

# سختی سنجی نانو، گامی جدید برای شناخت دنیای نو

فاطمه سلیمانی، مریم گلی، محمدحسن فرجی  
پژوهش سرای دانش آموزی کاوش کهریزک

## چکیده

این ترتیب که سختی در واقع مقاومت جسم در برابر تغییر شکل در هنگامی است که با جسم دیگری که به آن نیرو وارد می‌کند در تماس قرار می‌گیرد. صرف‌نظر از بحث نانو، سختی یک جسم را در صنعت معمولاً به این شکل می‌سنجند که با یک جسم سخت نیروی مشخصی به جسم مورد سنجش وارد می‌کنند. به این جسم سخت نفوذگر می‌گویند. نفوذگر از جنس ماده‌ای با سختی بسیار بالا مانند فولاد سخت، الماس یا بورکاربید است. هنگامی که نفوذگر به جسم وارد می‌شود اثری از خود بر روی جسم باقی می‌گذارد. اندازه این اثر به سختی جسم بستگی دارد. به این شکل که هر چه جسم سخت‌تر باشد نفوذگر کمتر در آن نفوذ می‌کند و تأثیر نفوذ (اثر سختی) کوچک‌تر خواهد بود. به این ترتیب با اندازه‌گیری این اثر می‌توان مقدار سختی جسم را تعیین کرد.

## انواع روش‌های سختی‌سنجی

در صنعت روش‌های مختلفی برای سنجش سختی مواد وجود دارند. مهم‌ترین روش‌هایی که برای مواد در ابعاد معمولی به کار می‌روند روش‌های برینل، ویکرز و راکول هستند.

### الف) روش برینل

در این روش از یک نفوذگر کرومی از جنس فولاد سخت استفاده می‌کنند. بنابراین اثر نفوذ به شکل دایره است و با اندازه‌گیری قطر دایره از روی جدول‌های استاندارد سختی جسم به دست می‌آید.

می‌دانیم که ویژگی‌های مختلف مواد اعم از خواص فیزیکی، شیمیایی و یا مکانیکی می‌توانند در ابعاد نانو تغییر کنند. در واقع این تغییر است که باعث مهم شدن نانو مواد می‌شود و کاربردهای جدیدی از این مواد را برای ما به وجود می‌آورد. به‌طور مثال بسیار می‌شنویم که با ورود مواد به محدوده نانو رنگ آن‌ها که از جمله خواص فیزیکی آن‌هاست می‌تواند تغییر کند. یا قابلیت سوختن و واکنش آن‌ها با اکسیژن که جزء خواص شیمیایی مواد محسوب می‌شود، به دلیل ریز شدن اندازه ذرات به شدت افزایش می‌یابد. همین‌طور خواص مکانیکی مواد مانند سختی، استحکام، چقرمگی و ... در ابعاد نانو تغییر می‌کند. ولی نکته جالب توجه اندازه‌گیری این خواص برای نانومواد است. زیرا به دلیل ریز بودن این مواد، ساخت و به کارگیری دستگاه‌هایی که در این محدوده از اندازه‌ها کار کنند معمولاً بسیار دشوار است. به‌طور مثال چگونه ممکن است که سختی یک ماده را در ابعاد بسیار ریز اندازه بگیریم؟ در این مقاله به معرفی روش نانو سختی‌سنجی می‌پردازیم.

**کلیدواژه‌ها:** نانو مواد، سختی سنجی، روش برینل، روش ویکرز، روش راکول

## مقدمه

خواص مکانیکی به ویژگی‌هایی گفته می‌شود که مستقیماً به واکنش جسم در مقابل اعمال نیرو به آن مربوط می‌شوند. سختی یک جسم از جمله خواص مکانیکی جسم است. به

## سختی سنجی نانو

این روش در طول دهه اخیر برای اندازه‌گیری سختی مواد در ابعاد بسیار کوچک توسعه یافته است. این روش اکنون برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی لایه‌های نازک و سطحی از جمله لایه‌هایی که توسط کاشت یون بهسازی می‌شوند متداول است. در این روش از حسگرهایی با ضریب تفکیک بالا استفاده می‌شود تا حرکت نفوذگر را حین نفوذ در جسم و یا بالا آمدن حس کنند. در بعضی موارد نیروها در حد نانونیوتون کوچک و جابه‌جایی‌ها در حد آنگسترم قابل شناسایی هستند. یکی از بزرگ‌ترین مزیت‌های این روش این است که نیازی به استفاده از میکروسکوپ ندارند و اندازه‌گیری‌ها را در حد زیر میکرون ممکن می‌سازد. در این روش معمولاً از نفوذگر برکویچ استفاده می‌شود. این نفوذگر به شکل هرم چهاروجهی و از جنس الماس و اثر نفوذ به شکل مثلث است. ساخت نفوذگری با این شکل از نفوذگر ویکرز ساده‌تر است و می‌توان این نوع نفوذگر را در اندازه‌های بسیار ریز تولید کرد. البته استفاده از نفوذگرهای با شکل‌های دیگر نیز در سختی سنجی نانو ممکن است ولی پرکاربردترین نفوذگر نانو همان برکویچ است. پس از برداری (بالا آمدن نفوذگر از روی سطح نمونه) دستگاه میزان نفوذ نفوذگر به جسم را اندازه می‌گیرد و از روی آن سختی نمونه را تشخیص می‌دهد. لازم به ذکر است که به علت حساسیت بسیار بالای نفوذگر و استفاده از نیروهای کم، دستگاه تحت شرایط مراقبت ویژه‌ای کار می‌کند به شکلی که کمترین ضربه‌ای به دستگاه حین کار می‌تواند خطای بالایی در نتایج ایجاد کند.



▲ شکل ۱. دستگاه سختی سنج برینل



▲ شکل ۲. نفوذگر برینل

### ب) روش ویکرز

در این روش از یک نفوذگر هرمی با زاویه رأس  $136^\circ$  درجه و از جنس الماس استفاده می‌شود. اثر نفوذ به شکل مربع است که با اندازه‌گیری قطر مربع اندازه سختی به دست می‌آید. در روش‌های برینل و راکول باید اندازه اثر نفوذ توسط یک میکروسکوپ بزرگ‌نمایی شده و خوانده شود.



▲ شکل ۳. اثر نفوذ حاصل از نفوذگر ویکرز

### ج) روش راکول

روش راکول خودش به سه بخش A و B و C تقسیم می‌شود. در راکول‌های نوع A و C از نفوذگر الماس مخروطی شکل و در راکول B از نفوذگر فولادی کروی استفاده می‌شود. در روش راکول میزان نفوذ مستقیماً توسط دستگاه به دست می‌آید و نیازی به میکروسکوپ نیست.



▲ شکل ۴. نمونه‌ای از نفوذگر راکول در حال بارگذاری روی نمونه



▲ شکل ۵. اثر نفوذ حاصل از نفوذگر برکویچ

## نتیجه‌گیری

اگرچه به دلیل استفاده از حسگرهای پیشرفته و حساسیت بالای دستگاه، سختی سنجی نانو روشی پیچیده و گران‌قیمت است ولی این امکان را برای ما فراهم می‌کند که بتوانیم سختی نانو مواد را به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کنیم. در حالی که امروزه هنوز امکان اندازه‌گیری بعضی از خواص مواد به‌طور مستقیم وجود ندارد و برای به دست آوردن بعضی از خواص نانو مواد از روش‌هایی مانند محاسبه و شبیه‌سازی رایانه‌ای استفاده می‌کنند، این روش می‌تواند در شناخت بیشتر دنیای نانو کمک مهمی به ما کند.

### ← منابع

1. ASTM hand-book, E92
2. ASTM hand-book, E10
3. ASTM hand-book, E18
4. IBIS hand Book Of Nano Indentation, A.C, Fischer- Cripps