

# تحلیل عددی ایجاد سایش ناشی از جریان گاز در خطوط لوله و ایستگاه‌های گاز

پژوهش نفت

سال بیست و چهارم

شماره ۷۸

صفحه، ۱۴۹-۱۳۸ ۱۳۹۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۲/۹

داود شفیعی<sup>۱\*</sup>، کوروش خورشیدی<sup>۲</sup> و مصطفی مروجی کشاورز<sup>۳</sup>

۱- شرکت گاز، استان مرکزی، اراک، ایران

۲- گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

۳- گروه مهندسی شیمی، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

واژه‌های کلیدی: گاز طبیعی، سایش، ایستگاه تقلیل فشار، دینامیک سیالات محاسباتی، تنش برشی

## چکیده

در این مقاله با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی به تحلیل عددی ایجاد سایش در خطوط لوله و ایستگاه‌های گاز پرداخته شد و اثر پارامترهای مختلف تأثیرگذار در این مقوله مانند سرعت، دما، اغتشاش، ذرات ریز معلق در گاز و تعدد فازها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای این منظور ابتدا اطلاعات جامعی از ایستگاه‌های گاز جمع‌آوری شد. سپس با نرم‌افزارهای Catia و Solidwork، مدل تجهیزات ایستگاه ایجاد شد و در نهایت با روش دینامیک سیالات محاسباتی و استفاده از نرم‌افزارهای Gambit 2.2.30 و Fluent 6.0 تحلیل‌های عددی انجام گرفت. در این تحلیل، تجهیزاتی مانند bend، reducer، valve، pipe... در نظر گرفته شد و سایش در یک ایستگاه تقلیل فشار گاز بررسی و اثر پارامترهای اشاره شده مذکور بر سایش تحلیل گردید. نتیجه حاصله ثابت نمود میزان سایش با افزایش سرعت گاز، افزایش ناخالصی، افزایش دما، تعدد مسیرهای منقطع، میزان ذرات، اغتشاش جریان گاز و نحوه طراحی ایستگاه ارتباط مستقیم دارد.

## مقدمه

گاز طبیعی به عنوان پرارزش‌ترین منابع سوخت روی زمین، نقش مهمی در تأمین انرژی مورد نیاز بشر دارد. این انرژی در اصل از خورشید به دست می‌آید که در داخل بدن گیاهان و موجودات زنده که میلیون‌ها سال پیش زیر زمین دفن شده اند، ذخیره شده است.

گاز طبیعی گازی است بی‌بو، بی‌رنگ و بی‌شکل که قابل اشتعال بوده و اگر سوزانده شود، مقدار قابل توجهی انرژی در اختیار ما می‌گذارد و بر خلاف سایر مواد سوختنی هوا را بسیار کمتر آلوده می‌سازد.

گاز طبیعی خام استخراجی از چاه‌ها با خود مقادیری شن، ماسه و آب شور به همراه دارد که قبل از ارسال به نقاط مصرف، در پالایشگاه‌های گازی تصفیه می‌شود. وجود این ذرات جامد به همراه آبی که در دماهای پایین می‌تواند به یخ‌های هیدراتی تبدیل شود، اثرات نامطلوبی بر خطوط

\*مسئول مکاتبات  
آدرس الکترونیکی

تعداد فازها و نهایتاً تغییر در نوع طراحی خطوط لوله و اثر آن بر میزان سایش می باشد.

پیشتر نیز در این زمینه، پژوهش‌هایی صورت گرفته است، که برخی از آنها در ادامه اشاره می‌شود.

حبیب بدر و همکاران سایش در مبدل‌های حرارتی را بررسی نمود و با استفاده از ریزگردهایی با قطر ۱۰ تا  $500 \mu$  با سرعت  $0/197$  تا  $2/95$  m/s ثابت کردند که نرخ سایش به صورت تابعی نمایی با سرعت ذرات در ارتباط می‌باشد و اندازه ذرات تأثیر بسزایی در نرخ سایش دارد [۱]. اوکامورا و یوشیدا نشان دادند که میزان سایش و روابط مربوط به آن متأثر از فشردگی و ضربات ریزگردها می‌باشد. همچنین ثابت نمودند که سرعت و زاویه برخورد ذرات بسیار تأثیرگذار بوده و خواص مکانیکی مواد نظیر سختی ماده، جزء پارامترهای کلیدی برای تخمین خوردگی سایشی می‌باشد [۲]. پارسلو نیز نشان داد بسیاری از فاکتورهای کنترل‌کننده سایش نظیر سرعت و تعداد ذرات و زاویه برخورد ذرات عمدتاً توسط شرایط جریان سیستم تعیین می‌شوند و تغییرات در آنها باعث افزایش یا کاهش در میزان سایش می‌شود. مثلاً سایش در زانوها، شیرها و سطوح غیر همسطح تا حدود زیادی نرخ سایش را افزایش می‌دهد [۳].

فورد و همکاران نیز به کمک دینامیک سیالات محاسباتی و استفاده از معادلات مومنتوم، سایش در جریان‌های مغشوش را بررسی کرده و نشان دادند که ذرات موجود در سیالات نفتی باعث افزایش سایش به خصوص در شیرهای کنترل می‌شود [۴]. مک لاری نیز با در نظر گرفتن روش API RP 14E مطالعات دقیقی در خصوص سایش و روش‌های محدود کردن آن انجام داد [۵].

راما کریشنا و زینب یعقوب اثرات متقابل فرسایش و سایش بر یکدیگر را بررسی نموده و نشان دادند که سایش باعث فرسایش می‌شود و برعکس فرسایش نیز موجب سایش می‌شود [۶ و ۷].

### مدل سازی دینامیک سیالات محاسباتی<sup>۱</sup>

ابتدا مدل ایستگاه‌های موجود همراه با اندازه‌ها و مشخصات

و تأسیسات گاز می‌گذارد که جبران آن مستلزم وقت و هزینه‌های بسیار زیادی می‌باشد. متأسفانه بخشی از این ناخالصی‌ها پس از عمل پالایش به همراه گاز به نقاط مصرف و ایستگاه‌های تقلیل فشار روانه شده و به علت مسیرهای منقطع پی در پی در این ایستگاه‌ها، باعث ایجاد پدیده‌ای نامطلوب به نام سایش می‌شود. شرکت ملی گاز جهت گازرسانی به نقاط مختلف کشور اقدام به اجرای هزاران کیلومتر خطوط لوله و نصب ایستگاه‌های متعدد کاهش فشار نموده است. یکی از مهم‌ترین مشکلات در این راستا، پدیده خوردگی سایشی است که ناشی از جریان سریع گاز در خطوط لوله و ایستگاه‌های گاز می‌باشد.

به دلیل فاصله زیاد نقاط تولید و مصرف و به منظور پیش‌بینی کاهش شدید فشار گاز بین نقاط مذکور، به ناچار جریان گاز با فشار و سرعت بالا در خطوط لوله و تأسیسات گاز در جریان می‌باشد. این جریان سریع اغلب به فیلم‌های جدار داخلی لوله‌ها که نقش حفاظت در برابر خوردگی را ایفا می‌نماید آسیب‌هایی را وارد می‌کند. نازک شدن یا جدایش فیلم‌های موجود بر روی سطح در اثر سایش ناشی از جریان سیالات منجر به خوردگی می‌شود که به خوردگی سایشی معروف است. وجود جریان‌های گردابی این موضوع را تسریع می‌بخشد. از طرف دیگر همان‌گونه که اشاره شد وجود ذرات جامد و مایع که در هنگام پالایش کاملاً تصفیه نشده‌اند، می‌تواند میزان سایش و اصطکاک را به شدت افزایش دهد. ایستگاه‌های گاز به دلیل محصور بودن در فضای کم و متشکل بودن از اجزا متعدد، بیش از سایر نقاط در معرض پدیده سایش قرار دارند.

ایستگاه‌های تقلیل فشار به منظور کاهش فشار گاز به اندازه‌ای که برای نقاط مصرف قابل برداشت باشد، طراحی و اجرا شده‌اند. در این ایستگاه‌ها ادواتی نظیر: شیر، زانو، اتصال عایقی، فلنج، سهرامی، شیرقطع‌کن اتوماتیک، شیر اطمینان، اکسیال رگلاتور، کپ، ردیوسر، اکسپاندر در جهت کنترل جریان و یا تنظیم فشار خروجی به کار رفته است. با توضیحات ارائه شده در می‌یابیم که هدف این پژوهش تحلیل عددی سایش در یک ایستگاه تقلیل فشار و بررسی اثر پارامترهای مختلف نظیر سرعت جریان گاز، میزان ذرات ریز معلق در گاز، اغتشاش، دما، ترکیب گاز از نظر

در این پژوهش یک مسیر نسبتاً کامل از یک ایستگاه تقلیل فشار در چند قسمت که هر قسمت خود مشتمل بر چندین قطعه می‌باشد مدل شده است. با استفاده از استانداردهای شرکت ملی گاز، فشار ورودی ۵۱ bar و حد اکثر سرعت مجاز ۲۰ m/s لحاظ شده است. جریان سیال ۳ فازی، شامل گاز، ذرات جامد و مایعات در نظر گرفته شده است. تنش‌های برشی هرکدام از فازها و ضرایب سایش دیواره‌ها، خروجی‌های مفید و مورد نیاز این پژوهش می‌باشد. به دلیل محدودیت برای هر بخش ۲ یا ۳ شکل در این مقاله ترسیم می‌شود. در جداول ۱ تا ۴ تنش‌های برشی ناشی از هر فاز را برای هر قسمت مشاهده می‌کنیم. همچنین ضرایب سایش مربوط به هر قسمت نیز ثبت شده است. در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که بعد از زانویی، کانتورهای فشار و تنش برشی دارای وضعیت بحرانی می‌باشند که دلیل آن بالا رفتن سرعت عبور جریان گاز می‌باشد و این خود به دلیل کاهش سطح مقطع می‌باشد.

آنها با نرم‌افزارهای طراحی نظیر کتیا و سالید ورک مدل می‌شود. سپس از نرم‌افزار گمبیت به منظور شبکه و مش‌بندی استفاده می‌شود. در نهایت مسأله توسط نرم‌افزارهای تحلیل عددی نظیر فلونت با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) تحلیل می‌شود. به طور کلی روش‌های پیش‌بینی یک پدیده فیزیکی که در گذشته به دو قسمت عمده، روش‌های تجربی (آزمایشگاهی) و روش‌های تئوری تقسیم می‌شدند، قادر به تحلیل پدیده‌های فاقد مدل خاص نظیر جریان‌های چند فازی نیستند. بنابراین استفاده از روش عددی دینامیک سیالات به عنوان یک راه سوم برای حل مسائل جریان سیال، جای خود را باز نمود. CFD روش بسیار توانایی است که طیف وسیعی از کاربردهای صنعتی و غیر صنعتی را در بر می‌گیرد. نرم افزار فلونت به گونه‌ای طراحی شده است که تمام معادلات و روابط مربوطه نظیر معادلات پیوستگی و مومنوم را پس از ورود اطلاعات صحیح مد نظر قرار داده و اطلاعات مورد نیاز را در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

جدول ۱- نتایج عددی زانویی در ورودی ایستگاه

تنش برشی مربوط به فاز گاز (pa)	تنش برشی مربوط به فاز مایع (pa)	تنش برشی مربوط به فاز جامد (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز گاز (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز مایع (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز جامد (pa)
۸/۱۸۹	۳۲۹/۲	۹۹۹/۸۷	۱۳/۳۷	۵۳۷/۴	۱۶۳۲/۴

جدول ۲- نتایج عددی مربوط به کاهنده‌ها

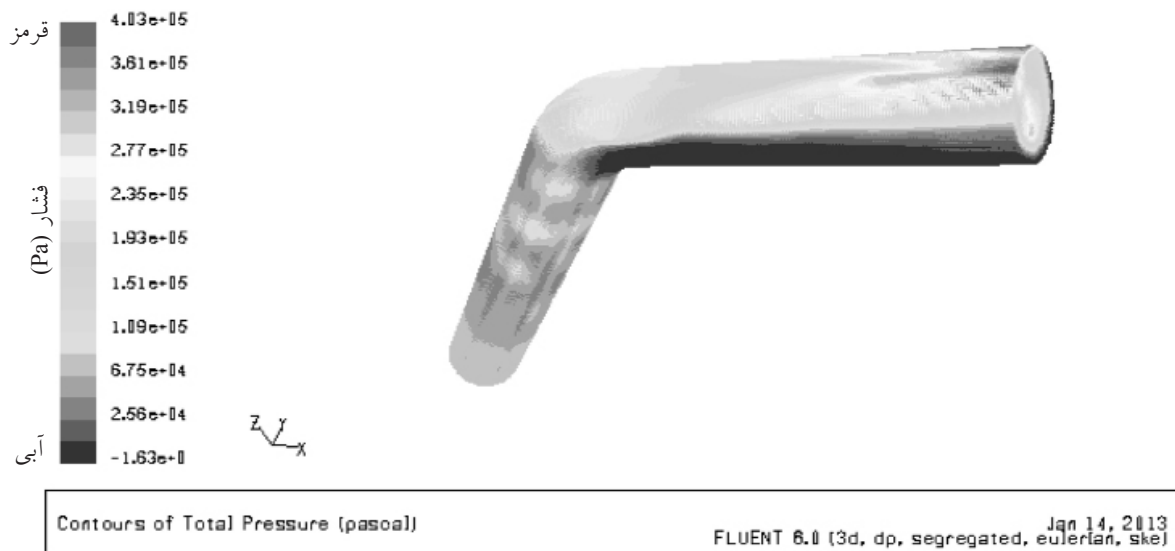
تنش برشی مربوط به فاز گاز (pa)	تنش برشی مربوط به فاز مایع (pa)	تنش برشی مربوط به فاز جامد (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز گاز (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز مایع (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز جامد (pa)
۱/۸۹	۱۸۸/۲	۴۱۸/۹	۳	۳۰۷/۲	۶۸۴

جدول ۳- نتایج عددی ترکیب زانویی و کاهنده

تنش برشی مربوط به فاز گاز (pa)	تنش برشی مربوط به فاز مایع (pa)	تنش برشی مربوط به فاز جامد (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز گاز (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز مایع (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز جامد (pa)
۱/۸۴	۳۲۷/۶	۵۷۷/۹	۳	۴۴۶/۷	۹۴۳/۵

جدول ۴- نتایج عددی سه راهی با یک خروجی مسدود

تنش برشی مربوط به فاز گاز (pa)	تنش برشی مربوط به فاز مایع (pa)	تنش برشی مربوط به فاز جامد (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز گاز (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز مایع (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز جامد (pa)
۱۷/۰۲	۳۲۹/۹	۸۲۴/۵	۲۷/۸	۵۳۸/۶	۱۳۴۶/۲



شکل ۱- کانتور فشار

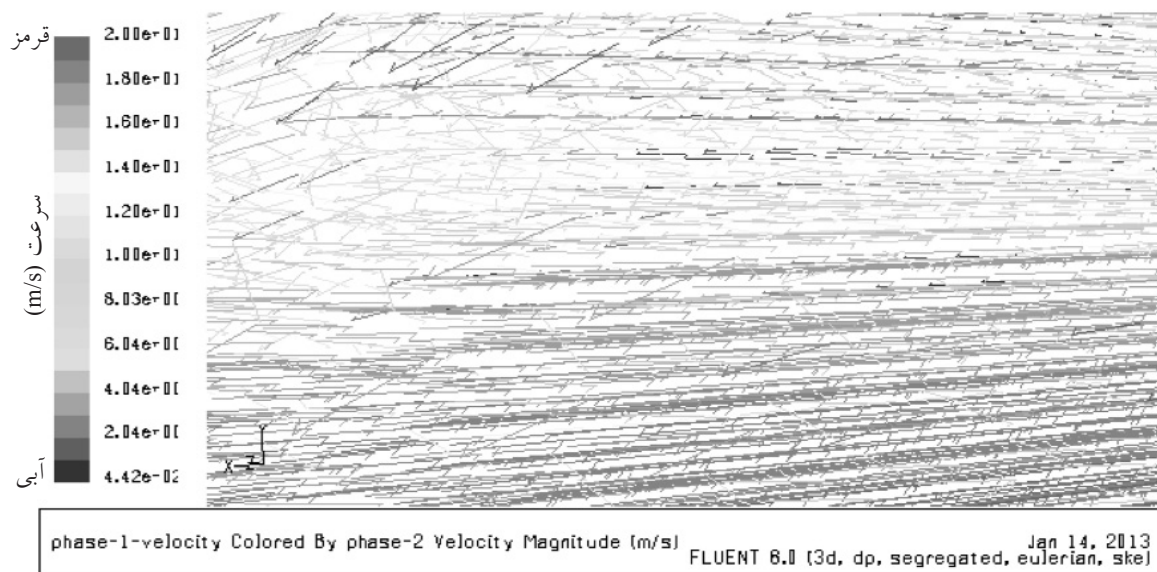


شکل ۲- کانتور تنش برشی

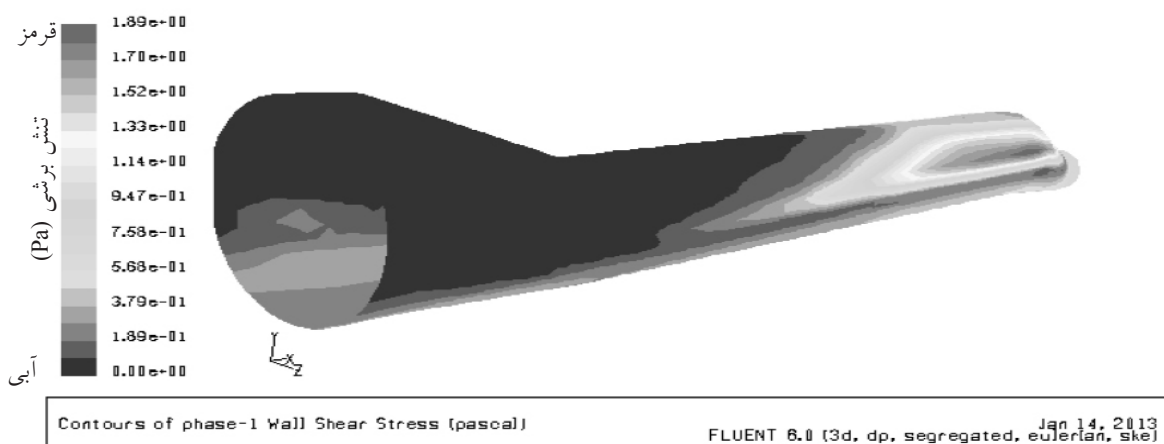
فشار پس از کاهنده را نشان می‌دهد و به تناسب تغییرات فشار، تغییرات سایش را هم خواهیم داشت. در شکل ۷ به وضوح افزایش تنش‌های برشی را مشاهده می‌کنیم که نشان دهنده وضعیت بحرانی تنش برشی در قسمت کاهش یافته سطح مقطع می‌باشد.

در شکل ۸ نیز پس از عبور جریان سیال از زانویی و کاهنده سطح مقطع، شاهد تغییرات گسترده سرعت جریان گاز می‌باشیم که همین عامل تأثیر مستقیمی بر سایش داخلی لوله‌ها خواهد داشت.

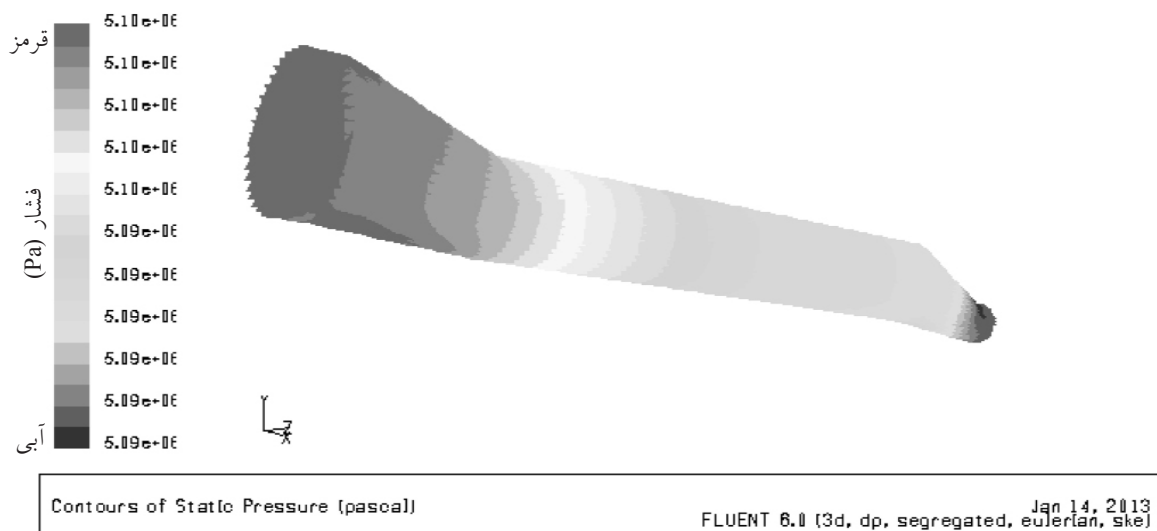
در شکل ۳ مشاهده می‌شود با کاهش سطح مقطع، مسیرهای بردار سرعت بسیار مغشوش شده و درعمل یکی از دلایل افزایش سایش به وقوع می‌پیوندد. شکل ۴ نشان دهنده افزایش تنش برشی پس از کاهنده‌ها می‌باشد. از آنجائی‌که با کاهش سطح مقطع، بردارهای سرعت حالت پیچیده پیدا می‌کنند، لذا میزان برخورد ذرات به جداره لوله و به تبع تنش برشی بیشتر می‌شود. شکل ۵ نشان می‌دهد به هنگام تغییر سطح مقطع، با تغییرات گسترده فشار سیال مواجه می‌شویم که همین مسأله عامل بسیار مؤثری بر میزان سایش می‌باشد. شکل ۶ افزایش مجدد



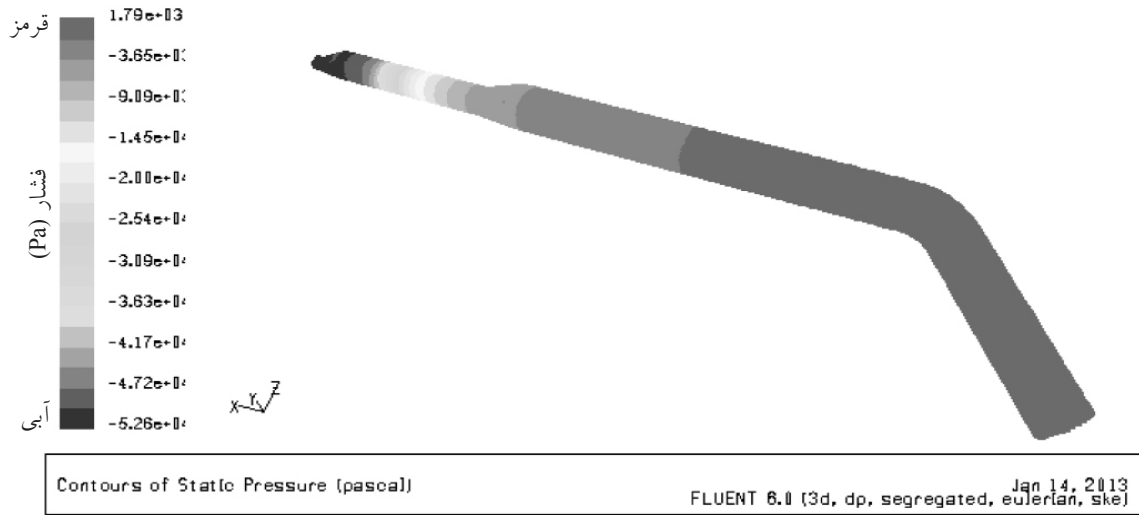
شکل ۳- کانتور بردارهای سرعت



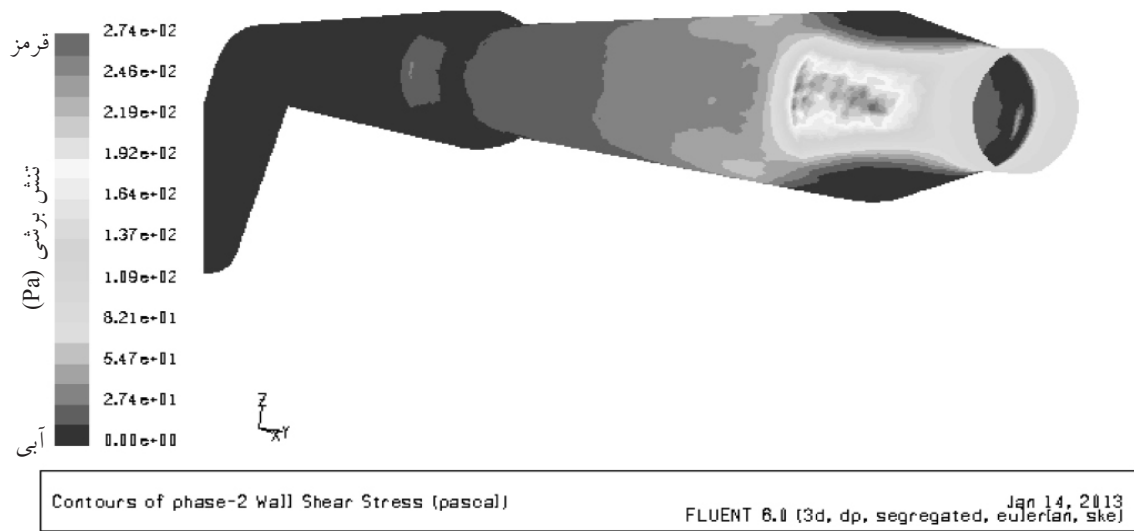
شکل ۴- کانتور تنش برشی



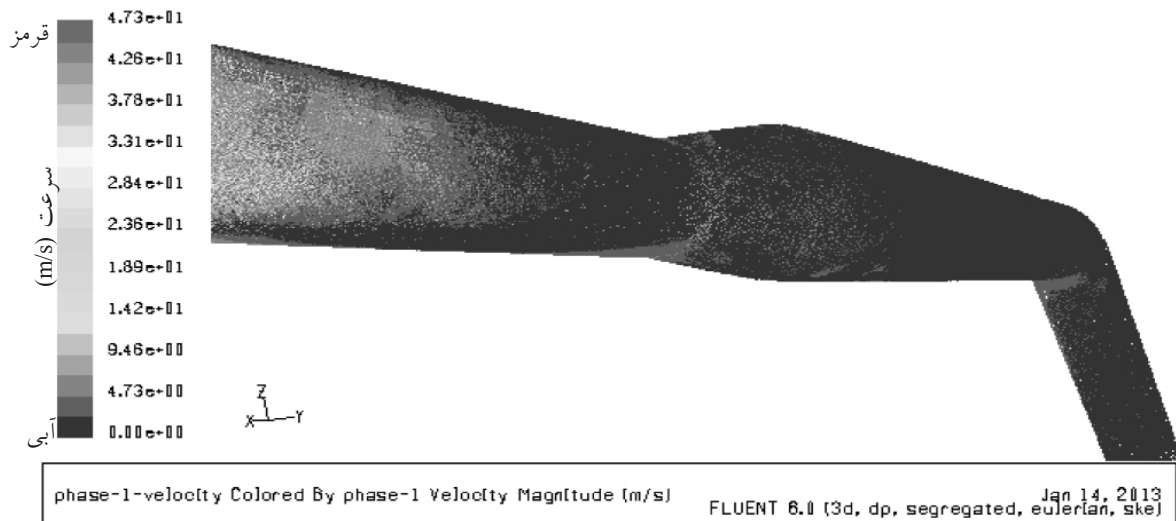
شکل ۵- کانتور فشار



شکل ۶- کانتور فشار



شکل ۷- کانتور تنش برشی



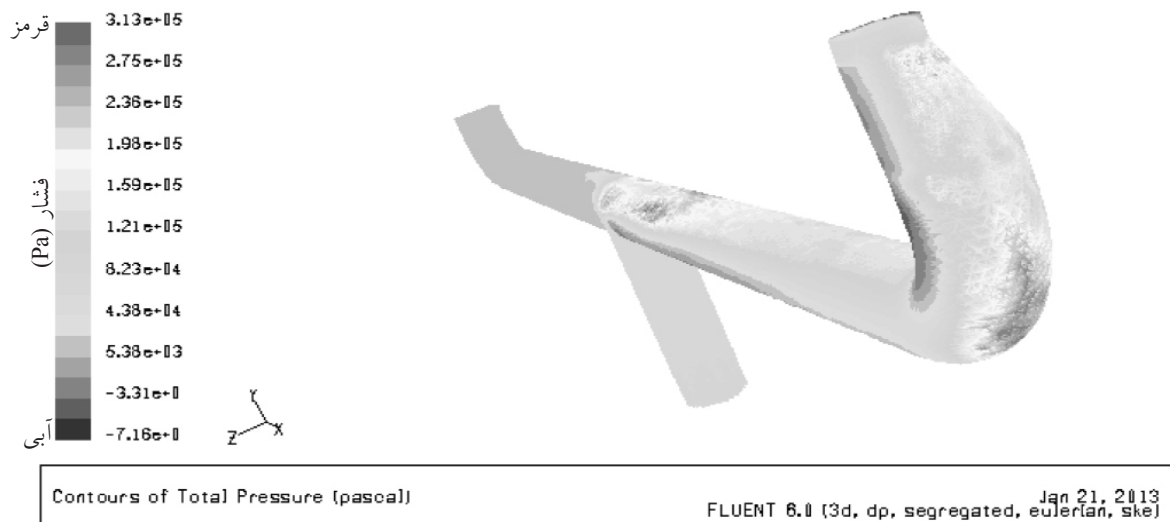
شکل ۸- کانتور سرعت

### بررسی اثر پارامترهای مختلف بر سایش

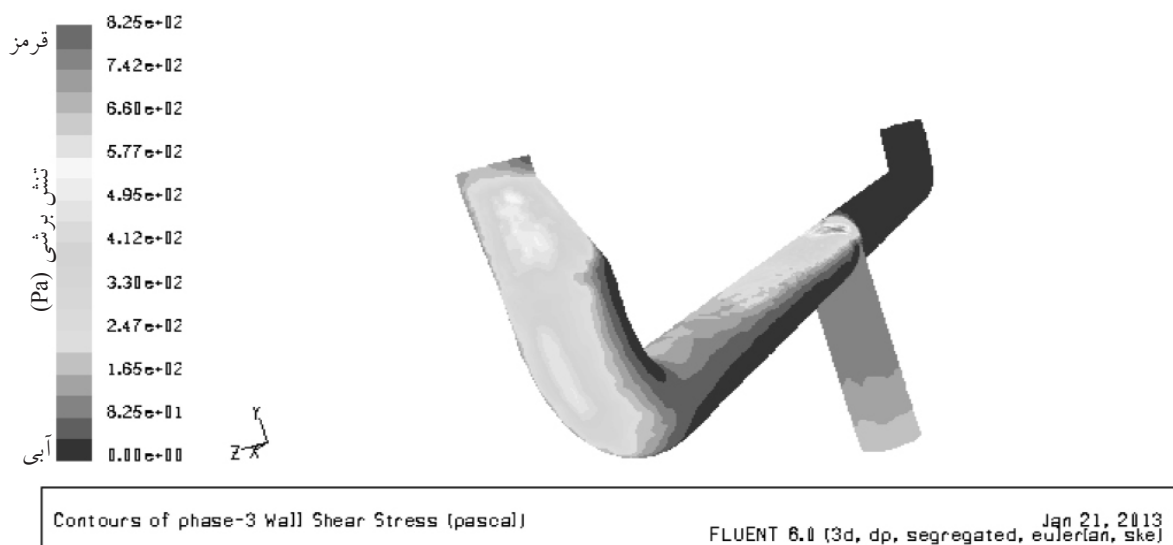
جهت بررسی اثر پارامترهایی نظیر سرعت جریان گاز، میزان ذرات، اغتشاش جریان گاز، دما، ترکیب گاز از نظر تعداد فازها و نهایتاً تغییر در نوع طراحی خطوط لوله، لازم است ابتدا برای یک مدل نمونه عواملی که موجب سایش می‌شوند (نظیر تنش‌های برشی و ضریب سایش دیواره‌ها) را از طریق نرم‌افزار Fluent به دست آوریم. در مرحله بعد با تغییر پارامترهای مذکور اثر هر یک را تعیین نموده و آنگاه با مقادیر مدل نمونه مقایسه نماییم.

شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان‌دهنده وضعیت بحرانی فشار در سه راهی و زانویی می‌باشد. به عبارتی به هنگام تقسیم جریان سیال از یک مسیر به مسیرهای بیشتر، بازهم شاهد اغتشاش در جریان سیال خواهیم بود که همین مسأله در نهایت منجر به افزایش تنش برشی و افزایش سایش خواهد شد.

شکل ۱۱ نشان‌دهنده افزایش تنش برشی یک مسیر به دلیل بسته بودن مسیر دیگر می‌باشد. یعنی بسته بودن مسیر دوم باعث بالا رفتن حجم گاز عبوری از مسیر اول شده که خود این مسأله عامل افزایش سرعت و در نهایت افزایش سایش می‌شود.

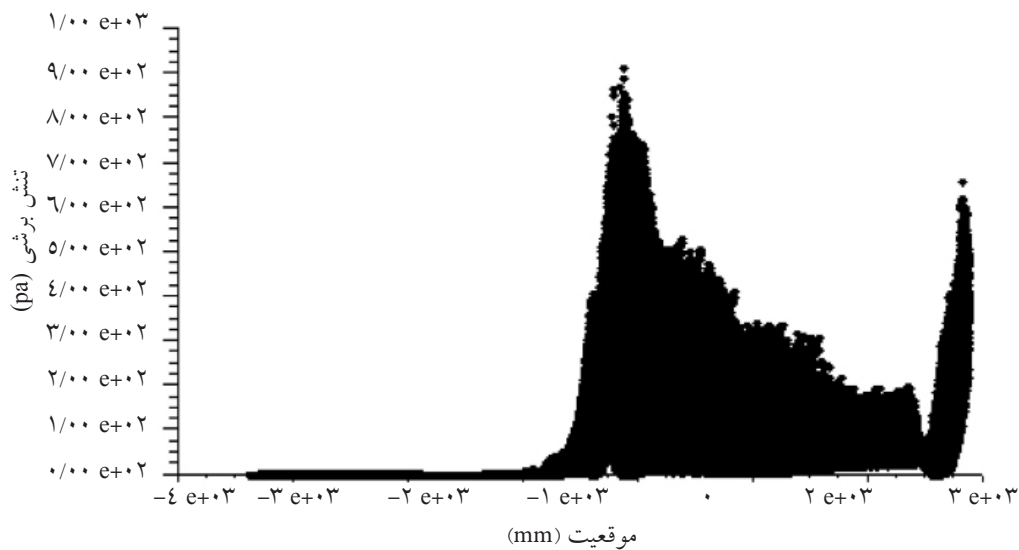


شکل ۹- کانتور فشار



شکل ۱۰- کانتور تنش برشی





شکل ۱۱- نمودار تنش برشی بر اساس موقعیت مختصاتی

#### مدل نمونه

نمونه دو برابر کرده و نتایج حاصل را به صورت جدول ۶ به دست می‌آوریم. با مقایسه اعداد جدول‌های ۵ و ۶ مشخص می‌شود که افزایش میزان ذرات جامد در گاز علاوه بر تغییر در سرعت و فشار گاز خروجی، باعث افزایش تنش برشی ناشی از فاز جامد شده و پیرو آن موجب افزایش سایش می‌گردد.

لوله ای به قطر ۶ in و طول ۱۰ m متر را با فشار کاری ۵۱ bar و سرعت ۲۰ m/s با نرم‌افزارهای طراحی و تحلیلی (سالیدورک، گمبیت و فلونت) مورد بررسی قرار می‌دهیم. جریان گاز را آرام و ترکیب آن را دو فازی شامل گاز طبیعی و ریزگرد با درصد حجمی ۰/۱ فرض می‌نماییم. پس از ورود اطلاعات و انجام محاسبات توسط نرم‌افزار، مقادیر مورد نیاز به شرح ذیل در جدول ۵ به دست می‌آید. حال با یافتن مقادیر فوق برای مدل نمونه، به ترتیب تغییرات هریک از پارامترها را جداگانه در مدل نمونه اعمال می‌کنیم و سپس نتایج حاصل را با مدل اولیه و جدول ۵ مقایسه می‌نماییم.

#### نتایج و بحث

##### تأثیر میزان ذرات

در این قسمت درصد ذرات معلق در گاز را نسبت به مدل

جدول ۵- نتایج عددی مدل نمونه

ضریب سایش دیواره (pa)	تنش برشی فاز ذرات (pa)	تنش برشی فاز گاز (pa)	دامنه سرعت (m/s)	$\Delta P$ کل (pa)	$\Delta P$ استاتیکی (pa)
۰/۰۲۷	۰/۰۱۷	۰/۰۹۵	۲۰-۱۹/۹۲	۴۰۱۴۴	۲۳/۴

جدول ۶- نتایج عددی مربوط به اثر میزان ذرات بر سایش

ضریب سایش دیواره (pa)	تنش برشی فاز ذرات (pa)	تنش برشی فاز گاز (pa)	دامنه سرعت (m/s)	$\Delta P$ کل (pa)	$\Delta P$ استاتیکی (pa)
۰/۰۵۵	۰/۰۳۳	۰/۰۸۵	۲۰-۱۹/۹۵	۸۰۱۳۷	۲۴/۵



جدول ۷- نتایج عددی مربوط به اثر سرعت بر سایش

ضریب سایش دیواره (pa) ۷۶۶	تنش برشی فاز ذرات (pa)	تنش برشی فاز گاز (pa)	دامنه سرعت m/s	$\Delta P$ کل (pa)	$\Delta P$ استاتیکی (pa)
۰/۰۳۱	۰/۰۵۵	۰/۱۹	۴۰-۳۹/۹	۱۶۰۵۴۱	۴۶

## تأثیر پارامتر طراحی بر سایش

اصولاً پارامتر طراحی جز مهارت‌های یک مهندس طراح است که علاوه بر لحاظ کردن نکات فنی، عوامل دیگری را نیز باید در نظر گرفت. یکی از این عوامل مد نظر قرار دادن جنبه‌های اقتصادی طرح می‌باشد. یک طراح برجسته می‌داند که سرعت زیاد در خطوط لوله می‌تواند باعث افزایش خوردگی سایشی شود و با افزایش قطر لوله، این مسأله تحت کنترل در می‌آید. اما از آنجایی که بالا بردن سایز لوله بار مالی سنگینی را به پروژه تحمیل خواهد نمود، عملاً تا حد امکان از این موضوع صرف نظر می‌شود. محدودیت دیگری که مهندس طراح با آن مواجه است، محدودیت فضا و مکان برای ایستگاه‌های گاز می‌باشد. بی شک وجود زانویی‌ها، تبدیل‌ها، سهراهی‌ها و فاصله کم قطعات تا یکدیگر منجر به افزایش سایش خواهد شد. اما به لحاظ محدودیت مکان و فضا برای یک ایستگاه، به اجبار طراح با مشکل مواجه خواهد شد. اما در مواردی طراح با ترفندهایی علی‌رغم در نظر گرفتن محدودیت‌های مذکور اقداماتی در راستای کاهش سایش انجام دهد. در ادامه به بررسی چند مدل خواهیم پرداخت و نقش طرح بهینه‌تر را با اعداد و ارقام به وضوح نشان خواهیم داد.

## بررسی سایش در (REDUCER 8x4)

در دو قسمت از ایستگاه تقلیل فشار، تحلیل شده از تبدیل مذکور استفاده شده است. لذا ابتدا چند خروجی نرم‌افزار Fluent برای مدل مذکور را به دست می‌آوریم. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ و اعداد مربوط به جدول ۱۱ نشان‌دهنده وضعیت بحرانی فشار و تنش برشی به دلیل کاهش ناگهانی مقطع می‌باشد.

## تأثیر پارامتر اغتشاش

در این قسمت اثر تلاطم و اغتشاش گاز مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور در نرم‌افزار جریان از حالت آرام به مغشوش تغییر یافته و نتایج به شرح جدول ۸ به دست می‌آید. مقایسه نتایج جدول‌های ۸ و ۵ نشان می‌دهد که با تغییر جریان گاز از حالت آرام به مغشوش، سایش به میزان قابل توجهی افزایش خواهد یافت.

## تأثیر پارامتر دما

در این مرحله دمای گاز را نسبت به مدل نمونه به میزان  $50^{\circ}\text{C}$  افزایش داده و نتایج را به صورت جدول ۹ به دست می‌آوریم. لازم به ذکر است که دلیل انجام محاسبات با این اختلاف فاحش دما، لحاظ نمودن شرایط کاری ایستگاه‌های گاز در فصول تابستان و زمستان و نیز گرم کردن گاز در ایستگاه‌های CGS توسط هیترها می‌باشد. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، سایش خطوط لوله گاز، متأثر از تغییرات دما نیز می‌باشد. به همین دلیل تنظیم مناسب هیترها به گونه‌ای انجام می‌شود که دو هدف جلوگیری از افزایش سایش و پیش‌گیری از وقوع پدیده یخ‌زدگی محقق شود.

## تأثیر پارامتر ترکیب گاز از نظر تعداد فازها

در این قسمت تعداد فازهای موجود در گاز را از دو فاز با افزایش فاز مایع به سه فاز رساند. نتایج حاصل را به شرح جدول ۱۰ استخراج کرده‌ایم. با مقایسه جدول‌های ۵ و ۱۰ می‌توان دریافت که اضافه شدن فاز مایع به ترکیب گاز در عمل منجر به افزایش تنش‌های برشی و سایش می‌شود، لذا فیلتراسیون ایستگاه‌های گاز و به ویژه استفاده از فیلتر جداکننده با قابلیت جذب آب بسیار مؤثر است.

جدول ۸- نتایج عددی مربوط به اثر اغتشاش بر سایش

ضریب سایش دیواره (pa)	تنش برشی فاز ذرات (pa)	تنش برشی فاز گاز (pa)	دامنه سرعت (m/s)	$\Delta P$ کل (pa)	$\Delta P$ استاتیکی (pa)
۰/۸۶	۷۲/۶	۰/۵۲	۲۱/۹-۱۶/۹	۵۳۱۰۵	۱۳۰۷۶

جدول ۹- نتایج عددی مربوط به اثر دما بر سایش

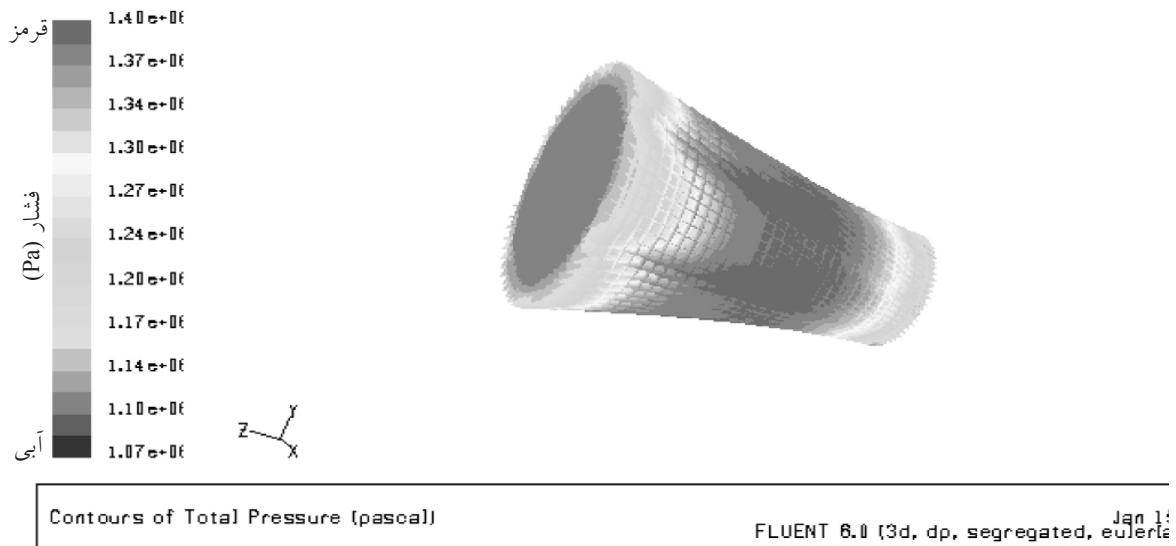
ضریب سایش دیواره (pa)	تنش برشی فاز ذرات (pa)	تنش برشی فاز گاز (pa)	دامنه سرعت (m/s)	$\Delta P$ کل (pa)	$\Delta P$ استاتیکی (pa)
۰/۲۸	۰/۸	۰/۱۷	۲۰/۱۱-۲۰	۲۵۴	۸/۸۲

جدول ۱۰- نتایج عددی مربوط به اثر تعدد فازها بر سایش

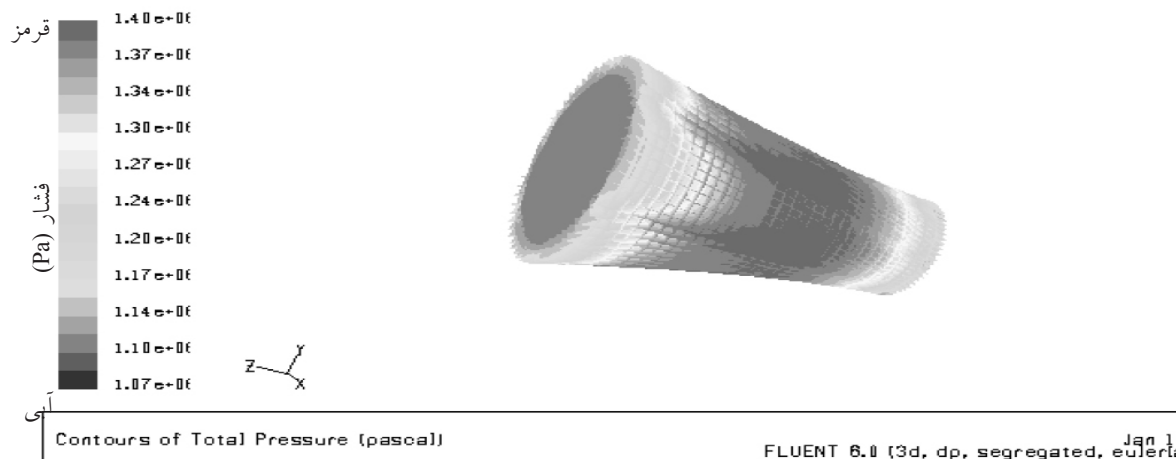
$\Delta P$ استاتیکی (pa)	ضریب سایش دیواره (pa)	تنش برشی فاز ذرات (pa)	تنش برشی فاز گاز (pa)	دامنه سرعت (m/s)	$\Delta P$ کل (pa)	$\Delta P$ استاتیکی (pa)
۱/۶	۰/۹۸	۰/۰۱۷	۰/۰۸۵	۲۰/۱-۱۹/۵	۶۰۲۶۳	۱۹۳

جدول ۱۱- نتایج عددی مربوط به کاهش مقطع ناگهانی

ضریب سایش دیواره ناشی از فاز جامد (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز مایع (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز گاز (pa)	تنش برشی مربوط به فاز جامد (pa)	تنش برشی مربوط به فاز مایع (pa)	تنش برشی مربوط به فاز گاز (pa)
۳۰۱۹	۱۵۹۲/۳	۲/۹۶	۱۸۴۹/۱	۹۷۵/۳	۱/۸



شکل ۱۲- کانتور فشار



شکل ۱۳- کانتور فشار

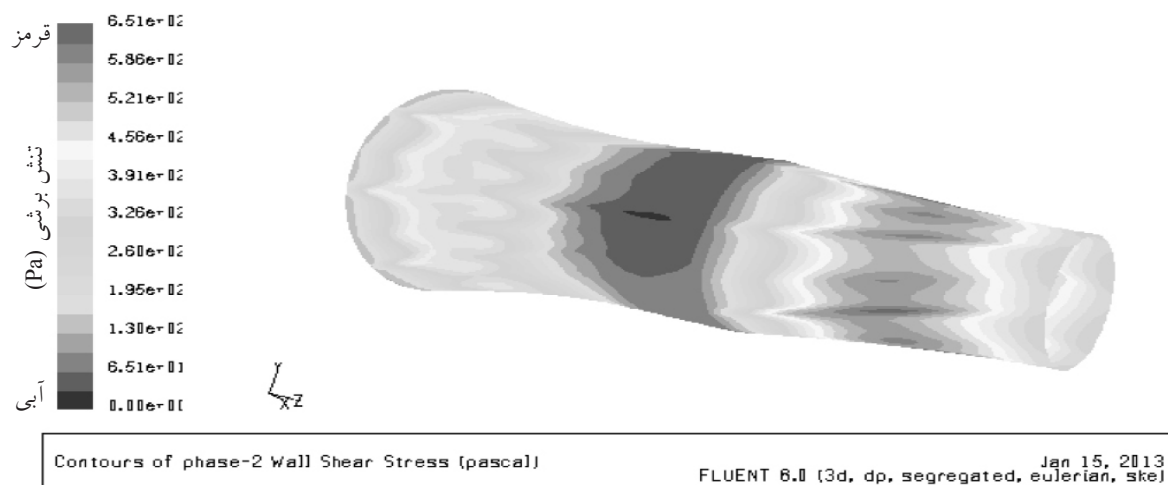
### بررسی سایش در $(6 \times 4) \times (8 \times 6)$ (REDUCER)

در ادامه تاثیر استفاده از دو تبدیل  $(8 \times 6)$  و  $(6 \times 4)$  به جای تبدیل  $(8 \times 4)$  بر میزان سایش مورد بررسی قرار می‌گیرد. بی‌شک این تغییرات بار مالی چندانی به طرح اضافه نکرده و با توجه به ابعاد ایستگاه‌های تقلیل فشار، محدودیت فضایی برای این تغییر کوچک وجود ندارد. برای بررسی این موضوع با استفاده از نرم‌افزار سالید وورک به صورت ساده تبدیل‌های مذکور را به صورت یک پارچه به هم‌سری در نظر می‌گیریم و پس از مش‌بندی و اعمال شرایط مرزی

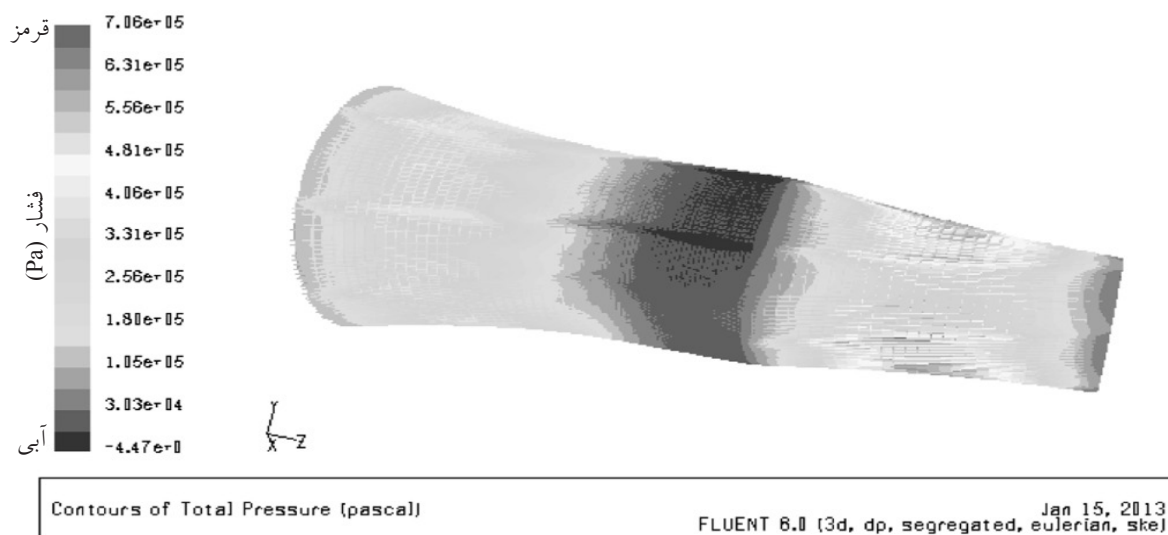
در نرم‌افزار Gambit، خروجی را به نرم افزار تحلیلی Fluent داده و پس از ورود اطلاعات مشابه با تبدیل  $(8 \times 4)$  به نتایج جدول ۱۲ خواهیم رسید. با بررسی کانتور تنش و فشار در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ و مشاهده بردارهای سرعت و کانتورها و دیاگرام‌های تنش و ضرایب سایش دیواره و مقایسه جدول‌های ۱۱ و ۱۲ به این نتیجه می‌رسیم که استفاده از مدل دوم یعنی کاهش مقطع طی دو مرحله تا حد زیادی از تمرکز تنش در نقاط انتهایی قطعه می‌کاهد و به میزان قابل توجهی سایش را کم خواهد کرد.

جدول ۱۲- نتایج عددی مربوط به کاهش مقطع دو مرحله‌ای

تنش برشی مربوط به فاز گاز (pa)	تنش برشی مربوط به فاز مایع (pa)	تنش برشی مربوط به فاز جامد (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز گاز (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز مایع (pa)	ضریب سایش دیواره ناشی از فاز جامد (pa)
۴	۶۵۱/۲	۱۴۳۶	۶/۵	۱۰۶۳	۲۳۴۴/۷



شکل ۱۴- کانتور تنش برشی



شکل ۱۵- کانتور فشار

## نتیجه‌گیری

یکی دیگر از عوامل بسیار تأثیرگذار بر سایش، وجود ذرات جامد و ناخالصی‌های فراوان در گاز می‌باشد. چنانچه در ایستگاه‌های (CGS) عمل فیلترینگ به خوبی انجام شود، به مقدار قابل توجهی از سایش کاسته خواهد شد.

مطلب مهم دیگر که به جرأت می‌توان گفت مهمترین عامل سایش در ایستگاه‌های تقلیل فشار می‌باشد، وجود مسیرهای منقطع متعدد (زانوها) و افزایش و کاهش قطر لوله‌ها (ردیوسرها) می‌باشد. لذا به حداقل رساندن آن نتایج مثبتی در پی خواهد داشت. ضمناً استفاده از تمام خطوط و ظرفیت ایستگاه می‌تواند سرعت جریان گاز و به تبع میزان سایش را کاهش دهد.

می‌توان گفت مقابله با پدیده سایش به عوامل متعددی بستگی داشته که متأسفانه در اغلب موارد به دلیل هزینه اولیه بالا عموماً با مقاومت‌هایی مواجه می‌شود و در اکثر موارد به دلیل محدودیت‌های اقتصادی، فنی و زمانی مورد توجه واقع نمی‌شود.

جهت مقابله با پدیده سایش در خطوط لوله و تأسیسات گاز، علاوه بر اصلاح طراحی‌ها، می‌بایست اصلاحاتی نیز در جنس لوله‌ها صورت پذیرد. علاوه بر این استفاده از پوشش‌های مناسب نیز می‌تواند کمک شایانی به کاهش سایش نماید.

## مراجع

- [1]. Habib H. M. Badr S. A. M. Said R., "Ben-Mansour, and S.S Al-Anizi, *solid-particle erosion in the tube end of the tube sheet of a shell-and-tube heat exchanger*", International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 50, n (8), pp. 885-909, Mar., 2006.
- [2]. Oka Y. I., K. Okamura, and Yoshida T., "Particle estimation of erosion damage caused by Solid Particle Impact", Part 1: Effects of Impact Parameters on a Predictive Equation", Wear, 259, pp. 95-101, 2005.
- [3]. Parslow G. I., "Investigation of solid particle erosion in components of complex geometry", Wear, Vol. 233-235, Dec., pp. 737-745, 1999.
- [4] Forder A., Thew M., and Harrison D., "A numerical investigation of solid particle erosion experienced within oilfield control valves", Wear, Vol. 216, , pp. 184-193, Apr., 1998.
- [5]. McLaury B., "Solid particle erosion in long radius elbows and straight pipes", Proceedings -SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Vol. Pi, pp. 977-986, 1997.
- [6]. Malka R., University O., *Erosion-corrosion and synergistic effects in disturbed liquid-particle flow*, Institute for Corrosion and Multiphase Technology, 342 west state street, Athens, OH-45701, USA, NACE, 2005.
- [7]. Ya'koob Al-Rikabi Z., *Corrosion inhibition of carbon steel tubes in cooling system at different sodium salts as function of solution acidity and temperature under low condition*, M. Sc. Thesis University of Baghdad, 2003.