



دانشگاه شهید چمران اهواز  
مرکز پژوهشی شبکه‌های گازرسانی

گزارش ماهیانه فعالیت‌های انجام‌شده در دی‌ماه ۱۳۹۳

**GNRC-KHGC-MR 1393-09**

۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۳

گزارش فعالیت‌های دی‌ماه ۱۳۹۳	عنوان
GNRC-KHGC- MR 1393-09	کد گزارش
۱۳۹۳/۱۱/۶	تاریخ
<p>دکتر مرتضی بهبهانی‌نژاد، عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک دانشگاه شهید چمران</p> <p>دکتر مازیار چنگیزیان، عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک دانشگاه شهید چمران</p> <p>مهندس محمدرضا کاویان‌نژاد، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران</p> <p>مهندس مهدی طهماسبی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران</p> <p>مهندس علی نعمتی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران</p> <p>خانم فروزنده عمید، کارشناس شیمی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج</p>	تدوین کنندگان
<p>به منظور محاسبه میزان گاز هدررفت از شبکه‌های گسترده جهت افزایش قابلیت‌های محاسباتی نرم‌افزار GNPurge، در این ماه سه شبکه گسترده نمونه به صورت عددی و در چندین شرایط حرارتی متفاوت شبیه‌سازی شدند تا بدین ترتیب بتوان لزوم در نظر گرفتن اثرات انتقال حرارت جریان با محیط پیرامون را در محاسبه میزان گاز هدررفت مورد بررسی قرار داد. شرح فعالیت‌های صورت گرفته در این راستا در فصل دوم گزارش آورده شده است. پیرو فعالیت‌های مربوط به آزمایشگاه تخصصی گاز، جهت اعتبارسنجی نتایج تجربی حاصل از آن، دو شبکه‌ی دلخواه که قابل تولید در آزمایشگاه می‌باشند شبیه‌سازی شد. شرح بیشتر این شبیه‌سازی‌ها در فصل سوم ارائه شده است.</p>	چکیده

## فهرست مطالب:

۱	..... مقدمه
۳	..... ۱.۱ فعالیت‌های خارج از برنامه
۵	..... ۲ شیبه‌سازی هدررفت گاز از شبکه‌ی خطوط لوله
۶	..... ۲.۱ شبکه نمونه اول
۱۰	..... ۲.۲ شبکه نمونه دوم
۱۴	..... ۲.۳ شبکه نمونه سوم
۱۸	..... ۲.۴ جمع‌بندی
۱۸	..... ۲.۵ مراجع
۱۹	..... ۳ شیبه‌سازی عددی
۱۹	..... ۳.۱ خط لوله
۲۰	..... ۳.۲ شبکه شاخه‌ای
۲۱	..... ۳.۳ نتایج حاصل از شیبه‌سازی
۲۵	..... ۳.۴ مراجع
۲۶	..... ۴ فعالیت‌های ماه آتی

## فهرست شکل‌ها:

- شکل ۱-۲: شماتیک شبکه‌ی شاخه‌ای اول ..... ۶
- شکل ۲-۲: شماتیک شبکه‌ی نمونه دوم ..... ۱۰
- شکل ۳-۲: شماتیک شبکه‌ی نمونه سوم ..... ۱۴
- شکل ۱-۳: شبکه شاخه‌های شبیه‌سازیشده ..... ۲۰
- شکل ۲-۳: تغییر فشار استاتیک در راستای طول لوله ..... ۲۲
- شکل ۳-۳: تغییر عدد ماخ در راستای طول لوله ..... ۲۲
- شکل ۴-۳: تغییر فشار استاتیک در راستای خط مرکزی انشعاب‌ها ..... ۲۳
- شکل ۵-۳: تغییر عدد ماخ در راستای خط مرکزی انشعاب‌ها ..... ۲۴

## فهرست جدول‌ها:

- جدول ۱-۲: طول انشعابات شبکه نمونه اول..... ۷
- جدول ۲-۲: دبی نرمال حجمی انشعابات با مصرف مشخص در شبکه نمونه اول..... ۷
- جدول ۳-۲: مقادیر دبی حجمی هدررفت از شبکه نمونه اول در شرایط حرارتی مختلف..... ۹
- جدول ۴-۲: طول انشعابات شبکه نمونه دوم..... ۱۱
- جدول ۵-۲: دبی نرمال حجمی انشعابات با مصرف مشخص در شبکه نمونه دوم..... ۱۱
- جدول ۶-۲: مقادیر دبی حجمی هدررفت از شبکه نمونه دوم در شرایط حرارتی مختلف..... ۱۳
- جدول ۷-۲: طول انشعابات شبکه نمونه سوم..... ۱۵
- جدول ۸-۲: دبی نرمال حجمی انشعابات با مصرف مشخص در شبکه نمونه سوم..... ۱۵
- جدول ۹-۲: مقادیر دبی حجمی هدررفت از شبکه نمونه سوم در شرایط حرارتی مختلف..... ۱۷
- جدول ۱-۳: مشخصات فیزیکی خط لوله شبیه سازی شده..... ۱۹
- جدول ۲-۳: شرایط جریان در ورود به خط لوله..... ۲۰
- جدول ۳-۳: مشخصات فیزیکی خطوط لوله در شبکه شاخه ای شبیه سازی شده..... ۲۰
- جدول ۴-۳: دبی جرمی هر انشعاب در شبیه‌سازی شبکه شاخه ای..... ۲۴

# ۱ مقدمه

در این گزارش فعالیت‌های انجام‌شده در دی‌ماه ۱۳۹۳ توسط مرکز پژوهشی شبکه‌های گازرسانی استان خوزستان تشریح می‌شود. مطابق با برنامه از پیش تنظیم شده، موارد زیر برای فعالیت‌های این ماه در نظر گرفته شده‌بود:

۱. پرچ از شبکه گسترده خطوط لوله با در نظر گرفتن اثر انتقال حرارت
۲. مدل سازی انجام شبیه‌سازی پرچ متناظر با آزمایشگاه تحقیقاتی گاز
۳. تعیین افت‌های موضعی جریان سرعت بالا از انشعابات غیرهم قطر به روش CFD
۴. انجام مراحل پیش‌بینی شده جهت تکمیل پروژه بهینه‌سازی مصرف در کارخانه آجرسازی شیرین‌سفال
۵. مدل‌سازی چند شبکه نمونه حفاظت کاتدیک توسط نرم‌افزار GNCATH
۶. بازدید از کشت و صنعت دهخدا

پیرو برنامه افزایش قابلیت‌های محاسباتی نرم‌افزار GNPurge، در ماه گذشته شبیه‌سازی عددی هدررفت گاز از یک خط لوله به یک شبکه‌ی گسترده تعمیم داده شد. در نهایت نیز پس از اعتبارسنجی نتایج برنامه کامپیوتری تدوین شده، اثرات انتقال حرارت جریان با محیط پیرامون بر پارامترهای جریان در یک شبکه شاخه‌ای بسیار ساده مورد بررسی قرار گرفتند. در تکمیل فعالیت‌های مذکور نیز در این فرآیند هدررفت گاز از ۳ شبکه گسترده نمونه بزرگ (با مجموع طول انشعابات حدود ۱ کیلومتر در هر سه شبکه) به صورت عددی شبیه‌سازی شد. هدف از شبیه‌سازی‌های مذکور، بررسی میزان اثرات ناشی از انتقال حرارت جریان با محیط پیرامون بر مقدار دبی هدررفت محاسبه شده در این شبکه بود. بدین ترتیب فرآیند پرچ گاز از هر یک شبکه‌های بررسی شده در چندین شرایط حرارتی متفاوت شبیه‌سازی شدند و میزان دبی هدررفت در هر حالت نیز با دبی هدررفت از

آن شبکه و در شرایط آدیاباتیک فرض کردن جریان مقایسه شدند. شرح فعالیت‌های مذکور به تفصیل در فصل دوم گزارش آورده شده‌است.

پیرو فعالیت‌های مربوط به آزمایشگاه تخصصی گاز، در این ماه دو شبکه گازی قابل تولید در این آزمایشگاه بصورت عددی شبیه‌سازی شدند. از عواملی که باعث ایجاد خطا در نتایج تجربی می‌گردد، می‌توان به نشتی هوا از شبکه، کالیبره نبودن سنسورهای داده‌برداری و ... اشاره نمود. لذا جهت پی بردن به صحت نتایج تجربی لازم است که بصورت عددی تعدادی از شبکه‌های آزمایشگاه تخصصی گاز را شبیه‌سازی نمود که هدف از انجام این دو شبیه‌سازی نیز تحقق همین امر بود. شبکه‌های شبیه‌سازی شده شامل یک خط لوله و یک شبکه شاخه‌ای می‌باشند. در فصل سوم نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها عددی این دو شبکه قابل تولید در آزمایشگاه تخصصی گاز، ارائه می‌گردد.

جهت تکمیل نرم افزار پرچ و تعمیم مدل‌سازی‌ها به سائزهای مختلف فیلتر و شیرهای تخلیه گاز در این ماه سائزهای مختلف استفاده شده در ایستگاه‌ها تهیه گردید. بر اساس اطلاعات بدست آمده تنوع بسیار زیادی در سائزهای ایستگاه‌ها وجود دارد. بدیهی است که مدل‌سازی تمامی این حالت‌ها مستلزم صرف زمان بسیار زیادی بوده و از طرفی خارج از اهداف طراحی نرم‌افزاری می‌باشد. جهت سهولت امر با توجه به اطلاعات دریافت شده، مدل‌سازی‌ها بر اساس نسبت قطرهای پایه‌ریزی شد. به عبارتی نسبت قطرهای ۲، ۳، ۴، ۶ و ۸ به عنوان نماینده انتخاب شده و بدین‌وسیله طیف وسیعی از مسائل پوشش داده می‌شود. با انتخاب این نسبت‌ها، هندسه‌های متناسب تولید شده و در نهایت مدل‌سازی‌ها انجام خواهد گرفت. در این ماه دو نسبت قطر ۴ به ۲ و ۶ به ۲ مدل‌سازی شده که با توجه به زمانبر بودن رسیدن به جواب نهایی توسط نرم‌افزار فلوئنت، در ماه آتی نتایج آن در اختیار خواهد بود.

در رابطه با بهبود مصرف گاز در کارخانه‌ی شیرین‌سفال، در این ماه جلسه توجیهی با مسئولین شرکت گاز و مدیر عامل کارخانه آجرپزی شیرین‌سفال برگزار گردید. در این جلسه پس از شفاف‌سازی فعالیت‌های انجام شده توسط مرکز پژوهش گاز و مشخص کردن تجهیزات مورد نیاز، تصمیم بر این شد که پس از گذراندن بازه امتحانات دانشگاه، هماهنگی‌های لازم جهت تهیه تجهیزات مورد نیاز از قبیل رگولاتور و کنتور تعیین مصرف گاز به همراه تصحیح‌کننده انجام شود. پس از گذراندن امتحانات هماهنگی‌های لازم صورت گرفت که با وجود درگیری کاری بسیار کارکنان شرکت گاز در نهایت رگولاتور و کنتور تهیه گردید و در نقطه مشخص شده با رعایت استاندارد نصب رگولاتور و کنتور اندازه‌گیری گاز، در مسیر گاز ورودی به کوره شماره ۲ نصب شدند. از آنجا که یکی از طرح‌های کاهش مصرف گاز تقلیل فشار گاز مصرفی بود، فشار ۱۵ psi را برای گاز ورودی به کوره در نظر گرفته و به وسیله رگولاتور فشار تنظیم شد. هم‌اکنون کوره شماره

۲ با فشار ۱۵ psi کار می‌کند البته از آنجا که کاهش فشار به تنهایی کارساز نیست بایستی آجرها با چیدمان جدید درون قمیرها قرار گیرند. در بازدید صورت گرفته هماهنگی‌های لازم با مسئول کارخانه به منظور استفاده از چیدمان جدید انجام شد و قرار بر این شد که داده‌های مورد نیاز از قبیل میزان مصرف گاز و تولید آجر در یک بازه زمانی تهیه گردد تا بتوان با بدست آوردن پارامتر مصرف ویژه انرژی، بررسی‌های مورد نظر صورت گیرد و کارآمدی طرح مذکور مشخص گردد. با دسترسی به اطلاعات جمع‌آوری شده، در ماه آتی نتایج این تغییرات مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

برای مدل‌سازی چند شبکه نمونه توسط نرم‌افزار GNCath نیز نمونه فایل‌هایی از جناب آقای فتاحی تحویل گرفته شد. با توجه به ابهاماتی که در فایل‌ها مشاهده گردید، جلسه‌ای برای رفع ابهام و انجام مدل‌سازی ترتیب داده شد. متأسفانه در این جلسه مشخص گردید که نقشه‌ها ناقص بوده و نقشه‌ی نهایی که در برگرفته‌ی یک شبکه واحد تحت حفاظت باشد، موجود نبود. بر این اساس قرار شد پس از تهیه نقشه‌ی کامل، این نقشه برای مدل‌سازی به مرکز پژوهش ارسال شود.

هماهنگی برای بازدید از کشت و صنعت دهخدا در این ماه نیز مقدور نشده و بازدید از آن به بعد از جلسه‌ی تصمیم‌گیری در مورد روش اجرای پروژه کاهش مصرف گاز در صنایع موکول گردید. فصل آخر نیز در برگرفته‌ی فعالیت‌های ماه آتی می‌باشد.

## ۱.۱ فعالیت‌های خارج از برنامه

بحث مربوط به اصلاح پکیج ایستگاه تقویت و تقلیل فشار آزمایشگاه تخصصی گاز از موارد خارج از برنامه‌ای بود که در این ماه به آن پرداخته شد. این پکیج در ماه‌های قبل تکمیل گردید اما جهت استفاده برای پیمانکار پروژه، نیاز بود که اصلاح شده و مواردی به آن اضافه گردد. این موارد عبارتند از:

- تهیه لیست اقلام پروژه
- اصلاح و کد گذاری نقشه‌های اتوکد و ایزومتریک
- تعیین نوع و مکان ساپورت‌های لوله
- تهیه شرح کار مختصر برای پیمانکار
- تهیه نقشه ساختمان ایستگاه
- تهیه نقشه شماتیک کلی از پایپینگ و جانمایی تجهیزات



---

از آن‌جا که پاپینگ درون سوله در حال نصب و اجرا می‌باشد، نیاز بود که پکیج مربوط به بخش ایستگاه تقویت و تقلیل فشار نیز تکمیل گردد. لذا با تکمیل شدن این پکیج و تعیین پیمانکار اجرایی پروژه، این بخش از پاپینگ آزمایشگاه تخصصی گاز نیز تکمیل شده و در آینده نزدیک این آزمایشگاه به مرحله بهره‌برداری خواهد رسید.

## ۲ شبیه‌سازی هدررفت گاز از شبکه‌ی خطوط

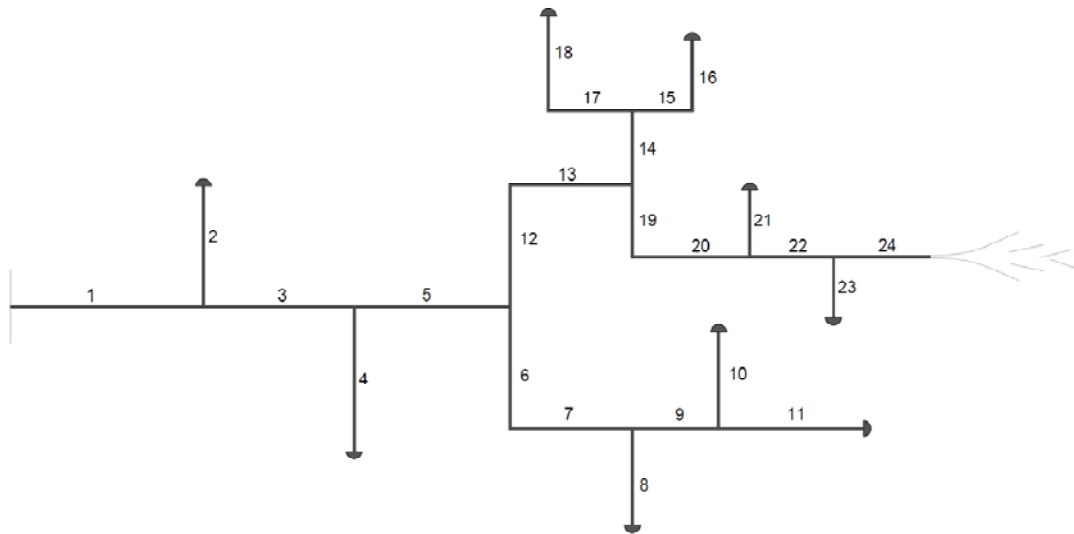
### لوله

پیرو تکمیل قابلیت‌های محاسباتی نرم‌افزار GNPurge جهت محاسبه حجم گاز هدررفت از یک شبکه‌ی گسترده، مطالعه و بررسی اثرات انتقال حرارت جریان با محیط پیرامون بر پارامترهای جریان در دستور کار مرکز پژوهشی قرار گرفت. در این راستا در ماه گذشته پس از توسعه الگوریتم و کد محاسباتی متناسب با آن جهت حل جریان در یک شبکه از خطوط لوله، ابتدا مساله‌ی نمونه‌ای حل شد تا بدین ترتیب از صحت نتایج کد محاسباتی اطمینان حاصل شود. در ادامه نیز فرآیند هدررفت از یک شبکه‌ی سه شاخه‌ای ساده شبیه‌سازی شد و اثرات در نظر گرفتن ترم انتقال حرارت با محیط پیرامون بر پارامترهای جریان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی مذکور، تاثیر قابل ملاحظه‌ای از انتقال حرارت جریان با محیط پیرامون را بر پارامترهایی نظیر فشار، عدد ماخ و دبی هدررفت نشان نمی‌دادند. به گونه‌ای که ماکزیمم اختلاف‌های نسبی مابین دبی‌های محاسبه شده برای فرض وجود انتقال حرارت و فرض جریان آدیاباتیک کمتر از ۰/۵ محاسبه شد.

در این ماه فرآیند پرچ گاز از سه شبکه‌ی نمونه گسترده شبیه‌سازی شده است. شبکه‌ای نخست، شبکه‌ای شاخه‌ای با انشعابات و مصرف‌کننده‌های متعددی بوده که پرچ گاز از یکی از انشعابات آن انجام می‌شود. شبکه‌ی دوم نیز مجدداً شبکه‌ای شاخه‌ای انتخاب شده اما با این تفاوت که پرچ گاز از دو انشعاب آن و به صورت همزمان انجام می‌پذیرد. در انتها نیز شبکه‌ای گسترده و مختلط (شامل حلقه و شاخه) شبیه‌سازی شده که پرچ گاز از یکی از انشعابات آن صورت می‌گیرد. در هر یک از بخش‌های مذکور ابتدا شبکه‌ی مربوطه معرفی و اطلاعات آن آورده شده و سپس روند کلی حل مساله در آن نوع شبکه بیان خواهد شد. در انتها نیز تاثیرات در نظر گرفتن انتقال حرارت جریان با محیط پیرامون، بر دبی هدررفت محاسبه شده از شبکه مربوطه بررسی خواهد شد.

## ۱.۲ شبکه نمونه اول

نخستین شبکه‌ی گسترده‌ی مورد بررسی، شبکه‌ای شاخه‌ای با تعدادی مصرف‌کننده مشخص بوده و جریان گاز از یکی از انشعابات آن به محیط اتمسفر پرج می‌شود. شماتیکی از شبکه‌ی مذکور را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل ۱-۲ می‌توان مشاهده نمود، جریان گاز از انشعاب شماره ۱ با فشاری معادل با فشار شبکه‌ی توزیع (۶۰ Psig) و دمای ۲۵ درجه سلسیوس وارد شبکه شده و پس از تامین مصرف گره‌های مصرفی از طریق انشعاب شماره ۲۴ به اتمسفر تخلیه می‌گردد.



شکل ۱-۲: شماتیک شبکه‌ی شاخه‌ای اول

تمامی انشعابات این شبکه دارای قطر، زبری، ضخامت و ضریب هدایت حرارتی مشابهی هستند که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر با ۰/۰۵۰۸ متر، ۰/۰۰۰۰۹ متر، ۰/۰۰۰۳۹ متر و ۳۰ W/mK می‌باشند. شبکه‌ی مذکور در زیر خاک و به عمق ۱/۵ متر از سطح زمین مدفون شده‌است. ضریب هدایت حرارتی خاک نیز برابر با ۱ W/mK در نظر گرفته شده‌است. در ادامه نیز طول انشعابات نشان داده شده در شکل ۱-۲، در جدول ۱-۲ آورده شده‌اند. لازم به ذکر است که مجموع طول انشعابات این شبکه بیش از ۱ کیلومتر می‌باشد. همچنین دبی نرمال حجمی آن دسته از انشعاباتی که به گره‌ای با مصرفی مشخص منتهی می‌شوند (نظیر انشعابات شماره ۲، ۴، ۸، ۱۰، ۱۶، ۱۸، ۲۱ و ۲۳)، در جدول ۲-۲ آورده شده‌است.

جدول ۱-۲: طول انشعابات شبکه نمونه اول

شماره لوله	طول (m)	شماره لوله	طول (m)
۱	۸۰	۱۳	۵۰
۲	۵۰	۱۴	۳۰
۳	۶۲	۱۵	۲۵
۴	۶۰	۱۶	۳۰
۵	۶۴	۱۷	۳۵
۶	۵۰	۱۸	۴۰
۷	۵۰	۱۹	۳۰
۸	۴۰	۲۰	۵۰
۹	۳۵	۲۱	۲۸
۱۰	۴۰	۲۲	۳۴
۱۱	۶۰	۲۳	۲۵
۱۲	۵۰	۲۴	۴۰

جدول ۲-۲: دبی نرمال حجمی انشعابات با مصرف مشخص در شبکه نمونه اول

شماره لوله	دبی حجمی (Nm <sup>3</sup> /hr)	شماره لوله	دبی حجمی (Nm <sup>3</sup> /hr)
۲	۸۰	۱۶	۱۵۰
۴	۱۰۰	۱۸	۱۵۰
۸	۱۲۰	۲۱	۱۰۰
۱۰	۱۲۰	۲۳	۱۲۰
۱۱	۱۰۰		

همان‌گونه که از شکل ۱-۲ قابل مشاهده است، شبکه شاخه‌ای نمونه اول خود از اجزای مختلفی از جمله خط لوله، اتصالات T-شکل و زانویی تشکیل شده است. لذا برای تحلیل چنین شبکه‌هایی باید از یک الگوریتم ترکیبی استفاده نمود، به‌گونه‌ای که اثرات افت فشار ناشی از انواع مختلف اتصالات T-شکل تقسیم‌شونده و زانویی در آن لحاظ شده باشد. روابط مورد استفاده مربوط به افت فشار ناشی از انواع اتصالات T-شکل و زانویی، پیش‌تر در گزارش فعالیت‌های شهریورماه مرکز

پژوهشی ارائه شده بودند [۱]. در ادامه روش و الگوریتم مورد استفاده جهت شبیه‌سازی جریان گاز در شبکه نمونه اول ارائه شده‌است.

۱. ابتدا سرعت در ورودی لوله شماره ۱ حدس زده می‌شود.

۲. سپس با توجه به مشخص بودن فشار و دمای سکون در ورودی لوله شماره ۱، فشار و دمای استاتیک و به تبع آن چگالی جریان در ورودی خط مشخص می‌شود. در ادامه با حل همزمان حل همزمان معادلات حاکم ([۲])، مقادیر مجهولات در طول این لوله تعیین می‌شوند. لازم به ذکر است سرعت ورودی لوله شماره ۱ باید به گونه‌ای حدس زده شود که دبی جرمی محاسبه شده در آن، از مجموع دبی‌های مشخص مصرف‌کننده‌های شبکه بیش‌تر شود. پس از مشخص شدن فشار کل و عدد ماخ در خروجی لوله شماره ۱، با استفاده از رابطه افت فشار پارامتر فشار کل در ورودی لوله شماره ۲ و ۳ مشخص می‌شود.

۳. با توجه به معلوم بودن فشار کل در انشعاب‌های خروجی از اتصال (انشعاب‌های ۲ و ۳) و به و همچنین فرض جریان آدیاباتیک در محل اتصال (که به علت کوتاه بودن طول اتصال و سرعت بالای جریان، فرضی منطقی و قابل قبول است)، طی یک فرآیند تکرار، مقدار سرعت جریان در ورودی این دو اتصال به گونه‌ای حدس زده شده و اصلاح می‌گردند که دبی محاسبه شده در انشعاب ۲ با دبی مشخص این شاخه برابر شده و دبی محاسبه شده در شاخه ۳ نیز قانون گره (برابر بودن مجموع دبی‌های ورودی با دبی‌های خروجی از گره) را ارضا کند.

۴. همین روند حل برای محاسبه پارامترهای جریان در سایر انشعابات تا رسیدن به انشعاب شماره ۲۴ در پیش گرفته می‌شود.

۵. در صورتی که فشار خروجی انشعاب شماره ۲۴ برابر با فشار اتمسفر شود، آن‌گاه حل عددی همگرا شده و سرعت حدس زده شده در ورودی انشعاب شماره ۱ صحیح است. در غیر این صورت، حدس مربوطه به گونه‌ای تغییر داده می‌شود که فشار در خروجی لوله شماره ۲۴ به فشار اتمسفر برسد. در انتها با توجه به پارامترهای جریان، میزان دبی عبوری از تمامی انشعابات محاسبه می‌شود.

در ادامه کد محاسباتی مورد نیاز جهت شبیه‌سازی شبکه مذکور متناسب با الگوریتم ارائه شده تدوین گردید. لازم به ذکر است که به منظور بررسی اثرات انتقال حرارت بر دبی هدررفت محاسبه شده، فرآیند پرچ از این شبکه در دو حالت کلی شبیه‌سازی شد. حالت نخست شرایطی است که جداره لوله‌ها آدیاباتیک در نظر گرفته شده و جریان هیچگونه تبادل حرارتی با محیط پیرامون خود

ندارد. حالت دو نیز شرایطی است که انتقال حرارت جریان با محیط پیرامون آن مد نظر قرار داده می‌شود. شبیه‌سازی جریان در شرایطی که اثرات تبادل حرارتی آن در نظر گرفته می‌شود نیز در ۴ حالت مدفون در خاک با دماهایی به ترتیب ۰ و ۵۰ درجه سلسیوس در سطح خاک و همچنین لوله‌ی غیر مدفون با دمای به ترتیب ۰ و ۵۰ درجه سلسیوس در جداره‌ی خارجی لوله انجام گرفته است. جدول ۲-۳ مقادیر دبی هدررفت محاسبه شده در هر یک از حالات مذکور را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که دبی نرمال حجمی هدررفت در شرایط آدیاباتیک از ۲۴، ۳۱۱/۶۱۳  $\text{Nm}^3/\text{hr}$  محاسبه شده است.

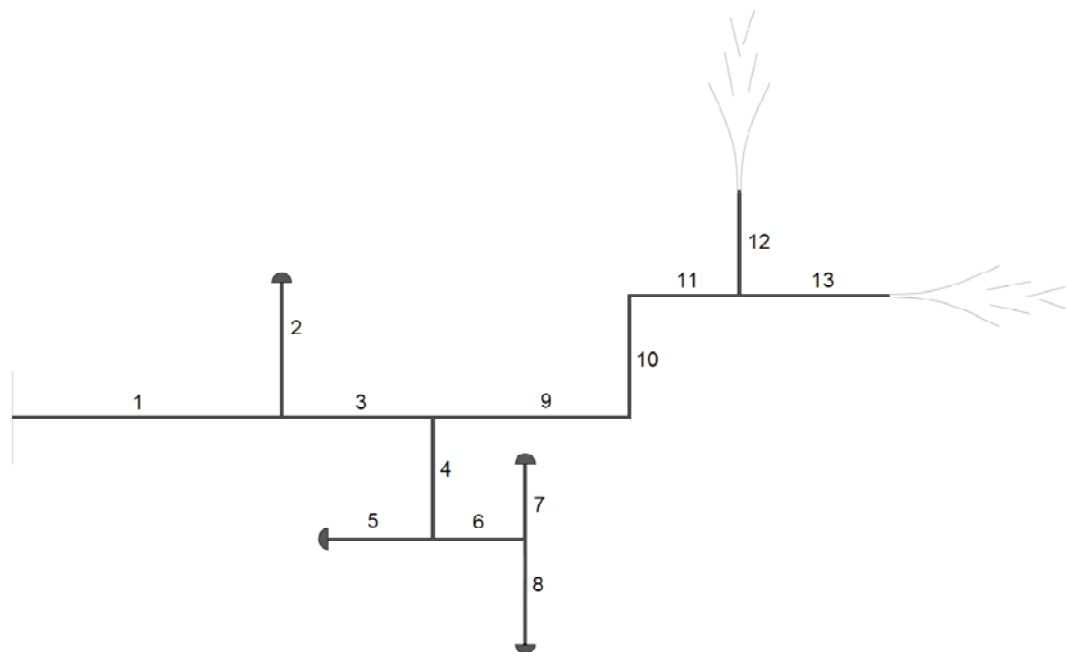
جدول ۲-۳: مقادیر دبی حجمی هدررفت از شبکه نمونه اول در شرایط حرارتی مختلف

لوله مدفون با دمای سطح خاک	لوله مدفون با دمای سطح لوله	لوله مدفون با دمای سطح خاک	لوله غیر مدفون با دمای سطح لوله	
۲۷۳ K	۲۷۳ K	۳۲۳ K	۳۲۳ K	
۳۲۳/۳۳۲	۳۵۳/۹۱۰	۲۹۷/۷۱۰	۲۶۵/۸۱۷	دبی حجمی هدررفت ( $\text{Nm}^3 / \text{hr}$ )
۳/۷۶	۱۳/۵۸	۴/۴۶	۱۴/۷۰	اختلاف نسبی با شرایط آدیاباتیک (%)

از نتایج ارائه شده در جدول ۲-۳ می‌توان مشاهده نمود که در صورت مدفون بودن لوله‌ها با توجه به پایین بودن ضریب هدایت حرارتی خاک، تغییرات دبی حجمی هدررفت در بحرانی‌ترین حالت نیز کمتر از ۴/۵ درصد نسبت به دبی محاسبه شده در شرایط آدیاباتیک بدست آمده است. در حالیکه در صورت مدفون نبودن لوله در خاک و ثابت فرض کردن دمای جداره خارجی لوله‌ها در دمای محیط، اختلاف دبی هدررفت با شرایط آدیاباتیک تا حدود ۱۴/۷ درصد نیز افزایش یافته است.

## ۲.۲ شبکه نمونه دوم

دومین شبکه‌ی گسترده‌ی مورد بررسی نیز شبکه‌ای شاخه‌ای با تعدادی مصرف‌کننده مشخص بوده که جریان گاز از دو انشعاب آن به محیط اتمسفر پرج می‌شود. شکل ۲-۲ شماتیک از شبکه‌ی مذکور را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل ۲-۲ می‌توان مشاهده نمود، جریان گاز مشابه شبکه‌ی نمونه اول، از انشعاب شماره ۱ با فشاری معادل با فشار شبکه‌ی توزیع (۶۰ Psig) و دمای ۲۵ درجه سلسیوس وارد شبکه شده و پس از تامین مصرف گره‌های مصرفی از طریق انشعابات شماره ۱۲ و ۱۳ به اتمسفر تخلیه می‌گردد.



شکل ۲-۲: شماتیک شبکه‌ی نمونه دوم

با توجه به این موضوع که تمامی شروط مرزی و مشخصات انشعابات (به غیر از طول لوله‌ها) مشابه با شبکه‌ی نمونه اول بوده، از ذکر موارد تکراری در این بخش صرف‌نظر شده‌است. در ادامه طول انشعابات نشان داده شده در شکل ۲-۲، در جدول ۲-۴ آورده شده‌اند. لازم به ذکر است که مجموع طول انشعابات این شبکه نیز در حدود ۱ کیلومتر می‌باشد. همچنین دبی نرمال حجمی آن دسته از انشعاباتی که به گره‌ای با مصرفی مشخص منتهی می‌شوند (نظیر انشعابات شماره ۲، ۵، ۷ و ۸)، در جدول ۲-۵ آورده شده‌است.

جدول ۲-۴: طول انشعابات شبکه نمونه دوم

شماره لوله	طول (m)	شماره لوله	طول (m)
۱	۱۶۲	۸	۷۲
۲	۸۱	۹	۱۱۷
۳	۹۰	۱۰	۷۲
۴	۷۲	۱۱	۶۴
۵	۵۴	۱۲	۸۱
۶	۵۴	۱۳	۱۰۸
۷	۴۵		

جدول ۲-۵: دبی نرمال حجمی انشعابات با مصرف مشخص در شبکه نمونه دوم

شماره لوله	دبی حجمی (Nm <sup>3</sup> /hr)	شماره لوله	دبی حجمی (Nm <sup>3</sup> /hr)
۲	۱۵۰	۷	۱۱۰
۵	۱۴۰	۸	۱۰۰

شبکه نمونه دوم نیز همانند شبکه‌ی نمونه اول از ترکیب خطوط لوله، اتصالات T-شکل تقسیم‌شونده و زانویی تشکیل شده‌است. تفاوت اصلی شبکه نمونه دوم با شبکه نمونه اول در تعداد انشعابات است که جریان گاز را به اتمسفر تخلیه می‌کنند که همین امر روند شبیه‌سازی شبکه نمونه دوم را بسیار پیچیده‌تر خواهد کرد. در ادامه روش و الگوریتم مورد استفاده جهت شبیه‌سازی جریان گاز در شبکه نمونه دوم ارائه شده‌است.

۱. ابتدا سرعت در ورودی لوله شماره ۱ حدس زده می‌شود.

۲. با توجه به مشخص بودن فشار و دمای سکون در ورودی لوله شماره ۱، فشار و دمای استاتیک و به تبع آن چگالی جریان در ورودی خط مشخص می‌شود. در ادامه با حل همزمان حل همزمان معادلات حاکم ([۲])، مقادیر مجهولات در طول این لوله تعیین می‌شوند. لازم به ذکر است سرعت ورودی لوله شماره ۱ باید به گونه‌ای حدس زده شود که دبی جرمی محاسبه شده در آن، از مجموع دبی‌های مشخص مصرف‌کننده‌های شبکه بیش‌تر شود. پس از مشخص



شدن فشار کل و عدد ماخ در خروجی لوله شماره ۱، با استفاده از رابطه افت فشار پارامتر فشار کل در ورودی لوله شماره ۲ و ۳ مشخص می‌شود.

۳. با توجه به معلوم بودن فشار کل در انشعاب‌های خروجی از اتصال (انشعاب‌های ۲ و ۳) و به و همچنین فرض جریان آدیاباتیک در محل اتصال طی یک فرآیند تکرار، مقدار سرعت جریان در ورودی این دو اتصال به‌گونه‌ای حدس زده شده و اصلاح می‌گردند که دبی محاسبه شده در انشعاب ۲ با دبی مشخص این شاخه برابر شده و دبی محاسبه شده در شاخه ۳ نیز قانون گره را ارضا کند.

۴. همین روند حل برای محاسبه پارامترهای جریان در سایر انشعابات تا رسیدن به انشعاب شماره ۱۲ در پیش گرفته می‌شود.

۵. سرعت جریان و به تبع آن مقدار دبی در انشعاب شماره ۱۲ طی یک روند سعی و خطا به‌گونه‌ای محاسبه می‌شود که فشار خروجی از این انشعاب برابر با فشار اتمسفر شود.

۶. با توجه به قانون گره نیز می‌توان دبی لوله شماره ۱۳ را نیز با معلوم بودن دبی در لوله‌های شماره ۱۱ و ۱۲ محاسبه نمود.

۷. با مشخص شدن دبی و فشار کل در لوله شماره ۱۳ و همچنین استفاده از فرض جریان آدیاباتیک در محل اتصال، تمامی پارامترهای جریان در ورودی لوله شماره ۱۳ به‌دست می‌آیند.

۸. مجدداً با حل جریان در یک خط لوله، مقادیر مجهولات در طول لوله شماره ۱۳ تعیین می‌شوند. در صورتی‌که فشار خروجی انشعاب شماره ۱۳ برابر با فشار اتمسفر شود، آن‌گاه حل عددی همگرا شده و سرعت حدس زده شده در ورودی انشعاب شماره ۱ صحیح است. در غیر این صورت، حدس مربوطه به‌گونه‌ای تغییر داده می‌شود که فشار در خروجی لوله‌های شماره ۱۲ و ۱۳ به فشار اتمسفر برسد. در انتها با توجه به پارامترهای جریان، میزان دبی عبوری از هر انشعاب محاسبه می‌شود.

در ادامه کد محاسباتی مورد نیاز جهت شبیه‌سازی شبکه نمونه‌ی دوم نیز متناسب با الگوریتم ارائه شده تدوین گردید. در راستای بررسی اثرات انتقال حرارت جریان بر دبی هدررفت نیز مشابه با روند مطرح شده در بخش شبیه‌سازی شبکه نمونه اول، شبکه‌ی نمونه دوم نیز با شرایط حرارتی متفاوت شبیه‌سازی شده‌است. جدول ۲-۶ مقادیر دبی هدررفت محاسبه شده در هر یک از حالات مورد نظر را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که دبی نرمال حجمی هدررفت در شرایط آدیاباتیک از انشعاب ۱۲ و ۱۳ شبکه به ترتیب  $352/979$  و  $315/936 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  محاسبه شده‌است.

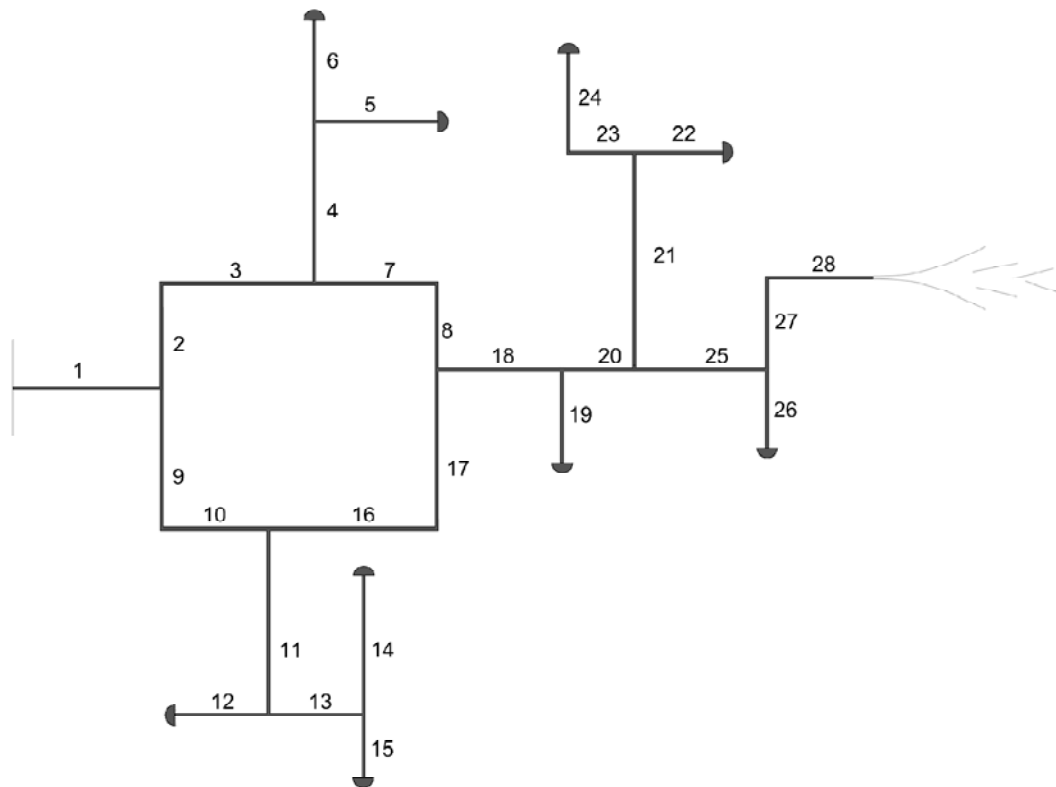
جدول ۶-۲: مقادیر دبی حجمی هدررفت از شبکه نمونه دوم در شرایط حرارتی مختلف

لوله غیرمدفون با دمای سطح لوله ۳۲۳ K	لوله غیرمدفون با دمای سطح لوله ۲۷۳ K	لوله مدفون با دمای سطح خاک ۳۲۳ K	لوله مدفون با دمای سطح خاک ۲۷۳ K		
۳۳۱/۴۵۳	۳۷۳/۰۸۴	۳۴۴/۱۰۵	۳۶۰/۵۰۰	لوله ۱۲	دبی حجمی هدررفت
۲۹۶/۶۳۴	۳۳۴/۱۸۷	۳۰۷/۸۱۱	۳۲۳/۰۸۵	لوله ۱۳	(Nm <sup>3</sup> / hr)
۶/۱۰	۵/۷۰	۲/۵۱	۲/۱۳	لوله ۱۲	اختلاف نسبی با شرایط
۶/۱۱	۵/۷۸	۲/۵۷	۲/۲۶	لوله ۱۳	آدیاباتیک (%)

از نتایج ارائه شده در جدول ۶-۲ می‌توان مجدداً مشاهده نمود که در صورت مدفون بودن لوله‌ها، تغییرات دبی حجمی هدررفت در بحرانی‌ترین حالات نیز دارای اختلاف کمی نسبت به دبی محاسبه شده در شرایط آدیاباتیک است. بدین‌گونه بیش‌ترین درصد اختلاف نسبی در این شرایط کمتر از ۳ درصد محاسبه شده‌است. بیش‌ترین اختلاف مشاهده شده در دبی‌های هدررفت نسبت به شرایط آدیاباتیک، مربوط به حالتی است که لوله‌ها در خاک مدفون نبوده و دمای سطح خارجی انشعابات دارای دمای ثابت ۵۰ درجه سلسیوس باشند که در این وضعیت اختلاف نسبی دبی‌های هدررفت کمی بیش از ۶ درصد محاسبه شده‌اند.

## ۳.۲ شبکه نمونه سوم

آخرین شبکه‌ی گسترده‌ی مورد بررسی، شبکه‌ای مختلط (دارای شاخه و حلقه) با تعدادی مصرف‌کننده مشخص بوده که جریان گاز از یک انشعاب آن به محیط اتمسفر پرج می‌شود. شکل ۲-۳ شماتیک از شبکه‌ی مذکور را نشان می‌دهد. جریان گاز در این شبکه از انشعاب شماره ۱ با فشاری معادل با فشار شبکه‌ی توزیع (۶۰ Psig) و دمای ۲۵ درجه سلسیوس وارد شبکه شده و پس از تامین مصرف گره‌های مصرفی از طریق انشعاب شماره ۲۸ به اتمسفر تخلیه می‌گردد.



شکل ۲-۳: شماتیک شبکه‌ی نمونه سوم

تمامی شروط مرزی و مشخصات انشعابات (به غیر از طول لوله‌ها) شبکه مذکور نیز مشابه با شبکه‌ی نمونه اول و دوم می‌باشند. در ادامه طول انشعابات نشان داده شده در شکل ۲-۳، در جدول ۲-۷ آورده شده‌اند. مجموع طول انشعابات این شبکه نیز در بیش از ۱ کیلومتر می‌باشد. همچنین دبی نرمال حجمی آن دسته از انشعاباتی که به گره‌ای با مصرفی مشخص منتهی می‌شوند (نظیر انشعابات شماره ۵، ۶، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۹، ۲۲، ۲۴ و ۲۶)، در جدول ۲-۸ آورده شده‌است.

جدول ۲-۷: طول انشعابات شبکه نمونه سوم

طول (m)	شماره لوله	طول (m)	شماره لوله
۳۰	۱۵	۴۸	۱
۵۵	۱۶	۳۴	۲
۵۲	۱۷	۵۰	۳
۴۰	۱۸	۵۲	۴
۳۰	۱۹	۴۰	۵
۲۵	۲۰	۳۳	۶
۷۰	۲۱	۴۰	۷
۲۶	۲۲	۲۸	۸
۲۴	۲۳	۴۶	۹
۳۳	۲۴	۳۵	۱۰
۴۰	۲۵	۴۰	۱۱
۲۵	۲۶	۳۰	۱۲
۳۰	۲۷	۳۰	۱۳
۳۵	۲۸	۴۵	۱۴

جدول ۲-۸: دبی نرمال حجمی انشعابات با مصرف مشخص در شبکه نمونه سوم

دبی حجمی (Nm <sup>3</sup> /hr)	شماره لوله	دبی حجمی (Nm <sup>3</sup> /hr)	شماره لوله
۱۲۰	۱۹	۱۰۰	۵
۹۰	۲۲	۱۲۰	۶
۱۰۰	۲۴	۱۵۰	۱۲
۶۰	۲۶	۱۰۰	۱۴
		۸۰	۱۵

شبکه نمونه سوم از ترکیب خطوط لوله، اتصالات T-شکل تقسیم‌شونده و ترکیب‌شونده و زانویی تشکیل شده‌است. اصلی‌ترین تفاوتی که روند شبیه‌سازی شبکه نمونه سوم را نسبت به شبکه

نمونه اول پیچیده‌تر می‌کند، وجود حلقه در ساختار این شبکه می‌باشد. در ادامه روش و الگوریتم مورد استفاده جهت شبیه‌سازی جریان گاز در شبکه نمونه سوم ارائه شده‌است.

۱. ابتدا سرعت در ورودی لوله شماره ۱ حدس زده می‌شود.
۲. با توجه به مشخص بودن فشار و دمای سکون در ورودی لوله شماره ۱، فشار و دمای استاتیک و به تبع آن چگالی جریان در ورودی خط مشخص می‌شود. در ادامه با حل همزمان حل همزمان معادلات حاکم ([۲])، مقادیر مجهولات در طول این لوله تعیین می‌شوند. لازم به ذکر است سرعت ورودی لوله شماره ۱ باید به گونه‌ای حدس زده شود که دبی جرمی محاسبه شده در آن، از مجموع دبی‌های مشخص مصرف‌کننده‌های شبکه بیشتر شود. پس از مشخص شدن فشار کل و عدد ماخ در خروجی لوله شماره ۱، با استفاده از رابطه افت فشار پارامتر فشار کل در ورودی لوله‌های شماره ۲ و ۹ مشخص می‌شود.
۳. با توجه به معلوم بودن فشار کل در انشعاب‌های خروجی از اتصال (انشعاب‌های ۲ و ۹) و همچنین فرض جریان آدیاباتیک در محل اتصال، طی یک فرآیند تکرار، مقدار دبی در انشعاب شماره ۲ به گونه‌ای محاسبه می‌شود که فشار در ورودی انشعاب شماره ۱۸ از هر دو مسیر با یکدیگر برابر شوند. به عبارتی با این کار قانون حلقه در شبکه مربوطه ارضا می‌شود. لازم به ذکر است که سرعت جریان در ورودی انشعاباتی که دارای دبی مشخصی هستند نیز طی یک فرآیند تکرار و با توجه به قابل محاسبه بودن فشار و دمای کل در ورودی این انشعابات بدست خواهند آمد.
۴. با توجه به قانون گره، دبی در انشعاب شماره ۱۸ محاسبه می‌شود. با مشخص شدن دبی و فشار کل در ورودی این انشعاب و استفاده از فرض جریان آدیاباتیک در محل اتصال، سرعت جریان در ورودی انشعاب شماره ۱۸ و به تبع آن سایر پارامترهای جریان در طول این انشعاب طی یک فرآیند تکرار محاسبه می‌شوند.
۵. همین روند حل برای محاسبه پارامترهای جریان در سایر انشعابات تا رسیدن به انشعاب شماره ۲۸ در پیش گرفته می‌شود.
۶. در صورتی که فشار خروجی انشعاب شماره ۲۸ برابر با فشار اتمسفر شود، آن‌گاه حل عددی همگرا شده و سرعت حدس زده شده در ورودی انشعاب شماره ۱ صحیح است. در غیر این صورت، حدس مربوطه به گونه‌ای تغییر داده می‌شود که فشار در خروجی لوله شماره ۲۸ به

فشار اتمسفر برسد. در انتها با توجه به پارامترهای جریان، میزان دبی عبوری از تمامی انشعابات محاسبه می‌شود.

کد محاسباتی مورد نیاز جهت شبیه‌سازی شبکه نمونه‌ی سوم نیز متناسب با الگوریتم ارائه شده تدوین گردید. در راستای بررسی اثرات انتقال حرارت جریان بر دبی هدررفت نیز مشابه با روند مطرح شده در بخش شبیه‌سازی شبکه‌های نمونه اول و دوم، شبکه‌ی نمونه سوم نیز با شرایط حرارتی متفاوت شبیه‌سازی شده‌است. جدول ۲-۹ مقادیر دبی هدررفت محاسبه شده در هر یک از حالات مورد نظر را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که دبی نرمال حجمی هدررفت در شرایط آدیاباتیک از انشعاب شماره ۲۸ شبکه  $863/421 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  محاسبه شده‌است.

جدول ۲-۹: مقادیر دبی حجمی هدررفت از شبکه نمونه سوم در شرایط حرارتی مختلف

لوله مدفون با دمای سطح لوله ۳۲۳ K	لوله غیرمدفون با دمای سطح لوله ۲۷۳ K	لوله مدفون با دمای سطح خاک ۳۲۳ K	لوله مدفون با دمای سطح خاک ۲۷۳ K	
۸۰۶/۴۲۸	۹۱۶/۹۹۴	۸۴۳/۳۱۵	۸۸۰/۱۷۰	دبی حجمی هدررفت ( $\text{Nm}^3 / \text{hr}$ )
۶/۶۰	۶/۲۰	۲/۳۳	۱/۹۴	اختلاف نسبی با شرایط آدیاباتیک (%)

از نتایج ارائه شده در جدول ۲-۹ می‌توان مشاهده نمود که بیش‌ترین اختلاف دبی هدررفت در شرایطی که انشعابات شبکه در خاک مدفون شده باشند نسبت به فرض جریان آدیاباتیک، در حدود ۲/۳۳ درصد محاسبه شده‌است. بیش‌ترین اختلاف مشاهده شده در دبی هدررفت محاسبه شده از شبکه نمونه سوم نسبت به شرایط آدیاباتیک نیز مربوط به حالتی است که لوله‌ها در خاک مدفون نبوده و دمای سطح خارجی انشعابات دارای دمای ثابت ۵۰ درجه سلسیوس باشند. در این وضعیت اختلاف نسبی دبی‌های هدررفت در حدود ۶/۶ درصد محاسبه شده‌است.

## ۴.۲ جمع‌بندی

به‌منظور بررسی اثرات تبادل حرارتی جریان با محیط پیرامون بر میزان دبی هدررفت درون شبکه‌های گسترده، در این ماه فرآیند هدررفت گاز از ۳ شبکه گسترده نمونه و تحت چندین شرایط حرارتی متفاوت به صورت عددی شبیه‌سازی شدند. شبکه نمونه‌ی اول، شبکه‌ای شاخه‌ای بوده که جریان گاز در این شبکه از طریق یکی از انشعابات آن به اتمسفر تخلیه می‌گردد. شبکه‌ی نمونه دوم نیز شبکه‌ای شاخه‌ای انتخاب شد که جریان گاز درون آن از طریق ۲ انشعاب متفاوت و به صورت همزمان به اتمسفر تخلیه شود. در نهایت نیز یک شبکه‌ی گسترده‌ی مختلط (دارای حلقه و شاخه) به عنوان شبکه نمونه سوم برگزیده شد که جریان گاز در این شبکه از طریق یک انشعاب به محیط اتمسفر تخلیه می‌شود.

نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده حاکی از آن است که در صورت مدفون بودن انشعابات شبکه در خاک، فرض تبادل حرارتی جریان تاثیر چندانی بر حجم گاز هدررفت محاسبه شده نداشته‌است. به‌گونه‌ای که در بحرانی‌ترین حالات اختلاف دبی محاسبه شده نسبت به شرایط آدیاباتیک، تا حدود ۴/۶ درصد در شبکه نمونه اول رسیده‌است. این اختلاف در دو شبکه دیگر کمتر از ۳ درصد محاسبه شده‌است. علت این امر نیز می‌توان ضریب هدایت حرارتی پایین خاک باشد که منجر به کم بودن میزان تبادل حرارتی جریان با محیط پیرامون می‌شود.

در صورت مدفون نبودن انشعابات در خاک، میزان تبادل حرارتی جریان با محیط پیرامون به مراتب افزایش یافته و میزان دبی هدررفت از شبکه‌ها را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی در این شرایط در بحرانی‌ترین حالات، اختلاف دبی حدوداً ۱۴/۷ درصدی را نسبت به شرایط آدیاباتیک در شبکه نمونه اول نشان می‌دهد. این اختلاف در دو شبکه دیگر کمتر از ۷ درصد محاسبه شده‌است.

## ۵.۲ مراجع

[۱] گزارش ماهیانه فعالیت‌های انجام‌شده در شهریورماه ۱۳۹۳، GNRC-KHGC-MR 1393-05.

مرکز پژوهش شبکه‌های گازسانی، مهرماه ۱۳۹۳.

[۲] گزارش ماهیانه فعالیت‌های انجام‌شده در خردادماه ۱۳۹۳، GNRC-KHGC-MR 1393-02، مرکز

پژوهش شبکه‌های گازسانی، تیرماه ۱۳۹۳.

## ۳ شبیه‌سازی عددی

همانگونه که در مقدمه ذکر شد، به منظور صحت‌سنجی نتایج حاصل از آزمایشگاه تخصصی گاز در آینده و بعد از شروع به کار فعالیت آن، لازم است تعدادی از شبکه‌های قابل تولید در آن بصورت عددی شبیه‌سازی گردد. لذا از ماه گذشته فعالیت‌هایی در این زمینه انجام شد که خوشبختانه در این ماه شبیه‌سازی عددی تکمیل گردیده و نتایج لازم حاصل گردید. دو شبکه گازی شامل یک خط لوله و یک شبکه شاخه‌ای شبیه‌سازی شده که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

### ۱.۳ خط لوله

یکی از شبکه‌هایی که می‌توان در آزمایشگاه تخصصی گاز تولید کرد، یک خط لوله با طول‌های نسبتاً زیاد است. مشخصات فیزیکی خط لوله‌ای که مورد شبیه‌سازی قرار گرفت، مطابق با جدول ۱-۳ است.

جدول ۱-۳: مشخصات فیزیکی خط لوله شبیه‌سازی شده

طول (متر)	قطر داخلی (سانتیمتر)	قطر اسمی (NPS)
۱۰۸	۵/۰۸	۲

جدول ۲-۳ نیز شرایط جریان در ورود به خط لوله را نشان می‌دهد. در خروج از لوله، جریان به محیط پیرامون ( $P_{atm} = 101325 \text{ Pa}$ ) تخلیه گردیده که الزاماً فشار خروجی برابر با فشار اتمسفر نخواهد بود زیرا اگر جریان درون لوله صوتی گردد، فشار جریان در خروج از لوله بیشتر از فشار اتمسفر است [۱]. تنها در حالت زیرصوتی، فشار خروج همان فشار اتمسفر خواهد بود.

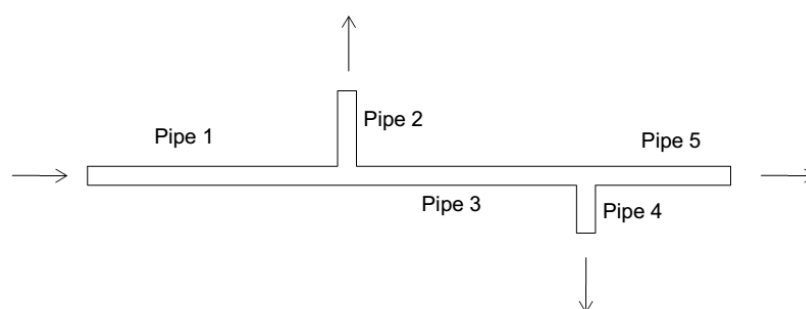


جدول ۲-۳: شرایط جریان در ورود به خط لوله

دمای سکون (K)	فشار سکون (Psig)
۲۹۶	۶۰

### ۲.۳ شبکه شاخه‌ای

از دیگر شبکه‌هایی که شبیه‌سازی عددی گردید، یک شبکه شاخه‌ای با یک ورودی و سه خروجی است که هر سه خروجی آن به اتمسفر تخلیه می‌گردند. شکل ۱-۳ این شبکه شاخه‌ای را نشان می‌دهد. مشخصات فیزیکی خطوط لوله در این شبکه در جدول ۳-۳ ذکر شده‌است.



شکل ۱-۳: شبکه شاخه‌ای شبیه‌سازی شده

جدول ۳-۳: مشخصات فیزیکی خطوط لوله در شبکه شاخه‌ای شبیه‌سازی شده

نام لوله	قطر اسمی (NPS)	قطر داخلی (سانتیمتر)	طول (متر)
Pipe ۱	۲	۵/۰۸	۲۴۵
Pipe ۲	۲	۵/۰۸	۴/۳
Pipe ۳	۲	۵/۰۸	۱۴۰
Pipe ۴	۲	۵/۰۸	۳
Pipe ۵	۲	۵/۰۸	۱۴۰

فرضیات در نظر گرفته‌شده در شبیه‌سازی هر دو شبکه عبارتند از:

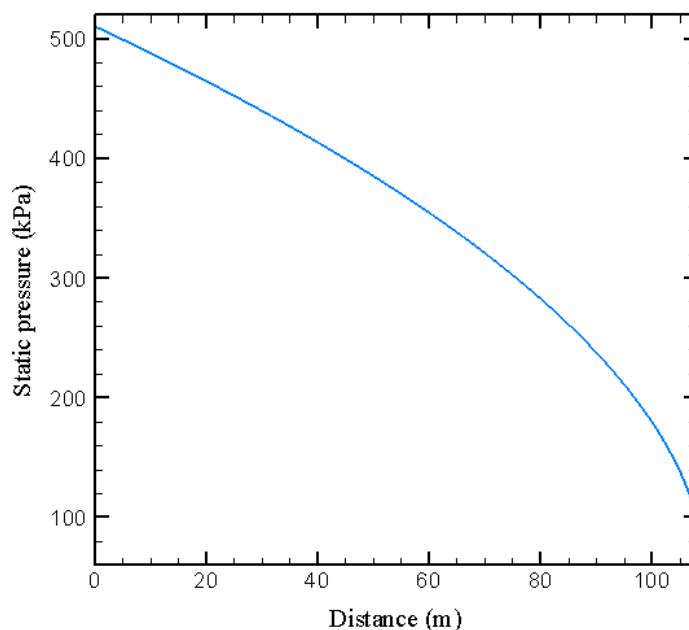
- سیال عامل درون لوله، هوا می‌باشد.
- جریان بصورت آدیاباتیک شبیه‌سازی گردیده‌است.

لازم به ذکر است که برای محاسبه افت موضعی ناشی از سه‌راهه‌ها در شبکه شاخه‌ای از ضرایب ارائه شده در مرجع [۱] استفاده شد. شرایط جریان در ورود به این شبکه، همانند خط لوله بوده و مطابق با جدول ۲-۳ است. همچنین فشار جریان در خروج از هر انشعاب همانگونه که برای شبیه‌سازی خط لوله ذکر گردید، بستگی به صوتی یا زیرصوتی بودن جریان در آن انشعاب دارد.

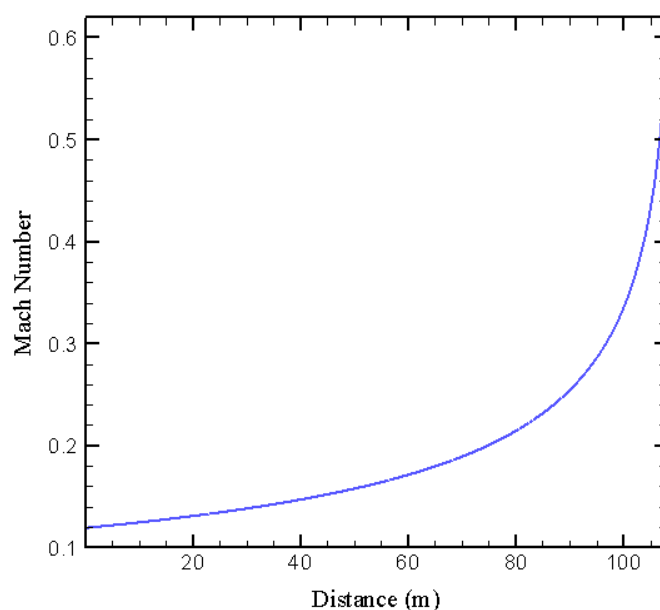
### ۳.۳ نتایج حاصل از شبیه‌سازی

در این قسمت نتایج حاصل از شبیه‌سازی دو شبکه مذکور ارائه می‌شود. از آنجا که سیستم داده-برداری آزمایشگاه تخصصی گاز قابلیت اندازه‌گیری فشار استاتیک و دبی جرمی را دارد، در این بخش لازم است نمودار تغییر فشار استاتیک درون شبکه و میزان دبی جرمی هر انشعاب ارائه گردد. ابتدا به بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی خط لوله پرداخته می‌شود.

شکل ۲-۳، تغییر فشار استاتیک در راستای خط لوله شبیه‌سازی‌شده را نشان می‌دهد. همانگونه که انتظار می‌رود به دلیل افت طولی ناشی از اصطحکاک، فشار استاتیک در راستای خط لوله کاهش می‌یابد. در شبیه‌سازی این خط لوله، فشار جریان در خروج از لوله برابر با فشار اتمسفر بدست آمد، لذا جریان در این حالت زیرصوتی می‌باشد. همچنین میزان دبی جرمی حاصل از این شبیه‌سازی، معادل با  $0.3603038 \text{ (kg/s)}$  است. شکل ۳-۳ نیز تغییرات عدد ماخ در راستای طول لوله را نشان می‌دهد. مطابق با جریان فانو در حالت جریان زیر صوتی با افزایش طول لوله، عدد ماخ افزایش می‌یابد که در این شکل نیز می‌توان این رفتار را مشاهده نمود.



شکل ۳-۲: تغییر فشار استاتیک در راستای طول لوله



شکل ۳-۳: تغییر عدد ماخ در راستای طول لوله

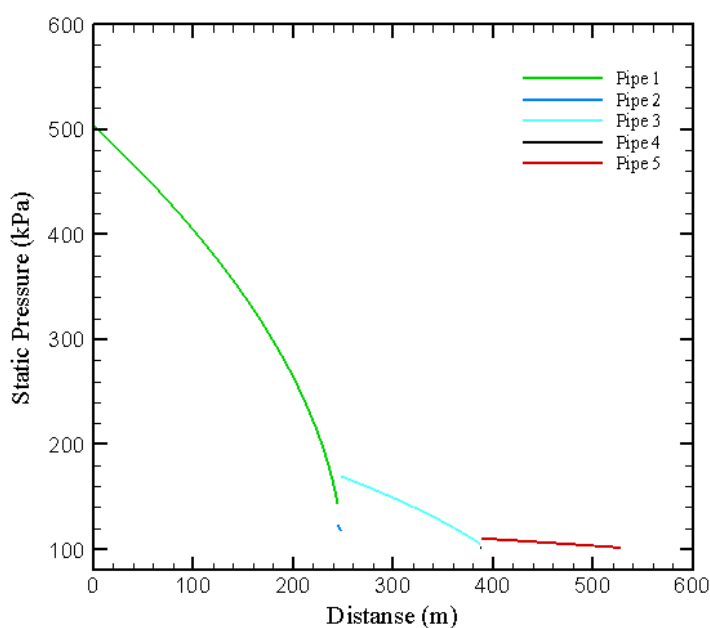
در ادامه به بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه شاخه‌ای پرداخته می‌شود. شکل ۳-۴ تغییرات فشار استاتیک در راستای خط مرکزی انشعاب‌ها برای شبکه شاخه‌ای مورد نظر را نشان می‌دهد. همانگونه که پیش‌تر ذکر شد به دلیل افت‌های طولی، فشار استاتیک در راستای خط مرکزی انشعاب‌ها کاهش می‌یابد. همچنین در محل اتصال سه‌راه‌ها، به دلیل افت‌های موضعی، یک پرش در نمودار مشاهده می‌شود که ناشی از همین اثرات افت موضعی است. لازم به ذکر است که به دلیل کوتاه بودن

طول لوله‌های شماره ۲ و شماره ۴ نسبت به بقیه انشعاب‌ها، در شکل ۳-۴ و شکل ۳-۵، این دو انشعاب به خوبی قابل مشاهده نمی‌باشند.

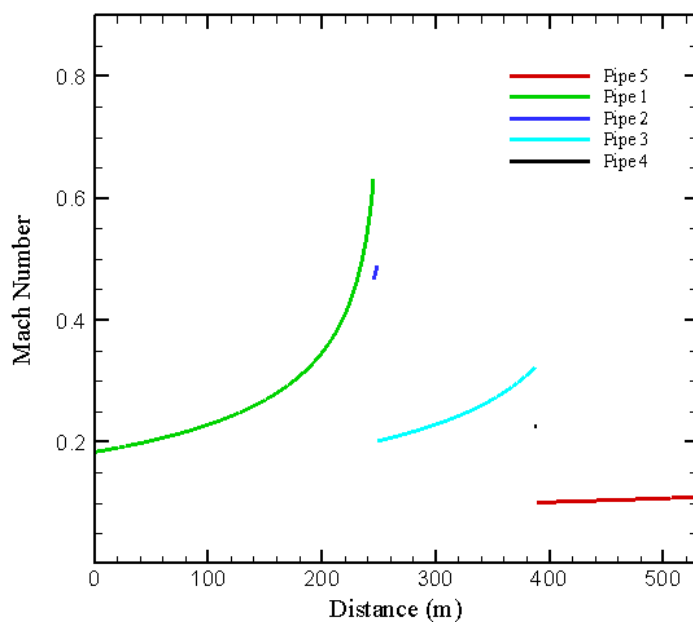
شکل ۳-۵ نیز تغییرات عدد ماخ را در راستای خط مرکزی انشعاب نشان می‌دهد. مطابق با آنچه پیش‌تر در مورد خط لوله ذکر شد مطابق با جریان فانو در راستای هر انشعاب، عدد ماخ افزایش می‌یابد. به علاوه در محل اتصال به دلیل تقسیم جریان در محل اتصال، عدد ماخ دچار یک افت ناگهانی می‌شود.

برای توجیه بیشتر بودن فشار استاتیک ورودی انشعاب ۳ نسبت ورودی انشعاب ۲، از رابطه (۳-۱) استفاده می‌کنیم [۲]. بنابر این رابطه، نسبت فشار استاتیک در دو نقطه مختلف از جریان با نسبت عدد ماخ آن دو نقطه رابطه عکس دارد. همانگونه که در شکل ۳-۵ مشاهده می‌شود، عدد ماخ در ورودی به انشعاب ۲ بیشتر از مقدار آن در ورودی به انشعاب ۳ است. لذا باید انتظار داشت که فشار استاتیک در ورودی به اتصال ۲، کمتر از مقدار آن در ورودی به اتصال ۳ باشد. با استفاده از همین استدلال، فشار استاتیک در ورودی به انشعاب ۵ نسبت به ورودی به انشعاب ۴ را بیشتر خواهد بود که شکل ۳-۴ بیانگر این موضوع می‌باشد.

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{M_3}{M_2} \left[ \frac{2 + (\gamma - 1)M_3^2}{2 + (\gamma - 1)M_2^2} \right]^{1/2} \quad (3-1)$$



شکل ۳-۴: تغییر فشار استاتیک در راستای خط مرکزی انشعاب‌ها



شکل ۳-۵: تغییر عدد ماخ در راستای خط مرکزی انشعاب‌ها

پارامتر دیگری که مورد بررسی قرار گرفت، دبی جرمی هر انشعاب است. جدول ۳-۴ دبی جرمی هر انشعاب را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴: دبی جرمی هر انشعاب در شبیه‌سازی شبکه شاخه‌ای

نام لوله	دبی جرمی (kg/s)
Pipe ۱	۰/۵۵۰۸۲۷۳
Pipe ۲	۰/۳۴۷۵۵۳۳
Pipe ۳	۰/۲۰۳۲۸۴۱۵
Pipe ۴	۰/۱۳۶۹۵۲۴۱
Pipe ۵	۰/۰۶۶۳۳۰

با مقایسه نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها و نتایج تجربی بدست آمده از آزمایشگاه تخصصی گاز بعد از بهره‌برداری و شروع فعالیت آن، می‌توان داده‌های آزمایشگاهی حاصل را اعتبارسنجی نمود.

### ۴.۳ مراجع

[۱] سعیدیان، حجت، شبیه‌سازی عددی گاز هدررفت در شبکه‌های گازرسانی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اسفند ۱۳۹۱.

[۲] Anderson, J.D., "*Modern Compressible Flow with Historical Perspective*", McGraw-Hill Publishing Company, (2002).

## ۴ فعالیت‌های ماه آتی

در این بخش فعالیت‌هایی که برای ماه آتی پیش‌بینی شده است ارائه می‌گردد. این فعالیت‌ها مشتمل بر موارد ذیل می‌باشند.

۱. انجام مراحل پیش‌بینی‌شده جهت تکمیل پروژه بهینه‌سازی مصرف در کارخانه آجرسازی شیرین سفال
۲. تعیین افت‌های موضعی جریان سرعت بالا از انشعابات غیرهم قطر به روش CFD
۳. مدل‌سازی چند شبکه نمونه حفاظت کاتدیک توسط نرم‌افزار GNCATH
۴. تهیه پکیج تجهیزات آزمایشگاه تخصصی گاز (بخش خارج از سوله)
۵. نظارت بر مراحل راه‌اندازی آزمایشگاه تخصصی گاز