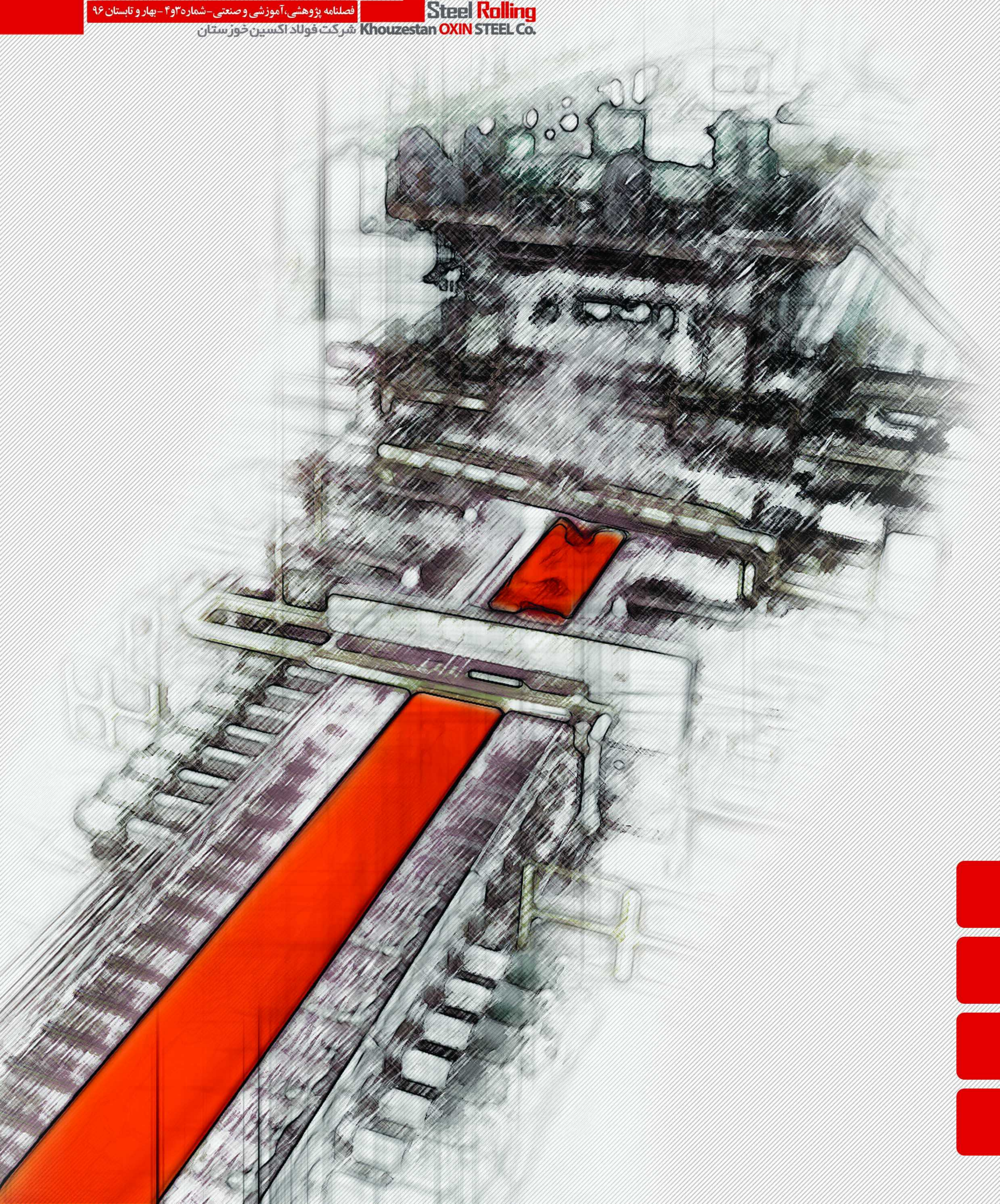


فصلنامه پژوهشی

فصلنامه پژوهشی، آموزشی و صنعتی - شماره ۳۰۴ - بهار و تابستان ۹۶
Steel Rolling
Khouzestan OXIN STEEL Co. شرکت فولاد اکسین خوزستان



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

و انزلنا الحديد فيه باس شديد و منافع للناس

آیه ۲۵ سوره الحديد

فهرست

صاحب امتیاز: شرکت فولاد اکسین خوزستان

واحد تحقیق و توسعه

مدیر مسئول: رضا آبدیده

سردبیر: محمد هیزم بر

هیأت تحریریه: امین آسیابان، محمد سجاد غفوری،

یعقوب غلامی، میلاد خجسته پور، احمد بساق زاده

گروه تأمین محتوا و ویراستاری: علیرضا حاجی پور،

آرش آرپناهی، علیرضا افضلی، زهرا شیرالی پور، هدا خیتال

صفحه آرایی و چاپ: کانون تبلیغاتی هدف

طراحی جلد: محمد قانچیان

نشانی: اهواز، کیلومتر ۱۰ جاده بندر امام خمینی (ره)،

شرکت فولاد اکسین خوزستان، فصلنامه تخصصی نورد فولاد

کد پستی: ۱۳۱۱۱-۶۱۷۸۸، صندوق پستی: ۱۷۳۳-۶۱۷۷۵

تلفکس: ۰۶۱-۳۲۹۰۹۱۶۵

نشانی سایت: www.oxinsteel.ir

پست الکترونیکی: rollingjournal@oxinsteel.ir

چاپ مطالب به منزله تایید دیدگاه پدید آورندگان

آن نیست.

نقل و اقتباس از مطالب این نشریه با ذکر ماخذ آن

بلامانع است. دستورالعمل تهیه مقالات جهت درج

در این نشریه در صفحه آخر ارائه شده است.

صفحه	عنوان
۲	پیام مدیر عامل
۳	پیام مدیر مسئول
۴	بررسی علل شکست غلتک کاری فوق سنگین خط نورد گرم شرکت فولاد اکسین خوزستان
۱۰	آشنایی با روش متالوگرافی غیر مخرب رپلیکاد در صنعت نورد
۱۶	آشنایی با جهت گیری ترجیحی ریزساختار (بافت کریستالی) در فرآیند نورد
۲۶	تشکیل پوسته اکسیدی و پوسته زدایی در فرآیند نورد گرم
۳۰	افزایش عمر عملکرد بیرینگ های غلتشی در نوردهای کاری صنایع فولادی
۳۴	پیاده سازی سیستم مکانیزه نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)
۴۰	بررسی راندمان جایگزینی ورق فولادی ST37 با ST52 در مقاطع مختلف ساختمانی
۴۶	انتخاب و طراحی محصول با استفاده از QFD فازی و رویکردهای MCDM فازی
۵۶	نقش برنامه ریزی استراتژیک مدیریت کیفیت جامع (TQM) در صنایع
۶۰	ارائه یک روش ابتکاری برای تخصیص تختال به ورق عریض و برش تختال های بلند در کارخانه نورد ورق عریض فولاد اکسین خوزستان
۶۴	دستورالعمل تهیه مقاله برای فصلنامه تخصصی نورد فولاد

پیام مدیر عامل

در دنیای امروز همه چیز در حال تغییر است، صنعت ما نیز باید به سرعت تغییر پیدا کند. صنعت هر کشوری بر روی سه محور مهم استوار است که لازم و ملزوم یکدیگرند. این سه محور عبارتند از: تحقیق و توسعه، طراحی و ساخت و تولید.

نگاهی گذرا به عملکرد سازمان های بزرگ نشان می دهد که برای نیل به موفقیت، وابستگی شدید به نقش پژوهش و فناوری دارند. تقاضاهای تغییر یافته مشتریان، افزایش روند توسعه فناوری ها و مهمتر از همه رقابت شدید بین المللی باعث افزایش این مقوله در سازمانها و جامعه شده است. صنعت نیز برای بهبود مدیریت پژوهش خود نیازمند جذب نتایج تحقیق است. اگر در گذشته نه چندان دور میزان تولید به عنوان معیار پیشرفت علمی کشورها مد نظر بود، امروزه میزان سهم جوامع در توسعه فناوری های برتر (High Tech) ملاک سطح دانش و پیشرفت علمی در کشورهای مختلف می باشد. همین است که سهم هزینه های تحقیقاتی از درآمد ناخالص ملی، در همه کشورها روندی رو به رشد دارد. بنگاه های خصوصی هوشمند نیز پیوسته توجه دارند که بر سرمایه گذاری تحقیقاتی خود بیفزایند و گوی سبقت را در این میدان از همگان برابند.

پیاده سازی موفقیت آمیز مدیریت پژوهش در صنعت مستلزم این است که عوامل مختلف همچون نیازسنجی پژوهشی، برنامه ریزی پژوهشی، تامین منابع پژوهشی، نظارت پژوهشی، حمایت پژوهشی و فرهنگ سازمانی دارای ویژگیهای خاصی بوده و از انسجام و هماهنگی لازم برخوردار باشند. وجود شکاف و ناهماهنگی در بین این عوامل مانع پیاده سازی موفقیت آمیز استراتژی مدیریت پژوهش خواهد شد.

بر این اساس بدیهی است آنچه می تواند صنعت را به سوی صنعتی مستقل هدایت کند، توجه به تحقیقات و پژوهش است که دستیابی به سطح بالای فناوری و اداره کارخانه های بزرگ، تبدیل منابع و مواد اولیه به وسایل و امکانات مورد نیاز جامعه و در تعقیب آن، کاهش واردات و تقلیل میزان وابستگی اقتصادی را ممکن می سازد.

شرکت فولاد اکسین خوزستان با درک اهمیت بخش تحقیق و توسعه، عزم خود را در تحقق ارتباط صنعت و جامعه علمی جزم نموده و امید است مطالب مندرج در مجلد حاضر مشوق و مستندی باشد برای جامعه علمی و صنعتی در راستای حرکت به سمت توسعه اقتصادی کشور و همچنین بالندگی و پویایی خلاقیت ها در جهت استفاده از فناوری های نوین به منظور حل مشکلات صنایع بویژه صنعت فولاد کشور.

انشالله همواره چراغ روشن پژوهش فرارویتان پرتو افکند و به رفیع ترین قله های علم رهنمون سازد.

عبدالرضا محمودپور

پیام مدیر مسئول

یکی از راه های کمال و تقرب به ذات اقدس الهی، علم و دانش است. علمی که به تعبیر استاد شهید مطهری، زیبایی عقل است. علمی که انسان خداجو در آن نشانه های معبود را می جوید و می یابد و هر چه فزونتر می گردد، دارنده ی آن را به خدا نزدیکتر می کند.

محیط کسب و کار امروز با تغییرات تکنولوژی از یکسو و تغییرات نیازها و خواسته های بازار از سوی دیگر مواجه است، بطوریکه تغییرات سریع در این حوزه سبب شده است مدیران همزمان دو هدف متضاد را در دستور کار قرار دهند و برای تحقق آنها تلاش کنند. این دو هدف عبارتند از: ثبات و تغییر، زیرا از یکطرف باید برای حفظ و ثبات وضع موجود و از طرفی دیگر برای تغییر وضع موجود اقدام نمایند و خود را برای رویارویی با تغییرات آینده آماده نموده و بدین ترتیب حضور خود را در بازار تداوم بخشند. تحقق این اهداف مستلزم افزایش قابلیت ارزش آفرینی بنگاه اقتصادی از طریق دانش بنیان نمودن تصمیمات و علمی کردن مدیریت است. سالهاست که این واقعیت در کشورهای صنعتی و پیشرفته جهان مورد توجه قرار گرفته و به همین دلیل در طی چند دهه گذشته سرمایه گذاری در بخش تحقیق و توسعه بعنوان پایه و اساس مدیریت علمی در شرکت ها بصورت تصاعدی در حال افزایش است، تا جایی که امروز گفته می شود تنها شرکت هایی قادر به ادامه حیات و رقابت پذیری در آینده هستند که بتوانند سهم دانش را در تولیدات خود افزایش دهند.

این حقیقت که صنعت نورد در کشور ما از آغاز بصورت وارداتی بکار گرفته شد سبب شد که مدیران، کارشناسان و دستاندرکاران این صنعت به فرآیندهای نورد صرفاً بصورت یک صنعت ناب و خشن نگاه کنند و کمتر به جنبه های علمی و ریزه کاریهای عملی آن توجه شده است. با وجود فعالیت های آموزشی، پژوهشی و صنعتی که به تازگی در برخی از واحدهای نورد انجام می شود، نتیجه های ثمربخشی حاصل شده است ولی هنوز در مقایسه با استانداردهای جهانی صنعت نورد در کشور ما از ناتوانی علمی و دانش فنی مهندسی رنج می برد. در این خصوص وضع در دانشگاه ها نیز به همین ترتیب است و فعالیت های پژوهشی بصورت پراکنده بوده و کمتر در ارتباط با رشد این صنعت می باشد.

"فصلنامه تخصصی نورد فولاد" اولین نشریه حوزه ی صنعت نورد فولاد در کشور عزیزمان ایران محسوب می شود و هدف آن تبادل اطلاعات علمی- پژوهشی صنعت نورد با دانشگاهیان، متخصصین و صنعتگران کشور است. لذا از کلیه محققان و پژوهشگران فعال در عرصه مطالعات و پژوهش های مرتبط با فرآیند نورد فولاد دعوت می شود که با ارسال مقالات خود ما را در این خصوص یاری کنند.

در خاتمه لازم می دانم از مساعدت های بی دریغ مدیرعامل محترم شرکت فولاد اکسین خوزستان در راستای حمایت از انتشار این مجله تشکر و قدردانی نمایم. پیشاپیش از دریافت تذکرات و پیشنهادات خوانندگان گرامی به منظور رفع کاستی های احتمالی سپاسگزار خواهم بود.

بررسی علل شکست غلتک کاری فوق سنگین خط نورد گرم شرکت فولاد اکسین خوزستان

اسلام پوربندری، شهروز عالیان، نبی اله رازانی، امیر منصوبیان، ابراهیم کاوسی، ناصر روشنی، امین آسیابان

شرکت فولاد اکسین خوزستان

این مقاله مربوط به تحلیل حادثه ی شکست غلتک نوردی کارخانه در سال ۱۳۹۳ می باشد.

چکیده

در پژوهش حاضر اثر پارامترهای نوردی (بارهای مکانیکی) ثبت شده در سیستم اتوماسیونی پیشرفته سطح دو خط نورد، بصورت مجزا در کنار تاثیر ترکیب شیمیایی بر روی ریز ساختار و خواص مکانیکی غلتک شکسته شده جهت تحلیل شکست بررسی گردید. تجزیه و تحلیل داده های اتوماسیونی نشان داد که هیچگونه بار مکانیکی اضافی بر روی بازوی غلتک اعمال نشده است. لذا نمونه برداری های لازم از سطح و مغز بازوی غلتک در چند نقطه برای مطالعات آزمایشگاهی بر روی ترکیب شیمیایی، ریزساختار، سطوح شکست و خواص مکانیکی انجام شد. مطالعات ریزساختاری و شکست نگاری وجود مقادیر زیادی گرافیت های غیر کروی با اشکال نامتعارف و همچنین تجمع کاربیدها در نواحی مختلف را نشان داد، همچنین مقادیر زیادی اکسید منیزیم در سطوح شکست مشاهده گردید که نشان از تلقیح نامناسب منیزیم است. نتایج آزمایش کشش نیز پایین بودن درصد ازدیاد طول نسبی را نشان داد. بطور کلی بررسی ها نشان داد که علل شکست، نامناسب بودن ریزساختار و خواص مکانیکی در بازوی غلتک بوده است. کلمات کلیدی: بارهای مکانیکی، بازوی غلتک، ریزساختار، خواص مکانیکی، تلقیح.

eslam.pourbandary@gmail.com

۱- مقدمه

به غلتک های چدنی نیمه تبریدی بهینه شده [۱ و ۲] تبدیل گردید و سپس در اواخر دهه ۱۹۸۰ به نوع چدنی کروم بالا^۲ تبدیل شد [۲] و از اوایل سال ۱۹۹۰ اولین غلتک های فولادی تندبر^۳ نسل جدید که دارای مقاومت به سایش زیاد، انعطاف پذیری خوب، تحمل شوک حرارتی مناسب، سختی مناسب، مقاومت در برابر رشد ترک حرارتی و ترک سطحی خستگی حرارتی هستند، برای نورد ورق با کیفیت سطحی بالا در ژاپن استفاده گردید [۳].

تفاوت عمده این نوع غلتک ها در ریز ساختار (بسته به نوع نورد و نوع غلتک، بعضاً پرلیت، بینیت یا مارتنزیت تمپر شده به همراه آستنیت باقی مانده) و عناصر آلیاژی (مهمترین عناصر آلیاژی در این غلتک ها، وانادیم، تیتانیم، نایوبیوم و تنگستن هستند که با تشکیل کاربید با سختی مناسب، کوچک و پراکنده علاوه بر بالا بردن استحکام و خواص مکانیکی، به دلیل ریز کردن ساختار، مقاومت به سایش و ایجاد ترک حرارتی را هم افزایش می دهند) موجود در لایه کاری آنهاست [۴].

غلتک های نورد، بویژه غلتک های کاری نورد گرم ورق عریض یکی از قطعات بسیار مهم خط نورد بوده که بطور مستقیم بر روی پارامترهای کلیدی تولید چون بهره وری خط تولید و کیفیت سطح ورق تولیدی اثر می گذارند [۱]. از طرفی هر نوع حادثه در قفسه نورد (ناشی از شکست غلتک کاری) می تواند باعث تخریب دیگر متعلقات قفسه نورد شود و زیان های هنگفتی را تحمیل نماید. لذا طراحی متریال و کنترل فرایند ریخته گری این نوع غلتک های فوق سنگین (دارای طول ۹/۸ متر، قطر ۲/۱ متر و با وزن ۵۶ تن) بسیار مهم و حائز اهمیت است. از این رو تکنولوژی تولید آنها انحصاری و در اختیار چند کشور پیشرفته در زمینه صنعت فولاد بوده و قابل ذکر است که اطلاعات زیادی در مورد دانش ساخت آن ها وجود ندارد. گذشت زمان و رقابتی شدن بازار کارخانجات نورد دنیا، تولید کنندگان غلتک را ملزم نمود تا روزه روز جنس این نوع غلتک ها و شرایط لازم برای استفاده از آن ها را مطابق با پیشرفت نورد بهبود دهند. بطوریکه به مرور از سال ۱۹۴۰ جنس غلتک ها از چدن نیمه تبریدی^۱ استاتیک شروع و با گذشت زمان

¹Indefinite Chill (IC)

²High Chromium (Hi-Cr)

³High Speed Steel (HSS)

به منظور ارزیابی استحکام کششی بازوی غلتک شکسته شده (بر اساس استاندارد BS EN 1563 GRADE GJS- 400- 15) آزمون کشش طبق استاندارد DIN 50125 انجام گردید [۷]. از بررسی های متالوگرافی جهت بررسی ریزساختار و ارزیابی کیفی بازوی غلتک مورد پژوهش استفاده گردید. نمونه سازی و بررسی ریز ساختار طبق استاندارد ASTM A247 انجام شد. محلول اچ مورد استفاده پیکرال بوده و میکروسکوپ نوری مورد استفاده Olympus مدل PMG3 بوده است. همچنین آنالیز عنصری از سطوح شکست همراه با بررسی های شکست نگاری (تعیین مد شکست) با تصویر الکترون های برگشتی میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل VEGA/TESCAN انجام گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی بارهای مکانیکی نورد بر اساس معیارهای طراحی در مقایسه با مقادیر ثبت شده در سیستم اتوماسیونی نورد قبل از شکست

مقایسه بارهای مکانیکی نورد طبق معیارهای طراحی شده توسط سازنده قفسه نورد در مقایسه با اطلاعات ثبت شده در سیستم اتوماسیونی نورد قبل از شکست (جدول ۱)، نشان داد که تمامی نیروهای نوردی اعمال شده برای نورد ورق های فولادی متنوع قبل از شکست، زیر حدود طراحی بوده و لذا وقوع شکست بر اثر اعمال هر نوع بار اضافی رد گردید و قطعی بودن شکست بر اثر عوامل ثانویه (احتمال وجود ضعف متالورژیکی در بازوی غلتک) مطرح گردید.

جدول ۱. نوع و مقادیر بارهای مکانیکی نورد بر اساس معیارهای طراحی در مقایسه با مقادیر ثبت شده در سیستم اتوماسیونی نورد قبل از شکست

نوع بارهای مکانیکی نورد	گشتاور (کیلو نیوتن)	نیروهای خمشی (کیلو نیوتن)	نیروهای نوردی (کیلو نیوتن)
معیار طراحی	۸۱۰۰	۱۲۸۰۰	۱۰۰۰۰۰
مقادیر اعمال شده قبل از شکست	۷۷۰۰	۹۵۴۴	۵۳۳۲۲

۳-۲- بررسی های متالورژیکی علت شکست

در گام دوم برای شروع ارزیابی های متالورژیکی، تعیین ترکیب شیمیایی بازوی این غلتک به روش طیف سنجی نشری بصورت جدول (۲) انجام شد و با ترکیب شیمیایی بازوی غلتک مورد پژوهش بر اساس گواهی ساخت شرکت سازنده در جدول (۳) مقایسه گردید [۵].

این غلتک ها به روش ریخته گری گریز از مرکز و بصورت دولایه (لایه اول: پوسته یا لایه کاری و لایه دوم: هسته) تولید می شوند [۵ و ۶]. لایه کاری به دلیل شرایط کارکرد بحرانی از لحاظ دمایی (دمای نورد)، تحمل نیروهای نورد و سایش دارای عناصر آلیاژی بیشتر و کاربیدهای خاص مانند کاربیدهای کروم ($M_7C_3 \square M_3C$) نسبت به لایه دوم (هسته) است [۲]، اما لایه دوم به منظور بالا بردن چقرمگی و تحمل بارهای نوردی از جنس چدن گرافیت کروی است (مانند غلتک های چدنی نیمه تبریدی) [۵]. حال در این پژوهش، با اتکا و توجه به موارد ذکر شده، اطلاعات نرم افزاری خط نورد گرم شرکت فولاد اکسین خوزستان و استفاده از روش های نوین آنالیز شکست مانند بررسی ترکیب شیمیایی (طیف سنجی نشری)، بررسی ریز ساختاری و متالوگرافی (با میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی^۱)، شکست نگاری با میکروسکوپ الکترونی روبشی و آزمون های خواص مکانیکی (سختی سنجی و کشش)، سعی شده است علل شکست بازوی غلتک کاری چدنی (هیپووتکتیکی) نیمه تبریدی شرکت فولاد اکسین خوزستان که تاکنون در کشور انجام نگرفته است برای اولین بار مورد ارزیابی قرار گیرد و بهترین نتیجه استخراج گردد.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش علل شکست بازوی غلتک کاری نورد گرم شرکت فولاد اکسین خوزستان که از نوع چدنی نیمه تبریدی (دارای زمینه پرلیتی با اجزاء گرافیت کروی) می باشد مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. در اولین گام از پژوهش، اطلاعات اتوماسیونی سطح دو^۲ ثبت شده در خط نورد در زمان قبل از شکست استخراج و تحلیل گردید. در گام دوم برای شروع ارزیابی های متالورژیکی تعیین ترکیب شیمیایی بازوی این غلتک به روش طیف سنجی نشری^۳ با رعایت استاندارد کنترل محیطی (ASTM E406 - 81 (2008)) انجام شد و با ترکیب شیمیایی بازوی غلتک شکسته شده بر اساس گواهی ساخت شرکت سازنده مقایسه گردید. عملیات سختی سنجی ماکرو با استفاده از دستگاه EMCO TEST با مدل MAU 750 بر روی نمونه های انتخاب شده و پالیش شده در واحد ویکرز با نیروی اولیه 10Kg و نیروی نهایی 187.5Kg صورت گرفت.

¹Scanning Electron Microscopy (SEM)

²Level 2(L2)

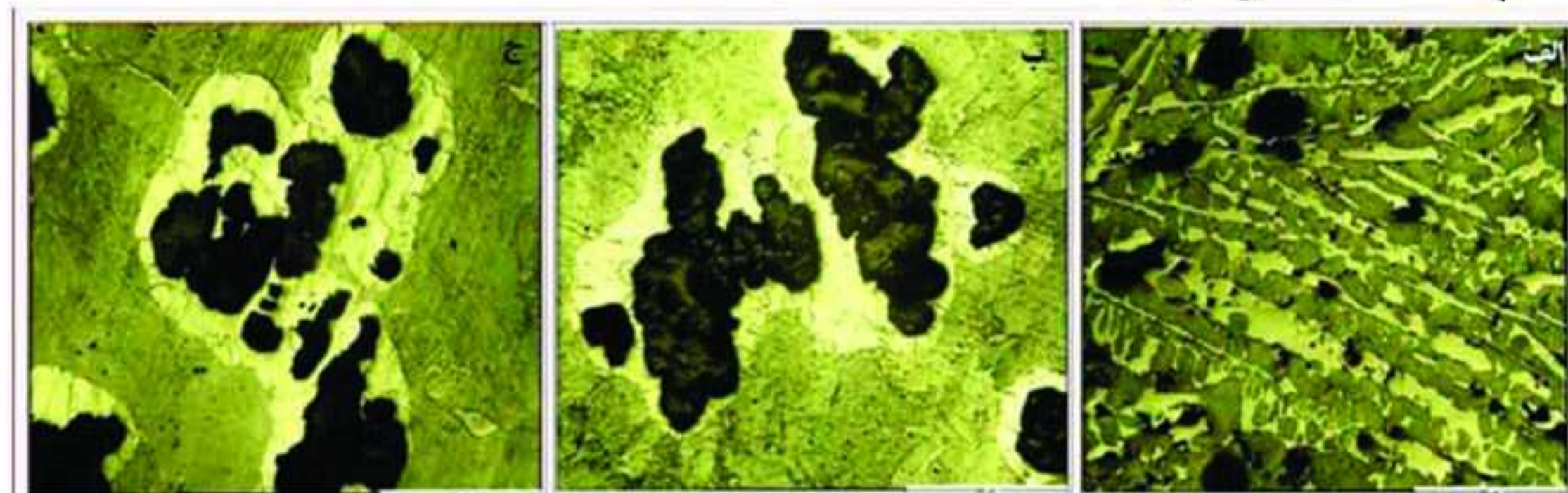
³Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)

جدول (۵) نتایج آزمون کشش را نشان می دهد. مشاهده می شود که طبق استاندارد ذکر شده برای این نوع چدن حداقل درصد ازدیاد طول نسبی باید ۱۱ درصد باشد، در صورتی که در نمونه غلتک شکسته شده مقدار ۳ درصد بدست آمده است.

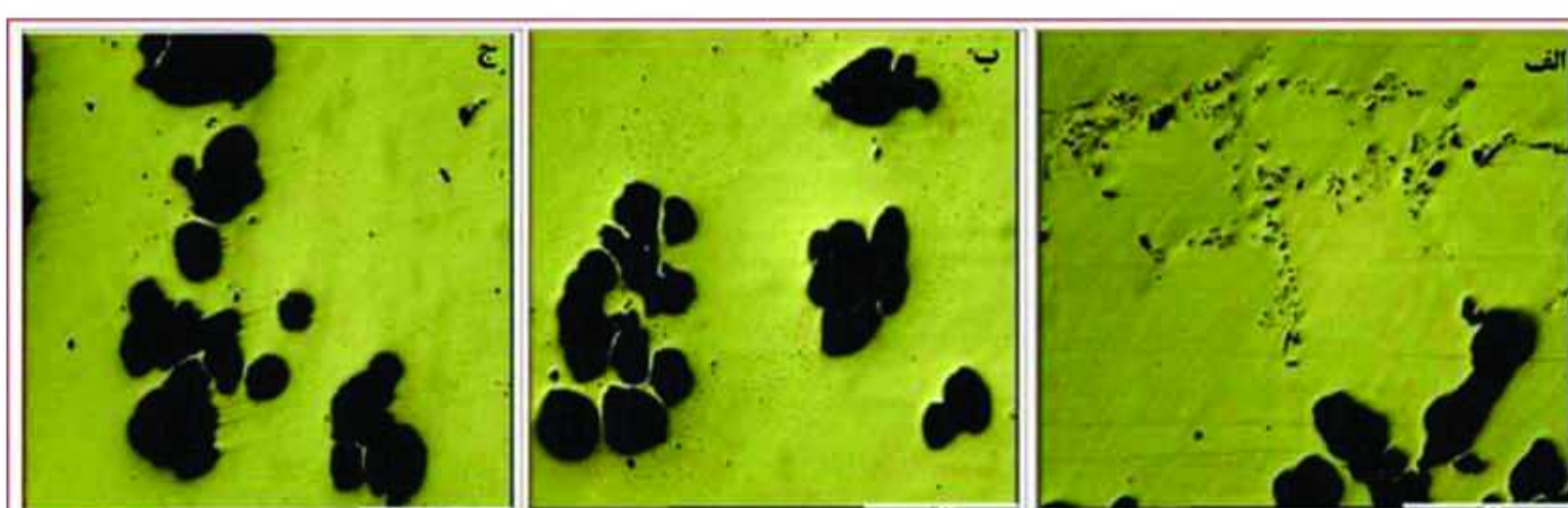
جدول ۵. نتایج آزمون کشش نمونه شماره ۶ در سطح شکست بازوی غلتک شکسته شده (شکل ۱)

ازدیاد طول نسبی (%)	استحکام کششی نهایی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	سطح مقطع اولیه (MM ²)	قطر نمونه (MM)	مکان آماده سازی نمونه کشش
۳	۴۰۹	۳۰۵	۱۹/۶۳	۵	ناحیه شماره ۶ در شکل ۱
Min ۱۱	Min ۳۷۰	Min ۲۴۰	-	-	حدود مجاز استاندارد

تصاویر متالوگرافی مربوط به ریزساختار نشان می دهد این عامل (پایین بودن درصد ازدیاد طول نسبی) ناشی از توزیع نامتقارن گرافیت آزاد به همراه مقادیر فریت و تجمع کاربید (شکل ۳) در ساختار پرلیتی (تعداد گرافیت های کروی در واحد سطح توسط آنالیز تصویری ۲ عدد بر میلی متر مربع تعیین گردید در صورتی که برای قطعات فوق سنگین باید حداقل ۷۵ عدد باشد) و همچنین وجود گرافیت های غیر کروی با اشکال نامتعارف^۱ در ساختار بازوی غلتک باشد (شکل ۴) که عوامل زیادی می توانند در ایجاد آنها سهم داشته باشند [۸ و ۹].



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپ نوری از نمونه های شماره (۷ و ۴) در شکل (۱)، که توزیع نامتقارن گرافیت (الف، ب و ج) به همراه مقادیر فریت و تجمع کاربیدهای تیغه ای و بلوکی (ناحیه سفیدرنگ) را در ساختار پرلیتی نشان می دهند.



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپ نوری از نمونه های (۱ و ۳ و ۵) در شکل (۱)، که عیب Chunky Graphite (الف) و توزیع نامتقارن ذرات سیاه رنگ گرافیت (ب و ج) را در ساختار نشان می دهند.

از طرفی مطالعات شکست نگاری از تمامی نمونه های شکل (۱) مد شکست ترد و رخ برگی را برای آنها نشان داده است (شکل ۵).

جدول ۲. ترکیب شیمیایی بازوی غلتک شکسته شده براساس نمونه گیری های انجام شده

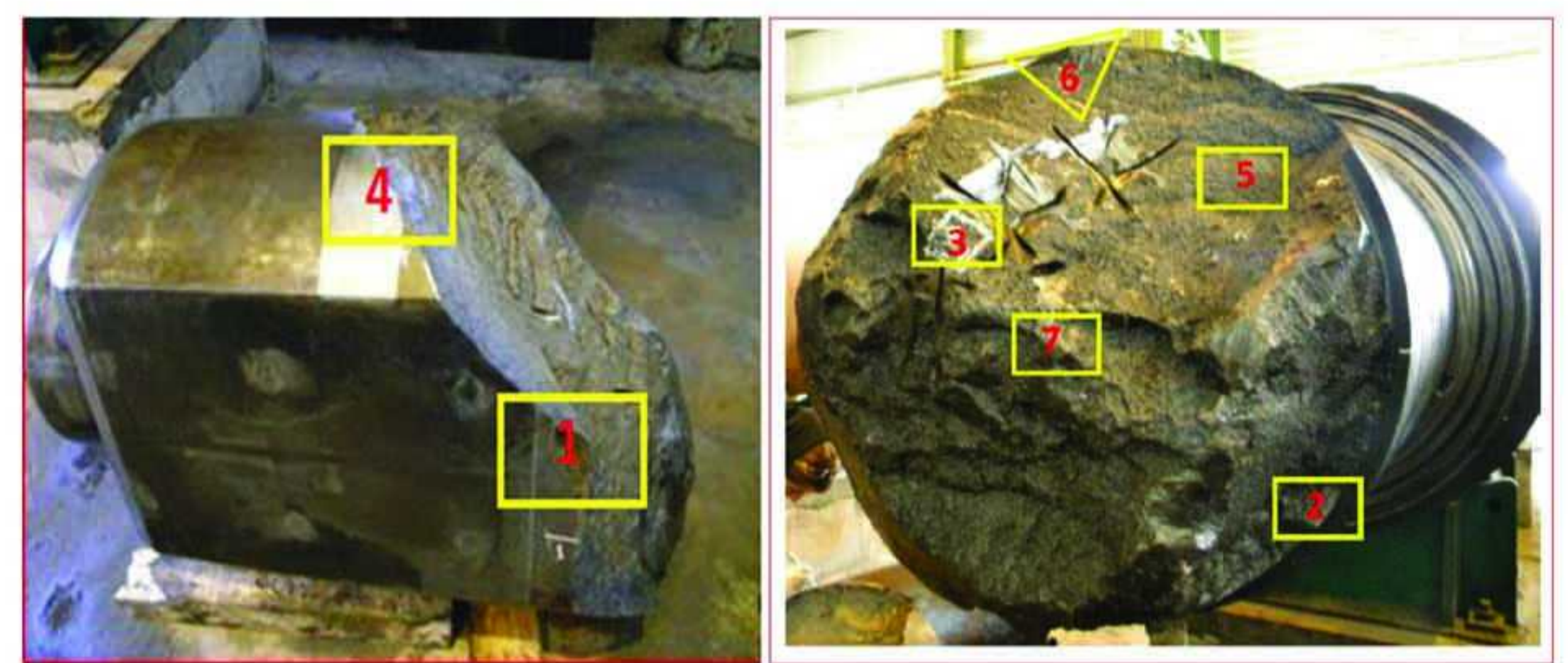
عنصر	Mg	Mo	Ni	Cr	S	P	Mn	Si	C
درصدوزنی	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۷۱	۰/۲۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۶۶	۲/۲۰	۳/۰۰

جدول ۳. ترکیب شیمیایی بازوی غلتک شکسته شده براساس گواهی ساخت شرکت سازنده [۶].

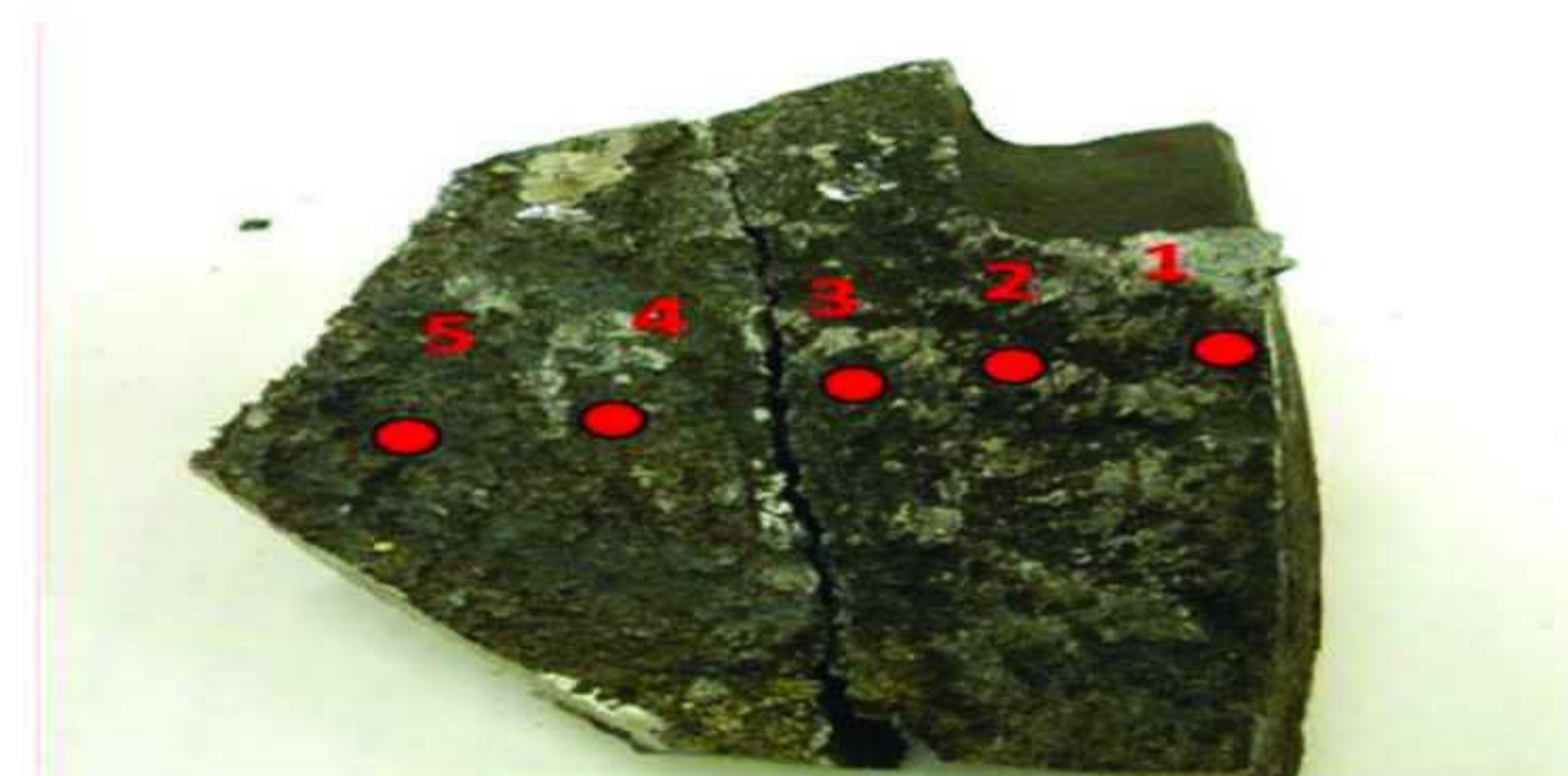
عنصر	Mg	Mo	Ni	Cr	S	P	Mn	Si	C
درصدوزنی	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۶۱	۰/۲۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۶۶	۲/۰۸	۲/۹۴

نتایج آنالیز شیمیایی نشان داد که محدوده ترکیب شیمیایی نمونه آزمون با محدوده مجاز گواهی ساخت نزدیک بوده و مغایرتی ندارد.

آزمون سختی سنجی مطابق شکل (۲) بر روی ۵ نقطه از نمونه مورد نظر (نمونه شماره (۶) در شکل (۱)) انجام شد که نتایج آن در جدول (۴) مشاهده می شود. مقدار سختی بازوی غلتک بر اساس گواهی ساخت شرکت سازنده در حدود 37-38 Shore C است [۵] که معادل با 250-249 ویکرز می باشد. نتایج بدست آمده نیز نشان داد که سختی نمونه سطح شکست بازوی غلتک به همین مقدار، یعنی مقدار مجاز شرکت سازنده، نزدیک است.



شکل ۱. تصاویر سطوح شکست بازوی غلتک شکسته شده مورد پژوهش

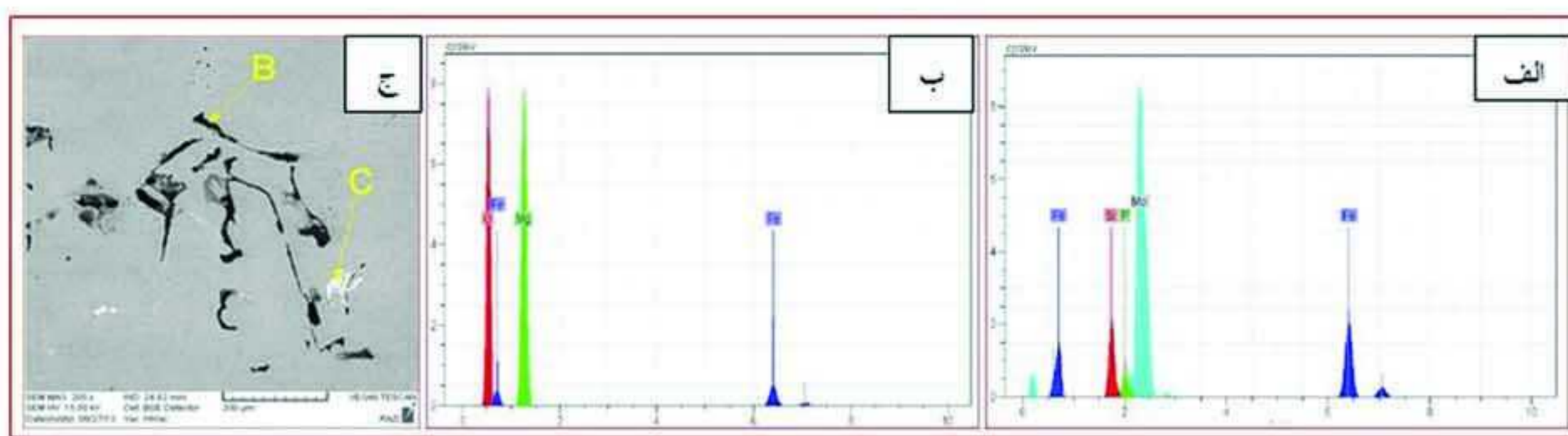


شکل ۲. محل های سختی سنجی ماکرو بر روی نمونه (۶) در شکل (۱)

جدول ۴. نتایج سختی سنجی نمونه شماره (۶) در سطح شکست غلتک شکسته شده (شکل ۱)

موقعیت سختی سنجی	عدد سختی (HV)		
	نقطه ۱	نقطه ۲	نقطه ۳
ناحیه شماره ۱	۲۶۰	۲۴۴	۲۴۹
ناحیه شماره ۲	۲۳۹	۲۴۴	۲۴۲
ناحیه شماره ۳	۲۳۴	۲۲۴	۲۳۰
ناحیه شماره ۴	۲۶۰	۱۸۴	۲۵۵
ناحیه شماره ۵	۲۹۲	۲۲۴	۲۴۴

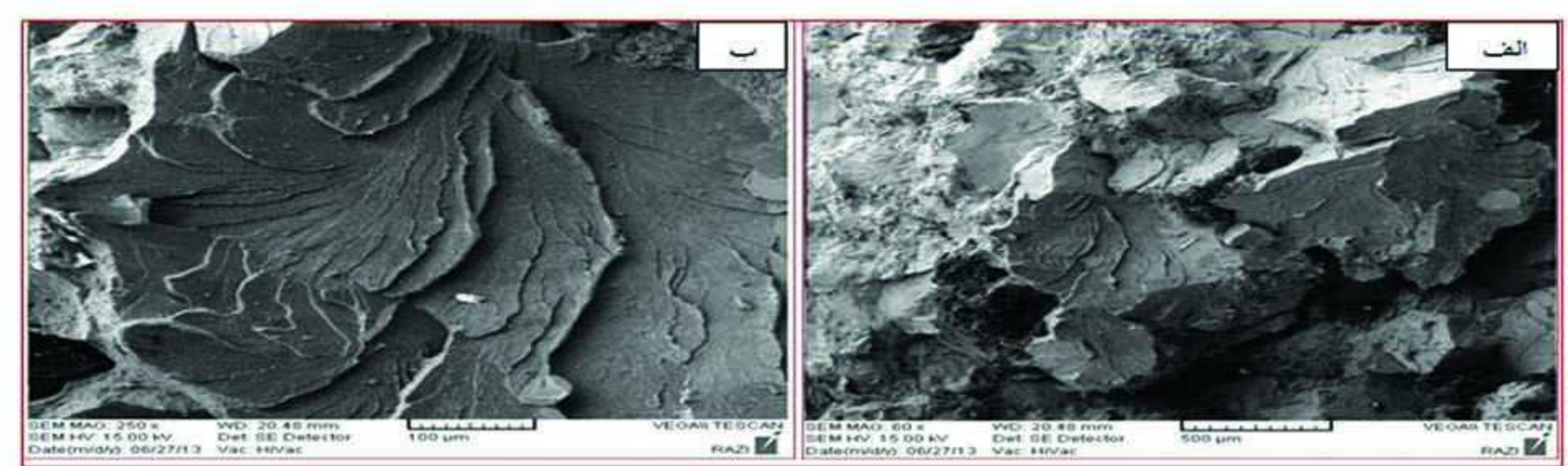
^۱Chunky Graphite



شکل ۷. آنالیز عنصری EDS (الف و ب) از کمپلکس C، شامل (P و Mo و Si) و ناخالصی B، شامل اکسید منیزیم (MgO) در تصویر میکروسکوپ الکترونی (ج) از سطح شکست نمونه (د) در شکل (۱) می باشد.

۴- نتیجه گیری

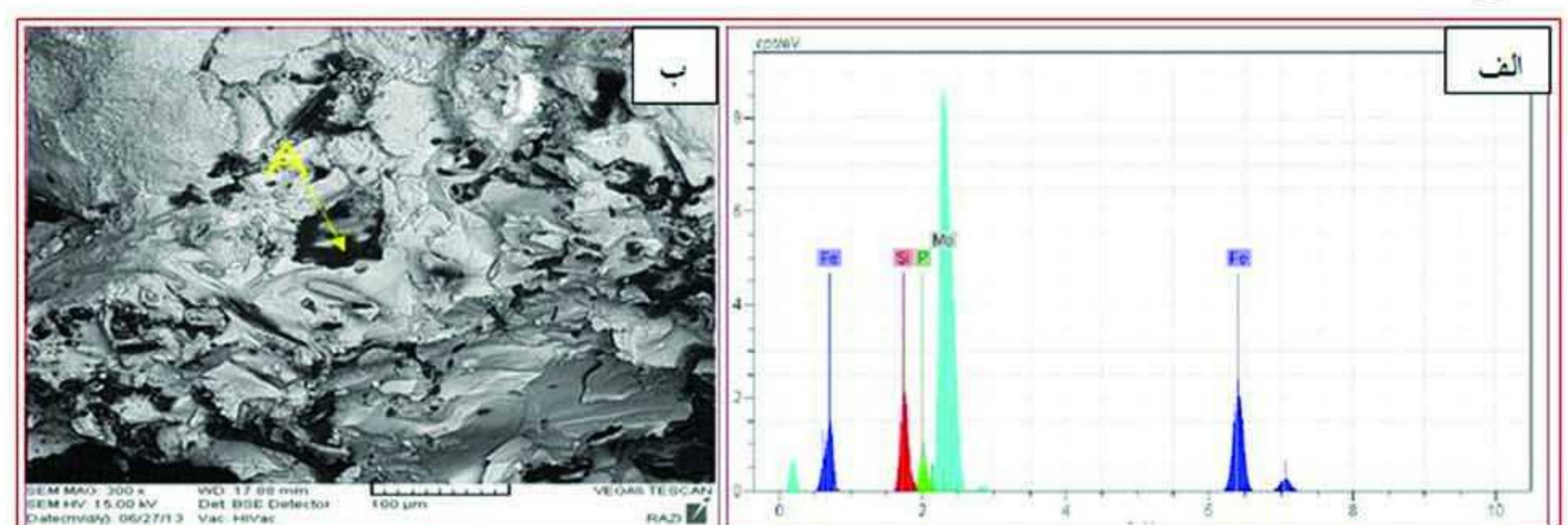
۱. مطالعات میکروسکوپ نوری وجود مقادیر زیادی گرافیت های غیر کروی و با اشکال نامتعارف و عدم توزیع یکنواخت گرافیت در ساختار پرلیتی همراه با مقادیری فریت را نشان داد و در نواحی مختلفی نیز تجمع کاربیدها مشاهده گردید.
۲. تعداد گرافیت های کروی در واحد سطح توسط نرم افزار آنالیز تصویری ۲ عدد بر میلی متر مربع اندازه گیری شد در صورتی که برای قطعات فوق سنگین مانند غلتک کاری نورد ورق عریض باید بیشتر از ۷۵ عدد بر میلی متر مربع باشد.
۳. نتایج آزمون کشش نیز پایین بودن درصد ازدیاد طول نسبی را نشان داد.
۴. مقادیر زیادی اکسید منیزیم در سطح شکست نمونه ها مشاهده شد و این نشان می دهد که منیزیم مورد استفاده برای عملیات تلقیح به خوبی عمل نکرده و اکسید شده است.
۵. بررسی تصاویر سطح شکست و آنالیز عنصری انجام شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی بر روی نمونه ها تعداد زیادی آخال (اکسید منیزیم و کمپلکس های مضر) را در ساختار نمایان ساخت.
۶. عامل اصلی این شکست نامناسب بودن ساختار و خواص مکانیکی ناشی از عدم تلقیح نامناسب مذاب (اکسید شدن منیزیم و کم شدن مقدار آن) و بالا بودن مقدار منگنز برای این غلتک فوق سنگین است. بهبود سرعت سرد کردن مذاب در هنگام ساخت این قطعات فوق سنگین جهت بهسازی ساختار بهترین راهکار است (چون در چدن ها، شکل، اندازه و توزیع گرافیت ها، وجود یا عدم وجود کاربید در ساختار و همچنین نوع فاز زمینه از قوانین حاکم بر انجماد تبعیت می کند).



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپ الکترونی با دو بزرگنمایی متفاوت از سطح شکست نمونه (۵) در شکل (۱) که ترد بودن (شکست رخ برگی) نوع شکست را نشان می دهد.

از جمله عوامل مهمی که در ایجاد عیوب ساختاری ذکر شده می توانند نقش داشته باشند شامل موارد زیر است:

- بالا بودن میزان گوگرد می تواند باعث کاهش راندمان تلقیح و تشکیل FeSiMg و در نهایت کاهش تشکیل گرافیت کروی شود [۸ و ۹].
- ایجاد عیب تغییر شکل گرافیت در مقاطع سنگین از نوع کروی متعارف با توزیع متقارن به نوع غیر کروی نامتعارف با توزیع نامتقارن می تواند ناشی از وجود سرب (وارد شده از قراضه های ذوب و تاثیر گذار بر مقدار پرلیت)، کم بودن میزان منیزیم باقی مانده و کم بودن مراکز جوانه زنی به علت تلقیح نامناسب منیزیم باشد [۹]. در بازوی این غلتک چدنی، حضور عناصر آلیاژی Ni ، Mn ، Mo ، Si و S (با تشکیل MnS) و P را درمرز دانه های آستنیت تقویت می کند [۴ و ۹]. این تجمع بصورت نوارباریک و پیوسته در امتداد مرزدانه خواهد بود که همراه با دیگر کمپلکس های مضر و ناخالصی های به دام افتاده از جمله اکسید منیزیم (منیزیم برای تلقیح و گرافیت زایی کروی به مذاب چدن اضافه می شود) می تواند باعث افت تافنس و کاهش مقاومت در برابر اشعه میکروترک ها گردد [۶].
- بررسی های شکست نگاری با میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح شکست بازوی غلتک مورد پژوهش و آنالیز عنصری آخال های موجود در این سطوح شکست (شکل ۶ و ۷) نیز این مورد را تایید می نماید.



شکل ۶. آنالیز عنصری EDS (الف) از ناخالصی اکسید منیزیم (MgO) موجود در تصویر میکروسکوپ الکترونی (ب) از سطح شکست نمونه (۷) در شکل (۱) را نشان می دهد.

۵- تشکر و قدردانی

از پرسنل محترم کارگاه تراش غلتک شرکت فولاد اکسین خوزستان، جهت برش نمونه ها و مرکز پژوهش متالورژی رازی تهران، جهت مشاوره فنی و همکاری در انجام آزمون های تخصصی این پژوهش قدردانی می شود.

۶- منابع و مراجع

- [1] A.K. Tieu, Q. Zhu, C. Lu, □ An Investigation Into The Tribological Behavior of a Work Roll Material at High Temperature □, Wear 273 (2011) 43-48.
- [2] M. Brander, M. Windhager, K.H. Ziehgenger, □ Improvements in Plate Mill Work Rolls □ , Saruk 2008 Conference, Witbank, RSA.
- [3] J. Krawczyk, □ The Effect of Cast Steel Chemical Composition on Its Microstructure And Tribological Properties in Mill Rolls □ , Journal of Achievements in Materials And Manufacturing Engineering 47(2011) 137-148.
- [4] R.D. Merkado, J. Talamantes, J.H. Beynou, M.A.L. Hernandez, □ Modeling Surface Thermal Damage to Hot Mill Rolls □, Wear 263 (2007) 1560-1567.
- [5] P. Heisterkamp, □ Akers Manual for Plate Mill Work Rolls □ , 2007.
- [6] K.S. Kim, K.M. Nam, G.J. Kwak, S.M. Hwang, □ A Fatigue Life Model for 5% Chrome Work Roll Steel Under Multiaxial Loading □ , International Journal of Fatigue 26 (2004) 683- 689.
- [7] DIN 50125: Standard for Testing of Metallic Materials Tensile Test Pieces (2009-07) .
- [8] ASTM A536: Standard Specification for Ductile Iron Casting (2009).

[۹] م. مرعشی، "متالورژی کاربردی چدن ها"، ۱۳۸۱، تهران، انتشارات آزاده.



آشنایی با روش متالوگرافی غیر مخرب رپلیکا در صنعت نورد

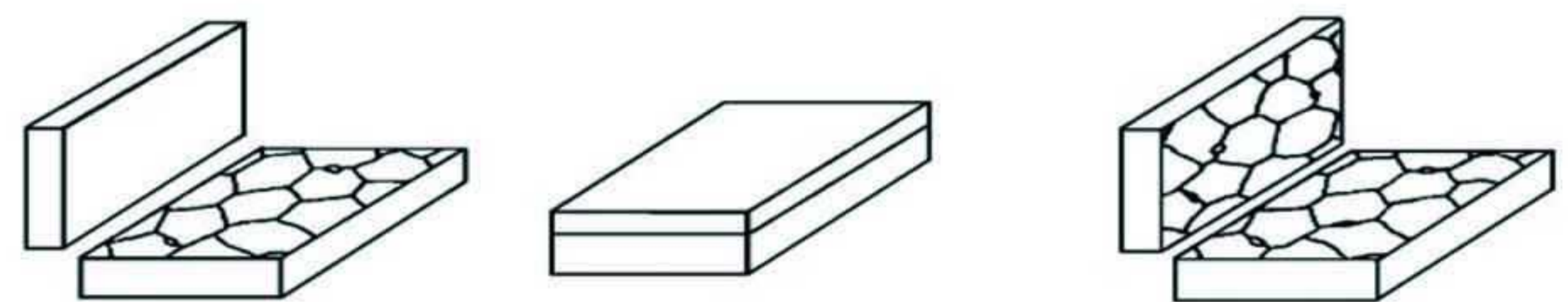
رضا آبدیده، ابراهیم یاقوت، سلمان حمیدی
 شرکت فولاد اکسین خوزستان

۱- مقدمه

رپلیکا یا متالوگرافی در محل، یک تکنیک غیرمخرب می باشد که می تواند هشدارهای اولیه جهت ایجاد بسیاری از عیوب مرتبط با ریزساختار را در صنایع مختلف ارائه نماید.

تست رپلیکا امکان شناسایی و تشخیص مکانیزم های تخریب از قبیل خزش، خستگی، ترک خوردگی تحت تنش، خوردگی هیدروژنی، خوردگی بین دانه ای، ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش، ترک خوردگی هیدروژنی و گرافیت شدن را در مراحل اولیه و همچنین امکان نظارت و مانیتورینگ این عیوب را با گذشت زمان فراهم نموده و فرآیند تصمیم گیری جهت تعمیر یا تعویض قطعات را تسهیل می نماید.

مراحل انجام تست رپلیکا



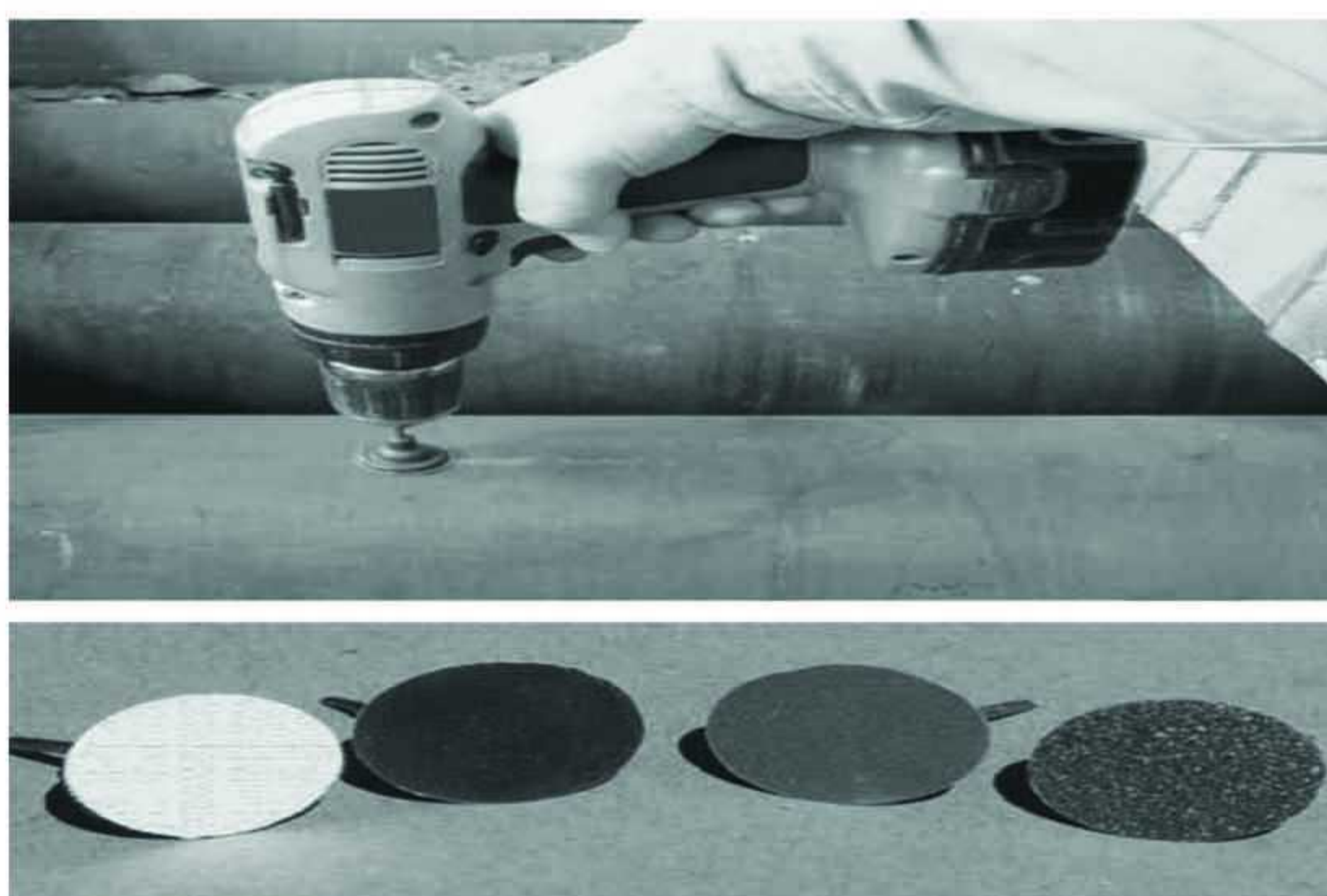
شکل 1

در متالوگرافی غیر مخرب مرحله آماده سازی سطحی نقش بسیار مهمی در موفقیت عملیات برعهده دارد. آماده سازی سطحی می تواند توسط روش های پولیش دستی، مکانیکی یا الکترولیتی انجام پذیرد. در این مورد می توان از استاندارد ASTM E3 استفاده کرد. البته باید این استاندارد با توجه به نیازهای متالوگرافی غیر مخرب مورد بازنگری قرار گیرد. لازم به یادآوریست که نکات ظریفی نیز در امر آماده سازی سطحی وجود دارد که حتماً باید مورد توجه قرار گیرد، از جمله اگر قطعه قبلاً با روش ذرات مغناطیسی (magnetic particle) مورد آزمایش قرار گرفته باشد حتماً باید دی مغناطیس شده و سپس عملیات آغاز گردد. از جمله مسائل دیگری که باید به آن توجه نمود مسئله لایه دی کربوره سطحی است. سختی قطعه در حین عملیات سمباده زنی باید توسط دستگاه سختی سنج پرتابل مورد بررسی قرار گیرد تا پس از اتمام

ناحیه دی کربوره، عملیات آماده سازی نهایی سطح و در نهایت مشاهده ساختار آغاز گردد. البته اگر هدف اولیه بررسی ناحیه دی کربوره باشد، مسلماً عملیات آماده سازی سطحی باید روی این ناحیه متمرکز گردد. از جمله نکات دیگری که توجه به آنها می تواند کیفیت متالوگرافی غیر مخرب را افزایش دهد دقت در برداشته نشدن رسوب ها، کاربیدها و آخالهای غیر فلزی (اکسیدها و سولفیدها) در حین عملیات پولیش است. در تصاویر زیر آماده سازی سطح، سمباده زنی و پولیش با روش ها و دستگاه های مختلف نشان داده شده است.



شکل 2



شکل 3

پس از آماده سازی سطحی، مرحله اچ کردن از اهمیت خاصی برخوردار می باشد که در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل 6



شکل 7

برای افزایش کنتراست رپلیکا در زیر میکروسکوپ (به ویژه در بزرگنمایی‌های پایین) معمولاً رپلیکا روی یک آینه قرار می‌گیرد. اگر رپلیکا نیاز به بررسی‌های SEM داشته باشد، استفاده از طلا به عنوان پوشش توصیه شده است (ASTM STP 547). در تهیه گزارش توجه به این موضوع لازم است که مشخصات ساختار باید به وضوح ذکر شود. مثلاً در مورد جوش باید ساختار



شکل 4

برای ارزیابی سطح آماده شده و همچنین اطمینان از اچ مناسب، سطح با یک میکروسکوپ پرتابل بررسی می‌شود (شکل زیر).



شکل 5

بعد از اچ کردن سطح مورد نظر، برای انجام تست رپلیکا می‌توان از نوار یا رزین رپلیکا و یا چسب سیلیکونی استفاده نمود. به طور کلی مساحتی در حدود 12×18 میلیمتر مربع برای تهیه رپلیکا در نظر گرفته می‌شود و سپس توسط یکی از دو روش زیر نسخه‌ای از توپوگرافی توسط رپلیکا ثبت می‌گردد:

- ۱- یک طرف فیلم پلاستیکی توسط حلال مناسبی نظیر استون یا متیل استات پوشیده شده و سپس روی ناحیه آماده سازی شده قرار می‌گیرد.

- ۲- سطح آماده شده توسط یک حلال مناسب (استون یا متیل استات) پوشیده می‌شود و سپس نوار پلاستیکی (معمولاً استات سلولز) روی آن قرار می‌گیرد.

در تهیه رپلیکا هم نکاتی باید مورد توجه قرار گیرد از جمله بلافاصله پس از آماده سازی سطح از رپلیکا استفاده گردد تا اثراتی نظیر اکسید شدن سطح یا آلودگی آن به رپلیکا منتقل نگردد. نکته حائز اهمیت دیگر این است که پس از خشک شدن فیلم پلاستیکی، باید آن را در محفظه‌ای خشک نگهداری کرد و آن را دور از هر گونه ضربه یا آسیب دیگری نگاه داشت. در شکل‌های زیر مراحل چسباندن نوار رپلیکا نشان داده شده است.

- ارزیابی خسارت وارد شده به تاسیسات و تجهیزات در اثر آتش سوزی
- تجزیه و تحلیل علل شکست قطعات

۳- مزایای تست متالوگرافی غیرمخرب رپلیکا در صنایع

- اطمینان از وضعیت مناسب متالورژیکی قطعات و تجهیزات
- تسهیل فرآیند تصمیم گیری جهت انجام تعمیرات بر روی قطعات
- گردآوری اطلاعات جهت بومی سازی قطعات
- اطمینان از صحت عملیات حرارتی انجام شده
- نظارت و مانیتورینگ بر عیوب قطعات و تجهیزات
- تعمیرات پیشگیرانه و کنترل کیفیت قطعات
- عملیات ایمن و قابل اعتماد

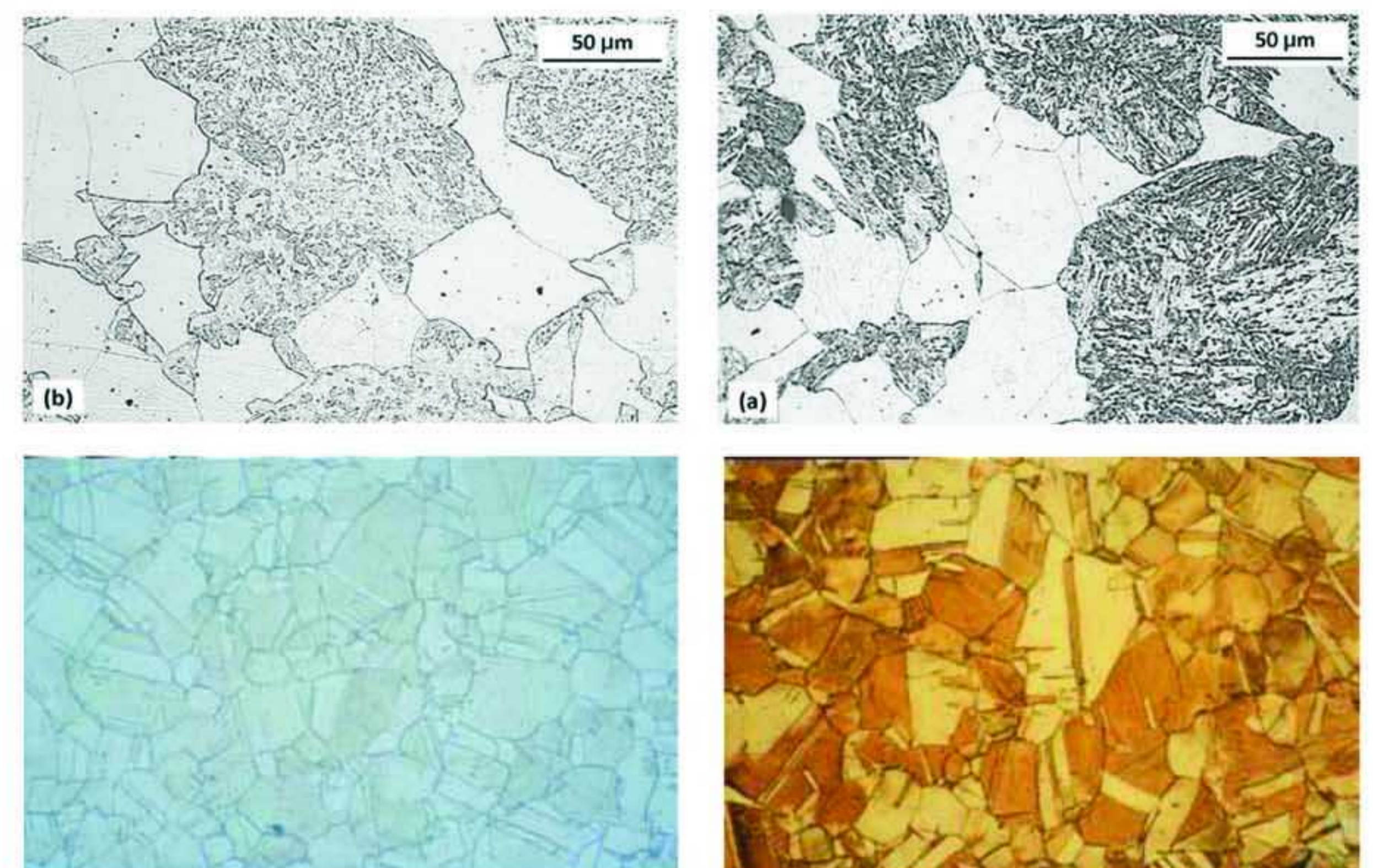
۴- برخی از عیوب قابل شناسایی توسط ارزیابی ریزساختار و انجام تست رپلیکا

- گرافیت شدن
 - تخریب ریزساختار پرلیت
 - خزش
 - خستگی حرارتی
 - اکسیداسیون
 - رشد دانه
 - خوردگی هیدروژنی
 - ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش
- در ادامه به بررسی تفصیلی این عیوب قابل شناسایی توسط روش متالوگرافی رپلیکا می پردازیم.

الف) گرافیت شدن

به طور کلی گرافیت شدن به دلیل شکل گیری کربن آزاد (گرافیت) در چدن یا فولاد اتفاق می افتد. به تشکیل گرافیت در مرحله انجماد گرافیت شدن اولیه گفته می شود. به تشکیل گرافیت از کاربیدهای فلزی نیمه پایدار در فرایند انجماد گرافیت شدن

فلز پایه، فلز جوش و ناحیه متأثر از جوش (HAZ) حداقل در ناحیه‌ای به طول ۱۳ میلیمتر بررسی گردد. در ضمن تمام مرز دانه ها، رسوبهای مرزدانه ای، ترکها و حفره ها باید در حد امکان به وضوح مشخص شده باشند. رسوبها و آخالهایی که بزرگتر از ۰/۱ میکرون می باشند باید به طور کامل روی رپلیکا ثبت شده باشند. در ضمن همانطور که قبلاً نیز اشاره شد کاربیدهای اولیه و ثانویه، کربونتریدها یا آخالهای غیر فلزی نباید در مرحله پولیش یا اچ از بین رفته باشند. معمولاً بررسی ها بر روی رپلیکا برای میکروسکوپ نوری در بزرگنمایی ۵۰ تا ۱۰۰۰ برابر و برای بررسی با SEM در دامنه ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ برابر گزارش می شوند. در شکل های زیر تصاویر ریزساختارهای بدست آمده از متالوگرافی و رپلیکا نشان داده شده است.

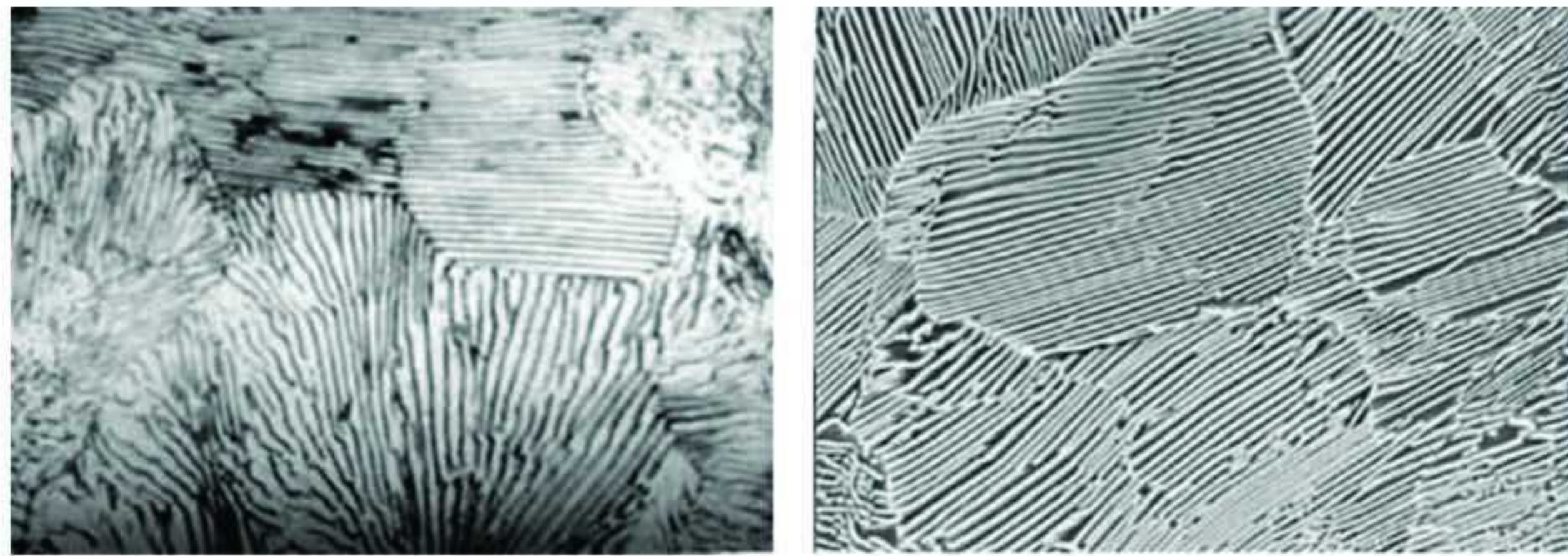


شکل ۸

۲- موارد استفاده از روش متالوگرافی غیرمخرب رپلیکا

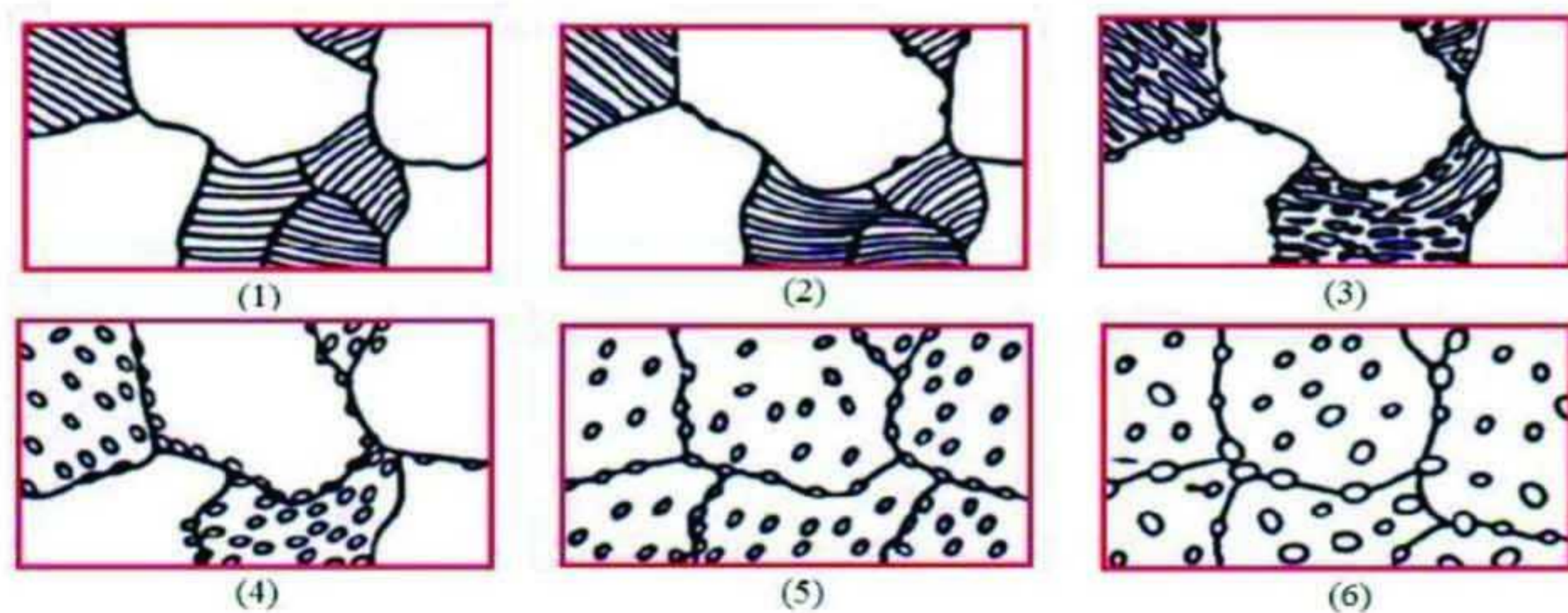
- کنترل کیفیت فرایندهای متالورژیکی از قبیل عملیات حرارتی که روی قطعات و تجهیزات انجام شده است.
- گردآوری اطلاعات جهت تصمیم گیری و انجام مناسب تعمیرات جوشکاری
- فراهم نمودن اطلاعات به منظور بومی سازی قطعات وارداتی
- ارزیابی عمر باقیمانده
- ارزیابی ایمنی تجهیزات و قطعات حساس حین سرویس در پالایشگاه های نفت و گاز، مجتمع های فولادی، مجتمع های پتروشیمی و نیروگاهی که در دما و فشار بالا کار می کنند.

تبدیل می شوند که سبب افت شدید خواص مکانیکی فولاد می شود و با توجه به تنش اعمالی با کاهش خواص مکانیکی فولاد خطر بروز شکست افزایش می یابد. در شکل زیر تصویر میکروسکوپ نوری و الکترونی از یک ریز ساختار پرلیتی که لایه های سمنتیت را در زمینه فریت نشان می دهد، آورده شده است.



شکل 10

تخریب ریز ساختار پرلیت در شکل زیر به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل 11

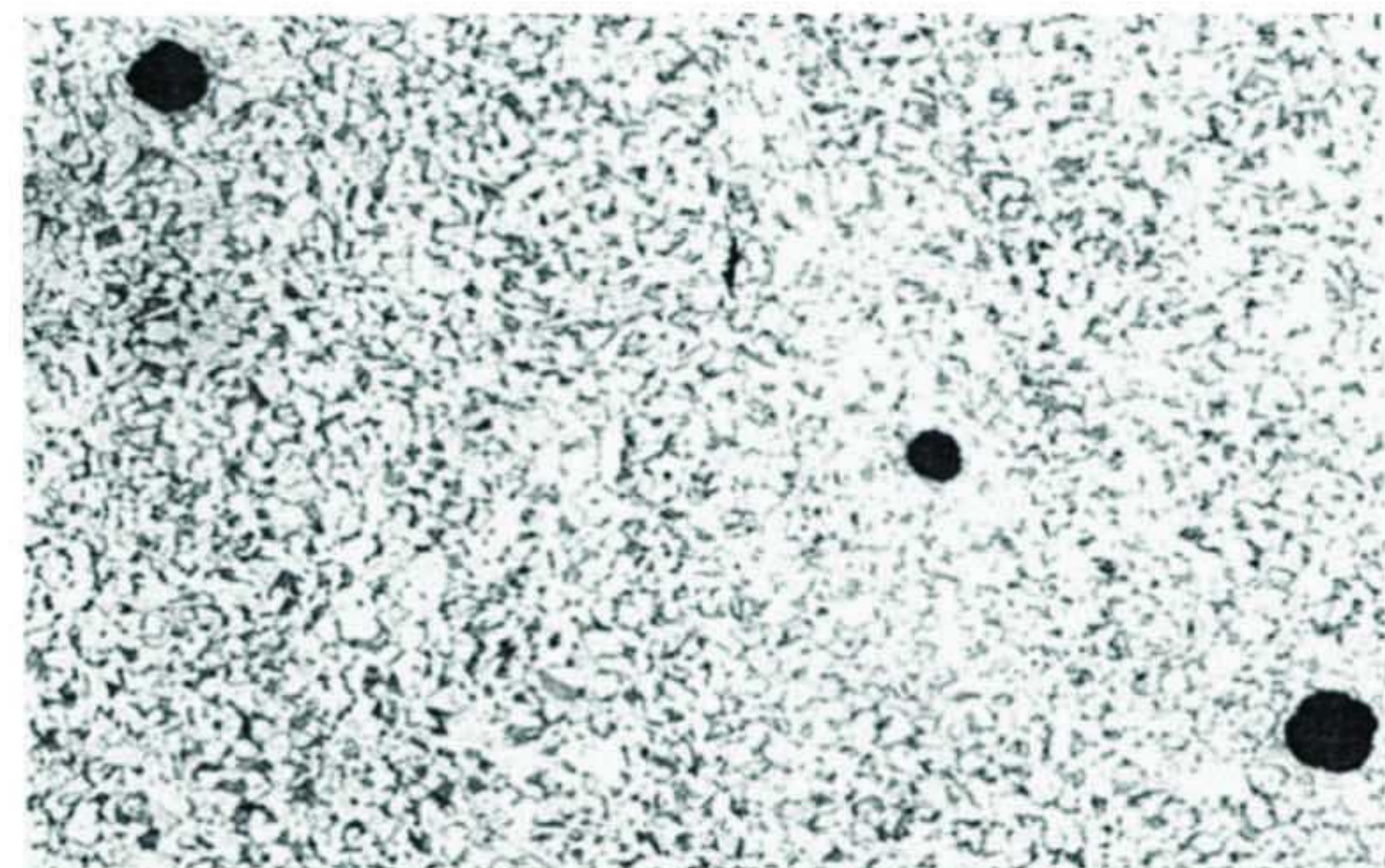
توضیح شکل: ۱- ریز ساختار اولیه فریتی-پرلیتی، ۲- شروع کرووی شدن و رسوب کاربیدها در مرز دانه ها، ۳- افزایش کرووی شدن و تبدیل لایه های سمنتیت به کاربیدهای کرووی، ۴- پایان کرووی شدن در این مرحله پرلیت کاملاً به کاربید تبدیل شده است، ۵- توزیع همگن کاربیدهای کرووی در زمینه و از بین رفتن ساختار فریت-پرلیتی، ۶- بهم پیوستن و درشت شدن کاربیدها

ج) خزش

یکی دیگر از کاربردهای تست رپلیکا ارزیابی مکانیزم تخریب خزش و محاسبه عمر باقیمانده تجهیزاتی از قبیل کوره ها، روتور و پره های توربین ها، تیوب ها و قطعات بویلرها و ... که برای مدت طولانی در معرض دمای بالا، تنش ناشی از سیال فرآیندی و محیط خوردنده می باشند. بر اساس تعداد حفرات خزشی بدست آمده از تست رپلیکا در فواصل زمانی مختلف و مقایسه آن با تصاویر

ثانویه گفته می شود. این نوع گرافیت شدن می تواند از تجزیه پرلیت در دماهای بالا و تبدیل سمنتیت به گرافیت و آهن ایجاد می شود. تشکیل ناخواسته گرافیت (گرافیت شدن ثانویه) حین سرویس دهی در فولادهای کربنی و کم آلیاژی که برای مدت طولانی در دماهای بالا کار می کنند اتفاق می افتد. برخلاف چدن ها (گرافیت شدن اولیه) که درون ساختار اولیه خود دارای مقادیر بالایی گرافیت هستند بسیار زیان آور بوده و روی خواص مکانیکی آنها اثر نامطلوبی می گذارد. در فولادهای کربنی و کم آلیاژی با توجه به ترکیب شیمیایی، ریزساختار و درجه حرارت علاوه بر گرافیت شدن احتمال کرووی شدن کاربیدها نیز وجود دارد. با افزایش دما احتمال کرووی شدن بیشتر می شود.

گرافیت شدن منجر به تردی فولاد و کاهش استحکام آن می شود که اگر به موقع تشخیص داده نشود منجر به شکست فاجعه آفرین خواهد شد. احتمال گرافیت شدن همواره در کوره ها، مبدل ها، لوله ها و دیگ های بخار و ... و به طور کلی در تمامی فولادهای کربنی و کم آلیاژی که در دماهای بالا کار می کنند وجود دارد. تشکیل دانه های گرافیت در ریزساختار یک بویلر در شکل زیر نشان داده شده است.

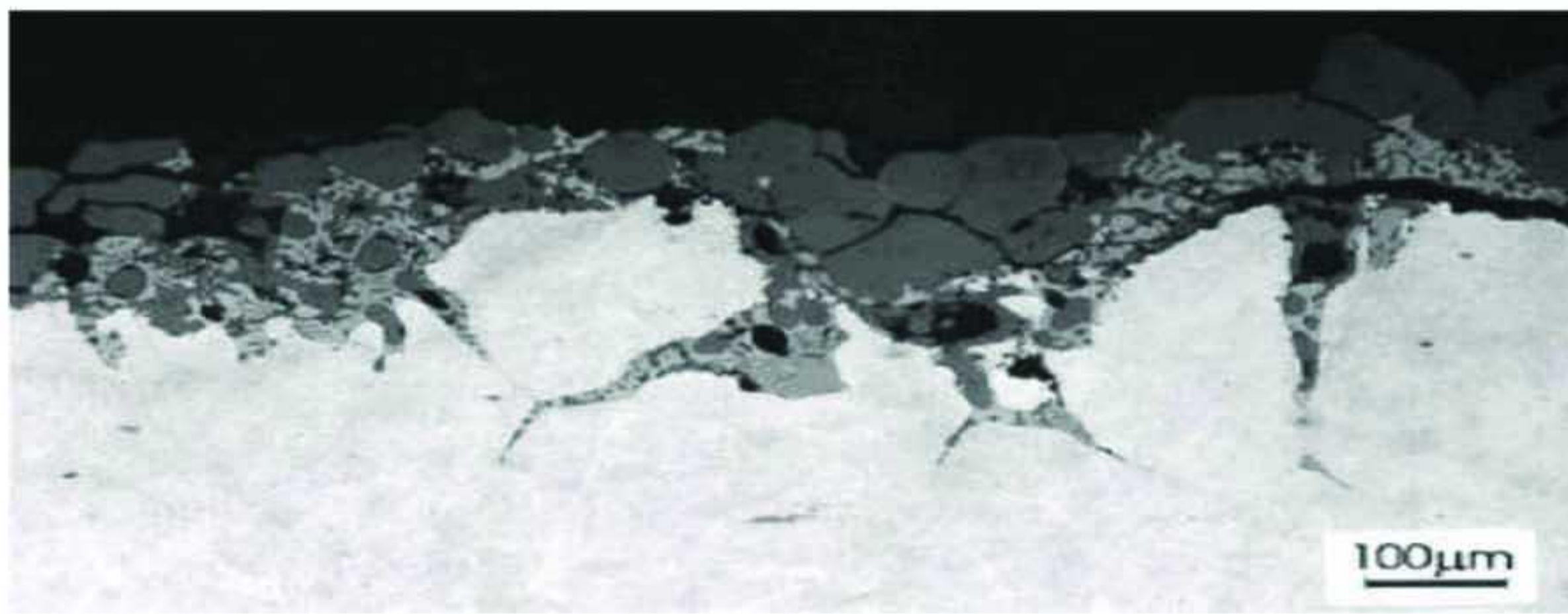


شکل 9

ب) تخریب ریزساختار پرلیت

فولادهای کربنی با ریزساختار پرلیت یا فولادهای کم آلیاژی (بینیت/پرلیت) که برای مدت زمان طولانی در دماهای بالا قرار می گیرند ممکن است دچار تخریب گردند. ریز ساختار پرلیت که از لایه های سمنتیت در زمینه فریت تشکیل شده است با گذشت زمان تخریب و لایه های سمنتیت به کاربیدهای کرووی شکل

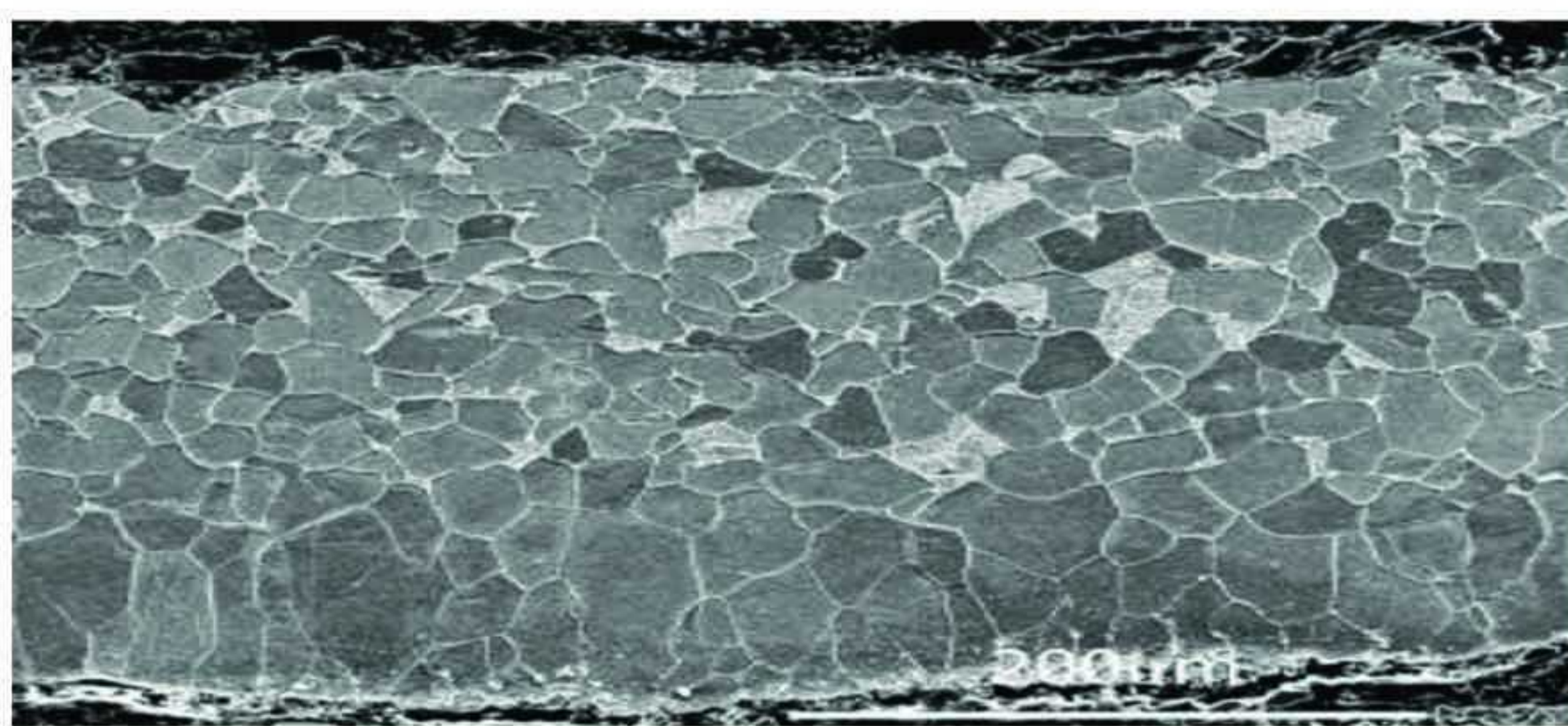
قطعه می گردد. این پدیده در مناطق حرارت دیده ی منطقه جوشکاری شده نیز رخ می دهد. با استفاده از نمونه برداری رپلیکا و آنالیز نمونه با میکروسکوپ الکترونی می توان مکانیزم خوردگی، نوع و مواد ایجاد کننده آن را مورد بررسی قرار داد و با توجه به نتایج بدست آمده اقدامات لازم را جهت کنترل یا حذف خوردگی اعمال نمود. اکسیداسیون و ذوب بین دانه ای به دلیل وجود سولفید آهن در ریزساختار در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل 12

(و) رشد دانه

در بسیاری از فولادها و آلیاژها، ریزدانه کردن جهت بهبود خواص مکانیکی مخصوصاً تافنس بکار می رود. رشد دانه ها به دلیل بازیابی و تبلور مجدد رخ می دهد. عواملی مانند افزایش ناخواسته درجه حرارت تجهیز طی فرایند، جوشکاری جهت تعمیر و ... می تواند باعث رشد دانه ها و در نتیجه کاهش خواص مکانیکی و افزایش احتمال شکست شود. رشد دانه ها در قسمت پایین نمونه به دلیل قرار گرفتن سطح در معرض درجه حرارت بالا در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل 13

(ز) خوردگی هیدروژنی

خوردگی هیدروژنی یکی از مکانیزم های تخریب در دمای بالاست که میتواند باعث شکست های بسیار مخربی گردد، لذا باید توجه ویژه ای در زمینه منشا حمله هیدروژنی، انتخاب مواد و ... به منظور تشخیص به موقع و مراقبت وضعیت مناسب تجهیزات مستعد خوردگی هیدروژنی صورت گیرد.

و نمودارهای استاندارد امکان ارزیابی عمر خزشی و تسهیل تصمیم گیری جهت تعمیر یا تعویض قبل از کارافتادگی این تجهیزات فراهم می شود.

(د) خستگی

بسیاری از سازه ها و قطعاتی که با جنس های مختلف در نیروگاه ها، صنایع پتروشیمی، هوایی و غیره به کار می روند، تحت بارگذاری های نوسانی مختلف مکانیکی و حرارتی قرار دارند. وقتی قطعات تحت چرخه های حرارتی دما داغ و بطور همزمان تحت چرخه های مکانیکی قرار می گیرند، فرایند خستگی حرارتی مکانیکی منجر به ایجاد آسیب های ریز ساختاری و نهایتاً شکست قطعه می گردد.

همچنین گرم و سرد شدن ناگهانی با اختلاف دما به بالا که می تواند بنابر دلایل مختلفی ایجاد شود سبب ایجاد خستگی حرارتی می شود. ترک خوردگی خستگی یکی از مکانیسم های آسیب اولیه اجزای ساختاری در قطعات و تجهیزات است.

ارزیابی ریزساختار و همچنین جوانه زنی و رشد ترک ها که با استفاده از تست غیر مخرب رپلیکا بدست می آید، می تواند کمک زیادی به تجزیه و تحلیل الگوهای ارزیابی عمر خستگی و مکانیک شکست در قطعات مختلف نماید.

(ه) اکسیداسیون

اکسیداسیون نوعی خوردگی است که در دماهای بسیار بالا (۱۲۵۰ - ۷۰۰ درجه سانتیگراد) رخ می دهد. تجهیزات و تاسیساتی که در صنایع مختلف در دماهای بالا کار می کنند تماس سطوح این تجهیزات با گازهایی با درجه حرارت بالا سبب خوردگی و اکسید شدن و در نتیجه افت شدید خواص مکانیکی آنها می گردد که در نهایت منجر به بروز شکست این تجهیزات خواهد شد.

در کوره ها، توربین ها و محفظه های احتراق و ... که گازهایی با دماهای بسیار بالا سوزانده می شود و نیز در تجهیزات و قطعاتی که ناخالصی هایی با دماهای ذوب پایین وجود دارد، اکسیداسیون منجر به ذوب شدن این ترکیبات و کاهش استحکام

تاول های هیدروژنی ایجاد شده به دلیل نفوذ هیدروژن به درون حفرات در عکس زیر نشان داده شده است.



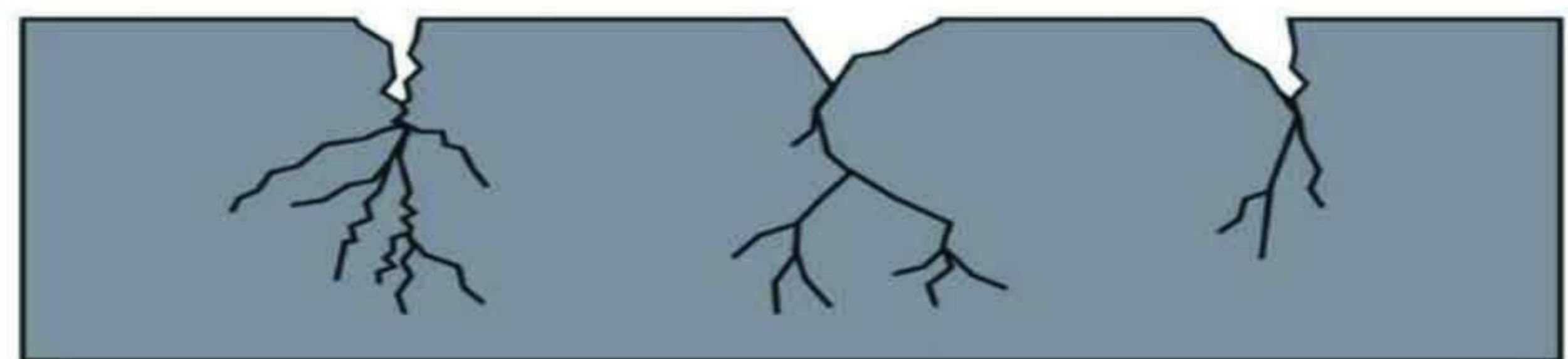
شکل 14

ح) ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش

در این مکانیزم شکست، خوردگی با تنش های اعمالی یا تنش های باقیمانده در قطعه بنابر دلایلی از قبیل کار سرد، جوشکاری، عملیات حرارتی و یا ماشینکاری ترکیب شده و در نهایت سبب بروز شکست تجهیز می شود. نوع ترک می تواند بین دانه ای یا درون دانه ای باشد. وجود عوامل خوردنده در محیط این شکست را شدت می دهند.

باتوجه به اینکه ترک های اولیه بسیار ریز و تشخیص آنها در مراحل اولیه بسیار مشکل می باشد با استفاده از تست رپلیکا می توان در مراحل اولیه این عیب را شناسایی و اقدامات اولیه را اعمال نمود.

در شکل زیر تشکیل این نوع مکانیزم شکست بصورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل 15

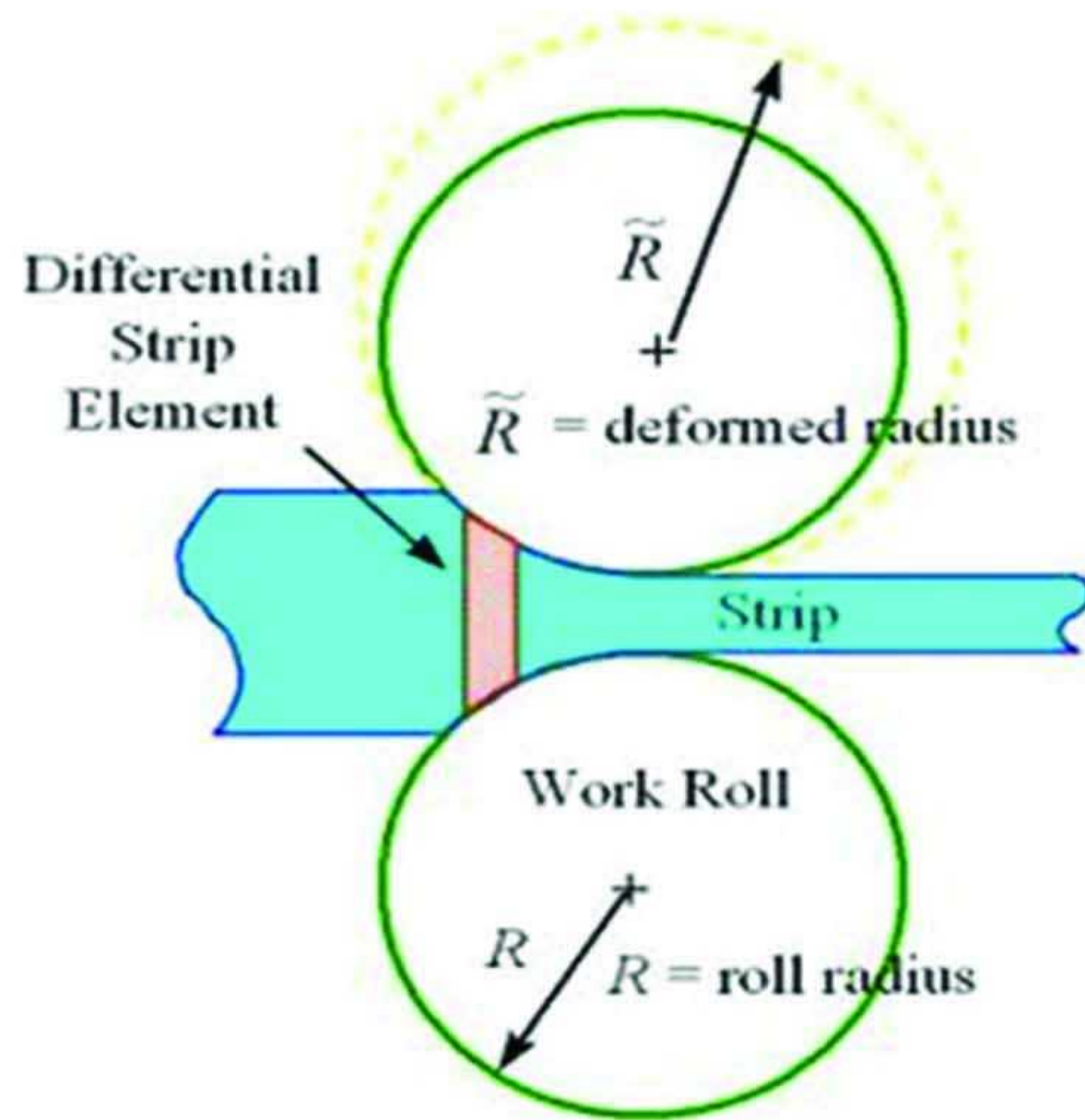
آشنایی با جهت گیری ترجیحی ریزساختار (بافت کریستالی) در فرآیند نورد

خلیل اله قیصری

استادیار گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۱- آشنایی با بافت کریستالی

در شکل ۱ فرآیند نورد به عنوان یکی از مهمترین فرآیندهای تغییر شکل پلاستیک نشان داده شده است [۱،۲،۳،۴].



شکل ۱- فرآیند نورد

فرآیند نورد ورق به عنوان نام آشنا ترین فرآیند ایجاد بافت کریستالی شناخته شده است. با توجه به شکل، دانه ها در جهت نورد کشیده شده است. کشیده شدن دانه ها در جهت نورد را بافت ظاهری (Morphological texture) می نامیم که به کمک میکروسکوپ ها قابل مشاهده است.

اما علاوه بر این کشیدگی دانه ها جهت گیری کریستالی آنها نیز تغییر کرده (Crystallographic texture) به نحوی که صفحات کریستالی خاصی به موازات جهت نورد قرار می گیرند. منظور ما از بافت کریستالی، این تغییر در جهت گیری کریستالی ماده ای است که با روش پراش پرتو ایکس قابل مطالعه می باشد.

در یک ساختار پلی کریستال، هر دانه جهت گیری کریستالی (Crystallographic orientation) خاص خود را دارد که با دانه های اطراف متفاوت است.

جهت گیری کریستالی دانه ها می تواند به طور کاملاً تصادفی در کل نمونه توزیع شده باشد.

در این صورت نمونه فاقد یک جهت گیری کریستالی خاص است. اما توزیع جهت گیری کریستالی در درون یک نمونه می تواند از حالت تصادفی فاصله بگیرد، به طوریکه یک یا چند جهت گیری کریستالی خاص در نمونه برجسته و یا غالب گردد.

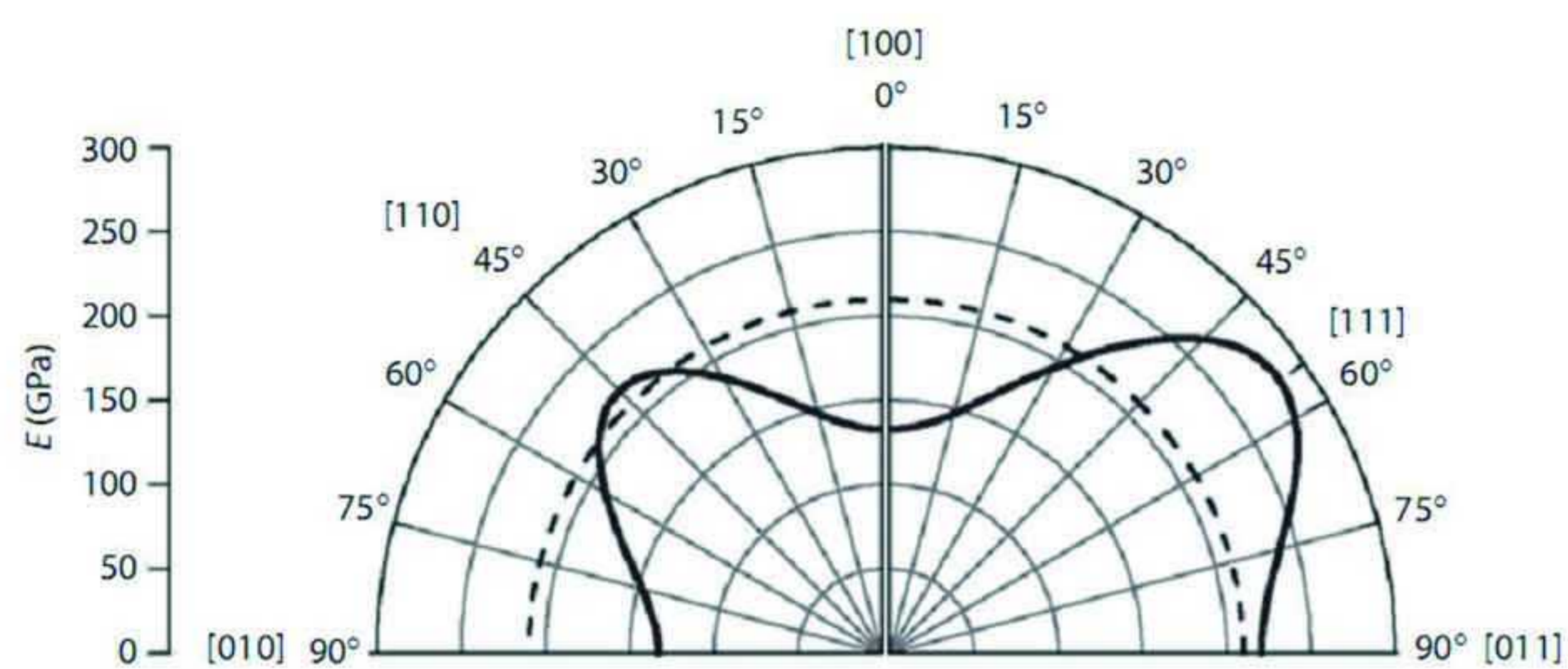
در این شرایط گفته می شود که نمونه حاوی بافت کریستالی (Crystallographic texture) یا جهت گیری ترجیحی (Preferred orientation) است [۱،۲،۳].

۲- عوامل ایجاد کننده بافت کریستالی

بافت کریستالی می تواند در اثر عوامل مختلفی ایجاد شود. یکی از این عوامل ایجاد بافت، تغییر شکل پلاستیک ماده است. در اثر تغییر شکل پلاستیک، دانه ها (واحدهای کریستالی) شروع به چرخش می کنند تا صفحات لغزش (صفحات فشرده) جهت گیری مناسبی نسبت به محور اعمال نیرو داشته و پدیده لغزش با کمترین اعمال انرژی صورت گیرد.

چرخش دانه های مجاور یکدیگر به منظور بروز پدیده لغزش، به ایجاد یک جهت گیری مرجح کریستالی در نمونه منجر می شود که به آن بافت ناشی از تغییر شکل یا به طور ساده تر بافت تغییر شکل (Deformation texture) گفته می شود.

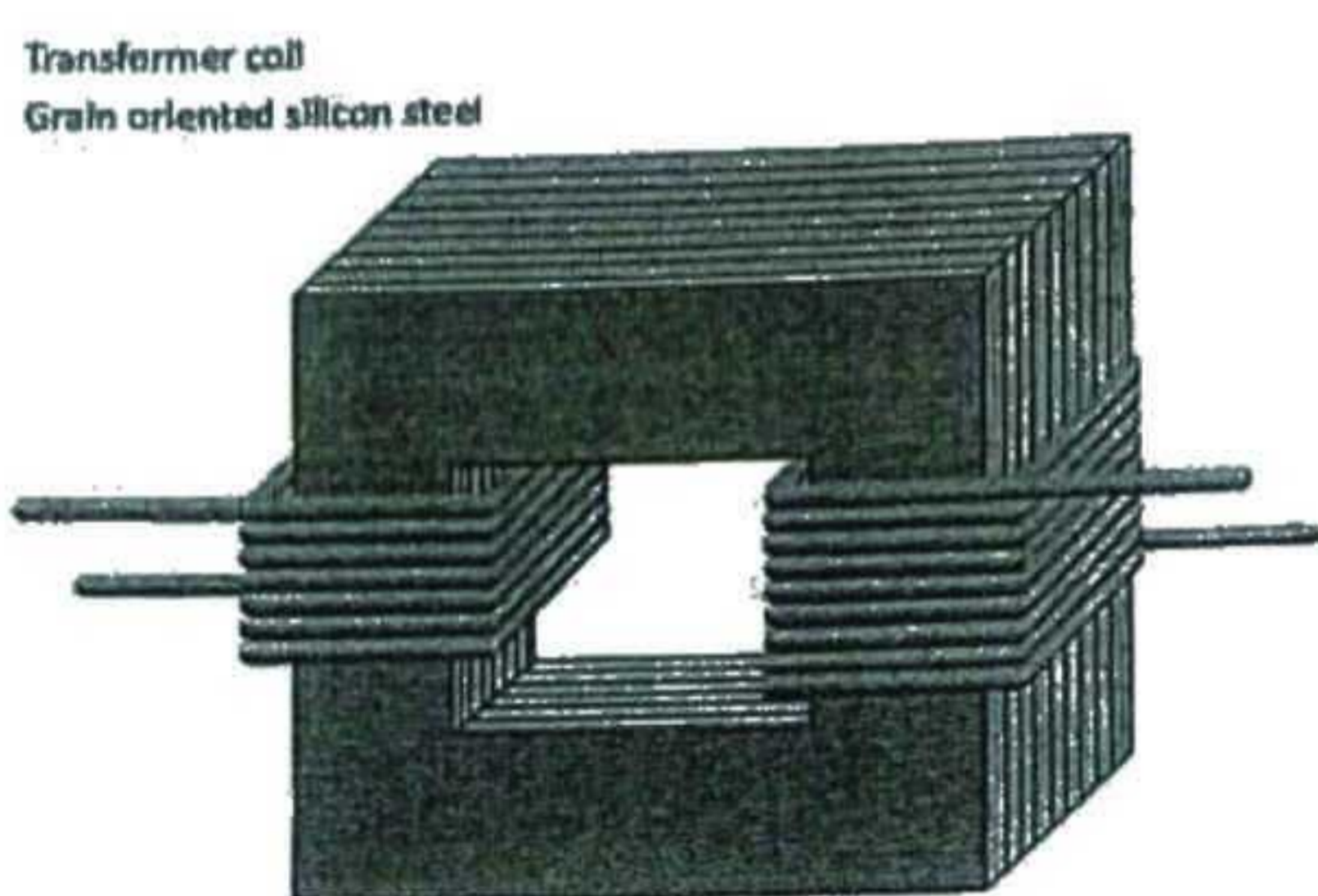
اما کم و بیش این وابستگی خاص فیزیکی و مکانیکی را به جهات هندسی بدلیل ایجاد بافت کریستالی نشان می دهد. برخی از ویژگی های ماده که تابع بافت کریستالی است عبارت است از: مدول یانگ ضریب پواسیون، استحکام، انعطاف پذیری، چقرمگی، نفوذپذیری مغناطیسی، انبساط حرارتی در ساختارهای غیرمکعبی



شکل ۲- وابستگی مدول یانگ به جهت کریستالی در ساختار تک کریستال آهن. مقدار مدول یانگ در ساختار بدون بافت کریستالی برابر با ۲۱۰ گیگا پاسکال است که به صورت خط چین در این شکل نشان داده شده است [۲].

ایجاد بافت کریستالی که به ناهمسانگری خواص ماده می انجامد، می تواند مفید یا مضر قلمداد گردد.

یکی از موارد صنعتی که حضور بافت کریستالی مفید قلمداد می شود. آلیاژ $Fe-3\%Si$ که به صورت ورق با روش نورد تهیه شده و به عنوان هسته موتورهای الکتریکی و ترانس ها مورد استفاده قرار می گیرد (شکل ۳).



شکل ۳- هسته ترانس متشکل از ورقه های آلیاژ $Fe-3\%Si$ با یک بافت

کریستالی مشخص [۲].

یکی از ویژگی هایی که در انتخاب این آلیاژ در نظر گرفته شده، نفوذپذیری مغناطیسی است. نفوذپذیری مغناطیسی تابع جهت کریستالی است. در شکل ۴ قسمتی از حلقه هیستریزس این آلیاژ در راستای جهت کریستالی مختلف نشان داده شده است. شیب منحنی معادل با نفوذپذیری مغناطیسی است. با توجه به شکل، جهت

بافت تغییر شکل، در اثر تغییر شکل ماده در دمای پایین (کارسرد) ایجاد می شود. انتظار می رود که اعمال دما به علت فعال شدن پدیده تبلور مجدد، آرایش جدیدی از دانه ها را جایگزین دانه های قدیمی نماید و اثر بافت کریستالی را از بین ببرد. اگرچه این انتظار ما به واقعیت می پیوندد، اما این ساختار جدید نیز دارای بافت کریستالی جدیدی می گردد که به آن بافت ناشی از تبلور مجدد یا به طور ساده تر، بافت تبلور مجدد (Recrystallization texture or Annealing texture) گفته می شود. اگرچه مشخصات کریستالی این بافت متفاوت با بافت ناشی از تغییر شکل پلاستیک است. اما این بافت به علت اثر بافت تغییر شکل در جوانه زنی و رشد دانه های جدید ایجاد می گردد.

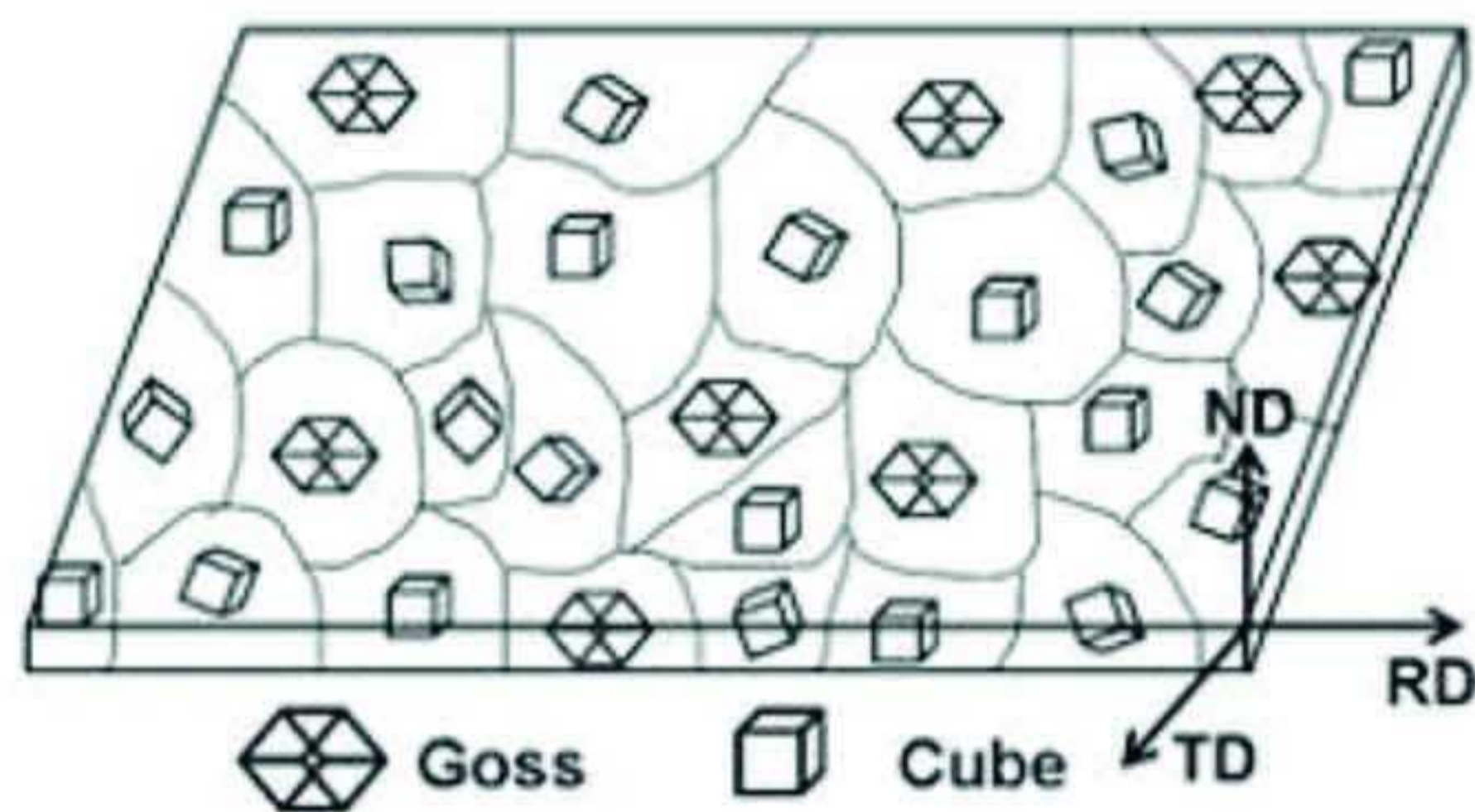
یکی دیگر از عوامل ایجاد بافت کریستالی انجماد جهت دار است. در این نوع انجماد، دانه های ستونی در جهت کریستالی خاص به موازات جهت انتقال حرارت رشد می کند. در ساختارهای کریستالی مکعبی، جهت ترجیحی رشد دانه ها، جهت $\langle 100 \rangle$ است [۱،۲،۳،۴].

۳- اثر بافت کریستالی بر خواص مواد

بافت کریستالی از هر نوع که باشد، خواص فیزیکی و مکانیکی ماده را تحت تاثیر قرار می دهد. یک ماده پلی کریستال با توزیع تصادفی دانه ها، از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی همسانگرد است. یعنی خواص فیزیکی و مکانیکی آن تابع جهات هندسی ماده نیست. برعکس تمام مواد تک کریستال، از نظر فیزیکی و مکانیکی ناهمسانگرد محسوب می شود، به این معنا که خواص فیزیکی و مکانیکی تابع جهات هندسی ماده است، زیرا هر جهت هندسی نزدیک یا منطبق به یک جهت کریستالی خاص است و خواص فیزیکی و مکانیکی با تغییر جهت کریستالی تغییر می کند. شکل ۲ نمونه ای از تابعیت خواص ماده با جهات کریستالی را نشان می دهد. در این شکل تغییرات مدول یانگ با تغییر در جهت کریستالی برای آهن تک کریستال نشان داده شده است. ماده تک کریستال را می توان ساختاری با $[100]$ درصد بافت کریستالی در نظر گرفت. اگرچه درجه بافت کریستالی در نمونه های صنعتی ممکن است به مراتب کمتر از این حالت ایده آل باشد،

۴- نحوه نمایش بافت کریستالی

بافت کریستالی در یک ورق نورد شده به تغییر آرایش کریستالی دانه ها می انجامد. تغییر در آرایش کریستالی دانه ها در ساده ترین حالت خود به گونه ای است که در بیشتر دانه ها صفحه کریستالی مشخص (hkl) (یا صفحات کریستالی مشخص (hk1) تقریباً به موازات صفحه ورق قرار گرفته (عمود بر جهت بردار نرمال ورق، (N) و جهت مشخص [UVW] آنها (یا جهات مشخص <uvw>) در این صفحه تقریباً به موازات جهت نورد (جهت RD) قرار می گیرد (شکل ۶). این بافت کریستالی به صورت <hkl>[uvw] و در برخی کتاب ها به صورت <hkl>{uvw} نمایش داده می شود.

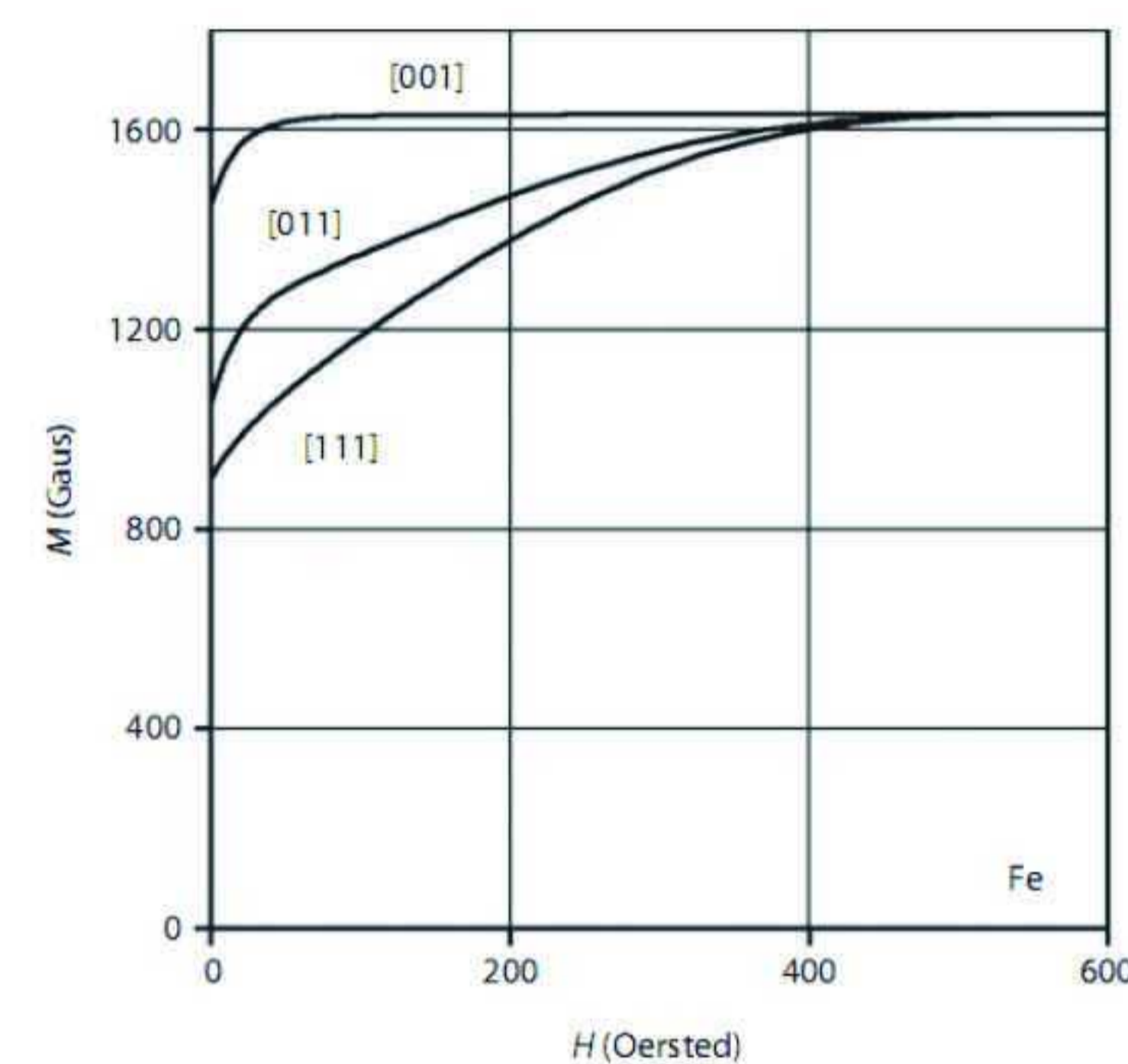


شکل ۶- بافت کریستالی مکعبی <۱۰۰> {۰۰۱} به همراه بافت کریستالی گو <۰۰۱> {۱۱۰} در ورق نورد شده آلیاژ **Fe-3w%Si**

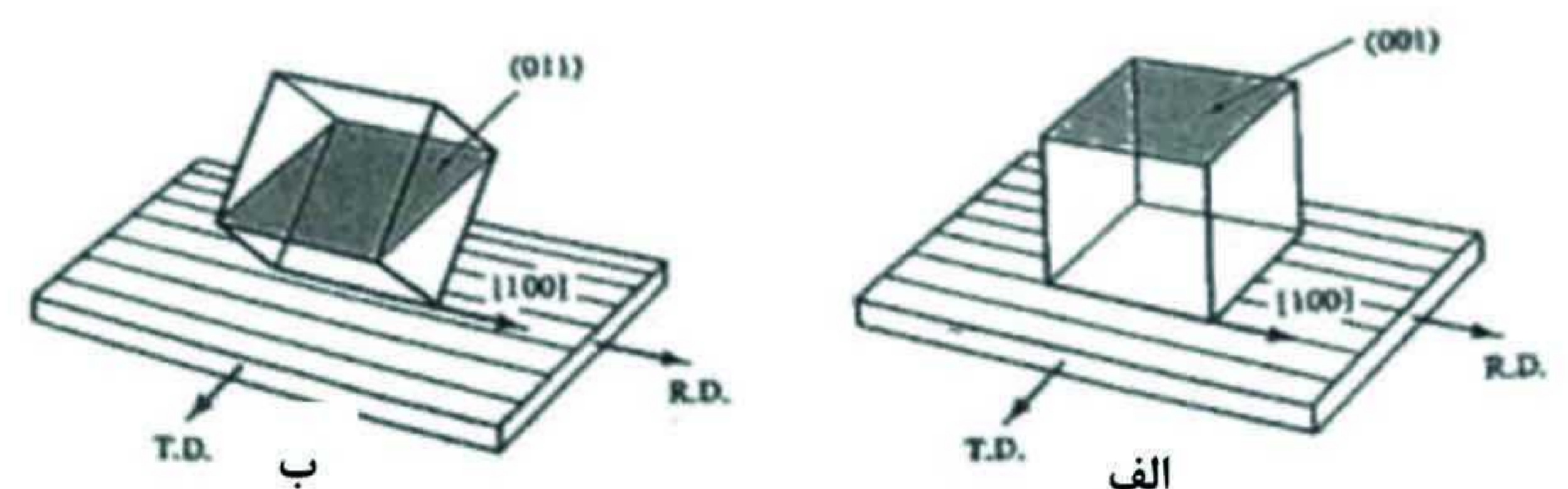
اکنون به تصاویر شکل ۵ مراجعه کنید. با توجه به شکل بدیهی است که بافت کریستالی شکل ۵ (الف) به صورت [۱۰۰] {۰۰۱} یا در حالت کلی تر به صورت <۱۰۰> {۰۰۱} و بافت کریستالی شکل ۵ (ب) به صورت {۱۰۰} {۰۰۱} یا در حالت کلی تر به صورت <۱۰۰> {۰۱۱} و بافت کریستالی شکل ۵ (ب) به صورت [۱۰۰] {۰۱۱} یا در حالت کلی تر به صورت <۱۰۰> {۰۱۱} است.

بافت کریستالی در مواردی که یک جهت کریستالی مهم دارند؛ نظیر سیم، لوله و پوشش های نازک، تنها با جهت کریستالی [uvw] نشان داده می شود. بافت کریستالی [uvw] در این موارد به این معناست که آرایش کریستالی در ساختار به گونه ای تغییر کرده که جهت کریستالی [uvw] بیشتر دانه ها تقریباً به موازات جهت محور اصلی قرار گرفته است. محور اصلی در فرایندهای مثل کشش سیم (کشش لوله)، فشار ساده، پوشش دهی و

<۱۰۰> بیشترین نفوذپذیری مغناطیسی را داشته و به جهت نرم کریستالی معروف است. اگر فرایند نورد به نحوی هدایت گردد که همه یا بخش اعظم دانه ها به نحوی آرایش کریستالی پیدا کنند که جهت <۱۰۰> آنها منطبق بر جهت نورد گردد، در اینصورت بافت کریستالی مطلوب حاصل می شود و ورق تولیدی بیشترین نفوذ پذیری مغناطیسی (بیشتر از حالت بدون بافت) را در جهت نورد خواهد داشت خوشبختانه این نوع بافت کریستالی قابل دسترسی است و در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۴- اثر ناهمسانگردی کریستالی در نفوذپذیری مغناطیسی جهت <۱۰۰> علاوه بر اینکه بیشترین نفوذپذیری مغناطیسی را داشته، کمترین مساحت زیر حلقه هیستریزس را نیز دارد، بنابراین کمترین تلفات مغناطیسی را نیز دارا است [۲،۴].



شکل ۵- ایجاد بافت کریستالی در ورقی از آلیاژ **Fe-۳%Si** که تحت فرآیند نورد قرار گرفته شده است [۲،۴].

در شکل ۵ در هر دو بافت جهت [۱۰۰] در جهت نورد قرار گرفته است؛ اما در شکل ۵ (الف) صفحه کریستالی (۰۰۱) به موازات سطح ورق است و در شکل ۵ (ب) صفحه (۰۱۱) به موازات سطح ورق قرار گرفته است. بنابراین بافت کریستالی شکل (الف) به صورت [۱۰۰] {۰۰۱} یا در حالت کلی تر <۱۰۰> {۰۰۱} و بافت کریستالی شکل (ب) به صورت (۱۰۰) {۰۱۱} یا در حالت کلی تر <۱۰۰> {۰۱۱} نمایش داده می شود. بافت <۰۰۱> {۱۱۰} به بافت گوس معروف است [۲،۴].

پرتوایکس است و این روش اطلاعاتی در مورد نحوه توزیع دانه ها و جهت گیری کریستالی هر دانه نسبت به دانه مجاور را نمی دهد. به همین خاطر به بافت به دست آمده از روش پراش پرتوایکس، ماکروباخت کریستالی هر دانه نسبت به دانه مجاور را نمی دهد. به همین خاطر به بافت به دست آمده از روش پراش پرتوایکس، ماکروباخت (macrotexture) نیز گفته می شود. اما اگر ما به دنبال نحوه جهت گیری کریستالی تک تک دانه ها، رابطه کریستالی بین فازها، اندازه، شکل و موقعیت دانه ها هستیم، بایستی از روش های پراش الکترونی استفاده کنیم. این اطلاعات کریستالی که در مجموع میکروباخت (microtexture) نامیده می شود به کمک میکروسکوپ های الکترونی رویی (SEM) و عبوری (TEM) قابل دست یابی است. امروزه روش پراش الکترون برگشتی (EBSD) که به عنوان یک مجموعه جانبی به میکروسکوپ الکترونی رویی (SEM) ملحق میگردد، اطلاعات کمی بسیار جالبی از ریزساختار ماده در اختیار ما قرار می دهد، به همین خاطر این روش در سال های اخیر ابزار اصلی بسیاری از تحقیقات بافت شناسی شده است. اگرچه توسعه روش های پراش پرتوایکس یکه تازی می کند. در این نوشتار منظور ما از بافت کریستالی در واقع ماکروباخت است و تنها آنالیز بافت های به دست آمده از روش پراش پرتوایکس را مورد ارزیابی قرار می دهیم [۱].

به طور کلی از سه روش برای نمایش بافت کریستالی استفاده می شود. این روش ها عبارت است از:

۱-۶- تصویر قطبی (Pole figure, PF)

۲-۶- تابع توزیع جهتگیری (Orientation distribution function)

۳-۶- تصویر قطبی معکوس (Inverse pole figure, IPF)

در ادامه به بررسی تفصیلی این روش ها می پردازیم.

۱-۶- تصویر قطبی (Pole figure, PF):

تصویر قطبی (Pole figure, PF) یک صفحه استریوگراف (استریوگرام) با جهتگیری مشخص نسبت به نمونه است که موقعیت قطبی یک دسته صفحه مشخص $\{hk1\}$ مربوط به تمام دانه های نمونه را

و ریخته گری جهت دار به ترتیب محور سیم، محور عمود بر صفحه اعمال فشار، محور عمود بر پوشش و محوری در امتداد رشد دانه های ستونی است. اگرچه آنالیز بافت کریستالی از اصولی مشابهی در انواع بافت های ایجاد شده از روش های مختلف تبعیت می کند، اما در این نوشتار بافت کریستالی در اثر فرآیند نور سرد ورق مینا قرار گرفته شده است [۲,۳,۴,۵].

۵- بافت کریستالی ایده آل

در یک بافت کریستالی ایده آل، جهت گیری کریستالی دانه ها به گونه ای است که جهت کریستالی بافت دقیقاً منطبق با محورهای ماده است. اما بافت کریستالی تنها در موارد خاصی به صورت ایده آل $[uvw]$ $\{hk1\}$ ایجاد می شود. بافت ایجاد شده در بیشتر ورق ها از این حالت ایده آل فاصله دارد. در چنین شرایطی بافت کریستالی به صورت مجموعی از چند بافت ایده ال به صورت زیر ارائه می شود:

$$\sum \lambda_i - \{hk1\}, \langle uvw \rangle_i$$

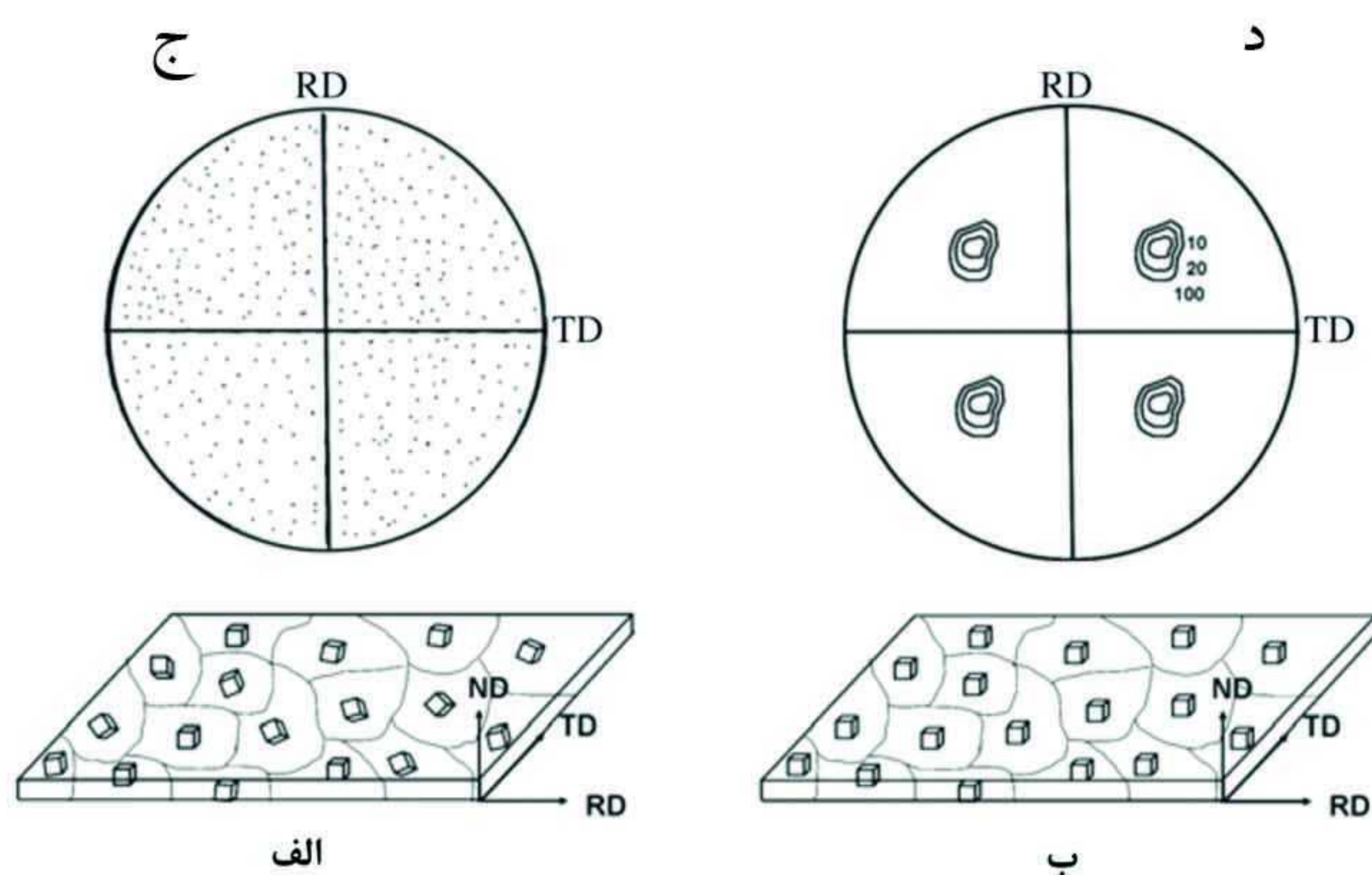
که λ_i معرف فاکتور وزنی با شدت نسبی هر عضو بافت نسبت به کل مجموعه است. ورقه های برنجی $(Cu_{0.7}, Zn_{0.1})$ از جمله مواردی است که بافتی نزدیک به بافت ایده آل $[112]$ $\{110\}$ را پس از نورد نشان می دهد. اما بافت ایجاد شده در فولادهای کم کربن چه در حالت نورد و چه در حالت تبلور مجدد به قدری از حالت ایده آل فاصله دارد که تنها می توان از روش گرافیکی برای توصیف آن استفاده کرد [۱].

۶- روش های آنالیز و نمایش بافت کریستالی

بافت کریستالی را می توان به کمک یکی از روشهای پراش پرتو ایکس، پرتو نوترون یا پرتو الکترونی مشخص نمود. روش پراش نوترونی به دلیل نیاز به امکانات خاص نظیر راکتورهای هسته ای، متداول نیست و بیشتر از پراش پرتوایکس و اشعه الکترونی استفاده می شود. از آنجا که در روش پرتوایکس، بافت کریستالی در اثر پراش تعداد بسیاری زیادی دانه به دست می آید، بافت به دست آمده متوسط جهت گیری کریستالی منطقه تحت تابش

را به همراه شدت نسبی آنها نسبت به محورهای اصلی نمونه مشخص می‌کند. محورهای اصلی نمونه عبارتند از ND (محور عمود بر صفحه ورق)، RD (محور موازی با جهت نورد) و TD (محوری در امتداد عرضی ورق) این محورها در صفحه استریوگرام در امتداد قطرهای اصلی (RD و TD) و جهت عمود بر صفحه استریوگرام (ND) مطابق با شکل ۷ مشخص شده است. در این شکل نحوه ترسیم قطب‌هایی با اندیس مشخص $\{100\}$ نیز مشخص شده است. برای ترسیم یک قطب ابتدا جهت عمود بر هر صفحه $\{100\}$ رسم و محل تقاطع آن با کره خارجی مشخص می‌شود، نقطه مشخص شده بر روی کره خارجی قطب نامیده می‌شود. در مرحله بعدی هر نقطه قطبی در امتداد خط مستقیمی که آن را به قطب جنوب کره وصل می‌کند، امتداد داده می‌شود. محل تقاطع این خط با صفحه استوا که همان صفحه استریوگراف است، موقعیت یک نقطه قطبی را مشخص می‌کند. البته این نحوه ترسیم تصویر قطبی به منظور سهولت ارائه مطلب گفته شود، تصویر قطبی واقعی را پراش پرتو ایکس به شرحی که به زودی به آن می‌پردازیم، ایجاد می‌نماید. شدت نقاط قطبی بر روی صفحه قطبی نیز براساس نحوه تمرکز و تراکم نقاط (شکل ۷-ج و یا با رسم خطوط هم شدت (شکل ۷-د) مشخص می‌شود.

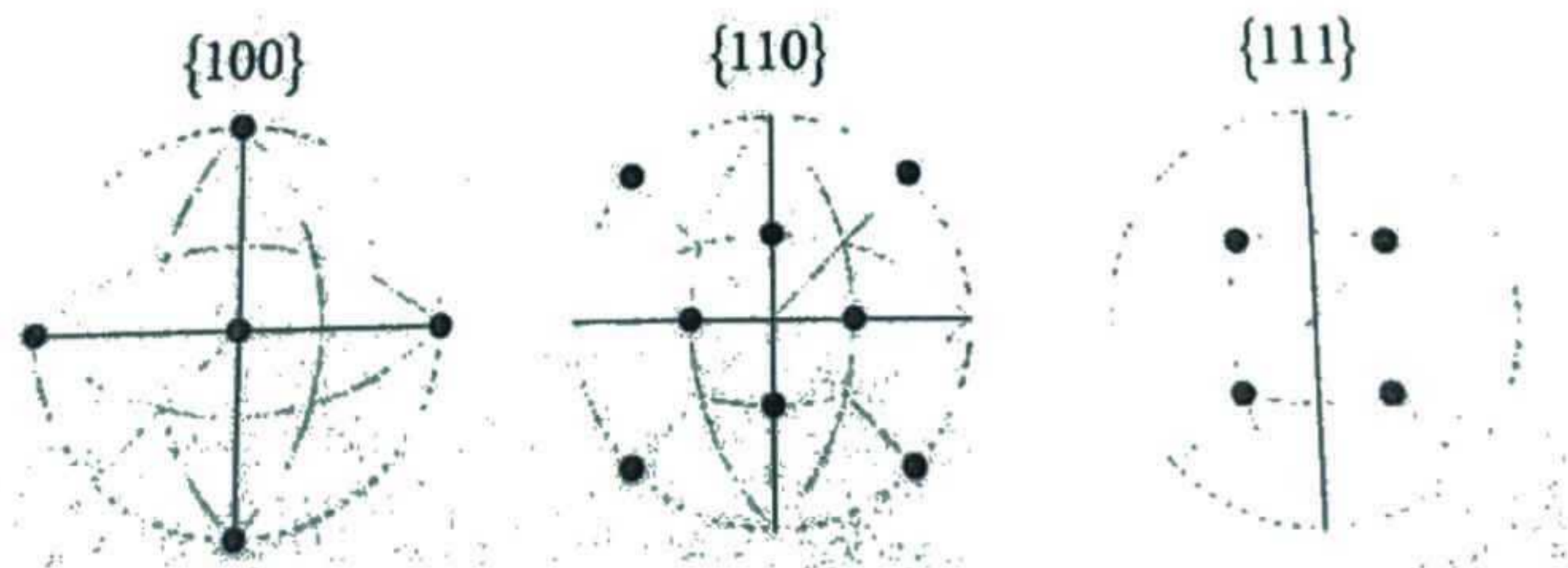
بهرتر است با ذکر یک مثال با نحوه نمایش بافت کریستالی در تصویر قطبی آشنا شویم، فرض کنید یک ورق جلوی ۱۰ دانه درشت با ساختار کریستالی مکعبی باشد. ما می‌خواهیم موقعیت قطبی صفحات $\{100\}$ تمامی ۱۰ دانه را بر روی صفحه استریوگرام مشخص کنیم. از آنجا که هر دسته صفحه $\{100\}$ سه عضو دارد و تعداد کل دانه‌ها ۱۰ عدد است، تعداد قطب‌ها ۳۰ عدد می‌شود. اکنون دو حالت را در نظر بگیرید. حالت اول: ساختار کریستالی فاقد هیچ بافت کریستالی است. بنابراین صفحات $\{100\}$ به صورت کاملاً تصادفی توزیع شده (شکل ۸-الف). تصویر قطبی آن نیز توزیع تصادفی این صفحات را نشان می‌دهد (شکل ۸-ج). در حالت دوم ساختار کریستالی دارای یک بافت کریستالی است، به نحوی که صفحات $\{001\}$ به موازات صفحه نورد و جهت $[100]$ به موازات جهت نورد قرار گرفته است (شکل ۸-ب). در این حالت قطب‌های $\{100\}$ در مکان‌های خاصی در صفحه قطبی تجمع کرده‌اند (شکل ۸-د). این اولین نشانه حضور بافت کریستالی است. تصویر قطبی آن نشانگر بافت $\langle 100 \rangle$ که به بافت مکعبی (cube texture) معروف است و در شرایط عملیات تبلور مجدد مناسب در فلزات و آلیاژهایی با ساختار FCC مشاهده می‌شود [۱,۲,۴,۵].



شکل ۸- (الف) دانه‌ها فاقد جهت‌گیری کریستالی خاصی است و به طور تصادفی توزیع شده است، (ب) ساختار دارای یک بافت کریستالی است، به نحوی که صفحات $\{001\}$ به موازات صفحه نورد و جهت $[100]$ به موازات جهت نورد قرار گرفته است، (ج) تصویر قطبی $\{001\}$ مربوط به شکل (الف) فاقد بافت است، (د) تصویر قطبی $\{001\}$ مربوط به شکل (ب)، بافت $\langle 100 \rangle$ را نشان می‌دهد [۲,۴].

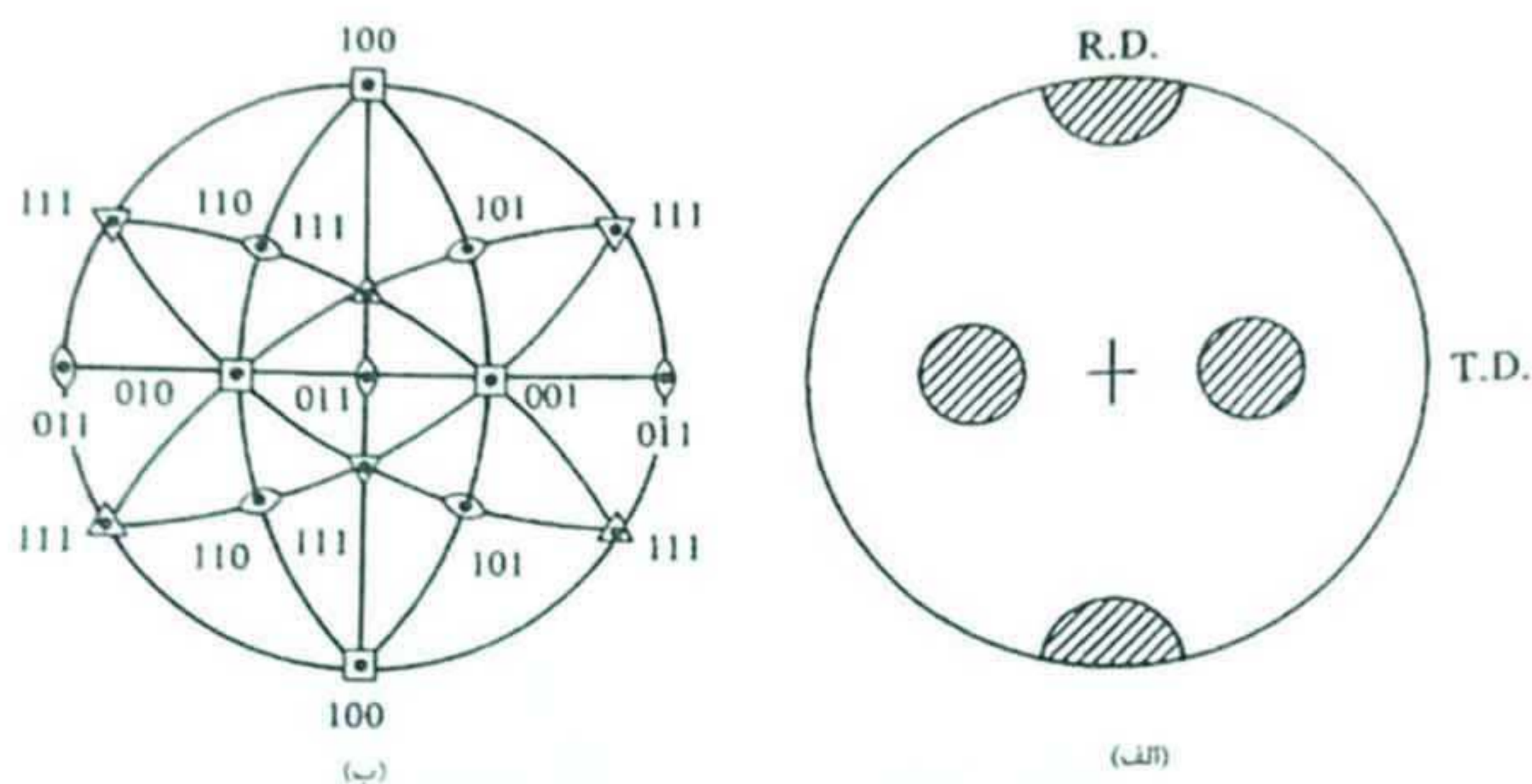
شکل ۷- نمایش دسته صفحات $\{100\}$ در صفحه استریوگراف، (الف) موقعیت نقاط قطبی بر روی کره مرجع، (ب) تصویر نقاط قطبی بر روی صفحه استریوگرام، (ج) تمرکز و تراکم نقاط قطبی نشانگر درجه بافت کریستالی است، (د) معمولاً از خطوطی با شدت مشابه برای مشخص کردن شدت نسبی قطب‌ها استفاده می‌شود [۱,۲,۴].

اما اگر رفتار مغناطیسی ورقه های نورد شده از آلیاژ آهن-سیلیسیوم برای ما مهم است، بهتر است تصویر قطبی $\{100\}$ را انتخاب کنیم. دلیل این انتخاب، نفوذپذیری مغناطیسی بالای جهت های $\langle 100 \rangle$ است که برای ما بیشترین اهمیت را دارد [۲,۴,۵].



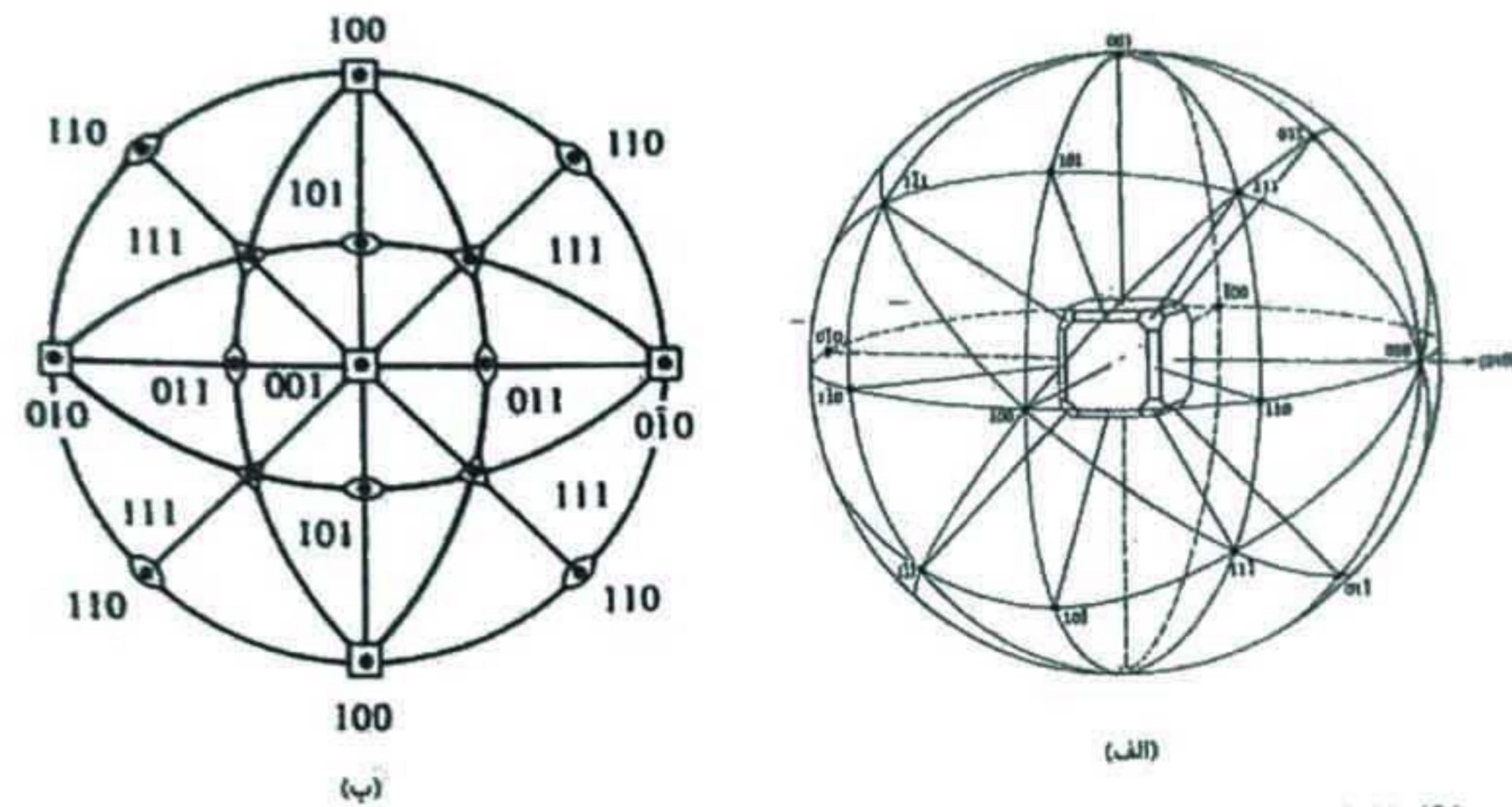
شکل ۱۰- بازسازی تصاویر قطبی مرجع $\{100\}$ ، $\{110\}$ و $\{111\}$ با محور $\langle 100 \rangle$ از روی استریوگرام مرجع [۱,۲].

اگر بافت کریستالی به گونه ای بود که صفحات دیگری غیر از صفحات $\{100\}$ به موازات سطح قرار می گرفت؛ مثلاً صفحات $\{110\}$ ، در این حالت تصویر قطبی $\{100\}$ متفاوت از تصویر قطبی $\{100\}$ نشان داده شده در شکل ۸- د می شد. این تصویر قطبی $\{100\}$ جدید در شکل ۱۱- الف نشان داده شده است. در این شرایط دیگر نمی توان با مقایسه با تصویر استریوگرام مرجع شکل ۹ بافت کریستالی را تشخیص داد. استریوگرام مرجع نیز بایستی در شرایطی به دست آمده باشد که محور استریوگرام در راستای جهت $\langle 110 \rangle$ باشد (شکل ۱۱- ب) نتیجه نهایی این که برای تشخیص بافت کریستالی بایستی تصویر قطبی را با انواع مختلف استریوگرام های مرجع تطبیق داد. این امر با استفاده از نرم افزارها می تواند به سرعت و سهولت بیشتری انجام شود [۱,۲,۳,۴].



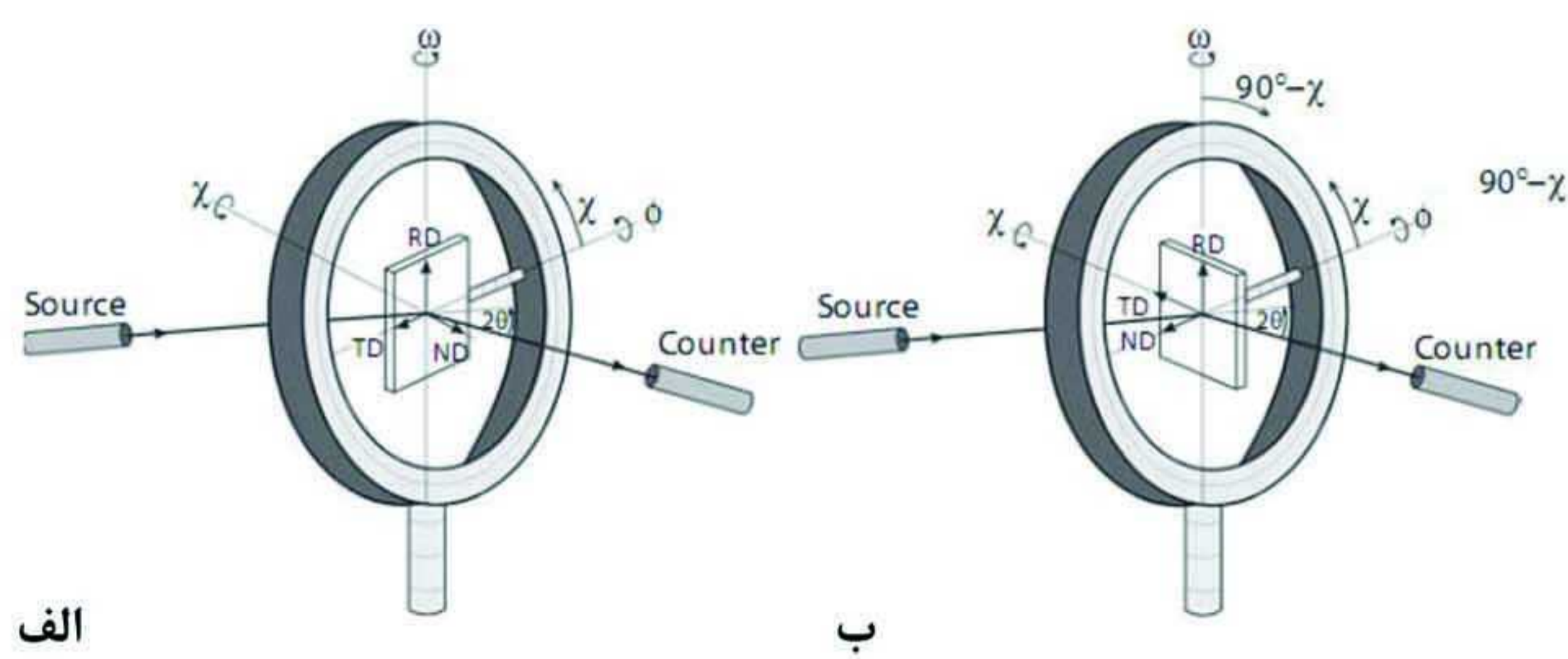
شکل ۱۱- تصویر قطبی $\{100\}$ (الف). مقایسه این تصویر قطبی با استریوگرام مراجع با محور $\langle 100 \rangle$ ، (ب) نشان می دهد که تصویر قطبی بیانگر بافت کریستالی ایده آل $\langle 100 \rangle$ است [۲,۴].

اما یک سؤال مهم همچنان برای ما باقی مانده است. ما چگونه از مشاهده تصویر قطبی شکل ۸- د به بافت کریستالی $\langle 100 \rangle$ پی بردیم. جواب این سؤال را به راحتی می توان با مراجعه به تصاویر استریوگرام مرجع به دست آورد. اگر یک بلور تک کریستال با ساختار مکعبی به منظور ترسیم استریوگرام، در درون کره فرضی به نحوی قرار گیرد که صفحه (001) آن عمود بر خطی باشد که راستای شمال و جنوب کره را به هم وصل می کند (دقیقاً مشابه با مشخصات کریستالی نمونه ۸- ب) استریوگرام آن به صورت شکل ۹- ب می گردد. در این استریوگرام، با توجه به وجوه خارجی بلور تک کریستال، ۳ دسته صفحه $\{100\}$ ، $\{110\}$ و $\{111\}$ حضور دارد. اما ما در شکل ۸- د تنها صفحه قطبی صفحات $\{100\}$ را رسم کرده ایم. پر واضح است که با حذف صفحات قطبی $\{110\}$ و $\{111\}$ از استریوگرام مرجع، استریوگرامی منطبق با صفحه قطبی ما پدید می آید (شکل ۱۰).



شکل ۹- تصویر استریوگرام مرجع با محور $\langle 100 \rangle$ (ب) که از قرارگیری یک بلور تک کریستال در درون کره مرجع (الف) به دست آمده است [۲].

همانطور که گفته شد ما در شکل ۸- د تصویر قطبی $\{100\}$ را برگزیده بودیم. اما می توانستیم برای به دست آوردن تصویر قطبی از دسته صفحات $\{110\}$ یا $\{111\}$ استفاده کنیم. در این صورت شکل تصویر قطبی تغییر می کند و برای اطمینان از حصول بافت مورد نظر بایستی به استریوگرام مرجع مربوط به آن که در شکل ۱۰ نشان داده شد، مراجعه کنیم. اینکه کدام دسته صفحات را برای رسم تصویر قطبی انتخاب می کنیم، بستگی به هدف ما از مطالعه بافت کریستالی دارد. به عنوان مثال اگر می خواهیم تغییر فرم پلاستیک در فلزاتی با ساختار کریستالی FCC را بررسی کنیم، بهتر است تصویر قطبی $\{111\}$ را رسم نماییم. زیرا این تصویر قطبی نحوه توزیع صفحات لغزش ساختار FCC را نشان می دهد.



شکل ۱۳- پراش سنج مورد استفاده در آنالیز بافت کریستالی بر مبنای (الف) روش بازتابی و (ب) روش عبوری در شکل الف نمونه در موقعیت $\delta = 90^\circ, \alpha = 90^\circ$ ، و در شکل ب نمونه در موقعیت $\delta = 0^\circ, \alpha = 0^\circ$ قرار دارد [۲،۴].

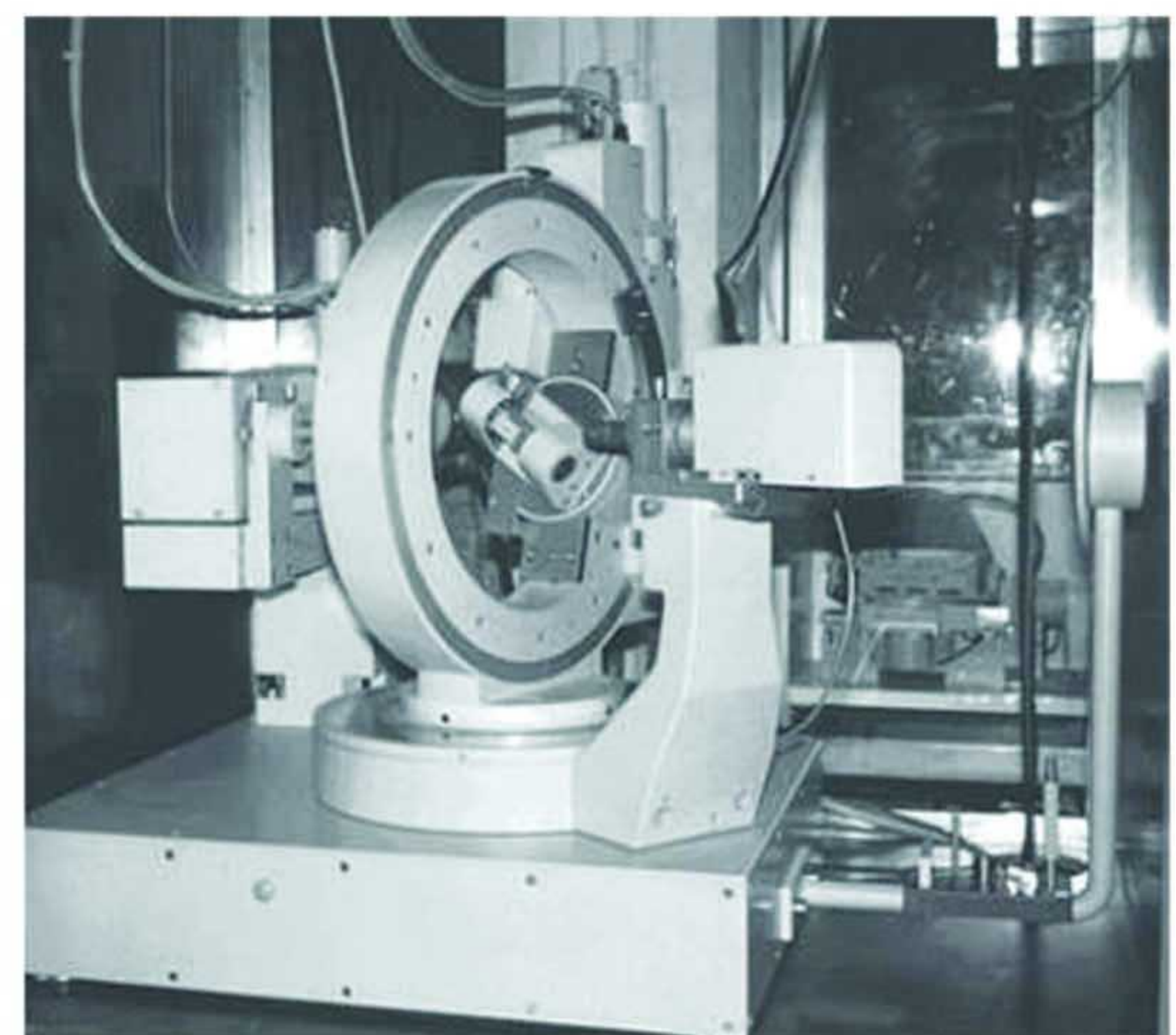
برای ترسیم تصویر قطبی $\{hkl\}$ بایستی شرایطی را ایجاد کنیم که کلیه صفحات $\{hkl\}$ مربوط به همگی دانه ها در شرایط پراش پرتوایکس قرار گیرد. به همین خاطر دستگاه پراش سنج بایستی امکان چرخش نمونه را حول سه محور متفاوت بدهد. این محورها که در شکل ۱۴ رسم گردیده، محور پراش سنج AA' و BB' است. نمونه بایستی به گونه ای در نگه دارنده قرار گیرد که جهت نورد (RD) مطابق با شکل به موازات محور پراش سنج قرار گیرد. سپس نمونه حول محور پراش سنج می چرخد تا محور TD نمونه به موازات محور AA' قرار گیرد. در این شرایط محور ND نمونه نیمساز زاویه بین اشعه فرودی و اشعه بازتابی می شود. به عبارت دیگر زاویه تاب و بازتاب برابر می گردد و آشکار ساز در موقعیت مناسب برای ثبت پراش صفحات موازی با سطح قرار می گیرد. مقدار زاویه بازتاب (θ) و بازتاب بستگی به اندیس صفحه مورد نظر دارد. در واقع زاویه تاب معادل با زاویه پراش صفحه مورد نظر است که از پیش توسط محقق اندازه گیری یا با مراجعه به مراجع تعیین می شود و موقعیت زاویه ای اجزای پراش سنج متناسب با زاویه θ تنظیم می شود [۲،۴].

پس از تنظیم زاویه پراش (θ) و تنظیم نمونه در پراش سنج به نحو نشان داده شده در شکل ۱۴، نمونه دیگر حول محور پراش سنج چرخشی نمی کند و شرایط برای آغاز پراش سنجی آماده است. در این شرایط تنها امکان ثبت پراش صفحات $\{hkl\}$ موازی با سطح نمونه و در جهت محور TD فراهم است. اما تغییر زاویه δ و α صفحات $\{hkl\}$ دیگری که با سطح نمونه زاویه می سازد و جهت گیری های کریستالی متفاوتی دارند نیز فراهم می شود [۱،۲،۴].

به منظور یافتن موقعیت و شدت هر دسته صفحه کریستالی دلخواه یک ماده پلی کریستال بر روی صفحه استریوگرام، از روش پراش پرتوایکس استفاده می شود.

دستگاه های پراش پرتوایکس که به این منظور استفاده می شود، طراحی متفاوتی از دستگاه های پراش پرتوایکس معمولی دارند. در این دستگاه ها امکان چرخش نمونه در سه محور مجزا داده می شود.

در شکل ۱۲ تصویر یک پراش سنج مدرن برای آنالیز کریستالی به نمایش گذاشته شده است.

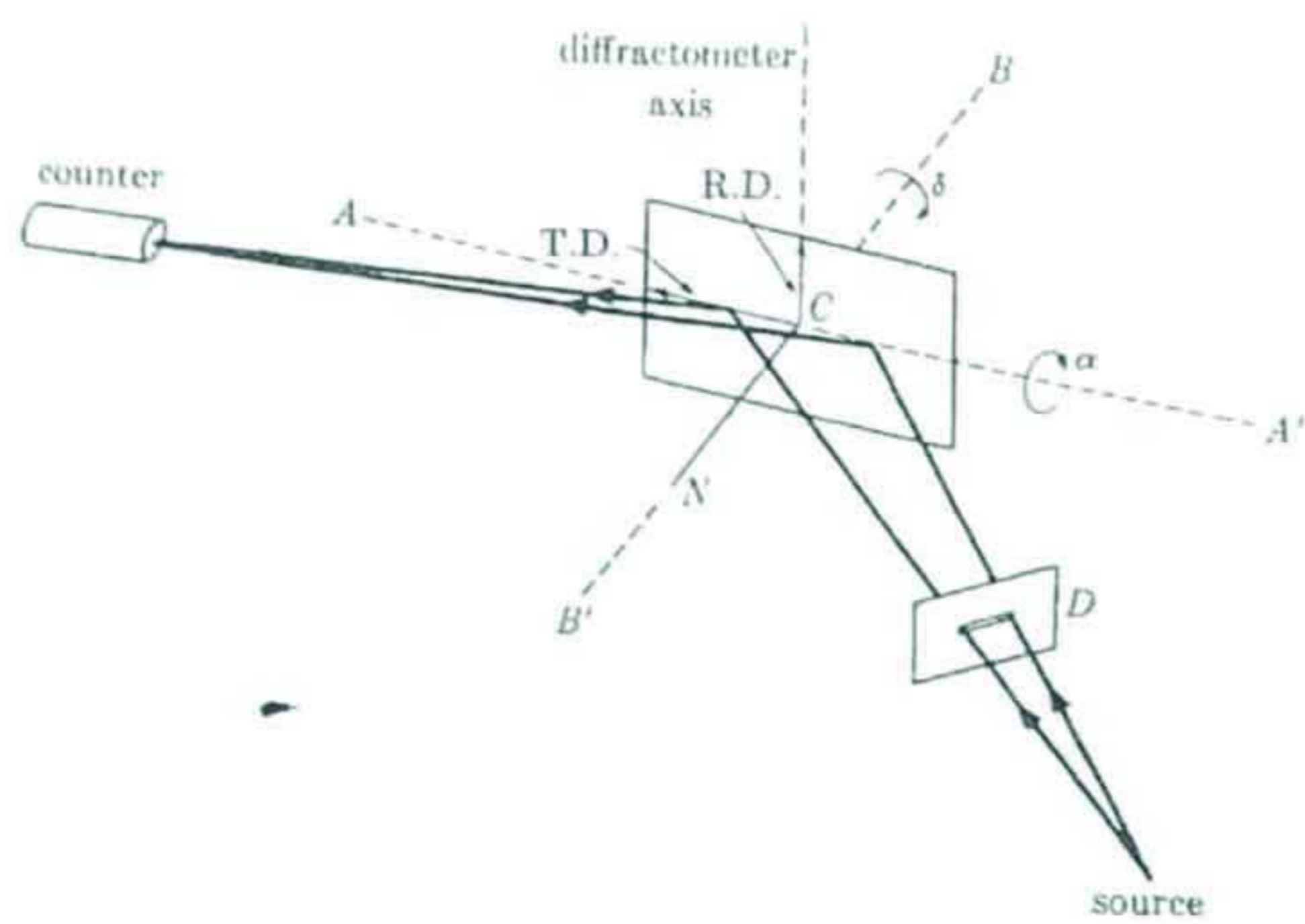


شکل ۱۲- تصویر یک پراش سنج مورد استفاده در آنالیز بافت کریستالی [۴].

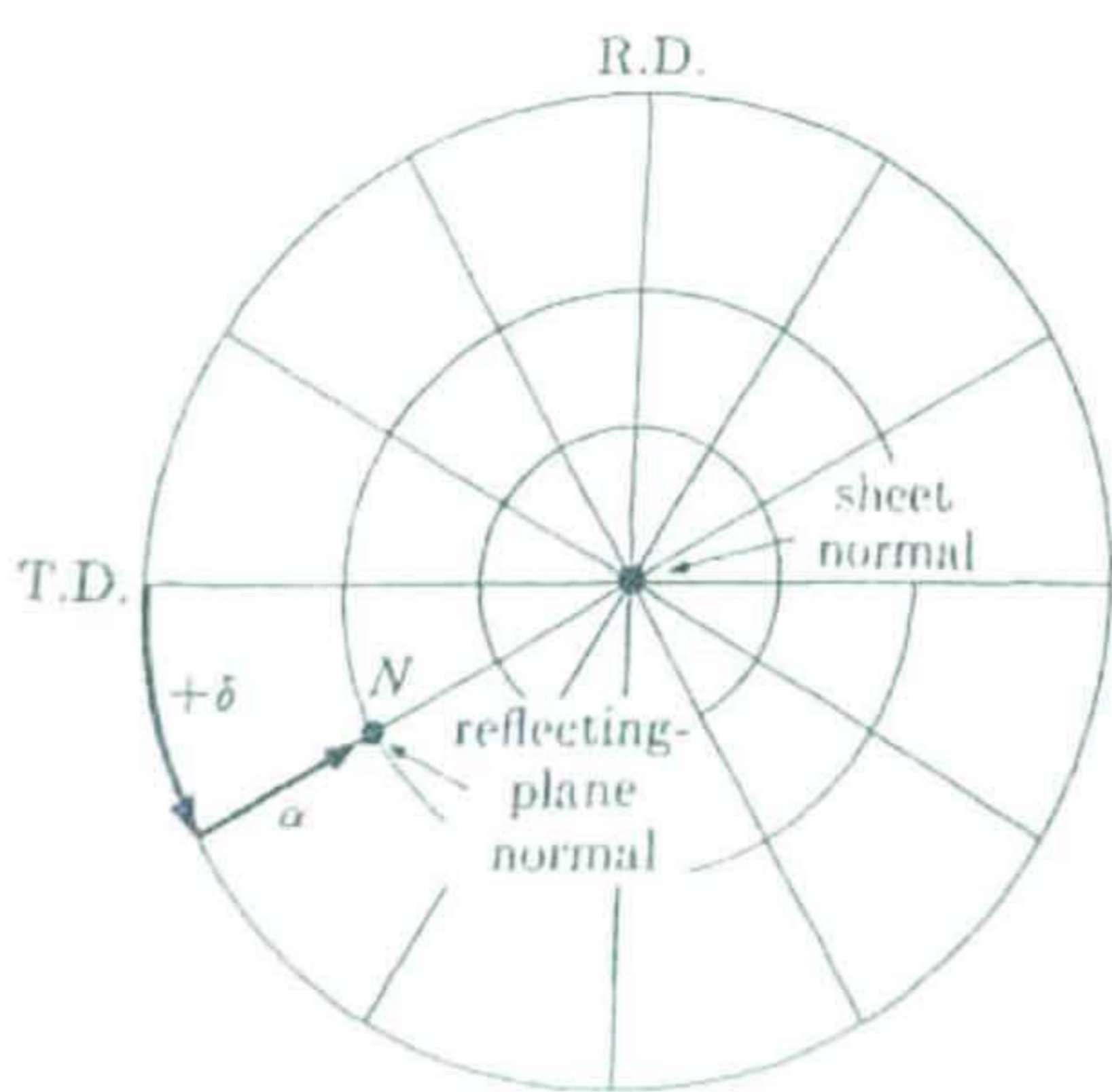
دستگاه های پراش سنجی که به منظور ترسیم تصاویر قطبی استفاده می شود می تواند دو طراحی هندسی متفاوت داشته باشد، یکی بر مبنای عبور پرتوایکس از نمونه (Transmission geometry) و دیگری بر مبنای بازتاب پرتوایکس (reflection geometry) از نمونه است.

در شکل ۱۳ طراحی متفاوت این دو نوع پراش سنج نسبت به موقعیت نمونه مشخص شده است.

روش عبوری محدودیت هایی را به نمونه اعمال می کند، از جمله اینکه ضخامت نمونه معمولاً بایستی کمتر از ۱۰۰ میکرومتر باشد و ضریب جذب نمونه اندک باشد به همین خاطر بیشتر از روش بازتابی برای ترسیم تصاویر قطبی استفاده می شود که در این قسمت تنها به توضیح روش بازتابی می پردازیم.



شکل ۱۴- روش سنجش بافت کریستالی به روش پراش سنجی بازتابی، بردار CN بردار عمود بر صفحات کریستالی $\{hkl\}$ است که در موقعیت پراش قرار می‌گیرند. مکان این بردار ثابت است. بنابراین کلیه صفحات کریستالی $\{hkl\}$ وقتی پراش می‌کنند که با چرخش نمونه بردار عمود بر این صفحات منطبق با بردار CN شود [۱,۲,۳,۴].



شکل ۱۵- صفحه استریوگرام متناسب با چرخش نمونه و تغییر در دو زاویه های α و δ جاروب می‌شود و موقعیت هر صفحه $\{hkl\}$ که در شرایط پراش قرار می‌گیرد، ثبت می‌شود. نقطه TD در این استریوگرام موقعیت زاویه ای $\alpha = 90^\circ$ $\delta = 90^\circ$ را نشان می‌دهد. نقطه N نیز مکان زاویه صفحه $\{hkl\}$ را نشان می‌دهد که در موقعیت زاویه $\alpha = 30^\circ$ $\delta = 90^\circ$ پراش کرده است [۱,۲,۴].

حتی در تصاویر قطبی ایده آل، نظیر تصویری قطبی شکل ۸ قدری پراکندگی نقاط قطبی در مناطق مشخصی در تصویر قطبی دیده می‌شود، به نحوی که در بافت های ایده آل به جای یک نقطه مشخص، یک منطقه متراکم قطبی مربوط به صفحاتی با اندیس مشابه مشاهده می‌شود. به منظور تخمین شدت در این مناطق تجمع قطبی، همچنین تخمین مقدار انحراف یک بافت از بافت ایده آل،

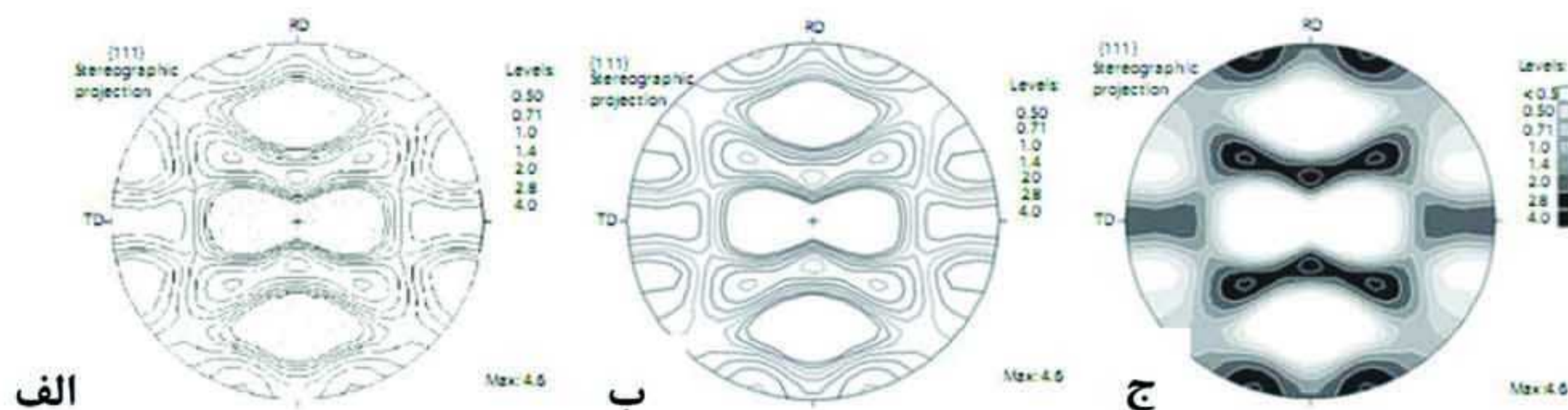
در ابتدا نمونه به صورت عمودی قرار گرفته و زاویه α برابر با 90° درجه است. با چرخش نمونه حول محور AA' زاویه α کاهش می‌یابد تا نهایتاً زمانی که نمونه در موقعیت افقی قرار گیرد، زاویه α به صفر می‌رسد. زاویه δ نیز زاویه بین جهت نورد (RD) و سمت چپ محور AA' است. در ابتدا این زاویه 90° درجه است و با چرخش ساعتگرد محور BB' این زاویه افزایش می‌یابد. نحوه تغییر دو زاویه α و δ نیز بر روی صفحه استریوگرام شکل ۱۵ مشخص شده است. زاویه δ به صورت محیطی و زاویه α به صورت شعاعی بر روی صفحه استریوگرام حرکت می‌کند.

با توجه به توضیحات گفته شده، نمونه ابتدا در موقعیت زاویه ای، $\alpha = 90^\circ$ $\delta = 90^\circ$ قرار دارد. این موقعیت در مرکز استریوگرام شکل ۱۵ قرار می‌گیرد. پراش سنجی از این موقعیت آغاز می‌شود. در $\alpha = 90^\circ$ نمونه حول محور BB' می‌چرخد؛ بنابراین زاویه δ تغییر می‌کند. پراش های احتمالی در هر زاویه δ اندازه گیری می‌شود. همزمان با چرخش نمونه، صفحه استریوگرام نیز جاروب می‌گردد و در هر زاویه δ که پراشی رخ می‌دهد، محل آن در صفحه استریوگرام مشخص می‌شود. علاوه بر آن شدت پراش نیز ثبت می‌گردد شدت پراش مناسب با کسر حجمی دانه هایی است که در آن شرایط زاویه ای، در موقعیت پراش قرار گرفته اند. پس از جاروب کامل صفحه استریوگرام، نوبت به تغییر زاویه α با چرخش نمونه حول محور AA' می‌رسد. پس از این چرخش حول محور AA' نمونه در این زاویه α جدید نیز مجدداً حول محور BB' شروع به چرخش کرده و پراش های ممکن ثبت می‌گردد تا نهایتاً کل صفحه استریوگراف به این گونه جاروب می‌شود. نحوه تغییر زوایای α و δ به صورت گسسته و معمولاً با فواصل درجه ای ۵ درجه صورت می‌گیرد.

بدین ترتیب تمامی صفحات $\{hkl\}$ در شرایط مناسب پراش سنجی قرار می‌گیرند و با ثبت موقعیت زاویه ای آنها و شدت نسبی آنها، یک تصویر قطبی در زمان تقریبی نیم ساعت به دست می‌آید. به این نکته مهم توجه داشته باشید که موقعیت هر نقطه قطبی در واقع جهت بردار نرمال به یک صفحه $\{hkl\}$ را نسبت به محورهای نمونه مشخص می‌کند [۳,۲,۴].

البته این روش ها تغییری در نوع اطلاعات استنتاجی از یک تصویر قطبی نمی نهد. توجه کنید که خط هم شدت مربوط به پرشدت ترین منطقه رسم نشده است.

در برخی موارد مناطقی با شدت ماکزیمم یا مینیمم به صورت نقطه - نقطه یا سایه دار (تیره دار) مشخص می شود (شکل ۱۷-الف). در مواردی نیز که بافت کریستالی ضعیف است و خطوط هم شدت به دشواری از یکدیگر قابل تشخیص هستند، این خطوط متناسب با شدت آنها نسبت به نمونه استاندارد فاقد بافت، با اعداد نسبی شدت ها و در درون تصویر قطبی علامت گذاری می شود. شکل ۱۷ نمونه ای از این دست را نشان داده است.



شکل ۱۷- سه نحوه نمایش متفاوت از تصویر قطبی $\{111\}$ ، (الف) تصویر قطبی به کمک خطوط هم شدت مشخص شده، مناطقی با شدت کمتر از ۰/۵ به صورت نقطه - نقطه نشان داده شده است، (ب) برای نشان دادن خطوط هم شدت از رنگ های مختلف استفاده شده است، (ج) مناطق بین خطوط با توجه به شدت آنها در طیفی از سفید تا سیاه قرار گرفته است. با افزایش شدت، درجه تیرگی بیشتر شده است [۲،۴].

اکنون با توجه به مفهومی که از خطوط هم شدت فرا گرفته ایم، بهتر است به مطالعه بافت کریستالی در تصاویر قطبی، شکل های ۱۸ و ۱۹ که با خطوط هم شدت مشخص شده اند، پردازیم. تصویر قطبی $\{111\}$ شکل ۱۸، پراکندگی بسیار کمی نسبت به یک بافت کریستالی ایده آل دارد. مناطقی با شدت ماکزیمم در این تصویر با مثلث نشان داده شده است.

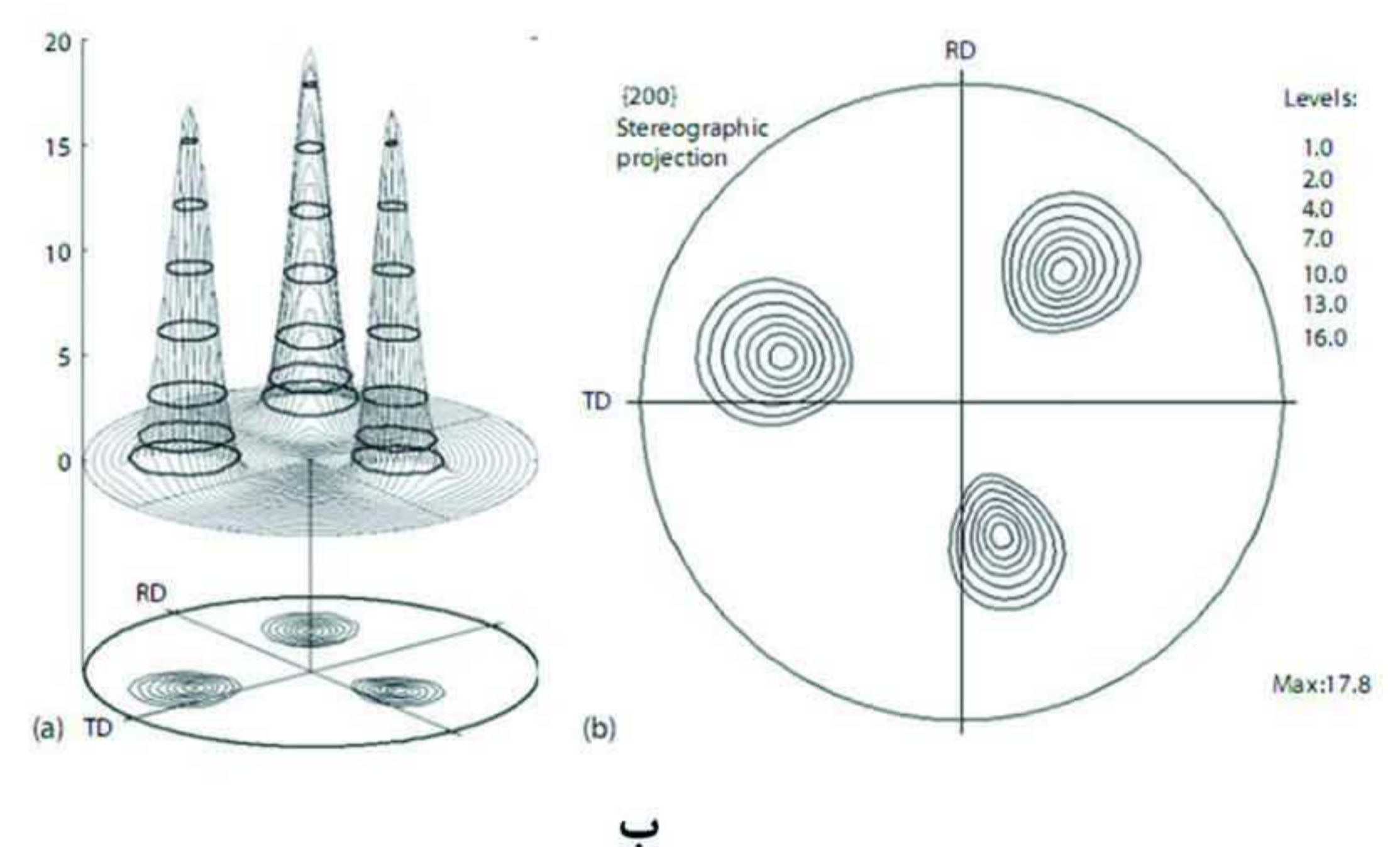
با مقایسه تصاویر استریوگرام مرجع با این تصویر قطبیت بافت کریستالی این تصویر [۱۱۲] (۱۱۰) تشخیص داده شد. این تشخیص از انطباق مناسب مناطق با شدت ماکزیمم از روی تصویر قطبی (مثلث ها) با قطب های $\{111\}$ استریوگرام مرجع به دست آمد [۱،۲،۴،۵].

روشی برای نشان دادن شدت در تصویر قطبی در نظر گرفته شده است. در این روش، شدت یک منطقه متراکم قطبی به صورت خطوط هم شدت تو در تو نمایش داده می شود. در شکل ۱۶ نحوه رسم این خطوط هم شدت نشان داده شده است.

شدت این خطوط مطابق با شکل ۱۶ از دامنه قله تا نوک قله روند صعودی دارد، به طوری که مرکزی ترین خط، بیشترین شدت را دارا است.

برای مقایسه شدت این خطوط مقیاسی در نظر گرفته شده است. این مقیاس مقدار شدت در تصویر قطبی یک نمونه استاندارد با توزیع تصادفی دانه ها است. به این صورت که شدت نقاط قطبی در هر مکانی از این تصویر قطبی استاندارد ۱ در نظر گرفته می شود و شدت خطوط در هر تصویر قطبی دلخواه نسبت به تصویر قطبی نمونه استاندارد سنجیده می شود.

مناطق با خطوط هم شدت بزرگتر از ۱ به این معنا است که صفحات کریستالی $\{hkl\}$ بیشتری به موازات جهتی که آن منطقه نشان می دهد قرار گرفته است [۴].



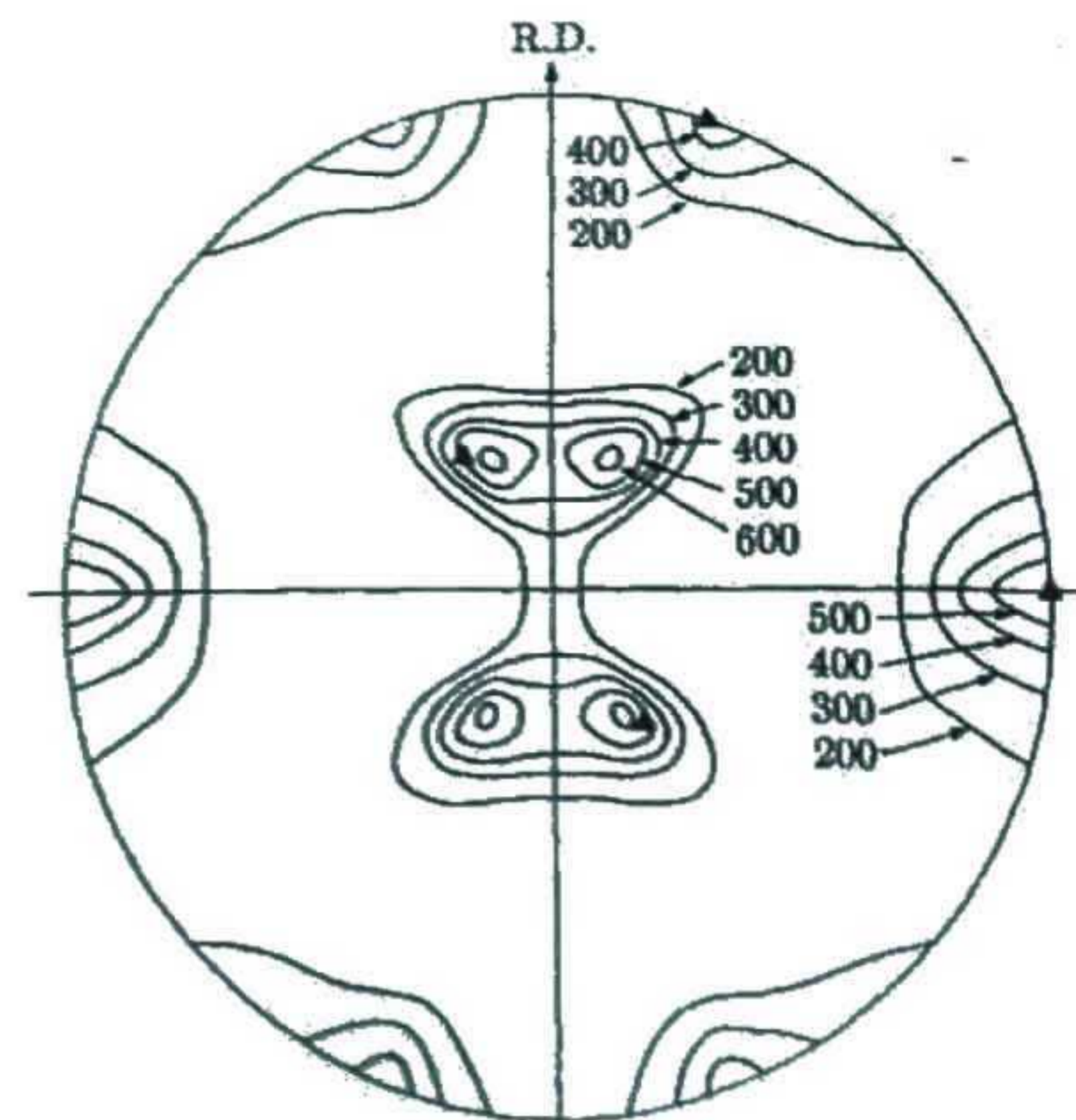
شکل ۱۶- (الف) تصویر سه بعدی از خطوط هم شدت مربوط به پراش صفحات $\{200\}$ ، (ب) با تصویر این خطوط هم شدت بر روی صفحه استریوگرام، موقعیت قطب ها و نحوه توزیع شدت آنها برای تصویر قطبی $\{200\}$ به دست آمده است [۲،۴].

اگر چه خطوط هم شدت با توجه به اصول کلی توضیح داده شده در بالا رسم می شوند؛ اما برای نمایش شدت آنها نسبت به یکدیگر از روش های مختلفی استفاده می شود.

شکل ۱۷ کوشیده است تا یک تصویر قطبی مشابه را با روش های مختلف نشان دهد.

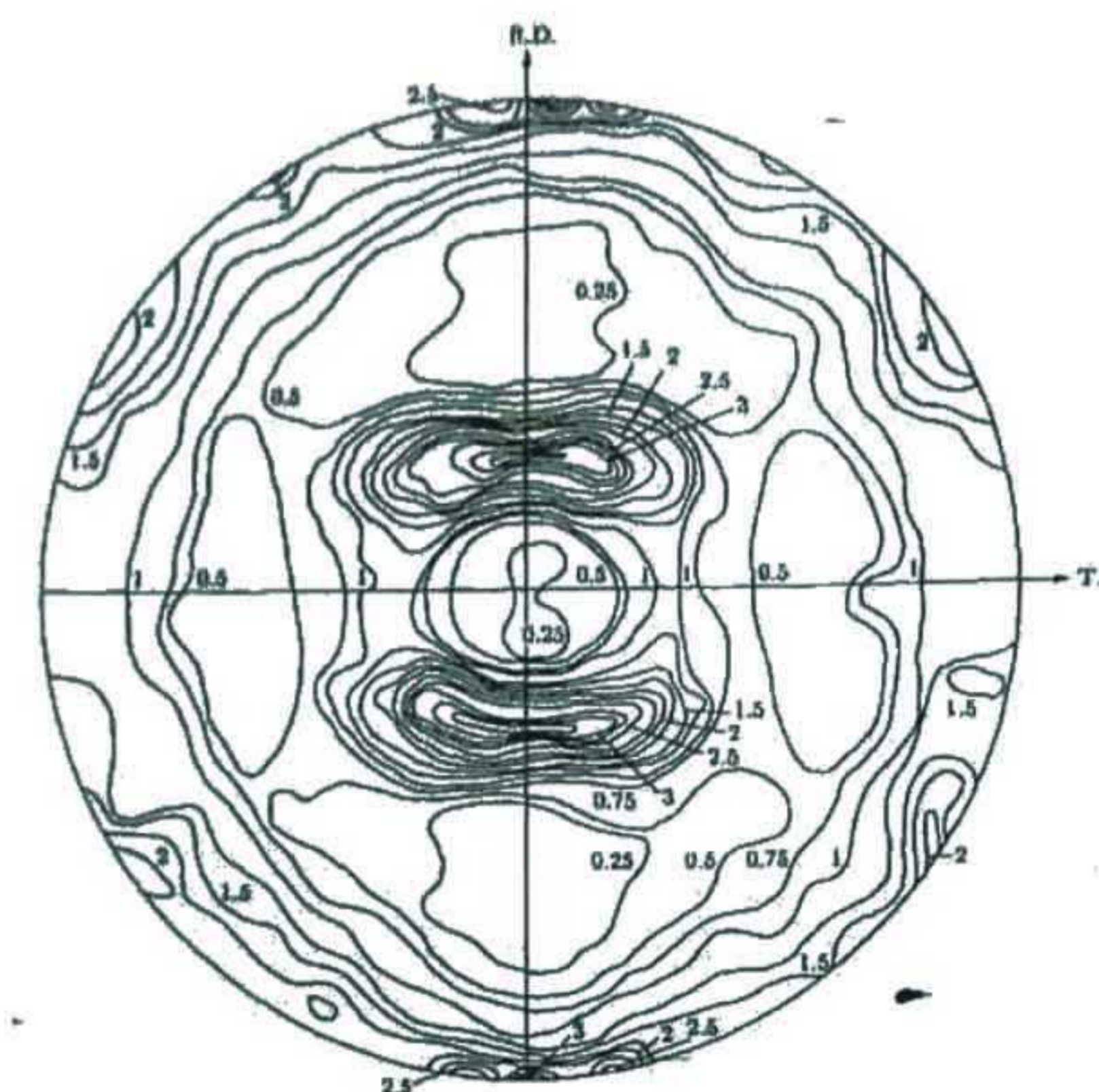
۷- منابع و مراجع:

- 1) F.J. Humphreys and M. Hatherly, Recrystallization and Related Annealing Phenomena, second edition, Elsevier publisher, (2004).
- 2) O. Engler and V. Randle, Introduction to Texture Analysis Macrotexture, Microtexture, and Orientation Mapping, second edition, Taylor & Francis Group, (2010).
- 3) A. Haldar, S. Suwas, and D. Bhattacharjee, Microstructure and Texture in Steels and Other Materials, second edition, Springer publisher, (2008).
- 4) S. Suwas, R. Kumar Ray, Crystallographic Texture of Materials, Springer publisher, (2014).
- 5) Cullity, Introduction to X-Ray Diffraction; (1978).



شکل ۱۸- تصویر {۱۱۱} مربوط به ورقه هایی از جنس برنج که در اثر فرآیند نورد به میزان ۹۵ درصد کاهش ضخامت داده است. این تصویر قطبی بیانگر بافت کریستالی [۱۱۲] (۱۱۰) است [۱,۲,۴,۵].

برخلاف شکل ۱۸، شکل ۱۹ بافت کریستالی ضعیفی را نشان می دهد و از حالت ایده آل فاصله دارد. تصویر قطبی این شکل نشان دهنده یک بافت تک محوری <۱۱۱> (الیافی، Fiber texture) است که محور آن عود بر صفحه ورق و قوی ترین عضو بافتی آن <۱۱۰> {۱۱۱} است.



شکل ۱۹- تصویر قطبی (۱۱۰) ورقه فولاد کم کربنی که تحت عملیات تبلور مجدد قرار گرفته است [۱,۲,۴,۵].

در قسمت بعد دو روش "تابع توزیع جهت گیری" و "تصویر قطبی معکوس" برای نمایش بافت کریستالی مورد بررسی تفصیلی قرار خواهد گرفت.

تشکیل پوسته اکسیدی و پوسته زدایی در فرایند نورد گرم

ایمان برون، اسلام پوربندری، ابراهیم یاقوت

شرکت فولاد اکسین خوزستان

چکیده

در طی فرایند نورد گرم، سطح فولاد که در معرض هوا قرار گرفته، با آن واکنش داده و اکسید می شود که نتیجه آن تشکیل پوسته اکسیدی است. تشکیل پوسته اکسیدی به عواملی مانند دما، گرید فولادی، اتمسفر محیط و زمان گرمایش فولاد بادمای بالا بستگی دارد. در فرایند نورد گرم، دو نوع پوسته اکسیدی چسبنده و شکننده به وجود می آید. پوسته های چسبنده را می توان با استفاده از آب فشار بالا (در حدود ۲۰۰-۴۵۰ بار) به طور موثری جدا کرد، در حالی که برای حذف پوسته های شکننده و ترد باید با توجه به عملکرد سیستم پوسته زدا و کم کردن فواصل نازل های پوسته زدا از سطح مواد، این کار را انجام داد. ویژگی های نازل و طراحی افشانک ها، نقش مهمی در عملکرد سیستم پوسته زدا دارند.

کلمات کلیدی: نورد گرم، فولاد، پوسته اکسیدی، دما، سیستم پوسته زدا

۱- مقدمه

علاوه بر مشتری های صنعت خودرو، سازنده های سازه و ماشین آلات کشاورزی، جهت استفاده در اجزای بیرونی دستگاه هایی که دچار عیب شده اند از فولادهای نورد گرم شده استفاده می کنند. همچنین در خطوط لوله نفت و گاز، استانداردهای سختگیرانه ای برای کیفیت سطح ورقهای نورد شده در گریدهای فولادی API وضع شده است. امروزه چالش اصلی در بازار سودمند فولادهای با کیفیت، توانایی در برآورده ساختن الزامات کیفی سطح، با توجه به محدودیت های سیستم پوسته زدا در محدوده فشار و نرخ جریان می باشد. با توجه به مطالب گفته شده، سازنده نازل های پوسته زدا باید اطلاعات عملکردی نازل ها در شرایط کاری و طراحی سیستم را به تفصیل شرح بدهد. این اطلاعات از لحاظ اهمیت به ترتیب زیر می باشند:

۱- ویژگی های افشانک نازل

۲- متغیرهای برخورد

۳- پارامترهای طراحی یک نازل با کارایی بهینه و چیدمان آنها روی

هدر اصلی پوسته زدا

۲- تشکیل پوسته اکسیدی و انواع آن طی فرایند نورد گرم

طی فرایند نورد گرم، سطح ورق در معرض هوا قرار می گیرد که این امر باعث اکسیداسیون فلز می شود. ساختار و رشد پوسته های اکسیدی تشکیل شده به آنالیز شیمیایی فولاد، دما، اتمسفر محیط و زمان گرمایش مواد اولیه بستگی دارد. پوسته اکسیدی از سطح فلز پایه به ترتیب از وستیت^۱ (FeO)، مگنتیت^۲ (Fe₃O₄) و هماتیت^۳ (Fe₂O₃) تشکیل شده است. در دماهای زیر ۵۷۰ درجه سانتیگراد، وستیت پایدار بوده و در این دما فقط هماتیت و مگنتیت وجود دارند در حالی که در دماهای بالاتر از ۵۷۰ درجه سانتیگراد، لایه ای داخلی از جنس وستیت با هماتیت و مگنتیت همراه می شود. با توجه به بررسی های انجام شده، رشد پوسته های اکسیدی در آهن خالص، توسط نفوذ آهن در جاهای خالی وستیت و مگنتیت و همچنین نفوذ اکسیژن در هماتیت کنترل می شود.

¹Wustite

²Magnetite

³Hematite

در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد و ۱ درصد در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد باعث تشکیل فاز با نقطه ذوب پایین می شود که به خصوص در دماهای بالاتر از ۹۶۰ درجه سانتیگراد می تواند منجر به حمله ترجیحی به مرز دانه ها شود.

سیلیسیوم

تاثیر سیلیسیوم (Si) به محدوده دمایی بستگی دارد. پایین تر از دمای ۱۱۷۰ درجه سانتیگراد، وستیت بادی اکسید سیلیسیوم^۲ (SiO₂) واکنش می دهد و تشکیل فایالیت^۳ (Fe₂SiO₄) در فصل مشترک فلز پوسته اکسیدی را می دهد. در مقابل، یک واکنش یوتکتیکی بین وستیت و فایالیت در دمای ۱۱۷۰ درجه سانتیگراد اتفاق می افتد و منجر به تشکیل فاز مذاب شده که این فاز مذاب بطور ترجیحی به مرز دانه ها حمله می کند و باعث چسبندگی شدید پوسته اکسیدی به فلز پایه می شود. در حین فرایند نورد گرم، سه نوع پوسته اکسیدی ممکن است به وجود آید که عبارتند از:

۱ - پوسته اکسیدی اولیه^۴

۲ - پوسته اکسیدی ثانویه^۵

۳ - پوسته اکسیدی ثالثیه^۶ (مرحله سوم)

پوسته اکسیدی اولیه در حین فرایند گرمایش ماده اولیه در کوره های پیشگرم تشکیل می شود. پوسته اکسیدی ثانویه در طی فرایند نورد در محدوده دمایی نورد خشن تشکیل می شود و پوسته اکسیدی ثالثیه (مرحله سوم) در دستگاه کویل تشکیل می شود.

۳- نتیجه گیری

پوسته های اکسیدی تشکیل شده در فرایند نورد گرم، به طور کلی از وستیت (FeO)، مگنتیت (Fe₃O₄) و هماتیت (Fe₂O₃) تشکیل می شوند. وستیت با داشتن بیشترین حالت شکل پذیری، مطلوب ترین فاز اکسیدی طی فرایند نورد گرم می باشد. خصوصیات پوسته اکسیدی و همچنین چسبندگی آن به فلز پایه، به نوع فولاد نورد شده و شرایط عملکردی طی فرایند نورد بستگی دارد.

در فرایند اکسیداسیون، غلظت عناصر مشخص موجود در فولاد، در فصل مشترک فلز پوسته اکسیدی تغییر می کند. از آنجاییکه در فرایند اکسیداسیون، نفوذ لزوماً فرایندی دو طرفه است، این غنی شدن موضعی می تواند توسط نفوذ به سمت داخل فلزات جبران شود. با توجه به اینکه در شرایط عملی، انباشته شدن عناصر در فصل مشترک فلز پوسته اکسیدی باعث اکسید شدن آنها با سرعت بیشتری نسبت به نفوذ به سمت داخل فلز می شود، بنابراین فصل مشترک از باقیمانده و اضافه های آلیاژ غنی می شود. برای تعداد کمی از عناصر آلیاژی، شکل پوسته اکسیدی را می توان بطور گسترده ای شرح داد.

منگنز

این عنصر، اکسیدهای MnO، Mn₃O₄ و Mn₂O₃ را تشکیل می دهد که از لحاظ شکل، مشابه با اکسیدهای آهنی است که از محلول های جامد به وجود می آیند. منگنز، همراه آهن اکسید می شود و به طور قابل ملاحظه ای در پوسته اکسیدی حضور دارد.

کروم و آلومینیوم

این عناصر رفتارهای مشابهی طی فرایند اکسیداسیون دارند. این عناصر زمانی که در مقادیر زیادی حضور دارند، می توانند در سطح فلز، لایه های اکسیدی مانند Al₂O₃ و Cr₂O₃ را در فصل مشترک فلز پوسته اکسیدی تشکیل دهند که باعث می شود از اکسیداسیون بیشتر فولاد جلوگیری کنند. هر چند در فولادهای کربنی، غلظت آنها خیلی کمتر از این مقادیر است.

نیکل

در فصل مشترک فلز پوسته اکسیدی، نیکل به شکل رشته های فلزی پس زده می شود و این رشته ها، چسبندگی بین پوسته اکسیدی و فلز پایه را ترغیب می کنند.

گوگرد

فولادهایی که حاوی گوگرد می باشند، شامل اکسیدهای FeO، MnO، سولفیدهای FeS، MnS و ناخالصی هایی می شوند که می توانند تشکیل مذاب های اکسی سولفیدی^۱ بدهند. حداقل دمایی که نیاز است تا این واکنش ها اتفاق بیفتند، به مقدار منگنز موجود در محلول جامد بستگی دارد. مقادیر منگنز به میزان ۰/۰۰۱ درصد (۱۰ ppm)

¹Oxysulphide liquid

²Silicon dioxide

³Fayalite

⁴Primary scale

⁵Secondary scale

⁶Tertiary scale

۴- منابع و مراجع

1. Hydraulic descaling in Rolling Mills, Institute of Metals, UK, 9-10 Oct 1995.
2. Steel Research International, Vol.74, No.9, 2003, pp 538-548.
3. Steel Research International, Vol.75, No.6, 2005, pp 399-403.
4. 37th Mechanical Working & Steel Processing, Conf. Proceedings, ISS Vol. XXXII, 1996 , p. 34.
5. Schurmann S. ,Measurement and Mathematical Approximation of the Impact of Descaling Nozzles, Hydraulic Descaling Conference, London, 9, 2000.





افزایش عمر عملکرد بیرینگ های غلتشی در نورد های کاری صنایع فولادی

محمد برهمن^۱، سید میلاد حسین نژاد^۲

۱ - دکتری مهندسی مکانیک، مدیرعامل شرکت مهندسی پروشات، ایران، تهران، M.BERAHMAN@proshutltd.com

۲ - کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، مدیرفنی شرکت مهندسی پروشات، ایران، تهران، CMMANAGER@proshutltd.com

چکیده

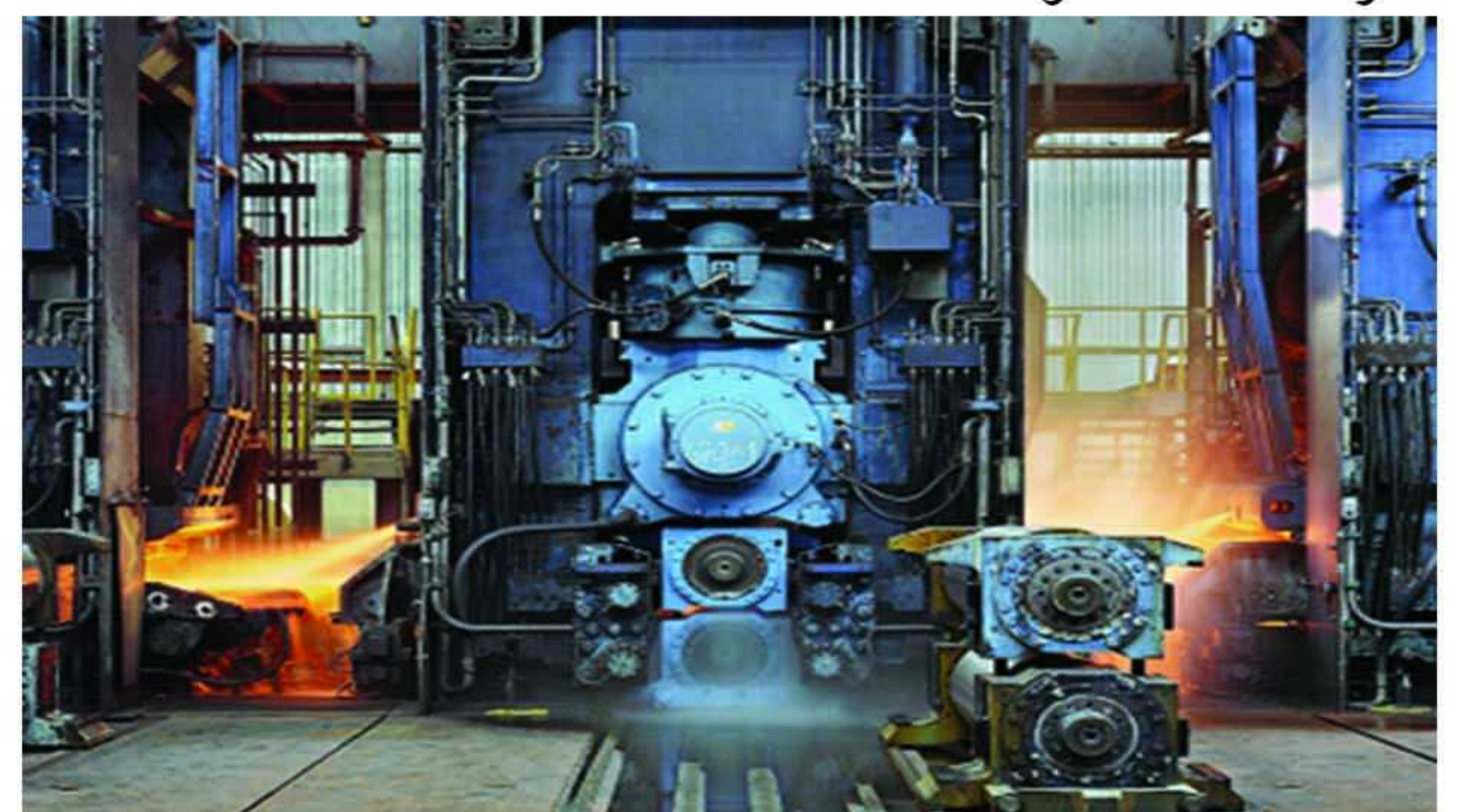
کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات خطوط نورد به ویژه در بخش بیرینگ های غلتشی در ماشین آلات دوار همواره مد نظر مهندسان نگهداری و تعمیرات صنایع فولاد بوده است. بیرینگ ها از قطعات پرمصرف و حیاتی در تجهیزات صنایع فولادی می باشند. همانگونه که قلب در بدن استراتژیک ترین عضو می باشد، به گونه ای که کوچکترین خلل در وضعیت کاری آن تاثیر مستقیم در به خطر افتادن حیات انسان را دارد، بیرینگ ها در ماشین های دوار صنعتی و صنایع استراتژیک از همان نقش برخوردارند. با توجه با اینکه بیرینگ های مورد استفاده در صنایع فولاد باید بتواند تحت شرایط سخت همچون سرعت های بسیار بالا و یا پایین، دمای بالا و مجاورت با آب و یا آلودگی کار کند، برای افزایش عمر عملکرد تجهیزات دوار می بایست از بیرینگ های با طول عمر بیشتر استفاده کرد. بیرینگ های مورد استفاده در نوردهای کاری، رول بیرینگ های استوانه ای چهار ردیفه است. در این مقاله به معرفی تکنولوژی های جدید به کار رفته در طراحی و ساخت رول بیرینگ استوانه ای چهار ردیفه و همچنین نگهداری آن پرداخته خواهد شد.

۱- مقدمه

صنعت فولاد به دلیل تاثیر زیادی که بر روی توسعه صنعتی کشورها دارد صنعت مادر نامیده می شود و به همین دلیل مهمترین و استراتژیک ترین کالای صنعتی در جهان محسوب می گردد، به طوری که میزان تولید و مصرف آن نشان دهنده پیشرفت کشورهاست. به طور متوسط هزینه های سالانه، نگهداری و تعمیرات در واحدهای مختلف صنعتی بیش از ۸۰٪ کل هزینه های واحدها می باشد. با توجه به حجم بودجه های جاری صنعت می توان گفت، سالانه صدها هزار میلیارد تومان صرف بهره برداری از صنایع کشور می گردد. از آنجا که بیرینگ ها استراتژیک ترین قسمت های ماشین های دوار هستند، از این رو افزایش عمر عملکرد این قطعات سبب افزایش عمر دستگاه ها خواهد شد.

در بین صنایع سنگین، صنعت فولاد با توجه به عملکرد تجهیزات در دمای بسیار بالا، سرعت بسیار بالا و پایین، بارهای ضربه ای، آلودگی شدید و رطوبت بالا و مواد شیمیایی خشن عمر عملکرد برخی از قطعات مصرفی نسبت به شرایط معمول کمتر است. شرکت SKF واقع در سوئد، بزرگترین شرکت تولید کننده بیرینگ های غلتشی در جهان است که در صنعت فولاد نیز فعالیت داشته و به تولید بیرینگ ها در اندازه های متفاوت و کاربردهای مختلف، گریس ها، ابزار نگهداری و تعمیرات و تجهیزات پایش وضعیت می پردازد. در این مقاله به مطالعه امکان به کارگیری رول بیرینگ های چهار ردیفه آب بند شده در نوردهای کاری که جدیدترین محصول شرکت SKF می باشد، خواهیم پرداخت.

در ماشین های نورد، مقادیر زیادی از آب همراه با آلاینده ها می تواند به شدت عمر کاری بیرینگ هایی که به طور مناسب آب بند نشده اند را کاهش دهد. از این رو بیرینگ های باز و آب بند شده می بایست به گونه ای مناسب آب بندی خارجی گردند. به منظور محافظت از رول بیرینگ های مخروطی چهار ردیفه در محیط بسیار آلوده همانند ماشین های نورد، SKF طبقه بندی عظیمی از آب بندهای لاستیکی

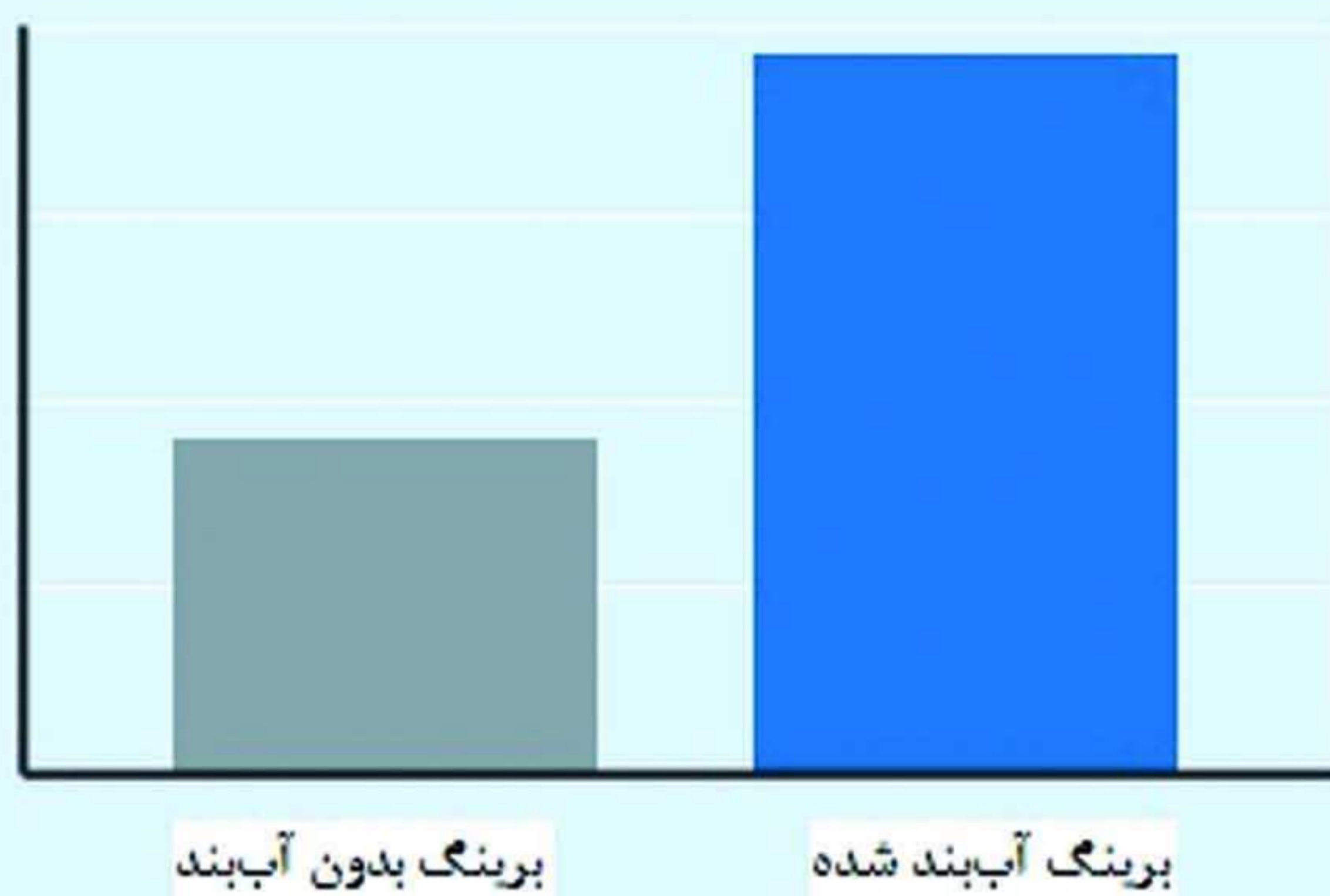


شکل ۱. نمایی از تجهیزات صنعت فولاد



شکل ۲. رولربیرینگ چهار ردیفه مخروطی آب بند شده

عمر سرویس دهی نسبی بیرینگ‌های نورد کاری



شکل ۳. مقایسه نسبی بیرینگ آب بند شده و باز

۳- عملیات حرارتی پیشرفته

سیکل‌های گرم کردن و سرد کردن زمانبندی شده فلزات، سرامیک‌ها و آلیاژها به منظور بدست آوردن خواص مکانیکی و فیزیکی مطلوب، عملیات حرارتی می‌نامند. عملیات حرارتی برای تغییر خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و به ویژه متالورژیکی مواد استفاده می‌شود. حلقه‌های رولربیرینگ مخروطی چهار ردیفه SKF برای نورد کاری با استفاده از عملیات حرارتی پیشرفته، به منظور سخت کردن تا عمق مورد نظر به صورت کنترل شده کربورایزه می‌شود. این عملیات نهایتاً منجر به تعادل بهینه بین سختی سطحی بالا و چقرمگی مغز قطعه منجر می‌شود. افزایش سختی سبب بهبود مقاومت در برابر سایش و آسیب سطحی شده و چقرمگی مناسب هم به پایداری در بارهای ضربه ای کمک می‌کند.

با قطر زیاد را دارد. از مزایای آب بندهای ذکر شده می‌توان به محافظت عالی سوراخ هوزینگ (به دلیل عدم تماس فلز با فلز)، جلوگیری از خوردگی بین آب بند و سوراخ هوزینگ، کاهش ریسک آسیب به آب بند و هوزینگ در زمان نصب و خارج ساختن آن اشاره کرد.

۲- معرفی رولربیرینگ چهار ردیفه آب بند شده

رولربیرینگ مخروطی چهار ردیفه در سراسر جهان برای بیرینگ‌های نورد های گرم و سرد به دلیل تحمل بارهای شعاعی و محوری سنگین و مقرون به صرفه بودن استفاده می‌شود. شرکت SKF مدت هاست که با نام بیرینگ در صنایع مختلف شناخته می‌شود. در اوایل سال ۱۹۲۲، رولربیرینگ را به عنوان یاتاقان گردان در شرکت فولکس واگن بروک در سوئد معرفی کرد و هم اکنون نیز این شرکت در صنعت فولاد در کشورهای مختلف فعالیت دارد. در رولربیرینگ‌های مخروطی به دلیل رسیدن به حداکثر عمر کاری هندسه داخلی بهینه سازی گردیده است. همچنین به دلیل پروفیل لگاریتمی سطح تماس بین المان غلتنده و مسیر غلتش، توزیع نیرو در بیرینگ تحت تمام بارگذاری ها و ناهمراستایی ها به شدت بهبود یافته است. همچنین به دلیل پروفیل لگاریتمی بهتر و پرداخت سطح بهتر المان غلتان و سطح مسیر غلتش نه تنها شرایط روانکاری را بهبود می‌بخشد، بلکه سبب افزایش عمر عملکرد روانکار می‌شود.

این نوع رولربیرینگ‌های مخروطی چهار ردیفه با طراحی بهینه آب بندی (شکل ۲)، عملکرد و عمر بهتری نسبت به طراحی پیشین خود فراهم می‌آورد.

در این بیرینگ‌ها با استفاده از آلیاژهای مقاوم در برابر حرارت و مقاوم در برابر سایش و طراحی آب بند، سبب بهبود عملکرد آب بندی با کمترین نشتی، کاهش اصطکاک و دمای کارکرد لبه ی آب بند (که منجر به عمر بیشتر کاری می‌شود)، پایداری حرارتی و شیمیایی، قابلیت تحمل خیز و ناهمراستایی زیاد و عدم وجود فنر کششی (حذف ریسک رها شدن فنر و مدهای خرابی مرتبط با آن) می‌شود.

در شکل (۳) مقایسه عمر سرویس دهی بیرینگ‌های آب بند شده و باز نشان داده شده است.

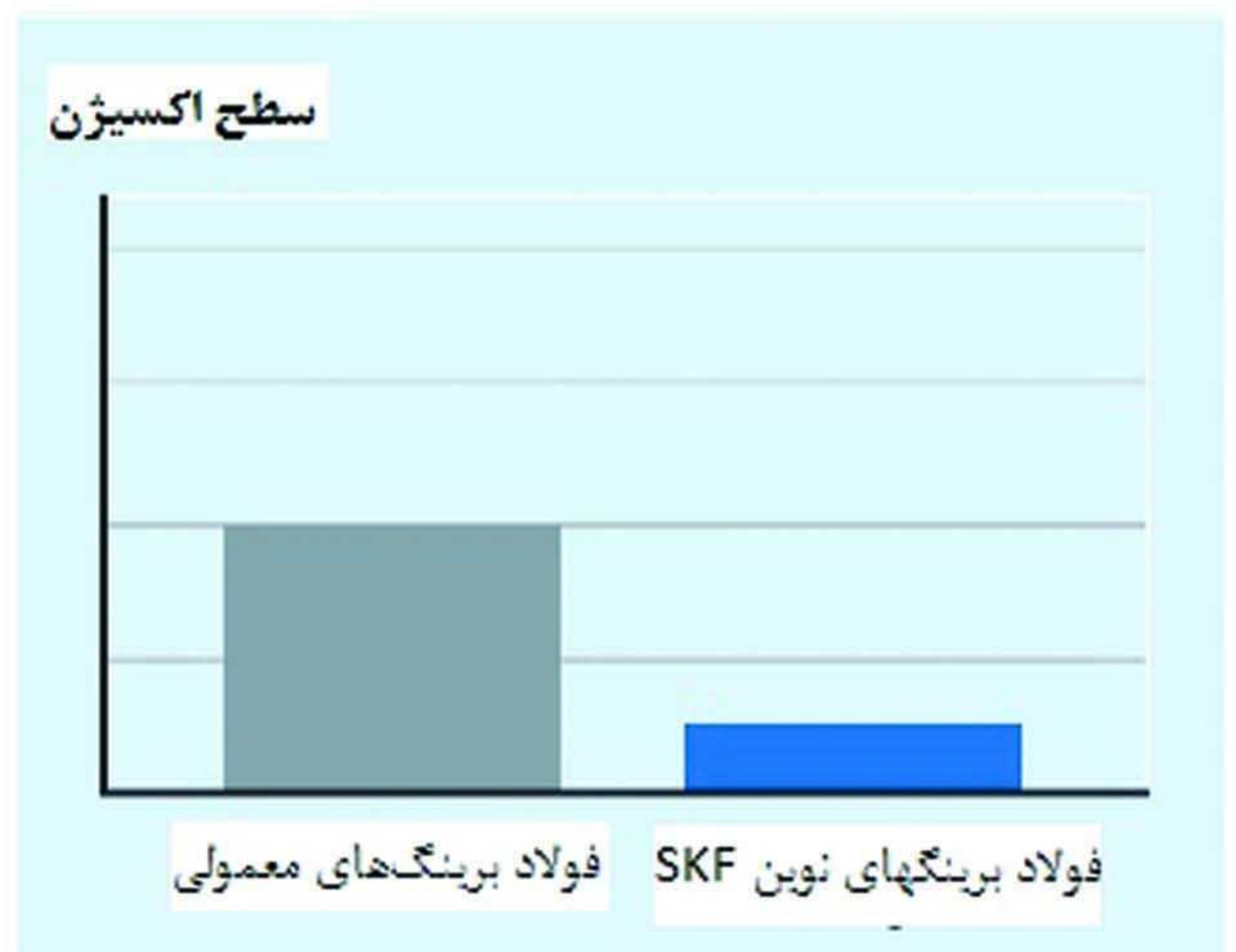
۴- پرداخت نهایی بهینه شده سطح

آب بند شده به دلیل ویژگی های ذکر شده و آب بندی مناسب طول عمر آن به صورت چشمگیری افزایش یافته و در نتیجه هزینه های تعمیر و نگهداری کاهش می یابد.

امروزه شرکت های بزرگ با به کارگیری تکنولوژی نوین ماشینکاری به پرداخت نهایی بهتر سطوح دست یافته اند. پرداخت بهتر و ظریف تر سطح المان های چرخان و مسیر غلتش (raceway)، سبب حذف قله های موجود در سطح المان چرخان و مسیر غلتش شده و سبب شکل گیری بهتر فیلم روانکار به منظور کاهش اصطکاک و انرژی مصرفی می شود.

۵- سختی سطح بالا

استحکام قطعات با استفاده از فولادهای همورژن، تمیز و کیفیت بالا و طی عملیات حرارتی متخصصانه به مقدار سختی بسیار بالایی دست یافته اند که سبب مقاومت بالا در برابر آسیب سطحی، عمر کارکرد بیشتر و مقاومت سایشی بهبود یافته می شود. فولاد همورژن شده با ترکیب شیمیایی بهبود یافته همچون سطح اکسیژن خیلی پایین، منجر به استحکام و دوام بالاتر شده که نهایتاً به عمر سرویس بالاتر منجر می شود.



شکل ۴: مقایسه سطح اکسیژن موجود در بیرینگ های معمولی و پیشرفته

۶- نتیجه گیری

در این مقاله به ارائه جدیدترین تکنولوژی شرکت SKF در تولید بیرینگ های نورد سرد و گرم صنایع فولادی اشاره شده است. در این نوع بیرینگ ها با استفاده از مرغوب ترین فولادها و به کارگیری تکنولوژی نوین در تولید قطعه عمر قطعات افزایش یافته و نهایتاً عمر رولربیرینگ بیشتر شده است. رولربیرینگ های مخروطی چهار ردیفه



پیاده سازی سیستم مکانیزه نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) در شرکت فولاد اکسین خوزستان

مهدی حسنعلی

شرکت فولاد اکسین خوزستان

چکیده

RCM فرآیندی است که اولاً معین می کند چه کاری می بایست برای تداوم عمر هر گونه سرمایه فیزیکی انجام شود، ثانیاً انتظاراتی را که کاربران از تجهیزات دارند، ضمانت و عملی نماید.

RCM یک روش مهندسی در جهت ایجاد ارتباط بین فعالیت های نت و مکانیزم خرابی ها به کمک یک ساختار منطقی می باشد. هدف از RCM دست یابی به قابلیت اطمینان مورد نظر (متناسب با میزان هزینه) بوسیله انجام آیتیم های ضروری (و نه بیشتر) می باشد. RCM فرآیندی است که تعیین می کند چه کارهایی باید انجام شود تا این اطمینان حاصل گردد که یک ماشین وظایف خود را به درستی انجام خواهد داد.

همچنین نیازهای نگهداری و تعمیرات تجهیزات و ماشین آلات را در شرایط کاری تعیین می کند تا هر یک از این تجهیزات به بهترین نحو وظایف اصلی خود را انجام دهند. بدون وجود RCM قابلیت اطمینان نت و بهره برداری کاهش پیدا می کند. این فرآیند با شناسایی ماشین آلات بحرانی، تجزیه و تحلیل عوامل موثر در قابلیت اطمینان، تجزیه و تحلیل حالت های خرابی و آثار آن (FMEA) و تجزیه و تحلیل اثرات خرابی یک ماشین بر کل کارخانه انجام می گیرد. RCM بیشترین تاثیر نت را برای ماشین آلات بر مبنای ایمنی، قابلیت دسترسی و بهینه کردن هزینه ها ایجاد می کند. مراقبت وضعیت (Condition Monitoring) نقش اساسی و مهم در این فرآیند و استراتژی به عهده دارد. در این مقاله تاریخچه، اجزاء، بخش ها، طرز بکارگیری و روش اجراء، موانع اصلی و مزایای روش RCM مورد بررسی قرار می گیرد.

کلید واژه ها: نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) - مراقبت وضعیت (CM) - نت پیشگیرانه (PM) - نت پیشینانه، پیش نگر (Pd M) - نت هوشمندانه، پیش اقدامانه، پیش گستر (Pa M) - تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن (FMEA).

۱- مقدمه

با توجه به پیاده سازی سیستم مکانیزه نگهداری و تعمیرات بر اساس قابلیت اطمینان در شرکت فولاد اکسین خوزستان، بر آن شدیم در مورد این استراتژی به طور خلاصه مطالبی بیان شود. استراتژی فعلی دنیای پیشرفته صنعتی بر پایه تولید و نت با عیوب صفر (Zero Defects)، از کارافتادگی صفر (Zero Breakdowns) و حوادث صفر (Zero Accidents) می باشد. برای رسیدن به این اهداف، دو استراتژی عمده نت وجود دارد. یکی از این روش ها، بکارگیری استراتژی نت بهره ور فراگیر (TPM) می باشد. برای

رسیدن به هدف مذکور از استراتژی RCM استفاده می شود. اکثر کارخانجات تولیدی و خدماتی، خط مشی و سیاست کلی خود را هر ساله تدوین و ارائه می نمایند، ولی عموماً برنامه خاص نت در راستای آن سیاست ها را ارائه و به مورد اجراء نمی گذارند. استراتژی RCM نتایج و دستاوردهای مختلفی بدنبال خود دارد که با اجراء و دستیابی به نتایج آن می توان در راستای اهداف و سیاست های کلی شرکت حرکت نمود. خط مشی و سیاست کلی در صنعت نورد بالا بردن ایمنی، افزایش قابلیت دسترسی و آماده بکاری ماشین آلات، کاهش تاخیرات، افزایش سرعت، بهبود کیفیت

۶- عملیات پیشگیرانه (Preventive Tasks): جهت جلوگیری از خرابی، چه اقداماتی باید انجام داد؟
 ۷- ناکارآمدی عملیات (Default Tasks): در صورتی که عملیات پیشگیرانه وجود نداشت، چه اقداماتی جهت جلوگیری و حذف خرابی‌ها باید انجام داد؟
 دو سوال اخیر را می‌توان تحت عنوان تجزیه و تحلیل عملیات (Tasks Analysis) مطرح نمود.

۳- تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن (Failure Modes and Effects Analysis (FMEA))

در این بخش موارد زیر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد:
 ۱- عملکردها (Functions)
 این بخش شامل شناسایی تجهیزات و ماشین‌آلات، تعیین عملکردها و تهیه استانداردهای اجرایی تجهیزات در شرایط کاری مربوطه می‌باشد. این شناسایی بایستی برای تمام بخش‌های مهم عملیاتی و قسمت‌ها انجام شود. RCM بر روی شناخت استانداردهای اجرایی موردنیاز تجهیزات، تاکید دارد.

۲- خرابی‌های عملکردی (Functional Failures)
 در این قسمت کلیه حالات خرابی‌های عملکردی برای کلیه تجهیزات و شرایط کاری مربوطه تعیین می‌شود. یک خرابی عملکردی به عنوان ناتوانی یک قسمت برای رسیدن به سطح استانداردهای مورد نیاز اجرایی و انجام عملکرد مربوطه در سطح مطلوب، تعریف می‌شود.

۳- صور مختلف خرابی (Failure Modes)
 در این مرحله صور مختلف خرابی که سبب وقوع خرابی‌های عملکردی می‌شوند، شناسایی می‌شوند. حالت‌های خرابی دلایل مهندسی هستند که تعیین می‌کند چرا یک قسمت در انجام وظیفه مربوطه، بازمانده است.

۴- اثرات خرابی (Failure Effects)
 در این مرحله اثرات خرابی برای هر حالت خرابی ثبت می‌شود. اثرات خرابی ایجاد شده بایستی در فرم‌های مربوط به FMEA ثبت گردد.

خدمات و کاهش هزینه‌ها می‌باشد. اجرای سیستم نت بر اساس این اهداف و سیاست کلی، احتیاج به استراتژی متمرکز دارد که RCM پاسخگوی آن می‌باشد.

RCM مقدار نت مناسب برای رسیدن به حداکثر توانایی و قابلیت اطمینان ذاتی تجهیزات را بر اساس شرایط کاری مربوطه مشخص می‌کند. به عبارت دیگر برای تجهیزات مشابه و در شرایط کاری مختلف، نیازهای متفاوتی تعیین و مشخص می‌نماید که این برخلاف روشی است که در حال حاضر در بسیاری از کارخانجات بکار گرفته می‌شود.

موانع اصلی اجراء و بکارگیری موفق RCM، زمان و تلاش مورد نیاز، طرز فکر نفرات نت و دیدگاه سنت‌گرایی آنها می‌باشد. اجرای برنامه RCM و مهندسی قابلیت اطمینان از سال ۱۹۷۵ در صنایع آغاز و توسعه آن تا به حال ادامه پیدا کرده است. هدف از اجرای این برنامه در صنایع بالابردن قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی (Availability)، قابلیت تعمیرپذیری (Maintainability) و ایمنی ماشین‌آلات بوده است.

۲- اجرای RCM

جهت اجرای RCM بایستی با استفاده از یک قالب سازمان یافته در مورد تجهیزات موجود و شرایط کاری آنها، سوالات زیر بررسی و پاسخ داده شود.

۱- عملکردها (Functions): عملکردها و استانداردهای اجرایی تجهیزات چه هستند؟

۲- خرابی‌های عملکردی (Functional Failures): کدام وجه یا وجوه عملکردی یک وسیله، دچار خرابی می‌شود؟

۳- صور مختلف خرابی (Failure Modes): انواع و صورت‌های خرابی عملکردی کدام هستند؟

۴- اثرات خرابی (Failure Effects): وقتی هر خرابی به وقوع می‌پیوندد، چه اتفاقی می‌افتد؟

چهار سوال فوق را می‌توان تحت عنوان تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن (FMEA) مطرح نمود.

۵- پیامدها و نتایج خرابی (Consequences): هر خرابی از چه نظر اهمیت دارد؟

۴- ناکارآمدی عملیات - عدم وجود عملیات پیشگیرانه (Default Tasks)

در صورتیکه نت پیشگیرانه و یا پیش‌نگر مناسبی را نتوان مشخص نمود، RCM عملیات باقی‌مانده را تعیین می‌نماید. این عملیات عبارتند از:

۱- پیدا نمودن خرابی‌هایی که مستلزم بازبینی دوره‌ای از عملیات پنهان می‌باشد.

۲- در صورتیکه هیچگونه عملیات پیشگیرانه (Preventive Tasks) وجود نداشته باشد و یا اینکه مشخص نمودن خرابی‌ها با مشکل روبرو بوده و نتایج و خطرات آنها غیرقابل قبول باشد، بایستی تجهیزات مجدداً طراحی شوند.

۳- زمانی که خرابی‌ها هیچگونه پیامد ایمنی و محیطی نداشته باشند و هزینه عملیات پیشگیرانه بیشتر از اصلاح خرابی و یا عواقب آن باشد، احتیاجی به نت برنامه ریزی شده وجود ندارد (Breakdown Maintenance (BM)).

۵- شیوه‌ی اجرای RCM

جهت اجراء و توسعه RCM در یک کارخانه سه مرحله وجود دارد. موفقیت در هر مرحله، موفقیت در مراحل بعدی را به دنبال خواهد داشت این مراحل عبارتند از:

۱- مرحله شروع کار، آموزش و کسب موفقیت‌های اولیه معمولاً سال اول اجرای RCM به عنوان سال بررسی و آزمایش مفاهیم تلقی می‌شود. عموماً این برنامه در کارخانه‌ای که فقط دارای برنامه BM و PM با موفقیت نسبی است، شروع می‌شود. اولین قدم در اجرای موفق RCM ایجاد دو گروه کاری اصلی «برنامه ریزی نت» و «بهبود قابلیت اطمینان» است. گروه «برنامه ریزی نت» می‌تواند همان گروه «نت پیشگیرانه» باشد ولی هدف اصلی آن باید از صدور دستور کار محض به برنامه ریزی کامل نت تغییر یابد. گروه «بهبود قابلیت اطمینان» ابتدا به اجرای برنامه نت پیش‌نگر کارخانه تمرکز کرده و سپس به تدریج با افزایش تجربه افراد گروه، بسوی برنامه نت پیش‌گستر حرکت می‌کند.

۲- مرحله اجرا و توسعه نت پیش‌نگر و شروع نت پیش‌گستر معمولاً در سالهای دوم و سوم اجرای برنامه، روشهای جدید CM

۵- تجزیه و تحلیل پیامدها و نتایج خرابی (Consequences Analysis): پیامدها و نتایج هر حالت خرابی‌ها بازبینی و بررسی مقدار اهمیت خرابی، طبقه بندی و تقسیم‌بندی می‌شود. RCM پیامدهای خرابی را در چهار گروه طبقه‌بندی می‌کند:

۵-۱- خرابی‌های مخفی از نظر اقتصادی (Hidden Economic) یا HE: این نوع خرابی‌ها مخفی بوده و پیامد مستقیم برای راهبر ندارد. نتایج در این نوع خرابی‌ها، هزینه مربوط به خرابی، هزینه مربوط به سیستم، هزینه مربوط به بازسازی و تعمیرات می‌باشد.

۵-۲- خرابی‌های قابل رویت از نظر اقتصادی (Evident Economic) یا EE: پیامدهای این نوع خرابی‌ها قابل رویت بوده و نتایج بر کیفیت محصول و خدمات ارائه شده به مشتری اثر می‌گذارد.

۵-۳- خرابی‌های مخفی از نظر ایمنی (Hidden Safety) یا HS: این نوع خرابی‌ها، پیامد مستقیم ندارند ولی سیستم را در معرض خطر سایر خرابی‌ها که اغلب نیز شدید هستند، قرار می‌دهند.

۵-۴- خرابی‌های قابل رویت از نظر ایمنی (Evident Safety) یا ES: این نوع خرابی‌ها سبب صدمه به افراد و حتی مرگ، نقص یک استاندارد و یا شرایط زیست محیطی می‌شوند.

۶- تجزیه و تحلیل عملیات (Tasks Analysis): هدف از تجزیه و تحلیل عملیات، شناسایی مناسب‌ترین روش نت برای رفع هر حالت خرابی می‌باشد.

هر حالت خرابی با استفاده از «الگوریتم تصمیم» (Decision Algorithm) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مناسب‌ترین روش نت تعیین می‌گردد. اجرای این برنامه در حقیقت از ترکیب روشهای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM)، هوشمندانه (PdM)، اجرای برنامه‌های مراقبت وضعیت (CM) و پیش‌گستر (PaM) بصورت یک تکنولوژی واحد، صورت می‌گیرد. این برنامه، زمانی موفقیت‌آمیز است که با هدف کسب بیشترین قابلیت اطمینان برای ماشین‌آلات، ادغام گردد.

اجرای برنامه RCM نیازمند ایجاد تعادل در زمینه نت‌های یاد شده می‌باشد. اطلاعات دقیقی که از وضعیت موجود ماشین‌آلات از طریق CM و اجرای نت پیش‌نگر بدست می‌آید، تعادل مورد نظر را بین برنامه‌های نت پیشگیرانه و پیش‌گستر فراهم می‌سازد و موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود.

- افزایش ایمنی (Safety)
- افزایش راندمان و کارایی (Performance)
- کیفیت بهتر (Quality)
- بهینه کردن هزینه‌ها (Cost Effectiveness)
- برآورد و کاهش هزینه‌ها در یک دوره عمر کاری ماشین آلات (Life - Cycle Cost)
- افزایش عمر تجهیزات (Equipment Life)
- برنامه ریزی بر اساس اطلاعات نت (Maintenance Data)
- ایجاد انگیزه و کار گروهی (Motivation and Teamwork)
- پیش بینی سریع و دقیق نیازهای نت
- حذف توقف ماشین آلات
- ارزیابی و تعیین ساعات کاری قابل قبول پرسنل نت
- حفظ سطح مطلوب ظرفیت و زمان بهره‌برداری توسط قسمت‌های نت و بهره‌برداری

۷- نتیجه گیری

استراتژی و سیاست RCM □ بالا بردن ایمنی، قابلیت دسترسی ماشین آلات و بهینه کردن هزینه‌ها می‌باشد و آن را می‌توان در راستای سیاست‌ها و خط‌مشی کلی سازمان به مورد اجرا گذاشت. با اجرای RCM کلیه اطلاعات کارخانه شامل مشخصات فنی و آموزشی پرسنل نت، نحوه و کیفیت نت و بهره‌برداری، برنامه‌ریزی در ابعاد گوناگون و هزینه‌ها، قابل ارزیابی و تجزیه و تحلیل می‌باشد. در این استراتژی روشهای مختلف CM و نت پیش‌نگر نقش محوری ایفا نموده و تعادل مورد نیاز بین نت پیشگیرانه و پیش‌گستر را برقرار می‌کند.

ناگفته پیداست یافتن راهی مناسب و تعیین استراتژی مشخص و کارآمد جهت بالا بردن سطح نت و کاهش صدمات ناشی از مشکلات فنی تجهیزات تنها راه مقابله با خسارات مالی، جانی و اعتباری صنایع خرد و کلان می‌باشد. گاهی لازم است در یک صنعت مشخص از چند روش نت به صورت توأم استفاده شود تا سازمان بتواند به نتایج مطلوب در نگهداری و تعمیرات تجهیزات دست یابد. با توجه به اینکه در حال حاضر اهمیت نگهداری و تعمیرات بر همگان مشخص گشته،

و نت پیش‌نگر افزوده می‌شود. در این مرحله اطلاعات مربوط به شرایط کاری ماشین‌آلات بصورت کامل بابت پیشگیرانه و نت پیش‌گستر از جمله هم‌محور نمودن دقیق، بالانس کردن و تجزیه و تحلیل علل اصلی خرابی‌ها ادغام می‌شود.

در مراحل پیشرفته اجرای RCM، کارخانه منحصراً به حذف توقف‌های بی‌برنامه بهره‌برداری (تولید)، حذف دائمی اشکالات مربوط به ماشین‌آلات، بالا بردن کیفیت بهره‌برداری و رسیدن به حداکثر بهره‌وری تمایل دارد.

۳- مرحله ارزیابی مراحل RCM اجرا شده

به منظور حفظ پشتیبانی مدیریت از اجرای این برنامه لازم است که نتایج برنامه RCM مورد ارزیابی واقع شده و بصورت مکتوب ثبت شود.

شاخص‌های مهم ارزیابی عملکرد RCM عبارتند از:

هزینه بخش نت در هر ماه، هزینه نت بر واحد مسافت طی شده یا انرژی تولیدی، مقدار مسافت طی شده بدون مشکل در هر ماه، تعداد خرابی‌ها و توقفات در هر ماه، درصد خرابی و توقفات به ازای مسافت طی شده یا انرژی تولیدی، میزان اضافه کاری بخش نت، تعداد نت اضطراری در مقایسه با کل دستور کارهای انجام شده یا مقدار ساعت نت اضطراری در مقایسه با تعداد کل ساعات نت، درصد زمان توقف ماشین‌آلات به دلیل فعالیت‌های تعمیراتی در مقایسه با کل زمان آماده بکار بودن آنها، درصد زمان بکارگیری تجهیزات از کل زمان آماده بکار بودن آنها، تعداد عیوب کشف شده توسط برنامه RCM در هر ماه، تعداد اصلاحات پیشنهاد شده توسط برنامه RCM در هر ماه، کل سود حاصل از اجرای روشهای نت پیش‌نگر، درصد ماشین‌آلات کارخانه که تحت پوشش نت پیش‌نگر قرار گرفته است.

۶- دستاوردها و نتایج RCM

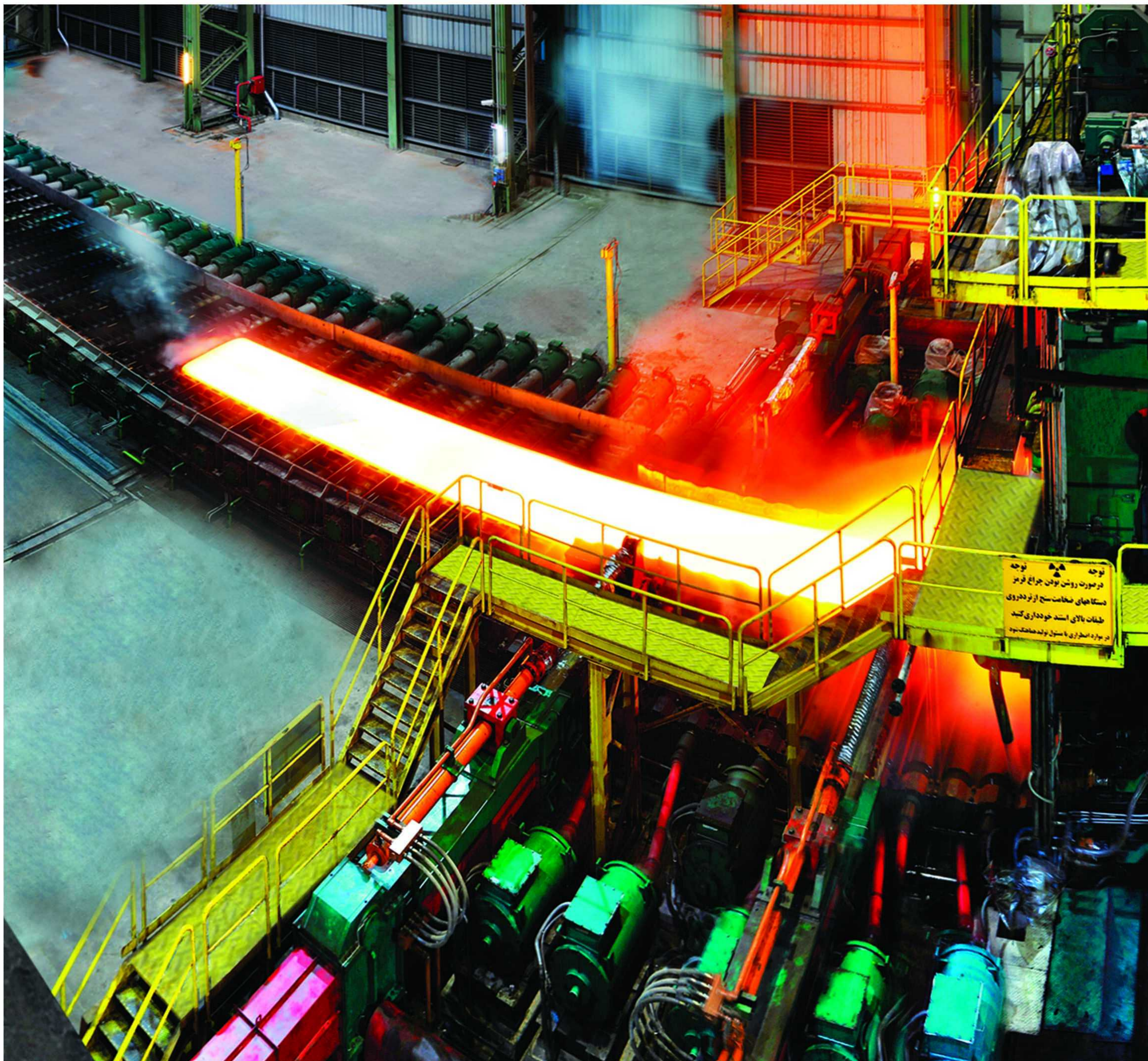
کارخانجات مختلف جهت دستیابی به نتایج و دستاوردهای گوناگون، برنامه RCM را اجراء می‌کنند. اما عموماً دستاوردها و نتایج حاصله از RCM بطور خلاصه عبارتست از:

۸- منابع و مراجع

- [1] RCM Handbook, Reliability Centered sentence Handbook, Naval Sea Systems Come, US Department of Defense, Washington DC 20301, 1983.
- [2] Reliability Centered Maintenance, Neil B. Bloom.

امید است این مقاله گامی کوچک برای آشنایی علاقه مندان در استفاده از روش های نوین و موثر نگهداری و تعمیرات برداشته باشد.





نوجه
در صورت روشن بودن چراغ قرمز
دستگاههای حفاظت سطح از تردد روی
سطحات بالای استند خودداری کنید
در موارد اضطراری با مسئول بایند هماهنگ کنید

بررسی راندمان جایگزینی ورق فولادی ST37 با ST52 در مقاطع مختلف ساختمانی

سارا چهارطاقی^۱، سالم بعنونی^۲، علی اکبر پیراسته^۳

دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

استفاده از فولادهای پرمقاومت در سازه های فولادی در دنیا بسیار متداول شده است. اما متأسفانه در صنعت ساختمان هنوز تجربیات و اطلاعات دقیقی از میزان اثربخشی آنها در مقاطع فولادی بخش های مختلف ساختمان در ایران وجود ندارد. در این مقاله اثر جایگزینی فولاد پرمقاومت ST52 به جای فولاد ST37 بررسی شده است. در این بررسی راندمان جایگزینی بر اساس محل استفاده مقطع در ساختمان و نوع نیرو وارد بر آن محاسبه شده است. نتایج نشان می دهد که حدود ۲۴ درصد وزن ساختمان را می توان کاهش داد. علاوه بر جایگزینی کلی مقطع، شش حالت شامل جایگزینی ترکیبی تیرها و ستونها بر حسب محل استفاده در ساختمان نیز بررسی شد. تحلیل های جزئی تر نشان داد که تیرهای با طول کوتاه تر اثر بیشتری در کاهش وزن ساختمان در اثر جایگزینی با فولاد مقاومت تر دارند و این به دلیل تاثیر بارگذاری در مقاطع بر می گردد که مقطعی که تحت کشش و خمش قرار می گیرند نسبت به مقطعی که تحت فشار قرار می گیرند، جایگزینی توجیه اقتصادی بیشتری دارد.

واژگان کلیدی: فولاد نرمة ST37، فولاد پرمقاومت ST52، جایگزینی، مقاطع مختلف ساختمان، نرم افزار ETABS

۱- مقدمه

امروزه یکی از دغدغه های تولید کنندگان، مهندسان و مشاوران مسئله کاهش هزینه های اضافی و بهینه سازی مواد و انرژی در صنعت ساختمان و ... می باشد. از این رو کاهش حجم فولاد مصرفی از طریق جایگزینی فولاد پرمقاومت ST52 به جای فولاد نرمة ST37 در ساختمان می تواند گام بزرگی در تحقق این هدف ملی باشد. تا حدود نیم قرن پیش تنها نوع مورد استفاده از فولاد در امر ساختمان سازی، فولاد کربن دار نرمة یا فولاد ساختمانی بود. هر چند که سایر انواع فولادها تا آن سال ها شناخته شده و مورد تولید قرار گرفته بود، لیکن هنوز آزمایش های لازم برای شناخت مشخصات مکانیکی، جوش پذیری و رفتار اعضای ساخته شده از آنها به حد تکامل نرسیده بود. امروزه با استاندارد شدن انواع مختلف فولاد و تولید الکترودهای مناسب برای جوشکاری آنها، اجازه استفاده از انواع مختلف فولاد در امر ساختمان سازی و پل سازی در آیین نامه های معتبر داده شده است [۱]. با این وجود متأسفانه به دلیل عدم شناخت کافی مهندسين ایرانی از خواص و ویژگی های آن رشد چندانی در صنعت ساخت و ساز ایران نداشته است. افزایش روند رشد کاربرد این نوع فولاد، مستلزم تحقیق و بررسی بیشتر در زمینه شناخت ویژگی های آنها و عملکردشان در

برابر نیروهای خارجی مانند نیروهای لرزه ای می باشد. تا زمانی که محققان در این زمینه تحقیقاتی به عمل نیاورند استفاده از این نوع فولاد که باعث کاهش هزینه های پروژه های ساختمانی می شود، توسعه نخواهد یافت. استفاده از فولادهای پرمقاومت مانند ST52 مزایای بسیاری دارد. عمده ترین مزایای آن کاهش وزن سازه و به تبع آن کاهش ابعاد فونداسیون، کاهش حجم فلز جوش، زمان و هزینه های ساخت و ساز، صرفه جویی در تولید ملی و مسائل زیست محیطی می باشند. کارایی فولادهای پرمقاومت در مواردی که تنش کنترل کننده می باشد و به آنها اجازه تسلیم کامل داده شود، بسیار به صرفه می باشد. با توجه به نمودار تنش - کرنش با افزایش تنش تسلیم مدول یانگ افزایش نمی یابد و این عامل ممکن است مشکلاتی را در خدمت پذیری سازه به وجود آورد [۲].

(گرامی و همکاران، ۱۳۸۴) با استفاده از مدل سازی قاب های ساده فولادی به همراه بادبندهای فولادی برون محور و انجام آنالیز بار افزون به صورت استاتیکی با نرم افزار SAP2000 مقایسه ای میان رفتار لرزه ای سازه های فولادی در دو حالت، استفاده از فولاد نرمة و پرمقاومت صورت پذیرفته است [۳].

^۱دانشگاه شهید چمران اهواز، sara_chahartaghi@yahoo.com
 (نویسنده مسئول)

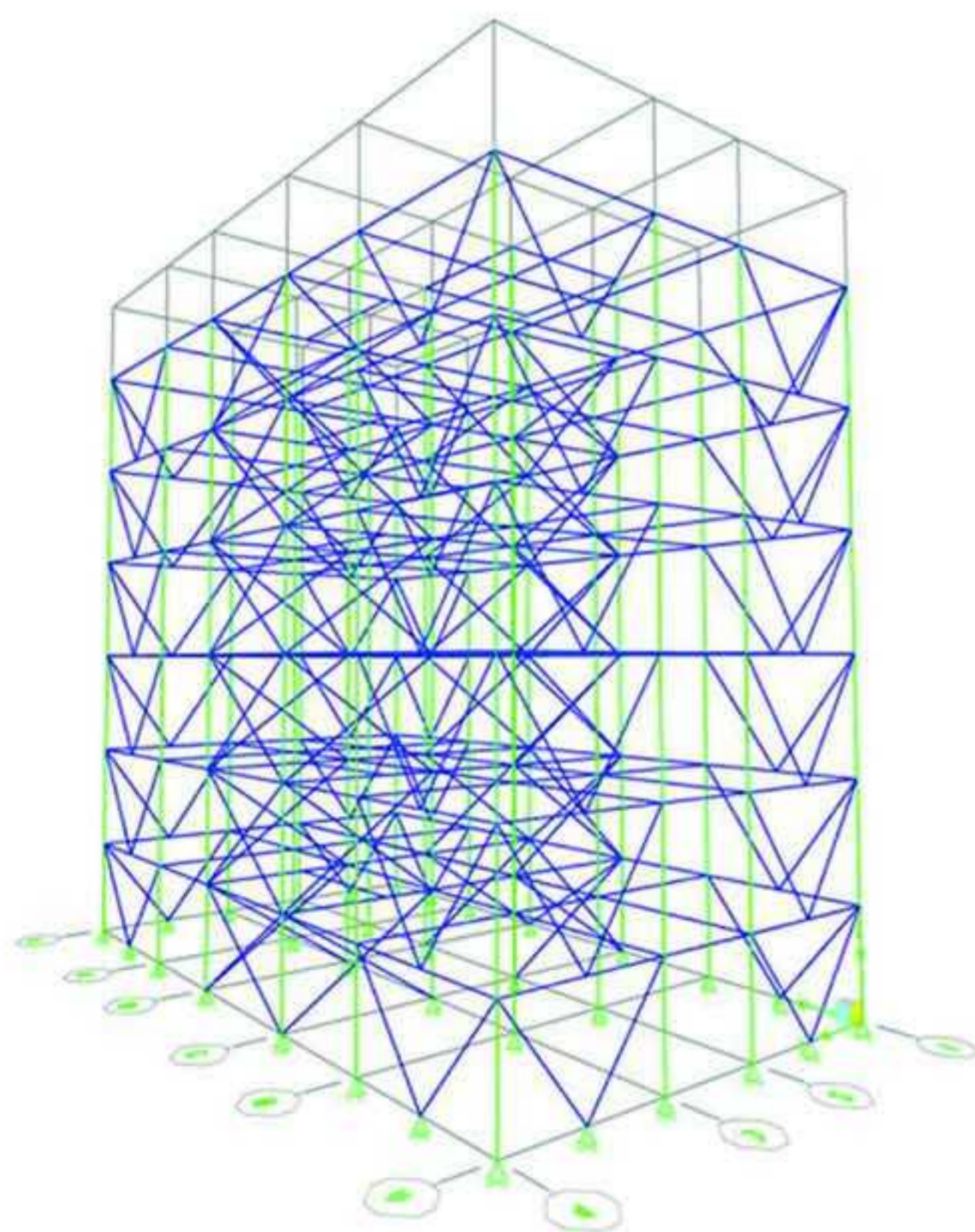
^۲دانشگاه شهید چمران اهواز، banooni@scu.ac.ir

^۳دانشگاه شهید چمران اهواز، pirasteh@scu.ac.ir

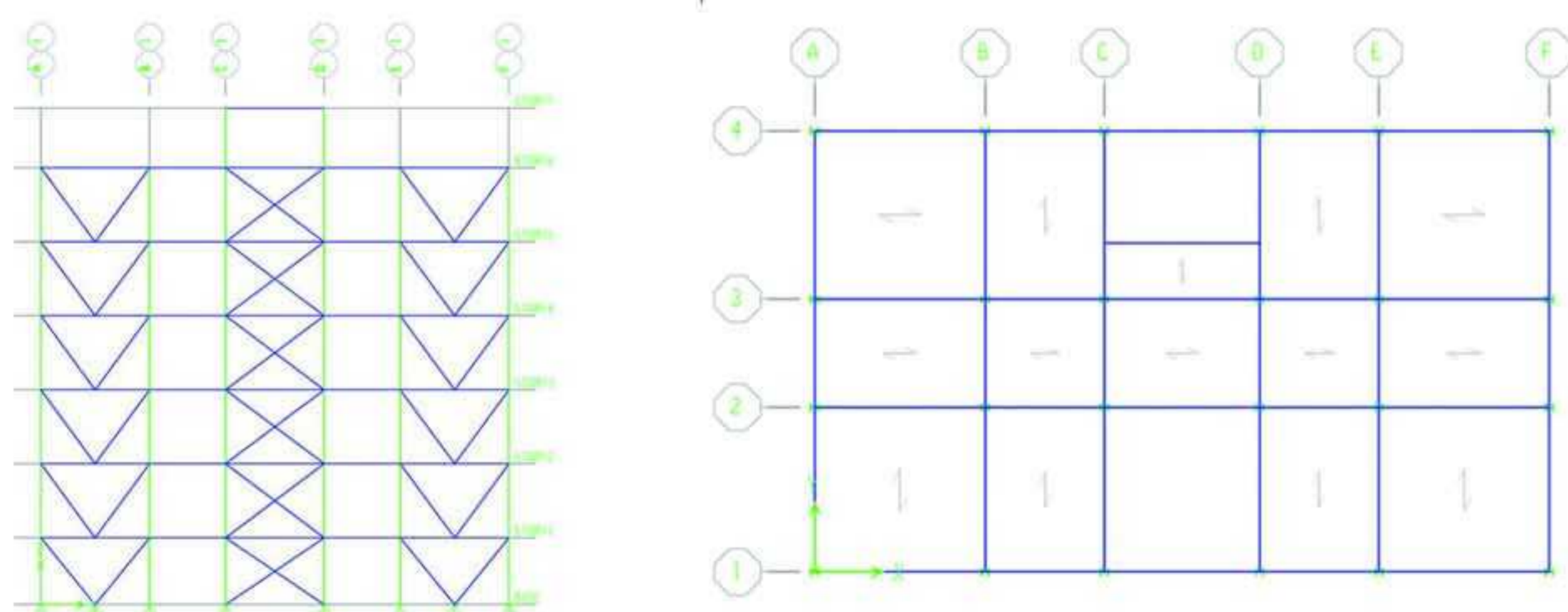
۲- روش تحقیق

در این مطالعه با استفاده از نرم افزار تحلیل و طراحی سازه ها (ETABS) یک نمونه ساختمان ابتدا با فولاد ST37، طراحی و تحلیل شده است (حالت ۱) سپس با طراحی تیرها و ستونهای بخش های مختلف همان ساختمان با فولاد ST52 شرکت فولاد اکسین خوزستان (حالت ۲)، شرایط ساختمان از لحاظ وزن و مقاومت بهبود یافته است. شکل ۱ و ۲، پلان و نمایی از ساختمان مورد مطالعه در نرم افزار ETABS را نشان می دهند. مشخصات ساختمان های مورد مطالعه:

- اسکلت فولادی با سقف تیرچه بلوک و بلوک سفالی.
- طول ساختمان ۲۰ متر و عرض آن ۱۲ متر می باشد.
- تعداد طبقات ۵ طبقه به همراه پارکینگ.
- ارتفاع پارکینگ ۲/۴ متر و ارتفاع طبقات مسکونی ۲/۸ متر.
- تیرها و ستون ها از ورق ساخته شده اند.
- محل ساختمان شهر اهواز می باشد.
- ترکیبات بار بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان معرفی شده اند.



شکل ۱: نمایی از ساختمان در نرم افزار ETABS



شکل ۲: پلان و مقطعی از ساختمان در نرم افزار ETABS

(پورمستدام و باقرزاده، ۱۳۸۴) در مطالعه خود ویژگی ها و استاندارد فولادهای استحکام بالا و تأثیر پارامترهای مختلف از قبیل اندازه دانه و سرعت سرد کردن بر مورفولوژیهای گوناگون فریت و تأثیر آنها بر افزایش استحکام، چقرمگی و ضریب اطمینان به منظور جایگزینی این فولادها با فولادهای معمولی در صنعت ساختمان و سازه های فلزی مورد بحث قرار می گیرد [۴].

در تحقیق دیگری (گرامی و همکاران، ۱۳۸۴) ساختمان های با ارتفاع های متفاوت را (۵، ۱۲ و ۲۰ طبقه) مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گیری و ارزیابی اقتصادی نشان داد که فولادهای مقاومت بالا بیشتر در کاهش وزن قابهای کوتاه موثر هستند و گاهی مواقع استفاده از ترکیب فولادهای مقاومت بالا و معمولی می تواند موجب اقتصادی تر شدن سازه شود [۵].

(کوالهو و بیجلارد، ۲۰۰۶) در مطالعه ای که بر روی اتصالاتی که با ورق انتهایی و فولاد پر مقاومت ساخته شده بودند انجام دادند، دریافتند که ویژگی های اصلی شکل پذیری این اتصال به عواملی همچون هندسه اتصال، شکل پذیری خوب مصالح برای بت و ورق انتهایی، نسبت بین مقاومت ورق و بت و کیفیت جوشکاری بستگی دارد. از دیدگاه کلی، استفاده از فولادهای با تنش تسلیم بالاتر در بسیاری از موارد منجر به کاهش وزن فولاد مصرفی گشته و دارای صرفه اقتصادی است. در اعضایی که بر اساس معیار مقاومت طرح می شوند و مسأله ناپایداری در آنها تعیین کننده است، استفاده از نوع مقاوم تر فولاد باعث کاهش هزینه ها نخواهد شد. پس به صورت کوتاه و مختصر می توان نتیجه گیری کرد که نوع سازه و معیارهای حاکم در آن، نسبت قیمت فولاد پر استحکام به فولاد معمولی و امکان تهیه آن در مدت زمان اجرای پروژه از عوامل موثر در انتخاب نوع فولاد مصرفی می باشند [۶]. لذا در این مقاله بر خلاف مطالعات پیشین که به صورت کلی اقدام به جایگزینی فولاد پر مقاومت در ساختمان نموده اند، در این مطالعه راندمان جایگزینی بر اساس محل قرارگیری مقطع، طول مقطع و نوع کاربرد آن محاسبه شده است. این مطالعه، اطلاعات جزئی تری در خصوص چگونگی جایگزینی فولادهای پر مقاومت در ساختمانهای متداول بر اساس نوع فولادهای تولیدی در داخل کشور را در اختیار می گذارد.

جدول 1: نمونه هایی از تیر ورقهای مورد استفاده در ساختمان در هر دو حالت.

ابعاد ورق (میلیمتر) حالت 1	ابعاد ورق (میلیمتر) حالت 2	موقعیت در محورها
۱۵ * ۱۶۰	۱۰ * ۱۰۰	B-2-3 تیر پارکینگ
۱۰ * ۱۶۰	۱۲ * ۱۰۰	C-2-3 تیر طبقه دوم
۱۵ * ۱۸۰	۱۰ * ۱۶۰	2-C-D تیر طبقه اول
۱۰ * ۲۴۰	۱۰ * ۱۶۰	4-F ستون پارکینگ
۱۲ * ۱۸۰	۱۵ * ۱۶۰	3-B ستون طبقه سوم
۱۵ * ۲۵۰	۱۵ * ۱۸۰	1-E ستون طبقه اول

در این طرح سعی شده است تا حد ممکن از مقاطعی استفاده شود تا نسبت تنش آنها به عدد ۱، نزدیک شود. پس از تحلیل ساختمان ابتدا با همان مقاطع حالت ۱ مشاهده شد که به طور کامل از ظرفیت تیرها و ستون ها استفاده نشده است و برای اقتصادی تر شدن طرح می توان مقاطع را کوچک تر انتخاب کرد. بنابراین مقاطع موجود به صورت تک تک با مقاطع جدید و کوچکتری جایگزین شدند که نمونه هایی از آنها در جدول ۱ مشاهده شد. پس از این که ساختمان در حالت ۱ با تیر ورق های ST37 معرفی شده، طراحی شد ساختمان حالت ۲ طراحی می شود. در ادامه دو دیدگاه مطالعه شده است. در دیدگاه اول جایگزینی تمام مقاطع با فولاد ST52 است. پس از طراحی تمام مقاطع موجود در ساختمان با در نظر گرفتن این که از تمامی ظرفیت مقاطع استفاده شود نوبت به استخراج داده ها می شود. در جدول ۲ وزن نهایی تیرها و ستون ها در هر دو حالت به تفکیک آمده است که نشان می دهد در حالت ۲ به میزان چشم گیری در مصرف فولاد صرفه جویی شده است.

جدول 2: مقایسه وزن دو ساختمان در دو حالت مختلف.

کاربرد	وزن حالت 1 (تن)	وزن حالت 2 (تن)	درصد کاهش فولاد
تیر	۲۹۱/۷۳	۲۱۷/۶۲	۲۵/۴
ستون	۲۶۱/۳۶	۲۰۱/۷	۲۲/۸
کل	۵۵۳/۰۹	۴۱۹/۳۲	۲۴/۱۸

همانطور که پیش بینی می شد میزان کاهش مصرف فولاد در حالت ۲ نسبت به حالت ۱ چشم گیر و به میزان ۲۴/۱۸ درصد بوده است. در دیدگاه دوم، با توجه به این که کاهش وزنی که از طریق جایگزینی این فولادها قابل دستیابی است نه تنها به اختلاف در مقاومت بلکه به طریقه بارگذاری نیز بستگی دارد بارگذاری و محل قرارگیری مقطع، طول آن و سایر مشخصات طراحی مدنظر قرار گرفت. همان طور که در مطالعات قبلی آورده شده است

مهم ترین مساله در این مطالعه محاسبه وزن فولاد مصرفی در هر کدام از ساختمان ها و مقایسه آنها با یکدیگر می باشد.

در حالت ۱، برای طراحی ساختمان از تیر ورق های ساخته شده با فولاد ST37 استفاده شده است که دارای $F_y=2400$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و $F_u=3700$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشند و در حالت ۲ از تیرورق های ساخته شده با فولاد ST52 استفاده شده که دارای $F_y=3600$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و $F_u=5200$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد.

در حالت ۱ ساختمان با فولاد ST37 طراحی شده است و در حالت ۲ چند نمونه ساختمان (با ابعاد و بارگذاری ساختمان حالت ۱) یک بار به طور کامل با فولاد ST52 و حالت های دیگر به صورت ترکیبی از ST37 □ ST52 طراحی شده است:

- نمونه ۱: ستون های گوشه با استفاده از ST52 و دیگر مقاطع با استفاده از ST37 طراحی شده اند.
- نمونه ۲: ستون های کناری با استفاده از ST52 و دیگر مقاطع با استفاده از ST37 طراحی شده اند.
- نمونه ۳: تیرهای کناری با استفاده از ST52 و دیگر مقاطع با استفاده از ST37 طراحی شده اند.
- نمونه ۴: تیرهای میانی با استفاده از ST52 و دیگر مقاطع با استفاده از ST37 طراحی شده اند.
- نمونه ۵: تیرهای با طول بلند با استفاده از ST52 و دیگر مقاطع با استفاده از ST37 طراحی شده اند.
- نمونه ۶: تیرهای با طول کوتاه با استفاده از ST52 و دیگر مقاطع با استفاده از ST37 طراحی شده اند.

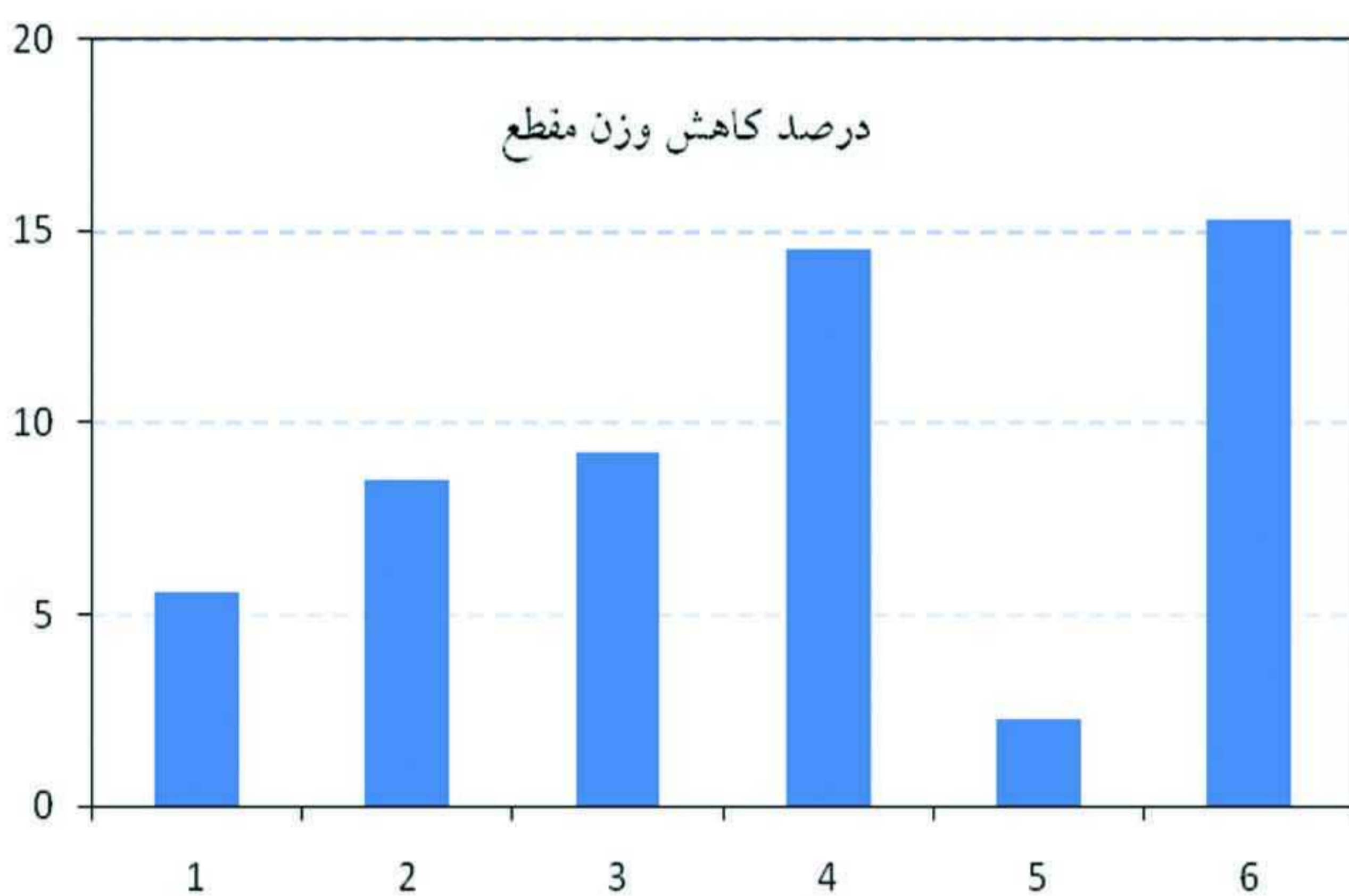
۳- یافته ها

در این طرح با استفاده از ورق های موجود در بازار، تیر ورق هایی به نرم افزار معرفی شده اند که ملاک طراحی تیر و ستون های ساختمان قرار گرفته اند.

نمونه هایی از تیر ورق های مورد استفاده در ساختمان در هر ۲ حالت در جدول ۱ آمده است.

تنش توجیه خوبی دارد ولی از لحاظ خیز اصلاً مناسب نیست و نمی توان مقاطع کوچک با ST52 را جایگزین مقاطع بزرگتر با ST37 کرد.

در بررسی هایی که انجام شد مشاهده می شود که تغییر شماره ۶ بیشترین توجیه استفاده از ST52 به جای ST37 در مقاطع ساختمانی متداول را دارد. در شکل ۳ نیز این نتایج نشان داده شده است.



شکل ۳: درصد کاهش وزن مقطع در اثر جایگزینی فولاد پر مقاومت در مقاطع مختلف ساختمان (نمونه های ۱ تا ۶)

بحث و نتیجه گیری

همان طور که ملاحظه گردید استفاده از فولادهای پر مقاومت در ساختمانهای ایران در مراحل ابتدایی خود است. اطلاعات دقیقی از میزان صرفه جویی در مقاطع مختلف ساختمان وجود ندارد.

مطابق با این تحلیل ضرورت بررسی جزئی تر میزان صرفه جویی در مراحل اولیه طراحی احساس می گردد.

بنابر ضرورت و هزینه های اولیه ساختمان، می توان بخشهای خاصی را با فولاد پر مقاومت طراحی نمود که در این نمونه مطالعاتی تیرهای کوتاه بیشترین راندمان جایگزینی را دارا بودند. اگرچه جایگزینی کلی حدود ۲۴ درصد صرفه جویی وزنی در بر دارد اما با تحلیل جزئی تر می توان از جایگزینی بخش هایی که راندمان جایگزین در آنها پایین است، مانند تیرهای بلند صرف نظر کرد.

در بارگذاری کشش مستقیم، کاهش وزن با اختلاف مقاومت متناسب می باشد. ممکن است افزایش مقاومت تسلیم تا دو برابر، وزن فولاد را تا همان اندازه کاهش دهد (وضعیتی که در میلگردهای تقویت کننده بتن وجود دارد). برای انواع دیگر بارگذاری (مثلاً خمش)، ممکن است دو برابر شدن مقاومت سبب کاهش ۳۴٪ وزن یا بیشتر گردد. شایان ذکر است که در مواقعی که پدیده کماتش در طراحی قطعه عامل تعیین کننده باشد، ملاحظات دیگری را باید مدنظر قرار داد [۷].

پس از طراحی میزان صرفه جویی هر شش حالت مشخص گردید. این میزان صرفه جویی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: درصد کاهش وزن مقاطع فولادی در اثر جایگزینی با فولاد پر مقاومت در بخشهای مختلف ساختمان

شماره نمونه	وزن مقطع با فولاد ST37 (تن)	وزن مقطع با فولاد ST52 (تن)	درصد تغییر وزن
۱	۲۶۱/۴	۲۴۶/۷	۵/۶
۲	۲۶۱/۴	۲۳۹/۴۲	۸/۵
۳	۲۹۱/۷	۲۶۵	۹/۲
۴	۲۹۱/۷	۲۴۹/۱	۱۴/۵
۵	۲۹۱/۷	۲۸۵/۱	۲/۳
۶	۲۹۱/۷	۲۴۷/۱	۱۵/۳

همانطور که در جدول ۳ و مشاهده می شود در تغییر شماره ۱ که تنها ستون های گوشه ساختمان با فولاد ST52 طراحی شده اند میزان درصد تغییرات در حدود ۵/۶ درصد می باشد و این نشان می دهد که در مقاطع فشاری به دلیل بحث کماتش نمی توان به میزان قابل توجهی مقاطع را کوچک کرد. در تغییر شماره ۲ ستون های کناری با ST52 طراحی شده اند که میزان درصد کاهش وزن آنها نسبت به ستون های گوشه بیشتر می باشد و تعداد بیشتر ستون های کناری می تواند یکی از دلایل این مورد باشد. در تغییر شماره ۳ و ۴ که به ترتیب تیرهای کناری و میانی با استفاده از ST52 طراحی شده اند میزان صرفه جویی نسبت به تغییرات ۱ و ۲ به صرفه تری باشد. و این به تاثیر بارگذاری در مقاطع بر می گردد که مقطعی که تحت کشش و خمش قرار می گیرند نسبت به مقطعی که تحت فشار قرار می گیرند توجیه اقتصادی بیشتری دارد. در تغییرات ۵ و ۶ که طول و دهانه ملاک ارزیابی قرار گرفته است مشاهده می شود که در تیرهایی که با دهانه بلند ساخته شده اند جایگزینی ST52 توجیهی ندارد و این موضوع در طراحی به این شکل ظاهر شد که در حالتی که تیرهای با دهانه بلند مورد بررسی قرار گرفتند پس از کوچک نمودن مقاطع، مقطع مورد نظر از لحاظ مقاومت و نسبت

۵- منابع و مراجع

- ۱- طاحونی، شاپور، (۱۳۸۷)، " طراحی سازه های فولادی"، انتشارات علم و ادب، چاپ چهاردهم، تهران
- ۲- افتخاری، بررسی شکل پذیری اعضای ساخته شده از فولاد پرمقاومت و مقایسه آن با فولاد نرمه، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران (زلزله)، دانشگاه تهران، ۱۳۸۶
- ۳- گرامی، محسن، عبدالله زاده، داود، پیرزاد، آرش، (۱۳۸۴) "مقایسه رفتار لرزه ای قاب های فولادی با مهاربند هشتی برون محور با استفاده از فولاد مقاوم بالا و فولاد نرمه"، اولین همایش کاربرد فولادهای پرمقاومت در صنعت سازه، تهران
- ۴- پورمستدام، شاهرخ، باقرزاده، بهرام، (۱۳۸۴) " خواص شیمیایی و مکانیکی فولادهای پرمقاومت St52 در صنعت ساختمان"، اولین همایش کاربرد فولادهای پرمقاومت در صنعت سازه، تهران
- ۵- گرامی، محسن، عبدالله زاده، داود، باباگلی، رضی، (۱۳۸۴) " کاهش وزن و هزینه ساخت با استفاده از فولاد مقاوم بالا در قابهای خمشی فولادی"، اولین همایش کاربرد فولادهای پرمقاومت در صنعت سازه، تهران.
- ۶- شهرآزاد، حسین (۱۳۸۹) "مقایسه فنی و اقتصادی استفاده از فولادهای پر استحکام و فولادهای معمولی" فصلنامه دانش مهندسی، سال سوم، شماره هشتم، ۱۶-۲۷
- ۷- اشرفی زاده، فخرالدین، رضایی، حمیدرضا، تدین، محمد کاظم (۱۳۸۴) "ارزیابی فولادهای پرمقاومت در صنعت سازه های فولادی"، اولین همایش کاربرد فولادهای پرمقاومت در صنعت سازه، تهران.
- 8- Coelho A.M.G. and Bijlaard F.S.K. (2006), "Experimental behaviour of high strength steel end-plate connections", Journal of Constructional Steel Research, accepted 14 November 2006.





انتخاب و طراحی محصول با استفاده از QFD فازی و رویکردهای MCDM فازی (مطالعه موردی در شرکت فولاد اکسین خوزستان)

محمد خزامی

شرکت فولاد اکسین خوزستان

ایرج نوری

استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

مصطفی گلبهارزاده

کارشناس ارشد، مدیریت صنعتی-تولید، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجد سلیمان

رحمن نجفوند دریکوندی

کارشناس ارشد، مدیریت صنعتی-تولید، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

چکیده

گسترش عملکرد کیفیت (QFD)، یکی از فنون مدیریت برای به کارگیری مرحله به مرحله ندای مشتریان و همچنین یکی از ابزارهای مفید و تحلیلی در طراحی، توسعه و انتخاب محصولات یک کارخانه است. به موازات کاربرد این تکنیک طیف گسترده ای از تلاش های پژوهشی معطوف به بهبود و تکمیل آن شده است. جهت مرتفع نمودن عدم قطعیت یا عدم دقت در QFD، محققان زیادی از تئوری مجموعه های فازی برای این مفهوم استفاده کرده اند و مدل های FQFD متعددی را طراحی نموده اند. در این پژوهش سعی بر آن است مدلی ترکیبی از FQFD □ FMCDM برای انتخاب محصول در صنعت فولاد طراحی و استفاده گردد. در فاز اول این تحقیق رویکرد FQFD مورد استفاده بوده است که ابتدا نیازمندی های مشتریان با استفاده از FAHP وزن دهی شده اند و ماتریس خانه کیفیت با توجه به مقایسه با رقبا و جایگاه بازار ترسیم گردیده است و در نهایت اولویت بندی مشخصه های مهندسی محصول انجام شده است. در فاز دوم با ترسیم ماتریس تصمیم براساس نمونه محصول و مشخصه های فنی آن و استفاده از برنامه ریزی خطی فازی بهترین نمونه محصول انتخاب شده است. هدف از این تحقیق طراحی مدلی جهت تصمیم گیری مناسب در انتخاب محصول در راستای ارتقاء سطح رضایت مندی مشتری از خواسته ها و نیازمندی هایشان می باشد. کلید واژه ها: FQFD، تصمیم گیری چند معیاره فازی، FAHP، برنامه ریزی خطی فازی

۱- مقدمه

که طراحی و ساخت و فروش محصولات با مشکلات عدیده ای رو به رو باشد و مدیران اجرایی در این زمینه را بر آن داشته است که از الگوهای جدید تصمیم گیری پیروی کنند و به فکر راه حل هایی مناسب و کارا برای دریافت خواسته های مشتریان خود باشند. امروزه در جهان، صنعت فولاد بعنوان یکی از پایه های مهم اقتصاد هر کشور و مصرف سرانه فولاد از جمله شاخص های اصلی میزان صنعتی بودن یک کشور است. لذا توسعه این صنعت بعنوان زیربنای توسعه سایر صنایع کشور حایز اهمیت می باشد. شرکت فولاد اکسین خوزستان بمنظور تامین مواد اولیه فولادی برای صنایع استراتژیک از جمله صنایع لوله سازی، کشتی سازی، ساخت مخازن تحت فشار، سازه های خاص فلزی در سال ۱۳۸۴ تأسیس شد.

ویژگی بارز امروز دنیا تحول و دگرگونی است. هر روز شاهد پیشرفت نجومی تمدن بشر و توجه به مفاهیم نوینی همچون سیستم های مختلف ارتباط با مشتری و اثر پذیری از بازخورد آن ها، مدیریت زنجیره تأمین، درک خواسته های مشتریان و ... هستیم. گسترش تجاری در قرن ۲۱، پیچیدگی روزافزون محصولات تولیدی، فروش محصولات در سطح بسیار گسترده، استفاده از ابزار مناسب برای کاهش میزان تغییرات محصول در فرآیند طراحی و تولید آزمایشی، چگونگی کار گروهی و تلاش همه جانبه مسئولان واحد های مختلف سازمان از جمله بازاریابی، فنی مهندسی، تولید، فروش و خدمات پس از فروش باعث شده

تنکای: به معنای "گسترش"، "تکامل"، "افاضه" یا "توسعه".

حال به تعریف آن می پردازیم. (زوی و تان، ۲۰۰۱) مفهوم اولیه بسط عملکرد کیفیت، ترجمه مطلوبیت های مشتری به عناصر مناسب طراحی و مهندسی محصول و متعاقباً به مشخصه های قطعات، برنامه ریزی فرآیندی و نیازمندی های تولید است.

در این میان تعیین اوزان اهمیت خواسته های مشتری و نیازهای فنی و همچنین تعیین آن دسته از نیازهای فنی که باید در فاز طراحی مورد توجه و تأکید قرار گیرند، نکته حساس و مهمی می باشد زیرا تمامی این موارد مجموعه ارزشهای هدف برای مشخصه های فنی و مهندسی را به طور قابل توجهی تحت تأثیر خود قرار می دهند. با این وجود تعیین مجموعه نیازهای مورد نظر در عمل بسیار پیچیده می باشد زیرا انتخاب یک نیاز به خودی خود می تواند توسط عوامل مختلفی همچون سطح ارضای خواسته های مشتریان، ارتباط متقابل با سایر نیازها و همچنین محدودیتهای منابع مالی، و نیروی انسانی و تکنولوژی سازمان کنترل شود. نکته بسیار مهم و ظریف در تعیین اهمیت نیازهای طراحی این است که در نهایت عامل اثرگذار بر گزینش یک عامل و تعیین درجه اهمیت آن، قضاوت ذهنی و دیدگاه های شخصی کارشناسان تیم طراحی می باشد.

آکائو (۱۹۹۰)، QFD را اینگونه تعریف می کند: روشی برای توسعه هدفمند کیفیت طراحی به منظور ارضای مصرف کننده و ترجمه تقاضای مصرف کنندگان به مشخصه های طراحی و نکات اصلی تضمین کیفیت قابل استفاده در مرحله تولید.

سالیوان (۱۹۸۶)، آن را به عنوان روشی برای ارائه کالاهای جدید به بازار پیش از رقبا با هزینه کمتر و کیفیت بهتر تفهیم می کند.

سازمان منابع آمریکا بسط عملکرد کیفیت را اینگونه تعریف می کند: سیستمی برای ترجمه نیازهای مشتری یا کاربر به نیازمندی های مناسب سازمانی در هر مرحله از تحقیق، از طریق طراحی و توسعه محصول، به ساخت، توزیع، نصب، بازاریابی، فروش و خدمات پس از فروش. از نظر تاریخی QFD در ژاپن به عنوان مفهومی جهت توسعه محصولات جدید و براساس کنترل کیفیت جامع به وجود آمد و اولین مطالب مربوط به آنرا مینزونو و آکائو (a,b1994) منتشر کردند.

نظام و شرایط برخورد با مشتریان در شرکت فولاد اکسین از جمله شنیدن صدای مشتریان، تعاریف مشخصه های مورد نظر مشتری در طراحی و ساخت، تعاریف و الزامات مهندسی که در قبال خواسته های مشتریان در فرایند تولید مطرح می شود، بررسی رقبا و در نظر گرفتن مزیت های رقابتی تصمیم گیری مدیران این واحد را پیچیده و ضروری کرده و دلایل ضروری برای به کار گیری تکنیک های تخصصی جهت ترجمه نیاز های مشتری به الزامات طراحی و ساخت محصول از نظر مهندسی و فرایند تولید و همچنین انتخاب نمونه محصولی که به پیشرفت و بقاء سازمان بیا نجامد را فراهم می کند.

QFD یا گسترش عملکرد کیفیت، یک ابزار مفید در زمینه طراحی و توسعه محصول می باشد. به عنوان یکی از روش های نوین مهندسی کیفیت، از مطالعه بازار و شناسایی مشتریان محصول شروع شده و در فرایند بررسی و تحلیل خود ضمن شناسایی خواسته های و نیازمندی های مشتریان سعی در لحاظ نمودن تمامی آن ها در همه ی مراحل طراحی و تولید را دارد. (تین لیو، هائو، ۲۰۱۱)

از بعد دیگر، بیشتر ابزار های سنتی و تحلیلی برای مدل سازی، محاسبات معین و مدل های قطعی اند اما با توجه به موارد خواسته شده در این تحقیق سعی شده است نظام ترجمان کیفیت را در محیط فازی مورد بررسی قرار داد. همچنین با تعریف پارامترها و کمیت های نادقیق به صورت مجموعه فازی سعی می شود عدم اطمینان موجود در مسئله بصورت مجموعه های فازی بیان شود و از تصمیم گیری های چند معیاره فازی برای رتبه بندی و انتخاب محصولات استفاده شده است. (تین لیو، هائو، ۲۰۱۱)

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ریشه واژه "بسط عملکرد کیفیت" از یک اصطلاح ژاپنی مرکب از سه بخش زیر است:

هین شیتسو: به معنای "کیفیت"، "ویژگی ها"، "مشخصه ها" یا "صفات".

کین: به معنای "عملکردها" یا "مکانیزم ها".

اوشیومی (۱۹۶۶) جدول پارامترهای تضمین فرآیند اوشیومی را در شرکت لاستیک سازی بریجستون عرضه کرد. این جداول ارتباط بین ویژگی های کیفی با عوامل فرآیندی را نشان می داد. این ایده در شرکت های متعددی آزمایش شد ولی عمومیت نیافت. QFD اولین بار در سال ۱۹۷۲، در شرکت صنایع سنگین میتسوبیشی و در کارخانه کشتی سازی کوبه ژاپن به کار گرفته شد. بعد از چهار سال توسعه، اصلاح و آزمایش این مطالعه موردی، باموفقیت در تولید خودروهای ون کوچک در شرکت تویوتا به اجرا درآمد. از سال ۱۹۷۷ تا اکتبر ۱۹۷۹، تویوتا توانست هزینه های راه اندازی خودروی ون جدید را ۲۰ درصد کاهش دهد. این کاهش در نوامبر ۱۹۸۲ به ۳۸ درصد و در آوریل ۱۹۸۴ به رقم ۶۱ درصد رسید.

در سال ۱۹۷۵ مؤسسه ژاپنی کنترل کیفیت، کمیته تحقیقات کامپیوتر را که در سال ۱۹۷۸، گروه تحقیقات QFD نام گرفت تأسیس کرد. در سال ۱۹۸۷ مؤسسه یاد شده آخرین تحقیق و گزارش خود را در مورد وضعیت کاربرد QFD در بین هشتاد شرکت ژاپنی منتشر کرد. بر اساس تحقیق انجام شده، اهداف به کارگیری آن به صورت زیر تعیین شد:

- تنظیم کیفیت طراحی و کیفیت برنامه ریزی شده
- الگوبرداری برای محصولات رقابتی
- توسعه محصول جدید
- تحلیل اطلاعات کیفی بازار
- کاهش تغییرات طراحی
- کاهش هزینه های توسعه
- افزایش سهم بازار

QFD در آمریکا در سال ۱۹۸۴ توسط دکتر کلایزینگ در شرکت زیراکس معرفی شد. نقطه عطف تکامل QFD در سال ۱۹۷۸ با انتشار کتابی با عنوان "بسط عملکرد کیفیت" توسط دکتر یوجی آکائو و شیگرو مینزونو همراه بود. رشد و ارتقای مفاهیم نظری و استقرار عملی آن در صنایع ژاپن در سال ۱۹۸۰ با اعطای جایزه دمیگ به شرکت کایانه به دلیل استفاده مناسب از این روش به اوج خود رسید. با آشنایی بیش از هشتاد تن از مدیران تضمین کیفیت شرکت های آمریکایی با QFD که توسط خود آکائو در

یک دوره آموزشی چهار روزه در سال ۱۹۸۳ انجام شد، مفاهیم آن در آمریکا مطرح شد. شرکت فورد در سال ۱۹۸۶ ضمن استفاده از QFD در طراحی قطعات خودرو در زمره اولین پیشگامان استفاده از این ابزار قرار گرفت و از آن تاریخ به بعد، استفاده از آن در صنایع ایالات متحده و اروپا، به تدریج به عنوان ابزاری کارآمد و مؤثر در طراحی محصولات جدید بسط یافت. از جمله اولین استفاده کنندگان QFD تویوتا، فورد موتور، پروکتر، تریام و گمبل می باشند. (کهن، ۱۹۹۵)

لازم به ذکر است که هر چند مفاهیم مرتبط با QFD از ژاپن شروع و استفاده عملی از آن در صنایع این کشور میسر شد، ولی ورود این ابزار به آمریکا و به خصوص صنایع خودروسازی این کشور، تأثیر شگرفی بر تکامل آن در پی داشت.

ارائه یک مدل برنامه ریزی خطی فازی در بکارگیری QFD تابع QFD یک ابزاری ثابت شده برای پیشرفت فرآیند و بهبود محصول جهت بیشینه سازی رضایت مشتری است.

(چن و همکاران، ۱۹۹۶) ندای مشتری را به مشخصات فنی و مهندسی ترجمه می کند و DRS ها را براساس الزامات و خواسته های مشتری اولویت بندی می نماید.

به منظور ارائه روابط میان الزامات مشتری و ویژگی های مهندسی محصول، از روشهای فازی استفاده می شود.

در این مقاله، یک روش جدید جهت ارزیابی روابط فازی نرمال، بدست می آید.

سپس یک مدل برنامه ریزی خطی فازی جهت تعیین سطح هر یک از ویژگیهای مهندسی و طراحی محصول ارائه می گردد تا رضایت مشتری را با توجه به محدودیتهای منابع، مشکلات فنی و تکنیکی و رقابت بازار، بیشینه نماییم.

۳- روش شناسی

مراحل پژوهش را می توان در دو فاز و ۱۱ گام بیان نمود که در برگیرنده مفاهیم، مولفه ها و شاخص های مورد نظر در پژوهش است.

ساختار رویکرد QFD فازی گام های زیر را در بر می گیرد (تین لیو، هائو، ۲۰۱۱). اجزای فرآیند پژوهش به شرح ذیل می باشند:

جدول ۲- متغیر زبانی نیازمندی های مشتریان

درجه اهمیت	علامت اختصاری	متغیر زبانی
واقعاً بی اهمیت	AU	(۱/۹, ۱/۷, ۱/۵)
بی اهمیت	SU	(۱/۷, ۱/۱, ۵/۳)
نسبتاً بی اهمیت	WS	(۱/۱, ۵/۳, ۱)
معمولی و بی تفاوت	EI	(۱, ۱, ۱)
نسبتاً مهم	WI	(۵, ۳, ۱)
مهم	SI	(۳, ۷, ۵)
واقعاً مهم	AI	(۵, ۹, ۷)

گام ۳- اهمیت نسبی نیازمندی های مشتری با استفاده از رابطه ۱ و ۲ محاسبه می شود:

$$RICR_i^\alpha(K) = \sum_{j=1}^m PC_{i,j}^\alpha(K) \times \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m PC_{i,j}^\alpha(K) \right)^{-1} \quad i, j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$RICR_i^\alpha = \frac{\sum_{k=1}^q RICR_i^\alpha(K)}{q} \quad k = 1, 2, \dots, q \quad (2)$$

گام ۴- در این مرحله شرکت تعیین می کند که کالاهای آنها در برابر کالاهای رقبا چگونه عمل می کند. بطور کلی ارزیابی کالای یک شرکت به وسیله پرسش های مستقیم از مشتریان در خصوص رتبه بندی کالا یا خدمات بین رقبا صورت می پذیرد. جدول ۳ متغیر زبانی و اعداد فازی متناظر در این ارتباط را نشان می دهد.

جدول ۳- متغیر زبانی آنالیز مقایسه ای با رقبا

درجه اهمیت	علامت اختصاری	متغیر زبانی
خیلی زیاد	VG	(۰/۸, ۱, ۱)
زیاد	G	(۰/۶, ۰/۸, ۱)
متوسط	A	(۰/۴, ۰/۶, ۰/۸)
کم	P	(۰/۲, ۰/۴, ۰/۶)
خیلی کم	VP	(۰, ۰, ۰/۲)

به علاوه ما نیازمند بررسی یک نرخ بهبود با در نظر گرفتن آنالیز مقایسه ای انجام شده و در نظر گرفتن جایگاه بازار و سطح امتیاز فروش هستیم که در رابطه ۳ نشان داده شده است.

$$IR_i^\alpha = \frac{IMP_i^\alpha}{CP_i^\alpha} \quad (3)$$

IR_i^α : نرخ بهبود

IMP_i^α : جایگاه بازار

CP_i^α : اهمیت کنونی با توجه متغیرهای زبانی در جدول بالا

در نهایت اهمیت نهایی با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می شود.

$$FICR_i^\alpha = RICR_i^\alpha \times IR_i^\alpha \times SP_i^\alpha \quad (4)$$

SP_i^α : سطح امتیاز فروش

فاز اول

گام اول: جمع آوری داده های پرسشنامه

گام دوم: استفاده از مقایسه زوجی برای تحلیل داده های پرسشنامه

گام سوم: محاسبه اهمیت نسبی نیازمندی های مشتریان از طریق

FAHP

گام چهارم: محاسبه اهمیت نهایی نیازمندی های مشتریان

گام پنجم: محاسبه اهمیت نهایی نیازمندی های مهندسی

فاز دوم

گام اول: بررسی تقاضای تولید محصولات و ارزیابی نمونه

محصول

گام دوم: ساختن ماتریس تصمیم فازی

گام سوم: ترسیم ماتریس اولویت بندی اوزان

گام چهارم: ایجاد ماتریس موزون

گام پنجم: تدوین و فرموله کردن مسئله برنامه ریزی خطی فازی

گام ششم: انتخاب بهترین نمونه محصول

۳-۱- شرح فاز اول

گام ۱- نیازمندی های مشتریان و ویژگی های آن ها اغلب از طریق

پیمایش و سوالات مستقیم از مشتریان استخراج می شوند. به همین

منظور در این تحقیق پرسشنامه ای بر اساس مفاهیم مقایسات

زوجی برای درک نیازمندی های مشتریان طراحی شده است تا به

ندای آنان دست یابیم و بتوانیم جنبه های مختلف نیازمندی های

مشتریان را رتبه بندی نماییم.

گام ۲- در جدول ۱ مقایسه های زوجی و در جدول ۲ متغیر زبانی

مورد استفاده در پرسش نامه برای m نیاز مشتری نمایش داده

شده اند. $i, j = 1, 2, \dots, m$

جدول ۱- مقایسه های زوجی برای نیاز های مشتری

	CR_1 CR_j
CR_1	PC_{11} $PC_{1,j}$
.	.
.	.
.	.
CR_i	$PC_{i,1}$ $PC_{i,j}$

این کار با استفاده از رابطه ۷ به دست می آید. گروه دوم از مشخصه ها و معیار های تصمیم گیری تقاضای تولید شرکت می باشد. برای به دست آوردن اوزان مربوط به این معیار از روش نرخ برآورد که در روش SMART استفاده می شود بهره می جویم که این دو معیار (مشخصه های مهندسی و تقاضای تولید شرکت) با هم در تعامل بوده بر هم تاثیر گذارند و بر اساس یکدیگر محاسبه می شوند. به همین منظور در جدول ۵ متغیر های زبانی موجود و در رابطه ۸ چگونگی تعامل بین این دو مشخصه نشان داده شده اند.

$$NWEC_j^\alpha = \frac{FIEC_j^\alpha}{FIEC_{max}^\alpha} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$NWEC_j^\alpha$: اوزان مشخصه های مهندسی نرمالایز شده

$FIEC_{max}^\alpha$: بزرگترین مقدار نهایی وزنی برای مشخصه های مهندسی یا کران بالایی عدد فازی، بزرگترین اهمیت نهایی مشخصه های مهندسی وقتی برش $\square = 0$ باشد.

جدول ۵- متغیر زبانی برای مقایسه دو مشخصه مهندسی و تقاضای تولید کارخانه

درجه اهمیت	علامت اختصاری	متغیر زبانی
واقعاً بی اهمیت	AU	(۱/۵، ۱/۴، ۱/۳)
بی اهمیت	SU	(۱/۴، ۱/۱، ۵/۲)
نسبتاً بی اهمیت	WS	(۱/۱، ۵/۲، ۱)
معمولی و بیتفاوت	EI	(۱، ۱، ۱)
نسبتاً مهم	WI	(۳، ۳، ۲)
مهم	SI	(۲، ۴، ۵)
واقعاً مهم	AI	(۳، ۵، ۴)

$$FWC_j^\alpha = \begin{cases} NWEC_j^\alpha & , j = 1, 2, \dots, n \\ RIPD_j^\alpha \times NWEC_{min}^\alpha & , j = n + 1, n + 2, \dots, n + s \end{cases} \quad (8)$$

FWC_j^α : اوزان نهایی مشخصه ها

$NWEC_{min}^\alpha$: کوچکترین وزن مشخصه های مهندسی نرمالایز شده
 $RIPD_j^\alpha$: متغیر زبانی اهمیت ارتباط تقاضای محصول j در مقایسه با کوچکترین وزن مشخصه های مهندسی نرمالایز شده

برای تکمیل ماتریس خانه کیفیت و بهبود محصول جدید، نیازمندی های مشتریان باید در ویژگیهای مهندسی ترجمه شوند. ویژگیهای مهندسی، ویژگیهای قابل اندازه گیری کالا یا خدمات یک شرکت هستند. در این مرحله، ابتدا اهمیت مطلق مشخصه های مهندسی را بررسی کرده این کار با استفاده از رابطه ۵ به دست می آید. همچنین ما چگونگی تاثیر مشخصه های مهندسی بر روی یکدیگر را نیز بررسی می نمایم، این مرحله که همبستگی مشخصه های مهندسی را نشان می دهد به مرحله اندازه گیری و بررسی سقف خانه کیفیت نیز مشهور است.

$$AIEC_j^\alpha = \sum_{i=1}^m (FICR_i^\alpha \times R_{i,j}^\alpha) \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$AIEC_j^\alpha$: اهمیت مطلق مشخصه های مهندسی

$FICR_i^\alpha$: اهمیت نهایی نیازمندی های مشتریان

$R_{i,j}^\alpha$: میزان ارتباط بین مشخصه های مهندسی و نیازمندی های مشتریان

جدول ۴- متغیر زبانی ارتباط بین مشخصه های مهندسی با یکدیگر و با نیازمندی های مشتریان

درجه اهمیت	علامت اختصاری	متغیر زبانی
قوی	⊙ S	(۰/۶، ۰/۸، ۱)
متوسط	○ M	(۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)
ضعیف	△ W	(۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)

گام ۵- با استفاده از رابطه ۶ اهمیت نهایی مشخصه های مهندسی محاسبه می شود:

$$FIEC_j^\alpha = AIEC_j^\alpha + \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (AIEC_j^\alpha \times C_{i,j}^\alpha) \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$FIEC_j^\alpha$: اهمیت نهایی مشخصه های مهندسی

$C_{i,j}^\alpha$: سطح همبستگی بین مشخصه های مهندسی

۳-۲- شرح فاز دوم

گام ۱- با توجه به تحقیقات انجام شده قبلی و مقاله کلیدی که در این زمینه انجام شده است، دو گروه از مشخصه ها برای انتخاب نمونه محصول استفاده می شود و رویکردهای مختلفی برای پیدا کردن اوزان آن ها به کار گرفته می شود. گروه اول مشخصه ها، مشخصه های مهندسی خروجی از ماتریس خانه کیفیت و فاز اول فرایند حل مسئله می باشند که این مشخصه ها باید نرمالایز شوند،

$$\text{Max } \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r AW_{ij}^{\alpha} t_{i,j}$$

$$\text{S.T. } \sum_{i=1}^r t_{i,j} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, r \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^r t_{i,j} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, r$$

$$\forall t_{i,j} = 0 \text{ OR } 1$$

گام ۶- رابطه ۱۴ مدل برنامه ریزی خطی فازی صفر و یک است که حل این مدل، ما را به بهترین نمونه محصول می رساند. برای حل مسئله می توان با تبدیل اعداد فازی به اعداد حقیقی و عمل دی فازی کردن آنرا حل کرد. از نرم افزار LINGO برای این منظور استفاده می شود.

۴- کاربرد روش

هدف این مرحله اجرای مدل ارایه شده در فصل سوم، بر روی اطلاعات به دست آمده از صنعت فولاد سازی (ورق فولادی) و بررسی موقعیت رقابتی شرکت "فولاد اکسین خوزستان" نسبت به رقیب اصلی این شرکت خواهد بود.

در این راستا از همکاران بخش مهندسی صنایع و نظرات کارشناسان این قسمت به عنوان اعضای تیم QFD بهره برده شده است.

اعضای این تیم به مدلسازی مسئله حاضر، ارائه اطلاعات برای انجام مرحله به مرحله FQFD و تجزیه و تحلیل این اطلاعات می پردازند:

۴-۱- شرح فاز اول

گام ۱- جمع آوری داده های پرسشنامه : به منظور شناسایی نیازمندی های مشتریان از منابعی چون مصاحبه با مشتریان دائمی و مقطعی، نظرات مدیر فروش کارخانه فولاد اکسین، نظرات گروه QFD و همچنین نقطه نظرات مشاوران استفاده شده است در همین راستا سلسله مراتبی از این نیازمندی ها تدوین شده است:

گام ۲- با توجه به موارد برآورده شده رابطه ۸ ماتریس تصمیم گیری (رابطه ۹) ترسیم می شود:

$$\begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_{n+s} \\ A_1 & \tilde{X}_{11} & \tilde{X}_{12} & \dots & \tilde{X}_{1(n+s)} \\ A_2 & \tilde{X}_{21} & \tilde{X}_{22} & \dots & \tilde{X}_{2(n+s)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_r & \tilde{X}_{r1} & \tilde{X}_{r2} & \dots & \tilde{X}_{r(n+s)} \end{matrix} \quad (9)$$

گام ۳- پس از ترسیم ماتریس تصمیم گیری، در راستای پیدا کردن بهترین انتخاب، ماتریس موزون را به صورت رابطه ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ ترسیم می کنیم:

$$\begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_{n+s} \\ 1st & A_j & A_r & \dots & A_r \\ 2nd & A_r & A_j & \dots & A_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ rth & A_i & A_i & \dots & A_j \end{matrix} \quad (10)$$

روابط $A_1 > A_j > \dots > A_i$ و $A_j > A_r > \dots > A_i$ بین راهکارها در رابطه ۱۰ حاکم است.

$$\begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_{n+s} \\ 1st & FWC_1^{\alpha} \times X_{j,1}^{\alpha} & FWC_2^{\alpha} \times X_{r,2}^{\alpha} & \dots & FWC_{n+s}^{\alpha} \times X_{r(n+s)}^{\alpha} \\ 2nd & FWC_1^{\alpha} \times X_{r,1}^{\alpha} & FWC_2^{\alpha} \times X_{j,2}^{\alpha} & \dots & FWC_{n+s}^{\alpha} \times X_{i(n+s)}^{\alpha} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ rth & FWC_1^{\alpha} \times X_{i,1}^{\alpha} & FWC_2^{\alpha} \times X_{i,1}^{\alpha} & \dots & FWC_{n+s}^{\alpha} \times X_{j(n+s)}^{\alpha} \end{matrix} \quad (11)$$

گام ۴- ایجاد ماتریس موزون:

$$\begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_{n+s} \\ 1st & WP_{j,1}^{\alpha} & WP_{r,2}^{\alpha} & \dots & WP_{r(n+s)}^{\alpha} \\ 2nd & WP_{r,1}^{\alpha} & WP_{j,2}^{\alpha} & \dots & WP_{i(n+s)}^{\alpha} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ rth & WP_{i,1}^{\alpha} & WP_{i,2}^{\alpha} & \dots & WP_{j(n+s)}^{\alpha} \end{matrix} \quad (12)$$

$WP_{i,j}^{\alpha}$: وزن اهمیت نمونه محصول i ام با توجه به مشخصه j ام

$$\begin{matrix} & 1st & 2nd & \dots & rth \\ A_1 & AW_{11}^{\alpha} & AW_{12}^{\alpha} & \dots & AW_{1r}^{\alpha} \\ A_2 & AW_{21}^{\alpha} & AW_{22}^{\alpha} & \dots & AW_{2r}^{\alpha} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_r & AW_{r1}^{\alpha} & AW_{r2}^{\alpha} & \dots & AW_{rr}^{\alpha} \end{matrix} \quad (13)$$

$AW_{i,j}^{\alpha}$: اوزان تجمعی نمونه محصول i ام در رتبه j ام؛ $i, j = 1, 2, \dots, r$

گام ۵- برای حل رابطه ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ و انتخاب محصول از مسئله برنامه ریزی خطی فازی معرفی شده توسط روملفانگر استفاده می نمایم. این مسئله به صورت رابطه ۱۴ مدلسازی می شود (روملفانگر، ۱۹۸۹).

جدول ۷- اهمیت نسبی نیازمندی های مشتریان

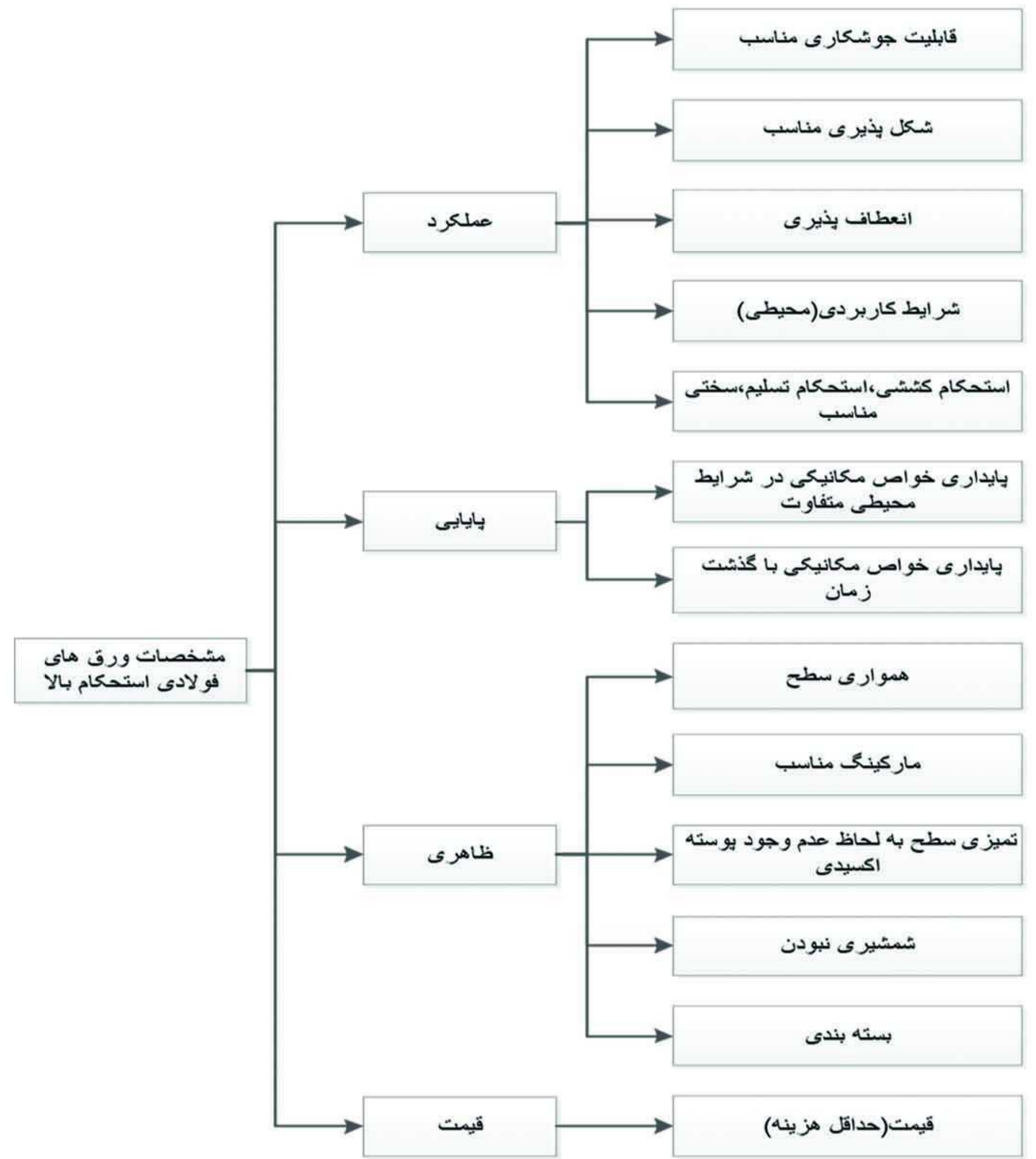
قالب نیازمندیها	نیازمندی ها	اوزان فازی	اوزان نهایی فازی	CRIS	normalization
کارایی (1.03,1.81,2.63)	قابلیت جوشکاری مناسب	(1.07,1.7,2.49)	(1.11,3.08,6.59)	3.47	0.13
	شکل پذیری مناسب	(1.66,2.9,4.16)	(1.72,5.27,10.97)	5.8	0.22
	انعطاف پذیری	(0.99,1.9,2.88)	(1.03,3.45,7.61)	3.88	0.15
	شرایط کاربردی (محیطی)	(0.35,0.42,0.63)	(0.36,0.77,1.68)	0.90	0.03
	استحکام سختی	(0.62,1.01,1.5)	(0.65,1.83,4.02)	2.08	0.08
پایایی (2.10,3.01,4.16)	پایداری خواص مکانیکی در شرایط محیطی متفاوت	(0.27,0.29,0.35)	(0.56,0.87,1.45)	0.94	0.04
	پایداری خواص مکانیکی با گذشت زمان	(0.5,1,1.5)	(1.05,3.01,6.24)	3.33	0.12
ظاهر (0.42,0.5,0.68)	همواری سطح	(1.44,2.8,4.16)	(0.61,1.42,2.86)	1.58	0.06
	مارکینگ مناسب	(0.62,1,1.55)	(0.26,0.51,1.06)	0.58	0.03
	تمیزی سطح به لحاظ عدم وجود پوسته اکسیدی	(1.59,2.65,3.76)	(0.68,1.35,2.58)	1.49	0.06
	شمشیری نبودن	(0.82,1.54,2.35)	(0.35,0.78,1.61)	0.88	0.03
	بسته بندی	(0.35,0.43,0.66)	(0.15,0.21,0.45)	0.26	0.01
قیمت (0.68,0.98,1.38)	قیمت(حداقل هزینه)	(1,1,1)	(0.68,0.98,1.38)	1	0.04

گام ۴- محاسبه اهمیت نهایی نیازمندی های مشتریان : با استفاده از رابطه های ۳ و ۴ ، جداول ۲ و ۳ بخش سوم و همچنین خروجی مرحله قبل می توانیم اهمیت نهایی این نیازمندی ها را محاسبه نماییم (جدول ۸).

جدول ۸- اهمیت نهایی نیازمندی های مشتریان

نوع نمایی ها	اهمیت کنونی	جایگاه بازار	نرخ بهبود	اوزان نسبی	سطح امتیاز فروش	وزن نهایی	CRISP	normalization	
قابلیت جوشکاری مناسب	G	VG	(0.8,1.25,1.6)	(1.11,3.08,6.59)	○	(1.1,2,1.4)	(0.89,4.63,14.86)	5.71	0.14
	(0.6,0.8,1)	(0.8,1,1)							
شکل پذیری مناسب	VG	G	(0.6,0.8,1.25)	(1.72,5.27,10.97)	⊙	(1.2,1.4,1.6)	(1.2,5.9,21.95)	7.8	0.19
	(0.8,1,1)	(0.6,0.8,1)							
انعطاف پذیری	VG	VG	(0.8,1,1.25)	(1.03,3.45,7.61)	⊙	(1.2,1.4,1.6)	(0.99,4.83,15.23)	5.92	0.15
	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)							
شرایط کاربردی (محیطی)	P	A	(0.66,1.5,4)	(0.36,0.77,1.68)	—	(1,1,1)	(0.24,1.16,6.72)	1.94	0.05
	(0.2,0.4,0.6)	(0.4,0.6,0.8)							
استحکام سختی	A	G	(0.75,1.33,2.5)	(0.65,1.83,4.02)	○	(1.1,2,1.4)	(0.48,2.93,14.9)	4.38	0.11
	(0.4,0.6,0.8)	(0.6,0.8,1)							
پایداری خواص مکانیکی در شرایط محیطی متفاوت	G	G	(0.6,1,1.66)	(0.56,0.87,1.45)	○	(1,1,2,1.4)	(0.34,1.04,3.38)	1.31	0.03
	(0.6,0.8,1)	(0.6,0.8,1)							
پایداری خواص مکانیکی با گذشت زمان	VG	G	(0.6,0.8,1.25)	(1.05,3.01,6.24)	⊙	(1.2,1.4,1.6)	(0.75,3.37,12.49)	4.45	0.11
	(0.8,1,1)	(0.6,0.8,1)							
همواری سطح	G	G	(0.6,1,1.66)	(0.61,1.42,2.86)	○	(1,1,2,1.4)	(0.36,1.7,6.65)	2.31	0.05
	(0.6,0.8,1)	(0.6,0.8,1)							
مارکینگ مناسب	P	A	(0.66,1.5,4)	(0.26,0.51,1.06)	○	(1,1,2,1.4)	(0.150,61,2.48)	0.84	0.02
	(0.2,0.4,0.6)	(0.4,0.6,0.8)							
تمیزی سطح به لحاظ عدم وجود پوسته اکسیدی	G	VG	(0.8,1.25,1.66)	(0.68,1.35,2.58)	○	(1,1,2,1.4)	(0.54,2.02,6.01)	2.44	0.06
	(0.6,0.8,1)	(0.8,1,1)							
شمشیری نبودن	A	A	(0.5,1,2)	(0.35,0.78,1.61)	—	(1,1,1)	(0.17,0.78,3.23)	1.09	0.02
	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)							
بسته بندی	A	P	(0.25,0.66,1.5)	(0.15,0.21,0.45)	○	(1,1,2,1.4)	(0.03,0.17,0.95)	0.28	0.007
	(0.4,0.6,0.8)	(0.2,0.4,0.6)							
قیمت(حداقل هزینه)	A	G	(0.75,1.33,2.5)	(0.68,0.98,1.38)	⊙	(1.2,1.4,1.6)	(0.61,1.83,3.05)	1.83	0.04
	(0.4,0.6,0.8)	(0.6,0.8,1)							

گام ۵- محاسبه اهمیت نهایی نیازمندی های مهندسی: در این مرحله به ترسیم ماتریس خانه کیفیت می پردازیم. در این ماتریس نیازمندی های مشتریان در ستون سمت چپ و مشخصه های مهندسی در ردیف بالا قرار می گیرند و ارتباط آنها با یکدیگر و ارتباط و همبستگی مشخصه های مهندسی با همدیگر با توجه به رابطه ۵ و ۶ و متغیرهای زبانی جدول ۶ مشخص و محاسبه می گردد.



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

گام ۲- استفاده از مقایسه زوجی برای تحلیل داده های پرسشنامه: برای به دست آوردن وزن نسبی هر یک از این نیازها، از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) طبق جدول ۱ استفاده شده است (آذر و مومنی، ۱۳۸۰). بدین منظور پرسشنامه هایی برای تعیین اهمیت نسبی هر یک از این نیازمندی ها نسبت به یکدیگر طراحی شده است.

میانگین اطلاعات استخراج شده از این پرسشنامه ها پس از فازی زدایی، نرمال سازی و در جدول ۶ آورده شده است:

جدول ۶- مقایسه زوجی بین معیارهای اصلی

	کارایی	پایایی	ظاهر	قیمت	اوزان نهایی میارها	CRIS	normalization
کارایی	(1,1,1)	(0.22,0.32,0.58)	(1.42,2.83,4.25)	(1.51,3.11,4.72)	(1.03,1.81,2.63)	1.82	0.28
پایایی	(1.71,3.12,4.53)	(1,1,1)	(3.31,3.92,5.53)	(2.4,4,5.6)	(2.10,3.01,4.16)	3.07	0.48
ظاهر	(0.23,0.35,0.7)	(0.18,0.25,0.3)	(1,1,1)	(0.28,0.42,0.74)	(0.42,0.5,0.68)	0.53	0.08
قیمت	(0.21,0.32,0.66)	(0.17,0.25,0.41)	(1.34,2.36,3.45)	(1,1,1)	(0.68,0.98,1.38)	1	0.16

گام ۳- محاسبه اهمیت نسبی نیازمندی های مشتریان با استفاده از FAHP: با استفاده از رابطه ۱ و ۲ و نیز خروجی مراحل قبل، نتایج در جدول ۷ حاصل گردید:

جدول ۹- ماتریس خانه کیفیت

ردیف	عنوان	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	کوره های پیش گرم															
2	کوره های ANF															
3	کوره های TNF															
4	سیستم HAGC															
5	شکل کاری															
6	علامت گذاری ورق															
7	تست غیر مخرب آکتر سونوگراف															
8	قرارداد در زمان ساخت															
9	موج گیری گرم															
10	موج گیری سرد															
11	کنترل ضخامت با اتمه های ایکس															
12	کنترل ضخامت با اتمه های ایکس															
13	کنترل خروج گاز با اتمه های گاما															
14	پوسته زدایی															
15	قفسه نورد															

گام ۲- ساختن ماتریس تصمیم فازی: برای ترسیم ماتریس تصمیم فازی همانطور که مشخص است در ستون سمت چپ ماتریس گزینه هایی که به دنبال انتخاب بهترین گزینه از بین آن ها هستیم آورده می شود و در سطر بالایی، معیارهای ماتریس نیز که همان خروجی های ماتریس خانه کیفیت (مشخصه های مهندسی) هستند قرار می گیرد. با استفاده از رابطه ۹ و جدول شماره ۳ به محاسبه این مرحله می پردازیم.

جدول ۱۱- ماتریس تصمیم

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
A1 = API - X70	A	G	VG	VG	G	P	G	VG	A	G	A	VG	G	G	VG
A2 = A283	P	A	G	G	A	A	A	G	G	P	A	G	A	G	A
A3 = A516	P	VG	G	VG	A	G	P	G	P	A	P	G	VP	P	VG

ردیف	عنوان	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	کوره های پیش گرم															
2	کوره های ANF															
3	کوره های TNF															
4	سیستم HAGC															
5	شکل کاری															
6	علامت گذاری ورق															
7	تست غیر مخرب آکتر سونوگراف															
8	قرارداد در زمان ساخت															
9	موج گیری گرم															
10	موج گیری سرد															
11	کنترل ضخامت با اتمه های ایکس															
12	کنترل ضخامت با اتمه های ایکس															
13	کنترل خروج گاز با اتمه های گاما															
14	پوسته زدایی															
15	قفسه نورد															

ماتریس تصمیمی که در جداول ۱۱ نمایش داده شده است، ارتباط بین گزینه ها که همان نمونه های محصول تولیدی هستند را با معیارهای فنی که همان مشخصه های مهندسی وزن دار هستند، نشان می دهد.

گام ۳- ترسیم ماتریس رتبه معیار: در این مرحله به تبدیل ماتریس گزینه معیار به ماتریس رتبه معیار می پردازیم. بدین شکل که هر گزینه نسبت به معیارها اولویت بندی می شود. بعنوان مثال در جدول ذیل A1 در سطر C1 و ستون اول بیان کننده این است که گزینه A1 از لحاظ معیار C1 در رتبه اول قرار گرفته است. در این گام رابطه های ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ بکار گرفته شده اند:

جدول ۱۲- ماتریس اولویت بندی اوزان

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
رتبه 1	A1	A3	A1	A1,A3	A1	A3	A1	A1	A2	A1	A1,A2	A1	A1	A1,A2	A1,A3
رتبه 2	A2,A3	A1	A2,A3	A2	A2,A3	A2	A2	A2,A3	A1	A3	-	A2,A3	A2	-	A2
رتبه 3	-	A2	-	-	-	A1	A3	-	A3	A2	A3	-	A3	A3	-

۲-۴- شرح فاز دوم

گام ۱- بررسی تقاضای تولید محصولات و ارزیابی نمونه محصول: اوزان نهایی به دست آمده از ماتریس خانه کیفیت (جدول ۹) را با استفاده از رابطه ۵ نرمالایز نموده، سپس با استفاده از متغیرهای زبانی تعریف شده در جدول ۵ به مقایسه ی تقاضای تولید و مشخصه های مهندسی می پردازیم. در نهایت می توان مشخص نمود کدامیک از مشخصه های فنی مهندسی در تقاضای تولید کارخانه موثرند و می توان در انتخاب نمونه محصول از آن ها به عنوان مشخصه های تصمیم استفاده نمود.

جدول ۱۰- اوزان نهایی مشخصه های فنی با در نظر گرفتن تقاضای تولید محصولات

R	مشخصه مهندسی فنی	اوزان محاسبه شده از ماتریس تصمیم فازی	اوزان نرمالایز شده	بررسی تقاضای تولید با اولویت بندی	تولید کردن تقاضای نهایی در نظر اولویت بندی	CRISP	Normalization	Ranking
۱	کوره های پیش گرم	(۰.۵۹۶۶۳۳)	(۰.۰۰۶۰۳۳۷۶)	WS	(۰.۳۰۵۸)	(۰.۰۰۱۰۱۱۷۶)	۱.۳۱	۱۴
۲	کوره های ANF	(۲۶.۱۷۸۸۳۳)	(۰.۰۲۰۸۶۳۷۳۸)	EI	(۱.۱۱)	(۰.۰۰۲۰۸۶۳۷۳۸)	۵.۱۳	۶
۳	کوره های TNF	(۲۷.۱۷۸۸۳۳)	(۰.۰۲۰۸۶۳۷۳۳۸)	EI	(۱.۱۱)	(۰.۰۰۲۰۸۶۳۷۳۳۸)	۵.۱۴	۵
۴	سیستم HAGC	(۰.۳۱۵۸۰۴)	(۰.۰۰۲۰۸۶۳۷۳۳۸)	WI	(۱.۱۳)	(۰.۰۰۲۰۸۶۳۷۳۳۸)	۱.۳۰	۱۳
۵	برش	(۰.۹۸۰۸۳۸۶)	(۰.۰۰۱۰۳۸۱۵۶۹)	WI	(۱.۱۳)	(۰.۰۰۱۰۳۸۱۵۶۹)	۸.۳۷	۱
۶	خنک کننده ششایی	(۳.۸۲۰۵۸۲۳)	(۰.۰۳۸۱۳۹۷۹)	WS	(۰.۳۰۵۸)	(۰.۰۰۱۰۳۸۱۵۶۹)	۵.۳۱	۴
۷	علامت گذاری ورق	(۱.۳۱۱۳۶۳۷)	(۰.۰۱۰۵۳۰۳۳)	WI	(۱.۱۱)	(۰.۰۰۱۰۳۸۱۵۶۹)	۳.۷۵	۸
۸	تست غیر مخرب آکتر سونوگراف	(۱۹.۱۴۸۸۳۳)	(۰.۰۲۰۸۶۳۷۳۳۸)	EI	(۱.۱۱)	(۰.۰۰۲۰۸۶۳۷۳۳۸)	۴.۳۳	۷
۹	قرارداد در زمان ساخت	(۲۳.۳۰۳۱۱۸۱)	(۰.۰۲۰۸۶۳۷۳۳۸)	EI	(۱.۱۱)	(۰.۰۰۲۰۸۶۳۷۳۳۸)	۷.۰۴	۳
۱۰	موج گیری گرم	(۰.۷۶۵۴۰۵)	(۰.۰۰۸۰۳۳۱۳۱)	EI	(۱.۱۱)	(۰.۰۰۸۰۳۳۱۳۱)	۳.۴۰	۱۰
۱۱	موج گیری سرد	(۰.۳۵۱۳۸۱۴)	(۰.۰۰۲۰۸۶۳۷۳۳۸)	EI	(۱.۱۱)	(۰.۰۰۲۰۸۶۳۷۳۳۸)	۰.۹۹	۱۵
۱۲	کنترل ضخامت با اتمه های ایکس	(۰.۸۷۳۳۳۸)	(۰.۰۰۹۰۳۵۱۱۳۳)	WI	(۱.۱۳)	(۰.۰۰۹۰۳۵۱۱۳۳)	۷.۵۷	۲
۱۳	کنترل ضخامت با اتمه های گاما	(۰.۳۸۱۳۶۳۷)	(۰.۰۰۳۰۸۶۳۷۳۳۸)	WI	(۱.۱۳)	(۰.۰۰۳۰۸۶۳۷۳۳۸)	۱.۳۱	۱۲
۱۴	پوسته زدایی	(۱.۰۴۶۳۳۳۳)	(۰.۰۱۰۳۳۳۳۳)	EI	(۱.۱۱)	(۰.۰۱۰۳۳۳۳۳)	۱.۶۴	۱۱
۱۵	قفسه نورد	(۲.۰۸۱۳۶۳۷)	(۰.۰۲۰۸۶۳۷۳۳۸)	SU	(۰.۳۵۰۳۳۳)	(۰.۰۰۵۰۳۳۳۳۳)	۳.۴۰	۹

$$\begin{aligned} \text{MAX} & \quad 0.372 t_{1,1} + 0.121 t_{1,2} + 0.053 t_{1,3} + 0.08 t_{2,1} + 0.279 t_{2,2} + \\ & \quad 0.0753 t_{2,3} + 0.084 t_{3,1} + 0.154 t_{3,2} + 0.138 t_{3,3} \\ \text{S.T:} & \\ & \sum_{i=1}^3 t_{i,j} = 1 \quad j = 1,2,3 \\ & \sum_{j=1}^3 t_{i,j} = 1 \quad i = 1,2,3 \\ & \forall t_{i,j} = 0 \text{ or } 1, i,j=1,2,3 \end{aligned}$$

خروجی های نرم افزار LINGO به این صورت است
 $t_{1,1}=t_{2,3}=t_{3,2}=1$ یعنی گزینه اول در رتبه اول، گزینه دوم در رتبه سوم و گزینه سوم در رتبه دوم است ($A1 > A3 > A2$) به عبارت دیگر به مدیران بخش تولید محصولات پیشنهاد می شود نمونه محصول اول را برای تولید انتخاب نمایند.

۵- بحث و نتیجه گیری

دستاوردهای این پژوهش به شرح ذیل می باشند:

۱- پویایی روش های مورد استفاده (FQFD □ FMCDM □) و به خصوص کاربرد فازی آن ها در صنایع فولاد که باعث به وجود آمدن مزایای زیر می شود:

- استفاده بیشتر از مفاهیم و اصطلاحات خود مشتریان

- مدل سازی بهتر و واقعی تر مسئله

- از بین رفتن حساسیت مسئله نسبت به مقیاس استفاده شده در ماتریس کیفیت برای تعریف سطح ارتباط بین خواسته های مشتریان و مشخصه های فنی و اهمیت خواسته ها

۲- مشخص شدن جایگاه بازار و مقایسات رقبا و همچنین امتیاز فروش محصولات در مورد مشخص شدن اهمیت نیازمندی های مشتریان

۳- با توجه به ابهام ذاتی که در QFD در خصوص استفاده از نظرات متخصصان وجود دارد، برای حل این نقیصه مقاله حاضر از ترکیب تکنیک FAHP برای شناسایی و وزن دهی معیارها و نیازمندیهای مشتریان استفاده کرده است.

۴- به کارگیری برنامه ریزی خطی فازی و تکنیک تخصیص فازی از رویکردهای تصمیم گیری چند شاخصه فازی که کارایی بالایی را در انتخاب نمونه محصول از خود نشان داده است.

محدودیت های پیش رو در این تحقیق عبارت بودند از:

گام ۴- ایجاد ماتریس موزون: در این مرحله به تبدیل ماتریس رتبه معیار به ماتریس گزینه رتبه یا ماتریس موزون می پردازیم. این کار با استفاده از اوزان نهایی بدست آمده از مشخصه های نهایی (جدول ۱۱) انجام می شود. نتیجه این فرآیند در جدول شماره ۱۳ نمایش داده شده است.

جدول ۱۳- ترسیم ماتریس گزینه رتبه

	رتبه 1	رتبه 2	رتبه 3
A1	(0.001,0.045,2.049)	(0.0005,0.018,0.655)	(0.0001,0.005,0.2980)
A2	(0.0002,0.011,0.434)	(0.0007,0.031,1.549)	(0.0003,0.011,0.4040)
A3	(0.005,0.012,0.4490)	(0.0004,0.018,0.855)	(0.0005,0.02,0.750)

گام ۵- تدوین و فرموله کردن مسئله برنامه ریزی خطی فازی (مدل تخصیص فازی): در این مرحله ماتریس بدست آمده را به یک مدل برنامه ریزی خطی صفر و یک فازی (تخصیص فازی) مطابق رابطه ۱۴ تبدیل می کنیم. متغیر $t_{i,j}$ به صورت زیر تعریف می شود:

اگر گزینه A_i به رتبه j تخصیص یافته باشد؛ $t_{i,j} = 1$ و در غیر این صورت $t_{i,j} = 0$. این مدل این مفهوم را بیان می کند که هر گزینه فقط یک رتبه را احراز می کند و مسئله مطابق زیر مدل سازی شده و ما به دنبال شایسته کردن یا maximize مدل هستیم.

$$\begin{aligned} \text{MAX} & \quad (0.001,0.045,2.049) t_{1,1} + (0.0005,0.018,0.655) t_{1,2} + (0.0001,0.005,0.2980) t_{1,3} \\ & \quad + (0.0002,0.011,0.434) t_{2,1} + (0.0007,0.031,1.549) t_{2,2} + (0.0003,0.011,0.4040) t_{2,3} \\ & \quad + (0.005,0.012,0.4490) t_{3,1} + (0.0004,0.018,0.855) t_{3,2} + (0.0005,0.02,0.750) t_{3,3} \\ \text{S.T:} & \\ & \begin{cases} t_{1,1} + t_{1,2} + t_{1,3} = 1 \\ t_{2,1} + t_{2,2} + t_{2,3} = 1 \\ t_{3,1} + t_{3,2} + t_{3,3} = 1 \end{cases} \\ & \forall t_{i,j} = 0 \text{ or } 1, i,j=1,2,3 \\ & \begin{cases} t_{1,1} + t_{2,1} + t_{3,1} = 1 \\ t_{1,2} + t_{2,2} + t_{3,2} = 1 \\ t_{1,3} + t_{2,3} + t_{3,3} = 1 \end{cases} \end{aligned}$$

محدودیت های این مدل نشان می دهد گزینه ها فقط یک رتبه احراز می کنند و از طرفی رتبه ها هم می توانند یک گزینه مربوط به خودشان را داشته باشند.

گام ۶- انتخاب بهترین نمونه محصول: برای انتخاب نمونه محصول مناسب که هدف اصلی ما نیز از این پژوهش می باشد باید مدل برنامه ریزی خطی صفر و یک فازی بالا را حل نماییم. برای این کار از نرم افزار LINGO برای حل مدل crisp شده ی مدل فازی بالا استفاده شد.

- 4-Cohen, L. (1995). Quality Function Deployment – How to Make QFD Work for You?, Addison-Wesley Publishing, New York,
- 5-Liu, HL ,(2011), “Product design and selection using fuzzy QFD and fuzzy MCDM approaches”, Applied Mathematical Modelling, N 35, pp. 482–496.
- 6-Mizuno, S. & Akao, Y.(1994a). Quality Function Deployment: The Customer- Driven Approach to Quality Planning and Deployment. Tokyo: Asian Productivity Organization.
- 7-Mizuno, S. and Y. Akao, ed. (1994b). “QFD: The Customer-Driven Approach to Quality Planning and Development, Asian Productivity Organization, Tokyo, Japan, available from Quality Resources”, One Water Street, White Plains NY.
- 8-Oshiumi, K. (1966). Perfecting quality assurance system in plants (in Japanese). Quality Control, Vol. 17, pp. 7-62.
- 9-Rommelfanger, H. (1989). Interactive decision making in fuzzy linear optimization problems. Eur. J. Oper. Res, 41, 210–217.
- 10-Shen, X.X., Tan, K.C., and Xie, M. (2001). The implementation of quality function deployment based on linguistic data. J. Intell. Manuf. 12 65–75.
- Sullivan, L.P.(1986). Quality Function Deployment. Quality Progress, June, pp 39-50.

۱- عدم استفاده از معیارهای دیگری از جمله دشواری تکنیکی، زمان بر بودن و هزینه بر بودن در رتبه بندی عملکردها باید در نظر گرفته شود که به دلیل عدم داده های تاریخی در این زمینه و عملی نبودن این تحقیق در نظر گرفته نشدند.

۲- عدم استفاده از برخی متغیرهای مداخله گر که برخی از آنها که بسیار تأثیر گذار نیز هستند و عبارتند از:

- امیال و انگیزه مشتریان در استفاده از محصولات فولادی شرکت

- شایعات منتشر شده در مورد کیفیت محصولات و مسائل مدیریتی شرکت

پیشنهادات: با توجه به مناسب و کارا بودن مدل های FQFD و MCDM به عنوان ابزارهای مفید در مدیریت کیفیت و تصمیم گیری و همچنین رویکرد ترکیبی که در این مقاله بیان شد به مدیران کارخانجات و مدیران کیفی سازمان ها و سایر مدیرانی که با مشتریان و ترجمه نیازهای آنان، بازار، فروش و برنامه ریزی و تصمیم گیری در این زمینه سر و کار دارند، استفاده از این ابزار پیشنهاد می شود. به خصوص به مدیران کیفی صنعت فولاد که با پارامترهای گسترده ای در زمینه شناسایی و اندازه گیری نیازهای کیفی مشتریان روبه رو هستند. در این تحقیق تنها به انتخاب مهمترین مشخصه های مهندسی و انتخاب بهترین نمونه محصول پرداخته شد و به بعد اجرا پرداخته نشد، لذا تحقیقات آتی می تواند شناسایی و ارائه متدولوژی های جدید برای اجرای این فرایندها باشد.

۶- منابع و مراجع

- ۱- آذر، عادل و منصور مؤمنی (۱۳۸۰)، آمار و کاربرد آن در مدیریت (جلد دوم). تهران: انتشارات سمت.
- 2-Akao, Y. (1990). Quality Function Deployment. creative industries research institute, PRODUCT BRIEF DEVELOPMENT TOOLS.
- 3-Chan, L.K., Kao, H.P., Ng, A., and Wu, M.L. (1996). Rating the importance of customer needs in quality function deployment by fuzzy and entropy methods. Int. J. Prod.

نقش برنامه ریزی استراتژیک مدیریت کیفیت جامع (TQM) در صنایع

الهام جهانی - احمد شریفی
 دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

چکیده

همواره اولین گام اساسی در تدوین برنامه های بهبود کیفیت، شناسایی ادراکات و انتظارات دریافت کنندگان خدمات از کیفیت خدماتی است که دریافت می کنند. براین اساس، مشتری محوری اصلی است که به طور روزمره در سازمانها در حال ترقی است، به گونه ای که هرروزه بر تعداد شرکت هایی که رضایت مشتری را به عنوان شاخص اصلی عملکرد خود انتخاب کرده اند، افزوده می شود. این مسئله آن چنان مهم به نظر می رسد که در شیوه های مدیریتی جدید، کیفیت را خواسته مشتری تعریف کرده اند. معرفی یک سیستم مدیریت کیفیت، از اهمیت بالایی برخوردار است. مدیریت کیفیت یعنی نظارت بر فرآیند ساخت و تولید محصول برای ایجاد اطمینان از مطابقت محصول با آنچه مورد نظر طراح یا مشتری بوده است. این نظارت از مرحله دریافت و سفارش مواد اولیه تا خدمات پس از فروش را شامل می شود. بدین ترتیب طیف وسیعی از فعالیتها را شامل می گردد: قابلیت دسترسی، راحتی حمل و نقل، مصرف کم انرژی، سهولت آموزش و بکارگیری محصول و همچنین تعمیر و نگهداری و بازیافت را می توان از عوامل کیفیت برشمرد. اصطلاح مدیریت کیفیت فراگیر یا جامع (کنترل کیفیت جامع) یکی از متداولترین اصطلاحات است، که در سالهای اخیر در قلمرو تجارت بکار گرفته شده است. مدیریت کیفیت فراگیر، بهبود در روشهای سنتی انجام کار و تجارت و فنی اثبات شده برای تضمین بقا در جهان رقابتی کنونی به شمار می رود. در تجزیه لغت (کنترل کیفیت جامع) با سه کلمه زیر سروکار داریم: جامع: نشان دهنده همه گیر بودن آنست.

کیفیت: درجه تطابق کالای تولید شده یا خدمت ارائه شده با نیاز مشتری را بیان می کند.
 مدیریت: فن، هنر یا روش اداره کردن، کنترل کردن، هدایت کردن و ... می باشد.

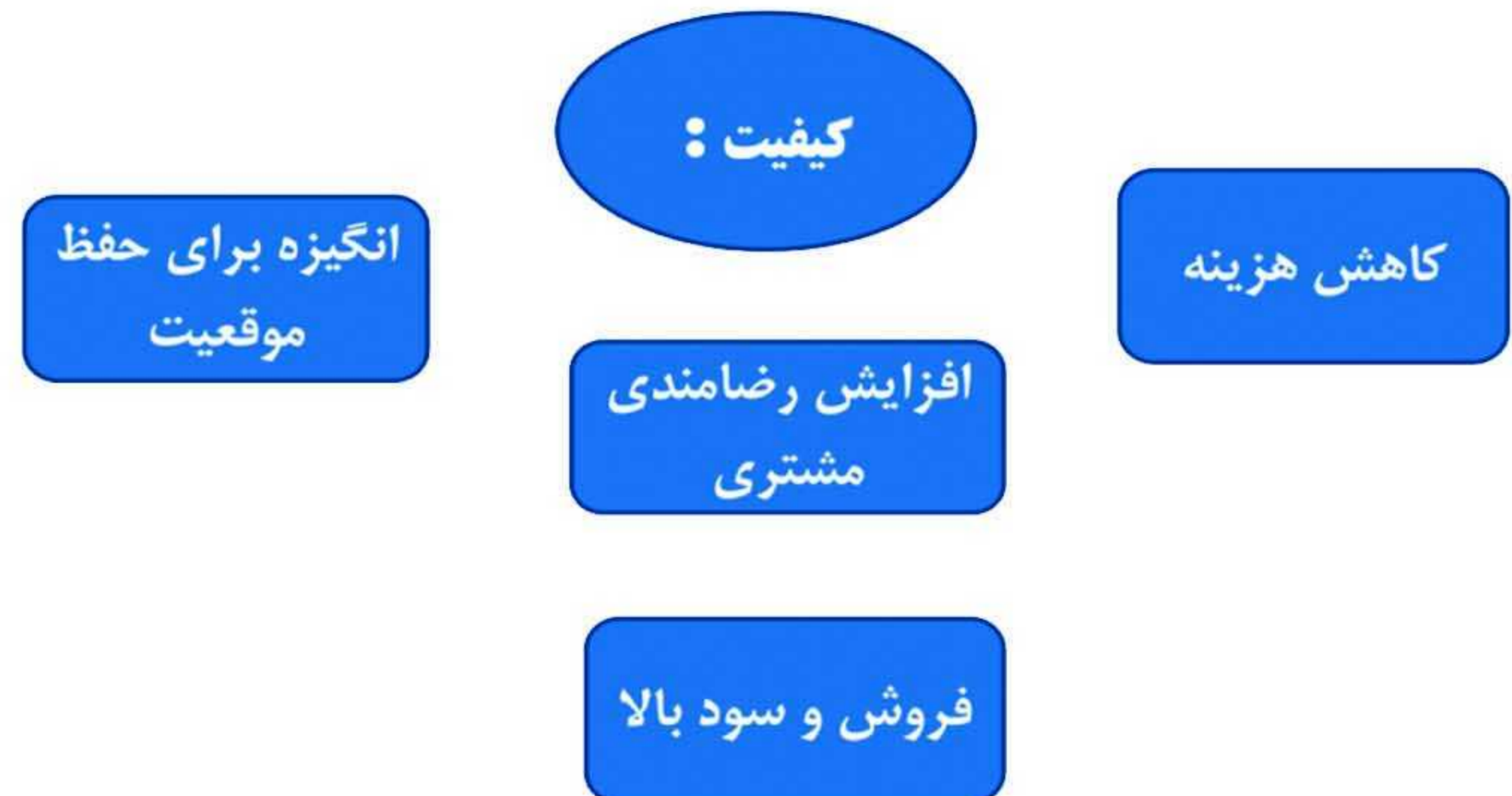
۱- مقدمه

آن حذف یا کاهش نوسانها و معایب از طریق حذف ریشه های اصلی آن می باشد و از طریق به کارگیری روشهای کیفی، خدمات و تولیدات با کیفیت بالا به مشتریان ارائه می کند، در سطوح عالی مدیریت شکل می گیرد و سپس در سازمان جریان می یابد. هر فردی در سازمان از مدیر اجرایی تا پایین ترین سطح کارکنان در فرآیند مدیریت کیفیت فراگیر مشارکت دارند. در بسیاری از کشورها و فرهنگها مسئله مدیریت کیفیت جامع همواره در دستور کار صنایع قرار داشته است. صنعت هر کشور می تواند نقش مهمی را در توسعه و رشد اقتصاد ملی ایفا کند. بررسی تعیین سطح کیفیت در صنایع مختلف با توجه به شاخص های مرتبط با آن می تواند کمک شایانی در دستیابی به موفقیت در صنعت کشور و همچنین سطح بین المللی نماید.

از دهه ۱۹۵۰ میلادی به بعد کیفیت با سرعت فزاینده ای در ابعاد جهانی مورد توجه تولید کنندگان کالاها و ارائه کنندگان خدمات و مشتریان آنها قرار گرفته است. با پیشرفت علم و تکنولوژی، انتظار مصرف کنندگان کالاها و خدمات برای دریافت خدمات مطلوب و کالاهای مرغوب افزایش یافته است. دیگر مانند گذشته، آنها حاضر به پذیرفتن هر نوع کالا یا خدمتی نیستند. بنابراین، ضرورت فوق موجب از دور رقابت خارج شدن سازمانهایی می شود که قادر به تامین و برآورده ساختن نیازها و انتظارات مشتریان خود نباشند. مدیریت کیفیت جامع یکی از کاملترین و کاربردی ترین فلسفه های مدیریتی است که به نحو شایسته ای مباحث کیفیت و رضایت مشتری را در بردارد. کنترل کیفیت جامع بر بهبود مداوم فرآیندها تاکید داشته و هدف

۲- کیفیت

کیفیت عبارت است از مجموعه خصوصیات و ویژگی‌های محصول یا خدمت، که دربرگیرنده توانایی آن در برآوردن نیازهای معین باشد. یک محصول با کیفیت باید بتواند در هر طراحی با انتظارات مشتریان در یک قیمت رقابتی که مایل به پرداخت آن هستند، مطابقت داشته یا از آن فراتر برود.



۵- TQM چیست؟

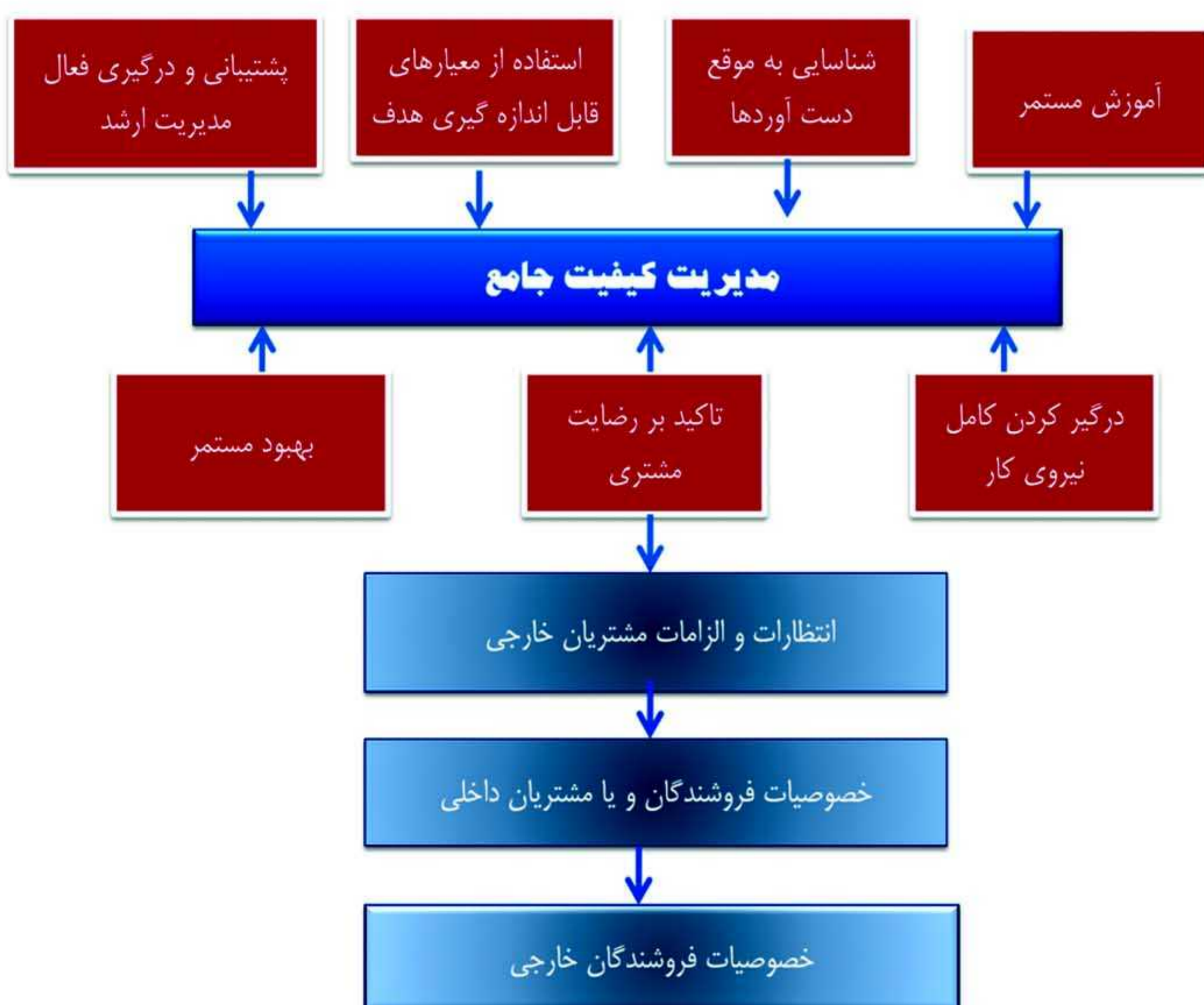
مدیریت کیفیت جامع شامل مجموعه‌ای از اعمال، فرآیندها و تکنیک‌های مختلفی نظیر کنترل آماری فرآیند، طراحی و مدیریت فرآیند، سنجش رضایت گیرندگان خدمت، تعهد مدیریت، مشارکت، تواناسازی کارکنان و حل مشکل با استفاده از کار تیمی می‌باشد. مدیریت کیفیت فراگیر با تمرکز بر مشتری‌ها، تمرکز بر فرآیندها و سیستم‌ها، تأکید بر ارتقاء مستمر خدمات، توانمندسازی کارکنان، ترویج کار تیمی و همکاری و ایجاد یک دیدگاه استراتژیک در مدیران و کارکنان زمینه را برای اصلاحات اساسی و پاسخگویی به نیازها و انتظارات جامعه فراهم می‌سازد. برای اجرای مدیریت کیفیت جامع، یک روش یا نسخه واحد و حاضر و آماده‌ای وجود ندارد که بتوان مطابق آن در همه سازمان‌ها عمل کرد، بلکه باید هر سازمانی خود راه خود را پیدا کند و بر اساس شرایط موجود و تجربیات و یادگیری نسبت به اجرای مدیریت کیفیت جامع اقدام نماید.

هدف نهایی مدیریت کیفیت جامع بهبود کیفیت محصولات و خدمات، از طریق بهبود منابع انسانی، فرآیندها و تجهیزات موجود و به موازات آن کاهش هزینه‌های حوزه عملیاتی است.

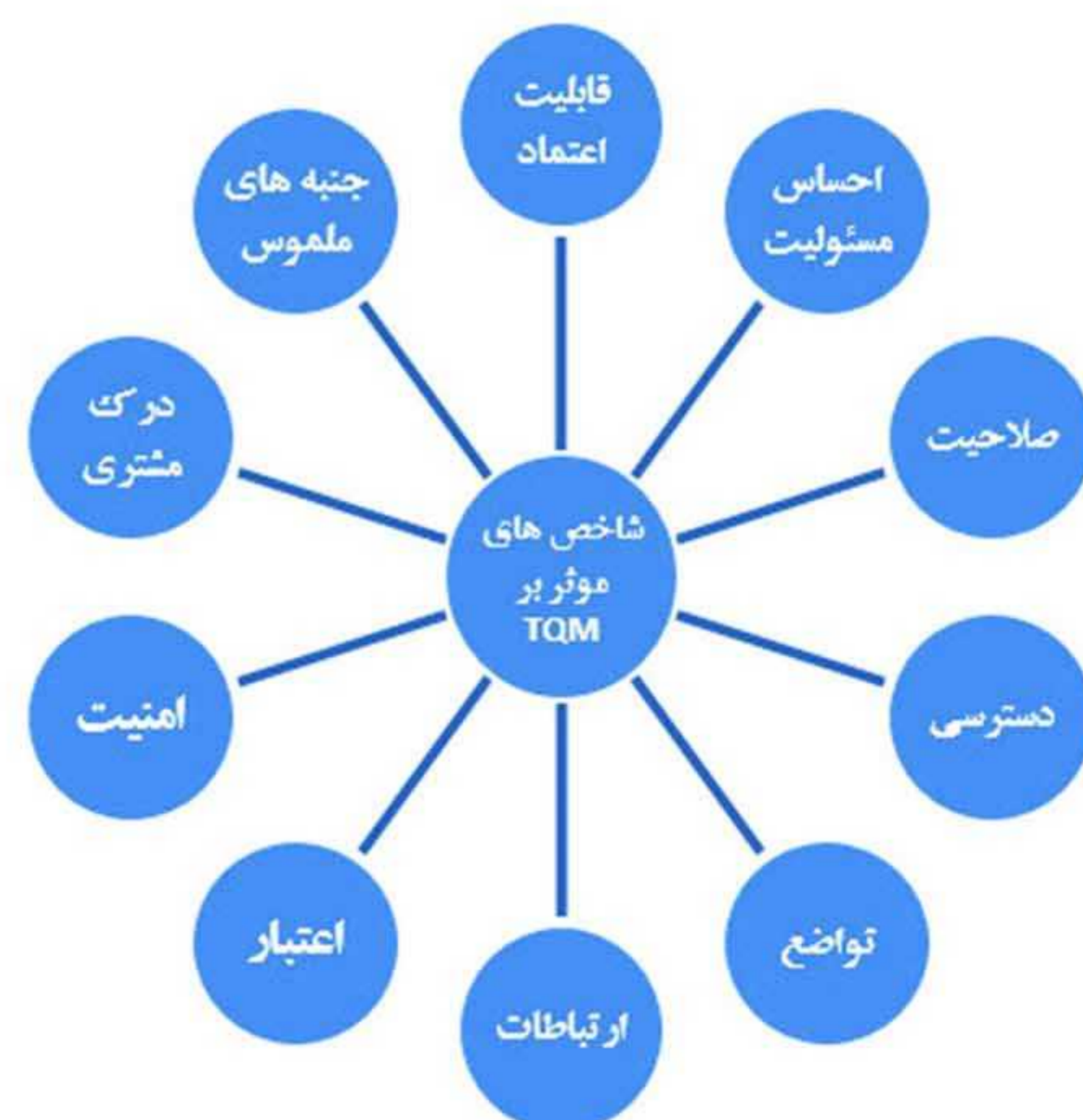
۳- کیفیت از دیدگاه‌های گوناگون

- کیفیت یعنی مطابقت با مشخصات و نیازمندیها
- کیفیت یعنی رضایت مشتری
- کیفیت یعنی به وجد آوردن مشتری
- کیفیت یعنی مناسب بودن برای منظور
- کیفیت یعنی مشتری بر گردد اما محصول برنگردد
- کیفیت یعنی قابلیت نگهداری و تعمیر
- کیفیت یعنی قابلیت اعتماد و دوام محصول
- کیفیت یعنی تحویل به موقع
- کیفیت یعنی بی نقص بودن

۶- خصوصیات مدیریت کیفیت جامع

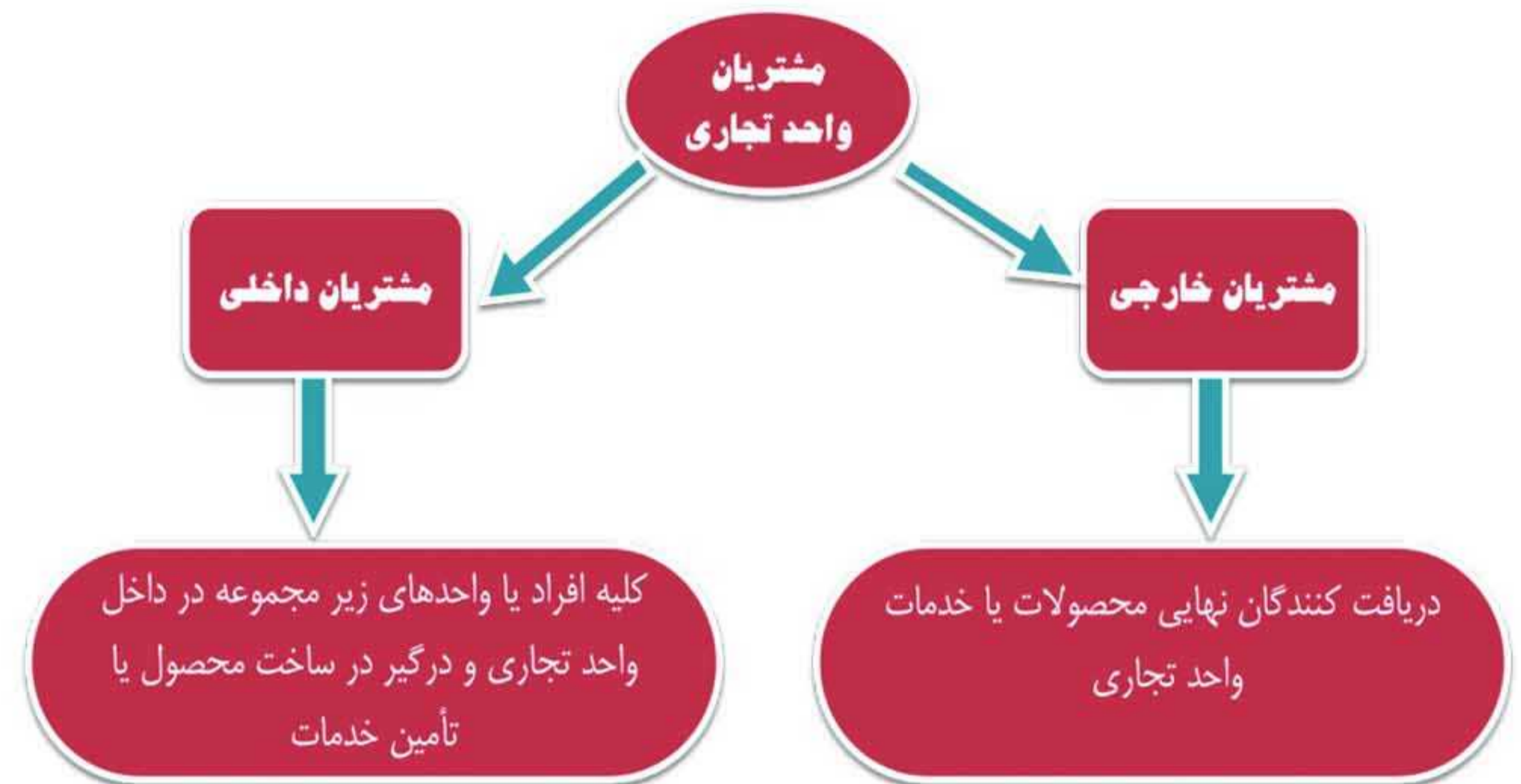


۴- شاخص‌های تعیین کننده کیفیت خدمات



۷- تاکید بر رضایت مشتری

TQM که از طریق شناسایی مشتریان آغاز می شود در مرحله بعدی، نیازهای مشتریان را برآورده می سازد. سپس احتیاجات و انتظارات آنان شناسایی خواهد شد و در نهایت تمام اقدامات لازم برای جلب رضایت مشتریان صورت می گیرد.



۹-۳- مرحله برنامه ریزی استراتژیک (شامل تهیه برنامه استراتژیک، برنامه های سالانه، برنامه های اجرایی و برنامه های مدیریت روزانه فرآیندها)

- تدوین برنامه استراتژیک برای ۳ تا ۵ سال.
- پیوند دورنما، رسالت و منافع بلند مدت سازمان با مدیریت جامع کیفیت.
- ایجاد عزم سازمانی پایدار برای دستیابی به کیفیت.

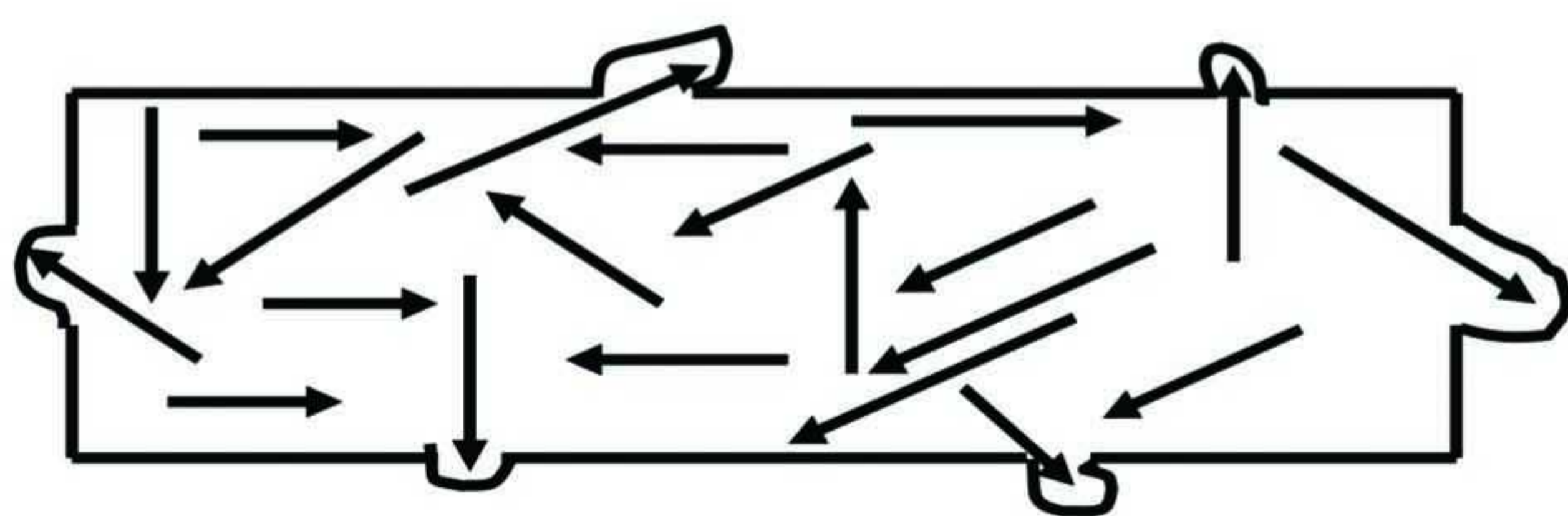
۹-۴- مرحله اجرا

- یادگیری در عمل
- ایجاد یک نظام اطلاعاتی قوی و منظم برای انتقال تجربیات
- ایجاد یک نظام تقدیر و تشویق کار آمد برای حمایت از دستاوردها

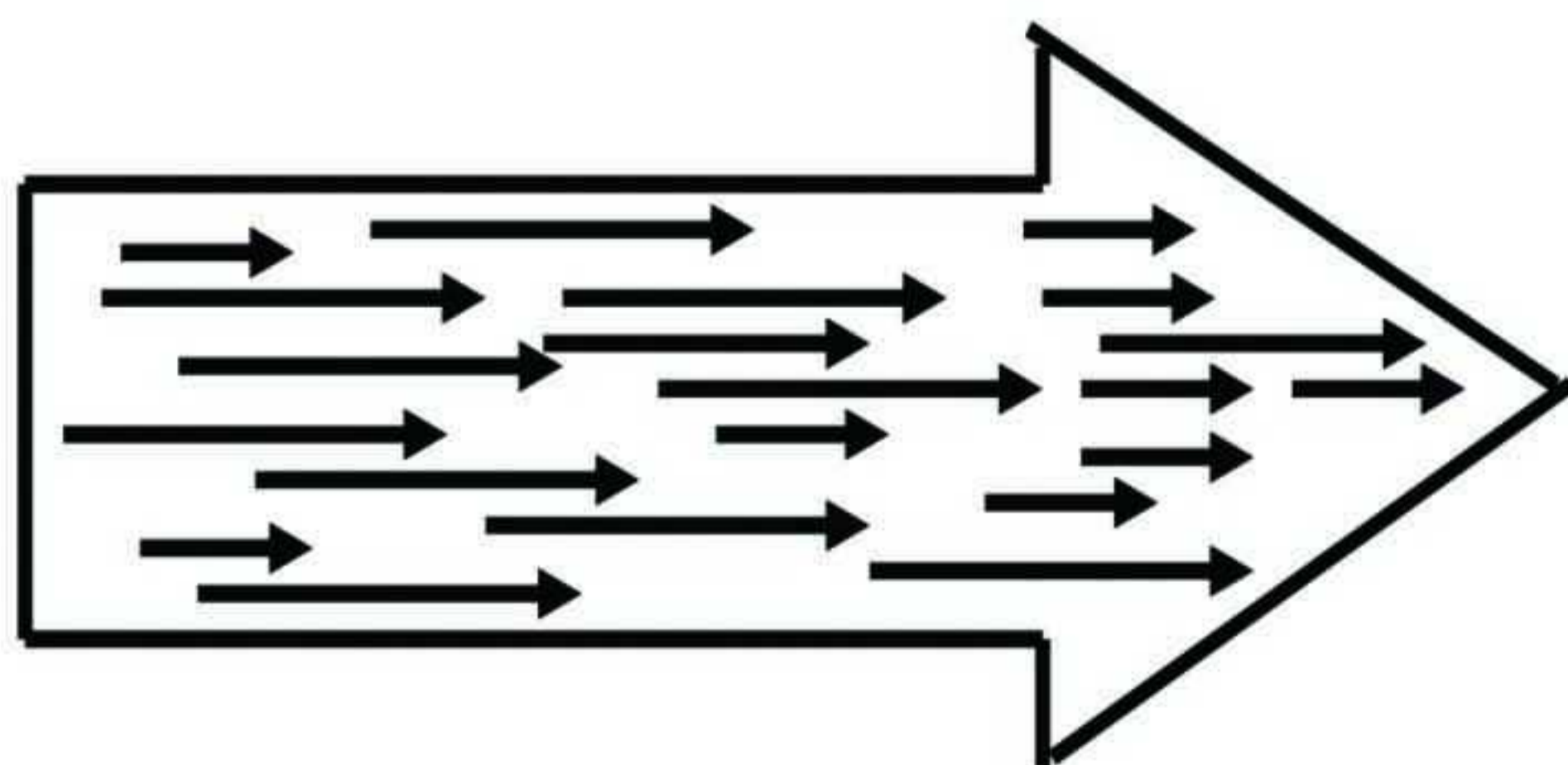
۹-۵- مرحله ارزشیابی

- یادگیری از تجربیات مثبت و منفی
- اصلاح یا تجدید نظر در برنامه یا برنامه ریزی مجدد

۱۰- تاثیر قواعد TQM در سازمان ها



انرژی ها هدر می روند. تاثیر گذاری کاهش می یابد.



انرژی ها هم جهت می شوند. تاثیر گذاری افزایش می یابد.

۸- نقش مدیران ارشد در مدیریت جامع کیفیت

- TQM یک مداخله بلند مدت است .
- مدیران ارشد حیاتی ترین نقش را به عهده دارند .
- نسبت به TQM باید تعهد بلند مدت وجود داشته باشد .
- برای درک شخصی خود از TQM باید وقت صرف کنند .
- می توان با استفاده از اصول و فنون TQM سازمان را نوسازی کرد.

۹-۱- مراحل اجرایی مدیریت جامع کیفیت

۹-۱-۱- مرحله آگاهی

- درک مفهوم کیفیت، ارتقای کیفیت و مدیریت جامع کیفیت
- پذیرش آگاهانه مدیریت جامع کیفیت به عنوان استراتژی تغییر
- ایجاد آمادگی در سازمان برای پیاده کردن مدیریت جامع کیفیت

۹-۲- مرحله کسب دانش و تجربه

- کسب دانش عملی، مهارتها و معرفت حقیقی نسبت به مفاهیم، اصول، روش ها و ابزار مدیریت جامع کیفیت
- انتخاب یک روش برای ارتقای فرآیندها

۱۱- نتیجه گیری

مدیریت کیفیت جامع فرآیندی استراتژی، نگرش و سیستم هزینه اثربخش است که از طریق ترویج یک فرهنگ مشارکتی در تصمیم‌گیری است که همه سطوح و اعضای سازمان را در بر گرفته و به تکاپو در راستای بهبود کیفی مستمر و مداوم در تولید کالاها و ارائه خدمات و امی دارد و رضایت مشتریان و ذینفعان را تضمین می‌نماید.

جلب رضایت مشتریان با حداقل هزینه، تصمیم‌گیری مشارکتی و گروهی صرف نظر از مقام سازمانی و منافع فردی، بهبود مداوم کیفیت و استانداردهای بالاتر از جمله اهداف اجرا و پیاده سازی مدیریت کیفیت فراگیر هستند.

بهبود روابط کارگر و کارفرما از طریق اعمال استراتژی برد-برد، پیشگیری از بروز بحران و مدیریت بحران، آموزش عملی کیفیت به اعضای سازمان و ایجاد حسن شهرت برای سازمان در زمینه نقش‌های برجسته مدیریت کیفیت فراگیر می‌باشند.

مشتری‌گرایی، کارگروهی و نگرش علمی به تصمیم‌گیری اجزای TQM و آموزش کارگروهی، ساختار کیفی و کنترل آماری از ابزار اجرا و پیاده سازی آن هستند.

علاوه بر این از آنجا که این استراتژی نیازمند پیش‌زمینه‌هایی می‌باشد، از بهبود تصویر در اذهان عمومی و ارتقای روحیه کارکنان به عنوان این زمینه‌سازها می‌توان نام برد.

کمبود یا فقدان تعهد مدیریت، بیم از تحول آفرینی، مقاومت در برابر تغییرات فرهنگی و درک و اجرای نادرست یا سرباز زدن از اجرای این نگرش از جمله موانع عمده و علل اساسی عدم موفقیت TQM است که باید به وسیله انجام اقداماتی چند برطرف شوند. مثلاً به وسیله آموزش مستمر و مداوم نیروی انسانی و آموزش مهارت‌هایی در راستای انعطاف‌پذیری و پذیرش تغییر می‌توان بخشی از این اسباب ناکامی را از بین برد یا به حداقل کاهش داد.

۱۲- منابع و مراجع

۱. دفتر آموزش معاونت تحقیقات، آموزش و ترویج وزارت تعاون، مدیریت کیفیت جامع."

۲. آقایی ع.، ۱۳۸۲، "ریشه یابی، تاریخچه، تعریف و مفهوم مدیریت کیفیت جامع."

۳. جهانی، الف، ۱۳۹۳، "تعیین سطح کیفیت خدمات محیط آموزشی و رتبه بندی عوامل مدیریت کیفیت"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک.

4- Prajogo Daniel, Hong Soon, The effect of TQM on performance in R&D environments: A perspective from South Korean firms, *Technovation* 28, 2008, 855-863.

5-Kuei Chen Jui, Shuo Chen I, TQM measurement model for the biotechnology industry in Taiwan, *Expert Systems with Applications* 36, 2009, 8789-8798.

6- Calvo-Mora Arturo, Ruiz-Moreno Carolina, Mediation effect of TQM technical factors in excellence management systems, *Journal of Business Research*, 2013, 102-108.

7- Yu Yuan Hung, Richard, Ya-Hui Lien, Bella, Impact of TQM and organizational learning on innovation performance in the high-tech industry, *International Business Review* 20 (2011) 213-225.

ارائه یک روش ابتکاری برای تخصیص تختال به ورق عریض و برش تختال‌های بلند در کارخانه نورد ورق عریض فولاد اکسین خوزستان

کسری غلامرضائی^۱، محمد حسین گیوه‌چی^۲، امیرعلی قائمی^۳
^{۱،۲،۳} شرکت بین المللی مهندسی سیستم‌ها و اتوماسیون - ایریسا

چکیده

این مقاله به یکی از مهمترین مسائل تصمیم‌گیری عملیاتی در حوزه صنعت فولاد می‌پردازد. در این مقاله مسئله تخصیص تختال‌های کوتاه به سفارش‌های ورق عریض و همچنین مسئله برش تختال‌های بلند در کارخانجات نورد ورق عریض مطرح است. این مسئله در حوزه تحقیق در عملیات یک مسئله برنامه‌ریزی مختلط غیرخطی^۱ می‌باشد و یک روش حل ابتکاری برای آن توسعه یافته‌است. در این روش ابتدا تختال‌های بلند به صورت مجازی بریده شده و به تختال‌های کوتاه اضافه می‌گردند. سپس ترکیب‌های امکانپذیر سفارشات، تختال‌ها و سیکل‌های تولیدی مختلف ایجاد شده و برای هر یک، ویژگی‌های ورق مادر محاسبه می‌گردد. در ادامه برای هر ترکیب سفارش، تختال و سیکل تولیدی، ترکیب‌های تعدادی ورق‌های عریض روی ورق مادر محاسبه می‌گردد. در نهایت بر اساس هزینه هر ترکیب تعدادی، برنامه تخصیص تختال‌های کوتاه به ورق‌های عریض و برنامه برش تختال‌های بلند به دست می‌آید، به نحوی که اهداف کلیدی تولید حاصل گردد.

کلمات کلیدی: تخصیص تختال به ورق عریض، برنامه‌ریزی مختلط غیرخطی، الگوریتم ابتکاری، برنامه‌ریزی تولید.

۱- مقدمه

مجدداً به انبار تختال برمی‌گردد و در ادامه در سیکل برش، تختال بلند به تختال‌های کوتاه تبدیل می‌شود. سیکل‌های برش طولی و کاهش ضخامت زمانی اجرایی می‌شود که طول ورق مادر از طول بیشینه مجاز ورق مادر تجاوز کند (شکل ۱). با توجه به انواع تختال‌های کوتاه و بلند با مشخصات مختلف در انبار و تنوع سفارشات مشتریان و همچنین سیکل‌های مختلف در خط تولید، برنامه تخصیص تختال‌های کوتاه به سفارشات (ورق‌های عریض) و برنامه برش تختال‌های بلند باید به نحوی باشد که اهداف کلیدی تولید از قبیل تخصیص سفارشات با اولویت‌های بالاتر، سیکل‌های تولید کم هزینه‌تر، تناژ گرید جانشین کمتر، تناژ تختال بلند بریده شده کمتر، تناژ تختال چرخش شده کمتر، تناژ ضایعات ورق مادر کمتر و تناژ تخصیص بیشتر حاصل گردد [۱] و [۲].

کارخانه نورد ورق عریض مورد مطالعه از پنج سیکل تشکیل شده‌است. در سیکل چرخش تختال^۵، عرض ورق عریض (محصول نهایی) بزرگتر از عرض تختال می‌شود، بنابراین تختال می‌چرخد و یک مرحله بیشتر در عرض نورد می‌شود تا به عرض ورق برسد. در سیکل برش تختال بلند^۶، تختال‌های بلند برای اینکه قابلیت نورد داشته باشند، در خط برش به تختال‌های کوتاه برش داده می‌شوند و مجدداً به انبار تختال برمی‌گردند. در سیکل عادی تختال کوتاه نورد می‌گردد و به ورق مادر^۷ تبدیل می‌شود. سپس ورق مادر در عرض برش خورده و به ورق‌های عریض (محصول نهایی) با طول درخواستی مشتری تبدیل می‌شود. در سیکل برش طولی^۸ تختال کوتاه نورد می‌شود به نحوی که عرض ورق مادر ۲ برابر عرض ورق عریض (محصول نهایی) باشد. در ادامه ورق مادر یک بار در طول و سپس در عرض برش خورده و به ورق‌های عریض (محصول نهایی) تبدیل می‌گردد. در سیکل کاهش ضخامت^۹ تختال کوتاه یک بار در یک بازه ضخامتی از پیش تعیین شده (بازه کاهش ضخامت) نورد می‌شود و تختال نازک و بلند حاصله

4. Mixed Integer Non Linear Programming (MINLP)
5. Slab Turning
6. Long Slab Cutting
7. Mother Plate
8. Slitting
9. Thinning

زیاد می‌باشد [۳] و حل آن از طریق مدل‌های ریاضی و در زمان مناسب به سادگی امکانپذیر نیست، برای حل آن یک روش ابتکاری توسعه یافته که به قرار زیر می‌باشد.

۱- الگوهای برش تختال‌های بلند ایجاد شده و بر اساس آن‌ها، برای هر تختال بلند برنامه‌های برش مجازی ایجاد شده و تختال‌های کوتاه برشی مجازی حاصله به موجودی تختال‌های کوتاه واقعی اضافه می‌گردند.

۲- ترکیب‌های ممکن از سفارشات با ویژگی‌های مشابه ایجاد می‌شود به طوری که سفارشات انتخابی در هر ترکیب، بازه ضخامتی مشترک داشته باشند. در این مرحله ترکیب سفارشات حاصل می‌شود.

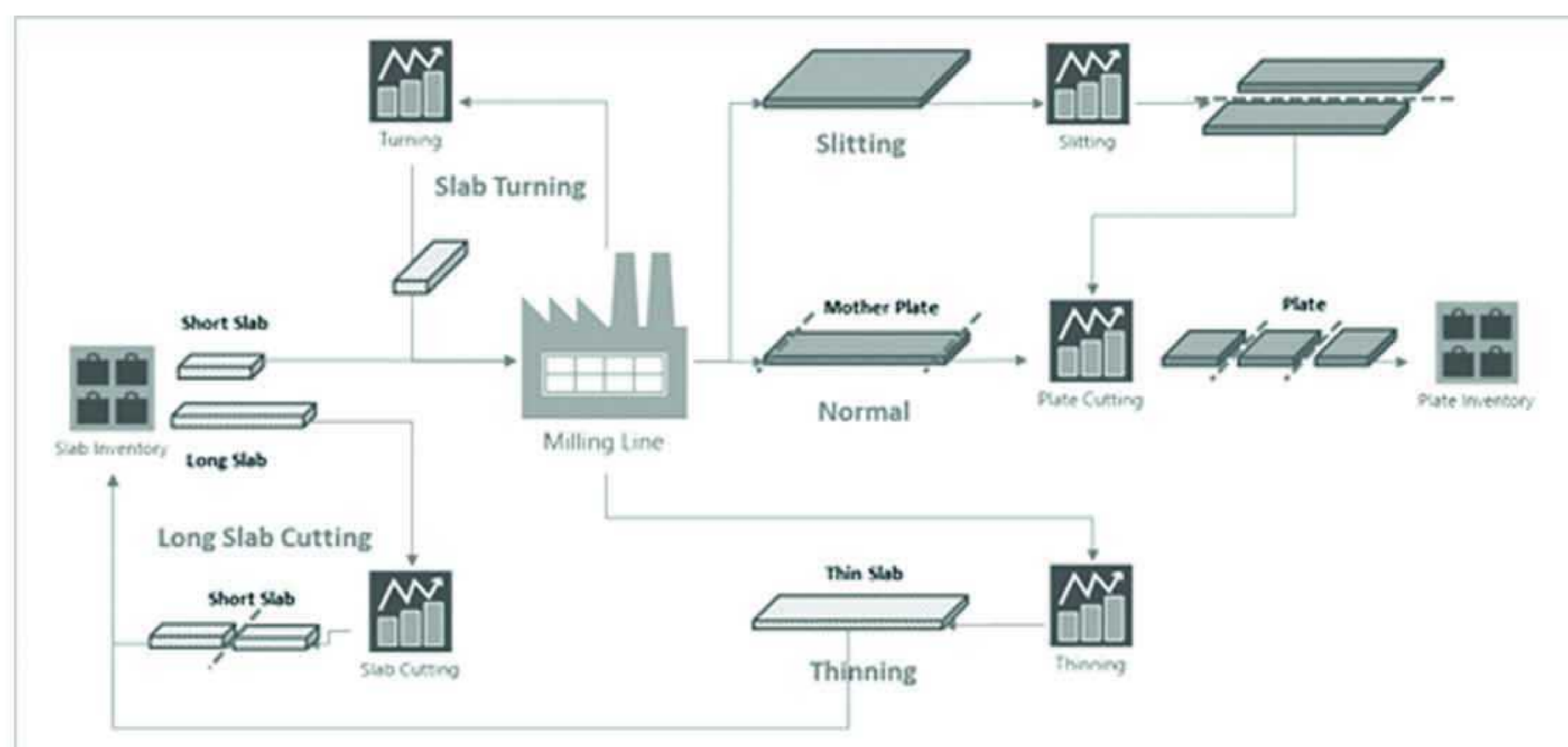
۳- ترکیب‌های مختلف تختال‌ها و ترکیب سفارشات متناسب با آن‌ها ایجاد می‌شود به نحوی که گرید تختال با گرید سفارشات یا گرید جانشین آن‌ها یکسان باشد و عرض و ضخامت تختال و سفارشات در محدوده مجاز تولید باشد. در این مرحله ترکیب سفارشات و تختال حاصل می‌شود.

۴- ماکزیمم ضخامت‌های مینیمم سفارشات هر ترکیب سفارشات و تختال به عنوان ضخامت ورق مادر و عرض ورق سفارشات ترکیب به اضافه میزان تریم به عنوان عرض ورق مادر در نظر گرفته می‌شود. از تقسیم حجم تختال ترکیب بر ضخامت و عرض ورق مادر و سپس کم کردن میزان برش سر و ته ورق مادر، طول ورق مادر حاصل می‌گردد.

۵- اگر طول ورق مادر کوچکتر مساوی طول بیشینه ورق مادر باشد، سیکل عادی انتخاب می‌شود. در این مرحله ترکیب سفارشات، تختال و سیکل حاصل می‌شود.

۶- برای هر ترکیب سفارشات، تختال و سیکل، ترکیب‌های تعدادی مختلف ورق عریض سفارشات روی ورق مادر تعیین می‌شود. به شرطی که برای هر ترکیب تعدادی، مجموع طول ورق‌های عریض بزرگتر از طول ورق مادر نباشد و همچنین طول باقیمانده ورق مادر کوچکتر از طول ورق عریض هر یک از سفارشات باشد. در این مرحله ترکیب تعدادی حاصل می‌شود.

۷- برای هر ترکیب تعدادی، ضخامت بیشینه ورق مادر از تقسیم حجم تختال بر طول بهینه (بدون ضایعات) ورق مادر و عرض ورق مادر به دست می‌آید. مینیمم این مقدار و مینیمم ضخامت‌های ماکزیمم سفارشات به عنوان ضخامت بهینه ورق مادر انتخاب می‌شود.



شکل ۱- سیکل‌های خط تولید ورق عریض

۲- روش تحقیق

این مقاله بر اساس یک پروژه سیستم‌های اطلاعاتی در حوزه برنامه‌ریزی عملیاتی نورد گرم در کارخانه نورد ورق عریض فولاد اکسین خوزستان توسعه یافته است. بر اساس تجزیه و تحلیل فرآیندها و دستورالعمل‌های تولید و با در نظر گرفتن برنامه‌ریزی دستی موجود در سطح کارخانه و همچنین مطالعه ادبیات مقالات مرتبط در این زمینه [۱] و [۲] و [۳] و [۴]، یک الگوریتم ابتکاری طراحی شده و در محیط PL SQL و Oracle Form Builder برنامه‌نویسی و پیاده‌سازی شده است. صحت کارکرد الگوریتم بر اساس داده‌های واقعی در محیط عملیاتی تست و تایید شده است و بر اساس نتایج آماری به دست آمده در گزارشات بهبود شاخص‌های کلیدی عملکرد تولید، کارایی و اثربخشی نرم‌افزار تخصیص اتوماتیک صحه‌گذاری شده است.

۳- تعریف مسئله و روش حل

در کارخانه نورد ورق عریض مورد تحقیق، تختال‌های مختلف کوتاه و بلند با ابعاد و ویژگی‌های گوناگون از تامین‌کنندگان خریداری می‌شوند و سفارشات مشتریان در قالب ورق‌های عریض با ابعاد و ویژگی‌های مختلف تولید می‌گردند. با توجه به تنوع سیکل‌های تولید در خط نورد و هزینه‌های مختلفی که هر سیکل به همراه دارد، تخصیص تختال‌های کوتاه به ورق‌های عریض و برنامه برش تختال‌های بلند باید به نحوی باشد که بهینه‌ترین برنامه تولید^{۱۰} بر اساس آن تهیه شود و اهداف کلیدی تولید محقق شود. با توجه به اینکه ماهیت این مسئله، برنامه‌ریزی مختلط غیرخطی با تعداد متغیرهای ۰ و ۱

10. Schedule

۸- از طریق فرمول تبدیل احجام، با تقسیم طول و ضخامت اولیه ورق مادر (در عرض ثابت) بر ضخامت بهینه محاسبه شده، طول بهینه و در نهایت طول باقیمانده (ضایعات) بهینه ورق مادر محاسبه می شود.

۹- هزینه هر ترکیب تعدادی، از محاسبه و حاصل جمع هزینه های تاریخ تحویل و تقدم سفارشات، سیکل تولید، گرید جانشین، تختال بلند برشی، تختال چرخش شده، طول باقیمانده ورق مادر و تنوع سفارشات در ورق مادر محاسبه می گردد.

۱۰- ترکیب های تعدادی به ترتیب از کمترین هزینه انتخاب می شوند و بر اساس هر ترکیب انتخابی، برنامه تخصیص تختال کوتاه به سفارشات که شامل سیکل تولید و مشخصات ورق مادر می باشد تعیین می گردد. همچنین در صورتی که ترکیب تعدادی شامل تختال بلند باشد، برنامه برش تختال بلند مشخص می شود.

۱۱- در مرحله ۵، اگر طول ورق مادر بزرگتر از طول بیشینه مجاز ورق مادر باشد و سیکل برش طولی انتخاب نشده باشد، دو برابر عرض ورق سفارشات ترکیب به اضافه میزان تریم به عنوان عرض ورق مادر در نظر گرفته می شود و طول ورق مادر مشابه قبل محاسبه می شود.

۱۲- اگر طول ورق مادر کوچکتر مساوی طول بیشینه مجاز ورق مادر باشد، سیکل برش طولی انتخاب می شود و بقیه مراحل ۶ تا ۱۰ مشابه سیکل عادی دنبال می شود.

۱۳- در مرحله ۱۲، اگر طول ورق مادر بزرگتر از طول بیشینه مجاز ورق مادر باشد، سیکل کاهش ضخامت انتخاب می شود. ضخامت تختال نازک به نحوی تعیین می شود که در بازه کاهش ضخامت قرار بگیرد و تا جای ممکن به حد پایین بازه نزدیک باشد تا تختال نازک بلندتری (جهت افزایش الگوهای برش به تختال کوتاه) حاصل گردد. مراحل ۶ تا ۱۰ مشابه سیکل عادی دنبال می شود.

۴- نتایج و بحث

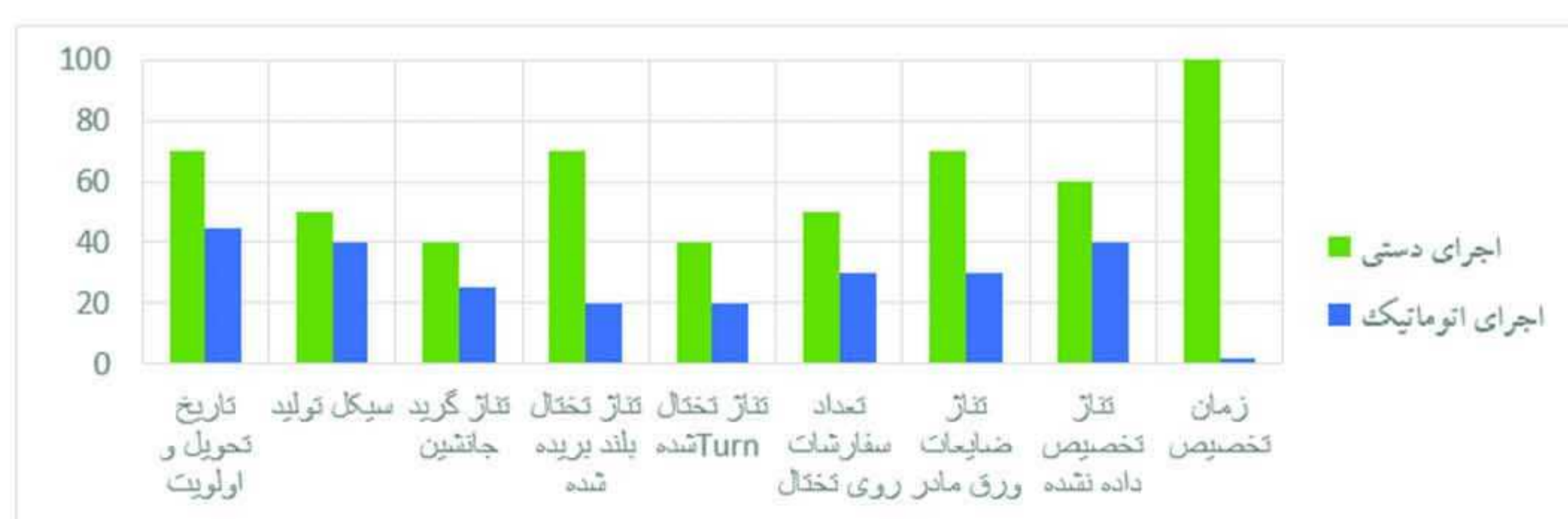
نتایج محاسباتی الگوریتم ابتکاری در قالب خروجی های یک اجرای موفق از نرم افزار پیاده سازی شده آورده شده است.

به ازای شماره اجرای ۱۳۹۵۰۵۰۳۰۱ برای ۲۴۶ خط سفارش با وزن ۶۴۹۴۶۴۱ کیلوگرم و ۱۸۵ خط نوع تختال با وزن ۶۴۹۴۶۴۱ کیلوگرم، وزن تختال تخصیص شده به سفارش برابر ۴۰۲۶۲۱۲ کیلوگرم و زمان حل ۰۰:۰۱:۱۳ می باشد.

برنامه تخصیص تختال های کوتاه (شکل ۲) شامل ۱۳۴ خط تخصیص می باشد. برای نمونه در قسمت بالای جدول در خط تخصیص ۴۷۴۲، تختالی با گرید ۱۰۰۰۲۱، ضخامت ۲۰۳ میلیمتر، عرض ۱۸۵۰ میلیمتر، طول ۳۷۰۱ میلیمتر، وزن ۱۰۹۲۳ کیلوگرم، به تعداد ۱ عدد و با سیکل تولید عادی به ورق مادر با ضخامت ۱۴/۷۶ میلیمتر، عرض ۲۴۸۷ میلیمتر و طول ۳۶۴۵۰ میلیمتر تبدیل شده است. در قسمت پایین جدول ضخامت مینیمم و ماکزیمم ورق عریض ۹۷.۱۳ و ۹۷.۱۴ میلیمتر می باشد که نشان می دهد ضخامت ورق مادر در بازه ضخامتی سفارش قرار دارد. عرض ورق عریض ۲۳۳۷ میلیمتر می باشد که به میزان ۱۵۰ میلیمتر تریم از عرض ورق مادر کمتر می باشد. طول ورق عریض ۱۲۱۵۰ میلیمتر می باشد و به تعداد ۳ عدد روی ورق مادر برش می یابد که جمعا معادل طول ورق مادر است. به این ترتیب برای این خط تخصیص ضایعات ورق مادر صفر میلیمتر می باشد. جهت صحت گذاری کارایی و اثربخشی الگوریتم ابتکاری برای ۳۰ اجرای روزانه در افق یک ماه، هزینه های اهداف تولید به صورت جداگانه و نرمال سازی شده برای تخصیص دستی و اتوماتیک محاسبه شده و مقایسه گردیده است (شکل ۳). مقایسه هزینه ها نشان دهنده ارتقای چشمگیر در دقت، کیفیت و زمان تخصیص نسبت به حالت دستی می باشد.

برنامه تخصیص	اطلاعات تختال ها	شرح گزین	ضخامت تختال	ضخامت مینیمم	ضخامت ماکزیمم	عرض تختال	تعداد تختال	تاریخ تولید	تاریخ تحویل و اولویت
2331	100021	APSL X65 PSL2	203	1850	3701	14.76	1	10.03.21	10.03.21
2327	100027	34CRMO4	200	1500	2101	14.53	3	7.23.19	7.23.19
2343	100028	A283 Gr.C	190	1100	1101	14.53	2	7.11.17	7.11.17
2350	100029	APSL X52 PSL2	250	1100	1101	14.76	9	10.23.18	10.23.18
2326	100027	34CRMO4	200	1500	2101	14.53	1	7.23.19	7.23.19
2327	100028	AS16 Gr.70	120	1100	1101	14.53	4	7.11.17	7.11.17
2328	100020	AS16 Gr.70	250	1100	1101	14.53	1	8.03.17	8.03.17
2329	100027	APSL X65 PSL2	200	1500	2101	14.53	11	8.19.20	8.19.20
2305	100027	S235	200	1500	2101	14.53	2	12.03.17	12.03.17
2301	100027	34CRMO4	200	1500	2101	14.53	1	7.11.17	7.11.17

شکل ۲- برنامه تخصیص تختال های کوتاه



شکل ۳- هزینه های اهداف تولید

۵- نتیجه گیری

الگوریتم ابتکاری تخصیص تختال‌های کوتاه به سفارش ورق عریض و برش تختال‌های بلند، یک مسئله تصمیم‌گیری مهم و پیچیده را در کارخانه نورد ورق عریض فولاد اکسین خوزستان حل کرد. به نحوی که دقت و کیفیت جواب‌های خروجی جهت برنامه‌ریزی تولید نسبت به قبل بسیار افزایش یافت و زمان حل به شدت کاهش پیدا کرد. این الگوریتم مسئله برش تختال‌های بلند را با پیش‌بینی بهینه‌ترین تخصیص ممکن حل کرد و هزینه انتخاب سیکل‌های مختلف تولید را به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. در توسعه‌های آتی با اضافه کردن برنامه ظرفیت تولید به محدودیت‌های مسئله، می‌توان نتایج به دست آمده از الگوریتم را با اهداف سطوح بالاتر کارخانه همسوتر کرد.

۶- منابع و مراجع

- [1] Sang Hwa Song, Songdo-dong, Yonsu-gu, "A nested column generation algorithm to the meta slab allocation problem in the steel making industry", International Journal of Production Research, 2009, Vol. 47, No. 13, pp. 3625-3638.
- [2] Lasko Kasapinov, Mile Jovanov, Dimitar Trajanov, "A new approach for maximum utilization of the mother steel plates for rectangular steel plates orders", MIPRO, Opatija, Croatia, 26-30 May 2014, pp. 959-965.
- [3] Juyoung Wy, Byung-In Kim, "Two-staged guillotine cut, two dimensional bin packing optimization with flexible bin size for steel mother plate design", International Journal of Production Research, 2010, Vol. 48, No. 22, pp. 6799-6820.
- [4] Francis J. Vasko, Floyd E. Wolf, "A Practical Approach for Determining Rectangular Stock Sizes", Journal of the Operational Research Society, 1994, Vol. 45, No. 3, pp. 281-286.

دستورالعمل تهیه مقاله برای فصلنامه تخصصی نورد فولاد

در مورد مقالات ترجمه شده ارسال اصل مقاله ضروری است. لطفاً مقالات خود را بصورت کامل و طبق دستورالعمل زیر تهیه و فایل Word آن را به ایمیل نشریه ارسال فرمایید.

- ۱- عنوان مقاله: مختصر و بیانگر محتوای مقاله باشد.
- ۲- ذکر نام نویسندگان (مترجمین) به ترتیبی که مایلند در نشریه چاپ گردد به انضمام محل کار، تلفن و پست الکترونیکی.
- ۳- چکیده و کلمات کلیدی
- ۴- مقدمه، مواد و روش آزمایش ها، نتایج و بحث، نتیجه گیری و مراجع

۵- جداول و نمودارها با سطر بندی و ستون بندی مناسب ترسیم شده و در مورد جداول شماره و شرح آن در بالا و در مورد اشکال در زیر آن درج گردد. واحدهای سیستم بین المللی (SI) برای آحاد در نظر گرفته شود.

۶- تصاویر و عکس ها: تصاویر و عکس ها باید از وضوح خوبی برخوردار باشند.

۷- واژه ها و پی نوشت ها: بالای واژه های متن مقاله شماره گذاری شده و اصل لاتین واژه با همان شماره در پایین صفحه و بصورت پاورقی درج شود.

۸- منابع و مراجع: در متن مقاله شماره مراجع در داخل کروشه [] آورده شود و با همان ترتیب شماره گذاری شده مرتب گردیده و در انتهای مقاله آورده شوند. مراجع فارسی از سمت راست و مراجع لاتین از سمت چپ نوشته شوند. در فهرست مراجع درج نام مولفان یا مترجمان، عنوان مقاله، نام نشریه، شماره جلد، صفحه و سال انتشار ضروری است.

سایر نکات مهم

- ۱- مسئولیت درستی و صحت مطالب، ارقام، نمودارها و عکس ها بر عهده نویسندگان/مترجمان مقاله است.
- ۲- مقالات پس از داوری توسط هیات تحریریه منتشر خواهند شد.
- ۳- مقالات ارسالی به دفتر فصلنامه پس از طی مراحل داوری مسترد نمی شود.
- ۴- تعداد صفحات مقالات نباید از ۱۰ صفحه تجاوز نماید. فونت قلم متن فارسی مقالات باید B Zar و اندازه آن ۱۲ باشد. فونت قلم متن انگلیسی باید Times New Roman و اندازه آن ۱۱ باشد.

فصلنامه تخصصی نورد فولاد با هدف انتشار یافته های علمی - پژوهشی در جهت ارتقاء سطح دانش نورد فولاد و صنایع وابسته، منتشر می گردد.

لذا از کلیه محققان و پژوهشگران فعال در عرصه مطالعات و پژوهش های مرتبط با فرآیند نورد فولاد دعوت می شود، مقالات خود را حول محورهای ذیل در قالب نسخه الکترونیکی و از طریق پست الکترونیکی rollingjournal@oxinsteel.ir ارسال نمایند. رعایت موازین ادبی و سلاست متن پیش نیاز بررسی علمی مقاله است.

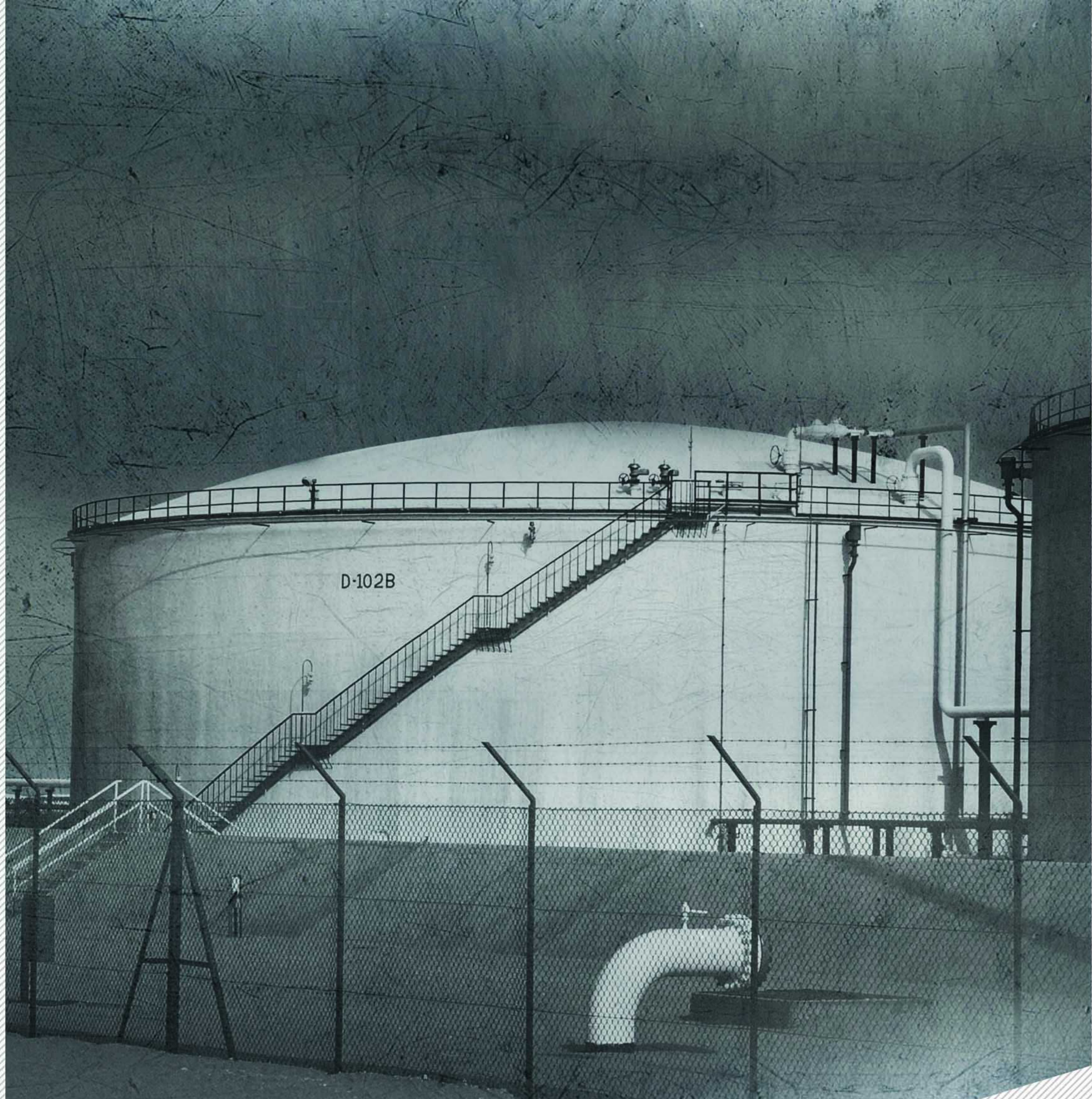
محورهای پذیرش مقالات

- ۱- متالورژی نورد گرم و سرد فولادها (اعم از نورد محصولات تخت و نورد مقاطع)
- ۲- عملیات ترمومکانیکی فولادها
- ۳- شیشه سازی و مدلسازی فرآیند نورد
- ۴- کوره های پیش گرم نورد (اکسیداسیون محصولات و پوسته زدایی)
- ۵- تکنولوژی ساخت، فرآیندهای ترمیم و عیوب غلتک های نورد
- ۶- عملیات حرارتی محصولات نورد
- ۷- تکنولوژی های نوین در صنعت نورد
- ۸- تعمیر، نگهداری و بومی سازی تجهیزات نورد
- ۹- کنترل، اندازه گیری و اتوماسیون فرآیند نورد
- ۱۰- تولید مواد اولیه نورد (بلوم، بیلت و تختال)
- ۱۱- مدیریت دانش در صنعت نورد
- ۱۲- HSE در صنعت نورد
- ۱۳- بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت نورد
- ۱۴- برنامه ریزی، سیاستگذاری و مدیریت در حوزه صنعت نورد
- ۱۵- اهمیت و نقش آب و تاسیسات جانبی در صنعت نورد
- ۱۶- فرآیند لوله سازی لوله های نفت و گاز

راهنمای تهیه مقاله

مقالات می توانند در یکی از بخش های زیر تهیه شوند:

- ۱- تحقیقی - پژوهشی
- ۲- مروری
- ۳- ترجمه
- ۴- فنی (مطالعات موردی)



ASTM

A537 CL1&CL2

Khuzestan oxin steel co.

شرکت فولاد اکسین خوزستان، اولین تولید کننده ورق های عریض فولادی و عملیات حرارتی شده در خاورمیانه موفق به تولید ورق های مورد نیاز جهت ساخت مخازن تحت فشار و ذخیره نفت با گرید ASTM A537 CL1&CL2 گردید.



www.oxinsteel.ir

info@oxinsteel.ir

اهواز - کیلومتر ۱ جاده بندر امام خمینی (ره) شرکت فولاد اکسین خوزستان