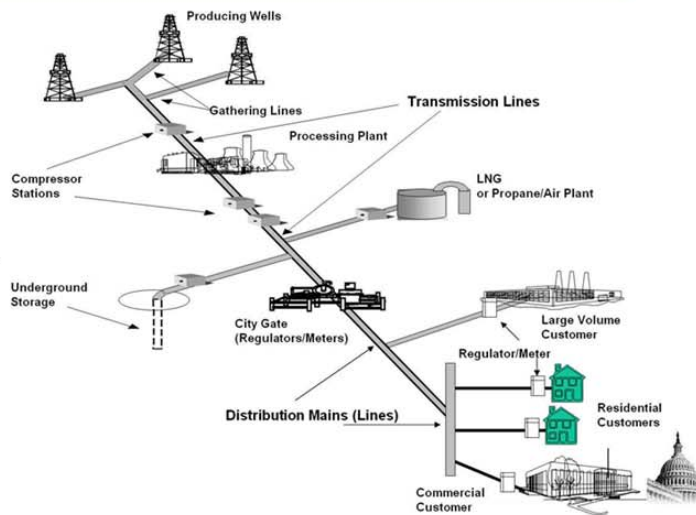
### ذخائر گاز طبیعی در دنیا



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### زنجیره تولید تا مصرف گاز طبیعی



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵







## جهت گیری مراکز تحقیقاتی گاز در دنیا

- برنامه ریزی کلی بخش های مختلف
- درصد بودجه های اختصاص یافته در مقایسه با یکدیگر
- برنامه ریزی در بخش توزیع گاز

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## برنامه ریزی کلی بخش های مختلف

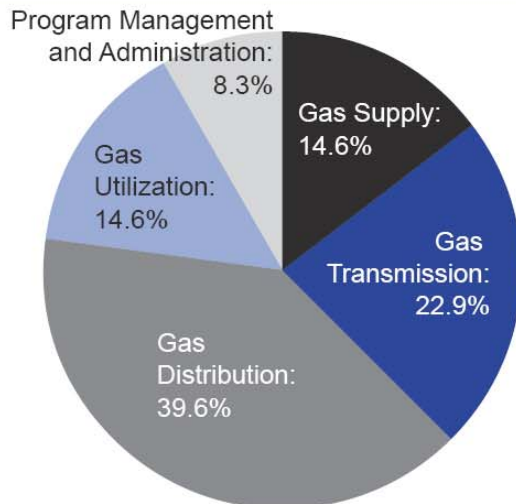
Program Area	Proposed RD&D Budgets (\$ millions)				
	2005	2006	2007	2008	2009
Gas Supply	7	7	7	7	7
Gas Transmission	11	11	11	11	11
Gas Distribution	19	19	19	19	19
Gas Utilization	7	7	7	7	7
Program Management and Administration	4	4	4	4	4
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>48</b>

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





### درصد بودجه‌های اختصاص‌یافته در مقایسه با یکدیگر



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### برنامه‌ریزی در بخش توزیع گاز

- برنامه کلی در ارتباط با توزیع گاز
- مرور محورهای تحقیقاتی بخش توزیع گاز

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## برنامه کلی در ارتباط با توزیع گاز

Project Area Budgets (\$000)

Project Area	2005	2006	2007	2008	2009
3.1 Distribution System Integrity Management	2,050	2,500	2,300	2,200	2,000
3.2 Pipe and Leak Location	1,700	1,800	1,800	1,500	1,500
3.3 Pipe Materials, Repair, and Rehabilitation	1,900	1,800	1,800	2,100	2,100
3.4 Excavation and Site Restoration	1,450	1,450	1,200	1,100	1,000
3.5 Automation	3,300	3,000	2,800	2,800	2,700
3.6 System Construction and Maintenance	4,150	4,000	4,000	4,500	5,000
3.7 Infrastructure Security	2,100	2,050	2,300	2,300	2,000
3.8 Environmental Management	2,350	2,400	2,800	2,500	2,700
<b>Totals</b>	<b>19,000</b>	<b>19,000</b>	<b>19,000</b>	<b>19,000</b>	<b>19,000</b>

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## مرور محورهای تحقیقاتی بخش توزیع گاز

- مدیریت یکپارچگی سیستم توزیع
- موقعیت لوله و نشتی
- مواد لوله‌ها، تعمیر و نوسازی
- خاکبرداری و ترمیم مجدد سایت
- اتوماسیون
- ساخت و نگهداری سیستم‌ها
- امنیت زیرساخت‌ها
- مدیریت شرایط محیطی

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## مدیریت یکپارچگی سیستم توزیع

### اهداف

- راهکارهایی برای شرکت گاز برای کاهش هزینه‌های روتین بازرسی، نگهداری و تعمیر لوله‌های گاز
- بهبود روش‌های کاهش خوردگی که موجب کاهش میزان نشتی و هزینه تعمیرات آن شود
- بازرسی شرایط و قابلیت سرویس دهی شبکه توزیع بدون نیاز به ورود وسایل بازرسی درون لوله

● بودجه محور تحقیقاتی در سال ۲۰۰۵ : ۲,۰۵۰,۰۰۰ دلار آمریکا

● مدیریت یکپارچگی - بازرسی

● بررسی یکپارچگی و استانداردها و پروتکل‌های مدیریت ریسک

● روش بازرسی خارجی لوله‌ها، بدون تماس مستقیم

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## مدیریت یکپارچگی - بازرسی

### اهداف پروژه

- توسعه تکنیک‌های کم‌هزینه برای افزایش دقت بازرسی و تشخیص بهتر عیوب
- توسعه تکنولوژی‌ها، تکنیک‌های بازرسی و مجموعه سنسورها برای بازرسی شبکه توزیع گاز

● بودجه پروژه در سال ۲۰۰۵

○ ۸۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## نمونه ای از موارد موجود روشهای بازرسی



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## بررسی یکپارچگی و استانداردها و پروتکل‌های مدیریت ریسک

- اهداف پروژه
  - یکپارچه‌سازی بهترین تکنولوژی‌های تشخیص، موقعیت، جلوگیری/کاهش تهدیدها در قالب یک متدولوژی جامع و مجموعه‌ای از پروتکل‌ها و استانداردها
  - به‌روز کردن پروتکل‌ها و استانداردهایی که تکنولوژی‌های جدید در مورد آنها ایجاد می‌شود.
  - اعتبارسنجی روش‌ها و پروتکل‌های یکپارچه‌سازی و بررسی ریسک و با اعمال آنها به موارد موجود
- بودجه پروژه در سال ۲۰۰۵
  - ۷۵۰،۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## روش بازرسی خارجی لوله‌ها، بدون تماس مستقیم

### • اهداف پروژه

- توسعه تکنیک‌ها، تجهیزات و فرایندها در مقیاس آزمایشگاهی که قادر به بازرسی لوله‌های گاز بدون نیاز به خاکبرداری اضافی باشد. بدین ترتیب هزینه‌های بازرسی به میزان زیادی کاهش یافته و نیاز به قطع سرویس‌دهی نیز نخواهد بود.

### • بودجه پروژه در سال ۲۰۰۵

- ۵۰۰،۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## موقعیت لوله و نشتی

### • اهداف

- کاهش تصادفات احتمالی ناشی از خاکبرداری اشتباه و تماس‌های ناخواسته با لوله‌های گاز به میزان ۵۰ درصد
- تعیین موقعیت خطر مرکزی لوله‌های مدفون تا قطر ۶ اینچ
- نشان‌گذاری موقعیت نشتی‌ها برای لوله‌هایی تا قطر ۶ اینچ
- کاهش مدت‌زمان شناسایی نشتی به میزان ۱۰ درصد

### • بودجه محور تحقیقاتی در سال ۲۰۰۵ : ۱،۷۰۰،۰۰۰ دلار آمریکا

### • موقعیت لوله‌ها

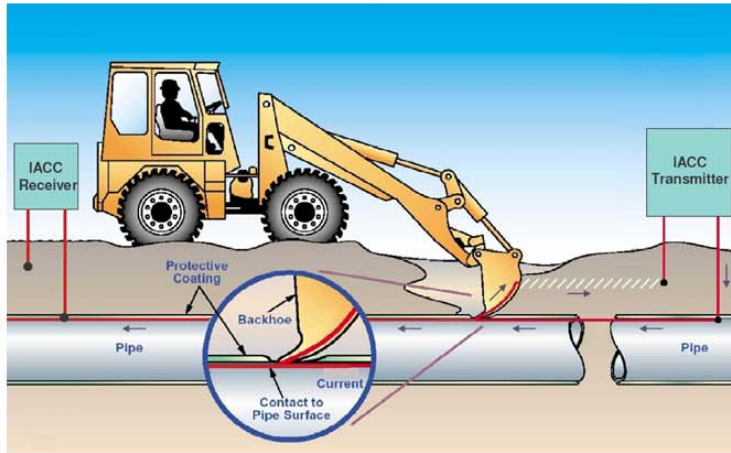
### • آشکارسازی نشتی و نشانه‌گذاری منافذ

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





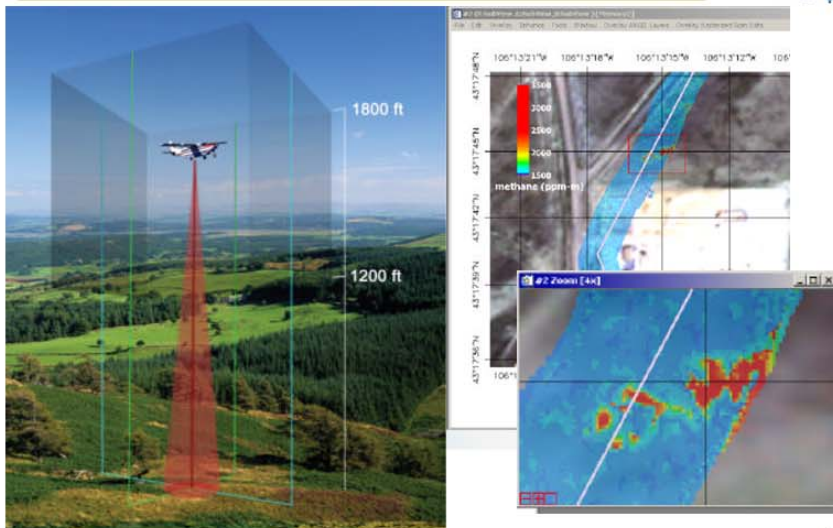
### نمونه ای از موارد موجود جلوگیری از اشتباه



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### نشت یابی با آزمایش پروازی



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### موقعیت لوله‌ها

#### • اهداف پروژه

- ارائه تکنیک‌ها، روش‌ها و ابزارهایی که سرمایه و بطور دقیق بتوانند موقعیت لوله‌های فلزی و پلاستیکی را تعیین کنند. بدین ترتیب با ایجاد نشی احتمالی در لوله‌ها می‌توان سرمایه نسبت به مکان‌یابی و رفع عیب اقدام نمود.

#### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۱،۲۰۰،۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### آشکارسازی نشی و نشانه‌گذاری منافذ

#### • اهداف پروژه

- بهبود تکنیک‌های موجود و یا توسعه تکنیک‌های جدید به‌منظور کاهش هزینه‌های تشخیص نشی، نشانه‌گذاری منافذ و تعمیر آنها در شبکه‌های توزیع گاز طبیعی

#### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۵۰۰،۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵







## مواد لوله‌ها، تعمیر و نوسازی

### اهداف

- کاهش ۱۲ درصدی هزینه‌های سالیانه بابت تعمیر و نوسازی لوله‌های گاز
- تهیه مواد لوله‌های کامپوزیتی پلاستیکی فشاربالا برای خطوط اصلی با هزینه‌های معادل ۵۰ درصد مواد لوله‌های فولادی
- بودجه محور تحقیقاتی در سال ۲۰۰۵ : ۱,۹۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا
- تعمیر سیستم‌ها و نوسازی
- مفاهیم مواد پیشرفته برای ساخت لوله‌ها

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## تعمیر سیستم‌ها و نوسازی

### اهداف پروژه

- ارائه تجهیزات، مواد و فرایندهایی که موجب بهبود بهره‌وری روش‌های تعمیر و نوسازی خطوط اصلی گاز می‌شوند
- کاهش هزینه‌های تعمیر و نوسازی و افزایش ایمنی کارکنان، مصرف کنندگان و جامعه
- بودجه پروژه در سال ۲۰۰۵
- ۱,۴۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## مفاهیم مواد پیشرفته برای ساخت لوله‌ها

### • اهداف پروژه

- توسعه مواد کم‌هزینه برای ساخت لوله‌های کامپوزیتی پلاستیکی که با اطمینان و ایمنی بالا در فشارهای بیش از ۱۵۰ psig مورد استفاده قرار گیرند و همچنین قابلیت خودتعمیری داشته باشند.
- تعیین تکنیک‌هایی بطور تجربی جهت کاهش اثرات زیان‌بار هیدروکریزهای نفت‌پایه بر روی لوله‌های پلاستیکی
- توسعه تثبیت‌کننده‌ها و یا بازدارنده‌های موثر و بهبودیافته که لوله‌های پلاستیکی را به مدت ۲ سال و یا بیشتر در مقابل اثرات مخرب نور خورشید محافظت نماید.

### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۵۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذرماه ۱۳۸۵



## خاک‌برداری و ترمیم مجدد سایت

### • اهداف

- کاهش زمان و هزینه ترمیم خاک‌برداری و سنگفرش به میزان ۲۰ درصد از طریق بهبود روش‌های پرماسزی و مواد سنگفرش
- افزایش راندمان سوراخکاری درون خاک و کاهش هزینه‌های ناشی از تخریب تجهیزات و تاسیسات زیرزمینی به میزان ۲۰ درصد

### • بودجه محور تحقیقاتی در سال ۲۰۰۵: ۱,۴۵۰,۰۰۰ دلار آمریکا

### • تکنولوژی‌های خاک‌برداری و ترمیم

- به حداقل رساندن هزینه‌های ترمیم خیابان‌ها و مسیرها

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذرماه ۱۳۸۵





## تکنولوژی‌های خاکبرداری و ترمیم

### • اهداف پروژه

- توسعه تکنولوژی‌های جدید و بهبود دستورالعمل‌های موجود به منظور بهبود ایمنی خاکبرداری، نصب لوله بدون تراشه، مواد خاکریزی شده، تراکم خاکریزی و کیفیت آسفالت یا سنگفرش

### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۷۰۰،۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## به حداقل رساندن هزینه‌های ترمیم خیابان‌ها و مسیرها

### • اهداف پروژه

- توسعه دستورالعمل‌هایی برای تعیین هزینه‌های اعمالی به شرکت گاز ناشی از مسدود کردن مسیرهای تردد و تخریب آنها
- توسعه تجهیزات و روش‌های بازسازی برای بازیافت و استفاده مجدد از مواد خاکبرداری شده جهت کاهش اثرات محیطی

### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۷۵۰،۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## اتوماسیون

### اهداف

- کاهش ۳۰ درصدی هزینه‌های دریافت و بازیابی داده‌های عملیاتی
- کاهش ۵۰ درصدی هزینه‌های تهیه نرم‌افزار باتک اطلاعاتی GIS
- کاهش ۵۰ درصدی هزینه‌های تعیین موقعیت تجهیزات شرکت با افزایش متناسب سرعت تعیین موقعیت تجهیزات
- کاهش ۲۵ درصدی هزینه‌های عملیات روتین وابسته به داده‌ها در حالیکه سرعت و دقت توسط اتوماسیون آنها بهبود یابد. کاهش ۵۰ درصدی هزینه‌های نصب سخت‌افزار اتوماسیون و هزینه‌های ماهیانه عملیات فوق
- بودجه محور تحقیقاتی در سال ۲۰۰۵ : ۲,۳۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا
- سیستم اطلاعات جغرافیائی فراگیر
- سیستم نشانه گذاری جهانی
- سنسورهای پایش سیستم توزیع گاز
- مخابره داده‌ها برای پایش سیستم توزیع
- اندازه گیری ترکیبات گاز

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## سیستم اطلاعات جغرافیائی فراگیر

### اهداف پروژه

- توسعه یک نرم‌افزار فراگیر به منظور مدیریت داده‌های شرکت گاز به گونه‌ای که از نظر هزینه بهینه باشد.
- نرم‌افزار باید قادر باشد داده‌های بایگانی شده، داده‌های بطور اتوماتیک تولیدشده و داده‌هایی را که بطور دستی وارد می‌شوند، را ذخیره سازی و نمایش دهند.
- بودجه سال ۲۰۰۵
- ۱,۱۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## سیستم نشانه گذاری جهانی

### • اهداف پروژه

- توسعه یک سیستم نشانه‌گذار الکترونیکی کم‌هزینه که توسط آن بتوان سخت‌افزارهای شرکت گاز را تعیین موقعیت و ردیابی کرد
- سیستم از نشانه‌های شناسایی فرکانس رادیویی استفاده می‌کند که قادرند به سخت‌افزار مدفون‌شده و زیرساختار نرم‌افزار متصل شده و بدین ترتیب سخت‌افزار را در تمام طول عمر آن ردیابی نمایند.

### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۵۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## سنسورهای پایش سیستم توزیع گاز

### • اهداف پروژه

- توسعه سنسورهای هینه از نظر اقتصادی در مقیاس آزمایشگاهی برای پایش سیستم‌های توزیع گاز بطور خودکار

### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۷۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## مخبره داده‌ها برای پایش سیستم توزیع

### • اهداف پروژه

- توسعه تجهیزاتی که بتوانند اطلاعات تاسیسات شرکت گاز را به دفتر مرکزی مخبره نمایند.
- این تجهیزات باید بتوانند در کنار تجهیزات موجود کار کنند کم‌هزینه باشند و همچنین برای سرویس مخبراتی خود هزینه ماهیانه پایینی داشته باشند.

### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۷۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## اندازه‌گیری ترکیبات گاز

### • اهداف پروژه

- ارزیابی تکنولوژی‌های موجود در ارتباط با توانایی آنها برای اندازه‌گیری دقیق‌تر ترکیبات گاز، ارزش حرارتی، و ردیابی ناخالصی‌ها
- تولید یک بانک اطلاعاتی فراگیر از اندازه‌گیری کیفیت گاز

### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۳۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## ساخت و نگهداری سیستم‌ها

### • اهداف

- کاهش ۱۰ درصدی هزینه‌های نصب تاسیسات جدید توسط به‌کارگیری تجهیزات و مواد بهبودیافته
- کاهش ۲ درصدی هزینه‌های نصب لوله‌های اصلی و سرویس توسط عملیات ساخت بهینه‌تر و مواد ارزان‌تر
- کاهش ۱۰ درصدی هزینه‌های تعمیر لوله‌های پلاستیکی و هزینه‌های نصب لوله‌های پلاستیکی جدید
- کاهش ۵۰ درصدی هزینه‌های اتصال لوله‌های پلاستیکی توسط به‌کارگیری تجهیزات جدید، دستورالعمل‌های جدید و قوانین معقول
- کاهش ۱۰ درصدی خاکبرداری‌هایی که برای یافتن نشتی احتمالی به شکست می‌انجامد

• بودجه محور تحقیقاتی در سال ۲۰۰۵ : ۴,۱۵۰,۰۰۰ دلار آمریکا

• مفاهیم ساخت شبکه‌های لوله پیشرفته

• تکنولوژی‌های بدون تراشه

• پشتوانه فنی برای کدها و استانداردهای لوله‌های پلاستیکی

• بهره‌برداری، توقف و شیرگذاری خطوط گاز

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## مفاهیم ساخت شبکه‌های لوله پیشرفته

### • اهداف پروژه

- توسعه تجهیزات در مقیاس آزمایشگاهی، مواد و فرایندهایی که راندمان فعالیت‌های ساخت سیستم توزیع را افزایش داده و همچنین موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش ایمنی کارکنان و جامعه شود.

• بودجه سال ۲۰۰۵

○ ۶۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## تکنولوژی‌های بدون ترانشه

### • اهداف پروژه

- توسعه تجهیزات و روش‌هایی که توسط آنها بتوان لوله‌های را بدون نیاز به ترانشه نصب و نگهداری کرد و موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش ایمنی کارکنان شرکت و جامعه گردد.

### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۲،۲۷۵،۰۰۰ دلار آمریکا



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## پشتوانه فنی برای کدها و استانداردهای لوله‌های پلاستیکی

### • اهداف پروژه

- توسعه راهکارهای فنی برای استفاده از مواد لوله‌های پلاستیکی که جدیداً تولید خواهند شد و دستورالعمل‌هایی که موجب بهبود راندمان کار و کاهش هزینه‌های عملیاتی شود و همچنین شرکت‌های گاز را قادر سازد تا دامنه سرویس‌دهی خود را به مناطقی که قبلاً توجه اقتصادی نداشته‌است، گسترش دهند.

### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۵۰۰،۰۰۰ دلار آمریکا



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## بهره‌برداری، توقف و شیرگذاری خطوط گاز

### • اهداف پروژه

- توسعه تجهیزات در مقیاس آزمایشگاهی، مواد و فرایندهایی که موجب بهبود راندمان بهره‌برداری و نگهداری سیستم شود و همچنین هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سیستم را کاهش داده، موجب افزایش ایمنی کارکنان، مشتریان و جامعه شود.

### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۷۷۵،۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## امنیت زیرساخت‌ها

### • اهداف

- قادر ساختن شرکت‌های گاز به آشکارسازی تجاوزات توسط عوامل تهدیدکننده در محدوده ۲ مایلی آشکارساز، بدون اشتباه در آشکارسازی. هزینه این سیستم‌های حفاظتی باید از هزینه‌های نصب به‌لحاظ ۵۰۰۰ دلار به‌ازای هر مایل کمتر باشد بوده و هزینه‌های عملکرد سالیانه آنها نیز کمتر از ۵۰۰ دلار به‌ازای هر مایل باشد.
- قابل الحاق به روش‌های طراحی حفاظت‌یافته باشند بگونه‌ای که با هزینه‌ای کمتر از ۵ درصد طرح‌های بدون حفاظت، بتوانند زیرساخت‌ها را محافظت نمایند.
- بتوانند به کاهش ۱۰ درصدی زمان و هزینه راه‌اندازی مجدد پس از انقطاع‌های اصلی و به کاهش ۲۵ درصدی محدوده‌های انقطاع سرویس کمک نمایند.

### • بودجه محور تحقیقاتی در سال ۲۰۰۵: ۲،۱۰۰،۰۰۰ دلار آمریکا

- راهنمای طراحی سیستم حفاظت از زیرساخت‌های گاز طبیعی
- مدیریت و حفاظت از اطلاعات زیرساخت‌های گاز طبیعی
- راه‌اندازی مجدد پس از انقطاع

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





### راهنمای طراحی سیستم حفاظت از زیرساخت‌های گاز طبیعی

#### • اهداف پروژه

- تهیه راهکارهایی برای شرکت گاز برای کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در برابر خرابکاری‌ها، تروریسم و عملیات تخریبی

#### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۵۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### مدیریت و حفاظت از اطلاعات زیرساخت‌های گاز طبیعی

#### • اهداف پروژه

- تهیه ماژول‌های پیشرفته رمزی و رمزگشایی که همزمان سیستم‌های SCADA را در مقابله تهاجمات کامپیوتری محافظت نموده و همچنین مهاجمینی را که در تلاش برای نفوذ به سیستم هستند را شناسایی نمایند
- این ماژول‌ها به تجهیزات موجود و جدیدی که بر روی خطوط شبکه و سریال هستند، اعمال خواهند شد. ماژول‌ها باید قادر باشند نوع تهاجمات را که در تلاش نفوذ به سیستم هستند را آشکار کرده و برای شناسایی کامپیوترهای مهاجمین کمک نمایند

#### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۱,۰۰۰,۰۰۰ دلار آمریکا

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## راه‌اندازی مجدد پس از انقطاع

### • اهداف پروژه

- توسعه تکنیک‌ها، روش‌ها و ابزارهایی که شرکت گاز را در راه‌اندازی مجدد یاری نمایند بطوریکه سریعاً سرویس‌دهی با کمترین هزینه و بیشترین ایمنی برای کارکنان، مشتریان و جامعه برقرار شود.

### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۶۰۰،۰۰۰ دلار آمریکا



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## مدیریت شرایط محیطی

### • اهداف

- تهیه اطلاعات، تکنیک‌های تحلیلی و روش‌هایی که آلاینده‌های ناشی از عملکرد شرکت گاز را مورد ارزیابی دقیق قرار داده و بطور اقتصادی آنها را مدیریت نمایند

### • بودجه محور تحقیقاتی در سال ۲۰۰۵ : ۲،۳۵۰،۰۰۰ دلار آمریکا

### • مدیریت بر مبنای ریسک هیلروکرن‌های صنایع گاز در محیط

### • سیستم خودکار ریاتیک جهت رفع رسوبات

### • تکنیک‌های بهبود یافته مدیریت یوسیدگی برای خاکبرداری خلال تعمیرات

### شبکه لوله



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### مدیریت بر مبنای ریسک هیدروکربن‌های صنایع گاز در محیط

#### • اهداف پروژه

- توسعه پروتکل‌های بر مبنای ریسک و ابزارهای تحلیلی برای به حداقل رساندن هزینه‌های مدیریت اثرات هیدروکربن‌های اثرگذار بر خاک، رسوبات و هوا که توسط صنایع گاز پراکنده شده‌اند.
- استفاده از ادله شیمیایی به منظور شناسایی و تشخیص اینکه از مابین آلاینده‌ها، آن دسته از آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گیرند که شرکت گاز مسئول پراکندگی آنهاست.

#### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۷۰۰،۰۰۰ دلار آمریکا



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### سیستم خودکار رباتیک جهت رفع رسوبات

#### • اهداف پروژه

- طراحی، ساخت و آزمایش یک سیستم رباتیک برای پایش و زدودن رسوبات آلاینده در محل

#### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۹۵۰،۰۰۰ دلار آمریکا



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### تکنیک‌های بهبود یافته مدیریت پوسیدگی برای خاکبرداری خلال تعمیرات شبکه لوله

#### • اهداف پروژه

- توسعه یک کروماتوگراف گاز قابل حمل که سریعاً بتواند غلظت PCB، PAH، حلال‌ها و دیگر هیدروکربن‌ها را در خاک مشخص سازد.
- تعریف و اثبات تکنیک‌های ارزیابی قیمت برای مدیریت و درمان خاک در محل

#### • بودجه سال ۲۰۰۵

- ۷۰۰،۰۰۰ دلار آمریکا



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### وضعیت تحقیقات گاز در کشور

- مراکز تحقیقاتی کشور در زمینه تولید و پالایش گاز طبیعی
  - پژوهشگاه گاز پژوهشگاه صنعت نفت
- مراکز تحقیقاتی کشور در زمینه تقویت فشار و انتقال گاز طبیعی
  - ؟؟؟؟
- مراکز تحقیقاتی کشور در زمینه تقلیل فشار، توزیع و مصرف گاز طبیعی
  - ؟؟؟؟



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## وضعیت تحقیقات گاز در استان خوزستان

- مراکز تحقیقاتی کشور در زمینه تولید و پالایش گاز طبیعی
  - فعالیت‌های تحقیقاتی در گروه مهندسی گاز دانشکده صنعت نفت اهواز
- مراکز تحقیقاتی کشور در زمینه تقویت فشار و انتقال گاز طبیعی
  - ؟؟؟؟
- مراکز تحقیقاتی کشور در زمینه تقلیل فشار، توزیع و مصرف گاز طبیعی
  - دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## پایان

- پرسش و پاسخ



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵

## ۳. پ. قابلیت‌های نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جریان گاز درون خطوط لوله



**دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان**

### قابلیت‌های نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جریان گاز درون خطوط لوله

ارائه دهنده:

مهندس سید محمد فاطمی اردستانی  
کارشناسی ارشد فرآوری و انتقال گاز  
دانشگاه صنعت نفت

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### فهرست مطالب

- اهمیت شبیه‌سازی فرآیندها در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای طراحی و تحلیل شبکه خطوط لوله گاز
- نتیجه‌گیری

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



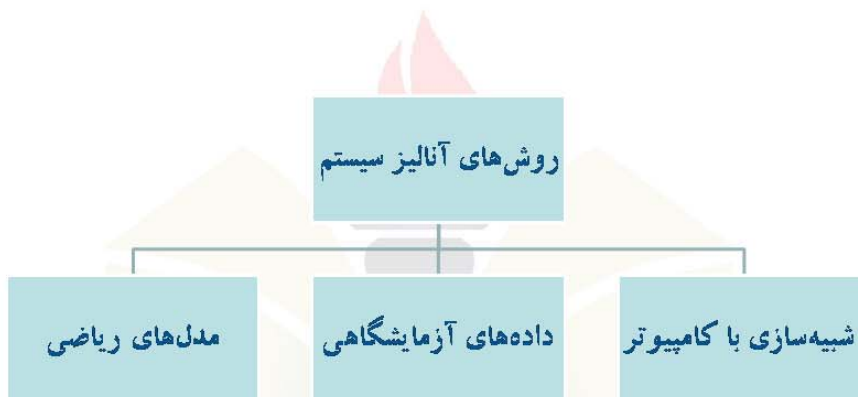
## فهرست مطالب

- اهمیت شبیه‌سازی فرآیندها در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای طراحی و تحلیل شبکه خطوط لوله گاز
- نتیجه‌گیری

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## روش‌های آنالیز سیستم

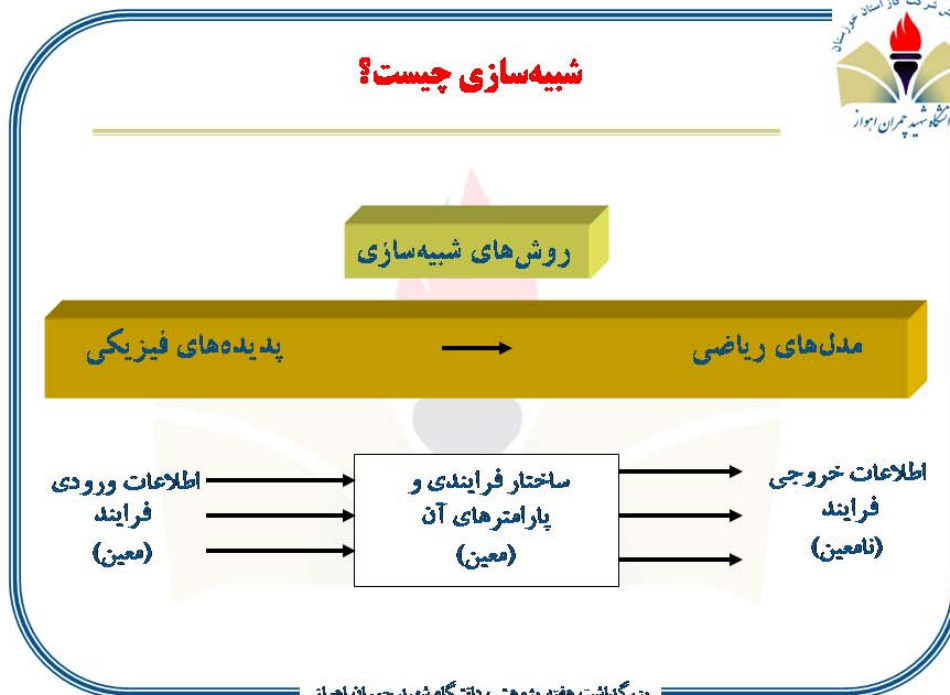


بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵





## شبیه‌سازی چیست؟



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## فواید شبیه‌سازی با کامپیوتر

- انجام سریع محاسباتی که انجام آنها به صورت دستی بسیار طولانی و وقت گیر است.
- شبیه‌سازی واحد صنعتی در حالت پایا قبل از ساخته شدن آن و بررسی عملکرد آن واحد و رفع نقایص طراحی آن واحد.
- شبیه‌سازی واحد صنعتی ساخته شده و بهینه‌سازی شرایط عملیاتی آن واحد.
- جلوگیری از هدر رفتن سرمایه و ایجاد بهترین شرایط عملیاتی برای واحد صنعتی

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## اجزای نرم افزار های شبیه سازی



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## انواع شبیه سازی سیستم

- شبیه سازی پایا
  - در این حالت فرض می شود که سیستم در یک بازه زمانی طولانی کار کرده است و تمامی خواص سیستم بعد از آن بازه زمانی طولانی، با تغییر زمان در تمامی نقاط سیستم ثابت بماند.
- شبیه سازی ناپایا
  - طبیعت فرایندهای صنعتی همواره ناپایا است. بدین معنی که شرایط ترمودینامیکی جریان مانند دما و فشار و ویی و غیره همواره با زمان در حال تغییر است. علل شبیه سازی ناپایا بینه سازی فرایند طراحی سیستم های کنترلی، راه اندازی و از کار انداختن واحد و ... هستند.

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### فهرست مطالب

- اهمیت شبیه‌سازی فرآیندها در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای طراحی و تحلیل شبکه خطوط لوله گاز
- نتیجه‌گیری

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### فهرست مطالب

- اهمیت شبیه‌سازی فرآیندها در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای طراحی و تحلیل شبکه خطوط لوله گاز
- نتیجه‌گیری

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



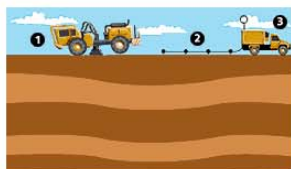
## نرم افزارهای شبیه سازی در صنایع نفت و گاز

- اکتشاف مخازن نفت و گاز
- حفاری مخازن نفت و گاز
- مهندسی مخازن نفت و گاز
- استخراج یا تولید
- فرآوری نفت و گاز
- خطوط لوله تک فازی انتقال نفت و گاز
- خطوط لوله توزیع گاز

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵

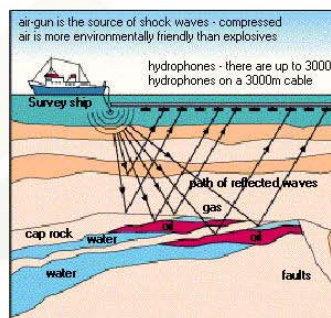


## اکتشاف مخازن نفت و گاز



- اکتشاف مخازن نفت و گاز شامل روش های تعیین محل مخازن هیدروکربنی است.

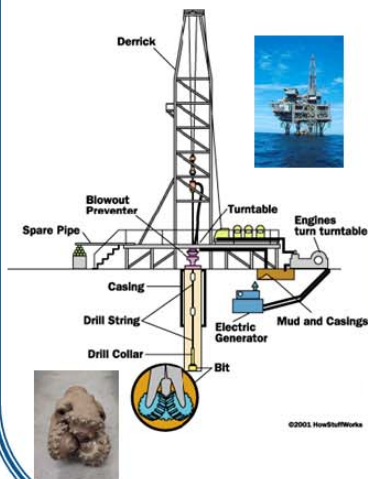
- نرم افزار های مورد استفاده در اکتشاف مخازن نفت و گاز عبارتند از:
  - نرم افزار **Petrel**
  - نرم افزار **RMS**



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## حفاری مخازن نفت و گاز



● حفاری مخازن نفت و گاز شامل روش های ایجاد چاه برای خارج کردن مواد هیدروکربنی است.

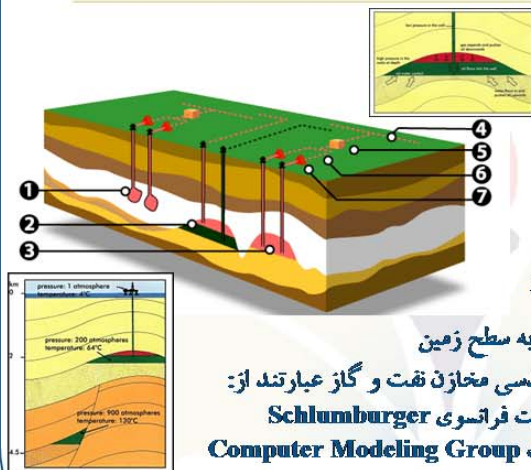
● نرم افزار های مورد استفاده در حفاری مخازن نفت و گاز عبارتند از:

- نرم افزار **Drilling Office**
- نرم افزار **StabView**
- نرم افزار **DrillSim**

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## مهندسی مخازن نفت و گاز



● مهندسی مخازن نفت و گاز شامل

بلعست آوردن مدل حرکت سیال

در لایه های زیرین مخزن گازی و

بلعست آوردن مدل حرکت سیال از

داخل مخزن به درون چاه و رسیدن به سطح زمین

● نرم افزار های مورد استفاده در مهندسی مخازن نفت و گاز عبارتند از:

- نرم افزار **EClips** محصول شرکت فرانسوی **Schlumberger**
- نرم افزار **CMG** محصول شرکت **Computer Modeling Group**
- نرم افزار **Pansys** محصول شرکت **EPS**

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## استخراج یا تولید

● استخراج یا تولید شامل بلست آوردن مدل جمع آوری گاز از چاه ها به وسیله خطوط لوله دو فاز انتقال گاز و بلست آوردن مقدار نفت و آب مایع جدا شده از گاز طبیعی به علت افت فشار و دما در داخل چاه و خطوط لوله انتقال دو فاز گاز و جداسازی آن بوسیله جداسازها و بلست آوردن مدل وسایل اندازه گیری مقدار نفت و گاز خروجی از جداساز و ارسال آن برای تصفیه.



● نرم افزار های مورد استفاده در استخراج و تولید عبارتند از:

- نرم افزار PIPESYS
- نرم افزار Well Flow
- نرم افزار PIPESIM محصول شرکت فراتسوی Schlumberger
- نرم افزار Well Perform محصول شرکت فراتسوی Schlumberger
- نرم افزار PIPEPHASE محصول شرکت (SIMSCI(Simulation Sciences Inc.))

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## فرآوری نفت و گاز



● فرآوری نفت و گاز شامل بلست آوردن مدل تصفیه گاز به منظور جدا کردن مواد آلوده کننده گاز طبیعی مانند سولفید هیدروژن و بلست آوردن مدل بازیافت گاز مایع و بلست آوردن مدل تراکم و مایع کردن گاز به منظور انتقال گاز بوسیله تانکرها و کشتی ها و غیره می باشد.

● نرم افزار های مورد استفاده در فرآوری نفت و گاز عبارتند از:

- نرم افزار ASPEN PLUS
- نرم افزار HYSYS
- نرم افزار ProII
- نرم افزار TSweet
- نرم افزار Hysim

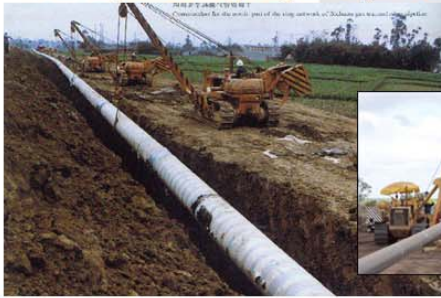


بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## خطوط لوله تک فازی انتقال نفت و گاز

- خطوط لوله تک فازی انتقال نفت و گاز شامل بدست آوردن مدل خطوط لوله تک فازی انتقال نفت و گاز به نقاط مصرف می باشد.
- نرم افزارهای مورد استفاده در شبیه سازی خطوط لوله تک فازی انتقال نفت و گاز عبارتند از:
  - نرم افزار ASPEN PLUS
  - نرم افزار HYSYS



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## خطوط لوله توزیع گاز

- خطوط لوله توزیع گاز شامل بدست آوردن مدل توزیع گاز در نقاط مصرف می باشد .
- نرم افزارهای مورد استفاده در شبیه سازی خطوط لوله توزیع گاز عبارتند از:
  - نرم افزار Piping Systems Fluid Flow
  - نرم افزار PIPEPHASE
  - نرم افزار GPL
  - نرم افزار FLUIDFLOW3
  - نرم افزار AFT ARROW
  - نرم افزار GASWORKS
  - نرم افزار DELTA-Q PROFESSIONAL



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



### فهرست مطالب

- اهمیت شبیه‌سازی فرآیندها در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای طراحی و تحلیل شبکه خطوط لوله گاز
- نتیجه‌گیری

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذرماه ۱۳۸۵



### فهرست مطالب

- اهمیت شبیه‌سازی فرآیندها در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای طراحی و تحلیل شبکه خطوط لوله گاز
- نتیجه‌گیری

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذرماه ۱۳۸۵





## نرم افزار Piping Systems Fluid Flow

- نرم افزار PSFF برای طراحی یا تحلیل شبکه های لوله به کار می رود که حاصل دوازده سال تجربه بدست آمده در طراحی سیستم های جریان سیال در زمینه های مختلف است. توانایی های آن عبارتند از
  - طراحی و یا تحلیل شبکه های لوله کشی برای جریان های تراکم پذیر یا تراکم ناپذیر همراه با اجزای مختلف شبکه مانند لوله ، پمپ ، شیرها و غیره
  - بررسی درستی عملکرد شبکه قبل ساخت و برطرف کردن مشکلات آن و جلوگیری از ضررهای مالی ناشی از اشتباهات طراحی

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## نرم افزار Piping Systems Fluid Flow

- شبیه سازی سیستم لوله کشی کارخانه موجود و بررسی و برطرف کردن مشکلات آن کرد و در نتیجه بالا بردن کارایی آن
- بررسی رفتار کلی کارخانه در هنگام راه اندازی و یا از کار افتادن آن و جلوگیری از خطرات احتمالی ناشی از رفتار غیربایای آن
- طراحی و یا شبیه سازی سیستم های لوله کشی توزیع گاز

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



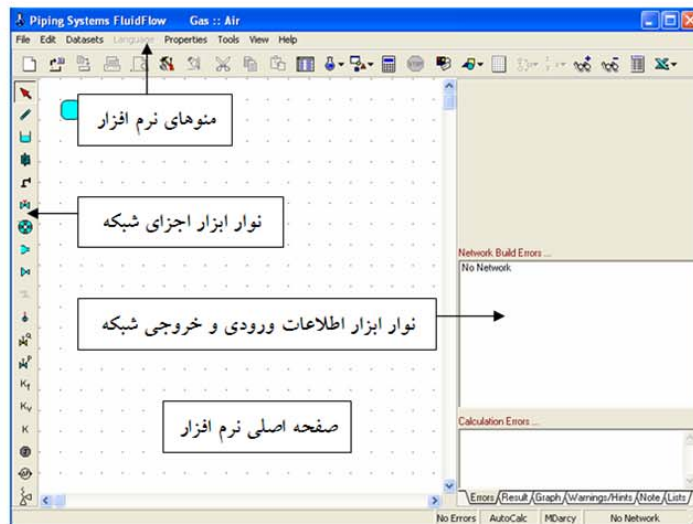
## حل شبکه در نرم افزار PSFF

- دو روش ثبت شده برای محاسبات شبکه خطوط لوله عبارتند از:
  - روش Hardy Cross
  - روش مستقیم
- این نرم افزار یک روش جدید محاسبات شبکه بر مبنای روش مستقیم ارائه کرده است که بدلیل مسائل تجاری از ذکر جزئیات آن خودداری کرده است.

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## بنجره نرم افزار Piping Systems Fluid Flow



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## نرم افزار PIPEPHASE

• این نرم افزار یک برنامه شبیه سازی است که به منظور پیش بینی فشار، دما، ماندگی سیال مایع در چاه ها، خطوط لوله، سیستم های جمع آوری، و دیگر سیستم های خطی و شبکه ای شامل پمپ ها، چاه ها، لوله ها، کمپرسورها، جداسازها و تجهیزات دیگر در حالت پایا به کار می رود. این نرم افزار توسط ( SIMSCI (Simulation Sciences Inc. طراحی شده است که از سال ۱۹۶۶ پیش از عرضه شبیه سازی بوده است. توانایی های این نرم افزار عبارتند از:

○ دارا بودن ابزار بهینه سازی نیرومندی به نام NETOPT که امکان بهبود عملکرد شبکه را به وسیله تعریف شرایط عملیاتی خاص در ضمن رعایت شدن محدودیت های شبکه فراهم می کند. به عنوان مثال می توان از حداکثر کردن میزان نفت تولیدی از سیستم جمع آوری چاه ها تحت شرایط تزریق گاز به مخزن و حداقل کردن هزینه سرمایه گذاری برای خط لوله جدید و مسائلی از این قبیل نام برد

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## نرم افزار PIPEPHASE

○ دارا بودن نرم افزار جابجایی به نام TACITE که امکان مدل کردن جریان سیال ناپایا و مدل سیال ترکیبی را در محیط نرم افزار Pipe Phase می دهد.  
○ قابلیت اتصال شبکه خطوط لوله را به نرم افزار های شبیه ساز مخزن Eclips  
○ دارا بودن قابلیت برنامه نویسی که به API معروف است. زبان های برنامه نویسی مورد استفاده عبارتند از:

- C++
- Visual Basic
- FORTRAN 77

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



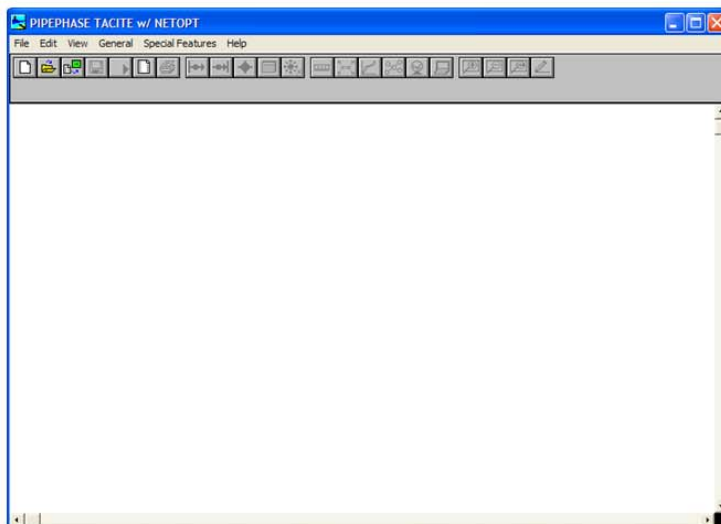
## حل شبکه در نرم افزار Pipe Phase

- این نرم افزار دارای ترکیب پیچیده‌ای از الگوریتم‌های متفاوت برای محاسبه افت فشار و انتقال حرارت در شبکه خطوط لوله می‌باشد. دو الگوریتم مورد استفاده در این نرم افزار عبارتند از:
  - الگوریتم **PBAL** که برای اکثر شبکه‌های خطوط لوله به کار می‌رود.
  - الگوریتم **MBAL** که برای خطوط لوله تک فازی جواب سریعتری می‌دهد.
- این نرم افزار برای حل شبکه به حدس‌های اولیه فشار در هر گره شبکه و دبی جریان در هر خط لوله، نیاز دارد که با تکرار محاسبات به جواب نهایی خواهد رسید.

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## پنجره نرم افزار PIPEPHASE



بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذر ماه ۱۳۸۵



## فهرست مطالب

- اهمیت شبیه‌سازی فرایندها در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در صنایع نفت و گاز
- نرم‌افزارهای طراحی و تحلیل شبکه خطوط لوله گاز
- نتیجه‌گیری

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذرماه ۱۳۸۵



## نتیجه‌گیری

- با توجه به پیشرفت بسیار سریع صنایع در جهان و پیچیده شدن محاسبات، استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی جزء جدایی ناپذیر طراحی‌ها شده است.
- در هنگام استفاده از هر نرم‌افزار باید میزان دقت و صحت نتایج حاصل از آن را با توجه به داده‌های عملیاتی بررسی کرد و از اعتماد بدون توجه به آنها صرف نظر کرد و بهترین نرم‌افزار را برای پروژه انتخاب کرد.
- با توجه به اینکه اکثر نرم‌افزارها تجاری هستند از نحوه انجام محاسبات آنها اطلاع دقیقی در دست نیست. همچنین خریداری آنها هزینه بالایی خواهد داشت. لذا بهتر است از مراکز تحقیقاتی کشور برای تولید نرم‌افزار استفاده کرد.

بزرگداشت هفته پژوهش، دانشگاه شهید چمران اهواز  
آذرماه ۱۳۸۵

# ت سمینار پروژه کارشناسی ارشد

(بررسی عوامل موثر بر ظرفیت خطوط لوله انتقال گاز)



Petroleum University of Technology  
Ahwaz Faculty of Petroleum Engineering  
Gas Engineering Department

## Investigation about the Impact of Several Parameters on Gas Flow in Pipelines

By:

**Seyyed Mohammad Fatemi Ardestani**

Supervisor:

**Dr. A. Helalizadeh**

**January 2007**

شکل ت. ۱: اسلاید شماره ۱



## Outline



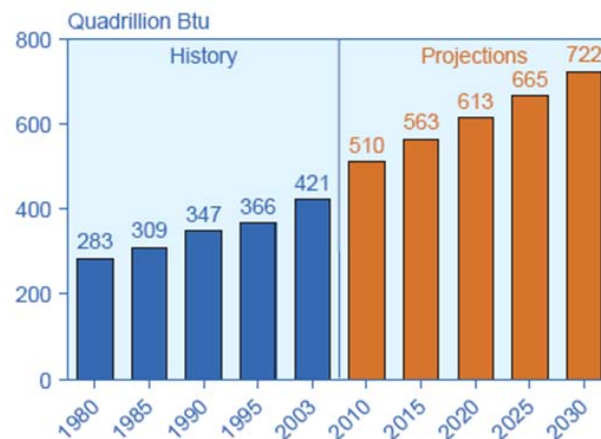
- ▶ International Energy Outlook
- ▶ Gas Transmission Methods
- ▶ Flow Equations and Correlations for Gas Transmission Pipelines
- ▶ Impact of Different Parameters on the Flow Capacity of Gas Transmission Pipelines
- ▶ Software Selection Criteria
- ▶ Future Works



شکل ت.۲: اسلاید شماره ۲



## International Energy Outlook



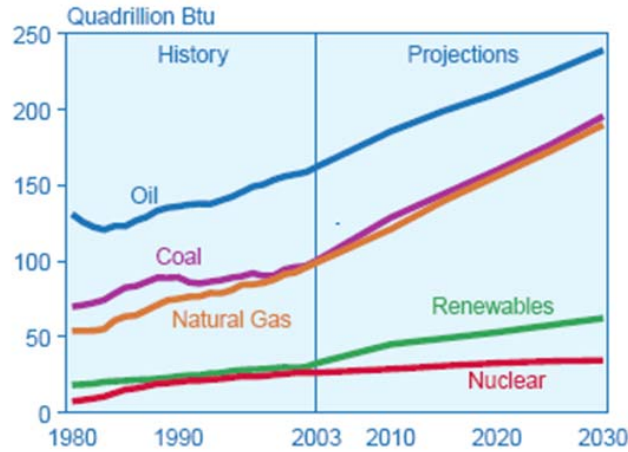
World Marketed Energy Consumption, 1980–2030



شکل ت.۳: اسلاید شماره ۳



# International Energy Outlook



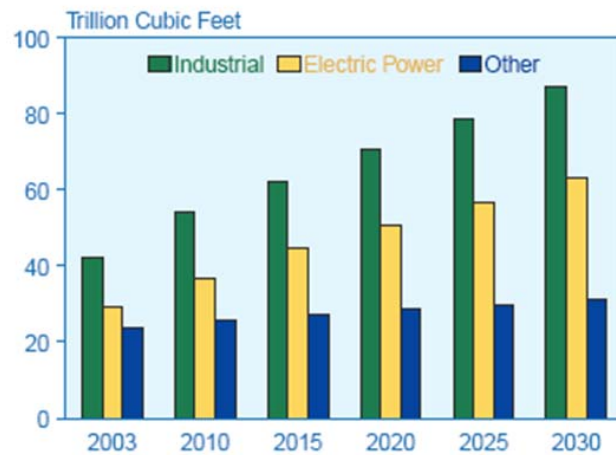
World Marketed Energy Use by Fuel Type, 1980–2030



شکل ت. ۴: اسلاید شماره ۴



# International Energy Outlook



World Natural Gas Consumption by End-Use Sector, 2003–2030



شکل ت. ۵: اسلاید شماره ۵





# International Energy Outlook



Country	Reserves (Trillion Cubic Feet)	Percent of World Total
World .....	6,112	100.0
Top 20 Countries .....	5,510	90.2
Russia .....	1,680	27.5
Iran .....	971	15.9
Qatar .....	911	14.9
Saudi Arabia .....	241	3.9
United Arab Emirates .....	214	3.5
United States .....	193	3.1
Nigeria .....	185	3.0
Algeria .....	161	2.6
Venezuela .....	151	2.5
Iraq .....	112	1.8
Indonesia .....	98	1.6
Norway .....	84	1.4
Malaysia .....	75	1.2
Turkmenistan .....	71	1.2
Uzbekistan .....	66	1.1
Kazakhstan .....	65	1.1
Netherlands .....	62	1.0
Egypt .....	59	1.0
Canada .....	57	0.9
Kuwait .....	56	0.9
Rest of World .....	602	9.8

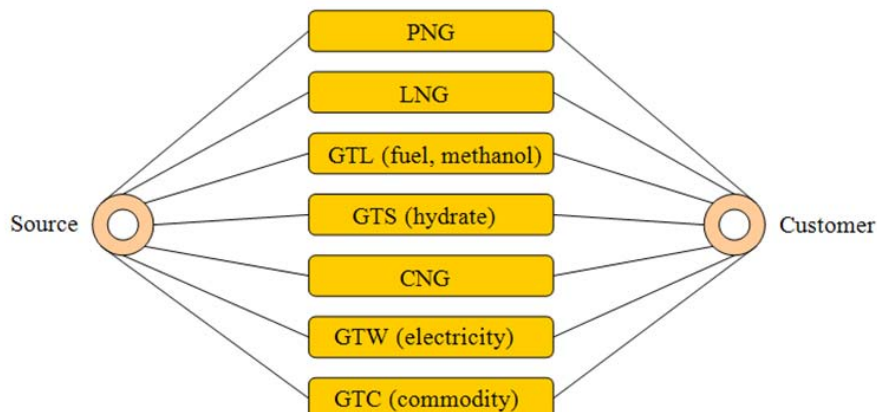
## World Natural Gas Reserves by Country as of January 1, 2006

Source: "Worldwide Look at Reserves and Production," *Oil & Gas Journal*, Vol. 103, No. 47 (December 19, 2005), pp. 24-25.

شکل ت.۶: اسلاید شماره ۶



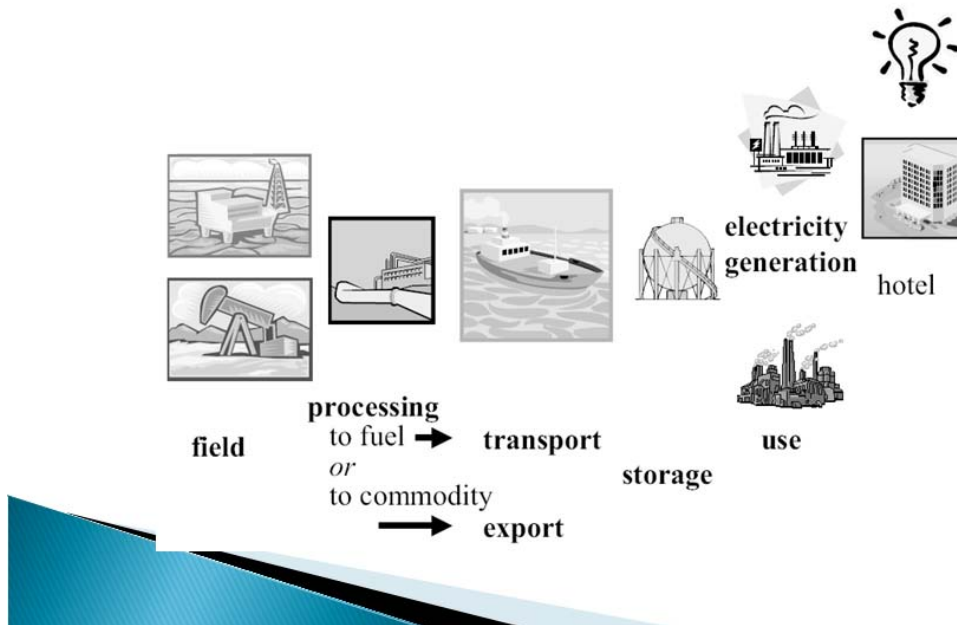
# Gas Transmission Methods



شکل ت.۷: اسلاید شماره ۷



## Gas Transmission Methods



شکل ت. ۸: اسلاید شماره ۸



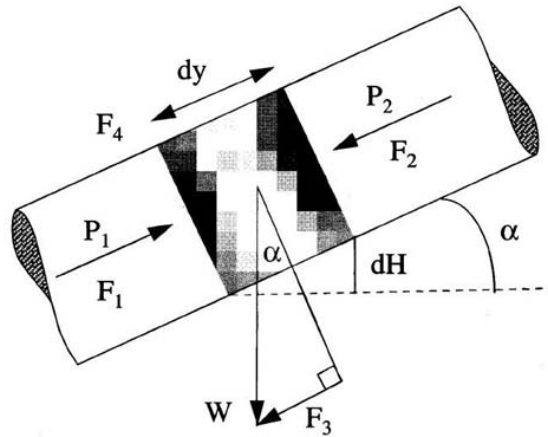
## Flow Equations and Correlations

- ▶ Transmission Pipeline Equations
- ▶ Compression Equations

شکل ت. ۹: اسلاید شماره ۹



## Transmission Pipeline Equations



Demonstration of all forces acting on a gas particle moving in a nonhorizontal pipeline

شکل ت. ۱۰: اسلاید شماره ۱۰



## Transmission Pipeline Equations



- ▶ The general form of the flow equation is obtained by adding all the terms together and setting them equal to zero:

$$\frac{C^2}{9c} \ln \frac{u_2}{u_1} + \frac{M}{2RZ_{ave}T_{ave}} (P_2^2 - P_1^2) + \frac{M^2 \cdot P_{ave}^2}{R \cdot T_{ave}^2 \cdot Z_{ave}^2} \Delta H + \frac{2fC^2}{9c \cdot D} L = 0$$

Kinetic Energy Term

Pressure Energy Term

Potential Energy Term

Friction Loss Term

شکل ت. ۱۱: اسلاید شماره ۱۱



## Transmission Pipeline Equations



- ▶ Some Assumption:
  - Kinetic Energy Term Neglected (for almost all high-pressure gas transmission lines, the contribution of the kinetic energy term compared to the other terms is insignificant)
  - Substitution of

$$C = \frac{\dot{m}}{A}, \quad C^2 = \left(\frac{\dot{m}}{A}\right)^2, \quad A = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ for a Pipe}$$

$$P_b \cdot Q_b = \dot{n}_b \cdot Z_b \cdot R \cdot T_b, \quad \dot{n}_b = \frac{\dot{m}}{M}$$

$$G = \frac{M_{gas}}{M_{air}}, \text{ where } M_{air} \approx 29$$

شکل ت. ۱۲: اسلاید شماره ۱۲



## Transmission Pipeline Equations



- ▶ General Flow Equations for Imperial or S.I. units; for any size or length of pipe; for laminar, partially turbulent or fully turbulent flow; and for low, medium, or high-pressure systems.

$$Q_b = \pi \sqrt{\frac{g_c \cdot R}{1856}} \frac{Z_b \cdot T_b}{P_b} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{58 Z_{ave} \cdot T_{ave} \cdot G \cdot L} \frac{58 G \cdot \Delta H \cdot P_{ave}^2}{R \cdot T_{ave} \cdot Z_{ave}}} \sqrt{\frac{1}{f}} D^{2.5}$$

شکل ت. ۱۳: اسلاید شماره ۱۳



## Transmission Pipeline Equations



### ▶ Transmission Factor for commonly used flow equations $\sqrt{\frac{1}{f}}$

- Fritzsche

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = 5.145 (\text{Re} \cdot D)^{0.071}$$

- Fully Turbulent

$$4 \log (3.7D / k_e)$$

- Panhandle B

$$16.49 (\text{Re})^{0.01961}$$

- Colebrook -White

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = -4 \log \left( \frac{k_e}{3.7D} + \frac{1.4126 \sqrt{\frac{1}{f}}}{\text{Re}} \right)$$

شکل ت. ۱۴: اسلاید شماره ۱۴



## Transmission Pipeline Equations



### ▶ Transmission Factor for commonly used flow equations $\sqrt{\frac{1}{f}}$

- Panhandle A

$$6.872 (\text{Re})^{0.0730}$$

- Weymouth

$$11.19 D^{1/6}$$

- Spitzglass

$$\left( \frac{354}{1 + 3.6/D + 0.03D} \right)^{0.5}$$

شکل ت. ۱۵: اسلاید شماره ۱۵



## Compression Equations



- ▶ Theoretically, there are three form of Natural Gas Compression:
  - Isothermal (Impossible in Real)
  - Adiabatic Reversible (Isentropic)
  - Polytropic



شکل ت. ۱۶: اسلاید شماره ۱۶



## Work-Adiabatic Gas compression



- ▶ Work integral Equation:

$$-W = \int_1^2 V.dP$$

- ▶ Adiabatic Pressure-Volum

$$P.V^k = cte$$

- ▶ Real Gas Equation of State:

$$P.V = nZRT$$

- ▶ General Equation:

$$W(Head) = \frac{53.28}{G} T_1 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \text{ ft.lbf / lb}_m$$



شکل ت. ۱۷: اسلاید شماره ۱۷



## HP of Adiabatic Gas compression



### ► Horse Power Equation

$$HP = \frac{\text{mass flow Head}}{\text{thermal efficiency of compression}}$$

$$HP = 0.0857 \cdot \frac{K}{K-1} \cdot T_1 \cdot \frac{Z_1 + Z_2}{2} \cdot \frac{1}{\eta_a} \cdot \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]$$

شکل ت. ۱۸: اسلاید شماره ۱۸



## HP of Adiabatic Gas compression



### ► Adiabatic Efficiency

$$\eta_a = \frac{\text{Adiabatic Head}}{\text{Actual Head}} \rightarrow 0.75 - 0.79$$

$$\eta_a = \frac{T_1 \cdot \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]}{T_2 - T_1}$$

شکل ت. ۱۹: اسلاید شماره ۱۹



## Impact of Different Parameters

- ▶ Pipeline Parameters
- ▶ Gas Parameters
- ▶ Heat Transfer Parameters
- ▶ System Parameters
- ▶ Compression Parameters



شکل ت. ۲۰: اسلاید شماره ۲۰



## Pipeline Parameters

$$Q_b = \pi \sqrt{\frac{g_c \cdot R}{1856}} \cdot \frac{Z_b \cdot T_b}{P_b} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{58 Z_{ave} \cdot T_{ave} \cdot G \cdot L} \cdot \frac{58 G \cdot \Delta H \cdot P_{ave}^2}{R \cdot T_{ave} \cdot Z_{ave}}} \cdot \sqrt{\frac{1}{f}} \cdot D^{2.5}$$

Drag Factor	Effective Pipeline Roughness	Pipe Grade/Wall Thicknesses	Diameter
$\frac{Q_2}{Q_1} = k \cdot D_f$	$\sqrt{\frac{1}{f}} = 4 \log_{10} \left( \frac{3.7d}{k_e} \right)$	$\sqrt{\frac{1}{f}} = 4 \log_{10} \left( \frac{3.7d}{k_e} \right)$	$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_{F2}}{T_{F1}} \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^{2.5}$
$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_{f2}}{D_{f1}}$	$\frac{Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{\log(k_{e1}/k_{e2})}{\log(3.7D/k_{e1})}$	$\frac{Q_2}{Q_1} = \left[ 1 - \left( \frac{R-1}{\frac{D_o}{2wt_1} - 1} \right) \right]^{2.5}$	<b>Length</b> $\frac{Q_2}{Q_1} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$

شکل ت. ۲۱: اسلاید شماره ۲۱





## Gas Parameters

$$Q_b = \pi \sqrt{\frac{g_c \cdot R}{1856}} \frac{Z_b \cdot T_b}{P_b} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{58 Z_{ave} \cdot T_{ave} \cdot G \cdot L}} \frac{58 G \cdot \Delta H \cdot P_{ave}^2}{R \cdot T_{ave} \cdot Z_{ave}} \sqrt{\frac{1}{f}} D^{2.5}$$

### Viscosity of Gas

- No Significant effect for fully turbulent flow
- For partially turbulent the effect of viscosity appear near the pipe wall(Viscous Sublayer)

### Compressibility Factor

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

### Specific Gravity

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \sqrt{\frac{SG_1}{SG_2}}$$

شکل ت. ۲۲: اسلاید شماره ۲۲



## System Parameters

$$Q_b = \pi \sqrt{\frac{g_c \cdot R}{1856}} \frac{Z_b \cdot T_b}{P_b} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{58 Z_{ave} \cdot T_{ave} \cdot G \cdot L}} \frac{58 G \cdot \Delta H \cdot P_{ave}^2}{R \cdot T_{ave} \cdot Z_{ave}} \sqrt{\frac{1}{f}} D^{2.5}$$

Pressure Buffers

Operating Pressure

Delivery Pressure

Average Flowing Gas Temperature

Elevation Changes

Miss Razi & Mr Tahmasbnezhad

$$\frac{Z_2 Q_2^2}{Z_1 Q_1^2} = \frac{P_2^2 - P_d^2}{P_1^2 - P_d^2}$$

$$\frac{Z_2 Q_2^2}{Z_1 Q_1^2} = \frac{P_2^2 - P_d^2}{P_1^2 - P_d^2}$$

$$\frac{Z_2 Q_2^2}{Z_1 Q_1^2} = \frac{P_s^2 - P_2^2}{P_s^2 - P_1^2}$$

$$\frac{T_1 Z_1}{T_2 Z_2} = \frac{Q_2^2}{Q_1^2}$$



شکل ت. ۲۳: اسلاید شماره ۲۳



## Compression Parameters

$$W(\text{Head}) = \frac{53.28}{G} T_1 \frac{k}{k-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \text{ ft.lbf / lb}_m$$

$$HP = \frac{\text{mass flow Head}}{\text{thermal efficiency of compression}}$$

$$HP = 0.0857 \cdot \frac{K}{K-1} T_1 \frac{Z_1 + Z_2}{2} \frac{1}{\eta_a} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

Impact of Variation of Adiabatic Efficiency on Flow/Fuel Consumption

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\eta_{a1}}{\eta_{a2}}$$

Compression Ratio

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{CR_1^N - 1}{CR_2^N - 1}$$

Horsepower

$$Q = kH_p$$

شکل ت. ۲۴: اسلاید شماره ۲۴



## Compression Parameters

$$W(\text{Head}) = \frac{53.28}{G} T_1 \frac{k}{k-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \text{ ft.lbf / lb}_m$$

$$HP = \frac{\text{mass flow Head}}{\text{thermal efficiency of compression}}$$

$$HP = 0.0857 \cdot \frac{K}{K-1} T_1 \frac{Z_1 + Z_2}{2} \frac{1}{\eta_a} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

Impact of Isentropic Exponent on Fuel Consumption

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{CR_1^N - 1}{CR_2^N - 1}$$

Impact of the Heat Rate/Constant on Fuel Consumption

Programming with  
MATLAB

Wweclap.com

Impact of Ambient Temperature on Compressor Capability



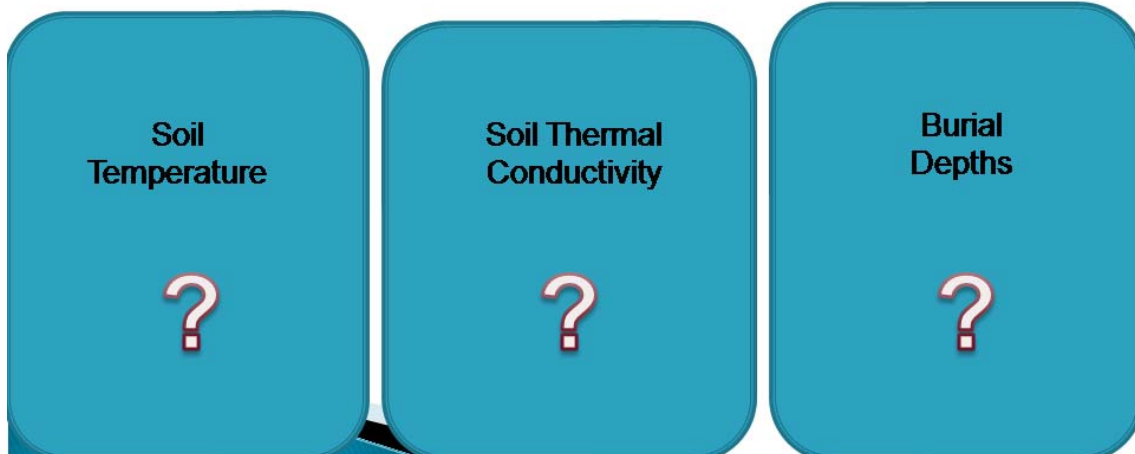
شکل ت. ۲۵: اسلاید شماره ۲۵



## Heat Transfer Parameters



$$Q_b = \pi \sqrt{\frac{g_c \cdot R}{1856} \frac{Z_b \cdot T_b}{P_b}} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2 - \frac{58G \cdot \Delta H \cdot P_{ave}^2}{R \cdot T_{ave} \cdot Z_{ave}}}{58Z_{ave} \cdot T_{ave} \cdot G \cdot L}} \sqrt{\frac{1}{f}} D^{2.5}$$



شکل ت. ۲۶: اسلاید شماره ۲۶

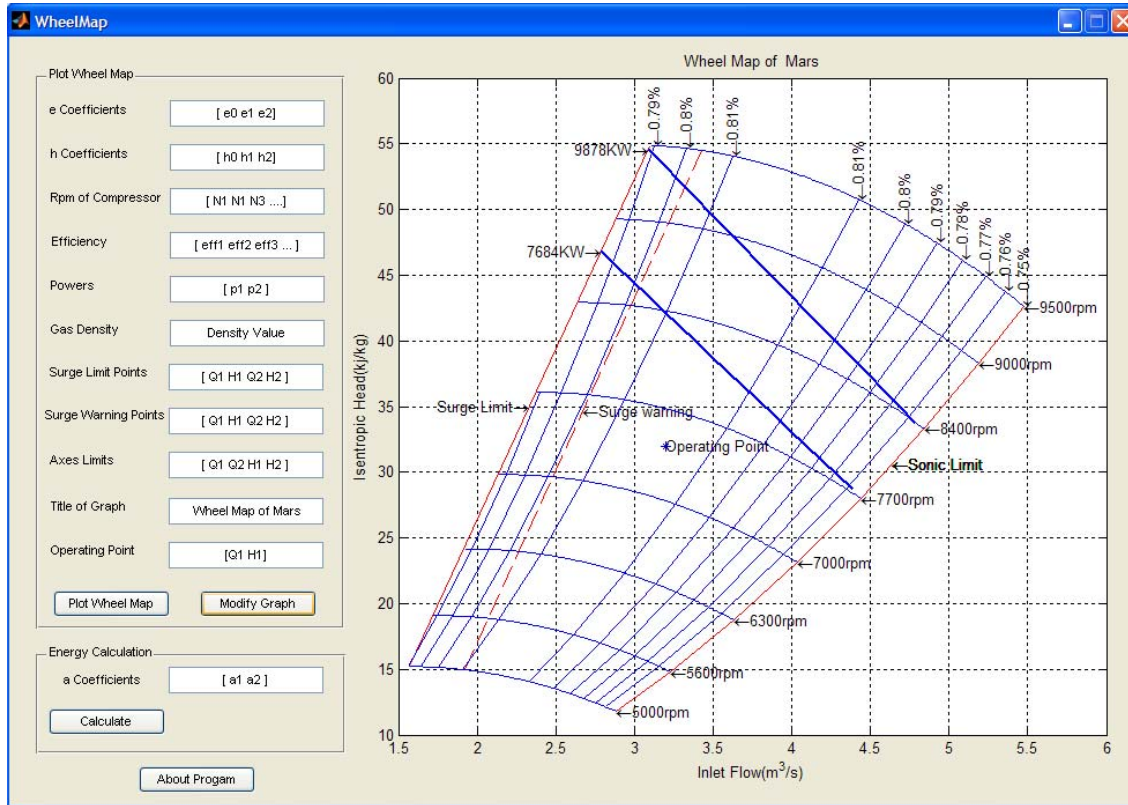


## Software Selection Criteria



- ▶ HYSYS
- ▶ ASPEN PLUS
- ▶ PIPEPHASE
- ▶ Programming With MATLAB

شکل ت. ۲۷: اسلاید شماره ۲۷



شکل ت. ۲۸: اسلاید شماره ۲۸



## Future Work



- ▶ Investigation about the impact of several parameters on flow capacity by the use of Process Softwares and Programming with MATLAB
- ▶ Optimizing the fuel consumption for parallel or series compressors in Gas Compressor Stations
- ▶ Investigation about the effect of injection of heavy hydrocarbons on flow capacity

شکل ت. ۲۹: اسلاید شماره ۲۹



*Thanks for Your Attention*



شکل ت. ۳۰: اسلاید شماره ۳۰