

نشریه علمی-تخصصی

پژوهش‌های نوین مهندسی

ISSN: 2538-3809

فصلنامه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی
سال چهارم، پاییز ۱۳۹۸، شماره ۲۶

طراحی و تحلیل مکانیزم تنابُر

ابوالفضل زینتی، علیرضا اسقانیان، حسن ظهور

شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر مدیریت
زنجیره تامین سبز در صنعت بانک‌داری؛ مطالعه
موردی: بانک سپه
مسعود پیردستان

تعیین تراوایی با استفاده از مفهوم واحدهای
جریانی در یکی از میادین گازی جنوب ایران
علی دهقان ابنوی، امیر کریمیان طرّقه، جعفر قاجار،
علی منتصری

بهینه‌سازی فرایند تولید گوگرد از گازهای
اسیدی با روش کلاوس در پالایشگاه گازی با
استفاده از نرم افزار Aspen HYSYS
یلدا احمدی، محمد سمیع پورگیری، نصراله مجیدیان

پژوهش‌های نوین علوم مهندسی

فصلنامه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی،
سال چهارم، شماره ۴ (پیاپی: ۲۶)، پاییز ۱۳۹۸
ISSN: 2538-3809

صاحب امتیاز و مدیر مسئول:
امیرحسین یوسفی
سر دبیر: میلاد فتاحی
مدیر داخلی: منیژه ملائی

اعضای شورای علمی نشریه:

جناب آقای دکتر محمدعلی ارجمند، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
جناب آقای دکتر شهروز اسدی، دانشگاه شهید بهشتی
جناب آقای دکتر رضا افضل، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
جناب آقای دکتر علی جباری، دانشگاه اراک
سرکارخانم دکتر ساغر جارچی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
جناب آقای دکتر چنگیز دهقانپان، دانشگاه تهران
جناب آقای دکتر نعمت حسینی، دانشگاه شهید بهشتی
سرکارخانم دکتر راحله خادمیان، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
جناب آقای دکتر علی رحمانی، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
سرکارخانم دکتر فائزه رحمانی، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
جناب آقای دکتر قدرت الله رودینی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر محبعلی رهدار، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر مرتضی زیودار، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر محمدحسین کاظمی، دانشگاه شاهد
جناب آقای دکتر علی فروغی، دانشگاه تبریز
جناب آقای دکتر علی لکی روحانی، دانشگاه زنجان
جناب آقای دکتر سیدحمید هاشمی، دانشگاه اراک

دفتر نشریه:

۰۲۱ ۳۳ ۲۰ ۲۴۸۷
۰۲۶ ۳۲ ۷۲ ۴۷۸۷
۰۲۱ ۴۳ ۸۵ ۷۱ ۲۴
۰۲۶ ۳۲ ۷۴ ۷۱ ۵۸
تهران: افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲

انتشارات هنر و علوم دانشگاهی

تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۲۸، پلاک ۲۹۳
تلفن: ۰۲۱ ۳۳ ۸۴ ۵۷ ۹۲

۰۲۱

فراخوان پذیرش مقاله

توسعه پرشتاب و گسترده علوم به ویژه در حوزه فنی و مهندسی، انجام اقدامات علمی برای معرفی دستاوردهای علمی را بیش از پیش ضروری کرده است. توسعه پایدار ایران اسلامی، مستلزم ایجاد زیرساخت‌های علمی به ویژه در حوزه علوم مهندسی است. موسسه مدیریت دانش شباک با همکاری اساتید برجسته دانشگاهی با هدف معرفی پژوهش‌های علوم مهندسی و ایجاد فرصتی برای تبادل مطالعات و تجارب در این حوزه، نشریه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی را منتشر می‌کند.

تحریریه به منظور انتشار گسترده پژوهش‌های روزآمد از اساتید، صاحب‌نظران، مهندسان، دانشجویان، کارشناسان، پژوهشگران و علاقه‌مندان علوم مهندسی، دعوت می‌کند تا با ارائه مقالات علمی ارزشمند خود، از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.nres.ir ضمن مشارکت فعال به غنای این نشریه کمک نمایند. برای ارسال مقاله به نشریه کافی است تا در وبسایت نشریه ثبت‌نام نموده و با ورود به پنل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید. پس از بررسی اولیه و داوری علمی از طرف تحریریه جهت انتشار مقاله با نویسنده مسئول تماس گرفته می‌شود.

موضوعات نشریه پژوهش نوین علوم مهندسی:

- مهندسی صنایع
- مهندسی عمران
- مهندسی مکانیک
- مهندسی معدن
- مهندسی هوا فضا
- مهندسی مواد و متالورژی
- مهندسی برق و الکترونیک
- مهندسی انرژی و فیزیک
- مهندسی شیمی، نفت و پلیمر
- مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
- مبانی علوم مهندسی
- مدیریت دانش در علوم مهندسی

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	طراحی و تحلیل مکانیزم تناور ابوالفضل زینتی، علیرضا اسقانیان، حسن ظهور
۹	شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر مدیریت زنجیره تامین سبز در صنعت بانکداری؛ مطالعه موردی: بانک سپه مسعود پیردستان
۱۹	تعیین تراوایی با استفاده از مفهوم واحدهای جریان در یکی از میادین گازی جنوب ایران علی دهقان ابنوی، امیر کریمیان طرهبه، جعفر قاجار، علی منتصری
۲۵	بهینه‌سازی فرایند تولید گوگرد از گازهای اسیدی با روش کلاوس در پالایشگاه گازی با استفاده از نرم افزار Aspen HYSYS یلدا احمدی، محمد سمیع پورگیری، نصراله مجیدیان

آینده‌نگری سازمانی با بالندگی واحدهای توسعه و نوآوری

روز پژوهش فرصتی است برای بیان ضرورت‌های وجود واحدهای توسعه و نوآوری در هر سازمان پیشرو و متری تا بتوان هم لزوم بالندگی این واحدها را از نظر گذراند و هم نگاهی به نقش کارکردی این ساختار در آینده‌نگری سازمانی داشت. در هر سازمان بزرگی واحدهای عملیاتی همواره با سؤالات و چالش‌هایی روبه‌رو هستند که خودشان لزوماً قادر به پاسخگویی به آن نیستند. در این سازمان‌ها واحد توسعه و نوآوری با نگاهی به آینده‌پژوهی و ارائه برنامه‌های راه‌حل محور برای پاسخگویی این سؤالات و چالش‌ها در تلاش هستند. همچنین بررسی عمقی مسائل روز سازمان و پرداختن به آینده و استقبال زودهنگام از چالش‌های محتمل با نگاه تیزبین و دارای مهارت پیش‌بینی، از کارکردهای دیگر این واحد است.

با پررنگ‌تر شدن نقش خیریه‌ها به عنوان یکی از ارکان کلیدی و اعضای تأثیرگذار جامعه مدنی در مرتفع ساختن مشکلات و معضلات اجتماعی، موضوع کارآمدی، تخصص و به‌روز بودن این نهادها به یکی از ضروریات حیاتی‌شان تبدیل شده است. به دیگر سخن امروز مؤسسات خیریه برای داشتن عملکردی در سطح جهانی نیازمند حرکت قدم به قدم منطبق با تغییرات جامعه و تمامی ذیربطان خود هستند. علاوه بر آنکه ضرورت ایجاد می‌کند تا برای مسائل جاری و روزانه درون سازمانی در جستجوی جواب‌هایی مناسب و متری تا باشند، می‌بایست تصویری بر مبنای نوآوری و پژوهش ترسیم کرد تا هوشمندانه و با بهره‌مندی بیشتر از فرصت‌ها کنش و واکنش‌های سازمان در آینده را پیش‌بینی کرد.

واحد توسعه و نوآوری محک نیز در راستای همین اهداف فعالیت خود را از ابتدای سال ۹۸ آغاز کرده است و ایجاد شبکه گسترده‌ای از ارتباط و تعامل با جوامع علمی و دانشگاهی ملی و بین‌المللی را نیز در زمره رویکردهای اساسی خود قرار داده است. اتخاذ این رویکرد در آینده‌ای میان مدت، این واحد را به سطحی از عملکرد خواهد رساند که در برابر سؤالات و ابهامات برخاسته از برنامه استراتژیک پنجم محک (۱۴۰۵-۱۴۰۱) پاسخگو باشد. تعامل با گروه‌هایی از متخصصان، افراد صاحب فکر و پیش‌گام باعث می‌شود که نهادهای جامعه بتوانند برای مسائل و چالش‌هایی که هر روز شکلی جدید پیدا می‌کنند، واقعی‌ترین و مناسب‌ترین راه‌حل را بیابند. در واقع این همان غایتی است که مؤسسه محک از توسعه روش‌های تحقیق و نوآوری جستجو می‌کند.

این واحد در آغاز فعالیت‌های خود با همکاری پژوهشگران دانشگاهی در یک تحقیق بین‌المللی با هدایت انجمن بین‌المللی سرطان کودک (SIOP)، مشارکت داشت. این طرح تحقیقاتی با هدف مطالعه تجربیات کودکان مبتلا به سرطان و خانواده ایشان در ۱۰ کشور با درآمد کم و متوسط در سراسر جهان انجام شد. محک از نتایج این تحقیق در تعیین شاخص‌های عملکردی واحد خدمات حمایتی و یکپارچه‌سازی ارائه خدمات حمایتی به تمام کودکان مبتلا به سرطان در سراسر کشورمان در قالب برنامه استراتژیک چهارم بهره خواهد برد. این پژوهش و کاربردی کردن نتایج آن در سازمان، نمونه‌ای از اقدامات این واحد در راستای شبکه‌سازی با متخصصان داخلی و بین‌المللی است که ضمن اخذ دستاوردهایی نظیر کسب تجارب و به اشتراک‌گذاری و بهره‌بردن از دانش توانست ظرفیت‌های جدید تعاملی با جامعه دانشگاهی داخلی، سازمان‌ها و پژوهشگران بین‌المللی را برای محک به همراه آورد.

نگاهی به تاریخچه فعالیت محک و مسیر طی شده نشان می‌دهد که این سازمان به عنوان یک مؤسسه مردم‌نهاد پیشرو، همواره تلاش‌های مکرری را برای ایجاد ساختار و سیستم‌های خود انجام داده که به دلیل جدید بودن موضوع و شیوه فعالیت‌های این سازمان در ایران و عدم وجود مدل‌هایی برای طراحی سیستمی یک سازمان، همواره خود برای ساخت آن تلاش کرده است و در پی رفع چالش، پاسخگویی به نیاز و متناسب کردن آن با شرایط بومی بوده است. لذا یافتن راه‌حل مبتنی بر ظرفیت‌های داخلی ضمن تعامل گسترده با مراجع معتبر ملی و بین‌المللی بنیادی‌ترین موضوع در فلسفه وجودی این واحد و در پیوند با مسیر پیموده شده محک تاکنون است.

امیدواریم با تمرکز بر توسعه و تحقیق، زمینه ارتقای دانش، بینش و عملکرد مؤسسه خیریه محک برای ارائه بالاترین سطح خدمات به کودکان مبتلا به سرطان و خانواده آن‌ها در سراسر سرزمین‌مان فراهم شود.

صبا کامکار

مدیر توسعه و نوآوری مؤسسه خیریه محک

طراحی و تحلیل مکانیزم تنابر

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۷

کد مقاله: ۲۹۲۶۴

ابوالفضل زینتی^۱، علیرضا اسقانیان^۲، حسن ظهور^۳

چکیده

امروزه بسیاری به دلیل مشکلاتی از قبیل معلولیت، نابینایی، برخی نارسایی‌های عصبی و ... توان جابجایی بدون کمک دیگران با تکیه بر توان بدنی خود را ندارند. این پروژه در ارتباط با طراحی وسیله‌ای با عنوان تنابر تعریف شده است. تنابر نام وسیله‌ای است که به منظور کمک به بیماران هدف و به ویژه معلولانی که در جابجایی مشکل دارند، تعریف شده است. مهم‌ترین معیارهای مرتبط با طراحی این وسیله که رعایت آن‌ها به طرح اعتبار می‌بخشد. عبارتند از: ایمنی طرح، کاربردی بودن آن، سبک بودن دستگاه، هزینه ساخت و نهایتاً زیبایی ظاهری. در این پروژه طراحی مکانیزم اولیه، علل انتخاب آن به عنوان مکانیزم هدف، مباحثی چون پایداری و تحلیل تنش، سیستم بالابر و در انتها سیستم چرخش مورد بررسی قرار گرفته است که هر کدام فصلی را به خود اختصاص داده‌اند. به طور خلاصه با تکیه بر معیارهای طراحی و مطالعه بر روی طرح‌های مشابه و انجام محاسبات دستی یک مکانیزم چهار میله‌ای به عنوان مکانیزم پایه انتخاب شده است که از جنس آلومینیوم بوده و عکس‌های مربوطه به مکانیزم و ابعاد دقیق تر در متن گنجانده شده‌اند.

واژگان کلیدی: تنابر، مکانیزم ۴ میله‌ای، نقاط دقت، پایداری، سیستم بالابرنده، سیستم چرخش

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، ایران، تهران،
zinati @energy.sharif.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، ایران، تهران،
asghanian.alireza @mech.sharif.edu

۳- قطب علمی طراحی، رباتیک و اتوماسیون دانشگاه صنعتی شریف؛ عضو پیوسته فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران
zohoor@sharif.ir

۱- مقدمه

طراحی مکانیزم تنابر عنوان مساله ای است که اولین بار توسط مرکز ملی توانبخشی مطرح شد. هدف از طراحی تنابر کمک به افراد ناتوان در جهت جابجایی آسان تر تحت شرایط ذکر شده در ادامه می باشد. جابجایی از ویلچر به مکان های زیر و برعکس شامل تخت خواب، سرویس بهداشتی، صندلی ماشین، میلمان و موقعیت های مشابه. البته لازم بذکر است که موارد فوق شاید بطور کامل پوشش داده نشوند اما سعی شده است طراحی نقاط دقتی را دربرگیرد که در ادامه به آنها اشاره شده است. اساس طراحی بر دو نوع تحلیل استوار شده است: تحلیل استاتیک و تحلیل دینامیک. در تحلیل استاتیک هدف بررسی میزان تنش ها در مقاطع می باشد و در تحلیل دینامیک بحث تعادل در حین حرکت و مکانیزم های بکار رفته مورد بررسی قرار می گیرد. امید می رود این طرح بتواند گامی مثبت در بهبود شرایط برای افراد هدف بردارد. مهمترین گام های طراحی:

- ۱- ارایه پیش طرح اولیه
- ۲- ارایه نقاط دقت و ابعاد اولیه
- ۳- ارایه مدل دوبعدی و انجام محاسبات دستی
- ۴- ارایه مدل سه بعدی در نرم افزار و نقشه های ساده از طرح

۲- وسایل مشابه مورد استفاده در این زمینه

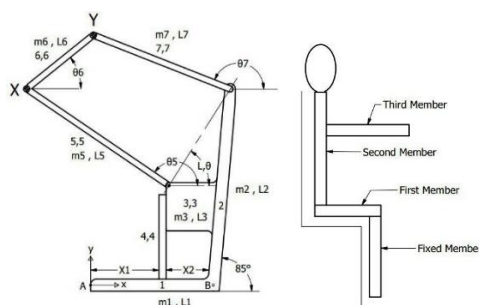
۱. اسلاید شیت^۱
۲. کمربند انتقالی^۲
۳. تخته انتقالی^۳
۴. دستگاه انتقال به وسیله هوا^۴

۳- پیش طرح اولیه

با توجه به فرآیندی که شخص مورد نظر از هنگام نشستن تا ایستادن طی می کند، می توان با فرضیات زیر یک مکانیزم چهار میله ای را برای جابجایی آن پیشنهاد داد:

الف- فرض اول آن است که فرد مورد نظر عملاً نمی تواند از پای خود استفاده کند و هم چنین جهت پایداری بیشتر این قسمت از بدن یعنی از زانو به پایین باید مقید شود و حرکت نکند. بنابراین این عضو را به عنوان زمین در نظر می گیریم.

ب- با توجه به بخش اول، با در نظر گرفتن قسمت های زیر می توان با تقریب خوبی کل بدن یا مکانیزم جابجاکننده آن را یک مکانیزم چهار میله ای در نظر گرفت.



شکل ۱- مکانیزم ۴ میله ای بدن

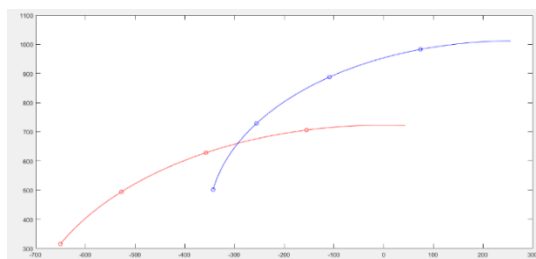
۴- ارایه نقاط دقت

برای این که این مکانیزم چهار میله ای بتواند شخص معلول را همانند یک انسان سالم بلند کند لازم است مسیر تقریبی سینه بند و کمربند (مکان های اتصال مکانیزم به بدن) مسیری کاملاً شبیه مسیر بلندشدن توسط یک انسان سالم را پییماید. بدین

- 1 Slide sheet
- 2 Transfer belt
- 3 Transfer board
- 4 Air assisted transfer-device

منظور با تهیه فیلمی از برخاستن یک انسان عادی و تهیه چهار عکس در حین فرآیند بلند شدن سعی در تهیه ۴ نقطه دقت برای نقاط اتصال کمر بند و سینه بند شده است تا به وسیله آن ها ابعاد مکانیزم به گونه‌ای حاصل شود تا مکانیزم مورد نظر شبیه‌ترین مسیر را نسبت به مسیری که توسط یک انسان عادی طی می‌شود، پییماید. محل تکیه گاه های این مکانیزم از قبل با توجه به ابعاد یک انسان و هم چنین ملاحظات طراحی، بر روی پایه تناور مشخص شده است.

پس از آن مکانیزم مورد نظر را در نرم افزار متلب شبیه سازی نموده و مسیرهای طی شده توسط سینه بند و کمر بند و عبور از نقاط دقت مورد بررسی قرار داده شد. تصویر زیر نمایشی از شبیه سازی طرح فوق در متلب می باشد.



شکل ۲- مسیر طی شده توسط مفاصل مربوط به کمر بند و سینه بند

بدین ترتیب ابعاد اولیه مکانیزم چهار میله‌ای براساس عکس های تهیه شده به دست آورده شد که مابقی تحلیل ها براساس آن انجام خواهد شد. ابعاد مکانیزم در جدول زیر آمده است:

جدول ۱- ابعاد لینک های مکانیزم

طول	L2	L3	L4
اندازه (میلی متر)	۷۲۰	۳۶۰	۶۱۰

۵- طراحی پایه تناور

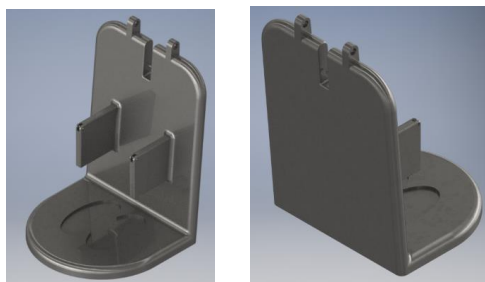
همان طور که پیش از این بیان شد برای تحقق هدف این پروژه از مجموعه ای جهت بلند کردن و چرخیدن و نشستن شخص معلول استفاده می شود. این مجموعه بر روی یک پایه قرار دارد که در طراحی این پایه از یک سری فرضیات با توجه به ساختار بدن انسان و ابعاد صندلی های چرخدار و مسائل مربوط به زیبایی و کاهش هزینه استفاده شده است. تعدادی از این موارد در ذیل آورده شده اند:

(۱) عرض این پایه که در نقشه آن نیز کاملاً مشخص می باشد با توجه به عرض ویلچر های استاندارد و راحتی استفاده شخص معلول در نظر گرفته شده است .

(۲) قسمت ایستاده پایه نسبت به کف آن حدود ۵ درجه به سمت بیرون زاویه دارد که این عمل جهت کمک به تعادل پایه انجام گرفته است .

(۳) محل تکیه گاه های O1 و O2 با توجه به محدوده کاربری دست یک انسان عادی و راحتی استفاده از مکانیزم تناور و هم چنین ارتفاع این تکیه گاه ها با توجه به ابعاد پا یک انسان عادی و در محدوده بین زانو تا لگن تعیین شده است .

(۴) فاصله بین تکیه گاه زانو بندها نیز با توجه به فاصله پاهای یک انسان عادی و سهولت استفاده و کمترین زحمت برای فرد معلول در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- پایه تناور

۶- وزن قسمت‌های مختلف بدن برای طراحی مکانیزم

در این بخش وزن قسمت‌های مختلف بدن که در طراحی مکانیزم تناور باید در نظر گرفته شوند را محاسبه کنیم که درصد هر بخش از قسمت‌های بدن از منابع مربوطه آورده شده است. پیش از محاسبه باید وزنی را به عنوان وزن فرد در نظر بگیریم که آن را به طور کل ۸۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است. هم چنین به عنوان ضریب اطمینان عدد ۱٫۵ را در وزن مورد نظر ضرب نموده بدین ترتیب وزن فرد ۱۲۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است.

درصد وزنی بخش‌های مختلف بدن به قرار زیر هستند (در پاورقی توضیحات مربوطه آمده است):^۱

$$WL4 = 2 \times (4.612 + 1.431) + 0.6 = 12.7 \%$$

$$WL5 = 2 \times 10 + 1.7 = 21.7 \%$$

$$WL6 = 10.97 + 5.27 + 26.39 = 46.9 \%$$

$$WL7 = 7.92 + 2 \times (2.64 + 1.531 + 0.612) = 18.7 \%$$

بدین ترتیب وزن قسمت‌های مختلف بدست می‌آید:

$$WL4 = (120 \times 12.7\%) / 2 = 7.62 \text{ Kg}$$

$$WL5 = (120 \times 21.7\%) / 2 = 13.02 \text{ Kg}$$

$$WL6 = (120 \times 46.9\%) / 2 = 28.14 \text{ Kg}$$

$$WL7 = (120 \times 18.7\%) / 2 = 11.22 \text{ Kg}$$

۶-۱- یافتن وزن بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA) یک تکنیک بهینه‌سازی مبتنی بر جستجو است که بر اساس اصول ژنتیک و انتخاب طبیعی کار می‌کند. برای یافتن وزن بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک لازم است متغیرهای تصمیم‌گیری، تابع هدف و قیود مسئله مشخص بشوند. متغیرهای تصمیم‌گیری علاوه بر سه قسمت تشکیل‌دهنده وزن دستگاه، سه نیروی عمودی تکیه‌گاه چرخ‌ها نیز می‌باشند. برای برقرار بودن تعادل دستگاه در همه لحظات، لازم است گشتاور نیروی‌های موجود در این دستگاه در همه لحظات حول نقطه A عددی مثبت و حول نقطه B عددی منفی باشد که همان قیود در این بهینه‌سازی می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود قید اول بیانگر تعادل نیرویی در راستای عمود بر زمین و قید دوم و سوم بیانگر گشتاور حول نقاط A و B در حین جدا شدن بیمار از صندلی چرخ‌دار می‌باشد. گشتاور نیروها حول نقاط A و B در زمان ایستادن بیمار نیز به صورت مشابه نوشته شده و جز قیود بهینه‌سازی می‌باشد.

$$1) \sum F_y = 0$$

$$N_1 + N_2 - B_1 - B_2 - B_3 - m_1 - m_2 - m_3 - m_4 = 0$$

$$\theta_2 = \theta_{Max} :$$

$$2) \sum M_B$$

$$\begin{aligned} \rightarrow & N_1 L + N_3 L_1 - B_1 g \frac{L_1}{2} - m_1 g L_4 - B_3 g \frac{L_3}{2} + B_2 g \frac{L_2}{2} \cos \theta \\ & - m_2 g \left(L_3 + \frac{L_4}{2} \cos(\pi - \theta_2) \right) - m_3 g \left(\frac{L_3}{2} \cos \theta_3 + L_4 \cos(\pi - \theta_4) - \right. \\ & \left. L_2 \cos \theta \right) - m_4 g \left(\frac{L_4}{2} \cos(\pi - \theta_4) - L_2 \cos \theta \right) \end{aligned}$$

$$3) \sum M_a$$

$$\begin{aligned} \rightarrow & -N_1(L_1 - L) - N_2 L_1 + B_1 g \frac{L_1}{2} + m_1 g(L_1 - L_4) + B_3 g(L_1 - L_3) + B_2 g \left(L_1 + \right. \\ & \left. \frac{L_2}{2} \cos \theta \right) + m_2 g \left(L_1 - \left(L_3 + \frac{L_4}{2} \cos(\pi - \theta_2) \right) \right) \end{aligned}$$

۷- بررسی پایداری

در ابتدا به بررسی نیروهای ناشی از شتاب مکانیزم حین حرکت پرداخته شد و با محاسبه مقدار آن، نقش این نیروها در بررسی تعادل این وسیله مشخص خواهد شد. پس از آن پایداری طرح مورد نظر را توسط دیاگرام آزاد نیروها و هم چنین توسط نرم افزار Solidworks در بخش Solidwork motion مورد بررسی قرار گرفت.

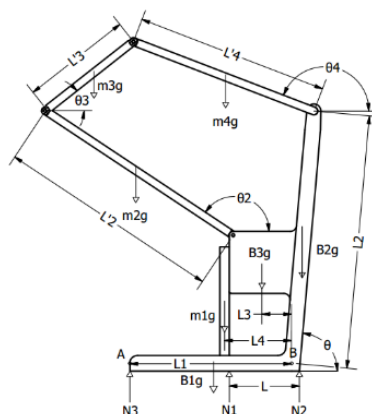
1. WL4: Shank and foot

WL5: Thigh

WL6: Thorax and Shoulders and Abdominopelvic

WL7: Head and neck and Arm and Forearm and Hand

با استفاده از معادلات سینماتیکی برای مکانیزم ۴ میله‌ای سرعت و شتاب تمامی میله‌ها محاسبه شد و مشاهده می شود که مقادیر نیروهای وارده به این دستگاه ناشی از حرکت مکانیزم که حاصل ضرب جرم میله‌ها (که با توجه به محاسبات فوق وزن شخص نیز در وزن میله‌ها آمده است) در شتاب آن‌ها می باشد بسیار کوچک بوده و قابل صرفه نظر می‌باشد به گونه‌ای بزرگترین نیروی وارده از طرف مکانیزم حدود ۱۰ نیوتون بوده که در عدم تعادل و واژگونی دستگاه تاثیر ناچیزی خواهد داشت. علت کم بودن مقادیر این نیروها، سرعت کم و آهسته برخاستن و بلندشدن و بدون شتاب بودن میله سوم به عنوان عامل حرکت مکانیزم می‌باشد که موجب شده است مقادیر شتاب‌های لحظه‌ای سایر میله‌ها بسیار ناچیز باشند. سپس به بررسی پایداری طرح با استفاده از دیاگرام آزاد نیروها می پردازیم.

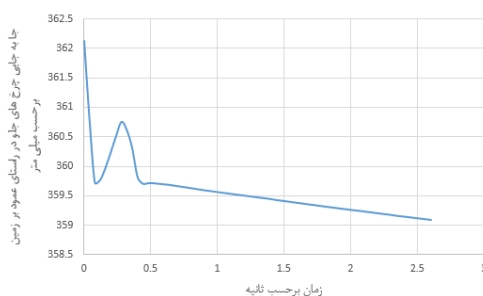


شکل ۴- دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر دستگاه جدید

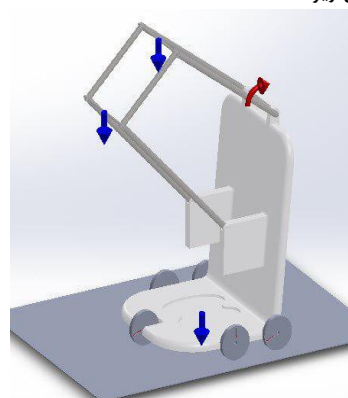
با توجه به قسمت قبل دریافتیم که نیروهای ناشی از شتاب میله‌های مکانیزم ناشی از حرکت آن، به اندازه‌ای کم هستند که تاثیری بر عدم تعادل دستگاه نمی‌توانند داشته باشند. در نتیجه در دو حالت می‌تواند واژگونی رخ دهد. هنگام جدا شدن بیمار از صندلی چرخدار که اگر دستگاه تعادل کافی نداشته باشد می‌تواند موجب واژگونی کل دستگاه به سمت عقب بشود. هنگام برخاستن بیمار و رسیدن آن به جلوی دستگاه که در صورت عدم تعادل دستگاه، می‌تواند موجب واژگونی وسیله به سمت جلو بشود.

با توجه به دیاگرام آزاد فوق، می‌توان روابط تعادل نیروها در راستای عمود بر زمین و گشتاور حول نقاط A و B در حین جدا شدن بیمار از صندلی چرخ دار و در زمان ایستادن بیمار را نوشت که روابط فوق را در قسمت بهینه سازی بیان نمودیم و با توجه به آن‌ها تعادل دستگاه فوق را بررسی نمود.

هم چنین با استفاده از نرم افزار Solidworks در بخش Solidwork motion بررسی شده و تصاویری از نتایج آن در شکل زیر آمده است.



شکل ۶- نمودار جا به جایی چرخ های جلو در راستای عمود بر زمین

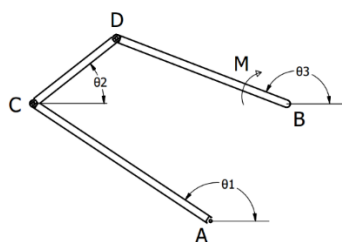


شکل ۵- بررسی عدم واژگونی طرح تنابر

همان طور که مشاهده می شود طرح فوق دارای پایداری لازم در حین انجام فرایند جا به جایی می باشد و تحت هیچ صورتی دستگاه واژگون نمی شود.

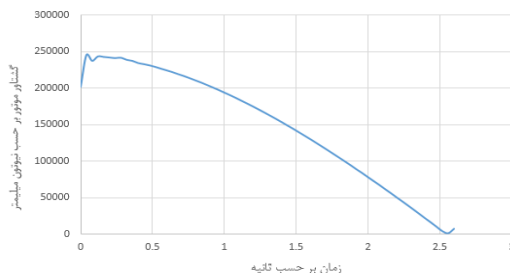
۸- سیستم بالا برنده

در کنار بررسی پایداری دستگاه طراحی شده طراحی سیستم محرک مکانیزم ۴ میله‌ای جهت برخاستن و نشستن بیمار ضروری است. بدین منظور از یک موتور الکتریکی و گیربکس برای بلند شدن و نشستن بیمار استفاده می‌شود. مزیت استفاده از موتور و گیربکس در این است که در صورت عدم تعادل بیمار حین فرایند برخاستن و نشستن، مکانیزم در همان حالت متوقف شده و بیمار واژگون نمی‌شود. با توجه به شکل زیر سیستم محرک این مکانیزم بر روی میله شماره ۳ اعمال می‌شود و باید گشتاور اعمالی به این عضو بتواند مکانیزم چهار میله‌ای را بلند کند. این گشتاور باید بتواند بر وزن قسمت‌های مختلف بدن و هم چنین وزن خود مکانیزم در هر لحظه غلبه کند. با توجه به اینکه شتاب زاویه‌ای میله شماره ۳ صفر است معادلات مربوط به هر میله را نوشته و گشتاور را به دست می‌آوریم. البته لازم به ذکر است در هر لحظه یک گشتاور به دست می‌آید و هدف محاسبه‌ی گشتاور حداکثر جهت انتخاب موتور الکتریکی می‌باشد.



شکل ۷ - مکانیزم چهار میله‌ای

باتوجه به شکل فوق ۴ مفصل موجود است و هریک دارای دو نیروی مجهول است که با گشتاوری که باید محاسبه شود، در مجموع ۹ مجهول موجود می‌باشد. طبق اصول استاتیک حاکم بر مساله برای هر میله دو معادله نیرویی و یک معادله گشتاوری می‌توان نوشت که بدین ترتیب با داشتن ۹ معادله و ۹ مجهول، تمامی مجهولات یعنی A_x و A_y و B_x و B_y و C_x و C_y و D_x و D_y و M در هر لحظه محاسبه می‌شوند. مقدار گشتاور بیشینه برای به حرکت درآوردن مکانیزم برابر با ۲۱۵۵۵۰ نیوتون میلی‌متر محاسبه شد. پس از شبیه‌سازی مدل دستگاه در نرم افزار SolidWorks، مقدار گشتاور موتور برای به حرکت درآوردن این مکانیزم در هر لحظه توسط نرم افزار محاسبه شد که نمودار آن در شکل زیر آمده است.



شکل ۸- نمودار گشتاور موتور بر حسب زمان

۹- بررسی مقاومت اجزا تنابر

مقاومت میله‌های مکانیزم به مقدار قابل توجهی به هندسه سطح وابسته است. اولاً طبق مدل ارایه شده که باید مقاومت آن را بسنجیم شعاع تمامی لینک‌ها ۲۵ میلی‌متر است، هم چنین سطح مقطع دایروی در نظر گرفته شده است تا هم برای ساخت راحت‌تر باشد و هم تنش بصورت همگون در سطح آن پخش شود و تمرکز تنش ایجاد نشود. پر واضح است هرچه سطح مقطع لینک‌ها افزایش یابد مقاومت لینک‌ها در برابر شکست افزایش می‌یابد که طبیعتاً حجم مواد استفاده شده و هزینه نیز به مراتب افزایش می‌یابد. در طراحی ما لینک‌ها هم تحت تنش ناشی از خمش و هم تنش ناشی از برش و هم نیروی محوری قرار می‌گیرند که نحوه محاسبه آن‌ها در بخش قبل ذکر شد. باتوجه به این که ابعاد میله‌ها بیش از ۵۰ میلی‌متر می‌باشد؛ آن‌ها بلند در نظر گرفته شده و اثر غالب در خرابی ناشی از تنش تحت

خمش است. با در نظر گرفتن اصول حاکم بر مقاومت مصالح و ضریب اطمینان طراحی مقاومت مقطع میله های مربوطه مورد بررسی قرار گرفت و برای محاسبات از معیار ترسکا استفاده شده است.

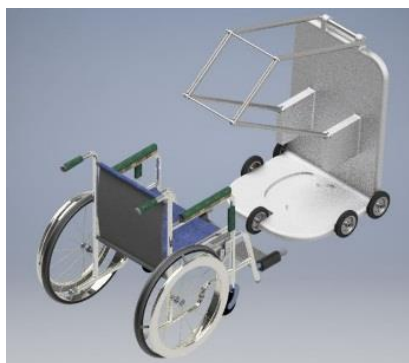
$$\begin{aligned}\sigma_{max,min} &= \sigma_{avg} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right)^2 + \tau^2} \rightarrow \sigma_{max} - \sigma_{min} \\ &= 2\sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \\ \text{concerning safety - factor} &= 3 \rightarrow S.F = \frac{S_y}{\sigma_{max} - \sigma_{min}} \\ S_y &= 3(2\tau_{max}) = 6\sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \\ S_y &= 6\sqrt{\left(\frac{3w6L6^2}{4R^3}\right)^2 + \left(\frac{w6L6}{2\pi R^2}\right)^2}\end{aligned}$$

۱۰- سیستم چرخش

در این پروژه با انتخاب چرخ ها که قابلیت تغییر مسیر حرکت را دارند و در زیر پایه قرار داده شده اند می توان به راحتی این وسیله را در جهت دلخواه چرخاند و دستگاه را در موقعیت مناسب برای نشست قرار داد.

نتیجه گیری

هدف از این پروژه و پروژه های مشابه، ساخت وسیله ای برای جا به جایی آسان تر بیماران دارای ضایعه نخاعی می باشد. مکانیزم ۴ میله ای طراحی شده با عنوان تنابر حدود ۷۸ کیلوگرم وزن دارد و می تواند بیماری با وزن ۸۰ کیلوگرم با ضریب اطمینان ۱٫۵ را برای جا به جایی های مختلف یاری برساند. مکانیزم دارای طراحی ساده ای است و این یک مزیت برای آن به شمار می آید. هم چنین هزینه ساخت کمی هم برای مواد به کار رفته تخمین زده می شود. با بررسی پایداری مکانیزم پیشنهاد شده، وجود زانوبند و دو عدد کمربند در بخش تحتانی و سینه بند ایمنی بیمار تا حدود خوبی تامین می شود. از ایرادات وارد بر آن می توان به سنگین بودن تنابر در جابجایی اشاره کرد. برای عملکرد بهتر این دستگاه پیشنهاد می شود؛ سیستم چرخشی جدا از چرخش چرخ های تعبیه شده زیر دستگاه در نظر گرفته شود تا بیمار به طور کل از استفاده از کمک شخص دیگر بی نیاز شود. هم چنین کنترلی کردن این وسیله این امکان را به بیمار می دهد که فرایندهای جا به جایی نظیر چرخش و بلندشدن را به سهولت بیشتری انجام دهد. در نهایت امید می رود با انجام چنین پروژه هایی گامی در جهت آسایش و راحتی افراد دارای این ضایعه برداشته شود.



شکل ۹ - نمای کلی تنابر

- Shikha, O., 2014. "Ergonomic wheelchair design". Department of industrial design national institute of technology Rourkela .
- Collins ,J., Wolf, L., Bell ,J., Evanoff B., 2004. "An evaluation of a best practices' musculoskeletal injury prevention program in nursing homes". Injury Prevention, 10(4), 206-211.
- McKee, C., 2010. "A Market-Based Approach to Inclusive Mobility". RANSED 2010, 12th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled Persons, Hong Kong, China
- Campbell, J., Oliver, M., 1996. "Disability politics: understanding our past, changing our future". London: Routledge.
- Germann, D., Hiller, M., Schramm, D., 2005, "Design and control of the quadruped walking robot ALDURO". Paper presented at the 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2005, 11-14 September, Ferrara.
- Morales, R., Gonzalez, A., Feliu, V., Pintado, P., 2004. "Kinematics of a new staircase climbing wheelchair", Proceedings of the 7th International conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for mobile Machines (CLAWAR 2004), September 22-24, Madrid
- Chocoteco, J., Morales, R., Feliu, V., SiraRamírez, H., 2015. "Robust output feedback control for the trajectory tracking of robotic wheelchairs". Robotica 33:01, 41-59.
- Morales, R., Gonzalez A., Feliu, V., Pintado, P., 2007. "Environment adaptation of a new staircase-climbing wheelchair". Autonomous Robots 23:4, 275-292.

شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر مدیریت زنجیره تامین سبز در صنعت بانکداری (مطالعه موردی: بانک سپه)

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۹

کد مقاله: ۳۵۳۵۹

مسعود پیردستان^۱

چکیده

توسعه دانش و توانایی بشر برای افزایش بهره‌برداری از محیط و منابع آن و از نگاهی دیگر نگرانی به پایان رسیدن منابع طبیعی و برهم خوردن تعادل فرایندهای حیاتی کره زمین، پژوهشگران را بیشتر از گذشته متوجه محیط زیست و فاکتورهای اثرگذار و اثرپذیر آن کرده است. صنعت بانکداری نقش بسیار مهمی در رشد و توسعه اقتصادی و حفاظت از منابع پایه و کاهش آثار مخرب زیست محیطی دارد. از این رو مدیریت زنجیره تامین سبز از دغدغه‌های مهم صنعت بانکداری و بانک سپه شده است و شناسایی عوامل موثر بر سبز سازی مدیریت زنجیره تامین ضروریست. در این پژوهش، عوامل مؤثر بر مدیریت زنجیره تامین سبز بر اساس پژوهش‌های گذشته دسته‌بندی و در شش بعد بر اساس نظر کارشناسان مشغول در بانک سپه ارزیابی و با استفاده از روش تاپسیس اولویت‌بندی شده است. نتایج بررسی حاکی از این است که از عوامل شناسایی شده عواملی چون: ترویج فرهنگ سبز، آلاینده‌گی آب، خاک و هوا، رعایت استانداردهای لازم، بازیافت پسماندها و ضایعات، مدیریت کیفیت جامع محیطی، آموزش و ارائه الگوهای مصرف صحیح انرژی، ایجاد سیستم‌های کنترلی و نظارتی، فراهم سازی محیطی، حمایت از زنجیره تامین سبز توسط مدیران ارشد، بررسی تحلیلی تمام مراحل عملیات فرآیند تولیدی، استفاده از فناوری‌های جدید، وجود ضوابط و در آخر بررسی تحلیلی مداوم وضعیت کاری اتوماسیون و ماشین‌های اداری اثر بیشتری بر مدیریت زنجیره تامین سبز در صنعت بانکداری ایران و بانک سپه دارد.

واژگان کلیدی: مدیریت سبز، زنجیره تامین سبز، فرهنگ سبز، بانک سپه، تاپسیس.

^۱ - مدرس دانشگاه، عضو باشگاه دانش‌پژوهان جوان و نخبگان دانشگاه آزاد، دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، Ma.pirdastan@yahoo.com

۱- مقدمه

زنجیره تامین برای بقا در بازارهای پویا و متغیر نیازمند ابزاری است که بتواند با کمک آن بر چالش‌های محیطی فائق آید. چنین ابزاری یک زنجیره تامین سبزی باشد. از این رو با هدف تدوین مدل زنجیره تامین سبز، تحقیق حاضر صورت گرفته است. بینشی که این مدل به مدیران ارائه می‌کند می‌تواند به آنها در برنامه ریزی استراتژیک برای ارتقاء زنجیره تامین به یک زنجیره تامین سبز کمک کند.

امروزه سازمان‌هایی می‌توانند به درستی نقش خود را ایفا کنند که به مسئولیت‌های اجتماعی مانند حفظ محیط زیست توجه داشته و آن را در اولویت قرار داده باشند. در هزاره فعلی تعریف اخلاق توجه به محیط زیست است و از طرفی استقرار نظام مدیریت محیط زیستی موجب کاهش هزینه‌ها می‌شود و نوعی تولید ثروت است و از آنجایی سواد مالی باعث افزایش ثروت و پویایی اقتصادی می‌شود لذا اقدامات زیست محیطی و آموزه‌های سواد مالی به هم گره خورده و استقرار و پویایی مسئولیت‌های اجتماعی را به همراه خواهند داشت [۱]. امروزه تضمین توسعه پایدار هر کشور منوط به حفظ و استفاده بهینه از منابع محدود و غیر قابل جایگزین در آن کشور شده است و اقدامات گوناگونی برای مواجهه با این مسئله توسط دولت‌ها انجام گرفته است که از جمله آنها اعمال قوانین و اصول سبز مانند استفاده از مواد خام سازگار با محیط زیست در مراکز تولیدی و صنعتی، کاهش استفاده از منابع انرژی فسیلی و نفتی، بازیابی کاغذها و استفاده مجدد ضایعات بر سازمان‌ها است [۲].

سازمان‌های دارای زنجیره تامین سبز با در نظر گرفتن توسعه پایدار، توانایی مشاهده جهان به صورت واقعی و هدفمند را دارند و برای بهبود ردپای اکولوژیک سازمان، و در حالت کلی "محیط زیست جهانی" اقداماتی انجام می‌دهند [۳]. مدیریت زنجیره تامین سبز امروزه؛ به عنوان یک نوآوری مهم به سازمان‌ها در توسعه استراتژی‌هایی برای رسیدن به اهداف مشترک سود و بازار با کاهش خطرات زیست محیطی و بالا بردن راندمان زیست محیطی خود کمک می‌کند [۴]. زنجیره تامین برای بقا در بازارهای پویا و متغیر نیازمند ابزاری است که بتواند با کمک آن بر چالش‌های محیطی فائق آید. در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، چالش‌های زیست محیطی ایجاد شده به واسطه انرژی‌های تجدیدناپذیر، ضایعات تولید شده توسط بشر، انتشار سموم آلاینده هوا و کمبود آب همگی از مساله‌های مهم و پیچیده‌ای هستند که نیازمند توجه ویژه هستند. قوانین زیست محیطی سختگیرانه، نیاز فوری برای پایداری و فشارهای بازار از یک طرف شرکت‌ها را وادار می‌سازد تا از پایداری عملیات خود اطمینان حاصل کنند [۵].

۲- مبانی نظری پژوهش

۲-۱- زنجیره تامین سبز

مدیریت زنجیره تامین سبز یکی از ایده‌های نوآورانه است که به توسعه عملکرد زیست محیطی در صنایع توجه می‌کند. مدیریت زنجیره تامین سبز یک رویکرد برای بهبود عملکرد فرایند و محصولات با توجه به الزامات زیست محیطی است. اجرای موثر مدیریت زنجیره تامین سبز در یک سازمان نقش مهمی در بدست آوردن و حفظ مزیت رقابتی است [۶].

مدیریت زنجیره تامین سبز یک روش مدرن جهت بهبود اقتصادی و اکولوژیکی در طول بهبود پارامترهای عملکردی نیز می‌باشد. این روش کمک می‌کند که محصول با مصرف کمتر مواد و انرژی تولید شود. مدیریت زنجیره تامین سبز به طور قطع به پایداری کمک می‌کند. محققان مختلف شاخص‌های متعددی را برای سنجش سبز بودن زنجیره تامین بیان کرده اند که با وجود تعدد، همگرایی قانع کننده‌ای دارند که در این پژوهش عبارتند از:

۱- مدیریت زیست محیطی داخلی: هدف مدیریت زنجیره تامین سبز توسعه همکاری‌های زیست محیطی، اجتماعی و بهبود عملکرد اقتصادی با تاکید بر انتقالات سبز در چرخه عمر محصول و خدمات می‌باشد و این در حالی است که به طور همزمان هم مصرف منابع را به حداقل رسانده و هم اثرات زیست محیطی را کاهش می‌دهد [۷].

۲- تولید و خدمات سبز: تولید و ارائه خدمات با استفاده از فناوری‌هایی که آلودگی را محدود یا حذف می‌کنند و اثرات محیطی سودمندی دارند [۸].

۳- طراحی زیست محیطی: به عنوان عاملی اساسی در بهبود وضعیت فعلی سازمان‌ها در یک زنجیره تامین سبز به شمار می‌رود و به معنی به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی محصول و خدمات از طریق بهبود طراحی است. این فرایند نیازمند همکاری متقابل درون سازمان و همچنین همکاری با شرکای تجاری در سراسر زنجیره تامین است [۹].

۴- خرید سبز: سازمان‌ها با رعایت قوانین زیست محیطی در هنگام تامین خدمات و خرید می‌توانند خصوصياتی را برای زنجیره تامین خود در نظر بگیرند که الزامات زیست محیطی نیز در آن‌ها رعایت شده باشد [۸].

۵- بازاریابی سبز: بازاریابی سبز، نوعی فعالیت اقتصادی است که در آن بر لزوم صحت و سلامت خدمات و محصولات و تطابق آن با معیارهای زیست محیطی، تأکید می‌شود. فعالیتی که درصدد است؛ سطح آگاهی و دانش زیست محیطی آحاد جامعه را ارتقاء بخشیده و نگاه رایج آنان به محیط پیرامونشان را به درستی تغییر دهد [۹].

الف و همکاران تحقیقی با عنوان شناسایی اقدامات لازم جهت دستیابی به مدیریت زنجیره تامین سبز در صنعت خودروسازی ایران انجام دادند. با مطالعه ادبیات موضوعی، عواملی از قبیل مدیریت زیست محیطی داخلی سازمان، طراحی برای محیط زیست، بهبود عملکرد زیست محیطی در حوزه فرآیند تولید، مدیریت منابع غیرتولیدی، مدیریت و بهینه سازی مصرف انرژی، مدیریت ضایعات، آموزش و پژوهش و فرهنگ سازی، مدیریت زیست محیطی بیرونی سازمان، همکاری های زیست محیطی با ذینفعان، بهبود عملکرد زیست محیطی در حوزه فروش و خدمات پس از فروش، و افزایش ایمنی خودرو و بهبود عملکرد موتورخودرو را به عنوان اقدامات لازم جهت دستیابی به مدیریت زنجیره تامین سبز معرفی نمودند. سپس با روش تاپسیس فازی اقدامات شناسایی شده را اولویت بندی نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که اقدامات طراحی برای محیط زیست، همکاری های زیست محیطی با ذی نفعان و مدیریت ضایعات به ترتیب رتبه اول تا سوم را کسب نمودند [۱۰].

حسینی و همکاران تحقیقی را با عنوان شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر زنجیره تامین سبز با رویکرد تحلیل مسیر در شرکت های تولید کننده مواد شیمیایی و شوینده شهرستان شیراز انجام دادند. نتایج تحقیق نشان میدهد که محرکهای داخلی (ریسک کالا، آرایه خدمات، فرهنگ سازی و تعهد مدیریت) بر فعالیت های عملیاتی مدیریت زنجیره تامین سبز تاثیر مستقیم ندارند؛ اما محرکهای خارجی (عوامل قانونی، جامعه، رقابت (بر آن تاثیر مستقیم و مثبت دارند. البته لازم به ذکر است که با مطالعه ادبیات تحقیق مشخص می گردد که محرک های داخلی تاثیر غیرمستقیم بر فعالیتهای عملیاتی مدیریت سبز دارند [۱۱].

حیات داودی و همکاران پژوهشی را با عنوان شناسایی و سنجش روابط ما بین مولفه های زنجیره تامین سبز در شرکت پتروشیمی مبین عسلویه انجام دادند. با مطالعه ادبیات موضوعی و مصاحبه با متخصصان، شاخص های طراحی زیست محیطی، قوانین و مقررات، مشتریان، و مالی به عنوان مولفه های زنجیره تامین سبز شناسایی نمودند. نتایج تحلیل داده ها نشان می دهد که مولفه های طراحی زیست محیطی و مشتریان نسبت به قوانین و مقررات و مالی مهم تر می باشند [۱۲].

امیدوارو همکاران تحقیقی را با عنوان رتبه بندی موانع مدیریت زنجیره تامین سبز با استفاده از روش دیمتل (مطالعه شرکت پارس خودرو) انجام دادند، بیان می دارند که مدیریت زنجیره تامین سبز، یکپارچه کننده مدیریت زنجیره تامین با الزامات زیست محیطی در تمام مراحل طراحی محصول، انتخاب و تامین مواد اولیه، تولید و ساخت، فرآیندهای توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و بالاخره پس از مصرف، مدیریت بازیافت و مصرف مجدد برای بیشینه کردن میزان بهره وری مصرف انرژی و منابع همراه با بهبود عملکرد کل زنجیره تامین می باشد؛ لذا در گام اول، به بررسی موانع اجرای این شیوه ها پرداخته شد و نهایتاً موانع نهایی با نظر خبرگان امر در این زمینه انتخاب شد. پس از نهایی شدن این موانع، در گام دوم از روش دیمتل برای تجزیه و تحلیل و رتبه بندی موانع علی و معلومی استفاده شد. در نهایت با توجه به تجزیه و تحلیل علی و معلولی دیمتل، موانع عدم وجود رویکرد فعالانه و داوطلبانه سازمان و تامین کنندگان در خصوص رعایت استانداردهای زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی و عدم توانمندی تامین کنندگان برای اخذ استاندارد ایزو 14001، مهم ترین تاثیر را در عدم اجرای شیوه های مدیریت زنجیره تامین سبز دارند [۱۳].

رائوا ظهار می دارد که سبز کردن صنعت به طور عمده به سبز کردن تولید بستگی دارد، زیرا آلاینده ها به طور عمده در حین مراحل تولید کالا و خدمات ایجاد می شوند. کاربرد تولید سبز بیشتر به خلاقیت و تکنیک های ابداعی وابسته است تا سرمایه گذاری سنگین در فناوری سازگار با محیط زیست و این امر نیازمند همکاری نزدیک با کارکنان و تامین کنندگان است. چهار چارچوب رایج برای کاربرد تولید سبز وجود دارد که عبارت اند از [۱۴]:

- تولید پاکتر: تولید پاکتر کاربرد پیوسته یک راه کار محیطی بازدارنده قابل کاربرد برای محصولات، فرآیند ها و خدمات است و به علت های آلودگی توجه می کند. هدف این دیدگاه، جلوگیری از آلودگی در منابع اولیه تولید است.

- کارایی محیطی: هدف این دیدگاه، نگه داری و محافظت منابع است. این دیدگاه می کوشد تا کالا ها و خدمات را با استفاده بهینه از ورودی های مرحله تولید، تولید کند و از این طریق ضایعات را حداقل سازد و آلودگی را کنترل کند.

- تولید ناب: این مفهوم مشابه مفهوم قبل، تلاش دارد تا فعالیت های بدون ارزش افزوده را حداقل کند، استفاده از منابع را کاهش دهد و از این طریق کارایی را افزایش دهد.

ژو و همکاران در مطالعه ای دیگر به دلیل افزایش فشارها به مدیران برای ارتقای هم زمان ملاحظات زیست محیطی و عملکرد اقتصادی در صنعت خودروی چین، اجرایی کردن مدیریت زنجیره تامین سبز را مورد بررسی قرار دادند. برخی از عواملی که به سازمان ها برای پذیرش و اجرای مدیریت زنجیره تامین سبز فشار می آورند، عبارت اند از: فشار مصرف کنندگان، کمبود منابع، راه کارهای سبز رقا، رسالت محیطی سازمان و قوانین و مقررات ملی و بین المللی. آنها ۲۲ مؤلفه را برای ارزیابی مدیریت زنجیره

تأمین سبز در برخی صنایع چین نظیر الکترونیک، پتروشیمی و خودرو شناسایی کردند. آن‌ها این معیارها را در پنج گروه شامل مدیریت محیطی داخلی، خرید سبز، همکاری با مشتری، بازیافت و طراحی محیطی طبقه‌بندی کردند [۱۵].

سو و هو به ارزیابی رویکردهای عمده در عملیاتی کردن مدیریت زنجیره تأمین سبز پرداختند. آن‌ها ۲۰ رویکرد را شناسایی کرده و از طریق تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فازی، رویکردها را اولویت‌بندی کردند. سه اولویت نخست به دست آمده در این تحقیق عبارت‌اند از: بنا نهادن یک پایگاه داده محیطی برای محصولات، حمایت مدیریت عالی و ارزیابی محیطی تأمین‌کنندگان [۱۶].

هوانگ بحث خرید سبز را مطرح کرد، به این صورت که در فرآیند تولید و عرضه محصولات، مقادیر زیادی از مواد اولیه، ملزومات اداری و ... لازم است. برای اینکه شرکت‌ها بتوانند محصولات سبز تولید نمایند، باید از مواد و محصولاتی استفاده کنند که با معیارهای زیست محیطی سازگار باشد. لذا سازمان‌ها در مذاکره با تأمین‌کنندگان شان (به منظور حفظ سهم بازار یا حتی گاهی تنها برای بقا) باید به موضوعات محیطی توجه کنند. برخی از دلایل روی آوردن شرکتها به خرید سبز پاسخ به علاقه مصرف‌کنندگان به محصولات سازگار با محیط زیست، تمایز قائل شدن بین محصولات شرکت و رقبا و صرفه جویی در هزینه‌ها می‌باشد. اغلب شرکت‌ها اصولی را برای سازگاری بیشتر با محیط زیست مدنظر قرار می‌دهند که برخی از این اصول عبارت‌اند از تهیه فهرستی از مواد شیمیایی که نباید به کار برده شود، تهیه فهرستی از محصولات مورد قبول، همکاری نزدیک با تأمین‌کنندگان برای افزایش عملکرد محیطی و در نظر گرفتن ویژگی‌های چندگانه محیطی هنگام تصمیم‌گیری در مورد خرید [۱۷].

ایپ و همکاران رویکرد جامعی را برای مدلسازی و ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین ارائه دادند. آن‌ها برای این ارزیابی شش معیار قابلیت اطمینان محصول، رضایت کارکنان، رضایت مشتری، تحویل به موقع، رشد سودآوری و کارایی را مدنظر قرار دادند [۱۸].

کوتزاب و همکاران ۳۴ شاخص زنجیره تأمین سبز در حوزه خرده‌فروشی را شناسایی کردند و این شاخص‌ها را در هشت طبقه سیستم‌های مدیریت محیطی، استفاده از انرژی، توجه به ورودی‌ها، محصول، بسته‌بندی، حمل و نقل، مصرف و ضایعات جای دادند [۱۹].

لارج و تامسن، شاخص‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز را شناسایی کردند و تحت پنج مؤلفه قابلیت‌های مدیریت تأمین سبز، خرید سبز، تعهد محیطی، ارزیابی محیطی تأمین‌کنندگان و همکاری با تأمین‌کنندگان ارائه دادند [۲۰].
کوی و همکاران، تحقیقی با عنوان شناسایی و تعیین بهبوددهنده‌های عملکرد مدیریت زنجیره تأمین سبز در کشور چین انجام دادند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که شاخص‌هایی مانند سازگاری با محیط، حمایت سازمانی، منابع انسانی با کیفیت و شایسته، فشار از جانب مشتریان، فشارهای قانونی، حمایت دولت جهت ارتقای عملکرد محیطی و اقتصادی سازمان‌ها بسیار موثر و از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشند [۲۱].

وو و همکاران تحقیقی با عنوان شناسایی عوامل حیاتی در مدیریت زنجیره تأمین سبز با رویکرد دیمتل انجام دادند. این پژوهشگران با مطالعه و بررسی ادبیات تحقیق، تعداد چهار عامل اصلی شامل مدیریت تأمین‌کننده، بازیافت کالا، دخالت سازمانی، و مدیریت چرخه عمر محصول و بیست شاخص فرعی را شناسایی نمودند. نتایج نشان می‌دهد که در مقایسه با ابعاد دیگر، عامل‌های مدیریت تأمین‌کننده و دخالت سازمانی مهم‌تر می‌باشند. و شاخص‌های حمایت مدیریت عالی سازمان، اتخاذ سیاست زیست محیطی، طراحی سبز، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان سبز، خرید سبز، برآوردن احتیاجات محیطی از طریق استفاده مواد سازگار با محیط زیست نسبت به سایر شاخص‌های فرعی شناسایی شده در این تحقیق جهت مدیریت زنجیره تأمین سبز موثرتر و حیاتی‌تر می‌باشند [۲۲].

۲-۲- مؤلفه‌های زنجیره تأمین سبز

محققان مختلف شاخص‌های متعددی را برای مدیریت زنجیره تأمین سبز بیان کرده‌اند که با وجود تعدد، همگرایی قانع‌کننده‌ای دارند و در این پژوهش عبارتند از:

- | | |
|----------------------|------------------|
| ۱- مدیریت زیست محیطی | ۴- خرید سبز |
| ۲- تولید و خدمات سبز | ۵- بازاریابی سبز |
| ۳- طراحی زیست محیطی | ۶- بازیافت سبز |

۳- چارچوب مفهومی پژوهش

در این پژوهش عوامل موثر بر مدیریت زنجیره تأمین سبز از پژوهش‌های ارائه شده و این عوامل بر اساس ساختار کیوی و کامپن هود [۲۳] در قالب شاخص و ابعاد سبزی‌سازی در شش بعد ساختاردهی شده است. در شکل یک چارچوب استخراج شده ارائه

شده است در این ساختار عوامل موثر منجر به ایجاد خروجی‌های که معادل ابعاد است می‌شود و موثر بودن آنها مستلزم برآوردسازی ابعاد سبز سازی است.

سطح مفهوم: عوامل موثر مدیریت زنجیره تامین سبز

سطح ابعاد: مدیریت زیست محیطی، تولید خدمات سبز، طراحی زیست محیطی، خرید سبز، بازاریابی سبز، بازیافت سبز

سطح شاخص:

- ۱- وجود ضوابط لازم برای کاهش مصرف مواد اولیه.
- ۲- استفاده از فناوری های جدید
- ۳- آموزش و ارائه الگوهای مصرف صحیح انرژی.
- ۴- رعایت استانداردهای لازم
- ۵- بررسی تحلیلی مداوم وضعیت کاری ماشین آلات
- ۶- بررسی تحلیلی تمام مراحل عملیات فرآیند تولیدی.
- ۷- بازیافت پسماندها و ضایعات
- ۸- آلاینده‌گی آب، خاک و هوا
- ۹- مدیریت کیفیت جامع محیطی
- ۱۰- فراهم سازی محیطی در زمینه مسائل زیست محیطی.
- ۱۱- حمایت از زنجیره تامین سبز توسط مدیران ارشد
- ۱۲- ترویج فرهنگ سبز
- ۱۳- ایجاد سیستم های کنترلی و نظارتی

۴- روش پژوهش

هدف اصلی از این پژوهش، تعیین عوامل مؤثر بر مدیریت زنجیره تامین سبز و اولویت بندی آنها در صنعت بانکداری ایران و بخصوص در بانک سپه است تا با توجه به اولویت بندی مشخص شده اهمیت و فوریت توجه به آنها به منظور مدیریت زنجیره تامین سبز مد نظر قرار گیرد. بدین منظور ابتدا عوامل دخیل در مدیریت زنجیره تامین سبز از مبانی نظری موضوع، گردآوری شده، آنگاه این عوامل که نتیجه پژوهش ها و مطالعات انجام شده در سطح جهان است، دسته بندی شده است. در نتیجه، لیست منسجمی از عوامل و عناصر موثر بر مدیریت زنجیره تامین سبز استخراج شده است. در مرحله بعدی با توجه به پژوهش های صورت گرفته در خصوص مدیریت زنجیره تامین سبز، ابعاد آن در شش بعد طبقه بندی شدند. سپس با استفاده از پرسشنامه، نظر متخصصان در این زمینه با در نظر گرفتن اثر هر عامل بر ابعاد مدیریت زنجیره تامین سبز، سنجیده شد و با استفاده از آزمون میانگین، معنی داری عوامل از منظر متخصصان سنجیده شده است. سپس با توجه به ارزیابی صورت گرفته و با بهره گیری از روش تاپسیس، عوامل اولویت بندی شده است که گام های اصلی پژوهش در شکل دو ارائه شده است. در پرسشنامه، ۵۹ عامل در شش بعد مدیریت زنجیره تامین سبز در قالب ۱۳ پرسش از صفر تا ۵۰۰ به صورت ماتریسی امتیازدهی شده است. در ضمن این پژوهش از نوع پیمایشی بوده و از نظر جمع آوری اطلاعات از نوع پژوهش مقطعی است؛ و بر اساس هدفی که دارد، از نوع پژوهش کاربردی است.

۵- فرضیه های پژوهش

فرضیه های این پژوهش شامل سیزده فرضیه است که در هر فرضیه موثر بودن عوامل سیزده گانه ارائه شده در قسمت سطح شاخص بر مدیریت زنجیره تامین سبز در صنعت بانکداری ایران مورد سنجش قرار می‌گیرد.

۶- جامعه و نمونه آماری

جامعه آماری در این پژوهش شامل ۱۳۰ نفر از متخصصان، مدیران و کاشناسان بانک سپه است. که پرسشنامه ها با توجه به دسترسی افراد به ایمیل از طریق ایمیل، توزیع شده است و این افراد اثر ۱۳ عامل استخراج شده را بر شش بعد مدیریت زنجیره تامین سبز ارزیابی نموده اند.

۷- پرسشنامه، روایی و پایایی

پرسشنامه این پژوهش به صورت ماتریسی تهیه شده است و عوامل موثر بر مدیریت زنجیره تامین سبز بر ابعاد ششگانه سبز سازی سنجیده می‌شود به نحوی که میزان تأثیر هر یک از عوامل بر هر یک از ابعاد به صورت مجزا از صفر تا صد ارزیابی شده است و اعتبارسنجی پرسشنامه نیز مطابق ذیل سنجیده می‌شود.

به منظور روایی سنجی ابزار سنجش، پرسشنامه اولیه در اختیار یک تیم هفت نفره کارشناسان خبره بانک سپه قرار گرفته و به صورت حضوری با این افراد ملاقات کرده و اهداف پژوهش و اهمیت آن را توضیح دادیم و با توجه به بازخوردها و نظرات ارائه شده، پرسشنامه اولیه اصلاح و نهایی شد.

به منظور بررسی پایایی ابزار سنجش نیز از آلفای کرونباخ استفاده شده است. پایایی ابعاد این پرسشنامه بر اساس روش آلفای کرونباخ با استفاده از نرم افزار SPSS بررسی شده است که مقداری بین ۰.۸۳۹ و ۰.۸۹۷ را نشان می دهد و بیانگر پایایی بالای ابزار سنجش است.

۸- روش‌های تجزیه و تحلیل داده ها

در این پژوهش از آزمون میانگین t برای بررسی معنی دار بودن اثر عوامل بر مدیریت زنجیره تامین سبز استفاده شده است و سطح اطمینان معنی داری ۹۵ درصد است. محاسبات مذکور نیز از طریق نرم افزار SPSS صورت گرفته است. سپس با توجه به توانایی و کاربرد گسترده روش تاپسیس از این روش برای اولویت بندی نظرات استفاده شده است.

۸-۱- تاپسیس

در روش تاپسیس علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه A از نقطه ایده آل، فاصله آن از نقطه ایده آل منفی هم در نظر گرفته می شود. بدان معنی که گزینه انتخابی باید داری کمترین فاصله از راه حل ایده آل بوده و درعین حال دارای دورترین فاصله از راه حل ایده آل منفی باشد. حل مسائل با این روش مستلزم طی کردن شش گام ذیل است:

گام اول: تبدیل ماتریس تصمیم گیری موجود به یک ماتریس «بی مقیاس شده» برای بی مقیاس سازی، از نرم اقلیدسی و از فرمول ذیل استفاده می شود:

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2}}$$

گام دوم: ایجاد ماتریس «بی مقیاس» با مفروض بودن بردار W به عنوان ورودی به الگوریتم مطابق ذیل:

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$$

$$N_D \cdot W_{n \times m} = \begin{matrix} & V_{11} & V_{1j} & V_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{m1} & V_{mj} & V_{mn} \end{matrix}$$

گام سوم: تعیین راه حل ایده آل مثبت و راه حل ایده آل منفی که به صورت زیر تعریف می شوند:

$$A^+ = \{(\max_i V_{ij} | j \in J), (\min_i V_{ij} | j \in J) | i = 1, 2, \dots, m\}$$

مثبت

$$= \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$

$$A^- = \{(\min_i V_{ij} | j \in J), (\max_i V_{ij} | j \in J) | i = 1, 2, \dots, m\}$$

منفی

$$= \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\}$$

گام چهارم: به دست آوردن میزان فاصله ی هر گزینه تا ایده آل های مثبت و منفی:

برای محاسبه فاصله می توان از فاصله اقلیدسی یا متعامد استفاده نمود.

فاصله اقلیدسی هر گزینه تا ایده آل مثبت و فاصله هر گزینه تا ایده آل منفی، بر اساس فرمول های زیر حساب می شود.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m$$

گام پنجم: تعیین ضرایب نزدیکی یک گزینه به راه حل ایده آل:

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

گام ششم: رتبه بندی گزینه ها: هر گزینه ای که CL آن بزرگتر باشد، بهتر است [۲۴].

۹- تحلیل داده ها و یافته‌های پژوهش

با استفاده از آزمون میانگین به بررسی معنی داری فرضیه های پژوهش پرداخته شده است. برای سنجش معنی داری فرضیه‌ها از متوسط امتیاز هر یک از عوامل نسبت به ابعاد شش گانه استفاده شده است. جدول چهار جزئیات مربوط به میزان معنی داری عوامل از منظر متخصصان و کارشناسان است. عواملی که مقدار معنی داری آن‌ها کمتر از ۰,۰۵ باشد مورد قبول است و در غیر اینصورت فرضیه رد می شود [۲۵]. با توجه به نتایج حاصل شده، کلیه عوامل بجز عامل شماره ۷ مورد تأیید است و از ۱۳ عامل شناسایی شده، اثر ۱۲ عامل بر مدیریت زنجیره تامین سبز در صنعت بانکداری معنی دار است.

جدول ۱- بررسی فرضیه های پژوهش

Test Value = 60 ²						عوامل
95% Confidence Interval of the Difference		Mean Difference	Sig. (2-tailed)	df	t	
Upper	Lower					
۱۳/۹۲۰۹	۸/۱۰۳۴	۱۱/۰۱۲۱۵	۰/۰	۹۵	۷/۵۱۶	رعایت استانداردهای لازم
۱۲/۵۷۵۷	۶/۵۱۲۱	۹/۵۴۳۹	۰/۰	۹۵	۶/۲۴۹	وجود ضوابط
۱۶/۴۷۲۳	۱۰/۴۰۲۳	۱۳/۴۳۷۲۲	۰/۰	۹۵	۸/۷۹	استفاده از فناوری های جدید
۹/۳۹۹۲	۲/۱۹۱۵	۵/۷۹۵۳۶	۰/۰۰۰۲	۹۵	۳/۱۹۲	ترویج فرهنگ سبز
۱۲/۰۱۴۸	۵/۳۰۰۷	۸/۶۵۷۷۷	۰/۰	۹۵	۵/۱۲	آموزش و ارائه الگوهای مصرف صحیح انرژی
۱۳/۱۹۷۸	۵/۵۳۸۸	۹/۳۶۸۲۷	۰/۰	۹۵	۴/۸۵۷	بررسی تحلیلی مداوم وضعیت کاری ماشین آلات
۲/۳۲۷۵	۴-۱۶۰۲۹	-۱/۱۸۷۷۲	۰/۰۳۹۲	۹۵	-۱۶۹۰	بررسی تحلیلی تمام مراحل عملیات فرآیند تولیدی
۹/۶۶۱۵	۳/۳۱۰۱	۱/۴۸۵۸۳	۰/۰	۹۵	۴/۰۵۵	مدیریت کیفیت جامع محیطی
۱۰/۰۵۷	۲/۴۶۴۸	۶/۲۶۰۸۷	۰/۰۰۱	۹۵	۳/۲۷۴	آلاینده‌گی آب، خاک و هوا
۱۱/۸۶۱۸	۴/۵۹۱۳	۸/۲۲۶۵	۰/۰	۹۵	۴/۴۹۳	فراهم سازی محیطی
۱۶/۵۴۰۲	۹/۳۶۳۸	۱۲/۹۵۲	۰/۰	۹۵	۷/۱۶۶	حمایت از زنجیره تأمین سبز توسط مدیران ارشد
۱۷/۱۶۱	۱۰/۱۰۹۵	۱۳/۳۵۲۶	۰/۰	۹۵	۷/۶۷۸	بازیافت پسماندها و ضایعات
۱۳/۶۷۶۶	۵/۷۰۸۳	۹/۶۹۳۴۴	۰/۰	۹۵	۴/۸۳	ایجاد سیستم های کنترلی و نظارتی

نتایج حاصل از تلخیص داده های پرسشنامه در جدول ۲ ارائه شده است. همان طور که در جدول ۱ مشخص شده متوسط اثر هر عامل بر ابعاد مرتبط ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج حاصل از ارزیابی عوامل مؤثر بر اساس ابعاد مدیریت زنجیره تامین سبز

ابعاد	مدیریت زیست محیطی	تولید و خدمات سبز	طراحی زیست محیطی	خرید سبز	بازاریابی سبز	بازیافت سبز
رعایت استانداردهای لازم	۷۶/۷۷	۷۳/۸۶	۷۰/۶۸	۷۰/۷۵	۶۵/۰۴	۶۸/۹۷
وجود ضوابط	۷۴/۳۸	۷۳/۶۳	۶۱/۷۸	۷۷/۰۶	۶۳/۹۹	۶۴/۸۲
استفاده از فناوری های جدید	۷۴/۲۹	۷۴/۸۴	۷۱/۱۹	۷۲/۶۶	۶۸/۹۲	۸۲/۷۱
ترویج فرهنگ سبز	۷۶/۰۴	۶۲/۱۴	۶۹/۵۷	۶۱/۱۷	۵۵/۴۶	۶۲/۶۳
آموزش و ارائه الگوهای مصرف صحیح انرژی	۷۳/۸۸	۷۵/۱۸	۶۵/۸۴	۷۲/۰۸	۶۳/۲۳	۶۴/۶۴
بررسی تحلیلی مداوم وضعیت کاری ماشین آلات	۶۹/۶۷	۷۳/۴۷	۶۷/۹۶	۷۲/۴۵	۶۳/۲۵	۷۰/۰۴
بررسی تحلیلی تمام مراحل عملیات فرآیند تولیدی	۵۱/۲۸	۶۶/۷۵	۴۶/۱۹	۶۲/۱۴	۶۰/۴۷	۵۵/۸۳
مدیریت کیفیت جامع محیطی	۷۱/۰۷	۷۱/۴۵	۶۷/۰۳	۶۸/۴۵	۶۱/۲۸	۶۷/۰۲
آلاینده‌گی آب، خاک و هوا	۸/۶۹	۷۱/۱۹	۶۴/۵۳	۶۶/۹۸	۶۰/۷۶	۶۴/۱۷
فراهم سازی محیطی	۷۰/۷۵	۷۲/۰۸	۷۱/۶۱	۶۸/۶۴	۵۹/۰۵	۶۹/۲۵
حمایت از زنجیره تامین سبز توسط مدیران ارشد	۷۸/۷۰	۷۳/۹۴	۷۴/۰۶	۷۷/۰۵	۶۵/۷۲	۷۲/۹۲
بازیافت پسماندها و ضایعات	۷۵/۲۱	۷۴/۲۲	۷۰/۹۷	۶۹/۴۶	۶۹/۶۱	۸۲/۸۴
ایجاد سیستم های کنترلی و نظارتی	۶۹/۸۸	۷۳/۰۷	۶۹/۴۱	۶۶/۲۵	۶۴/۳۸	۷۱/۲۰

با استفاده از روش مجموع موزون خطی وزن هر یک از ابعاد مطابق ماتریس ذیل محاسبه گردیده است.

$$W = \{0/1595, 0/1588, 0/1707, 0/1642, 0/1811, 0/1657\}$$

سپس با استفاده از رابطه زیر

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2}}$$

ماتریس امتیازدهی نرمال شده است که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- ماتریس نرمال شده اثر عوامل مؤثر بر ابعاد مدیریت زنجیره تامین سبز

ابعاد	مدیریت زیست محیطی	تولید و خدمات سبز	طراحی زیست محیطی	خرید سبز	بازاریابی سبز	باز یافت سبز
رعایت استانداردهای لازم وجود ضوابط استفاده از فناوری های جدید ترویج فرهنگ سبز آموزش و ارائه الگوهای مصرف صحیح انرژی	۰/۲۹۵۹ ۰/۲۸۶۶ ۰/۲۸۶۳ ۰/۲۹۳۱ ۰/۲۸۴۷	۰/۲۸۴۲ ۰/۲۸۳۳ ۰/۲۸۸ ۰/۲۹۳۱ ۰/۲۸۹۳	۰/۲۹۱۱ ۰/۲۵۴۵ ۰/۲۹۳۲ ۰/۲۸۶۶ ۰/۲۷۱۲	۰/۲۸۱۲ ۰/۳۰۶۳ ۰/۲۸۸۸ ۰/۲۴۳۱ ۰/۲۸۶۵	۰/۲۸۵۱ ۰/۲۸۰۵ ۰/۳۰۲۱ ۰/۲۴۳۱ ۰/۲۷۷۱	۰/۲۷۵۷ ۰/۲۵۹۱ ۰/۲۳۰۶ ۰/۲۵۰۳ ۰/۲۵۸۴
بررسی تحلیلی مداوم وضعیت کاری ماشین آلات بررسی تحلیلی تمام مراحل عملیات فرآیند تولیدی مدیریت کیفیت جامع محیطی آلایندگی آب، خاک و هوا فراهم سازی محیطی حمایت از زنجیره تامین سبز توسط مدیران ارشد باز یافت پسماندها و ضایعات ایجاد سیستم های کنترلی و نظارتی	۰/۲۶۸۵ ۰/۱۹۷۶ ۰/۲۷۳۹ ۰/۲۶۹ ۰/۲۷۲۷ ۰/۳۰۳۳ ۰/۲۸۹۸ ۰/۲۶۹۳	۰/۲۸۲۷ ۰/۲۵۶۹ ۰/۲۷۴۹ ۰/۲۷۳۹ ۰/۲۷۲۴ ۰/۲۸۴۵ ۰/۲۸۵۶ ۰/۲۸۱۲	۰/۲۷۹۹ ۰/۱۹۰۳ ۰/۲۷۶۱ ۰/۲۶۵۸ ۰/۲۹۵ ۰/۳۰۵۱ ۰/۲۹۲۳ ۰/۲۸۵۹	۰/۲۸۱۹ ۰/۲۴۷ ۰/۲۷۲۱ ۰/۲۶۶۲ ۰/۲۷۳۸ ۰/۳۰۶۳ ۰/۲۷۶۱ ۰/۲۶۳۳	۰/۲۷۷۲ ۰/۲۶۵ ۰/۲۶۸۶ ۰/۲۶۶۳ ۰/۲۵۸۸ ۰/۲۸۸۱ ۰/۳۰۵۱ ۰/۲۸۲۲	۰/۲۸ ۰/۲۲۳۲ ۰/۲۶۷۹ ۰/۲۵۶۵ ۰/۲۷۶۸ ۰/۲۹۱۵ ۰/۲۳۱۲ ۰/۲۸۴۶

و سپس ماتریس نرمال شده در بردار اوزان ضرب شده است و با مشخص کردن راه حل ایده آل مثبت و ایده آل منفی برای هر شاخص خروجی، فاصله نتایج هر یک از عوامل تا ایده آل مثبت و ایده آل منفی به دست می آید که مقادیر d_i^+ و d_i^- محاسبه شده برای هر یک از عوامل در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- مقادیر d_i^+ و d_i^- محاسبه شده برای هر یک از عوامل مؤثر

عوامل	d_i^+	d_i^-
رعایت استانداردهای لازم	۰/۱۱۰۶	۰/۰۲۷۶۷۹
وجود ضوابط	۰/۱۵۶۵۱	۰/۰۲۳۶۶۶
استفاده از فناوری های جدید	۰/۰۴۴۷۸	۰/۰۳۲۵۰۶
ترویج فرهنگ سبز	۰/۰۲۲۱۲۱	۰/۰۲۲۸۵۵
آموزش و ارائه الگوهای مصرف صحیح انرژی	۰/۱۴۹۶۳	۰/۰۲۳۸۸۱
بررسی تحلیلی مداوم وضعیت کاری ماشین آلات	۰/۱۲۵۲۳	۰/۰۲۴۳۱۳
بررسی تحلیلی تمام مراحل عملیات فرآیند تولیدی	۰/۰۳۴۰۹۶	۰/۰۰۴۹۱۵
مدیریت کیفیت جامع محیطی	۰/۱۵۳۸۸	۰/۰۲۲۲۲۹
آلایندگی آب، خاک و هوا	۰/۱۸۰۶۹	۰/۰۱۹۷۲۸
فراهم سازی محیطی	۰/۱۴۵۶	۰/۰۲۴۷۱۴
حمایت از زنجیره تامین سبز توسط مدیران ارشد	۰/۰۷۳۰۵	۰/۰۳۱۹۷۱
باز یافت پسماندها و ضایعات	۰/۰۵۸۵۸	۰/۰۲۳۴۰۶
ایجاد سیستم های کنترلی و نظارتی	۰/۱۲۹۷۷	۰/۰۲۴۶۲۸

اکنون بعد از محاسبه فاصله هر یک از عوامل با ایده آل مثبت و ایده آل منفی ضریب GL_i^* نیز بر اساس نتایج جدول ۴ محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است و بر اساس مقادیر به دست آمده اولویت بندی شده است.

جدول ۵- ضریب CL_i^* محاسبه شده برای هر یک از عوامل و اولویت بندی آن ها

CL_i^*	عوامل	
۰/۸۷۸۹۳	رعایت استانداردهای لازم	A3
۰/۸۴۶۹۱۳	وجود ضوابط	A12
۰/۸۱۴	استفاده از فناوری های جدید	A11
۰/۷۱۴۵	ترویج فرهنگ سبز	A1
۰/۶۶۰۰۳۷	آموزش و ارائه الگوهای مصرف صحیح انرژی	A6
۰/۶۵۴۹۱۹	بررسی تحلیلی مداوم وضعیت کاری ماشین آلات	A13
۰/۶۳۹۳۷۱	بررسی تحلیلی تمام مراحل عملیات فرآیند تولیدی	A10
۰/۶۱۴۷۹۳	مدیریت کیفیت جامع محیطی	A5
۰/۶۰۱۹۳۹	آلاینده های آب، خاک و هوا	A2
۰/۵۹۰۹۱۹	فراهم سازی محیطی	A8
۰/۵۲۱۹۴۳	حمایت از زنجیره تامین سبز توسط مدیران ارشد	A9
۰/۵۰۸۱۵۸	باز یافت پسماندها و ضایعات	A4
۰/۱۲۵۹۹۶	ایجاد سیستم های کنترلی و نظارتی	A7

نتیجه گیری

همان طور که در جدول ۵ مشخص شده است ترویج فرهنگ سبز با ضریب ۰,۷۸ بیش ترین اثر را بر مدیریت زنجیره تامین سبز در صنعت بانکداری دارد. سازمان های مشابه می توانند با بهره گیری از اولویت بندی ارائه شده نسبت به مدیریت زنجیره تامین سبز گام بردارند. در اولویت های بعدی آلاینده های آب، خاک و هوا، رعایت استانداردهای لازم، باز یافت پسماندها و ضایعات، مدیریت کیفیت جامع محیطی، آموزش و ارائه الگوهای مصرف صحیح انرژی، ایجاد سیستم های کنترلی و نظارتی، فراهم سازی محیطی، حمایت از زنجیره تامین سبز توسط مدیران ارشد، بررسی تحلیلی تمام مراحل عملیات فرآیند تولیدی، استفاده از فناوری های جدید، وجود ضوابط و در آخر بررسی تحلیلی مداوم وضعیت کاری اتوماسیون و ماشین آلات می باشند. صنعت بانکداری می بایست با حمایت از کارگروهی و پر رنگ کردن اثر آن در زنجیره تامین خود و همچنین پرداختن به مقوله مدیریت سبز از طریق ایجاد احساس نیاز به سبز سازی سازمان، فرایند مدیریت زنجیره تامین سبز را پیاده سازی نمایند.

منابع

۱. کلاین، پل، ۱۳۸۰، راهنمای آسان تحلیل عاملی، ترجمه سید جلال صدرالسادات، و اصغر مینایی، تهران، انتشارات سمت.
۲. حسینی، س. ا.، ایرانبان، س. ج.، میرجهان مرد، س. ج.، (۱۳۹۳). شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر زنجیره تامین سبز با رویکرد تحلیل مسیر در شرکتهای تولید کننده مواد شیمیایی و شوینده شهرستان شیراز. فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت تولید و عملیات. ۱۶۱-۱۷۷
۳. حیات داودی، خ، جمالی، غ. قاسمیه، ر. (۱۳۹۳)، شناسایی و سنجش روابط ما بین مولفه های زنجیره تامین سبز در شرکت [پتروشیمی مبین عسلویه، پایانه کارشناسی ارشد. دانشگاه خلیج فارس بوشهر.
۴. امیدوار، ر. سرداری، ه. یزدانی، ن. (۱۳۹۴). رتبه بندی موانع مدیریت زنجیره تامین سبز با استفاده از روش دیمتل. مورد مطالعه شرکت پارس خودرو. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات بازاریابی نوین، ۵، (۲)، ۴-۱۲.
۵. کیوی، ریمون، کامپنهود، لوک وان (۱۳۸۸). وش پژوهش در علوم اجتماعی. ترجمه عبدالحسین نیک گهر، چاپ چهارم، نشر توتیا.
۶. اصغریور، محمد جواد (۱۳۹۰). تصمیم گیری چند معیاره. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم
۷. مومنی، منصور (۱۳۹۱). تحلیل آماری با استفاده از SPSS. انتشارات کتاب نو، چاپ هفتم.
8. Ahmad, F., N.M. Zayed and M.A. Harun, 2013. Factors behind the adoption of green banking by Bangladeshi commercial banks. ASA University Review, 7(2): 241-255.
9. Bahl, S., 2012. The role of green banking in sustainable growth. International Journal of Marketing, Financial Services & Management Research, 2(2): 27-35.
10. Dharwal, M. and A. Agarwal, 2013. Green banking: An innovative initiative for sustainable development. 2(3): 1-5
11. Hervani A., Helms M., and Sarkis J., (2005). Performance measurement for green supply chain management, Benchmarking: An International Journal, vol. 12, no. 4, pp. 330-353.

12. Doorasamy, M., Garbharan, H. (2015) The role of environmental; management accounting as a tool calculate environmental costs and identify their impact an a company s environmental performance. *Asion journal of business and management*. 3(1) : 8-30.
13. Brindley, Clare & Oxborrow, Arun. (2014). Aligning the sustainable supply chain to green marketing needs: A case study, *Industrial Marketing Management*, Vol. 43, Iss. 1, Pp. 45–55.
14. Dawei, Z., Hamid, A. B. A., Chin, T. A., & Leng, K. C. (2015). Green Supply Chain Management: A Literture Review. *Sains Humanika*, 5(2): 15-21.
15. Ayu, A.N.F. (2013). The Analysis of Green Banking Implementation on PT. Bank X (Persero) Tbk.. 1 (1), 1-6. www.digilib.its.ac.id, 2.13.2016.
16. Panjaitan, L.T. (2015). The Eco-Friendly Banking. Jakarta: Penebar Plus.
17. Rao, D.C., Province M.A., 2000, The future of Path Analysis, Segeration Analysis, and Combined Models for Genetic Dissection of Complex Traits, *Human Heredity*, Vol.50, pp34-42.
18. Large, Rudolf O. and Thomsen, Cristina Gimenez (2014); Drivers of Green Supply Management Performance: Evidence from Germany, *Journal of Purchasing & Supply Management* 17. pp: 176–184. doi: 10. 1016/j.pursup. 2011.04.006.
19. Hsu, Chia-Wei, Kuob, Tsai-Chi, Chenc, Sheng-Hung and Hud, Allen H. (2014); “Using DEMATEL to Develop a Carbon Management Model of Supplier Selection in Green Supply Chain Management”, *Journal of Cleaner Production* xxx, pp. 1-9.
20. Huang, S.J., Chiu, N.H., Chen, L.W., (2013); Integration of the Grey Relational Analysis with Genetic Algorithm for Software Effort Estimation. *European Journal of Operational Research* 188, 898–909.
21. Ip, W.H., Chan, S.L. and Lam, C.Y. (2014); Modeling supply chain performance and stability. *Industrial Management & Data Systems*, Vol.111, No. 8, pp. 1332-1354. DOI 10.1108/02635571111171649.
22. Kotzab, Herbert, Munch, Hilde M., Faultrier, Brigitte de and Teller Christoph (2014); Environmental Retail Supply Chains: When Global Goliaths Become Environmental Davids, *International Journal of Retail & Distribution Management*, Vol. 39, No. 9, pp. 658-681. DOI 10.1108/09590551111159332.
23. Large, Rudolf O. and Thomsen, Cristina Gimenez (2014); Drivers of Green Supply Management Performance: Evidence from Germany, *Journal of Purchasing & Supply Management* 17. pp: 176–184. doi: 10. 1016/j.pursup. 2011.04.006.
24. Kuei, C., Madu, C., Chow, W., Chen, Y., (2015). Determinants and Associated Performance Improvement of Green Supply Chain Management in China, *Journal of Cleaner Production*, 95, 163- 173.
25. Wu, K., Liao, C., Tseng, M., Chiu, A., (2015). Exploring decisive factorsin green supply chain practices under uncertainty, *Production Economics*, 159,147–157.

تعیین تراوایی با استفاده از مفهوم واحدهای جریان در یکی از میادین گازی جنوب ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۰

کد مقاله: ۶۵۵۷۵

علی دهقان ابنوی^۱، امیر کریمیان طرقله^{۲*}، جعفر قاجار^۳،

علی منتصری^۴

چکیده

خواص پتروفیزیکی سنگ مخزن از عوامل مهم و تاثیرگذار در مدیریت و صیانت از مخازن هیدروکربوری به شمار می‌رود. از بین خواص پتروفیزیکی، مطالعه تراوایی به دلیل این که عامل انتقال جریان در مخزن است، نقش کلیدی در مدل‌سازی مخازن و برداشت اقتصادی از منابع هیدروکربن دارد. بدلیل این که تراوایی تنها در چاه‌های دارای مغزه وجود دارد لذا از روش‌های مختلفی همچون روش واحدهای جریانی و نمودارهای چاه پیمایی برای تعیین آن در چاه‌های مختلف استفاده می‌شود. یک واحد جریانی بخشی از مخزن است که به طور عمودی و جانبی، پیوستگی و ویژگی‌های پتروفیزیکی و زمین شناسی تاثیرگذار بر جریان سیال در آن واحد ثابت است. در این مطالعه که بر روی یکی از میادین گازی ایران انجام شده است، با استفاده از مفهوم واحدهای جریانی تعداد ۶ واحد جریانی با روش‌های آنالیز هیستوگرام، نمودار احتمال نرمال و نمودار بر حسب تخلخل نرمالایز شده مقادیر تراوایی تخمین زده شد و مقدار اختلاف بین تراوایی مغزه و تراوایی حاصل از واحدهای جریانی ۱/۸۶ درصد با ضریب همبستگی ۰/۹۱۹ محاسبه شده است. لذا استفاده از مفهوم واحدهای جریانی دقت بالایی در تخمین تراوایی ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی: واحدهای جریانی، تخمین تراوایی، میدان گازی

۱- کارشناس ارشد مهندسی نفت، مخازن هیدروکربوری، دانشگاه شیراز

۲- استادیار بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز، آدرس پست الکترونیک نویسنده رابط

karimiantorghabehamir@gmail.com

۳- استادیار بخش مهندسی نفت، دانشگاه شیراز

۴- شرکت بهره برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی

۱- مقدمه

بررسی و تعیین خواص پتروفیزیکی، نقش مهمی را در فرایند تولید، ازدیاد برداشت و مشخصه سازی مخازن هیدروکربوری دارد. افزایش اطلاعات راجع به مخزن، دید و دانش جهت برنامه ریزی توسعه میدان و تولید بهینه از آن را افزایش می دهد. تراوایی یکی از فاکتورهای مهم در مشخصه سازی مخزن است. این خاصیت به عنوان توانایی سنگ جهت عبور سیال تعریف می شود که از طریق مغزه و چاه آزمایی بدست می آید. چون معمولاً از تمام چاه ها مغزه گیری نمی شود، اکثر چاه ها فاقد اطلاعات تراوایی هستند. بنابراین استفاده از روش هایی که هم صرفه اقتصادی داشته باشند و همچنین در کمترین زمان تعیین شوند، ضروری است (Behnoud far P, 2017, Tadayoni M, 2012). استفاده از واحدهای جریانی جهت طبقه بندی و توصیف گونه سنگ براساس خواص پتروفیزیکی نظیر تخلخل و تراوایی است (Abbaszadeh, 1996; Amaefule, 1993). یکی از روش های تخمین تراوایی، استفاده از مفهوم واحدهای جریانی است. تعیین واحدهای جریانی ابزاری مهم جهت تمرکز سریع یک مدل پتروفیزیکی از مخزن است که در مطالعات زیادی مورد توجه قرار گرفته اند. (Izadi M, 2013. Borhani, T. N. G, 2011. Elnaggar O, 2017). یک واحد جریانی، قسمتی از مخزن است که به طور جانبی و قائم پیوسته بوده و خصوصیات لایه بندی، تخلخل و تراوایی مشابه دارند. واحدهای جریانی به شاخص منطقه جریان وابسته است که این شاخص تابعی از شاخص کیفیت مخزن است. شاخص کیفیت مخزن و شاخص منطقه جریان به خواص پتروفیزیکی مغزه نظیر تخلخل و تراوایی دلالت می کنند. روش های مختلفی نظیر نمودار شاخص کیفیت مخزن بر حسب تخلخل نرمالایز شده، روش نمودار هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال از جمله روش های تعیین واحدهای جریانی به شمار می روند (Dehghan Abnavi, A, 2018, Abdulelah, H. 2018). در این مطالعه با استفاده از داده های مغزه واحدهای جریانی تعیین می شود سپس با استفاده از واحدهای جریانی به تخمین پرداخته می شود. از نتایج این تخمین تراوایی می توان جهت تخمین تراوایی در چاه های فاقد مغزه استفاده کرد.

۲- روش مطالعه

کیفیت یک مخزن هیدروکربنی با مفهوم واحدهای جریانی که بیانگر میزان ظرفیت ذخیره و حرکت سیال است، قابل مشخصه سازی است. ذخیره سازی جریان تابعی از تخلخل و حرکت سیال تابعی از تراوایی مخزن است. تخلخل و تراوایی دو عامل مهم برای ارزیابی و توصیف خصوصیات مخزن به شمار می روند. تخلخل و تراوایی، از مهمترین خصوصیات مخازن هیدروکربوری هستند که به طور مستقیم بر تولید هیدروکربن تأثیر می گذارد. دسته بندی سنگ مخزن یکی از مراحل مهم در شبیه سازی است. با توجه به رفتار متفاوت سنگ ها در حضور سیالات مختلف، لذا دسته بندی سنگ ها بسیار مهم و حائز اهمیت است. کوزنی و کارمن برای یک محیط متخلخل، معادله ۱ را بین تخلخل و تراوایی ارائه نمودند (Kozeny, 1927):

$$K = \left[\frac{\phi_e^3}{(1-\phi_e)^2} \right] \frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}^2} \quad (1)$$

در این رابطه K تراوایی و برحسب میکرومتر مربع (μm)، τ عامل پیچا پیچی محیط متخلخل، φ_e تخلخل مؤثر، F_s عامل شکل و S_{gv} مساحت سطح در واحد حجم دانه است.

روش های متفاوتی وجود دارند که از مفهوم شاخص منطقه جریانی برای تعیین واحدهای جریانی استفاده می کنند، روش هیستوگرام، روش آنالیز احتمال نرمال، روش مجموعه مربعات خطا، روش گونه های سنگی ناپیوسته^۱. روش های شاخص منطقه جریانی به سه دسته اصلی تقسیم بندی می شوند (Abbaszadeh, 1996).

۱- روش نمودار لاگ-لاگ شاخص کیفیت مخزن بر حسب تخلخل نرمالایز شده: در این روش تمام نقاطی که روی خط مستقیم با شیب واحد قرار می گیرند، دارای خواص گلوگاهی یکسانی می باشند و یک واحد جریانی را تشکیل می دهند. نقاط روی خطوط موازی دیگر، واحدهای جریانی دیگر را نشان می دهند. استفاده از این روش ساده است ولی نمی تواند با دقت بالا نقاط و واحدهای جریانی را از هم جدا کند. رابطه شاخص کیفیت مخزن به صورت زیر است.

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{K}{\phi_e}} \quad (2)$$

در این رابطه تراوایی برحسب میلی داری است. رابطه تخلخل نرمال شده به صورت زیر است:

$$\phi_z = \frac{\phi_e}{1-\phi_e} \quad (3)$$

و در نهایت با حذف پارامترهای اندازه‌گیری میکروسکوپی و پارامترهای کوزنی-کارمن، یک متغیر به نام شاخص منطقه‌ای جریان به دست می‌آید که تابعی از شاخص کیفیت مخزن و تخلخل نرمال شده است.

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F_{ST} S_{Vgr}}} = \frac{RQI}{\phi_Z} \quad (۴)$$

با لگاریتم‌گیری از دو طرف خواهیم داشت:

$$\text{Log}(RQI) = \text{Log}(\phi_Z) + \text{Log}(FZI) \quad (۵)$$

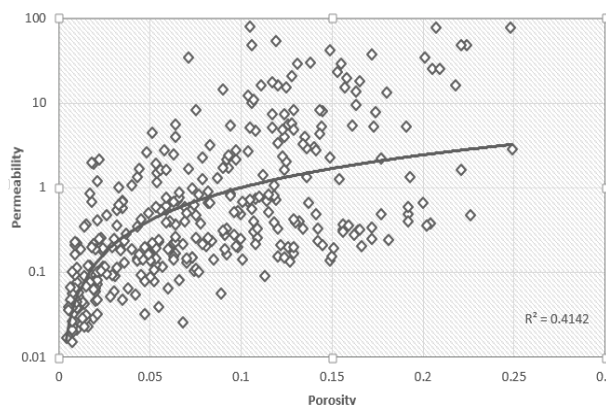
درواقع در مقیاس لگاریتمی شاخص کیفیت مخزن بر حسب تخلخل نرمالایز شده، نمونه‌هایی که دارای شاخص منطقه‌ای جریان مشابه باشند روی یک خط مستقیم با شیب یک قرار گرفته و نمونه‌هایی با شاخص منطقه‌ای جریان متفاوت، روی دیگر خطوط موازی با شیب یک قرار می‌گیرند. نمونه‌هایی که روی یک خط قرار می‌گیرند، دارای ویژگی‌های گلوگاهی مشابه هستند و یک واحد جریانی منحصربه‌فرد را نشان می‌دهند (Amaefule, 1993). درواقع هر خط نماینده یک واحد جریانی بوده و خط PHIZ=1 را در نقطه‌ای قطع می‌کند که این تقاطع، مقادیر میانگین شاخص منطقه‌ای جریان برای هر واحد جریانی است. با مشخص شدن تعداد واحدهای جریانی و تعیین روابط بین تخلخل و تراوایی برای هر لایه و شاخص منطقه‌ای جریان میانگین، می‌توان تراوایی را محاسبه کرد. این تخمین بیشتر در چاه‌های فاقد مغزه کاربرد دارد و با اطلاعات نمودارهای پتروفیزیکی که برخلاف داده‌های مغزه در تمام چاه‌ها وجود دارند، می‌توان تراوایی را تخمین زد. روش‌های مختلفی برای تخمین تراوایی وجود دارد از جمله، روش منطق فازی، شبکه عصبی و تعیین شاخص منطقه جریانی. در این مطالعه با استفاده از روش واحدهای جریانی به تخمین تراوایی در یکی از چاه‌های این میدان پرداخته شده و در نهایت با نتایج حاصل از مغزه مقایسه شده است. با استفاده از مفهوم واحدهای جریانی تعداد ۶ واحد جریانی تشخیص داده شده که هر واحد جریانی، یک مقدار میانگین شاخص منطقه جریانی دارد.

۲- روش آنالیز هیستوگرام: با رسم هیستوگرام لگاریتم شاخص منطقه جریانی تعداد واحدهای جریانی تعیین می‌شود. هر توزیع نرمال یک واحد جریانی را نشان می‌دهد.

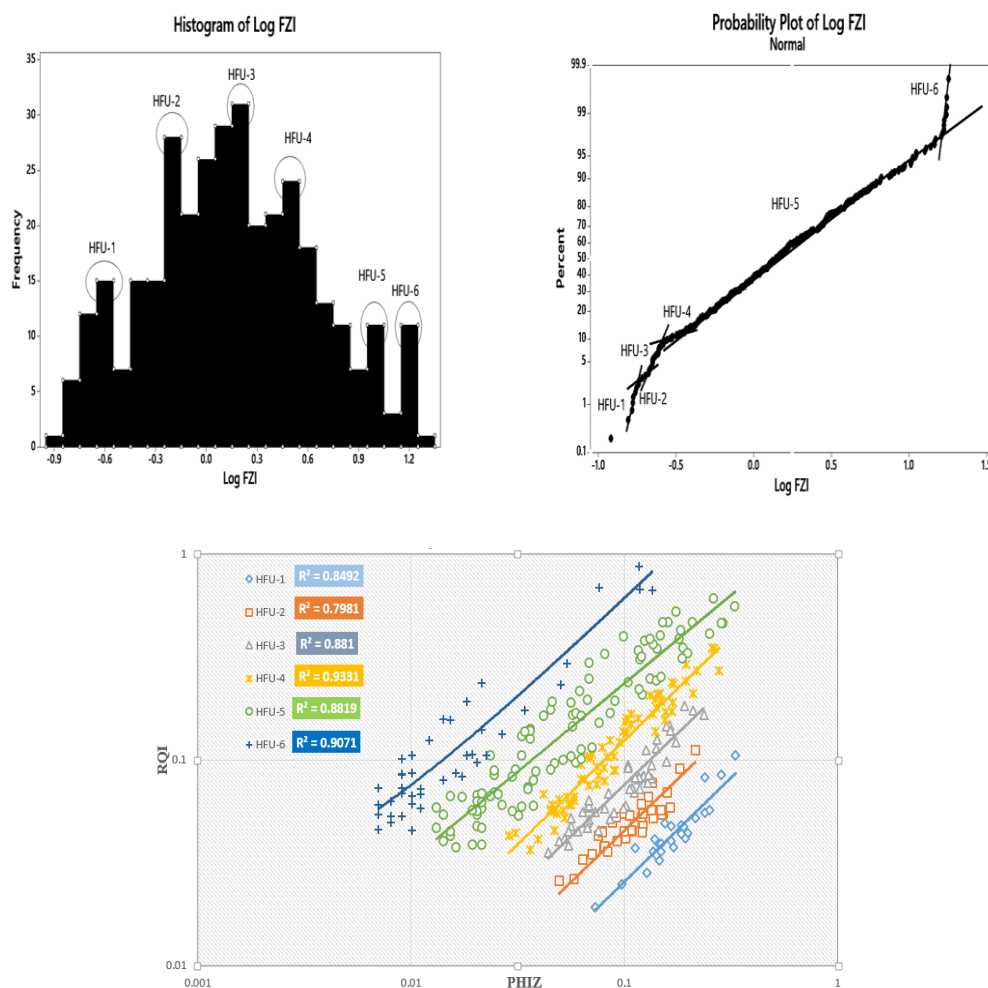
۳- روش نمودار احتمال نرمال: با استفاده از رسم نمودار احتمال لگاریتم شاخص منطقه جریانی می‌توان تعداد واحدهای جریانی را مشخص کرد. این روش از بین دو روش بالا کارایی و دقت بالاتری دارد.

۳- نتایج

برای بررسی واحدهای جریانی ابتدا با استفاده از تمام اطلاعات مغزه، نمودار نیمه لگاریتمی تخلخل- تراوایی را رسم می‌کنیم. اگر در این نمودار پراکندگی زیادی بین داده‌ها مشاهده شد، برای بررسی تراوایی و بررسی تغییرات آن، نمی‌توان فقط از داده‌های تخلخل استفاده کرد. مقدار پایین ضریب همبستگی، نشان‌دهنده وجود چند گونه سنگ با خواص پتروفیزیکی متفاوت است. نمودار تخلخل برحسب تراوایی مخازن ماسه‌سنگی دارای پیوستگی بیشتر است و تقریباً نقاط روی خط ۴۵ درجه قرار می‌گیرند درحالی‌که در مخازن کربناته نقاط پراکندگی بالایی دارند. میزان انطباق داده‌های تخلخل و تراوایی این میدان با توجه به ضریب همبستگی، ۰/۴۰۴۵ تشخیص داده است. مقدار پایین ضریب همبستگی، نشان‌دهنده وجود چندگونه سنگ با خواص پتروفیزیکی متفاوت است. شکل ۱ نشان‌دهنده این موضوع است.



شکل ۱- نمودار لگاریتم تراوایی برحسب تخلخل



شکل ۲- واحد های جریان ی تعیین شده با استفاده از روش نمودار هیستوگرام، نمودار احتمال نرمال و نمودار شاخص کیفیت مخزن بر حسب تخلخل نرمالایز شده

در ادامه با استفاده از سه روش ذکر شده، واحدهای جریان ی در میدان تعیین می شوند. طبق این روش ها مشخص می شود این میدان دارای شش واحد جریان ی است. پس از تعیین شش واحد جریان ی با استفاده از مقادیر میانگین شاخص منطقه جریان ی که از روش نمودار شاخص کیفیت مخزن بدست آمده است، تراوایی تخمین زده می شود. مقادیر میانگین به صورت جدول ۱ است.

جدول ۱-مقادیر میانگین شاخص ناحیه جریان ی به تفکیک هر واحد جریان ی

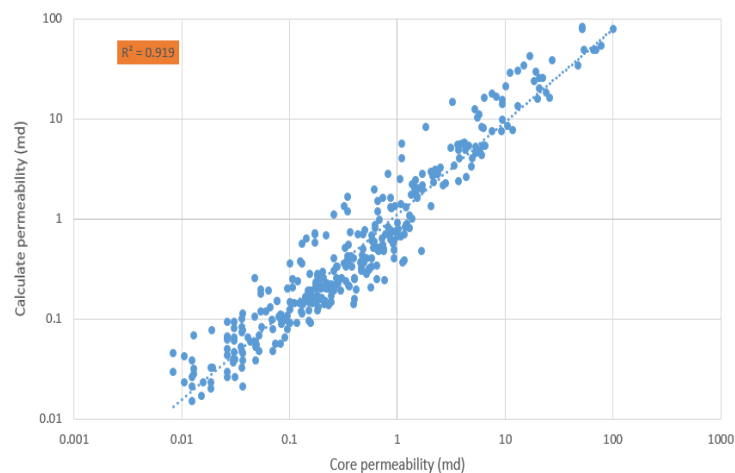
واحد های جریان ی	مقدار میانگین شاخص منطقه جریان ی
۱	۰/۲۹۲۸
۲	۰/۴۰۹
۳	۰/۷۷۹
۴	۱/۲۲۵۴
۵	۱/۹۱۸۸
۶	۵/۹۷۱۵

بر اساس مقادیر شاخص منطقه جریان ی رابطه محاسبه تراوایی به صورت زیر است (Abbaszadeh,1996):

$$K = 1014 * (FZI_{Mean})^2 * \left(\frac{\phi_e^3}{(1-\phi_e)^2} \right) \quad (6)$$

برای سنجش دقت تراوایی محاسبه شده، از مفهوم میانگین خطای نسبی استفاده شده است که میزان خطا، $1/83$ درصد به دست آمد. همچنین با توجه به **Error! Reference source not found.** ضریب همبستگی بالایی بین تخلخل محاسبه شده و تخلخل مغزه مشاهده می شود به طوری که ضریب همبستگی 91 درصد را نشان می دهد. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان دهنده دقت و ارتباط بالای مقادیر تراوایی محاسبه شده است. رابطه میانگین خطای نسبی به صورت رابطه ۷ بیان می شود.

$$ARE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left[\frac{(core\ permeability - calculated\ permeability)}{core\ permeability} \right] \quad (7)$$



شکل ۱- رابطه بین تراوایی محاسبه شده و تراوایی مغزه

نتیجه گیری

تراوایی از مهم ترین خواص پتروفیزیکی مخزن است که نقش مهمی در تولید دارد. تراوایی تابعی از نحوه ارتباط و اندازه گلوگاه منافذ در سنگ مخزن است. به دلیل اینکه سیال باید از منافذ سنگ مخزن عبور کند، لذا میزان تراوایی معیار بسیار مهمی در بررسی رفتار تولید از مخزن و تعیین روش های بهینه ازیاد برداشت محسوب می شود. تخمین صحیح تراوایی یک ضرورت مهم در توسعه و مشخصه سازی مؤثر مخازن هیدروکربنی بشمار می رود. تراوایی مخزن تحت تأثیر عوامل و پارامترهای مختلفی نظیر تخلخل، نحوه پراکندگی کانی های سنگ و... است. بنابراین یکی از روش هایی که با طبقه بندی خواص پتروفیزیکی مختلف لایه را در دسته های مجزایی قرار می دهد، واحدهای جریان است. در این مطالعه با استفاده از روش های نمودار شاخص کیفیت مخزن بر حسب تخلخل نرمالایز شده، روش نمودار هیستوگرام و نمودار احتمال نرمال تعداد شش واحد جریانی در این میدان تعیین شد. سپس با استفاده از این واحدهای جریانی، تراوایی تخمین زده شد. در انتها برای اعتبارسنجی نتایج با استفاده از مفهوم میانگین خطای نسبی میزان خطا برابر $1/86$ درصد محاسبه شد که پایین بودن خطا نشان دهنده دقت بالای این روش است.

- Abbaszadeh M, Fujimoto F .(1996). Permeability prediction by hydraulic flow units theory and applications, SPE Format. Evaluate 11: 263-271 .
- Abdulelah, Hesham, Sved Mahmood, and Ghareb Hamada.(2018) Hydraulic flow units for reservoir characterization: A successful application on arab-d carbonate. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 380. IOP Publishing.,
- Amaefule, J.O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D.G., Keelan, D., 1993. Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals/wells. Paper SPE 26436 Presented at the 1993 SPE Annual Technical Conference and Exhibition in Houston, Texas 3–6 October 1993.
- Behnoud far P, Hosseini P, Azizi A (2017) Permeability determination of cores based on their apparent attributes in the Persian Gulf region using Naive Bayesian and Random forest algorithms. J Nat Gas Sci Eng 37:52–68.
- Dehghan Abnavi.A, Karimian Torghabeh.A, Qajar.J (2018).”Identification of Hydraulic Flow Units in a Heterogeneous Carbonate Reservoir: Case Study One of the Iranian Gas Fields”. 2nd International Biennial Oil, Gas and Petrochemical Conference, Persian Gulf University, Bushehr, Iran .
- Izadi, M. and A. Ghalambor (2013). "New approach in permeability and hydraulic-flow-unit determination." SPE Reservoir Evaluation & Engineering– p.264-257 .
- Kozeny, J. (1927). " About capillary pipe of water in mud." Royal Academy of Science, Vienna, Proc. Class I 136: pp.271-306.
- Tadayoni M, Valadkhani M (2012) New Approach for the prediction of Klinkenberg permeability in situ for low permeability sandstone in tight gas reservoir. In: SPE middle east unconventional gas conference and exhibition (23–25 Jan 2012) Abu Dhabi, UAE, p 336–344.

بهینه‌سازی فرایند تولید گوگرد از گازهای اسیدی با روش کلاوس در پالایشگاه گازی با استفاده از نرم افزار Aspen HYSYS

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۶

کد مقاله: ۷۲۹۸۱

یلدا احمدی^{۱*}، محمد سمیع پورگیری^۲، نصراله مجیدیان^۳

چکیده

در این پژوهش، شبیه‌سازی فرایند کلاوس با خوراک‌دهی مستقیم در یکی از فازهای پالایشگاه گازی عسلویه انجام شد. با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی Aspen HYSYS مدل‌سازی سینتیکی واکنش‌های انجام شده در دو بخش کوره و راکتورهای کاتالیستی اجرا و نتایج حاصل از آن با داده‌های تجربی مقایسه گردید. نتایج حاصل، نشان دهنده دقت قابل قبول شبیه‌ساز به منظور پیش‌بینی محصولات خروجی از کوره و راکتورهای کاتالیستی است، به طوری که خطای نسبی جریان خروجی از کوره حدود ۰/۱ درصد و برای راکتورهای کاتالیستی اول و دوم به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۱۴ درصد می‌باشد. به منظور دستیابی به درصد بازیابی بیشتر گوگرد در واحد موجود، بهینه‌سازی پارامترهای مهم فرایندی انجام شد. در این بهینه‌سازی پنج متغیر مستقل شامل (دمای خوراک ورودی، میزان هوای ورودی و میزان سوخت ورودی به کوره، دمای ورودی به راکتور کاتالیستی اول و دوم) و چهار متغیر محدود کننده شامل (نقاط شبنم در جریان‌های ورودی و خروجی برای راکتور کاتالیستی اول و دوم) در نظر گرفته شد. با توجه به آنالیز حساسیت انجام شده نتایج بهینه‌سازی قابل پیش‌بینی بود و میزان بازیابی موثر گوگرد در کوره و راکتورهای کاتالیستی اول و دوم به ترتیب ۱/۴۲، ۹/۱۴ و ۹/۳۱ درصد افزایش یافت. در پایان، میزان بازیابی کلی در این فرایند نیز حدود ۲ درصد افزایش یافت.

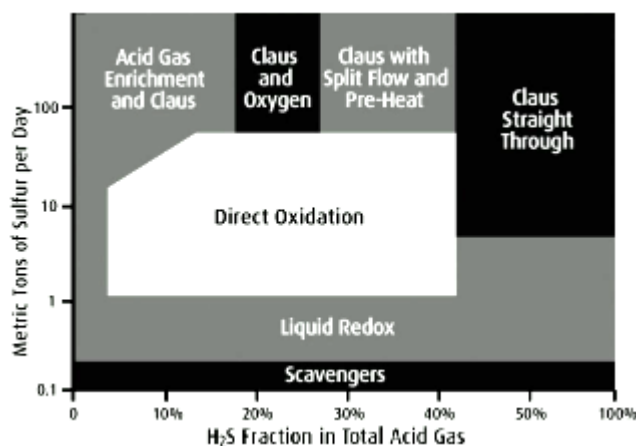
واژگان کلیدی: بازیابی گوگرد، فرایند کلاوس، نرم افزار Aspen HYSYS، کوره، راکتور کاتالیستی.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گرایش مهندسی فرایند، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران. (Yalda.ahm@gmail.com)

۲- عضو هیات علمی، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

۳- عضو هیات علمی، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.

گاز حاصل از منابع و صنایع نفت، گاز و پتروشیمی شامل مقادیری از کربن دی اکسید (CO_2) و هیدروژن سولفید (H_2S) است که به آن گاز ترش می‌گویند. H_2S ماده‌ای بسیار سمی و خورنده است و در هنگام سوختن، گاز گوگردی اکسید (SO_2) تولید می‌کند که خود نیز یکی از آلاینده‌های مهم به شمار می‌رود؛ بنابراین تبدیل H_2S به گوگرد و بازیابی گوگرد موجود در گاز ترش یک فرآیند بسیار مهم است؛ زیرا می‌توان یک ماده سمی و خورنده را تبدیل به یک ماده قابل فروش و با ارزش (گوگرد) کرد. در همین راستا روش‌های مختلفی جهت بازیابی گوگرد موجود در گاز طبیعی پیشنهاد شده است که به طور کلی شامل روش‌های واکنش مجدد مایع، استفاده از دستگاه جداکننده گوگرد (Sulfur Scavengers)، اکسیداسیون مستقیم و اکسیداسیون جزئی H_2S (کلاوس) می‌باشد. استفاده از روش مناسب به منظور بازیابی گوگرد به دو پارامتر اصلی که عبارتند از: میزان گوگرد تولیدی و کسر مولی H_2S در گاز خوراک به واحد بازیابی بستگی دارد. در شکل ۱-۱ خلاصه‌ای از محدوده‌ی عملکرد هر یک از روش‌های نام برده آورده شده است. باید این نکته را یادآور شد که این مرزها به صورت تقریبی بوده و در بعضی شرایط ممکن است که تصمیمی بر خلاف این محدوده‌بندی گرفته شود. از دیگر پارامترهای مهم که می‌توانند روی انتخاب روش مناسب تاثیر بگذارند، مقدار درصد هیدروژن سولفید آزاد شده در جو (از خروجی مشعل) و درصد بازیابی گوگرد است. امروزه در ایران و به طور کلی در خاورمیانه با توجه به حجم بالای H_2S ورودی به واحدها عموماً از روش کلاوس استفاده می‌شود.



شکل ۱-۱- محدوده عملکرد روش‌های مختلف بازیابی گوگرد

از مهمترین واحدهای موجود در صنایع پالایشگاهی، واحد بازیابی گوگرد از جریان گاز اسیدی است. در سطح دنیا تلاش‌های وسیعی جهت افزایش بازده این فرآیند و کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری انجام شده است. نرم‌افزارهای شبیه‌ساز به کارشناسان مهندسی فرآیند کمک بسیار بزرگی می‌کند؛ زیرا این نرم‌افزارها امکان بررسی اثرات تمامی پارامترها را در شرایط خاص منطقه بر روی جریان‌های خروجی فراهم و با اندازه‌گیری مقادیر مهم جریان‌های خروجی، یک حالت بهینه را برای انجام فرآیند معرفی می‌کنند. همچنین می‌توان با مطرح کردن فرضیه‌هایی پیرامون تغییر تجهیزات به منظور بهبود شرایط فرآیند یا حذف قسمت‌های اضافی فرآیند و اعمال آن‌ها در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری را بهینه کرد؛ بنابراین در شرایط امروزی وجود نرم‌افزارهای شبیه‌ساز جهت گسترش فرآیندهای بزرگ لازم و ضروری است. در این میان، نرم‌افزارهای ویژه‌ای جهت شبیه‌سازی فرآیند بازیابی گوگرد وجود دارد. با توجه به این که استفاده از این نرم‌افزارها هزینه زیادی را می‌طلبد و با به دلیل مسائلی از قبیل تحریم قابل دستیابی نیستند؛ بنابراین شبیه‌سازی باید متناسب با امکانات موجود انجام شود. لذا با توجه به شرایط موجود، شبیه‌سازی و مدل‌سازی این فرآیند تنها با استفاده از شبیه‌سازهای عمومی نظیر: Aspen HYSYS یا با استفاده از کد نویسی انجام می‌شود.

۲- فرآیند کلاوس

این فرآیند توسط کارل فریدریش کلاوس در سال ۱۸۸۳ به منظور تولید گوگرد عنصری از طریق اکسیداسیون جزئی هیدروژن سولفید در حضور کاتالیست بوکسیت در یک راکتور تک مرحله‌ای ابداع شد. محصولات این واکنش شامل گوگرد عنصری و آب است. کلاوس با توجه به گرمادهی بسیار زیاد واکنش و کنترل دشوار دمای محیط واکنش، با انجام واکنش در محیط آزاد، حرارت تولید شده را مستقیم به محیط اطراف منتقل کرد. وی با استفاده از این روش به بازده حدود ۸۰ تا ۹۰ درصدی برای تولید گوگرد

عنصری رسید. از سال ۱۹۳۸ تاکنون نیز پیوسته تغییراتی از جمله بیشترکردن تعداد بسترهای کاتالیستی و یا استفاده از کاتالیست‌های متفاوت به منظور افزایش بازده بالاتر انجام گرفته است. در نتیجه‌ی این کارها امروزه به ندرت از فرآیندهای کلاوس با یک بستر کاتالیستی استفاده می‌شود و با توجه به پارامترهای اقتصادی و قوانین زیست محیطی هر منطقه از فرآیندهای کلاوس با دو، سه یا حتی چهار راکتور کاتالیستی به منظور بازیابی هر چه بیشتر گوگرد استفاده می‌شود که این راکتورها به ترتیب از دمای بالا به دمای پایین کار می‌کنند.

میزان بازده در فرآیند کلاوس با یک بستر کاتالیستی بسته به شرایط مختلف بین ۷۵ تا ۹۰ درصد متغیر است، این در حالی است که با استفاده از دو، سه یا چهار راکتور کاتالیستی می‌توان به ترتیب به مقدار بازدهی ۹۶-۹۰، ۹۸-۹۵ و ۹۹ درصد رسید. در حال حاضر پیکربندی‌های مختلفی از فرآیند کلاوس در دسترس است که تفاوت عمده‌ی این پیکربندی‌ها مربوط به تفاوت در نحوه‌ی ورود خوراک (گاز اسیدی) به این واحدها است. ویژگی‌های مختلف گاز اسیدی از جمله تفاوت در ترکیب درصد H_2S موجود در گاز، وجود مقادیر متفاوت کربن دی‌اکسید و ترکیبات هیدروکربنی موجود در گاز طبیعی و وجود آمونیاک در گاز اسیدی نیز همگی عواملی هستند که سبب می‌شود خوراک به روش‌های مختلفی وارد فرآیند شده و تحت مسیر متفاوتی قرار گیرد. جدول ۱-۱ روش‌های مختلف ورود خوراک به کوره را بر حسب درصد H_2S موجود در گاز نشان می‌دهد. با توجه به این که منابع گازی خاورمیانه به ویژه منابع گازی ایران از نوع شور و دارای درصد بالایی از گوگرد هستند، بیشتر واحدهای بازیابی گوگرد موجود بر اساس فرآیند کلاوس اصلاح شده با پیکربندی عبور مستقیم خوراک می‌باشند. در این نوع پیکربندی تمامی گاز اسیدی از درون کوره‌ی واکنشی و جوش‌آور عبور می‌کند و معمولاً مقدار قابل توجهی گوگرد عنصری در کوره تولید می‌شود.

جدول ۱-۱- پیکربندی‌های مناسب واحد بازیابی گوگرد متناسب با درصد H_2S موجود در گاز اسیدی

پیکربندی مناسب	در گاز اسیدی H_2S درصد مولی
عبور مستقیم	بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد (گاز غنی)
جریان تقسیم شونده	بین ۲۰ تا ۵۰ درصد (گاز ضعیف)
جریان تقسیم شده همراه با پیش گرم کردن خوراک	بین ۱۰ تا ۲۰ درصد
بازگشت مستقیم گوگرد	کمتر از ۱۰ درصد
اکسیداسیون مستقیم	کمتر از ۵ درصد
NH_3 عبور مستقیم همراه با یکی از روش‌های سوزاندن	NH_3 بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد به همراه

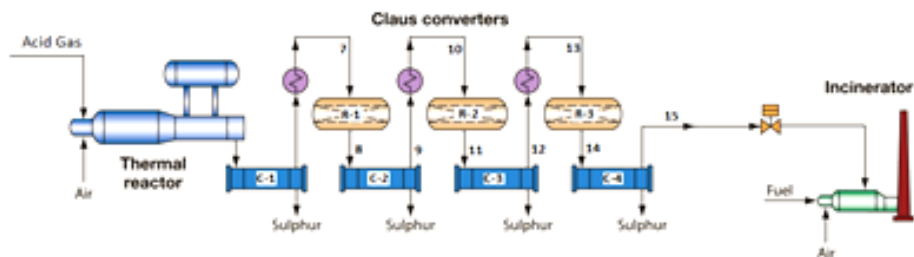
۲-۱- اصول فرآیند کلاوس

اساس کار این روش شامل دو بخش اصلی است.

۱- بخش حرارتی (کوره): در این بخش، یک سوم از H_2S موجود در گاز به همراه تمامی هیدروکربن‌های موجود و سایر ترکیبات قابل احتراق در جریان گاز در درون کوره‌ی حرارتی سوزانده می‌شوند که از این طریق گرمای قابل ملاحظه‌ای آزاد می‌شود.

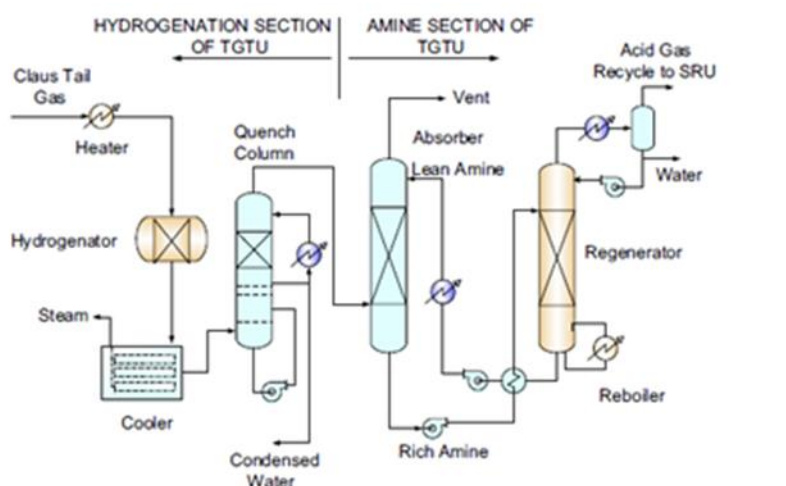
۲- بخش کاتالیستی: در این بخش، H_2S باقی مانده با گوگرد دی‌اکسید تولید شده در کوره واکنش می‌دهد. برای رسیدن به سطح بازیابی گوگرد بیشتر از ۷۰ درصد، بخش احتراق یا حرارتی، به وسیله‌ی یک یا چند مرحله واکنش کاتالیستی دنبال می‌شود به این ترتیب که گوگرد تشکیل شده در بخش احتراقی، مایع شده و از جریان گاز فرآیندی جدا گردیده و گاز فرآیندی وارد دیگر مراحل کاتالیستی می‌شود.

شکل ۲-۱ فلوشیت یک فرآیند بازیابی گوگرد کلاوس را در سه مرحله نشان می‌دهد. گازهای خروجی از آخرین کندانسور و مرحله‌ی جداسازی ممکن است به مراحل فرآیندی بیشتری نیاز داشته باشد. این نیاز به وسیله‌ی قوانین زیست محیطی آن منطقه مشخص می‌شود. به طور کلی این بخش از فرآیند به عوامل متعددی نظیر: اندازه‌ی طرح بازیابی گوگرد، H_2S موجود در خوراک و محل جغرافیایی طرح بستگی دارد.



شکل ۱-۲- نمایی از فرآیند کلاوس سه مرحله‌ای با خوراک‌دهی مستقیم

امروزه با توجه به اعمال قوانین زیست محیطی سخت گیرانه، استفاده از یک واحد کلاوس به تنهایی نمی‌تواند پاسخگوی میزان بازده مورد نظر جهت حذف گوگرد از جریان گازی باشد. از این رو در بیشتر واحدهای بازیابی گوگرد پس از واحدهای کلاوس، عملیات‌هایی را به منظور حذف هر چه بیشتر گوگرد از جریان گازی از طریق تماس گاز با محلول آمین در واحدهای گاز دنباله انجام می‌دهند. برای این منظور لازم است که پیش از انجام هر گونه عملیاتی روی گاز دنباله، تمامی SO_2 موجود در گاز در یک راکتور کاتالیستی هیدروژناسیون به H_2S تبدیل شود؛ زیرا حضور SO_2 در برج جذب می‌تواند باعث از بین رفتن جاذب (آمین) شود. آن گاه جریان گاز به منظور خنک‌سازی با آب وارد یک برج Quench می‌شود و در ادامه جریان گاز وارد یک برج جذب آمینی شده تا H_2S به وسیله‌ی یک آمین انتخاب‌پذیر جذب شود. در پایان نیز آمین غلیظ به منظور احیاء وارد برج دفع شده و گاز خروجی از بالای برج دفع به ورودی فرآیند کلاوس بازگردانی می‌شود. در شکل ۱-۳ نمایی از فرآیند تصفیه‌ی گاز دنباله آورده شده است. با استفاده از این روش می‌توان به ۹۹/۹ درصد تبدیل در بازیابی گوگرد از جریان گازی رسید.



شکل ۱-۳- نمایی از فرآیند تصفیه گاز دنباله

۳- مدل‌سازی فرآیند

۱-۳- مدل‌سازی کوره

۱-۱-۳- مدل‌سازی تجربی

پژوهش‌های متعددی توسط محققان در راستای پیش‌بینی توزیع و غلظت گازهای خروجی از کوره کلاوس انجام شده است. آن‌ها سعی داشتند از روش‌های تجربی بر مبنای واحدهای ساخته شده‌ی موجود عمل کنند و به این ترتیب غلظت خروجی گازها از کوره کلاوس را مستقل از پارامترهای دما و زمان به دست آورند. از روش‌هایی که برای نزدیک کردن نتایج مدل تعادلی با داده‌های تجربی به کار می‌رود این است که به تعدادی از واکنش‌ها این اجازه داده شود که در دمایی کمتر از دمای شعله رخ دهند. به این دما، دمای قطع کردن جریان گفته می‌شود که به کمک مطابقت دادن داده‌های واحد تعیین می‌شود. برای بررسی این موضوع لازم است دمای واکنش‌ها در سرعت اثر داده شود. برای اولین بار در پژوهشی در سال ۱۹۹۰ اثر دما بر رفتار سینتیکی یک واکنش سنجیده شد و برای آن مدل سینتیکی ارائه شد. در واقع بیان شد که کاهش دما به رشد واکنش رفت بین H_2 و S_2 برای تولید

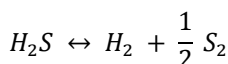
H₂S کمک می‌کند؛ در صورتی که افزایش دما به افزایش سرعت واکنش برگشت کمک می‌کند. این رخداد مقدمه‌ای برای بررسی سینتیکی رفتار واکنش‌ها در یک زمان ماندگاری کوتاه ۰/۵ تا ۲ ثانیه درون کوره شد.

۳-۱-۲- مدل سازی سینتیکی

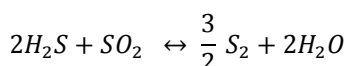
شرایط پیچیده‌ی کوره و زمان ماندگاری بسیار کم گازها در آن باعث شده است که بر خلاف دمای بالای کوره نتوان واکنش‌های دورن آن را تعادلی فرض کرد و حتی در صورت درستی فرض تعادل، نیاز به تعیین غلظت اجزاء، دما و فشار باعث شد که محققان به فکر ارائه‌ی مدل‌های دقیق‌تر و در عین حال منطقی‌تر باشند تا بتوان رفتار پدیده‌ها را در آن توجیه کرد و بر اساس آن‌ها طراحی انجام داد.

پارامترهایی نظیر: زمان واکنش، دما، فشار و مقدار اولیه‌ی اجزاء در خوراک عواملی هستند که تاثیر بسیاری در واکنش گازی درون کوره دارند و این در حالی است که در مثال‌های پیشین هیچ کدام از این موارد مد نظر قرار نگرفته بود. علاوه بر واکنش‌های اصلی گوگرد، چندین واکنش دیگر با حضور گوگرد و هیدروکربن‌هایی که همراه گاز اسیدی وارد کوره می‌شوند اتفاق می‌افتد و همگی در تولید گاز خروجی از کوره کلاوس نقش تعیین کننده‌ای دارند.

برای شبیه‌سازی یک راکتور لازم است ابتدا مجموعه‌ای از شرایط بررسی شود و با توجه به مسائلی که وجود دارد، فرضیه‌هایی تدوین شده سپس مدل سازی انجام شود. مهم‌ترین بخش یک مدل سازی، تعیین واکنش‌های کلیدی و استفاده از یک سینتیک معتبر برای مدل سازی هر واکنش و توصیف رقابت میان واکنش‌ها است. برای این منظور ابتدا باید مجموعه واکنش‌هایی که در کوره اتفاق می‌افتد را در نظر گرفت. از مهم‌ترین واکنش‌هایی که در کوره‌ی کلاوس اتفاق می‌افتد تجزیه و تشکیل مجدد H₂S است. اهمیت این واکنش از آن جهت است که بخشی از گوگرد و اغلب هیدروژن تولید شده در کوره ناشی از پیشرفت آن است. این واکنش، واکنشی تعادلی است که معادله‌ی آن به صورت معادله‌ی (۱-۱) می‌باشد.



بر اساس محاسبات ترمودینامیکی در شرایط کوره، اغلب گوگرد تولید شده به شکل S₂ بوده و در دمای °C ۸۰۰ این مقدار برابر با ۹۸ درصد می‌باشد. با توجه به این که هم زمان H₂S در واکنش‌های موازی و رقیب درگیر است؛ بنابراین معمولاً دو طرف واکنش به صورت تعادلی پیشرفت می‌کند و باید به صورت آزمایشگاهی نسبت تعادل مشخص شود. در مورد واکنش ترکیب همگن H₂S و SO₂ (واکنش کلاوس) تاکنون داده‌ها و اطلاعات تجربی کمی منتشر شده است. این واکنش بخش دیگری از S₂ خروجی از کوره را تولید می‌کند، اما در راکتورهای کاتالیستی به مراتب نقش پر رنگ‌تری ایفا می‌کند و به صورت کاتالیستی اجرا می‌شود. معادله‌ی (۲-۱) این واکنش را بیان می‌کند.



۳-۱-۳- مدل سازی راکتور کاتالیستی

بخش کاتالیستی واحد کلاوس به منظور افزایش تمایل ترمودینامیکی و سوق دادن تعادل به سمت بازیابی بیشتر گوگرد از گاز اسیدی ایجاد شد و نسبت به کوره و واکنش اکسیداسیون مستقیم دارای دما و مصرف انرژی کمتری است. در واقع تبدیل هیدروژن سولفید به گوگرد در کوره از نظر ترمودینامیکی حدود ۷۵ درصد است. این عدد مربوط به پیکربندی عبور مستقیم است و در صورت استفاده از پیکربندی جریان تقسیم شونده این عدد بسیار کمتر می‌شود. برای دستیابی به درصد تبدیل‌های بالاتر لازم است که واکنش‌ها در دماهای پایین‌تر ادامه پیدا کند. در دماهای پایین‌تر، واکنش از نظر ترمودینامیکی تمایل بیشتری به پیشرفت دارد. وجود بسترهای کاتالیستی و دمای پایین (بین ۱۴۹ تا ۴۰۰ °C) در راکتورها مقدمات پیشرفت سریع واکنش را فراهم می‌کند. همچنین این شرایط سبب می‌شود که واکنش بین هیدروژن سولفید و دی‌اکسید کربن تا بالاتر از ۹۸ درصد هم پیشرفت کند. این میزان پیشرفت در طول کل فرآیند به دست نمی‌آید بلکه بین مراحل مختلف واکنش گرمایی و کاتالیستی و بین راکتورهای مختلف تقسیم می‌شود. در واقع کوره بیشترین نقش را در تبدیل بر عهده دارد و راکتور کاتالیستی به ترتیب از ابتدا تا انتها سهم کمتری در میزان تبدیل پیدا می‌کند.

در دمای کوره نمی‌توان بیش از ۷۰ درصد گوگرد را از H₂S بازیابی کرد؛ بنابراین پس از جداسازی گوگرد مایع شده، مخلوط گازی حاوی باقیمانده‌ی گاز اسیدی وارد راکتور کاتالیستی با دمای کمتر شده و با توجه به دمای بسترهای پیاپی هر بار درصدی از گوگرد خود را تبدیل می‌کند. راکتورهای کاتالیستی عایق هستند و شرایط عملیاتی آن‌ها آدیاباتیک است و از ابتدا تا انتهای طول بستر دما تغییر می‌کند. محدوده‌ی این نوسان دما به دلیل کاهش شدت واکنش‌ها از راکتور اول تا راکتور سوم هر بار کمتر می‌شود. با توجه به این که در بررسی واحد بازیابی گوگرد، مقدار گوگرد مایع شده مبنا قرار نمی‌گیرد، بلکه مقدار گوگرد بازیابی شده کلی و درصد SO₂ خارج شده به جو مهم است؛ لذا همواره حداکثر تلاش برای بازیابی بیشترین گوگرد در کمترین حجم و هزینه انجام

می‌شود و این راهی جز تقسیم مراحل بازیابی و میعان گوگرد در میان راکتورها ندارد. دو روش عمده و اصلی که برای مدل‌سازی راکتورهای کاتالیستی فرآیند کلاوس به کار می‌رود، مدل تعادلی و مدل سینتیکی است.

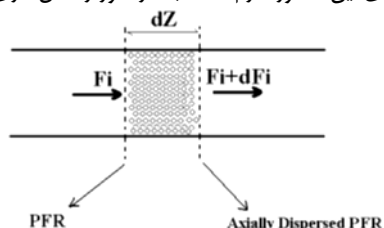
۱- مدل تعادلی (کمینه کردن انرژی آزاد گیبس)

در مدل کمینه کردن انرژی آزاد گیبس در راکتورهای کاتالیستی، خوراک ورودی به راکتور متفاوت از کوره بوده و دمای کمتری برای اجرای فرآیند لازم است؛ زیرا کمینه کردن انرژی آزاد گیبس فقط تابع دما، فشار عملیاتی، نوع و غلظت اجزاء است و وجود کاتالیست تأثیری بر نتایج ندارد و این عوامل فرآیندی است که بر نتیجه‌ی عملکرد راکتورهای کاتالیستی اثر دارد. از میان راکتورهای کاتالیستی راکتور اول به دلیل نقش پر رنگ در هیدرولیز کردن CS_2 و COS دارای دمای بالاتر و درصد تبدیل بالاتری در واکنش کلاوس است درحالی که سایر راکتورها در دماهای پایین‌تر و درصد تبدیل بالاتر، کمتر عمل می‌کنند.

بر اساس مدل‌سازی تعادلی، امکان محاسبه و تعیین پروفایل غلظت اجزاء با پروفایل دما در طول راکتور امکان‌پذیر نیست؛ زیرا این روش، روشی ترمودینامیکی بوده و ترمودینامیک فقط مرزهای واکنش را در نظر می‌گیرد و امکان تعیین سرعت در آن وجود ندارد. از طرفی در اغلب نرم‌افزارهای تجاری پس از تعیین غلظت اجزاء و دما در خروجی، فاصله‌ی ورودی تا خروجی بستر کاتالیستی را به قسمت‌های یکسانی تقسیم کرده و پروفایل غلظت و دما را خطی فرض می‌کنند که این کار خود با خطای بسیاری در دما و غلظت اجزاء در میانه‌ی بستر کاتالیستی همراه است.

۲- مدل‌سازی سینتیکی

روش دیگری که برای مدل‌سازی راکتور کاتالیستی استفاده می‌شود، مدل‌سازی سینتیکی است. برخلاف راکتورهای گازی وجود دانه‌های کاتالیست در راکتورهای کاتالیستی باعث شده است که مجموعه‌ی فرضیه‌ها و شرایط پیچیده‌تری به منظور بررسی حضور نفوذ محوری در نظر گرفته شود. برای این منظور لازم است ابتدا راکتور را مدل‌سازی کرد (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴. مدل شماتیک راکتور لوله‌ای پر شده.

در صورتی که موازنه‌ی جرم برای راکتور نوشته شود، با فرض ثابت بودن سرعت ظاهری سیال (u) در سطح مقطع ثابت (A_c) مربوط به راکتور، دبی مولی جریان از دو بخش جریان توده‌ای و جریان نفوذی تشکیل شده است (معادله‌ی ۱-۳).

$$F_i = u A_c D_a \frac{dC_j}{dz}$$

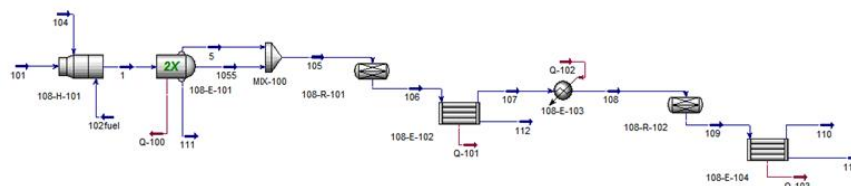
که در آن بخش اول معادله مربوط جریان توده‌ای و بخش دوم با وجود ضریب نفوذ محوری (D_a) مربوط به جریان نفوذی طبق قانون اول انتقال جرم فیک است.

پس از اکسیداسیون جزئی هیدروژن سولفید در کوره کلاوس، مخلوط گازی خروجی از کوره با عبور از کندانسور و میعان گوگرد عنصری تولید شده در کوره و تنظیم دما وارد راکتور کاتالیستی مرحله‌ی اول می‌شود. در این مرحله به دلیل میعان گوگرد و افزایش نیروی رانش و تمایل ترمودینامیکی برای میعان گوگرد بیشتر و رساندن دما به حدود $300^\circ C$ برای تأمین انرژی فعال‌سازی مورد نیاز برای انجام واکنش شرایط بسیار مناسبی برای ادامه تبدیل هیدروژن سولفید به گوگرد وجود دارد. با این تفاوت که در راکتورهای کاتالیستی واکنش میان هیدروژن سولفید و دی‌اکسید گوگرد است که نقش اصلی را ایفا می‌کند و با عنوان واکنش کلاوس شناخته می‌شود.

۴- شبیه‌سازی و بهینه‌سازی فرآیند

۴-۱- شبیه‌سازی

در این بخش به ارائه نتایج شبیه‌سازی واحد بازیابی گوگرد یکی از مجتمع‌های گازی پارس جنوبی خواهیم پرداخت. واحد مورد نظر شامل یک کوره کلاوس با خوراک دهی مستقیم و دو راکتور کاتالیستی است. نمودار فرآیندی این واحد در شکل ۱-۲ آورده شده است. این شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Aspen HYSYS V10 انجام شد.



شکل ۲-۱- نمودار فرآیندی واحد بازیابی گوگرد.

در این شبیه‌سازی از Sulsim (Sulfur Recovery) به عنوان Fluid Package استفاده شده است. به منظور بالاتر بردن دمای کوره در این واحد از مقداری سوخت همراه با گاز اسیدی ورودی استفاده می‌شود؛ بنابراین لازم است که در شبیه‌سازی علاوه بر جریان گاز اسیدی (۱۰۱) و همچنین جریان هوا (۱۰۴)، جریانی از سوخت (102 fuel) نیز به عنوان خوراک کوره در نظر گرفته شود. در جدول ۲-۱ خلاصه‌ای از مشخصات خوراک ورودی به کوره آورده شده است.

جدول ۲-۱- مشخصات جریان گاز ورودی به کوره.

Parameter	(101) Sour Gas	(104) Air	(102) Fuel
Total Flow(kmol/h)	۴۱۷/۹۱	۶۰۶/۹۲	۷/۶۵
Total Flow (kg/h)	۱۵۳۸۰	۱۷۰۳۶	۲۱۸۳
Vapor Fraction	۱	۱	۱
Temperature (°C)	۴۹/۷	۱۰۰	۴۰
Pressure(brag)	۰/۸	۰/۷	۵/۵
Components	Mole Fractions (%)	Mole Fractions (%)	Mole Fractions (%)
CO ₂	۳۸/۱	۰	۱/۰۴
H ₂ S	۵۵/۲۹	۰	۳/۶۵
H ₂ O	۶/۶۱	۷/۲۶	۰
O ₂	۰	۱۹/۶۱	۰
N ₂	۰	۷۳/۱۳	۰
Methane	۰	۰	۸۹/۵۱
Ethane	۰	۰	۵/۷۳
Propane	۰	۰	۰/۰۷
Total	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جریان گاز اسیدی و سوخت همراه پس از تزریق به کوره با اکسیژن واکنش داده و در نتیجه آن حدود چهار پنجم هیدروژن سولفید موجود در جریان مصرف می‌شود. در جدول ۲-۲ خلاصه‌ای از عملکرد کوره آورده شده است.

جدول ۲-۲- پارامترهای عملیاتی مهم در خروجی کوره (۱۰۸-H-۱۰۱).

Sulfur conversion (kmol/h)	۱۳۸/۱
Sulfur conversion efficiency (%)	۵۹/۷۸
H ₂ S reacted (%)	۷۸/۶۳
Outlet temperature (°C)	۱۰۴۰

جریان گاز اسیدی پس از واکنش در کوره، وارد یک مبدل حرارتی می‌شود تا ضمن تولید مقداری انرژی، گوگرد عنصری تولید شده در طی فرآیند را به صورت مایع خارج کند (۱۱۱). جریان گاز خروجی از مبدل به منظور رسیدن به درصد بازیابی بیشتر وارد راکتور کاتالیستی اول (۱۰۸-R-۱۰۱) شده و پس از انجام واکنش در راکتور به منظور جداسازی گوگرد تولید شده وارد کندانسور (۱۰۸-E-۱۰۲) می‌شود. جریان خروجی از کندانسور به منظور رسیدن به دمای بالاتر از نقطه شبنم، پیش از وارد شدن به راکتور کاتالیستی دوم توسط یک مبدل (۱۰۸-E-۱۰۳) تا دمای ۲۰۵ °C پیش گرم شده و سپس وارد راکتور کاتالیستی دوم (۱۰۸-R-۱۰۲) می‌شود. جریان گاز پس از خروج از راکتور کاتالیستی دوم به منظور جداسازی گوگرد عنصری تولید شده در هنگام واکنش

کاتالستی، وارد کندانسور می‌شود و جریان گاز (۱۱۰) از گوگرد عنصری (۱۱۳) جدا می‌شود. جریان گاز خروجی از کندانسور به منظور تصفیه‌ی بیشتر به واحد تصفیه‌ی گاز دنباله فرستاده می‌شود. در جدول ۳-۲ نتایج حاصل از شبیه‌سازی واحد آورده شده است.

جدول ۳-۲- خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی واحد.

	Stream 1 (furnace outlet)	Stream 106 (reactor 101 outlet)	Stream 109 (reactor 102 outlet)	Stream 110 (unit outlet)
Temperature (°C)	۱۰۴۰	۳۱۸	۲۲۷	۱۳۰
Pressure (bar)	۰/۷۶	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۳۳
Molar Flow (kgmol/h)	۱۰۲۷	۹۴۹/۸	۹۳۴	۹۳۹
Mass Flow (kgmol/h)	۳/۲۵۵ e + ۰۰۴	۲/۸۹۳ e + ۰۰۴	۲/۶۳۲ e + ۰۰۴	۲/۵۵۲ e + ۰۰۴
Composition				
CO ₂	۰/۱۴۷۱	۰/۱۶۶۸	۰/۱۶۹۹	۰/۱۷۰۵
N ₂	۰/۴۳۲۴	۰/۴۶۷۶	۰/۴۷۵۵	۰/۴۷۷۲
H ₂ S	۰/۰۴۸۱	۰/۰۱۹۹	۰/۰۰۶۰	۰/۰۰۶۰
COS	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴
CS ₂	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۲۰
SO ₂	۰/۰۲۸۶	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۸
S – Vapor	۰/۰۶۶۹	۰/۰۱۱۹	۰/۰۰۳۶	۰
CO	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۶۵
H ₂	۰/۰۱۱۲	۰/۰۱۱۶	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۱۹
H ₂ O	۰/۲۵۰۱	۰/۳۰۲۹	۰/۳۲۲۳	۰/۳۲۳۵
Total	۱	۱	۱	۱

۲-۴- آنالیز حساسیت

به منظور بررسی رفتار فرآیند در مقابل تغییر پارامترهای موثر در آن، انجام آنالیز حساسیت برای پارامترهای مهم صورت پذیرفت. در جدول ۴-۲ پارامترهای مورد بررسی به همراه بازه‌ی تغییرات هر یک نشان داده شده است.

جدول ۴-۲- مجموعه پارامترهای موثر در کوره.

پارامتر	بازه‌ی تغییر	مقدار پایه
دبی هوای ورودی (kmol/h)	۵۰۰ تا ۸۰۰	۶۰۶/۹۲
دبی گاز سوختنی (kmol/h)	صفر تا ۴۰	۷/۶۵
دمای مخلوط گاز ورودی به کوره (°C)	۱۰ تا ۲۰۰	۴۹/۷
دمای ورودی به راکتور کاتالستی اول (°C)	۲۱۰ تا ۲۸۰	۲۵۰

۲-۴-۱- اثر هوای اضافی

برای تعیین اثر هوای اضافی به کوره‌ی کلاوس، مقدار هوای اضافی از مقدار اولیه‌ی مورد استفاده در واحد که به نسبت استوکیومتری برای سوزاندن تمامی هیدروکربن‌های موجود در گاز اسیدی و سوخت، یک سوم از هیدروژن سولفید افزوده شده است تا ۱/۵ برابر این حد (۵۰ درصد اضافی) با فرض ثابت بودن سایر پارامترها تغییر داده شود. با هر تغییر مدل اجرا شده و نتایج حاصل از دمای خروجی از کوره، غلظت اجزای خروجی از کوره، میزان بازیابی گوگرد، درصدهای تبدیل، مقدار دوده خارجی و نسبت H₂S به SO₂ در خروجی ثبت شدند.

۲-۴-۲- اثر تغییر دبی گاز سوختنی ورودی

به منظور افزایش پایداری شعله، گاز سوختنی وارد کوره می‌شود. برای بررسی اثر گاز، مقدار دبی ورودی آن به کوره از صفر تا ۴۰ kmol/h با ثابت بودن سایر پارامترها تغییر داده شد.

۴-۲-۳- دمای خوراک ورودی به کوره

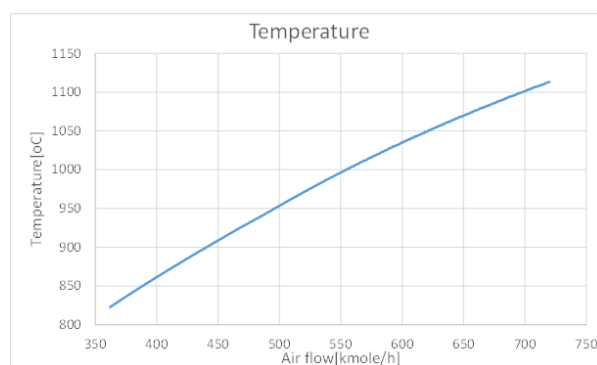
تمامی اجزای ورودی به کوره (هوا، گاز اسیدی و گاز سوختنی) در یک دما وارد کوره نمی‌شوند، اما با مخلوط کردن آن‌ها با هم به یک دمای میانگین خواهیم رسید که در شبیه‌سازی کوره تحت عنوان دمای خوراک مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دما را می‌توان به صورت انتزاعی (با فرض تغییر دمای محیط و یا پیش‌گرم کردن یکی از جریان‌ها) تغییر داد تا اثر پیش‌گرم کردن را بررسی کرد.

۴-۲-۴- دمای ورودی به راکتورهای کاتالیستی

با توجه به گرماده بودن واکنش‌های موجود در راکتورهای کاتالیستی، هر چه دمای راکتور پایین‌تر باشد، واکنش تولید گوگرد بیشتر پیش می‌رود و از این رو درصد تبدیل کلی فرآیند افزایش می‌یابد. از طرفی با توجه به امکان تولید اسیدهای گوگردی مایع در راکتورهای کاتالیستی لازم است که دمای خوراک راکتورهای کاتالیستی را تا حد معینی پیش‌گرم کرد. در این جا با تغییر دمای ورودی به راکتورهای اول و دوم اثر این پارامتر بر کل فرآیند بررسی شد.

۴-۲-۵- اثر مقدار هوای ورودی به کوره

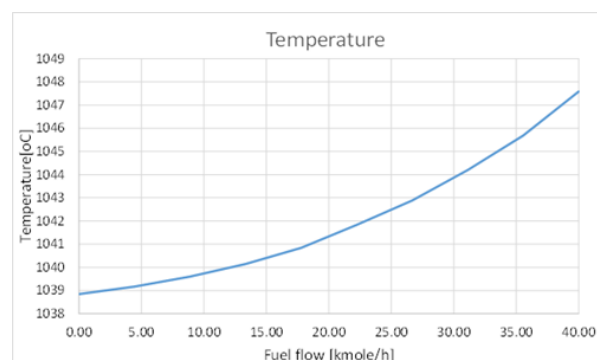
شکل ۲-۲ تغییرات دمای خروجی از کوره کلاوس را بر حسب تغییر در مقدار هوای ورودی به کوره نشان می‌دهد. بر این اساس، اضافه کردن اکسیژن بیش از حد با دمای خروجی از راکتور رابطه‌ی مستقیم دارد. از دیدگاه انرژی، این افزایش دما به معنی پتانسیل بیشتر برای تولید بخار می‌باشد، اما از نظر فرآیندی نیز لازم است اثر این افزایش دما را بررسی کرد.



شکل ۲-۲- اثر مقدار هوای ورودی به کوره بر روی دمای خروجی از آن

۴-۲-۶- بررسی اثر مقدار سوخت تزریقی به کوره

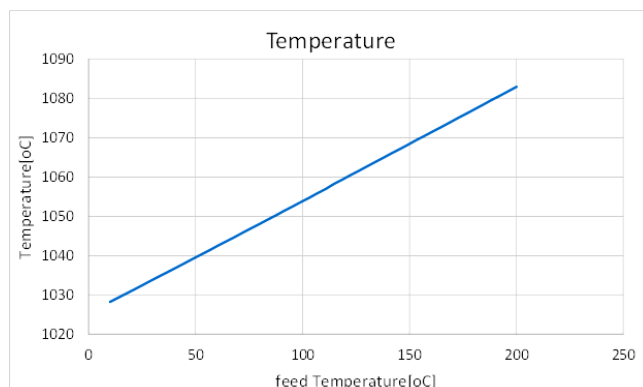
شکل ۳-۲ اثر سوخت تزریقی بر دما را نشان می‌دهد. بر طبق شکل، تغییر در دبی سوخت ورودی به کوره در بیشترین حالت حدود 10°C دمای خروجی را بالا می‌برد و تاثیر ناچیزی بر دمای خروجی از کوره دارد.



شکل ۳-۲. اثر تغییر در سوخت ورودی به کوره بر روی دمای خروجی

۴-۲-۷- اثر دمای خوراک ورودی به کوره

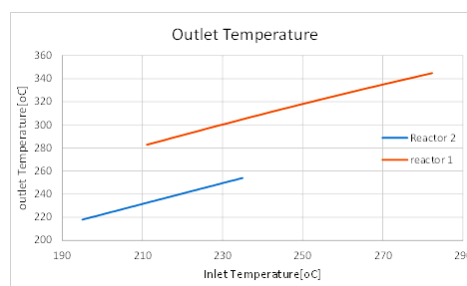
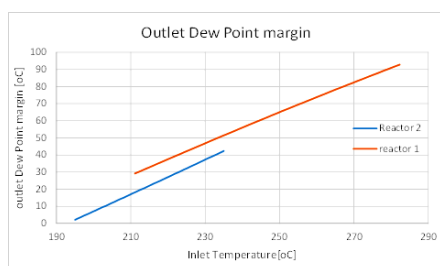
بر اساس شکل ۴-۲ مشخص است که دمای ورودی خوراک به کوره دارای یک رابطه‌ی خطی و مستقیم با دمای خروجی از آن است. هر چه خوراک با دمای بالاتری وارد شود، در دمای بالاتری هم خارج می‌شود.



شکل ۲-۴- اثر دمای خوراک ورودی به دمای خروجی از کوره

۴-۲-۸- اثر دمای خوراک ورودی بر راکتورها

این عامل در راکتور اول با توجه به این که واکنش‌ها به مقدار بیشتری صورت می‌گیرند و نقش مهم‌تری را در هیدرولیز COS و CS_2 دارد، اهمیتی دو چندان پیدا می‌کند. به طور کلی، با توجه به گرماده بودن واکنش تبدیل H_2S به گوگرد در راکتورهای کاتالیستی، هر چه دمای ورودی به راکتور کمتر باشد برای پیشرفت واکنش بهتر خواهد بود. از طرفی محدودیت‌هایی مانند سرعت انجام واکنش و یا نقطه شبنم گوگرد که باعث افت شدید بازدهی راکتور می‌شود از مواردی هستند که برای انتخاب دمای مناسب ورودی به راکتور باید مد نظر قرار گیرند. پارامترهایی از قبیل: درصد تبدیل هیدروژن سولفید در هر راکتور، نسبت H_2S به SO_2 در خروجی راکتورها، درصد تبدیل COS و CS_2 در واکنش هیدرولیز راکتورها، انتخاب‌پذیری گوگرد نسبت به COS و CS_2 در راکتور اول و درصد کل بازیابی گوگرد در انتهای بخش کاتالیستی فرآیند کلاوس مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۲-۵- اثر تغییر در دمای ورودی به راکتورهای کاتالیستی بر (الف) دمای خروجی (ب) Dew Point Margin

مطابق شکل ۲-۵ همان طور که انتظار می‌رفت، افزایش دمای ورودی به هر دو راکتور باعث افزایش دما و افزایش Dew Point Margin در خروجی از راکتورها می‌شود. روند تغییر دما در این مورد برای هر دو راکتور تقریباً خطی است.

۵- بهینه‌سازی فرآیند

پس از بررسی پارامترهای مهم در عملکرد کوره‌ی کلاوس و راکتورهای کاتالیستی با استفاده از آنالیز حساسیت، مشخص شد که اثر این پارامترها در عملکرد فرآیند کلاوس قابل توجه است و می‌توان نسبت به بهینه کردن آن‌ها اقدام نمود؛ بنابراین هدف یافتن بازه‌ی مشخص و مقداری مناسب برای این پارامترها است تا پاسخ‌های مورد سنجش و کلیدی در عملکرد فرآیند بهینه شود و بتوان فرآیندهای کلاوس با ظرفیت‌های جدید و کارایی بالاتر را به صورت مستقل طراحی کرد.

بهینه کردن پارامترهای موثر از قبیل شرایط عملیاتی با هدف طراحی یک واحد جدید با خوراک یکسان (مانند اغلب فازهای پارس جنوبی) با توان بازیابی گوگرد بیشتر و یا بهبود عملکرد واحد موجود با تغییراتی جزئی انجام می‌شود. برای این منظور، با استفاده از امکانات موجود در نرم‌افزار Aspen HYSYS V10 به بهینه‌سازی پارامترهای دمای خوراک ورودی به کوره، میزان هوای ورودی به کوره، میزان سوخت ورودی به کوره، دمای ورودی به راکتور کاتالیستی اول و دوم پرداخته شد. در جدول ۲-۵ فهرستی از پارامترهای مورد استفاده و بازه‌ی تغییر هر یک آورده شده است.

جدول ۲-۵- پارامترهای بهینه‌سازی شده به همراه بازه‌ی تغییرات مربوطه.

پارامتر	بازه‌ی تغییرات
دمای خوراک ورودی به کوره (°C)	۱۵۰ تا ۶۰
میزان هوای ورودی به کوره (kmol/h)	۷۰۰ تا ۳۶۰
میزان سوخت ورودی به کوره (kmol/h)	۰/۰۰۰۱ تا ۲۰
دمای ورودی به راکتور کاتالیستی اول (°C)	۲۶۰ تا ۲۱۰
دمای ورودی به راکتور کاتالیستی دوم (°C)	۲۱۰ تا ۱۱۰

در این بهینه‌سازی، Dew Point Margin در ورودی و خروجی راکتورهای کاتالیستی به ترتیب با مقدار ۲۰ و ۱۲°C به عنوان متغیر محدود کننده و میزان تولید گوگرد در کل فرآیند به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد.

۶- بررسی و تحلیل نتایج

در این بخش به مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از نرم‌افزار برای سه جریان خروجی از کوره، از راکتور کاتالیستی اول و از راکتور کاتالیستی دوم با داده‌های لایسنسور پرداخته شده است. در جدول ۳-۱ مقایسه‌ی جریان خروجی از کندانسور پس از کوره (۱۰۱-E) میان داده‌های حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های ارائه شده توسط لایسنسور مشاهده می‌شود.

جدول ۳-۱- مقایسه میان نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های لایسنسور برای جریان خروجی از کوره

Parameter	Data	Simulation	Error (%)
	Waste heat exchanger outlet (105)	Waste heat exchanger outlet (105)	
Pressure (bar)	۰/۵۳	۰/۵۳	۰
Temperature (°C)	۲۵۰	۲۵۰	۰
Components	Flow rate(kmol/h)	Flow rate(kmol/h)	
CO ₂	۱۴۲/۱۶	۱۵۱/۱۴	۶/۳
N ₂	۴۴۴/۱۱	۴۴۳/۵۹	۰/۱۱
H ₂ S	۴۶/۲۶	۴۹/۸۸	۷/۸
COS	۱۳/۳۵	۴/۳۵	۶۷
CS ₂	۱/۱۹	۵/۵۴	۵۵۴
SO ₂	۳۰/۱۲	۲۹/۳۲	۲/۶
CO	۱۰/۳۵	۵/۹۹	۴۲/۱
H ₂	۱۱/۴۷	۱۱/۰۶	۳/۵
H ₂ O	۲۶۰/۴	۲۵۶/۷	۱/۴
S _n	۳/۰۱	۳/۲۷	۸/۶
Total	۹۶۲/۰۵	۹۶۰/۹	۰/۱

نتایج حاکی از آن است که در بیشتر موارد داده‌های به دست آمده تطابق خوبی با داده‌های موجود دارند، تنها در مورد CS₂ اختلاف بسیار زیاد است که با توجه به مقدار ناچیز آن در جریان، خطای زیادی در محاسبات کل وارد نمی‌شود. در مورد CO و COS نیز خطای به وجود آمده احتمالاً ناشی از مشخص نبودن سینتیک مناسب برای واکنش‌های این مواد است. در جدول ۳-۲ می‌توان مقایسه‌ی جریان خروجی از راکتور کاتالیستی اول (جریان ۱۰۶) را مشاهده کرد:

جدول ۳-۲- مقایسه‌ی جریان خروجی از راکتور کاتالیستی اول میان نتایج حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های موجود

Parameter	Data	Simulation	Error (%)
	108-R-101 outlet (106)	108-R-101 outlet (106)	
Pressure (bar)	۰/۴۹	۰/۴۹	۰
Temperature (°C)	۳۲۱/۱	۳۱۸	۰
Components	Flow rate (kmol/h)	Flow rate (kmol/h)	

Parameter	Data	Simulation	Error (%)
CO ₂	۱۵۵/۱۶	۱۵۸/۴۰	۲
N ₂	۴۴۴/۱۱	۴۴۳/۵۹	۰/۱۱
H ₂ S	۱۸/۵۵	۱۹/۰۲	۲/۵
COS	۱/۳۶	۰/۵۹	۵۷
CS ₂	۰/۱۸	۲/۰۴	۱۰۳۳
SO ₂	۹/۲۷	۸/۵۱۶۱	۸/۱
CO	۱۰/۳۵	۵/۹۹	۴۲/۱
H ₂	۱۱/۴۷	۱۱/۰۶	۳/۵
H ₂ O	۲۸۷/۷۴	۲۸۷/۵۷	۰/۰۶
S _n	۱۲/۱۲	۱۲/۳۱	۱/۵
Total	۹۵۰/۳۱	۹۴۹/۱	۰/۱۲

نتایج حاصل از شبیه‌سازی این راکتور نیز عموماً نزدیک به داده‌های موجود است، تنها همان مواردی که برای کوره‌ی کلاوس ذکر شد در این جا نیز تاثیر گذارند. جدول ۳-۳ مقایسه میان نتایج حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های موجود را برای جریان خروجی از راکتور کاتالیستی دوم نشان می‌دهد.

جدول ۳-۳- مقایسه جریان خروجی از راکتور کاتالیستی دوم میان نتایج حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های موجود.

Parameter	Data	Simulation	Error (%)
	108-R-102 outlet (109)	108-R-102 outlet (109)	
Pressure (bar)	۰/۳۹	۰/۳۹	۰
Temperature (°C)	۲۲۶/۹	۲۲۷	۰
Components	Flow rate(kmol/h)	Flow rate(kmol/h)	
CO ₂	۱۵۵/۱۶	۱۵۸/۷۳	۲/۳۰
N ₂	۴۴۴/۱۱	۴۴۳/۵۹	۰/۱۱
H ₂ S	۴/۶۲	۵/۷۲	۲۳/۸۰
COS	۱/۳۶	۰/۴۲	۶۹
CS ₂	۰/۱۸	۱/۸۹	۹۵۰۰
SO ₂	۲/۳۱	۱/۶۳	۲/۹۴
CO	۱۰/۳۵	۵/۹۹	۴۲/۱
H ₂	۱۱/۴۷	۱۱/۰۶	۳/۵۷
H ₂ O	۳۰۱/۶۶	۳۰۰/۸۵	۰/۲۶
S _n	۳/۴۳	۳/۴۲	۰/۲۹
Total	۹۳۴/۶۴	۹۳۳/۳	۰/۱۴

۱-۶- نتایج حاصل از بهینه‌سازی

در بهینه‌سازی این فرآیند، پنج متغیر مستقل به همراه چهار متغیر محدود کننده (مقادیر مربوط به Dew Point Margin در ورودی و خروجی راکتورهای کاتالیستی اول و دوم) در نظر گرفته شده است. در جدول ۳-۴ نتایج حاصل از بهینه‌سازی متغیرهای مستقل قابل مشاهده است.

جدول ۳-۴- نتایج حاصل از بهینه‌سازی فرآیند

متغیر مستقل	بازه‌ی تغییرات	مقدار اولیه	مقدار بهینه
دمای خوراک ورودی به کوره (°C)	۶۰ تا ۱۵۰	۷۹/۴	۵۵/۵۷
میزان هوای ورودی به کوره (kmol/h)	۷۰۰ تا ۳۶۰	۶۰۶/۹	۵۵۲/۲۶

متغیر مستقل	بازه‌ی تغییرات	مقدار اولیه	مقدار بهینه
میزان سوخت ورودی به کوره (kmol/h)	۰/۰۰۱ تا ۲۰	۷/۶	۰/۰۱
دمای ورودی به راکتور کاتالیستی اول (°C)	۲۶۰ تا ۲۱۰	۲۵۰	۲۳۳/۲
دمای ورودی به راکتور کاتالیستی دوم (°C)	۲۱۰ تا ۱۱۰	۲۰۵	۱۵۱/۳

برای انتخاب بازه‌ی دمای خوراک ورودی به کوره با توجه به این که خوراک کوره از سه بخش گاز اسیدی، هوا و سوخت همراه تشکیل شده است؛ بنابراین برای محاسبه‌ی دمای خوراک ورودی به کوره از میانگین وزنی دمای این سه خوراک استفاده شده است. میزان هوای ورودی به کوره در بازه‌ی بین ۰ تا حدود ۱۰۰ درصد هوای اضافی در نظر گرفته شده و میزان سوخت ورودی به کوره نیز از ۰/۰۰۰۱ تا حدود ۲/۵ برابر مقدار اولیه تغییر داده شده است.

نتایج حاصل از بهینه‌سازی با توجه به آنچه در آنالیز حساسیت پارامترها گفته شد، نتایجی قابل پیش‌بینی بود. در طی بهینه‌سازی فرآیند، دمای خوراک ورودی به کوره با توجه به اثری که بر ترکیب گازها داشت، کاهش یافت و به مقدار ۵۵/۵۷ °C رسید. مقدار هوای ورودی به کوره که اثر آن به طور کامل در بحث آنالیز حساسیت بررسی شد با کاهش حدود ۵۵ kmol/h به مقدار ۵۵۲/۲۶ kmol/h رسید. سوخت ورودی به کوره با توجه به اثرات نامطلوبی که در فرآیندهای بعدی می‌گذاشت به مقدار زیادی حذف شد و به ۰/۰۱ kmol/h کاهش یافت که عملاً مقدار ناچیزی است. دمای راکتورهای کاتالیستی نیز با توجه به گرماده بودن واکنش‌ها تا حد ممکن پایین آورده شد.

جدول ۳-۵. نتایج حاصل از متغیرهای محدود کننده در بهینه‌سازی

مقدار بهینه	مقدار کمینه مجاز (°C)	متغیر محدود کننده
۲۰	۲۰	Inlet Dew Point Margin 108-R-101
۵۰/۳۶	۲۰	Inlet Dew Point Margin 108-R-102
۴۷/۲۸	۱۲	Outlet Dew Point Margin 108-R-101
۱۲	۱۲	Outlet Dew Point Margin 108-R-102

انتخاب مقدار مجاز برای متغیرهای محدود کننده، مسئله‌ای کلیدی در بهینه‌سازی فرآیند است. با توجه به امکان تشکیل گوگرد مایع در راکتورهای کاتالیستی، کمترین مقدار مجاز برای Dew Point Margin در ورودی و خروجی از راکتورها به ترتیب برابر با ۲۰ و ۱۲ °C انتخاب شده است. البته این نکته قابل ذکر است که این مقادیر با استفاده از قواعد کلی و با توجه به اطلاعات تجربی پیشین انتخاب شده و انتخاب دمای دقیق نیازمند اطلاعات زیادی از هر یک از تجهیزات است. نتایج حاصل به خوبی این موضوع را نشان می‌دهند که هر چه دمای راکتورهای کاتالیستی کمتر باشد عملکرد بهتری خواهند داشت. این مسئله در انتخاب کمترین دمای ممکن برای راکتورها به عنوان دمای بهینه قابل رویت است. جدول ۳-۶ عملکرد فرآیند را برای حالات قبل و بعد از بهینه‌سازی نشان می‌دهد.

جدول ۳-۶. مقایسه‌ی عملکرد کوره (۱۰۱-H-۱۰۸) قبل و بعد از بهینه‌سازی.

Parameter	Past Optimization	Pre Optimization
Sulfur Conversion (kgmol/h)	۱۴۱/۴	۱۳۸/۱
Sulfur Conversion Efficiency (%)	۶۱/۲	۵۹/۷۸
H ₂ S reacted (%)	۷۵/۰۱	۷۸/۶۳
Outlet Temperature (°C)	۹۸۴/۷	۱۰۴۰

همان طور که در جدول ۳-۶ قابل مشاهده است، با وجود کاهش درصد تبدیل H₂S در کوره، مقدار درصد تبدیل برای کل مقدار گوگرد موجود در گاز اسیدی افزایش یافته است. به عبارت دیگر می‌توان گفت که در مقایسه با قبل از بهینه‌سازی، مقدار CS₂ و COS کمتری در کوره تولید می‌شود و کسر بیشتری از H₂S مصرفی در کوره صرف تولید گوگرد عنصری می‌شود. این امر آثار بسیار مطلوبی بر روی عملکرد راکتورهای کاتالیستی خواهد گذاشت.

جدول ۳-۷- مقایسه عملکرد راکتور کاتالیستی اول قبل و بعد از بهینه‌سازی

Parameter	Past Optimization	Pre Optimization
Sulfur Conversion (%)	۶۷/۷۲	۶۲/۴۳
Sulfur Conversion efficiency (%)	۷۵/۱۲	۶۵/۹۸
Inlet Sulfur Dew Point Margin (°C)	۲۰	۳۴/۸۹
Outlet Sulfur Dew Point Margin (°C)	۴۷/۲۸	۶۴/۸۴
COS hydrolysis (%)	۹۵/۹۹	۸۶/۳۴
CS ₂ hydrolysis (%)	۵۹/۶۹	۶۳/۱۱
H ₂ S reacted (%)	۷۳/۹۵	۶۲/۰۱
COS + CS ₂ + H ₂ S at outlet (ppmmol)	+ ۰۰۴e۱/۷۲۱	+ ۰۰۴e۲/۲۶۸

با توجه به جدول ۳-۷ پس از بهینه‌سازی، مقدار H₂S و COS واکنش داده شده بسیار بالاتر رفته است و در نتیجه، مقدار مجموع گازهای COS، CS₂ و H₂S در خروجی از راکتور کاتالیستی اول به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

جدول ۳-۸- مقایسه عملکرد راکتور کاتالیستی دوم قبل و بعد از بهینه‌سازی

Parameter	Past Optimization	Pre Optimization
Sulfur Conversion (%)	۱۶/۵۸	۲۰/۶۸
Sulfur Conversion efficiency (%)	۷۳/۹۷	۶۴/۲۶
Inlet Sulfur Dew Point Margin (°C)	۵۰/۳۶	۳۰/۴۴
Outlet Sulfur Dew Point Margin (°C)	۱۲	۱۱/۹۴
COS hydrolysis (%)	۳۴/۷۸	۳۰/۰۴
CS ₂ hydrolysis (%)	۶/۱۷	۷/۳۵
H ₂ S reacted (%)	۷۳/۱۷	۷۰/۴۴
COS + CS ₂ + H ₂ S at outlet (ppmmol)	۴۷۴۳	۸۴۵۱

در راکتور کاتالیستی دوم نیز نتایج بهینه‌سازی مشابه با راکتور کاتالیستی اول است. با توجه به جدول ۳-۸، مقدار مجموع گازهای COS، CS₂ و H₂S در خروجی از راکتور کاتالیستی دوم پس از بهینه‌سازی تقریباً به نصف کاهش پیدا کرده است که این امر برای مراحل بعدی بسیار ارزشمند خواهد بود.

جدول ۳-۹- مقایسه‌ی جریان خروجی (جریان ۱۱۰) از واحد قبل و بعد از بهینه‌سازی

Parameter	Past Optimization	Pre Optimization
Temperature (°C)	۱۳۰	۱۳۰
Pressure (bar)	۰/۳۳	۰/۳۳
Molar flow (kgmol/h)	۸۶۳/۶	۹۳۰
Mass flow (kg/mol)	+ ۰۰۴e۲/۳۶۷	+ ۰۰۴e۲/۵۵۲
Mole fraction		
CO ₂	۰/۱۸۰۱	۰/۱۷۰۷
N ₂	۰/۴۶۷۷	۰/۴۷۷۰
H ₂ S	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۶۲
COS	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴
CS ₂	۰	۰/۰۰۲۰
SO ₂	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۱۸
CO	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۶۴
H ₂	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۱۹
H ₂ O	۰/۳۲۹۵	۰/۳۲۳۵

در جریان خروجی نیز مقادیر H_2S و COS و CS_2 کاهش یافته‌اند. در نتیجه این بهینه‌سازی، مقدار کل بازیابی گوگرد حدود ۹۹/۱ درصد (معادل ۴/۲۶ kmol/h گوگرد) بهبود یافت و همراه با استفاده‌ی کمتر از مقدار هوا و سوخت در کوره به مقدار ۹۷/۳۵ درصد رسید.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، گاز اسیدی حاوی ۵۵ درصد H_2S (بر مبنای مرطوب) که از بالای برج دفع واحد تصفیه‌ی گاز طبیعی به روش جذب به کمک محلول آلکانول آمین (واحد جذب شیمیایی) خارج شده است، وارد واحد بازیابی گوگرد فاز ۱۷ و ۱۸ پارس جنوبی می‌شود. لازم است به کمک فرآیند کلاوس، گوگرد موجود در این جریان گازی به فاز جامد رفته تا امکان کنترل آلودگی ناشی از آن در جو فراهم شود و هم بتوان از گوگرد تولید شده در سایر صنایع استفاده نمود. پس از شرح کامل فرآیند کلاوس، شبیه‌سازی این فرآیند با استفاده از نرم‌افزار Aspen HYSYS انجام شد. سپس به منظور بررسی اثر پارامترهای مهم در فرآیند، آنالیز حساسیت انجام و نتایج آن به تفصیل مورد بحث واقع شد. پس از تعیین میزان اثر پارامترهای مهم بر پاسخ‌های کلیدی در هر تجهیز، این پارامترها با هدف افزایش کارایی فرآیند، با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی شدند. بهینه‌سازی فرآیند صرفاً با تغییر در شرایط عملیاتی انجام شد و در آن هیچ گونه تغییری در ابعاد تجهیزات یا مقادیر کاتالیست مورد استفاده در نظر گرفته نشد؛ زیرا هدف از انجام این بهینه‌سازی، افزایش بازدهی بازیابی گوگرد در واحد مورد بررسی بوده است.

به طور کلی میزان مطابقت نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج تجربی واحد در خروجی از کوره‌ی کلاوس و خروجی از راکتورهای کاتالیستی در حد قابل قبولی است و میزان خطای نسبی به جز در موارد COS و CS_2 در حد معقولی مشاهده شد. دو جزء مذکور به دلیل کافی نبودن دقت در مدل سینتیکی تولید آن‌ها در کوره با خطای بیشتری همراه بودند، اما این خطا در مورد واکنش هیدرولیز آن‌ها در راکتورهای کاتالیستی به مراتب کمتر بود. خطای نسبی دبی مولی برای خروجی کوره حدود ۰/۱ درصد و در خروجی راکتورهای کاتالیستی حدود ۰/۱۳ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های موجود مطابقت دارد.

بهینه‌سازی این واحد با هدف بیشتر نمودن میزان بازیابی گوگرد در طی فرآیند بدون نیاز به تغییر در ساختار کلی تجهیزات و تنها با بهینه کردن شرایط عملیاتی انجام شد. برای این منظور، پنج متغیر دمای خوراک ورودی به کوره، میزان هوای ورودی به کوره، میزان سوخت ورودی به کوره، دمای ورودی به راکتور کاتالیستی اول و دوم به عنوان متغیرهای مستقل و Dew Point Margin در جریان‌های ورودی و خروجی از راکتورهای کاتالیستی اول و دوم به عنوان متغیرهای محدود کننده در نظر گرفته شدند. نتایج حاصل از بهینه‌سازی بیانگر نیاز به کاهش حداکثری سوخت همراه، کاهش میزان هوای ورودی به کوره و کاهش دمای راکتورهای کاتالیستی است. انجام این تغییرات در شرایط عملیاتی ضمن افزایش میزان تولید گوگرد از H_2S نسبت به COS و CS_2 باعث افزایش حدود ۲ درصدی (برابر با ۲۶/۴ kmol/h) میزان بازیابی گوگرد کل واحد می‌شود، در نتیجه بازدهی کل واحد به ۹۷/۳۵ درصد می‌رسد.

منابع

- Bakhtiary H.R., Zamaniyan A., Khakdaman H.R. & Ebrahimi H., "Rapidly Evaluation of Reformer Furnaces", Accepted in Research on Science and Engineering of Petroleum.
- Dryer F. L. and Glassman I., "High-temperature oxidation of CO and CH₄", Symposium (International) on Combustion, Vol. 14, No. 1, pp. 987-1003, 1973.
- Jones D., Bhattacharyya D., Turton R., and Zitney S.E., "Rigorous kinetic modeling and optimization study of a modified claus unit for an integrated gasification combined cycle (IGCC) power plant with CO₂ capture," Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 51, No. 5, pp. 2362-2375, 2012.
- Karan K., Mehrotra A. K., and Behie L. A., "COS-forming reaction between CO and sulfur: A high-temperature intrinsic kinetics study," Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 37, No. 12, pp. 4609-4616, 1998.
- Maddox, Robert N., Gas conditioning and processing, Campbell Petroleum Series, Vol. , p 312-367.
- Manenti F., Papasidero D., Cuoci A., Frassoldati A., Faravelli T., Pierucci S., Ranzi E., and Buzzi-Ferraris G., Reactor network analysis of Claus furnace with detailed kinetics," Computer Aided Chemical Engineering, Vol. 30, No. 1, pp. 1007-1012, 2012.
- Manenti F., Papasidero D., Bozzano G., Pierucci S., Ranzi E., and Buzzi-Ferraris G., "Total plant integrated optimization of sulfur recovery and steam generation for Claus

processes using detailed kinetic schemes,” Computer Aided Chemical Engineering, Vol. 32, No. 1, pp. 811-816, 2013

- Monnery W. D., Svrcek W. Y., and Behie L. A., “Modelling the modified claus process reaction furnace and the implications on plant design and recovery,” The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 71, No. 5, pp. 711-724, 1993.
- Rameshni, M., Cost Effective Options to Expand SRU Capacity Using Oxygen, Sulfur Recovery
- Sulfur Information Service , www.Sulfur.nigc.ir
- Symposium, Brimstone Engineering Services, Inc., Banlf, Alberta, Calgary
- Sames J. A., Paskall H. G., Brown D. M., Chen M. S .K., and Sulkowski D., “Field measurements of hydrogen production in an oxygen-enriched claus furnace,” Proceedings Sulfur 1990 International Conference, Cancun, Mexico; British Sulphur Corp. Ltd, pp. 89-105.
- Tesner P., Nemirovskii M., and Motyl D., “Kinetics of the thermal decomposition of hydrogen sulfide at 600-1200oC,” Kinetics and catalysis, Vol. 31, No. 5, pp. 1081-1083, 1990.
- Manenti F., Papasidero D., Frassoldati A., Bozzano G., Pierucci S., and Ranzi E., “Multi-scale modeling of Claus thermal furnace and waste heat boiler using detailed kinetic,” Computers & Chemical Engineering, Vol. 59, No. 1, pp. 219-225, 2013
- Sulfur Process Technology, The Linde Group, Linde Process Plants, Inc
- Wagner E.S. & Froment G.F., “Steam Reforming Analyzed”, Hydrocarbon Processing, pp. 69-77, 1992.

طراحی و تحلیل مکانیزم تنابرها

ابوالفضل زینتی، علیرضا اسفانیان، حسن ظهور

شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر مدیریت زنجیره تامین سبز در صنعت

بانک‌داری؛ مطالعه موردی: بانک سپه

مسعود پیردستان

تعیین تراوایی با استفاده از مفهوم واحدهای جریانی در یکی از میداين گازی جنوب

ایران

علی دهقان ابنوی، امیر کریمیان طرقي، جعفر قاجار، علی منتصري

بهینه‌سازی فرایند تولید گوگرد از گازهای اسیدی با روش کلاوس در پالایشگاه

گازی با استفاده از نرم افزار Aspen HYSYS

یلدا احمدي، محمد سمیع پورگیری، نصراله مجیدیان

پژوهش‌های نوین مهندسی

۰۲۱ ۳۳۲۰ ۲۴۸۷



۰۲۱ ۴۳۸۵۷۱ ۲۴

۰۲۶ ۳۲۷۲ ۴۷۸۷

۰۲۶ ۳۲۷۴ ۷۱۵۸

تهران: افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲

کرج: چهارراه هفت‌تیر، خیابان لاله، پلاک ۱۴، طبقه همکف