

فهرست مطالب

۱- مقدمه	۳
۲- سابقه پژوهش و دانش ایجادشده در خصوص تولید کلاف لوله مغزی سیار	۵
۳- بخش فنی	۹
۳-۱- معرفی دستگاه لوله مغزی سیار	۹
۳-۲- ترکیب شیمیایی آلیاژ کلاف لوله مغزی سیار	۱۰
۳-۲-۱- تعیین ترکیب شیمیایی آلیاژ	۱۱
۳-۲-۲- فولاد تمیز	۱۳
۳-۲-۳- شناسایی و ارزیابی واحدهای تولیدی	۱۵
۳-۲-۴- فاز آزمایشگاهی تهیه آلیاژ	۱۵
۳-۳- تأمین ورق	۱۷
۳-۴- تولید تسمه طویل	۱۷
۳-۵- خط تولید لوله	۱۸
۳-۶- مشخصات فنی کلاف لوله مغزی سیار	۲۰
۳-۷- معرفی استاندارد ساخت لوله مغزی	۲۲
۴- برنامه زمان بندی	۲۶
۵- توافقات با لوله ساز و ورق ساز	۲۷
۵-۱- شرکت نورد و لوله صفا (لوله ساز)	۲۷
۵-۲- شرکت فولاد مبارکه (ورق ساز)	۲۷
۶- ساختار مدیریت پروژه	۲۸

فهرست شکل‌ها

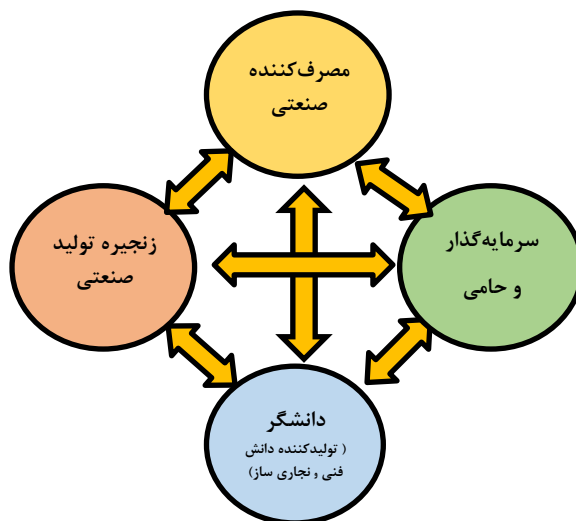
- شکل ۱- چرخه‌ی تولید صنعتی..... ۳
- شکل ۲- مراحل تولید کلاف لوله مغزی سیار..... ۶
- شکل ۳- تصویر گزارش‌های دانش ایجاد شده..... ۸
- شکل ۴- لوله‌ها و نمونه‌های تهیه شده برای آزمایش‌ها..... ۱۲
- شکل ۵- روش‌های تولید فولاد تمیز..... ۱۴
- شکل ۶- ریخته‌گری آلیاژ در کارگاه جهاد دانشگاهی..... ۱۶
- شکل ۷- جوشکاری اصطکاکی- اغتشاشی..... ۱۸
- شکل ۸- دیاگرام کنترل و مانیتورینگ خط تولید لوله مغزی..... ۱۹
- شکل ۹- برنامه زمان‌بندی کلی..... ۲۶
- شکل ۱۰- برنامه زمان‌بندی با یک مرحله شکست فعالیت‌ها..... ۲۶
- شکل ۱۱- ساختار مدیریت پروژه..... ۲۸

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱- ترکیب شیمیایی پیشنهادی استاندارد API (۱۹۹۶)..... ۱۰
- جدول ۲- بازه عناصر آلیاژ لوله مغزی سیار (برحسب درصد وزنی)..... ۱۰
- جدول ۳- مقایسه ترکیب شیمیایی لوله‌های خارجی..... ۱۲
- جدول ۴- نتایج تست میزان گاز موجود در آلیاژ لوله‌های خارجی..... ۱۳
- جدول ۵- نتایج بررسی توانمندی صنایع فولادسازی کشور..... ۱۵
- جدول ۶- مشخصات ابعادی لوله..... ۲۱
- جدول ۷- آنالیز شیمیایی لوله..... ۲۱
- جدول ۸- خواص مکانیکی لوله..... ۲۱
- جدول ۹- ترکیب شیمیایی ورق لوله مغزی..... ۲۲

۱- مقدمه

در یک نگاه کلی، چرخه‌ی تولید صنعتی دارای چهار نقش‌آفرین اصلی است که برای شکل‌گیری پایدار تولید صنعتی باید اجزاء مختلف این چرخه بتوانند با یکدیگر همکاری، هماهنگی و مشارکت مستمر داشته باشند.



شکل ۱- چرخه‌ی تولید صنعتی

این مشارکت باید بر اساس تأمین منصفانه و هم‌زمان منافع اقتصادی و یا مأموریتی همه اجزاء باشد و در یک قالب قانونمند حقوقی شفاف و روشن، حق و مسئولیت‌های متعلقه هر جزء را مشخص و تضمین نماید. گرچه نقش سرمایه‌گذاری می‌تواند توسط یکی از تولیدکنندگان زنجیره‌ی تولید صنعتی (که معمولاً حلقه‌ی آخر تولید است) ایفا شود ولی نقش حمایتی که به حوزه‌ی سیاست‌گذاری مربوط می‌شود بر عهده‌ی بخش‌های حاکمیتی کشور است. مدیریت و هدایت دستیابی به فناوری بومی بر عهده‌ی سازمان یا گروه دانشگر است که ماهیتی دانش‌بنیان دارد و می‌تواند بر اساس موضوع، هر یک از سطوح تولید، انتقال، انتشار و توسعه فناوری را با رویکرد تجاری‌سازی در برگیرد.

اجزاء مؤثر چرخه‌ی تولید برای دستیابی به فناوری بومی تولید کلاف لوله مغزی سیار عبارت‌اند از:

- مدیریت پشتیبانی ساخت و تأمین کالا نفت به‌عنوان حامی و پشتیبان شکل‌گیری چرخه‌ی تولید و وزارت نفت به‌عنوان مسئول سیاست‌گذاری حوزه‌ی نفت

تولید کلاف لوله مغزی سیار

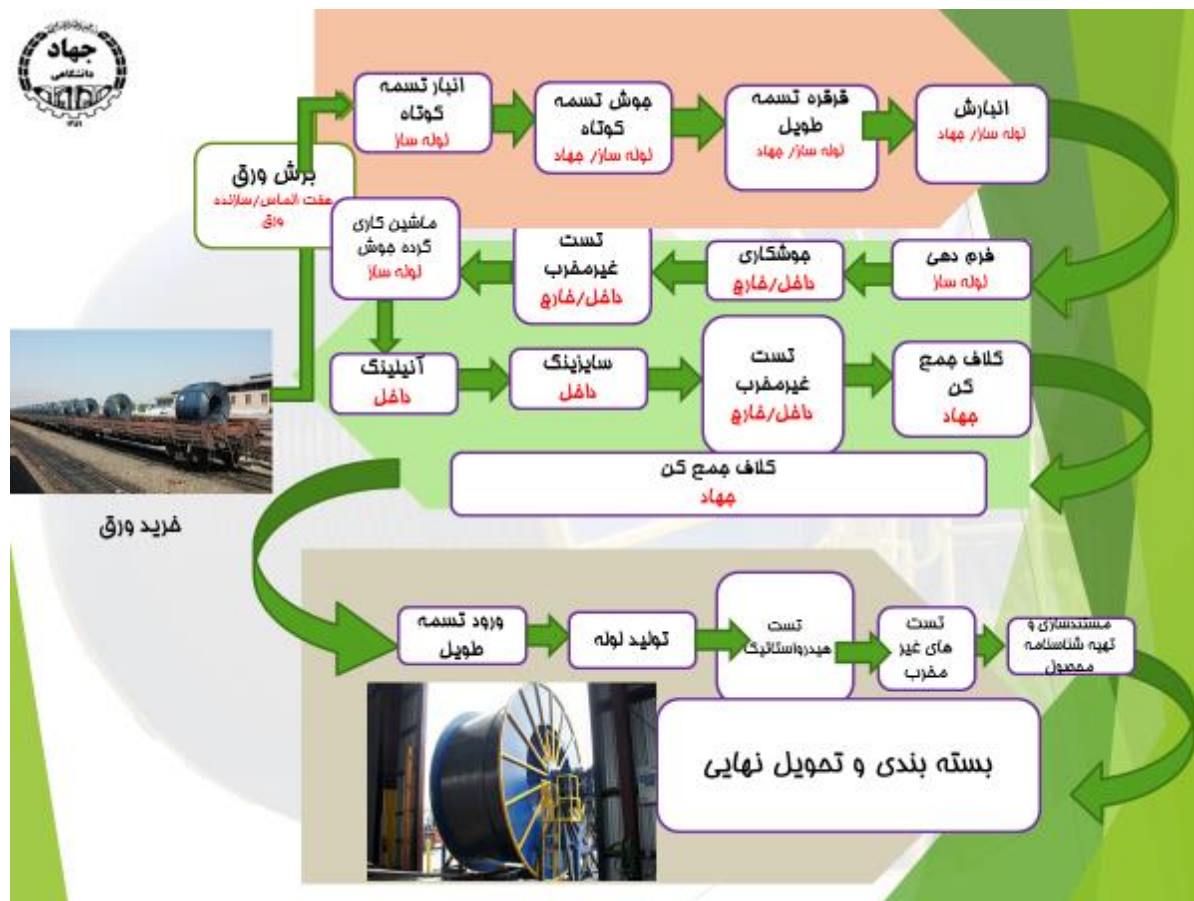
- شرکت‌های حفاری و شرکت‌های خدمات دهنده نفتی به عنوان مصرف‌کننده
 - جهاد دانشگاهی به عنوان دانشگر
 - صنایع منتخب تولید آلیاژ، ورق و لوله به عنوان زنجیره‌ی تولید صنعتی
- سرمایه‌گذاری و تأمین منابع مالی تولید بیش از آنکه تابع تأمین نقدینگی باشد منوط به مدیریت سرمایه و اتخاذ سیاست حمایتی باثبات از تولیدکننده و الزام به مصرف محصول تولیدی استاندارد شده داخلی توسط مصرف‌کننده است که از جمله سیاست‌های تحقق اقتصاد مقاومتی بشمار می‌رود. در هر صورت، یکی از کارکردهای اصلی عملکردی در تشکیل و فعالیت این چرخه باید کاهش معنادار ریسک تولید چه به لحاظ امنیت و سودآوری سرمایه‌گذاری و چه به لحاظ علمی و فنی و تجهیزاتی برای تولیدکنندگان در زنجیره‌ی تولید باشد.
- پس از حصول اطلاع از برنامه‌ی مدیریت پشتیبانی ساخت و تأمین کالا برای ساخت در داخل چند قلم کالای اساسی مورد استفاده و نیاز ضروری شرکت‌های تابعه‌ی وزارت نفت (تجهیزات، ماشین‌آلات و ابزارآلات) در قالب سیاست‌ها و مأموریت‌های مدیریت مذکور در جهت ایجاد ظرفیت‌های جدید صنعتی و نیل به خودکفایی در ساخت و تولید انبوه اقلام صنعتی، خاصه در شرایط حاصل از اعمال تحریم‌ها، این سازمان بر شتاب فعالیت‌های خود در زمینه‌ی پژوهش، ساخت نمونه و در نهایت تولید انبوه اقلام صنعتی از طریق فراهم کردن مجموعه‌ای از سازندگان تحت مدیریت و با محوریت سازمان جهاد دانشگاهی تهران افزود. اینک با توجه برنامه مدیریت مزبور برای ساخت داخل کلاف لوله مغزی سیار، این پیشنهاد فنی تنظیم شده تا پس از تأیید آن و ابلاغ مراتب، برنامه اجرایی برای ساخت کلاف نیز تهیه و ارائه گردد.

۲- سابقه پژوهش و دانش ایجادشده در خصوص تولید کلاف لوله مغزی سیار

سال ۱۳۹۴ برای اولین بار تجهیزات دستگاه لوله مغزی سیار با هدف استفاده در چاه‌های نفت که پیش‌ازین به دلیل تحریم غربی‌ها امکان دسترسی به آن وجود نداشت توسط محققان و پژوهشگران جهاد دانشگاهی بومی سازی و رونمایی شد و در حال حاضر در شرکت ملی حفاری ایران به بهره‌برداری رسیده است. طرح دستیابی به فناوری بومی ساخت کلاف لوله مغزی سیار با حمایت و سرمایه‌گذاری مشترک معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و جهاد دانشگاهی برای رفع یکی از نیازهای اساسی بخش حفاری در صنعت نفت کشور از اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۴ در سازمان جهاد دانشگاهی تهران آغاز گردید. مدت‌زمان اجرای طرح ۲۴ ماه در نظر گرفته شد و در پایان مدت مذکور دانش تحقیقاتی و دانش فنی اولیه حاصل گردید. موفقیت در اجرای پروژه تولید کلاف لوله مغزی سیار به معنی دستیابی به فناوری بومی و شکل‌گیری چرخه‌ی تولید صنعتی این محصول در داخل کشور می‌باشد.

فناوری حاصل از اجرای این طرح و بومی‌سازی ساخت کلاف لوله مغزی سیار علاوه بر اینکه نیاز کشور را به این محصول ارزشمند برآورده می‌کند به دلیل بکارگیری فرآیندهای مختلف (آلیاژسازی فولادهای فوق‌تمیز تا تولید لوله‌های طویل و کلاف بندی آن) تولیدات صنایع مادر کشور اعم از فولادسازی، نورد گرم، تولید ورق و همچنین صنایع لوله‌سازی را ارتقاء می‌بخشد و گامی دیگر برای تقویت خوداتکایی صنعتی کشور، افزایش ظرفیت‌های تولیدی و اشتغال‌زایی برداشته خواهد شد. این عاملی است که بار دیگر محققان و کارشناسان جهاد دانشگاهی را بر آن داشت تا برای حضور و موفقیت در این عرصه با تمامی توان به میدان عمل وارد شوند.

همان‌گونه که در شکل زیر مشاهده می‌شود، به‌طورکلی، تولید کلاف لوله‌مغزی سیار که از نوع لوله‌های با درز جوش طولی می‌باشد، شامل مراحل اجرایی زیر است:



شکل ۲- مراحل تولید کلاف لوله مغزی سیار

بر این اساس، جهت انجام این طرح و متناسب با فرآیندهای مختلف بکار گرفته شده در زنجیره‌ی تولید، کارگروه‌های تخصصی ذیل تشکیل شدند:

- ❖ کارگروه آلیاژسازی
- ❖ کارگروه نورد گرم
- ❖ کارگروه جوش اغتشاشی اصطکاکی
- ❖ کارگروه شکل دهی لوله

- ❖ کارگروه جوش ذوبی
- ❖ کارگروه خط تولید
- ❖ کارگروه مکانیک شکست
- ❖ کارگروه عملیات حرارتی

در این راستا و با برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته برای تحقق این طرح شناسایی محصول و بررسی روش‌های ساخت و تولید هر کارگروه بررسی و تحقیقات میدانی و یا آزمایشگاهی به عمل آمد. این فعالیت‌ها با برقراری جلسات مختلف با مدیران و کارشناسان فنی شرکت ملی حفاری ایران و دریافت نمونه لوله مغزی‌های وارداتی و مورد استفاده آن شرکت وارد بررسی‌های آزمایشگاهی شد و با تحلیل نتایج و مطالعات اولیه، مشخصات فنی محصول هر کارگروه (Specification) استخراج گردید. این موضوع بدین مفهوم می‌باشد که به‌عنوان مثال کارگروه آلیاژسازی چه فولادی با چه مشخصات فنی و ابعادی و ساختاری تولید نماید تا نهایتاً به ویژگی‌های کلاف لوله موردنظر در انتهای تولید دست‌یافت. به همین ترتیب مابقی کارگروه‌ها نیز به عبارتی صورت مسئله خویش را شناسایی و تعریف نمودند.

روش اجرایی فعالیت‌های فنی برای هر کارگروه به‌صورت زیر پیگیری و موردبررسی قرار گرفته است:

- ✓ برقراری جلسات فنی هفتگی با حضور تمامی کارگروه‌ها و ارائه گزارش‌های فنی دو الی سه کارگروه و استماع حاضرین و نقد و بررسی کارشناسی عناوین مطروحه
- ✓ برقراری جلسات دوگروهی و یا چند گروهی برای رفع ابهامات و تبادل و تضارب نظرات کارشناسی
- ✓ برقراری جلسات مستقل هر کارگروه علمی با مسئول علمی مربوطه
- ✓ برقراری مستمر و تبادل نظرات کارگروه‌ها در حوزه‌های فنی مرتبط و بررسی پیشرفت فعالیت‌ها
- ✓ انجام بازدید از مراکز خدمات‌دهی حفاری و نشست‌های کارشناسی جهت تبادل نظرات فنی و تجربی و دریافت مدارک فنی محصولات و نمونه‌های کلاف لوله
- ✓ انجام بازدید از کارخانه‌های فولادسازی، نورد و تولید ورق و لوله‌سازی‌ها جهت امکان‌سنجی تولید داخلی و نشست‌های کاری و فنی با کارشناسان و مدیران صنایع
- ✓ بررسی‌های آزمایشگاهی و مطابقت با استانداردهای محصول



شکل ۳- تصویر گزارش‌های دانش ایجاد شده

دانش ایجادشده که تصویر گزارش‌های آن در عکس فوق قابل مشاهده است، نتایج مرحله اول طرح است که در مدت زمان دو سال و مطابق با زمان‌بندی پیش‌بینی‌شده به اتمام رسیده است. این نتایج، مسیر اقدامات طرح در مرحله دوم و اجرای پروژه را به‌خوبی روشن می‌سازد و آگاهی‌های لازم را در مورد مسیر دستیابی به دانش فنی و فناوری تولید و چگونگی انجام آن در اختیار قرار می‌دهد.

خلاصه‌ای از این گزارش در **پیوست شماره یک** آمده‌است.

دانش ایجادشده نتیجه‌ی همکاری، همفکری صمیمانه و زحمات بی‌دریغ و تلاش مجدانه و متعهدانه تمامی پژوهشگران، اساتید و کارشناسان و دست‌اندرکاران اجرایی این پروژه می‌باشد.

۳- بخش فنی

۳-۱- معرفی دستگاه لوله مغزی سیار

دستگاه لوله مغزی سیار **Coiled Tubing Unit (CTU)** از اوایل سال ۱۹۶۰ در عملیات سرویس و تعمیرات چاه‌های نفت، مورد استفاده قرار گرفته است. بکارگیری نمونه‌های جدید **CTU** با تکنولوژی پیشرفته در عملیات حفاری اخیراً کاربرد زیادی یافته، و استفاده از آن به صورت چشمگیری در حال افزایش است. استفاده از **CTU** در عملیات بر روی چاه‌های نفت، بهره‌بردار را قادر می‌سازد عملیات بازسازی و تعمیرات را بر روی یک چاه فعال و در حال بهره‌برداری انجام دهد. دستگاه لوله مغزی سیار باید یک لوله پیوسته طویل را که کلاف لوله مغزی سیار **Coiled Tubing String (CTS)** نامیده می‌شود بدون آن که آسیبی وارد نماید با اطمینان کافی به داخل چاه وارد و از آن خارج نماید. کارکردهای کلی این لوله پیوسته عبارت‌اند از:

- تزریق سیمان به چاه‌های تعمیراتی برای پیشگیری از نشتی گاز یا آب
- انتقال انواع محلول‌ها به اعماق چاه
- انتقال ابزار به اعماق چاه برای انواع عملیات احیاء و تعمیرات
- حفاری عمودی و افقی چاه با هزینه کمتر و سرعت بیشتر

کاربرد روزافزون کلاف لوله مغزی سیار در سرویس چاه‌های نفت و عملیات حفاری موجب گردیده طراحی و تولید کلاف لوله و ادوات و دستگاه‌های مربوطه آن از اهمیت خاصی برخوردار شوند. بنابراین سرعت تغییرات آن‌ها افزایش یافته و به صورت دائم دستخوش بهبود و ایجاد امکانات و کاربردهای جدید می‌گردند. لوله‌های مغزی یکی از گلوگاه‌های بخش حفاری نفت برای توسعه‌ی بهره‌برداری و استخراج است که به دلیل انحصار دانش و فن‌آوری ساخت این ادوات در دست کشورهای معدود، با قیمت بالایی تأمین می‌شود.

با ایجاد و رشد فناوری‌های نوین و نیاز رو به رشد صنعت نفت به ماشین‌آلات و تجهیزات به‌ویژه درزمینه‌ی خدمات حفاری و پیراحفاری، بومی‌سازی تولید کلاف لوله مغزی سیار همانند ساخت داخل تجهیزات مربوطه امری ضروری می‌باشد.

۳-۲- ترکیب شیمیایی آلیاژ کلاف لوله مغزی سیار

آلیاژ مورد استفاده در رشته‌ی لوله مغزی از خانواده فولادهای کم آلیاژ پر استحکام (HSLA)^۱ به شمار می‌رود که مطابق مرجع تدوین شده (API) سال ۱۹۹۶ بازه ترکیب شیمیایی آن به دو گروه تقسیم می‌شود؛ این ترکیب‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی پیشنهادی استاندارد API (۱۹۹۶)

Grade	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	Cb-V
Modified ASTM A606	0.08- 0.15	0.6-0.9	0.03 max	0.005 max	0.3-0.5	0.45-0.7	0.25 max	0.4 max	0.21 max	-
Modified ASTM A607	0.8-0.17	0.6-0.9	0.025 max	0.005 max	0.3-0.45	0.4-0.6	0.1 max	0.4 max	0.08- 0.15	0.02- 0.04

انستیتوی نفت آمریکا در سال ۲۰۱۰ اقدام به انتشار استاندارد در این زمینه نمود که تنها بازه پنج عنصر در آن مشخص شده است. در جدول ۲ بازه‌ی درصد وزنی عناصر مطابق استاندارد مذکور ارائه شده است.

جدول ۲- بازه عناصر آلیاژ لوله مغزی سیار (برحسب درصد وزنی)

Grade	Carbon Max.	Manganese Max.	Phosphorus Max.	Sulfur Max.	Silicon Max.
CT70	0.16	1.20	0.025	0.005	0.50
CT80	0.16	1.20	0.020	0.005	0.50
CT90	0.16	1.20	0.020	0.005	0.50
CT100	0.16	1.65	0.025	0.005	0.50
CT110	0.16	1.65	0.025	0.005	0.50

بررسی جداول مذکور نشان‌دهنده آن است که ترکیب شیمیایی ارائه شده با استاندارد ASTM

^۱ - High Strengh Low Alloy

A607 همان ترکیب شیمیایی فولادهای میکروآلیاژی Nb-Ti است که البته بازه عنصر Ti در آن قید نشده است، اما مطالعه کاتالوگ شرکت‌های عمده‌ی تولیدکننده و مراجع سال‌های اخیر نشان‌دهنده وجود این عنصر به عنوان یکی از اجزای ضروری تشکیل دهنده ساختار فولاد مذکور است.

در خصوص تعیین ترکیب شیمیایی مراحل زیر انجام شده است:

- تعیین ترکیب شیمیایی آلیاژ
- مطالعه منابع و واحدهای تولیدی
- فاز آزمایشگاهی تهیه آلیاژ

۳-۲-۱- تعیین ترکیب شیمیایی آلیاژ

به منظور تعیین ترکیب و مطالعه خواص مربوط به آلیاژ، ابتدا مقالات، پتنت‌ها و سایر منابع اینترنتی و استانداردهای API مربوطه مطالعه و بررسی شدند. نتایج مطالعات نشان‌دهنده آن بود که آلیاژ لوله مغزی از گریدهای فولاد کم آلیاژ پر استحکام (HSLA) می‌باشد. مشخص شدن این امر هم‌زمان با مطالعه‌ی داده‌های موجود در سایت شرکت‌های معتبر تولیدکننده‌ی لوله مغزی و نیز منابع علمی جدید در زمینه‌ی تولید این محصول خاص و تولید فولادهای کم آلیاژ منجر به تهیه بازه‌ی مناسبی برای ترکیب شیمیایی گردید.

برای تأیید آنالیز هدف و خواص مورد انتظار لوله‌ی نهایی، پنج نمونه لوله‌ی خارجی پس از مذاکره با شرکت ملی حفاری از سوی آن شرکت در اختیار جهاد دانشگاهی قرارداد شد. این نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفتند که نتایج تست‌های تعیین ترکیب شیمیایی و درصد گازهای آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

تولید کلاف لوله مغزی سیار



شکل ۴- لوله‌ها و نمونه‌های تهیه شده برای آزمایش‌ها

جدول ۳- مقایسه ترکیب شیمیایی لوله‌های خارجی

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	Nb	Ti	Al
Q-Nb	0.0587	0.909	0.0103	0.0007	0.133	0.484	0.13	0.304	0.149	0.017	0.016	0.0466
Q	0.138	0.834	0.0156	0.0008	0.422	0.613	0.0898	0.255	0.225	0.0017	0.0144	0.0528
G-Nb	0.0616	0.899	0.0161	0.0013	0.132	0.482	0.137	0.186	0.114	0.0178	0.0117	0.0337
G1	0.146	0.863	0.0197	0.0018	0.429	0.596	0.0919	0.233	0.211	0.0015	0.0157	0.0294
G2	0.141	0.846	0.0199	0.0009	0.432	0.619	0.0921	0.239	0.226	0.0017	0.0155	0.054

حروف Q و G به ترتیب نشان‌دهنده لوله‌های خریداری شده از شرکت‌های Quality و Global هستند. علامت اختصاری Nb نیز نشانگر وجود عنصر نایابیوم در نمونه‌ها می‌باشد.

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود، در نمونه‌های هر دو شرکت، هم فولاد کم‌کربن حاوی عنصر نایابیوم و هم فولاد بدون این عنصر وجود دارد. تفاوت عمده این دو ترکیب فولاد در خواص مکانیکی نهایی و نیز شرایط کارگرم نمایان می‌شود که حائز اهمیت است. در خصوص تولید هر یک از دو گرید فولاد، پیچیدگی‌ها و مشکلات مشابهی وجود دارند. ازجمله این موارد مسئله‌ی کاهش تا حد ممکن ناخالصی‌های گوگرد و فسفر در شمش تهیه شده است؛ زیرا هر چه میزان این ناخالصی‌ها کمتر شود فولاد از کیفیت بالاتری برخوردار خواهد بود.

تولید کلاف لوله مغزی سیار

به موازات بررسی ترکیب عناصر، میزان گازهای موجود در فولاد نیز مورد بررسی قرار گرفت. در همین راستا چهار نمونه از لوله‌های دریافتی جهت تعیین میزان گازهای اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن تهیه و به آزمایشگاه ارسال شدند. نتایج مقادیر گاز موجود در نمونه‌ی لوله‌ها در جدول ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۴- نتایج تست میزان گاز موجود در آلیاژ لوله‌های خارجی

	O	N	H
Q-Nb	16.2±3	28.6±2	0.2±0.1
Q	42.3±3	28.7±1	0.5±0.1
G-Nb	37.0±3	28.6±1	1.0±0.1
G	15.0±1	29.1±0.5	0.6±0.1

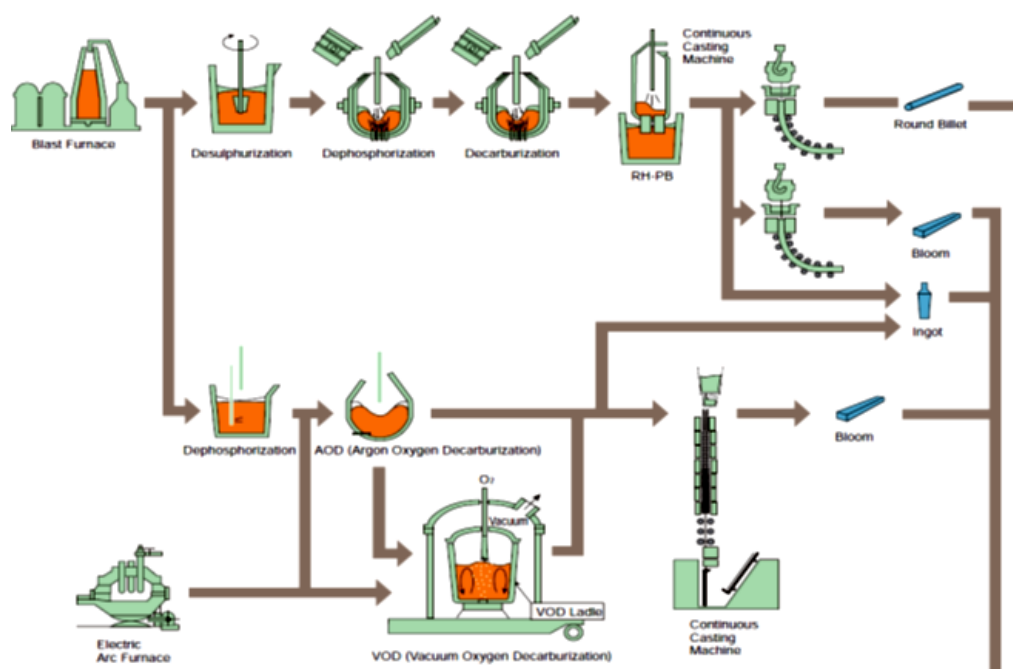
نتایج مذکور نشان‌دهنده مقادیر بسیار کم گازها در فولادهای نمونه و حساسیت بالا در تولید فولاد مورد نظر به عنوان یک فولاد فوق‌العاده تمیز می‌باشد که نتایج مطالعات نیز مؤید و بیانگر همین مطلب بود. اساساً، خواص مکانیکی بهبودیافته، مقاومت به خستگی مطلوب و مقاومت نسبی در برابر خوردگی درون چاه نیازمند طراحی و تولید فولاد با دقت و ملاحظات خاص می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از تست‌ها، اولین چالش پیش روی پروژه، تهیه فولاد تمیز می‌باشد. در ادامه شرح مختصری در مورد فولاد تمیز ارائه شده است.

۳-۲-۲- فولاد تمیز

با وجود آن که تعاریف متعددی در خصوص فولاد تمیز ارائه شده اما این عنوان باز هم مبهم است. فولادهای تمیز به صورت کلی آن دسته از فولادهایی هستند که مقادیر کمی از عناصر گوگرد، فسفر، نیتروژن، اکسیژن و هیدروژن؛ حد کنترل‌شده‌ای از عناصر باقیمانده مانند مس، سرب، روی، نیکل، کروم، بیسموت، قلع، آنتیموان و منیزیم و همچنین سطح پایینی از آخال‌های غیرفلزی یا اکسیدی داشته باشند. این الزامات بسته به گرید فولاد مورد نظر و کاربرد آن متفاوت هستند. فولادهای تمیز استفاده شده برای یک کاربرد ممکن

تولید کلاف لوله مغزی سیار

است برای کاربردی دیگر مناسب نباشند. برخی اوقات فولادهایی با یک فرکانس تکرار پایین از عیوب، که می‌تواند نشان‌دهنده حضور آخال‌ها باشد، فولادهای تمیز نامیده می‌شوند. در شکل ۵ روش‌های تولید این نوع از فولاد ارائه شده است.



شکل ۵- روش‌های تولید فولاد تمیز

بر این اساس فولاد لوله مغزی سیار، فولادی تمیز با سطوح پایین گوگرد، فسفر، اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن و نیز فولادی با سطح محدود و تعریف شده از دیگر عناصر مذکور است که رعایت الزامات آن در تولید ضروری است.

۳-۲-۳- شناسایی و ارزیابی واحدهای تولیدی

هم‌زمان با مشخص شدن ترکیب آلیاژهای مورد استفاده در محصولات شرکت‌های معتبر خارجی سازنده‌ی لوله مغزی سیار، از صنایع معتبر فولادسازی کشور نیز بازدید به عمل آمد که نتایج آن در جدول ۵ آمده است:

جدول ۵- نتایج بررسی توانمندی صنایع فولادسازی کشور

نام مرکز	تجهیزات	نتیجه اعلام
مجتمع ماشین سازی اراک	EEAF, VD	به علت عدم توانایی درخواست رد شد.
مجتمع فولاد خوزستان	EEAF, LF	توانمندی لازم وجود ندارد.
صنایع هفتم تیر (فولاد آلیاژی اصفهان)	EEAF, LF, VD, ESR, VAR	به علت عدم توانایی درخواست رد شد.
مجتمع فولاد هرمزگان	EEAF, LF	توانمندی لازم وجود ندارد.
مجتمع فولاد آلیاژی ایران	EEAF, LF, VD/VOD	به لحاظ تأمین سائز تختال، توانمندی لازم وجود ندارد.
مجتمع صنعتی اسفراین	EEAF, LF, VD/VOD, ESR	توانمندی لازم وجود دارد (مذاکرات کارشناسی)
مجتمع فولاد مبارکه	EEAF, LF, RH	توانمندی لازم وجود دارد (مذاکرات کارشناسی)

مذاکرات انجام شده با صنایع فولادسازی در نهایت منجر به انتخاب اولیه فولادسازی اسفراین و فولادسازی مبارکه شد. اکنون با توجه به جلسات فنی و کارشناسی برگزار شده موضوع تولید فولاد با ترکیب شیمیایی پیشنهادی و سطح ناخالصی‌های گوگرد و فسفر بسیار پایین حل شده و تنها چالش پیش رو کنترل میزان گازها است.

۳-۲-۴- فاز آزمایشگاهی تهیه آلیاژ

هم‌زمان با مطالعات فاز اول، اقداماتی در زمینه‌ی تولید آلیاژ در مقیاس آزمایشگاهی انجام یافت. این بخش با هدف تولید فولاد تمیز جهت تست‌های بررسی خواص کارگرم توسط کارگروه نورد ورق تعریف شد. به همین منظور اقداماتی برای تولید دو نوع فولاد با همان ترکیب آلیاژ مورد استفاده در لوله‌های خارجی به عمل آمد. نتایج حاصل از این بخش برای انتخاب ترکیب نهایی از بین دو ترکیب مشخص شده بسیار کارساز خواهد بود. فعالیت این بخش به دلیل نیاز به تجهیزات و آزمایش‌های مربوطه تا رسیدن به نتیجه

مطلوب تا نیمه اول فاز دوم ادامه خواهد داشت.



شکل ۶- ریخته‌گری آلیاژ در کارگاه جهاد دانشگاهی

تولید کلاف لوله مغزی سیار

۳-۳- تأمین ورق

برای تولید ۶۰ کلاف لوله مغزی سیار حدود ۱۲۰۰ تن ورق مورد نیاز می باشد که ۲۵ درصد از این مقدار را می توان از طریق خرید خارج از کشور (تولیدکننده ورق CT80) تأمین و ۷۵ درصد مابقی از طریق ساخت داخل با سفارش به فولادسازان داخلی (مجتمع صنعتی اسفراین یا مجتمع فولاد مبارکه) تحت نظارت و مدیریت سازمان جهاد دانشگاهی تهران و پس از ارائه دانش فنی مربوطه به این فولادسازان تولید کرد.

۳-۴- تولید تسمه طویل

انتخاب و طراحی مناسب برای هر اتصالی، مستلزم شناخت دقیق فلز پایه موردنظر، شرایط کاری آن و بررسی کامل انتظارات از خروجی های اتصال می باشد.

با توجه به کاربرد کلاف لوله مغزی در محیط مرطوب و خورنده و نیروهای خستگی - خمشی وارده، فرآیندی برای اتصال مناسب خواهد بود که بتواند در این شرایط، انتظارات را از لحاظ ریزساختار و استحکام برآورده کند. پیشینه پژوهش های انجام شده نشان می دهد که روش های اصطکاکی به خاطر ایجاد دمای پایین تر از نقطه ذوب فلز موردنظر، عیوب رایج روش های ذوبی را نداشته و استحکام خستگی بالا و تنش پسماند کمتری را ایجاد می کنند.

برای اتصال تسمه ها در این پروژه و تولید تسمه طویل از روش جوشکاری اصطکاکی-اغتشاشی استفاده خواهد شد.



شکل ۷- جوشکاری اصطکاکی- اغتشاشی

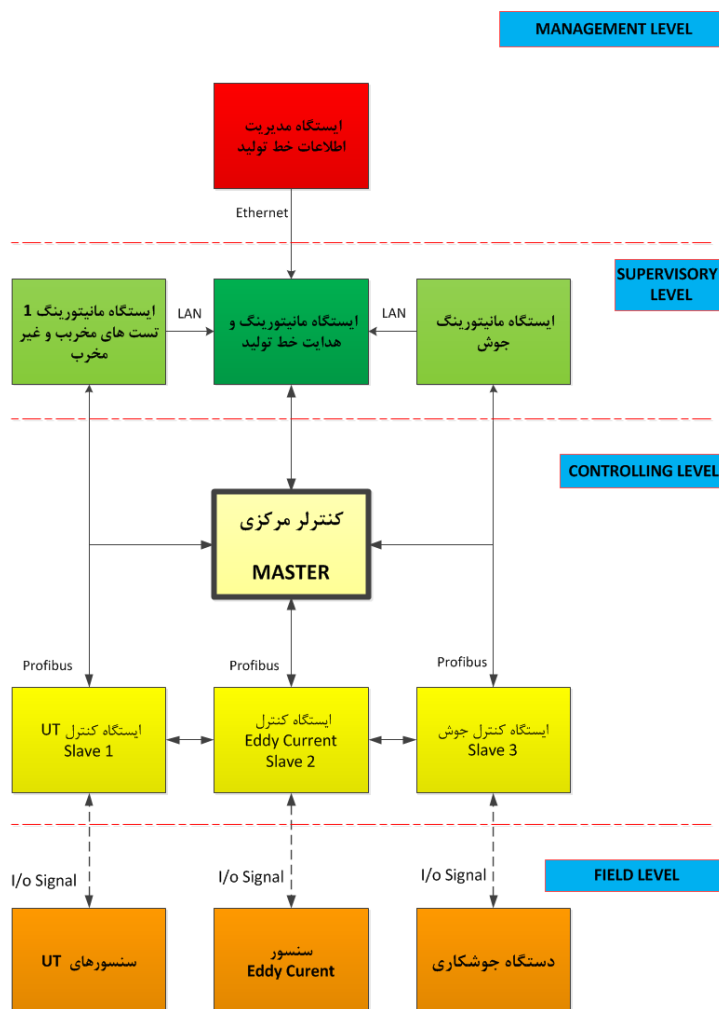
۳-۵- خط تولید لوله

تولید کلاف لوله مغزی در یک فرآیند ساخت پیوسته صورت می گیرد. در این فرآیند، تولید بدون توقف بوده و در صورت به وجود آمدن اختلال در فرآیند ساخت، امکان به وجود آمدن آسیب هایی بر روی نوار و یا دیگر تجهیزات استفاده شده در خط تولید وجود دارد.

مراحل خط تولید لوله را می توان به بخش های زیر تقسیم کرد:

- آماده سازی نوار لوله مغزی با کلاف بازکن تسمه (دیکویلینگ)
- شکل دهی و فرمینگ لوله با استفاده از غلتک های شکل دهنده
- عملیات جوش کاری
- عملیات آنیلینگ و خنک کاری
- تست های کنترل کیفی

دیاگرام کنترل و مانیتورینگ خط تولید کلاف لوله مغزی در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- دیاگرام کنترل و مانیتورینگ خط تولید لوله مغزی

فرآیند تولید لوله مغزی شامل ایستگاه‌های کنترلی متعددی در طول خط تولید می‌باشد که در هر یک از این ایستگاه‌ها، پارامترهای کنترلی متفاوتی بسته به فرآیند در حال انجام، کنترل و مانیتور می‌شوند.

۳-۶- مشخصات فنی کلاف لوله مغزی سیار

لوله **CT-80** که دارای **80000 psi** مقاومت کششی است، مناسب برای سرویس گاز ترش (**H2S Service**) بوده و لذا با شرایط چاه‌های نفت و گاز ایران مطابقت دارد. همچنان که کلاف لوله مغزی برای چاه‌های با فشار بالا به کار رود، نوع **CT-80** دوره‌ی عمر لوله را افزون‌تر کرده و میزان رشد تغییر شکل مقطع لوله (**Ovality**) را کاهش داده تا با شرایط و کاربردهای مختلف سازگار باشد. مقاومت بالای **CT-80** اجازه می‌دهد تا لوله تحت بارهای تنشی بالاتری در عملیات حفاری و مانده‌یابی قرار بگیرد.

کلاف لوله مغزی دارای یک درز جوش طولی بوده که با عملیات آنیلینگ کامل از ساختار متالورژیکی یکنواختی برخوردار می‌گردد.

لوله در فرآیند ساخت در کارخانه، برای اطمینان از عدم وجود عیوب و خالی بودن از تنش در بدنه، تحت آزمایش ادی‌کانت قرار می‌گیرد. دیگر آزمایش‌ها مانند سختی‌سنجی، تست مقاومت کششی، تست ازدیاد طول در اثر کشش، تست میزان پیچش لوله و آزمایش فشار آب (هیدروتست) بر روی لوله ساخته شده انجام می‌شوند تا از حیث انطباق با استاندارد مربوطه و نیاز شرکت ملی نفت ایران اطمینان حاصل شود.

ورق مورد استفاده برای ساخت لوله از نوع **CT-80** و طبق استاندارد **ASTM A-606** یا **ASTM A-607** بوده که مقاومت در برابر خوردگی اتمسفریک را تأمین می‌کند.

در نتیجه؛ لوله‌ای که بر اساس متریال اولیه (ورق)، فرآیند ساخت و انجام تست‌های مربوطه ساخته می‌شود، دارای استقامت در برابر خوردگی، خستگی و تنش که از مهم‌ترین اشکالات پیش‌آمده در جریان کارکرد لوله مغزی در دوران عمر کاری خود در شرایط چاه‌های ایران می‌باشند، خواهد بود.

مشخصات:

جدول ۶- مشخصات لوله

Type	Application	Shape	Outside Diameter D (in.)	Wall Thickness t (in.)	Inside Diameter d (in.)	Length L (ft)
CT-80	H ₂ S Service	Uniform	1.5	0.109	1.282	16700

Minimum Yield Strength (psi)	Minimum Tensile Strength (psi)	Minimum Elongation (%)	Maximum Hardness (Rockwell C)	Minimum Hydro Test (psi)
80000	88000	19	22	8900

آنالیز شیمیایی:

جدول ۷- آنالیز شیمیایی لوله

Grade	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	Cb-V
Modified ASTM A606	0.08-0.15	0.6-0.9	0.03 max	0.005 max	0.3-0.5	0.45-0.7	0.25 max	0.4 max	0.21 max	-
Modified ASTM A607	0.8-0.17	0.6-0.9	0.025 max	0.005 max	0.3-0.45	0.4-0.6	0.1 max	0.4 max	0.08-0.15	0.02-0.04

خواص مکانیکی:

جدول ۸- خواص مکانیکی لوله

Minimum Yield Strength	80000 psi
Minimum Ultimate Tensile Strength	88000 psi

توضیح ضروری: گرچه کلاف لوله مغزی با ضخامت‌های مختلف (**Tapered**) برای طول‌های بالا در صنعت نفت کاربرد داشته و مورد نیاز کنونی و آینده می‌باشد، این طرح پژوهشی و لذا پیشنهاد فنی آن، صرفاً برای ساخت لوله مغزی با ضخامت یکنواخت انجام و ارائه شده است. بدیهی است ایجاد دانش فنی مربوط به ساخت لوله‌های **Tapered** به طور همزمان، در دستور کار این سازمان قرار خواهد داشت.

۳-۷- معرفی استاندارد ساخت لوله مغزی

استاندارد ساخت لوله مغزی **API5ST** می‌باشد. این استاندارد، هم استاندارد مواد اولیه لوله (ورق) را تعریف کرده و هم کلیه موارد مربوط به شکل دهی، جوشکاری و انجام انواع آزمایشات غیرمخرب و تست نهایی لوله را تحت پوشش قرار می‌دهد.

مطابق این استاندارد، ترکیب شیمیایی لوله مغزی به شرح جدول زیر است:

جدول ۹- ترکیب شیمیایی ورق لوله مغزی

Grade	Carbon (Max)	Mangan- ese (Max)	Phosph- orus (Max)	Sulphur (Max)	Silicon (max)
CT70	0.16	1.20	0.025	0.005	0.50
CT80	0.16	1.20	0.020	0.005	0.50
CT90	0.16	1.20	0.020	0.005	0.50
CT100	0.16	1.65	0.025	0.005	0.50
CT110	0.16	1.65	0.025	0.005	0.50

ملاحظه می‌شود، مشخصات آنالیز شیمیایی لوله که در ضمن پژوهش‌ها و آزمایشات بر روی نمونه‌ها به دست آمده، برای نوع **CT80** مطابقت دارد.

بدیهی است در طول عملیات ساخت لوله، کنترل‌ها و انجام آزمایشات مختلف بر روی آن، توسط کادر فنی پروژه، نظارت کامل برای رعایت مؤلفه‌های استاندارد و مطابقت با الزامات و نیازمندی‌های آن، اعمال خواهد شد.

تولید کلاف لوله مغزی سیار

نسخه‌ی در دسترس که ملاک بر ساخت لوله مغزی سفارشی شرکت ملی نفت خواهد بود، آخرین نسخه این استاندارد به تاریخ سال ۲۰۱۵ میلادی به شرح زیر است:

API SPECIFICATION 5ST
FIRST EDITION, APRIL 2010
REAFFIRMED, MAY 2015

برخی مشخصات و الزامات استاندارد فوق به شرح زیرند:

❖ دامنه این استاندارد، لوله‌های مغزی با مشخصات CT70,CT80,CT90,CT100,CT110 را پوشش می‌دهد.

❖ اتصال جوشی انواع جوش‌هایی که مطابق این استاندارد قابل قبول‌اند عبارتند از:

Electric Weld
Laser Weld
Skelp End Weld
Tube to tube Weld

❖ پروسه جوشکاری

HFI Welding
Laser Welding
Friction Stir Welding
Gas Metal Arc Welding
Plasma Arc Welding
Gas Tungsten Arc Welding

گرمادهی ناحیه‌ی جوش طولی و ناحیه‌ی مجاور آن (HAZ)، می‌بایست بوسیله عملیات حرارت دهی نرمالیزه شده و سپس تنش‌زدایی گردند.

در جریان انجام عملیات جوشکاری بر روی درز لوله مغزی، می‌بایست عمل خنک‌کاری ناحیه جوش بوسیله هوا صورت پذیرد.

❖ نیازمندی‌های ماده اولیه (ورق)

مشخصات شیمیایی جوش طولی ایجاد شده، می‌بایست دارای مشخصات برابر با بدنه باشد.

❖ خواص مکانیکی

✓ خواص کششی (Tensile): خواص کششی لوله تولید شده بایستی مطابق جدول A2 در استاندارد باشد.

Table A.2—Tensile Requirements

Grade	Yield Strength (min.)		Yield Strength (max.)		Tensile Strength (min.)		Hardness Maximum
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	Body and Weld, HRC
CT80	80,000	(551)	90,000	(620)	88,000	(607)	22

✓ ازدیاد طول (Elongation): حداقل ازدیاد طول بایستی ۱۹ درصد باشد.

❖ مقاومت کششی

❖ تست سختی سنجی

❖ و انجام تست‌های دیگر مانند:

Flattening Test

Flaring Test

Fracture Toughness Test

❖ ابعاد و وزن در واحد طول

Table A.5—Coiled Tubing Dimensions, Masses per Unit Length and Test Pressures (U.S. Customary Units)

(1)		(2)	(3)		(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Designation		Outside Diameter <i>D</i>	Wall Thickness		Mass per Unit Length <i>w_{pe}</i>	<i>D/t</i> Ratio	Calculated Inside Diameter <i>d</i>	Minimum Test Pressure					
			Specified <i>t</i>	Minimum <i>t_{min}</i>				CT70	CT80	CT90	CT100	CT110	
Size	Wall	in.	in.	in.	lb/ft		in.	psig	psig	psig	psig	psig	
1.500	0.109	1.500	0.109	0.104	1.62	13.761	1.282	780	8900	10000	11100	12200	

❖ آزمایش خواص مکانیکی لوله: در این قسمت از استاندارد آزمایش‌های تست مخرب مانند Tensile،

Flaring، Flattening و Hardness تشریح شده‌اند.

❖ آزمایش هیدروستات (Hydrostatic Test): پس از خاتمه ساخت لوله مغزی به طول مربوطه و کلاف شدن آن، می بایست لوله از روی کلاف باز شده و تحت آزمایش فشار آب تحت فشار حداقل ۸۹۰۰ psi برای مدت ۱۵ دقیقه قرار بگیرد.

❖ روش های انجام آزمایشات

✓ آنالیز شیمیایی مطابق استاندارد ASTM A751

✓ تست کششی مطابق استاندارد ASTM A370

✓ تست سختی میکرو مطابق استاندارد ASTM E384

✓ تست چارپی مطابق استانداردهای ASTM A370 و ASTM E23

❖ بازرسی های غیرمخرب

استانداردهای مربوط به انجام بازرسی ها در طول فرآیند ساخت و آزمایشات بر روی لوله به شرح زیراند:

✓ الکترومگنتیک: ASTM E570

✓ ادی کارنت: ASTM E309

✓ آلتراسونیک: ASTM E164 و ASTM E213

✓ ذرات مغناطیسی: ASTM E709

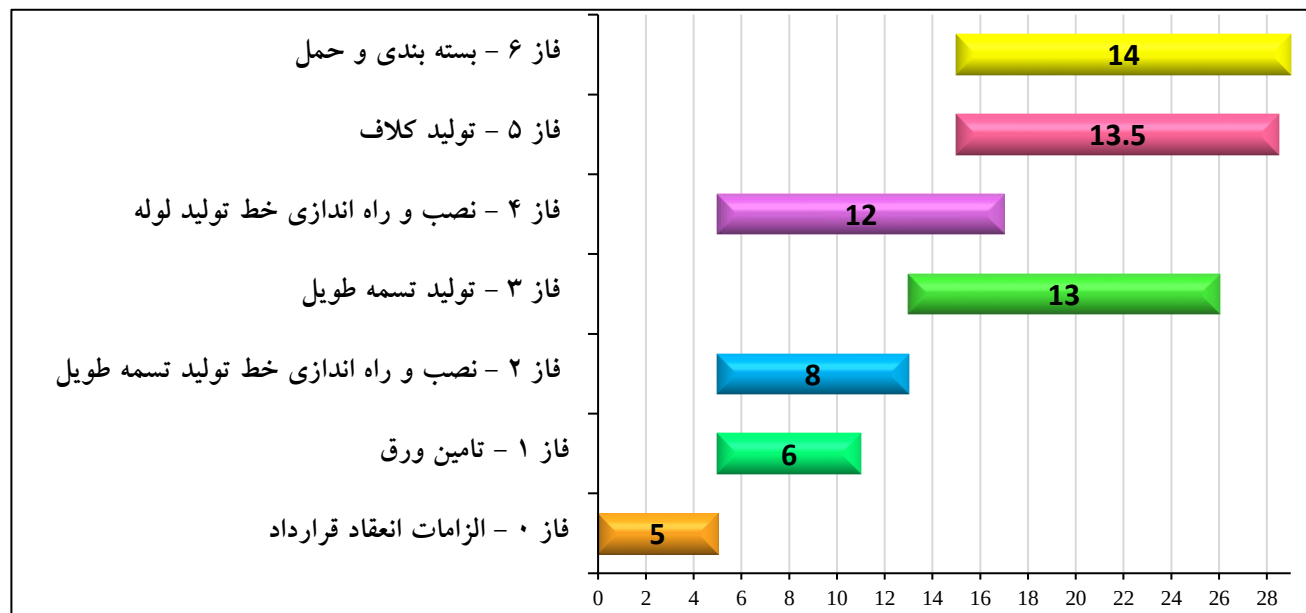
✓ رادیوگرافی: ASTM E94

✓ تست نفوذ: ASTM E165

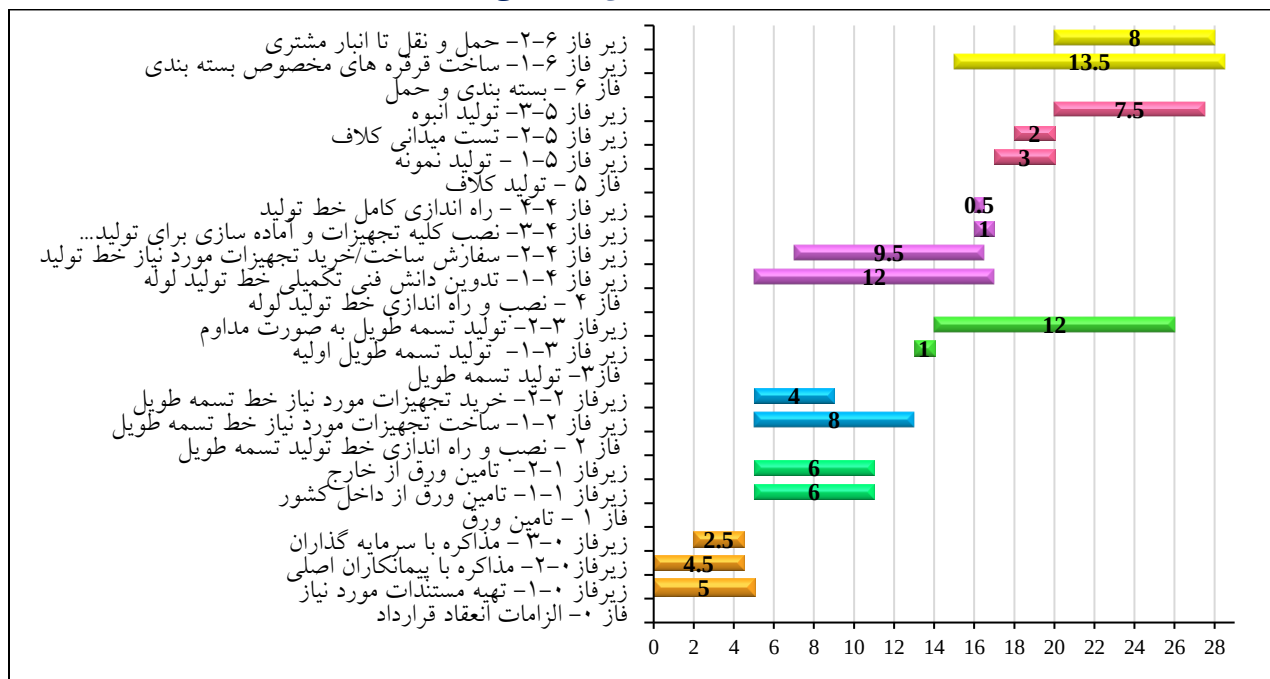
❖ گواهی نامه

هنگام تحویل محصول به خریدار می بایست گواهی نامه صحت و کیفیت محصول توسط سازنده صادر و به خریدار ارائه شود.

۴- برنامه زمان بندی



شکل ۹- برنامه زمان بندی کلی



شکل ۱۰- برنامه زمان بندی با یک مرحله شکست فعالیتها

۵- توافقات با لوله ساز و ورق ساز

۵-۱- شرکت نورد و لوله صفا (لوله ساز)

شرکت نورد و لوله صفا در سال ۱۳۷۰ بر اساس نیاز کشور به لوله های سایز بالا از جمله مصارف نفت، گاز و پتروشیمی تأسیس و آغاز به کار نمود. این شرکت هم اکنون پتانسیل تولید لوله با ظرفیت ۱/۶ میلیون تن در سال از سایز ۸ ۵/۸ الی ۱۲۰ اینچ برای مصارف مختلف صنعتی را دارد. محصولات این شرکت با روش های اسپیرال، رول بندینگ و ارز جوش القایی تولید می شوند. کارخانه رول بندینگ، دارای ظرفیت تولید لوله های فولادی درز جوش مستقیم با روش فرم دهی رول بندینگ در سایزهای ۲۰ الی ۶۴ اینچ بر اساس استانداردهای معتبر بین المللی همچون API و استانداردهای داخلی IPS و IGS می باشد.

شرکت مذکور، با داشتن انواع ماشین آلات، تجهیزات و ابزارهای صنعتی نوین و نیز دانش فنی و نیروهای انسانی مجرب و متخصص در رشته های مختلف، مستعد در ورود به ساخت لوله های جدید می باشد.

ضمناً این شرکت مورد شناخت و در فهرست سازندگان تأیید شده شرکت ملی نفت ایران بوده و تاکنون سفارش های عدیده ای برای ساخت انواع لوله های نفت و گاز سایز بالا با موفقیت و کیفیت مطلوب انجام داده است.

طی مذاکرات به عمل آمده با مدیران و کارشناسان شرکت مذکور و بازدیدهای به عمل آمده از کارخانجات ساخت و تولید، اطمینان حاصل شد که شرکت نورد و لوله صفا توان و آمادگی کامل برای ساخت لوله ی مغزی در داخل کشور بر اساس دانش فنی تولید شده توسط سازمان جهاد دانشگاهی تهران و تحت نظارت عالیه و مستقیم این سازمان را دارد. پس از ارائه دانش فنی به این شرکت و تجهیز خط تولید لوله برای تولید کلاف لوله مغزی سیار، فرایند تولید کلاف آغاز می گردد. قسمت هایی از دانش فنی که نیاز به تکمیل و اصلاح دارد با همکاری جهاد دانشگاهی و شرکت لوله ساز در حین اجرای پروژه تکمیل می گردد.

۵-۲- شرکت فولاد مبارکه (ورق ساز)

شرکت فولاد مبارکه از شرکت های پیشرو ایرانی است که در زمینه ی تولید ورق های فولادی فعالیت می نماید. این شرکت با مأموریت ایفای نقش محوری در توسعه صنعتی کشور و ارتقای سطح فناوری صنعت فولاد، به عنوان

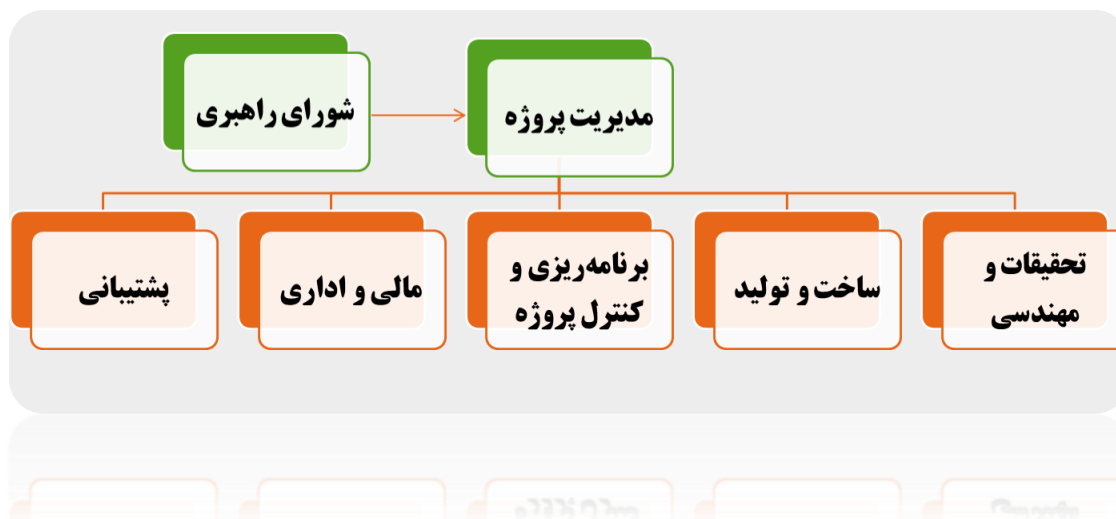
سازمانی جهان‌تراز بیش از پنجاه درصد از مصرف فولاد کشور را جهت استفاده در صنایع خودروسازی و قطعه‌سازی، صنایع فلزی سبک، صنایع فلزی سنگین و لوله‌های انتقال سیالات، صنایع بسته‌بندی، صنایع لوازم خانگی و الکتریکی و صنایع لوله و پروفایل تولید می‌نماید. شرکت فولاد مبارکه دارای هفت مجتمع صنعتی در اقصی نقاط کشور بوده و بیش از بیست هزار نفر در بخش‌های مختلف این شرکت به کار اشتغال دارند.

طی مذاکرات فنی انجام‌شده توسط جهاد دانشگاهی تهران با این شرکت، ساخت داخل ورق CT80 در این مجتمع امکان‌پذیر می‌باشد. پس از انعقاد قرارداد با مدیریت کالای نفت، سفارش خرید ورق به این مجتمع داده خواهد شد تا با ارائه دانش فنی لازم و تحت نظارت‌های عالیه جهاد دانشگاهی تهران این ورق تمیز تولید شود.

تصاویر این توافقات در پیوست شماره دو ارائه شده است.

۶- ساختار مدیریت پروژه

ساختار ارائه شده در شکل زیر، تاپ‌چارت پروژه می‌باشد. بدیهی است پس از عقد قرارداد با مدیریت پشتیبانی ساخت و تأمین کالای شرکت ملی نفت ایران، چارت تفصیلی همراه با معرفی نفرات کلیدی پروژه به کارفرما ارائه خواهد شد.



شکل ۱۱- ساختار مدیریت پروژه