

نور سنج شعله‌ای (Flame Photometer)

نور سنج شعله‌ای (که به عنوان طیف سنجی نشری شعله یا فتومتر شعله‌ای فوتوالکتریک نیز شناخته می‌شود) یک ابزار تجزیه‌ای است که برای اندازه‌گیری غلظت یون‌های فلزی خاص، به ویژه فلزات قلیایی (گروه ۱) و قلیایی خاکی (گروه ۲) در محلول‌ها استفاده می‌شود.

این روش بر اساس این اصل ساده و در عین حال قدرتمند کار می‌کند که اتم‌های هر عنصر، در اثر حرارت، طول موج خاصی از نور را گسیل می‌کنند. به همین دلیل، از آن گاهی به عنوان "آزمایش شعله کنترل شده" نیز یاد می‌شود. در این راهنما به بررسی اصول عملکرد، کاربردها و روش کار با این دستگاه می‌پردازیم.

۱. اصول عملکرد (Working Principle)

دستگاه نور سنج شعله‌ای از چهار جزء اصلی تشکیل شده است: مشعل، نبولایزر، فیلترهای نوری، و آشکارساز نوری.

فرآیند اندازه‌گیری به صورت گام به گام انجام می‌شود:

- ۱. نبولیزاسیون (Nebulization):** محلول نمونه از طریق یک لوله موئین (کاپیلاری) به داخل نبولایزر (مه پاش) مکیده می‌شود. در آنجا با گاز سوخت (مانند پروپان یا استیلن) و اکسیدکننده (مانند هوا یا اکسیژن) ترکیب شده و به صورت یک مه ریز (aerosol) در می‌آید.
- ۲. اتمیزاسیون و برانگیختگی (Atomization & Excitation):** این مه وارد شعله می‌شود. گرمای شدید شعله (معمولاً ۲۰۰۰-۱۹۰۰ درجه سانتی‌گراد برای شعله پروپان-هوا) ابتدا حلال را تبخیر کرده و سپس ذرات جامد را به اتم‌های گازی تبدیل می‌کند. این اتم‌ها انرژی حرارتی را جذب کرده و به حالت برانگیخته می‌روند.
- ۳. گسیل نور (Emission):** اتم‌های برانگیخته ناپایدار هستند و به سرعت به حالت پایه (کم انرژی) خود بازمی‌گردند. این بازگشت با انتشار فوتون‌های نور در طول موج‌هایی که مشخصه آن عنصر خاص است، همراه است. به عنوان مثال، سدیم نور زرد مشخصه‌ای در طول موج ۵۸۹ نانومتر گسیل می‌کند.
- ۴. تشخیص و اندازه‌گیری (Detection):** نور گسیل شده از طریق فیلترهای نوری عبور می‌کند. این فیلترها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که فقط طول موج مربوط به عنصر مورد نظر را عبور دهند و مابقی طیف را مسدود کنند. سپس شدت این نور توسط یک آشکارساز نوری (مانند فتوسل یا لامپ فتومولتی‌پلایر) اندازه‌گیری شده و به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود. شدت این سیگنال با غلظت عنصر در نمونه اصلی رابطه مستقیم دارد.

۲. کاربردها و عناصر قابل اندازه‌گیری

نور سنج‌های شعله‌ای عمدتاً برای اندازه‌گیری پنج عنصر اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند:

کاربردهای رایج	طول موج گسیل (Wavelength)	عنصر (Element)
تشخیص در آزمایشگاه‌های بالینی، آنالیز خاک و کود، صنایع غذایی	nm589	سدیم (Na)
تشخیص در آزمایشگاه‌های بالینی، آنالیز خاک و کود، صنایع غذایی	nm766	پتاسیم (K)
کاربردهای دارویی و نظارت بر مصرف در بیماران روانی	nm670	لیتیوم (Li)
آنالیز سیمان، نمونه‌های زیست‌شناختی، کشاورزی	nm622	کلسیم (Ca)
اپتیک، صنایع آتش‌بازی و تولید لاستیک	nm455	باریم (Ba)

حوزه‌های کاربردی گسترده:

- بالینی و پزشکی: اندازه‌گیری سطح سدیم، پتاسیم و لیتیوم در سرم خون و ادرار.
- کشاورزی: تعیین محتوای پتاسیم و کلسیم در خاک، کود و بافت‌های گیاهی.
- صنعتی: آنالیز سدیم و پتاسیم باقیمانده در بیودیزل، و تعیین کلسیم در سیمان.
- داروسازی: کنترل کیفیت مواد اولیه و محصولات نهایی.

۳. مزایا و محدودیت‌ها

✓ مزایا

- سادگی و سرعت: کار با این دستگاه‌ها نسبتاً آسان است و هر آنالیز تنها چند ثانیه طول می‌کشد.
- هزینه مقرون به صرفه: در مقایسه با تکنیک‌های پی‌شرفته‌تری مانند طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) یا پلاسمای جفت شده القایی (ICP)، قیمت خرید و نگهداری کمتری دارند.
- حساسیت مناسب: برای اندازه‌گیری فلزات قلیایی در محدوده (ppm میلی‌گرم در لیتر) بسیار حساس هستند.
- حجم نمونه کم: برای انجام آنالیز به حجم کمی از نمونه نیاز است.

✗ محدودیت‌ها

- تعداد عناصر محدود: اساساً برای آن دسته از عناصری مناسب است که در دمای پایین شعله برانگیخته می‌شوند؛ بنابراین به فلزات قلیایی و قلیایی خاکی محدود می‌شود.
- تداخل یون‌ها: (Interference) - حضور برخی یون‌های دیگر در نمونه می‌تواند بر شدت سیگنال عنصر مورد نظر تأثیر بگذارد. این یک نقطه ضعف مهم است.

- نیاز به کالیبراسیون مکرر: برای اطمینان از دقت نتایج، دستگاه باید به طور مرتب با استفاده از محلول‌های استاندارد کالیبره شود.
- غیرخطی بودن در غلظت‌های بالا: رابطه بین شدت نور و غلظت در محدوده غلظت‌های پایین خطی است، اما در غلظت‌های بالا از حالت خطی خارج می‌شود.

۴. روش کار گام به گام (Step-by-Step Procedure)

مرحله ۰: ایمنی (Safety)

خطر (Hazard)	اقدام ایمنی (Safety Measure)
شعله باز و گازهای قابل اشتعال	همیشه یک کپسول آتش‌نشانی در نزدیکی دستگاه داشته باشید. از نشت گاز به طور مرتب اطمینان حاصل کنید. تهویه مناسب (هود) الزامی است.
سطوح داغ (Burner)	هرگز بلافاصله پس از خاموش کردن دستگاه به مشعل دست نزنید. قبل از هر گونه سرویس، اجازه دهید کاملاً خنک شود.
شوک الکتریکی	دستگاه باید به طور صحیح به سیستم ارت (زمین) متصل باشد.
نمونه‌های شیمیایی	هنگام تهیه و کار با محلول‌های استاندارد و نمونه‌های ناشناس از دستکش و عینک ایمنی مناسب استفاده کنید.

تجهیزات حفاظت فردی (PPE) اجباری:

- ✓ عینک ایمنی
- ✓ دستکش مقاوم به مواد شیمیایی (نیتریل)
- ✓ روپوش آزمایشگاهی

مرحله ۱: آماده‌سازی و راه‌اندازی

۱. نصب و استقرار: دستگاه را روی یک میز صاف و محکم و دور از جریان مستقیم هوا (پنکه، کولر، پنجره باز) قرار دهید تا شعله دچار نوسان نشود.
۲. اتصالات: شیلنگ‌های گاز و هوای فشرده را محکم به دستگاه متصل کنید.
۳. بررسی محیط: اطمینان حاصل کنید که دما و رطوبت محیط در محدوده استاندارد تعیین شده توسط سازنده است.

مرحله ۲: روشن کردن و برپایی شعله

۱. برق دستگاه را روشن کنید.
۲. دریچه هوای کمپرسور (اگر جداگانه است) را باز کنید.
۳. شیر سیلندر گاز (پروپان یا استیلن) را به آرامی باز کنید.

۴. دکمه احتراق (Ignition) دستگاه را فشار دهید تا شعله روشن شود.
۵. با استفاده از شیرهای تنظیم، نسبت گاز به هوا را بهینه کنید تا شعله پایدار و با رنگی یکنواخت (آبی کمرنگ) باشد. شعله نباید دود کند یا نوسان داشته باشد.

مرحله ۳: کالیبراسیون (Calibration)

نور سنج شعله‌ای به صورت مستقیم غلظت را نشان نمی‌دهد، بلکه شدت نور را اندازه می‌گیرد. بنابراین، برای یافتن رابطه بین شدت نور (خوانده شده توسط دستگاه) و غلظت، به یک **منحنی کالیبراسیون** نیاز داریم.

۱. **تهیه محلول‌های استاندارد:** یک سری محلول با غلظت‌های مشخص و صعودی از عنصر مورد نظر (مثلاً ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ ppm پتاسیم) تهیه کنید.
۲. **شستشو (Rinse):** لوله نمونه‌بردار (کاپیلاری) را در آب دیونیزه (DI) قرار دهید و اجازه دهید دستگاه این محلول خالی را مکش کند.
۳. **اندازه‌گیری استاندارد صفر (Blank):** لوله را در ظرف حاوی محلول استاندارد صفر (مثلاً آب دیونیزه خالص) قرار دهید. صبر کنید تا عدد روی صفحه پایدار شود. انتظار می‌رود که این مقدار صفر یا نزدیک به صفر باشد. در غیر این صورت، دستگاه را "Zero" کنید.
۴. **اندازه‌گیری استانداردها:** لوله را به ترتیب از کمترین به بیشترین غلظت در محلول‌های استاندارد قرار دهید. پس از پایدار شدن عدد روی صفحه، آن را یادداشت کنید. برای جلوگیری از تداخل، بین اندازه‌گیری هر استاندارد، دستگاه را با آب دیونیزه شستشو دهید.
۵. **رسم منحنی:** پس از اتمام، داده‌های به دست آمده (شدت نور بر حسب غلظت) را در نرم‌افزار یا روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید. منحنی کالیبراسیون شما باید در محدوده غلظت‌های پایین خطی باشد.

مرحله ۴: اندازه‌گیری نمونه‌های ناشناس (Sample Analysis)

۱. **شستشوی دستگاه:** لوله نمونه‌بردار را مجدداً در آب دیونیزه قرار دهید و اجازه دهید دستگاه به طور کامل شستشو شود.
۲. **اندازه‌گیری نمونه:** لوله را در ظرف حاوی محلول نمونه ناشناس خود قرار دهید.
۳. **ثبت نتیجه:** صبر کنید تا عدد روی صفحه پایدار شود و آن را یادداشت کنید.
۴. **تکرار برای دقت:** این کار را ۲ تا ۳ بار برای نمونه تکرار کنید و میانگین نتایج را محاسبه کنید.
۵. **محاسبه غلظت:** با استفاده از منحنی کالیبراسیون، غلظت عنصر مورد نظر را برای نمونه خود تعیین کنید.

مرحله ۵: خاموش کردن و تمیزکاری (Shutdown)

این مرحله به همان اندازه راه‌اندازی مهم است.

۱. شستشوی نهایی: لوله نمونه‌بردار را به مدت ۱-۲ دقیقه در آب دیونیزه قرار دهید تا تمام نمک‌های باقی‌مانده از مسیر نمونه خارج شوند.
۲. خاموش کردن شعله:
 - ابتدا شیر سیلندر گاز را ببندید.
 - شعله پس از چند ثانیه خاموش می‌شود.
 - اجازه دهید هوای کمپرسور به مدت ۳۰ ثانیه دیگر به جریان خود ادامه دهد تا گاز باقی‌مانده از محفظه شعله خارج شود.
۳. خاموش کردن دستگاه: پس از اطمینان از خاموشی شعله، کمپرسور و سپس برق اصلی دستگاه را خاموش کنید.
۴. تمیزکاری: بدنه دستگاه و اطراف آن را از هرگونه پاشیدگی احتمالی تمیز کنید.
۵. دفترچه ثبت اطلاعات: (Logbook) تاریخ، کاربر، نوع آنالیز (عناصر)، محدوده کالیبراسیون و هرگونه نکته غیرعادی را در دفترچه ثبت دستگاه یادداشت کنید.

۵. عیب‌یابی مشکلات رایج (Troubleshooting)

مشکل (Problem)	علت احتمالی (Probable Cause)	راهکار (Solution)
شعله روشن نمی‌شود	قطع بودن جریان گاز یا هوا، جرقه‌زن معیوب	اتصالات گاز را بررسی کنید، مطمئن شوید سیلندر بسته نیست. برای تعمیر با تکنسین تماس بگیرید.
دستگاه آنالوگ خطا می‌دهد	صفحه نمایش معیوب، مشکل در برد الکترونیکی	برای تعمیرات اساسی با تکنسین تماس بگیرید.
عدد روی صفحه نوسان دارد (Unstable Reading)	گرفتگی نبولایزر، فشار ناپایدار گاز یا هوا، لرزش دستگاه	نبولایزر را تمیز کنید. فشار خروجی رگولاتورها را بررسی کنید. دستگاه را روی سطح محکم و بدون لرزش قرار دهید.
نتایج با منحنی کالیبراسیون مطابقت ندارد	منحنی کالیبراسیون کهنه یا نادرست، تداخل یون‌ها در نمونه	منحنی کالیبراسیون را دوباره رسم کنید. نمونه را رقیق کنید تا اثرات تداخل کاهش یابد.
غلظت محاسبه شده صفر است	دستگاه به درستی صفر (Zero) نشده، نمونه به دستگاه نمی‌رسد	مجدداً مراحل صفر کردن را انجام دهید. بررسی کنید لوله نمونه‌بردار مسدود نباشد.

۶. نکات کلیدی و جمع‌بندی

نکته کلیدی (Key Principle)	توضیح (Explanation)
☀️ روشی برای فلزات قلیایی	نورسنجی شعله‌ای عمدتاً برای عناصری مانند سدیم، پتاسیم و لیتیوم طراحی شده است.
🏗️ کالیبراسیون ضروری است	دستگاه شدت نور را می‌سنجد، نه غلظت را. استفاده از منحنی کالیبراسیون با استانداردهای شناخته شده اجباری است.
📏 آماده‌سازی دقیق نمونه	نمونه باید به صورت محلول شفاف و عاری از هرگونه ذرات جامد باشد تا باعث گرفتگی نشود.
🔥 ایمنی در اولویت است	همیشه هنگام کار با شعله باز و گازهای قابل اشتعال، قوانین ایمنی را رعایت کنید.
🧼 نظافت و نگهداری	شستشوی منظم دستگاه با آب دیونیزه (DI) و تمیز کردن دوره‌ای نبولایزر، کلید عملکرد طولانی و بدون مشکل است.