

مرجع جامع آنالیز کربن و گوگرد در صنایع فولاد، ریخته‌گری و فروآلیاژ

فصل اول

مبانی کربن و گوگرد در صنایع فلزی

۱-۱ مقدمه

کنترل کیفیت در صنایع فولاد، ریخته‌گری و فروآلیاژ بدون اندازه‌گیری دقیق عناصر شیمیایی امکان‌پذیر نیست. در میان تمام عناصر، کربن (Carbon) و گوگرد (Sulfur) از مهم‌ترین عناصر تأثیرگذار بر کیفیت محصول هستند. در بسیاری از کارخانه‌ها، قبل از خروج هر ذوب، نمونه‌ای از مذاب یا محصول تهیه شده و مقدار کربن و گوگرد آن اندازه‌گیری می‌شود. نتیجه این آزمون مشخص می‌کند که محصول مطابق استاندارد است یا نیاز به اصلاح ترکیب شیمیایی دارد. امروزه روش احتراق در کوره القایی همراه با آشکارساز مادون قرمز (Infrared Detection) به دلیل دقت بالا، سرعت مناسب و قابلیت اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم، به‌عنوان روش استاندارد در اغلب آزمایشگاه‌های متالورژی شناخته می‌شود.

۱-۲ نقش کربن در فولاد

کربن مهم‌ترین عنصر آلیاژی فولاد محسوب می‌شود. مقدار آن مستقیماً بر خواص مکانیکی، قابلیت ماشین‌کاری، عملیات حرارتی و جوشکاری اثر می‌گذارد.

*اثر افزایش کربن

*افزایش سختی

*افزایش استحکام کششی

*افزایش مقاومت سایشی

*کاهش انعطاف‌پذیری

*کاهش چقرمگی

*کاهش قابلیت جوشکاری

به همین دلیل کنترل دقیق مقدار کربن در تمام مراحل تولید فولاد ضروری است.

۳-۱ طبقه‌بندی فولاد بر اساس مقدار کربن:

- ۱- فولاد فوق کم کربن کمتر از ۰.۰۵٪ بسیار نرم و شکل پذیر
- ۲- فولاد کم کربن ۰.۰۵٪ تا ۰.۲۵٪ شکل پذیر و جوشکاری خوب
- ۳- فولاد متوسط کربن ۰.۶۰٪ تا ۰.۲۵٪ استحکام و سختی بالا
- ۴- فولاد پر کربن ۱.۰۰٪ تا ۰.۶۰٪ سختی و مقاومت سایشی بالا
- ۵- فولاد بسیار پر کربن بیش از ۱.۰۰٪ سخت و مقاوم به سایش و شکل پذیری پایین تر

۴-۱ نقش گوگرد در فولاد

گوگرد معمولاً یک عنصر نامطلوب در فولاد است. حضور بیش از حد آن می‌تواند باعث کاهش کیفیت محصول شود بنابراین در بسیاری از فولادهای کیفی مقادیر گوگرد کمتر از ۰.۰۱۰ تا ۰.۰۲۰ درصد اهمیت ویژه ای دارد و در فولادهای خالص مقادیر کمتر از این نیز مورد نیاز است. به همین دلیل در آنالیز فولادهای کم گوگرد دقت دستگاه C/S حد تشخیص، کالبراسیون و استفاده از CRM مناسب در محدوده های پایین گوگرد اهمیت بسیاری دارد.

گوگرد با آهن ترکیب شده و سولفید آهن (FeS) تشکیل می‌دهد. این ترکیب در دمای بالا باعث ایجاد تردی گرم (Hot Shortness) می‌شود که احتمال ترک خوردگی در هنگام نورد یا فورج را افزایش می‌دهد.

با این حال، در برخی فولادهای خوش تراش (Free Cutting Steel)، مقدار کنترل شده گوگرد به منظور بهبود ماشین کاری به صورت عمدی افزوده می‌شود.

۵-۱ اهمیت اندازه گیری کربن و گوگرد در فروآلیاژها

فروآلیاژها مواد اولیه‌ای هستند که برای تنظیم ترکیب شیمیایی فولاد استفاده می‌شوند. کیفیت این محصولات مستقیماً بر کیفیت فولاد نهایی اثر می‌گذارد.

در تولید فروآلیاژها، اندازه گیری دقیق کربن و گوگرد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

نمونه‌هایی از فروآلیاژهای متداول عبارت‌اند از:

*فروسیلیس (FeSi)

*فرومنگنز (FeMn)

*سیلیکومنگنز (SiMn)

*فروکروم (FeCr)

*فرووانادیوم (FeV)

*فرومولیبدن (FeMo)

*فرونیوبیوم (FeNb)

*فروتیتانیوم (FeTi)

*فروفسفر (FeP)

۱-۶ چرا کارخانه‌های فروآلیاژ باید کربن را کنترل کنند؟

مقدار کربن فروآلیاژ مستقیماً بر ترکیب شیمیایی فولاد اثر می‌گذارد.

به عنوان مثال، در تولید فروکروم کم کربن، حتی افزایش چند صدم درصد کربن ممکن است باعث عدم انطباق محصول با مشخصات سفارش مشتری شود. بنابراین اندازه‌گیری دقیق کربن در این محصولات از اهمیت بالایی برخوردار است.

۱-۷ چرا گوگرد اهمیت دارد؟

گوگرد موجود در فروآلیاژ همراه با محصول وارد مذاب فولاد می‌شود.

افزایش گوگرد می‌تواند باعث:

*کاهش کیفیت فولاد

*کاهش خواص مکانیکی

*افزایش احتمال ترک

*کاهش قابلیت جوشکاری

شود. از این رو، کارخانه‌های تولید فروآلیاژ و فولاد معمولاً برای گوگرد، حدود مجاز مشخصی تعیین می‌کنند.

۱-۸ روش‌های اندازه‌گیری کربن و گوگرد

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری این عناصر وجود دارد، اما مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

*روش شیمی‌تر (تر)

*روش احتراق با کوره مقاومتی

*روش احتراق با کوره القایی و آشکارساز مادون قرمز

در حال حاضر، روش سوم به دلیل سرعت، دقت و تکرارپذیری بالا، رایج‌ترین روش در آزمایشگاه‌های صنعتی است.

۱-۹ کاربرد دستگاه آنالیزور کربن و گوگرد

این دستگاه در صنایع زیر کاربرد گسترده دارد:

* فولادسازی

* ریخته‌گری

* فروآلیاژ

* معادن

* سیمان

* سرامیک

* نسوزها

* فلزات غیر آهنی

* تحقیق و توسعه

* دانشگاه‌ها

جمع‌بندی فصل یکم

اندازه‌گیری کربن و گوگرد یکی از ارکان اصلی کنترل کیفیت در صنایع فلزی است. انتخاب روش مناسب اندازه‌گیری، آماده‌سازی صحیح نمونه و استفاده از دستگاه‌های مبتنی بر احتراق و آشکارساز مادون قرمز، امکان دستیابی به نتایج دقیق و قابل اعتماد را فراهم می‌کند.

در فصل بعدی، به‌طور کامل با اصول عملکرد دستگاه آنالیزور کربن و گوگرد، مسیر حرکت گازها، نقش اکسیژن، فرآیند احتراق و نحوه اندازه‌گیری CO_2 و SO_2 توسط آشکارساز مادون قرمز آشنا خواهیم شد.

منابع فصل اول

۱. ASTM E1019 – Standard Test Methods for Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen and ...Oxygen in Steel, Iron

فصل دوم:

اصول کار آنالیزور کربن و گوگرد به روش احتراق و جذب مادون قرمز:

۲-۱ مقدمه

آنالیز کربن و گوگرد یکی از مهم‌ترین آزمایش‌های کنترل کیفیت در صنایع فولاد، چدن، ریخته‌گری، فروآلیاژها، معدن و متالورژی است. مقدار حتی بسیار کم کربن یا گوگرد می‌تواند خواص نهایی یک ماده را تغییر دهد. به همین دلیل در بسیاری از کارخانه‌ها، تعیین دقیق این دو عنصر بخش مهمی از کنترل کیفیت مواد اولیه، محصول میانی و محصول نهایی است.

آنالیزورهای مدرن C/S معمولاً بر اساس یک فرآیند کلی کار می‌کنند:

احتراق نمونه → تبدیل عناصر به گازهای مشخص → خالص‌سازی گاز → اندازه‌گیری با آشکارساز مادون قرمز → (IR) محاسبه مقدار C و S

در این روش:

کربن CO_2 → و

گوگرد SO_2 →

تبدیل می‌شود.

سپس دستگاه مقدار CO_2 و SO_2 تولیدشده را اندازه‌گیری کرده و بر اساس جرم نمونه، مقدار کربن و گوگرد را محاسبه می‌کند.

۲-۲ چرا نمونه باید بسوزد؟

یکی از اولین سؤالاتی که اپراتور ممکن است بپرسد.

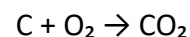
«دستگاه چگونه می‌فهمد داخل یک قطعه فولاد چقدر کربن و گوگرد وجود دارد؟»

پاسخ این است که دستگاه مستقیماً اتم‌های C و S را اندازه‌گیری نمی‌کند.

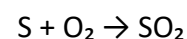
ابتدا نمونه در دمای بالا و در حضور اکسیژن خالص می‌سوزد.

در نتیجه عناصر موجود در نمونه به ترکیبات گازی تبدیل می‌شوند.

برای کربن:



و برای گوگرد:



سپس دستگاه مقدار CO_2 و SO_2 را اندازه‌گیری می‌کند.

بنابراین دستگاه در حقیقت از مقدار گاز تولیدشده، مقدار عنصر موجود در نمونه را محاسبه می‌کند.

۳-۲ احتراق القایی فرکانس بالا چیست؟

در بسیاری از آنالیزورهای C/S از High-Frequency Induction Combustion استفاده می‌شود.

در این روش نمونه داخل یک Crucible مخصوص قرار می‌گیرد.

Crucible درون یک کویل القایی قرار دارد.

با اعمال میدان الکترومغناطیسی با فرکانس بالا، شرایط لازم برای گرم شدن سریع نمونه و احتراق آن فراهم می‌شود.

مزیت این روش این است که می‌توان نمونه‌های فلزی را در مدت کوتاهی به دمای بسیار بالا رساند.

البته در عمل، عملکرد صحیح سیستم به عوامل مختلفی مانند:

*توان کوره

*نوع Crucible

*مقدار نمونه

*نوع Accelerator

*میزان اکسیژن

*وضعیت کویل

*شرایط سیستم گاز وابسته است.

۴-۲ نقش اکسیژن در فرآیند آنالیز

اکسیژن یکی از مهم‌ترین بخش‌های سیستم آنالیز C/S است، زیرا بدون وجود اکسیژن کافی، احتراق کامل نمونه انجام نمی‌شود.

وظیفه اکسیژن:

*اکسید کردن کامل کربن و گوگرد موجود در نمونه

*تبدیل عناصر به گازهای قابل اندازه‌گیری

*انتقال محصولات احتراق به سمت آشکارسازها

در فرآیند احتراق:

کربن موجود در نمونه باید کاملاً به CO_2 تبدیل شود و گوگرد نیز باید به SO_2 تبدیل گردد.

اگر اکسیژن کافی نباشد یا مسیر گاز دچار مشکل باشد، ممکن است:

*مقدار کربن کمتر از مقدار واقعی نشان داده شود

*گوگرد به صورت کامل آزاد نشود

*تکرارپذیری نتایج کاهش یابد

به همین دلیل کنترل فشار، خلوص و جریان اکسیژن در عملکرد دستگاه بسیار مهم است.

۵-۲ نقش Accelerator در احتراق:

در آنالیز نمونه‌های فلزی معمولاً برای افزایش سرعت و کامل شدن احتراق از مواد کمکی به نام Accelerator استفاده می‌شود.

Accelerator باعث می‌شود:

*انتقال حرارت بهتر انجام شود

*واکنش احتراق سریع‌تر شود

*عناصر محبوس‌شده در ساختار فلز بهتر آزاد شوند

مواد رایج Accelerator شامل:

*آهن کم‌کربن (Low Carbon Iron)

*تنگستن (Tungsten)

*قلع (Tin)

*وانادیوم (Vanadium) هستند. انتخاب نوع Accelerator به جنس نمونه بستگی دارد.

برای مثال:

*فولادهای آلیاژی

*چدن‌ها

*فروآلیاژها

*فلزات نسوز

ممکن است نیاز به شرایط متفاوتی داشته باشند.

۶-۲ سیستم تصفیه و آماده‌سازی گاز:

گاز حاصل از احتراق قبل از رسیدن به آشکارساز IR باید از ناخالصی‌ها پاک شود.

گاز خروجی ممکن است شامل موارد زیر باشد:

* CO₂

* SO₂

*بخار آب

*ذرات حاصل از احتراق

*ترکیبات مزاحم

به همین دلیل دستگاه دارای سیستم تصفیه گاز است.

اجزای این بخش معمولاً شامل:

فیلتر گردوغبار

برای جلوگیری از ورود ذرات جامد به سنسورها استفاده می‌شود.

خشک‌کن گاز (Moisture Trap)

رطوبت می‌تواند روی اندازه‌گیری مادون قرمز تأثیر بگذارد، بنابراین باید حذف شود.

مواد مصرفی رایج:

* Magnesium Perchlorate

* مواد جاذب رطوبت

* جاذب‌های شیمیایی

برای حذف ترکیبات ناخواسته استفاده می‌شوند.

مانند:

* Soda Lime

* Sodium Hydroxide (NaOH)

نگهداری صحیح این مواد مصرفی تأثیر مستقیمی بر دقت آنالیز دارد.

۷-۲ آشکارساز مادون قرمز (Infrared Detector) :

قلب اندازه‌گیری دستگاه C/S ، آشکارساز مادون قرمز است.

هر مولکول گازی دارای رفتار مشخصی در برابر تابش مادون قرمز است.

در دستگاه:

→ CO₂ کانال اندازه‌گیری کربن

→ SO₂ کانال اندازه‌گیری گوگرد

را تشکیل می‌دهد.

وقتی گاز حاصل از احتراق از داخل سلول IR عبور می‌کند، بخشی از انرژی مادون قرمز جذب می‌شود. میزان جذب اندازه‌گیری شده و نرم‌افزار دستگاه آن را به مقدار درصد یا ppm تبدیل می‌کند.

۸-۲. اهمیت دقت و تکرارپذیری دستگاه:

در آزمایشگاه‌های صنعتی فقط یک نتیجه مهم نیست، بلکه تکرارپذیری اهمیت زیادی دارد.

یک دستگاه مناسب باید بتواند:

* یک نمونه را چندین بار با نتایج نزدیک اندازه‌گیری کند

* تغییرات کوچک عناصر را تشخیص دهد

* نتایج قابل اعتماد برای تصمیم‌گیری تولید ارائه دهد. در صنایع فولاد و فروآلیاژ، اختلاف چند ppm گوگرد یا چند صدم درصد کربن می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد.

۹-۲ کاربرد آنالیز C/S در صنایع مختلف:

فولادسازی:

کنترل کربن برای رسیدن به گرید موردنظر فولاد ضروری است.

کنترل گوگرد نیز برای جلوگیری از تردی گرم و کاهش کیفیت فولاد اهمیت دارد

ریخته‌گری:

کنترل سریع ترکیب شیمیایی مذاب باعث کاهش ضایعات و اصلاح فرآیند تولید می‌شود.

۱۰-۲ عوامل مؤثر بر نتیجه آنالیز:

عوامل مهم عبارتند از:

۱. آماده‌سازی صحیح نمونه

۲. وزن دقیق نمونه

۳. کیفیت Crucible

۴. نوع و مقدار Accelerator

۵. خلوص اکسیژن

۶. وضعیت مواد مصرفی

۷. تمیزی مسیر گاز

۸. صحت کالیبراسیون دستگاه

بنابراین حتی بهترین دستگاه نیز بدون نگهداری صحیح و روش کار استاندارد نمی‌تواند نتیجه دقیق ارائه دهد.

جمع‌بندی فصل دوم:

دستگاه آنالیز کربن و گوگرد یک سیستم اندازه‌گیری چندمرحله‌ای است که با تبدیل عناصر موجود در نمونه به گازهای قابل اندازه‌گیری، مقدار واقعی کربن و گوگرد را تعیین می‌کند.

مراحل اصلی:

نمونه فلزی



احتراق با اکسیژن



تولید CO_2 و SO_2



تصفیه گاز



اندازه‌گیری IR

فصل سوم: اجزای اصلی دستگاه آنالیز کربن و گوگرد (C/S Analyzer) و عملکرد هر بخش

۳-۱ مقدمه

یک دستگاه آنالیز کربن و گوگرد مدرن، مجموعه‌ای از سیستم‌های مکانیکی، گازی، الکترونیکی و نرم‌افزاری است که باید هماهنگ با یکدیگر کار کنند تا نتیجه‌ای دقیق و تکرارپذیر ارائه دهند.

برخلاف تصور برخی کاربران، دقت دستگاه فقط به آشکارساز مادون قرمز وابسته نیست؛ بلکه عملکرد کل سیستم شامل:

*سیستم احتراق

*سیستم گاز

*سیستم تصفیه

*آشکارسازها

*نرم‌افزار

*کالیبراسیون

در نتیجه نهایی تأثیرگذار است.

شناخت اجزای دستگاه به اپراتور کمک می‌کند تا خطاهای احتمالی را سریع‌تر تشخیص داده و بهترین عملکرد را از دستگاه دریافت کند.

۳-۲ بخش کوره احتراق (Combustion Furnace):

کوره مهم‌ترین بخش مکانیکی دستگاه است، زیرا اولین مرحله اندازه‌گیری یعنی آزادسازی کربن و گوگرد در این قسمت انجام می‌شود.

در دستگاه‌های صنعتی C/S معمولاً از روش:

High Frequency Induction Furnace

استفاده می‌شود.

در این روش نمونه فلزی با استفاده از میدان مغناطیسی فرکانس بالا گرم شده و در حضور اکسیژن می‌سوزد.

وظایف اصلی کوره:

*ایجاد دمای بسیار بالا در زمان کوتاه

*اطمینان از احتراق کامل نمونه

*آزادسازی کامل کربن و گوگرد

*ایجاد شرایط تکرارپذیر برای هر آنالیز

عوامل مؤثر بر عملکرد کوره:

توان القایی

توان بالاتر باعث افزایش سریع تر دما می شود، اما باید کنترل شده باشد.

وضعیت کویل القایی

کاهش فاصله یا آسیب کویل می تواند باعث کاهش راندمان احتراق شود.

نوع Crucible

بوته باید:

*تحمل دمای بالا داشته باشد

*واکنش ناخواسته با نمونه ایجاد نکند

*ناخالصی کم داشته باشد

۳-۳ بوته احتراق (Crucible):

نمونه قبل از آنالیز داخل یک بوته مخصوص قرار می گیرد.

بوته معمولاً از جنس:

*سرامیک مقاوم به حرارت

*مواد اکسیدی با خلوص بالا ساخته می شود.

اهمیت کیفیت Crucible :

یک بوته نامناسب می تواند باعث :

*افزایش Blank Value

*ایجاد آلودگی کربنی یا گوگردی

*کاهش دقت اندازه گیری شود.

در آزمایشگاه های صنعتی معمولاً قبل از استفاده، بوته ها در شرایط مشخص آماده سازی می شوند.

۴-۵ سیستم تزریق و انتقال نمونه

در برخی دستگاه ها، قرار دادن نمونه به صورت دستی انجام می شود و در مدل های پیشرفته تر سیستم های نیمه اتوماتیک یا اتوماتیک وجود دارد.

وظیفه این بخش :

*قرار دادن صحیح نمونه در منطقه احتراق

*جلوگیری از خطای اپراتور

*افزایش سرعت کار آزمایشگاه است.

در کارخانه هایی که تعداد نمونه روزانه زیاد است، طراحی مناسب این قسمت اهمیت زیادی دارد.

۳-۵ سیستم گاز و کنترل جریان (Gas System) :

سیستم گاز وظیفه تأمین و کنترل گازهای مورد نیاز دستگاه را دارد.

مهم ترین گاز مورد استفاده :

اکسیژن خالص (Oxygen)

وظایف اکسیژن :

*احتراق نمونه

*تبدیل C به CO₂

*تبدیل S به SO₂

*انتقال محصولات احتراق

اجزای مهم سیستم گاز:

* ورودی اکسیژن

* رگولاتور فشار

* شیرهای کنترل

* فلومترها

* مسیرهای انتقال گاز

هرگونه نشتی یا تغییر جریان می تواند باعث خطای اندازه گیری شود.

۳-۶ سیستم تصفیه گاز (Gas Cleaning System)

بعد از احتراق، گاز تولیدشده باید قبل از رسیدن به سنسورها آماده شود.

هدف این بخش:

* حذف ذرات جامد

* حذف رطوبت

* جلوگیری از آسیب به سنسورها است.

اجزای معمول:

فیلتر گردوغبار

ذرات ناشی از احتراق را حذف می کند.

تله رطوبت برای حذف بخار آب استفاده می شود.

مواد مصرفی تصفیه

مانند:

* Magnesium Perchlorate

* Soda Lime

* Sodium Hydroxide

این مواد باید طبق برنامه تعویض شوند.

۳-۷ آشکارسازهای مادون قرمز (IR Detectors)

آشکارساز بخش اندازه‌گیری دستگاه است.

در این قسمت:

گاز $\rightarrow$ CO₂ اندازه‌گیری کربن

گاز $\rightarrow$ SO₂ اندازه‌گیری گوگرد

انجام می‌شود.

ویژگی‌های یک آشکارساز مناسب:

* حساسیت بالا

* پایداری طولانی مدت

* نویز کم

* پاسخ سریع

* تکرارپذیری مناسب

در دستگاه‌های صنعتی، کیفیت آشکارساز تأثیر مستقیمی بر حد تشخیص (Detection Limit) دارد.

۳-۸ بردهای الکترونیکی و سیستم کنترل:

تمام بخش‌های دستگاه توسط سیستم کنترل مدیریت می‌شوند.

وظایف سیستم کنترل:

* کنترل دمای کوره

* کنترل جریان گاز

* دریافت سیگنال IR

* پردازش اطلاعات

* ارتباط با نرم‌افزار است. کیفیت طراحی الکترونیک دستگاه در پایداری عملکرد آن بسیار مهم است.

۳-۹ نرم افزار دستگاه

نرم افزار رابط بین اپراتور و دستگاه است.

امکانات معمول:

*تعریف نمونه

*ثبت وزن نمونه

*نمایش منحنی احتراق

*نمایش نتیجه C و S

*ذخیره اطلاعات آزمایش ها

*مدیریت کاربران

*انجام کالیبراسیون

در محیط های صنعتی، نرم افزار مناسب باعث:

*کاهش خطای انسانی

*افزایش سرعت کار

*مدیریت بهتر اطلاعات QC

می شود.

۳-۱۰ سیستم کالیبراسیون

هیچ دستگاهی بدون کالیبراسیون صحیح نمی تواند نتیجه قابل اعتماد ارائه دهد.

برای کالیبراسیون از:

CRM (Certified Reference Material) استفاده می شود.

نمونه های استاندارد با مقدار مشخص کربن و گوگرد اندازه گیری شده و دستگاه بر اساس آن تنظیم می شود.

۳-۱۱ مواد مصرفی دستگاه

دستگاه‌های C/S Analyzer علاوه بر تجهیزات اصلی، دارای مواد مصرفی هستند:

* Crucible

* Accelerator

* Filter

* Magnesium Perchlorate

* Soda Lime

* Oxygen Supply Components

مدیریت صحیح مصرفی‌ها نقش مهمی در هزینه بهره‌برداری و کیفیت نتایج دارد.

جمع‌بندی فصل سوم

یک دستگاه آنالیز کربن و گوگرد از چندین سیستم هماهنگ تشکیل شده است:

کوره احتراق



بوته و نمونه



سیستم اکسیژن و انتقال گاز



تصفیه گاز



آشکارساز IR



الکترونیک و نرم‌افزار



نتیجه نهایی C و S

شناخت این اجزا به کاربر کمک می‌کند تا علاوه بر کاربری صحیح دستگاه، اهمیت کیفیت قطعات، خدمات را درک نماید.

فصل چهارم:

آماده‌سازی نمونه و مواد کمک‌کننده به احتراق در آنالیز کربن و گوگرد:

۴-۱. مقدمه

دقت در آنالیز کربن و گوگرد تنها به کیفیت دستگاه وابسته نیست. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر نتیجه، نحوه نمونه‌برداری، آماده‌سازی، وزن‌کشی و وارد کردن نمونه به دستگاه است. حتی یک دستگاه دقیق و پیشرفته نیز در صورت استفاده از نمونه نامناسب، نمونه غیرهمگن، نمونه مرطوب یا وزن‌کشی اشتباه، نمی‌تواند نتیجه‌ای قابل اعتماد ارائه دهد.

بنابراین می‌توان گفت:

کیفیت نتیجه آنالیز = کیفیت نمونه + آماده‌سازی صحیح + شرایط مناسب دستگاه + روش صحیح اندازه‌گیری

به همین دلیل اپراتور باید قبل از هر آنالیز، وضعیت نمونه را بررسی کرده و آن را متناسب با نوع ماده آماده کند.

۴-۲ اهمیت آماده‌سازی صحیح نمونه

هدف از آماده‌سازی نمونه این است که نمونه مورد آزمایش:

- نماینده واقعی ماده باشد.
- تا حد امکان همگن باشد.
- آلودگی نداشته باشد.
- وزن مناسبی داشته باشد.
- شرایط فیزیکی مناسبی برای احتراق داشته باشد.
- رطوبت آن کنترل شده باشد.
- با روش آزمون و دستگاه مورد استفاده سازگار باشد.

نمونه نامناسب می‌تواند باعث ایجاد اختلاف بین نتایج تکراری شود؛ بنابراین قبل از بررسی دستگاه، همیشه باید کیفیت نمونه مورد توجه قرار گیرد.

۴-۳ آماده‌سازی نمونه‌های فولاد و چدن

نمونه‌های فولاد و چدن معمولاً به صورت قطعه، براده یا تراشه وارد آزمایشگاه می‌شوند.

در صورت امکان، نمونه باید از قسمت مناسب و نماینده محصول برداشته شود و سپس سطح آن از آلودگی‌هایی مانند:

- روغن
- گریس
- زنگ‌زدگی
- رنگ
- گردوغبار مواد

خارجی پاک شود. در نمونه‌های براده‌ای، همگن بودن نمونه اهمیت زیادی دارد. براده‌های بسیار بزرگ، بسیار ریز یا دارای آلودگی خارجی می‌توانند شرایط احتراق را تغییر دهند. در صورت نیاز به ماشین‌کاری یا آماده‌سازی مکانیکی، باید توجه شود که عملیات آماده‌سازی باعث ورود آلودگی یا تغییر غیرطبیعی نمونه نشود.

۴-۴ آماده‌سازی نمونه‌های فروآلیاژی

فروآلیاژها از نظر ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی بسیار متنوع هستند.

موادی مانند:

- Ferrosilicon
- Ferromanganese
- Ferrochrome
- Ferromolybdenum
- Ferrotitanium
- و سایر فروآلیاژها

ممکن است به صورت قطعه، دانه، تراشه یا پودر مورد آزمایش قرار گیرند.

در این نمونه‌ها مهم‌ترین نکته، نماینده بودن نمونه و همگن‌سازی مناسب است.

به دلیل تفاوت زیاد در سختی، اندازه ذرات و ترکیب فازها، یک نمونه کوچک ممکن است الزاماً نماینده کل محموله نباشد.

بنابراین نمونه‌برداری صحیح و آماده‌سازی مناسب قبل از آنالیز اهمیت ویژه‌ای دارد.

۴-۵ نمونه‌های پودری و دانه‌ای

در نمونه‌های پودری باید از آلودگی و جدایش ذرات جلوگیری شود.

اگر اندازه ذرات در بخش‌های مختلف نمونه متفاوت باشد، ممکن است ترکیب نمونه برداشت‌شده با ترکیب واقعی ماده تفاوت داشته باشد.

به همین دلیل در صورت نیاز باید:

- نمونه به‌خوبی مخلوط شود.
- از آلودگی محیط جلوگیری شود.
- مقدار مناسب نمونه برداشت شود.
- نمونه در شرایط مناسب نگهداری شود.

برای نمونه‌های بسیار ریز نیز باید از پراکنده شدن پودر در زمان وزن‌کشی و انتقال به بوته جلوگیری شود.

۴-۶. آماده سازی نمونه های کک و اهمیت رطوبت

کک یکی از نمونه هایی است که رطوبت آن می تواند تأثیر قابل توجهی بر نتیجه آنالیز داشته باشد.

کک ممکن است در زمان حمل، نگهداری یا تماس با محیط، مقدار متفاوتی رطوبت جذب کند.

اگر دو نمونه دارای مقدار متفاوتی رطوبت باشند، حتی در صورت یکسان بودن مقدار کربن موجود در ماده خشک، نتایج گزارش شده بر مبنای وزن دریافت شده می توانند متفاوت باشند.

بنابراین در مورد کک باید مشخص باشد که نتیجه بر چه مبنایی گزارش می شود:

As-Received Basis

یا

Dry Basis

این موضوع به خصوص هنگام مقایسه نتایج دو آزمایشگاه یا مقایسه نتیجه آزمایش با گواهی آنالیز اهمیت دارد.

۴-۷ روش کنترل رطوبت نمونه کک

در صورتی که روش آزمون نیاز به گزارش بر مبنای خشک داشته باشد، نمونه باید طبق روش استاندارد مربوطه خشک شود.

به صورت کلی فرآیند شامل:

1. برداشت نمونه نماینده
2. تعیین رطوبت طبق روش مربوطه
3. خشک کردن در شرایط مشخص
4. خنک کردن نمونه در شرایط مناسب
5. جلوگیری از جذب مجدد رطوبت
6. آماده سازی برای آنالیز است.

***نکته بسیار مهم: این است که نمونه خشک شده نباید پس از خروج از آون برای مدت طولانی در معرض هوای محیط قرار گیرد؛ زیرا ممکن است مجدداً رطوبت جذب کند.

در صورت استفاده از دسیکاتور، نمونه پس از خشک شدن باید تا رسیدن به شرایط مناسب در آن نگهداری شود.

دمای خشک کردن و زمان آن باید مطابق استاندارد یا روش آزمون مورد استفاده تعیین شود و نباید صرفاً بر اساس تجربه عمومی انتخاب شود.

۴-۸ چرا رطوبت می تواند باعث اختلاف نتیجه شود؟

فرض کنید دو نمونه کک از یک محموله دارای مقدار واقعی مشابه کربن در ماده خشک باشند، اما یکی از آنها رطوبت بیشتری داشته باشد.

اگر مقدار نمونه بدون در نظر گرفتن وضعیت رطوبتی آن وارد محاسبات شود، وزن بخشی از نمونه شامل آب خواهد بود. در نتیجه ممکن است مقدار گزارش شده بر مبنای وزن دریافتی با مقدار گزارش شده بر مبنای ماده خشک متفاوت باشد. بنابراین هنگام مقایسه نتایج باید همیشه مشخص شود: مبنای گزارش نتیجه چیست؟

۴-۹ وزن نمونه:

وزن نمونه یکی از پارامترهای مهم در آنالیز C/S است.

وزن نامناسب می تواند باعث:

- کاهش حساسیت
- افزایش احتمال خطا
- احتراق نامناسب
- ایجاد بار بیش از حد برای سیستم
- افزایش Blank
- کاهش تکرارپذیری شود.

وزن مناسب باید بر اساس:

- نوع نمونه
- محدوده مورد انتظار C و S
- ظرفیت دستگاه
- روش آزمون
- توصیه سازنده انتخاب شود.

بنابراین نباید یک وزن ثابت را برای تمام نمونه ها در نظر گرفت.

۴-۱۰ مواد کمک کننده به احتراق یا Accelerator

برخی نمونه‌ها به خصوص نمونه‌های فلزی یا آلیاژی، ممکن است برای دستیابی به احتراق مناسب به استفاده از مواد کمک کننده نیاز داشته باشند.

Accelerator با تغییر شرایط احتراق می‌تواند به انتقال بهتر عناصر موجود در نمونه به فاز گازی کمک کند.

انتخاب Accelerator باید با نوع نمونه و روش دستگاه هماهنگ باشد.

استفاده نادرست از Accelerator می‌تواند باعث تغییر شرایط احتراق و حتی افزایش Blank شود.

۴-۱۱ — Tungsten تنگستن

تنگستن یا پودر تنگستن یکی از موادی است که در برخی روش‌های آنالیز احتراقی به عنوان Accelerator مورد استفاده قرار می‌گیرد.

هدف اصلی استفاده از آن، کمک به ایجاد شرایط مناسب‌تر برای احتراق برخی نمونه‌ها و بهبود فرآیند ذوب یا اکسیداسیون نمونه در شرایط کوره است.

کاربرد دقیق تنگستن به نوع دستگاه، ترکیب نمونه و روش سازنده بستگی دارد.

بنابراین مقدار مصرف آن باید مطابق روش آزمون و دستورالعمل دستگاه تعیین شود.

۴-۱۲ — Tin قلع

قلع نیز می‌تواند در برخی روش‌های احتراق به عنوان ماده کمک کننده به احتراق مورد استفاده قرار گیرد.

یکی از اهداف استفاده از قلع، کمک به ایجاد شرایط مناسب برای احتراق نمونه‌های خاص است.

مانند سایر Accelerator ها، مقدار و نحوه استفاده از قلع باید متناسب با:

- نوع نمونه
- وزن نمونه
- طراحی کوره
- روش دستگاه باشد.

*****استفاده بیش از حد از مواد کمک کننده می‌تواند خود به ایجاد Blank یا تغییر شرایط احتراق منجر شود.**

۴-۱۳ Pure Iron آهن خالص

آهن خالص نیز در برخی روش‌های آماده‌سازی و احتراق نمونه‌های خاص می‌تواند به‌عنوان ماده کمکی مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از Pure Iron باید با توجه به روش دستگاه و نوع نمونه انجام شود؛ زیرا خود ماده نیز دارای مقدار مشخصی از عناصر قابل اندازه‌گیری است و در صورت استفاده نادرست می‌تواند بر نتیجه تأثیر بگذارد. بنابراین استفاده از آهن خالص باید کاملاً کنترل‌شده باشد و در صورت نیاز، نقش آن در Blank و کالیبراسیون نیز در نظر گرفته شود.

۴-۱۴ انتخاب Accelerator مناسب

انتخاب Accelerator یک نسخه ثابت برای تمام نمونه‌ها ندارد. ممکن است ماده‌ای که برای یک نوع فولاد یا فروآلیاژ عملکرد مناسبی دارد، برای نمونه دیگری مناسب نباشد. به همین دلیل انتخاب باید بر اساس:

- جنس نمونه
- شکل فیزیکی نمونه
- وزن نمونه
- مقدار C و S
- شرایط احتراق
- توصیه سازنده دستگاه
- تجربه معتبر آزمایشگاه انجام شود.

مهم‌ترین اصل این است که Accelerator باید به بهبود احتراق کمک کند، نه اینکه خودش به منبع خطای جدید تبدیل شود.

۴-۱۵ خطاهای رایج در آماده‌سازی نمونه

برخی از خطاهای رایج عبارت‌اند از:

- نمونه‌برداری غیرنماینده
- همگن نبودن نمونه
- وجود روغن و گریس
- وجود زنگ‌زدگی یا آلودگی
- رطوبت کنترل نشده
- وزن اشتباه
- استفاده نامناسب از Accelerator
- استفاده از بوته آلوده
- انتقال آلودگی از ابزار نمونه‌برداری
- قرار دادن طولانی نمونه خشک‌شده در هوای محیط
- مقایسه نتایج با مبنای گزارش متفاوت

۴-۱۶ ارتباط آماده‌سازی نمونه با نتیجه نهایی

اگر نتیجه یک نمونه با انتظار آزمایشگاه مطابقت نداشته، نباید بلافاصله دستگاه مقصر شناخته شود.

ترتیب منطقی بررسی عبارت است از:

نمونه → آماده‌سازی → رطوبت → وزن → Accelerator → احتراق → دستگاه

این رویکرد یکی از مهم‌ترین اصول کنترل کیفیت در آزمایشگاه‌های C/S است.

۴-۱۷ چک لیست آماده سازی قبل از آنالیز

قبل از قرار دادن نمونه در دستگاه، موارد زیر بررسی شود:

- نمونه نماینده ماده است.
- نمونه همگن شده است.
- آلودگی قابل مشاهده ندارد.
- رطوبت آن در صورت نیاز کنترل شده است.
- مبنای گزارش مشخص است.
- وزن نمونه مناسب انتخاب شده است.
- بوته تمیز و مناسب است.
- Accelerator مناسب انتخاب شده است.
- مقدار Accelerator مطابق روش آزمون است.
- شرایط دستگاه برای شروع آنالیز مناسب است.

۴-۱۸ نکته مهم برای آزمایشگاه های صنعتی:

در آزمایشگاه های فولاد، ریخته گری و فروآلیاژ معمولاً تنوع نمونه زیاد است. بنابراین بهتر است برای هر گروه اصلی نمونه، یک روش مشخص و مکتوب برای:

نمونه برداری → آماده سازی → وزن کشی → Accelerator → آنالیز → کنترل نتیجه تعریف شود.

این کار باعث کاهش وابستگی به تجربه شخصی اپراتور و افزایش تکرارپذیری نتایج خواهد شد.

۴-۱۹ جمع بندی فصل چهارم

آماده سازی نمونه یکی از مهم ترین مراحل آنالیز کربن و گوگرد است و کیفیت نتیجه نهایی تنها به دستگاه وابسته نیست.

نمونه های فولاد، چدن، فروآلیاژ، پودر، دانه و کک هر کدام می توانند شرایط آماده سازی متفاوتی داشته باشند.

در نمونه های کک، کنترل رطوبت و مشخص بودن مبنای گزارش نتیجه اهمیت ویژه ای دارد.

همچنین استفاده صحیح از مواد کمک کننده به احتراق مانند:

Pure Iron و Tin، Tungsten

می تواند در شرایط مناسب به بهبود فرآیند احتراق کمک کند؛ اما انتخاب و مقدار مصرف آنها باید با نوع نمونه، روش آزمون و دستورالعمل دستگاه هماهنگ باشد.

در نهایت باید به این اصل توجه داشت:

«قبل از اینکه به دستگاه شک کنیم، ابتدا باید مطمئن شویم نمونه را درست انتخاب، آماده و وزن کرده ایم.» این اصل ساده، یکی از مهم ترین پایه های دستیابی به نتایج دقیق و قابل اعتماد در آنالیز کربن و گوگرد است.

فصل پنجم

کالیبراسیون و نقش CRM در صحت نتایج آنالیز

۵-۱ مقدمه

پس از انتخاب دستگاه مناسب و آماده سازی صحیح نمونه، یکی از مهم ترین عوامل در دستیابی به نتیجه قابل اعتماد، کالیبراسیون صحیح دستگاه است.

حتی یک دستگاه با کیفیت و دقیق، در صورت کالیبراسیون نامناسب نمی تواند تضمین کند که عدد نمایش داده شده دقیقاً با مقدار واقعی نمونه مطابقت دارد.

بنابراین:

دستگاه سالم + کالیبراسیون صحیح = پایه اصلی نتیجه قابل اعتماد

۵-۲ کالیبراسیون دستگاه:

کالیبراسیون فرآیندی است که در آن ارتباط بین پاسخ سیستم اندازه‌گیری و مقدار واقعی کربن و گوگرد مشخص می‌شود. از آنجا که شرایط واقعی کار دستگاه در هر آزمایشگاه می‌تواند متفاوت باشد، کالیبراسیون نهایی باید با در نظر گرفتن شرایط واقعی محل نصب و بهره‌برداری دستگاه انجام شود.

عواملی مانند:

- کیفیت و شرایط گاز
- شرایط محیطی آزمایشگاه
- دما
- رطوبت محیط
- شرایط برق
- وضعیت نصب دستگاه
- مواد مصرفی
- نوع نمونه‌های مورد آزمایش

می‌توانند در عملکرد سیستم و نتیجه نهایی مؤثر باشند.

به همین دلیل کالیبراسیون دستگاه در محل مشتری، بخش مهمی از فرآیند راه‌اندازی و بهره‌برداری صحیح محسوب می‌شود.

۵-۳ نقش CRM در کالیبراسیون

CRM یا Certified Reference Material مهم‌ترین مرجع مورد استفاده برای کالیبراسیون و کنترل صحت دستگاه است.

CRM دارای مقادیر مشخص و گواهی‌شده‌ای از عناصر مورد نظر است.

دستگاه با اندازه‌گیری CRM و مقایسه نتیجه با مقدار گواهی‌شده آن، برای شرایط کاری آزمایشگاه تنظیم و ارزیابی می‌شود.

به زبان ساده:

CRM به دستگاه و اپراتور می‌گوید عدد واقعی مورد انتظار چیست.

۴-۵ تهیه CRM توسط مشتری

در روال حرفه‌ای و متعارف آزمایشگاهی، تهیه CRM متناسب با نوع نمونه و محدوده کاری آزمایشگاه بر عهده مشتری یا آزمایشگاه بهره‌بردار است.

دلیل این موضوع آن است که هر آزمایشگاه ممکن است نمونه‌های متفاوتی داشته باشد.

برای مثال یک کارخانه ممکن است عمدتاً فولادهای کم‌کربن، کارخانه دیگر چدن و کارخانه‌ای دیگر انواع فروآلیاژ را آنالیز کند.

بنابراین CRM مورد نیاز باید متناسب با نمونه‌های واقعی همان آزمایشگاه انتخاب شود.

فروشنده دستگاه می‌تواند در انتخاب نوع، محدوده و مشخصات CRM مناسب راهنمایی فنی ارائه کند، اما تهیه CRM مورد نیاز آزمایشگاه معمولاً توسط مشتری انجام می‌شود.

۵-۵ چرا کالیبراسیون در محل آزمایشگاه انجام می‌شود؟

کالیبراسیون نهایی بهتر است در محل نصب و بهره‌برداری دستگاه انجام شود.

زیرا دستگاه پس از نصب با شرایط واقعی آزمایشگاه کار خواهد کرد.

شرایطی مانند:

- دمای محیط
- رطوبت
- کیفیت گاز
- فشار گاز
- سیستم تهویه
- شرایط نصب
- مواد مصرفی
- برق ورودی

- شرایط واقعی نمونه‌ها

می‌تواند با شرایط کارخانه سازنده یا محل دیگری متفاوت باشد.

بنابراین انتقال یک کالیبراسیون انجام‌شده در یک محیط به محیط دیگر، الزاماً بهترین روش برای دستیابی به حداکثر دقت نیست.

کالیبراسیون نهایی باید شرایط واقعی کار دستگاه را در آزمایشگاه کاربر در نظر بگیرد.

۵-۶ اهمیت CRM برای اپراتور

فرض کنید دستگاه یک نمونه فولادی را آنالیز کرده و عدد مشخصی برای کربن نمایش می‌دهد. صرفاً دیدن این عدد به معنی صحیح بودن آن نیست. اما اگر یک CRM معتبر و متناسب با محدوده کاری آزمایشگاه با دستگاه آنالیز شود و نتیجه به مقدار گواهی‌شده آن نزدیک باشد، می‌توان اطمینان بسیار بیشتری از صحت عملکرد سیستم داشت.

بنابراین:

CRM ابزار مهمی برای اثبات و پایش صحت عملکرد دستگاه است.

۵-۷ CRM. فقط برای کالیبراسیون اولیه نیست

CRM می تواند پس از کالیبراسیون اولیه نیز برای کنترل دوره ای دستگاه استفاده شود.

آزمایشگاه می تواند در فواصل مشخص، CRM را آنالیز کرده و نتیجه را با مقدار گواهی شده مقایسه کند.

اگر نتیجه به مرور از مقدار مرجع فاصله بگیرد، باید علت بررسی شود.

*****این کنترل می تواند مشکلات احتمالی دستگاه، مواد مصرفی، شرایط احتراق یا تغییر شرایط سیستم را قبل از ایجاد تعداد زیادی نتیجه نامعتبر مشخص کند.**

۵-۸ انتخاب CRM مناسب

CRM باید تا حد امکان به نمونه های واقعی آزمایشگاه نزدیک باشد.

در انتخاب CRM باید به موارد زیر توجه شود:

- جنس ماتریس
- محدوده کربن
- محدوده گوگرد
- نوع نمونه
- محدوده کاری دستگاه
- گواهی معتبر CRM

برای آزمایشگاه های فولاد، چدن و ریخته گری، انتخاب CRM های متناسب با این ماتریس ها اهمیت دارد.

در آزمایشگاه های فروآلیاژی نیز انتخاب CRM مناسب با نوع فروآلیاژ و محدوده عناصر مورد نظر اهمیت بیشتری پیدا می کند.

۵-۹ مسئولیت‌های کاربر دستگاه و تامین کننده

برای جلوگیری از سوء تفاهم، بهتر است مسئولیت‌ها از ابتدا مشخص باشند.

مسئولیت کاربر آزمایشگاه :

- تهیه CRM مناسب
- نگهداری صحیح CRM
- فراهم کردن شرایط مناسب آزمایشگاه
- تأمین گاز و مواد مصرفی مورد نیاز
- انجام کنترل‌های دوره‌ای
- استفاده صحیح از دستگاه

مسئولیت تأمین کننده:

- نصب و راه اندازی صحیح دستگاه
- آموزش اپراتور
- ارائه روش کالیبراسیون
- راهنمایی در انتخاب CRM مناسب
- تنظیمات اولیه و انجام کالیبراسیون راه اندازی
- ارائه خدمات فنی و پشتیبانی

البته جزئیات این مسئولیت‌ها می‌تواند بر اساس تفاهمنامه خرید و خدمات پس از فروش تغییر کند.

۵-۱۰ گر CRM نتیجه مناسبی نداد

اگر نتیجه CRM با مقدار گواهی شده اختلاف قابل توجهی داشت، نباید بلافاصله دستگاه را خراب فرض کرد.

ابتدا باید موارد زیر بررسی شوند:

- صحت و تاریخ اعتبار CRM
- شرایط نگهداری CRM
- آماده سازی نمونه
- وزن نمونه
- بوته و Accelerator
- مواد مصرفی
- شرایط گاز
- Blank
- وضعیت کوره
- شرایط محیطی آزمایشگاه
- کالیبراسیون

پس از بررسی این موارد می توان درباره اصلاح کالیبراسیون یا نیاز به سرویس دستگاه تصمیم گرفت.

۵-۱۱ نکته مهم برای خریدار دستگاه

هنگام خرید دستگاه C/S، تنها قیمت و مشخصات فنی دستگاه را مقایسه نکنید.

موارد زیر نیز باید مشخص باشند:

CRM مناسب توسط چه کسی انتخاب می شود؟

CRM را چه کسی تهیه می کند؟

کالیبراسیون اولیه در کجا انجام می شود؟

آیا کالیبراسیون نهایی در محل مشتری انجام می شود؟

آیا آموزش کالیبراسیون به اپراتور ارائه می شود؟

شرایط و مسئولیت های خدمات پس از فروش چیست؟

این موارد می توانند تأثیر مستقیمی بر عملکرد واقعی دستگاه داشته باشند.

۵-۱۲ جمع‌بندی فصل پنجم

کالیبراسیون یکی از مهم‌ترین مراحل بهره‌برداری صحیح از دستگاه آنالیز کربن و گوگرد است.

دستگاه دقیق بدون کالیبراسیون صحیح، الزاماً نتیجه دقیق ارائه نمی‌دهد.

CRM نیز مرجع اصلی برای کالیبراسیون و کنترل صحت عملکرد دستگاه است.

از آنجا که شرایط محیطی و عملیاتی هر آزمایشگاه متفاوت است، کالیبراسیون نهایی باید در محل مشتری و با توجه به شرایط واقعی بهره‌برداری انجام شود.

تهیه CRM مناسب نیز معمولاً بر عهده آزمایشگاه کاربر است و اپراتور باید CRM را متناسب با نوع نمونه و محدوده کاری خود انتخاب و تهیه کند.

در نهایت:

«دستگاه، ابزار اندازه‌گیری است؛ CRM مرجع مقایسه است و کالیبراسیون صحیح، ارتباط بین این دو را برقرار می‌کند» .

بنابراین هنگام خرید دستگاه، توجه به روش کالیبراسیون، CRM، آموزش و خدمات راه‌اندازی به اندازه مشخصات فنی خود دستگاه اهمیت دارد.

فصل ششم

ارزش خرید و توجیه اقتصادی دستگاه آنالیز کربن و گوگرد

۶-۱ مقدمه

در شرایط اقتصادی امروز، خرید یک دستگاه آزمایشگاهی باید بر اساس نیاز واقعی، هزینه مالکیت و بازده اقتصادی انجام شود، نه صرفاً قیمت اولیه یا مشخصات فنی.

دستگاه آنالیز کربن و گوگرد زمانی یک خرید ارزشمند محسوب می‌شود که بتواند به آزمایشگاه کاربر و مجموعه تولیدی کمک کند:

- سریع‌تر تصمیم بگیرد.
- کیفیت محصول را بهتر کنترل کند.
- ریسک خطای تولید را کاهش دهد.
- وابستگی به آزمایشگاه‌های بیرونی را کم کند.
- از تولید یا ارسال محصول نامنطبق جلوگیری کند.

بنابراین سؤال اصلی فقط این نیست که:

«قیمت دستگاه چقدر است؟»

بلکه سؤال مهم‌تر این است:

«هزینه نداشتن دستگاه برای مجموعه تولیدی چقدر است؟»

۶-۲ ارزش دستگاه برای صنایع فولاد

در کارخانه‌های فولادی، سرعت اطلاع از مقدار کربن و گوگرد می‌تواند در تصمیم‌گیری درباره ادامه فرآیند، اصلاح ترکیب و کنترل محصول مؤثر باشد.

هرچه حجم تولید و تعداد نمونه‌ها بیشتر باشد، ارزش داشتن یک سیستم آنالیز سریع و داخلی نیز افزایش پیدا می‌کند.

در چنین شرایطی دستگاه C/S می‌تواند از یک تجهیز آزمایشگاهی به ابزار کنترل فرآیند تولید تبدیل شود.

۶-۳ ارزش دستگاه برای تولیدکنندگان فروآلیاژ

در تولید فروآلیاژ، کنترل ترکیب شیمیایی محصول اهمیت بسیار زیادی دارد.

فروآلیاژهایی مانند فرومنگنز، فروسیلیس، فروکروم و سایر آلیاژها ممکن است از نظر مقدار کربن و گوگرد دارای محدوده‌های مشخصی باشند.

دستگاه C/S می‌تواند برای:

- کنترل مواد اولیه
- کنترل فرآیند
- کنترل محصول نهایی
- بررسی یکنواختی تولید
- کنترل محموله قبل از ارسال مورد استفاده قرار گیرد.

در این صنعت، جلوگیری از تولید یا ارسال محصول خارج از مشخصات می‌تواند ارزش اقتصادی بسیار بیشتری از هزینه یک آنالیز داشته باشد.

۶-۴ ارزش دستگاه برای تولیدکنندگان کک و مواد مرتبط با سنگ آه

در تولید کک، کنترل کربن و به‌خصوص گوگرد می‌تواند در ارزیابی کیفیت محصول و کنترل مشخصات مورد نیاز اهمیت داشته باشد.

در زنجیره سنگ آهن نیز ارزش دستگاه باید بر اساس نوع محصول و فرآیند کارخانه بررسی شود؛ به خصوص در مجموعه‌هایی که تعداد نمونه بالا و نیاز به کنترل سریع ترکیب شیمیایی دارند.

بنابراین خرید دستگاه برای هر واحد تولیدی الزاماً به یک اندازه توجیه اقتصادی ندارد و باید بر اساس حجم واقعی کار و نیاز فرآیند ارزیابی شود.

۶-۵ آیا دستگاه چند درصد هزینه تولید را کاهش می‌دهد؟

نمی‌توان برای تمام کارخانه‌ها یک درصد ثابت برای تأثیر اقتصادی دستگاه تعیین کرد.

دستگاه C/S مستقیماً مثلاً ۵ یا ۱۰ درصد از هزینه تولید را کاهش نمی‌دهد.

ارزش اقتصادی آن بیشتر از طریق کاهش ریسک، کاهش خطا و بهبود سرعت تصمیم‌گیری ایجاد می‌شود.

برای مثال، اگر نتیجه سریع آنالیز باعث شود از:

- تولید محصول خارج از مشخصات
- مصرف اضافی مواد اصلاحی
- دوباره کاری
- تأخیر در تولید
- یا ارسال محصول نامنطبق

جلوگیری شود، صرفه اقتصادی آن می‌تواند بسیار بیشتر از هزینه خود آنالیز باشد.

بنابراین اثر اقتصادی دستگاه باید بر اساس شرایط واقعی هر کارخانه محاسبه شود.

۶-۶ مهم‌ترین مزیت اقتصادی؛ سرعت تصمیم‌گیری

یکی از ارزشمندترین مزایای دستگاه C/S، دسترسی سریع به نتیجه در داخل مجموعه است.

در بسیاری از کارخانه‌ها، ارزش واقعی یک نتیجه فقط عدد آن نیست؛ بلکه زمان دریافت نتیجه نیز اهمیت دارد.

هرچه کارخانه تولید بیشتری داشته باشد و تصمیم‌های بیشتری بر اساس نتایج C/S گرفته شود، ارزش این سرعت بیشتر خواهد شد.

۶-۷ قیمت اولیه تنها معیار اقتصادی نیست

در زمان خرید باید علاوه بر قیمت اولیه، هزینه‌های بلندمدت نیز بررسی شوند.

مواردی مانند:

مواد مصرفی + CRM + سرویس + قطعات یدکی + آموزش + خدمات فنی + هزینه توقف احتمالی

بخشی از هزینه واقعی مالکیت دستگاه هستند.

همچنین در شرایط اقتصادی و محدودیت‌های تجاری و تحریم‌های موجود در کشور، سهولت و امکان تأمین مواد مصرفی و قطعات یدکی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

بنابراین هنگام انتخاب دستگاه بهتر است آزمایشگاه کاربر بررسی کند:

- مواد مصرفی به راحتی قابل تهیه هستند؟
- قطعات یدکی و مصرفی در دسترس هستند؟
- زمان تأمین قطعات قابل قبول است؟
- امکان تأمین قطعات از مسیرهای مختلف وجود دارد؟
- هزینه مواد مصرفی با حجم کاری آزمایشگاه تناسب دارد؟
- خدمات فنی و تعمیرات دستگاه در داخل کشور قابل دسترس است؟

در چنین شرایطی، دستگاهی که مواد مصرفی و قطعات یدکی آن با هزینه منطقی و در زمان قابل قبول قابل تأمین باشد، از نظر اقتصادی می‌تواند انتخاب ارزشمندتری باشد؛ حتی اگر قیمت اولیه آن پایین‌ترین قیمت بازار نباشد.

این موضوع یک معیار عمومی در خرید تجهیزات آزمایشگاهی است و ارتباطی با برند خاصی ندارد.

۶-۸ سرویس و نگهداری؛ شرط حفظ ارزش سرمایه

دستگاه C/S برای حفظ دقت و عملکرد خود نیازمند نگهداری صحیح، کنترل CRM، مواد مصرفی مناسب و سرویس دوره‌ای است.

همچنین هر نتیجه غیرعادی را نباید فوراً به خرابی دستگاه نسبت داد.

نمونه نامناسب، رطوبت، آلودگی، وزن نمونه، CRM، مواد مصرفی، گاز، کالیبراسیون و خطای اپراتور نیز می‌توانند علت نتیجه غیرعادی باشند.

نگهداری صحیح یعنی حفظ ارزش سرمایه‌ای که برای دستگاه پرداخت شده است.

۶-۹ چه مجموعه‌ای بیشتر از خرید دستگاه سود می‌برد؟

خرید دستگاه C/S برای مجموعه‌ای توجیه بیشتری دارد که:

- تعداد نمونه قابل توجهی دارد.
- به نتیجه سریع نیاز دارد.
- هزینه آزمایش بیرونی برای آن بالا است.
- کیفیت C و S روی محصول یا فرآیند آن اثرگذار است.
- خطای تولید می‌تواند خسارت قابل توجهی ایجاد کند.

هرچه استفاده واقعی از دستگاه بیشتر باشد، ارزش اقتصادی سرمایه‌گذاری نیز بیشتر می‌شود.

۶-۱۰ یک محاسبه ساده قبل از خرید

برای تصمیم‌گیری اقتصادی، آزمایشگاه کاربر می‌تواند هزینه سالانه روش فعلی خود را محاسبه کند:

* هزینه آزمایش بیرونی

* هزینه ارسال نمونه

* هزینه زمان انتظار

* هزینه احتمالی دوباره‌کاری و خطای تولید

* هزینه ناشی از تأخیر در تصمیم‌گیری

سپس این مبلغ با:

هزینه سالانه مالکیت دستگاه مقایسه شود.

اگر استفاده از دستگاه بتواند بخش قابل توجهی از این هزینه‌ها یا ریسک‌ها را کاهش دهد، خرید آن می‌تواند توجیه اقتصادی مناسبی داشته باشد.

۶-۱۱ جمع‌بندی نهایی

دستگاه آنالیز کربن و گوگرد برای یک کارخانه فقط یک دستگاه آزمایشگاهی نیست.

در صورت استفاده صحیح، می‌تواند به یک ابزار تصمیم‌گیری سریع، کنترل کیفیت و کاهش ریسک تولید تبدیل شود.

و شاید مهم‌ترین جمله این فصل:

«برای خرید دستگاه C/S، فقط هزینه خرید را محاسبه نکنید؛ هزینه‌ای را هم که نبودن دستگاه به کارخانه تحمیل می‌کند محاسبه کنید.»

۶-۱۲ سخن پایانی :

مطالب این مجموعه حاصل جمع‌بندی تحقیق، بررسی فنی و تجربه گردآورنده، آقای محمدرضا عزیزی، در حوزه تجهیزات آنالیز و نیازهای صنایع فولاد، ریخته‌گری، فروآلیاژ، کک و مواد معدنی است. هدف این مجموعه معرفی صرف یک دستگاه یا برند خاص نیست؛ بلکه کمک به تصمیم‌گیری آگاهانه برای انتخاب دستگاهی متناسب با نیاز واقعی آزمایشگاه کاربر است. در نهایت، دستگاهی ارزشمند است که نه فقط عددی دقیق ارائه کند، بلکه بتواند آن عدد را به تصمیم بهتر، کنترل بیشتر و کاهش ریسک اقتصادی در فرآیند تولید تبدیل نماید.

*****انتخاب صحیح دستگاه یعنی انتخاب یک تجهیز برای سال‌های آینده، نه صرفاً خرید یک دستگاه در امروز*****