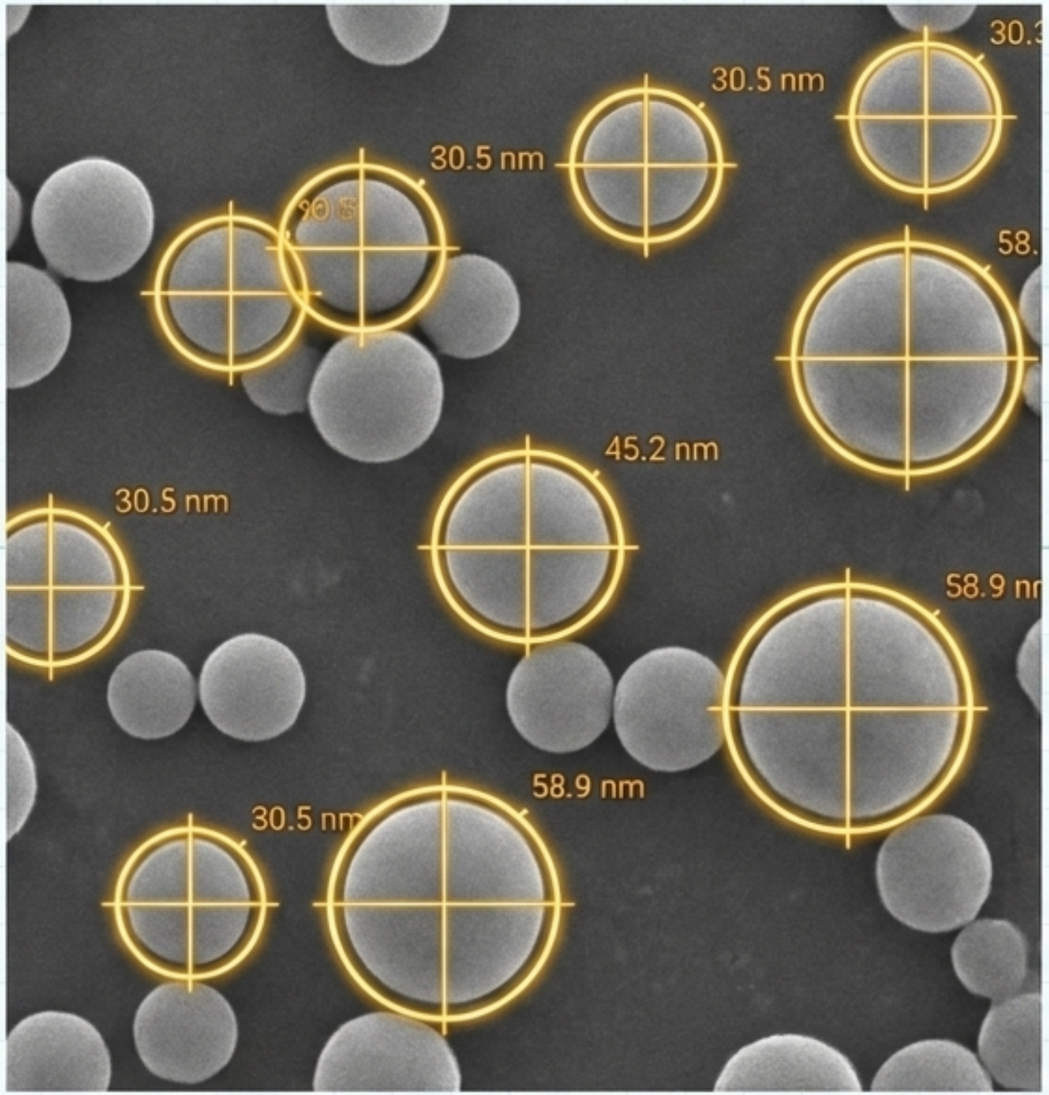


استخلاص الخصائص المورفولوجية للجسيمات النانوية من صور SEM

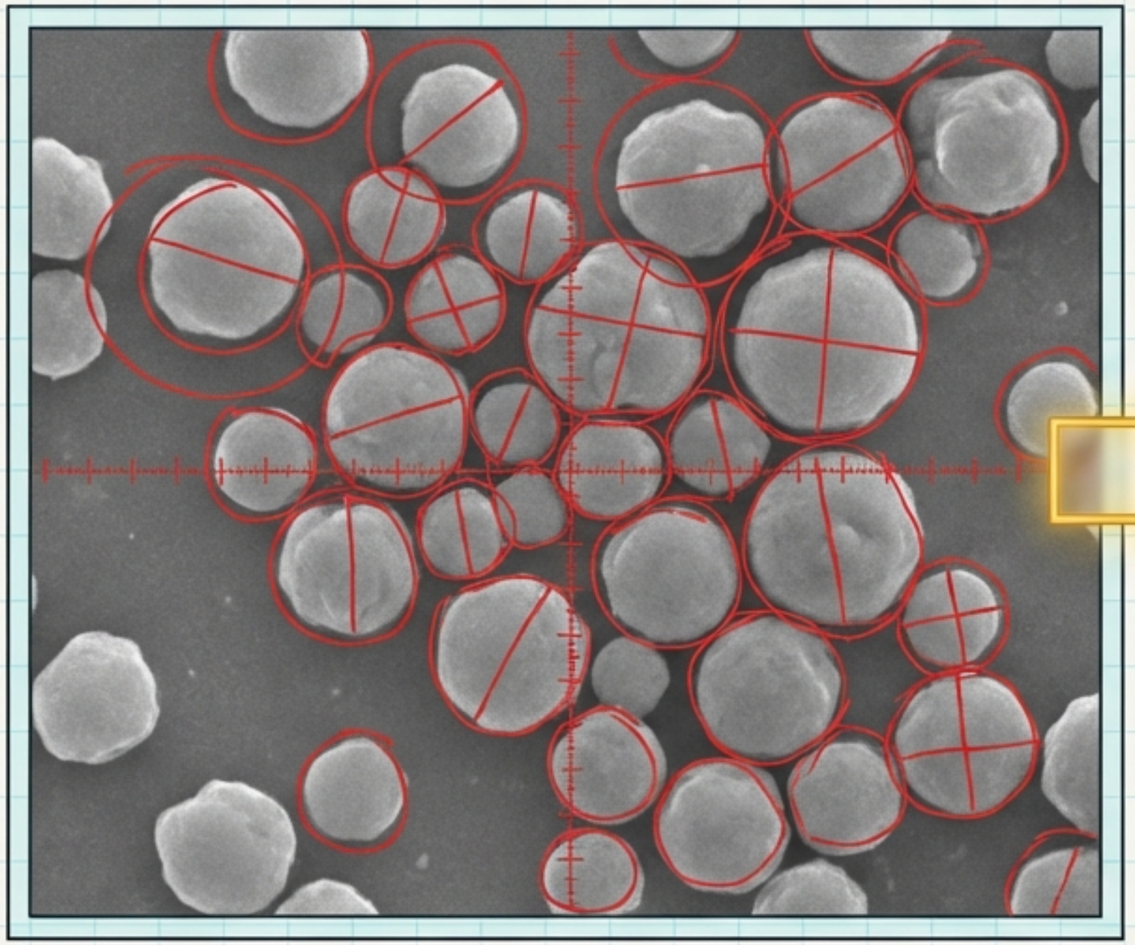
بروتوكول تحليلي باستخدام خوارزميات بايثون وبيئة Google Colab السحابية

د.ذعار الحربي
أ.محمد الميلبي

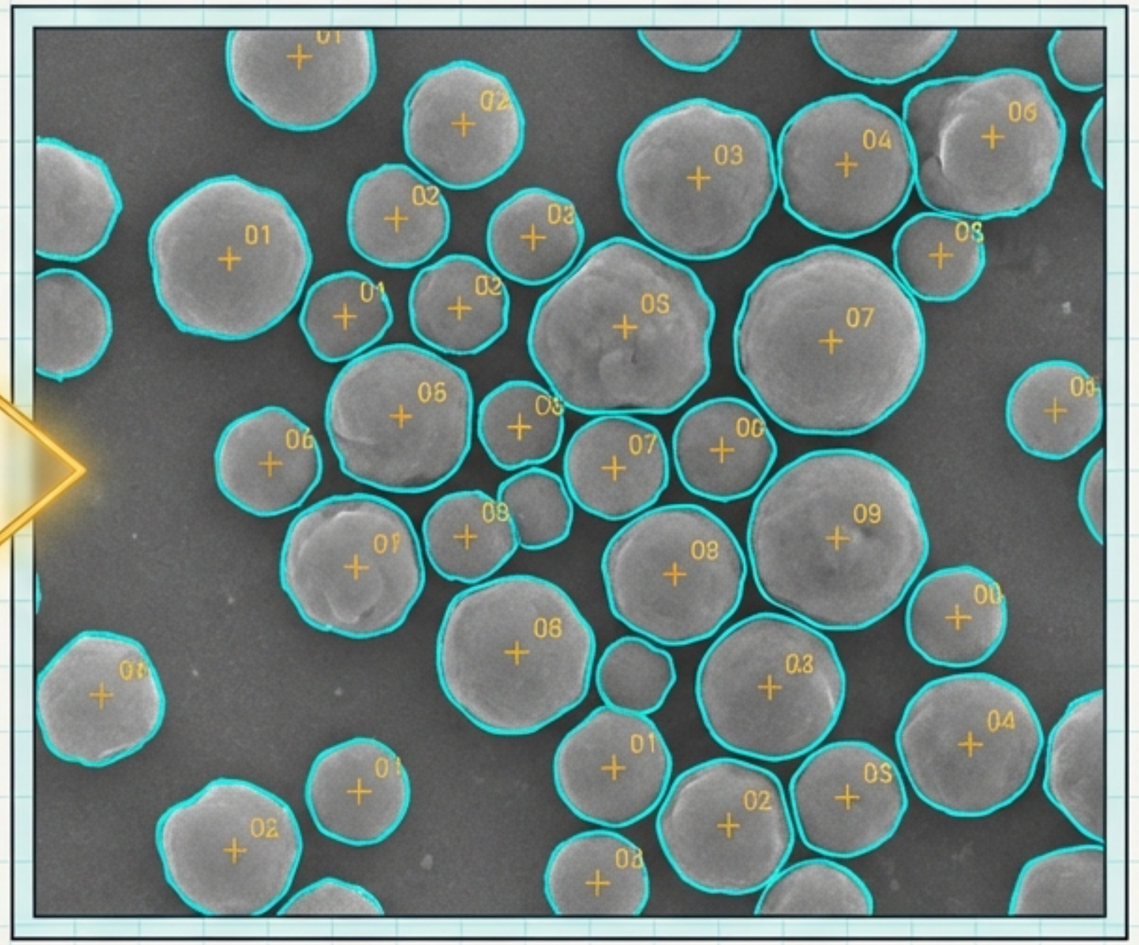
مبادرة معامل قسم الفيزياء - أدوات مساعدة لطلبة الماجستير والباحثين

NotebookLM

دقة الأتمتة في توصيف المواد النانوية



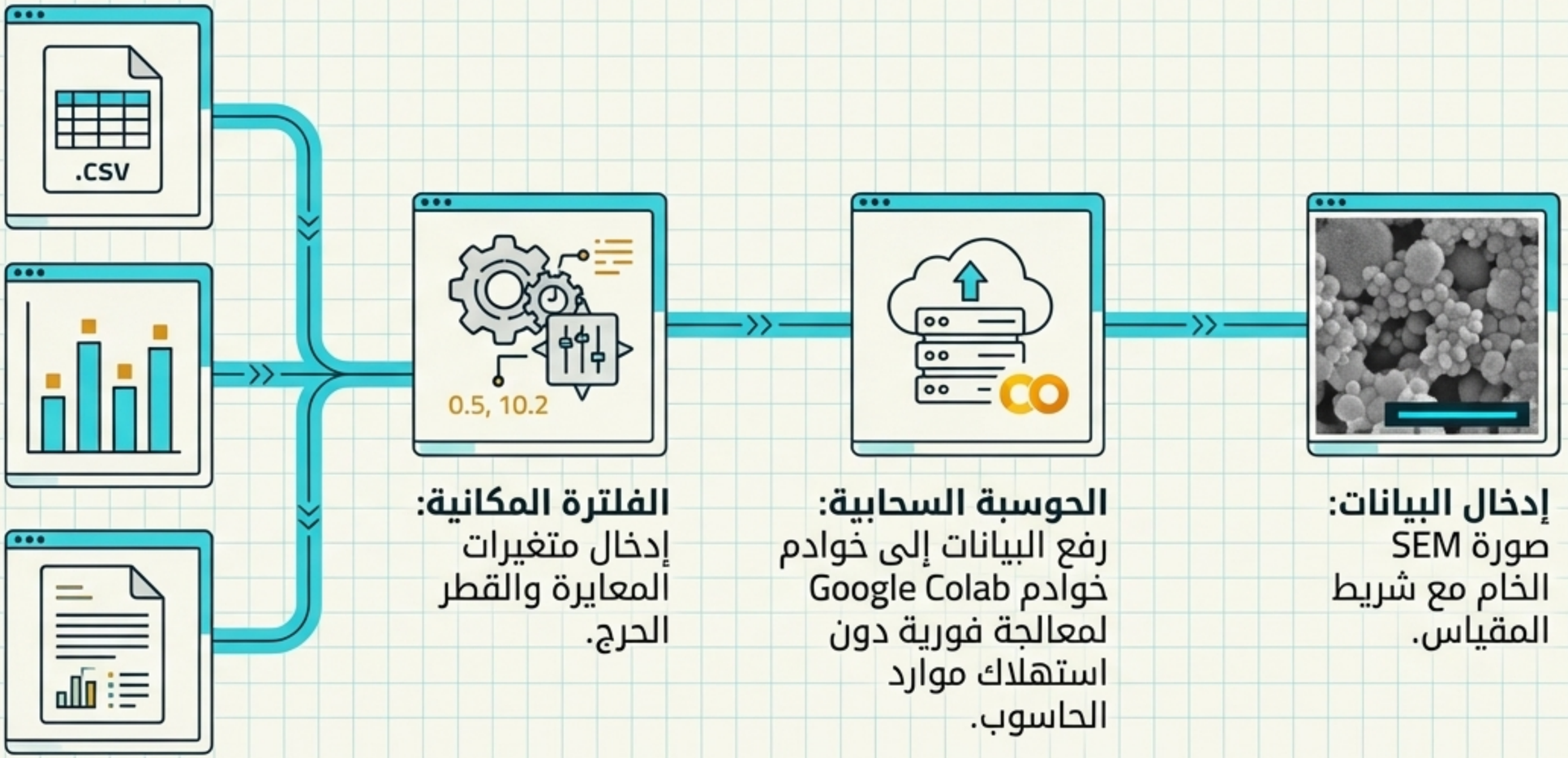
التحليل اليدوي: مستهلك للوقت، وعرضة للخطأ البشري في القياسات الدقيقة.



التحليل الخوارزمي (بايثون): كفاءة ودقة عالية في الفصل الآلي واستخلاص النتائج للعينات ذات الطبيعة الدائرية (الكروية).

NotebookLM

مسار المعالجة التحليلية (المنصة السحابية)



إدخال البيانات:
صورة SEM الخام مع شريط المقياس.

الحوسبة السحابية:
رفع البيانات إلى خوادم خوادم Google Colab لمعالجة فورية دون استهلاك موارد الحاسوب.

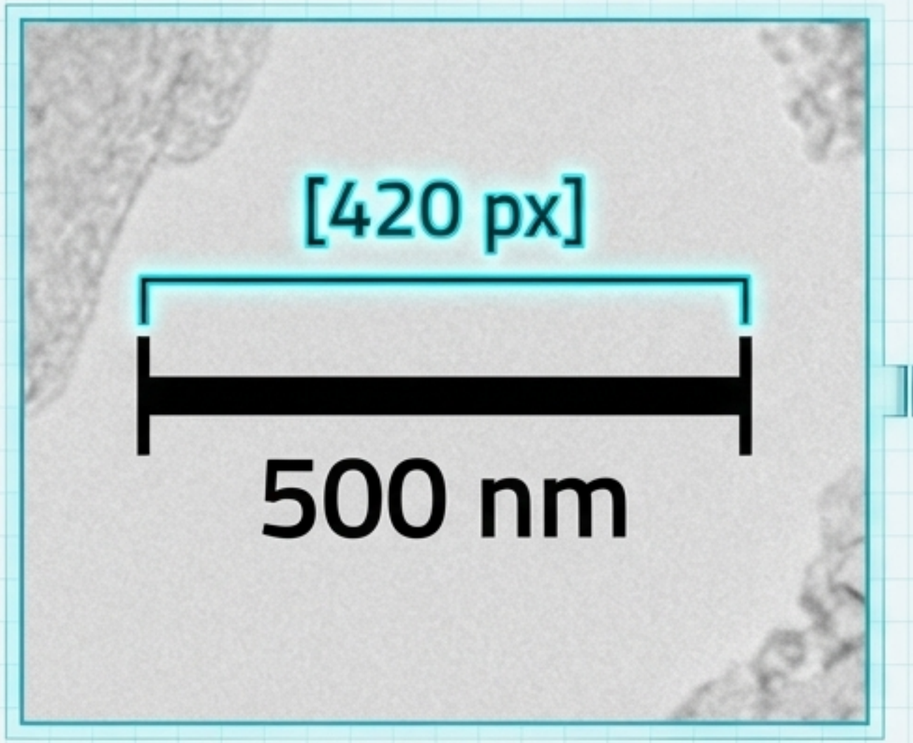
الفلترة المكانية:
إدخال متغيرات المعايرة والقطر الحرج.

المخرجات:
تصدير آلي للبيانات (CSV، لوحات بصرية، تقرير إحصائي).

NotebookLM

المعايرة الأولية: ترجمة البصري إلى رقمي

لتوحيد القياسات الفيزيائية، تتطلب الخوارزمية الربط بين الأبعاد البكسلية والقيم الفيزيائية.



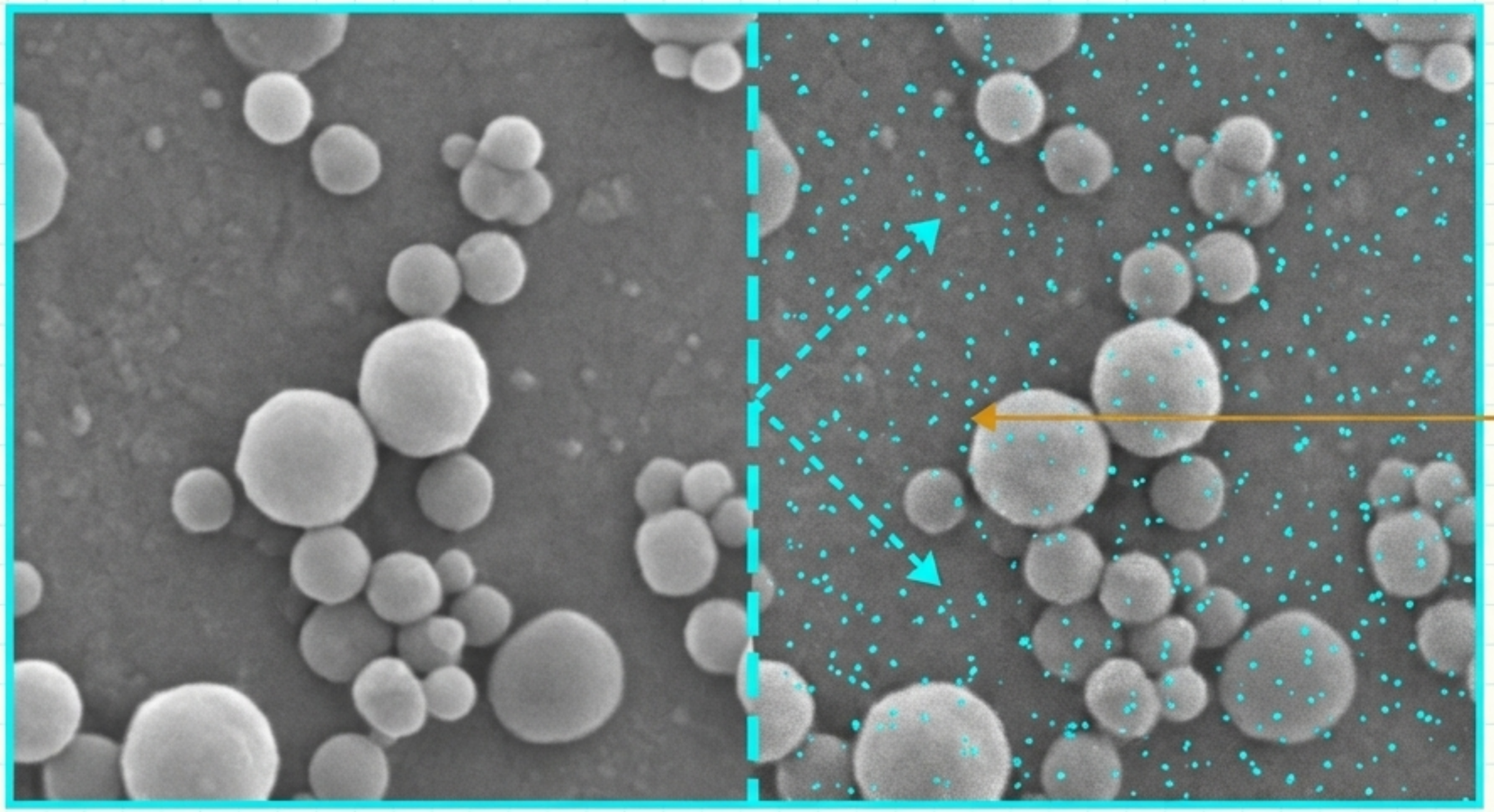
الطول البكسلي: مقاس عبر أداة تحديد (مثال: 420 بكسل).

القيمة الفيزيائية المرجعية: النص المدون على شريط المقياس (مثال: 500 nm). (النظام يحولها آلياً إلى ميكرومتر).

NotebookLM

الفلترة المكانية: عزل الإشارة عن الضوضاء الرقمية

المدخل الثالث في موجه الأوامر هو (الحد الأدنى للقطر الحرج).

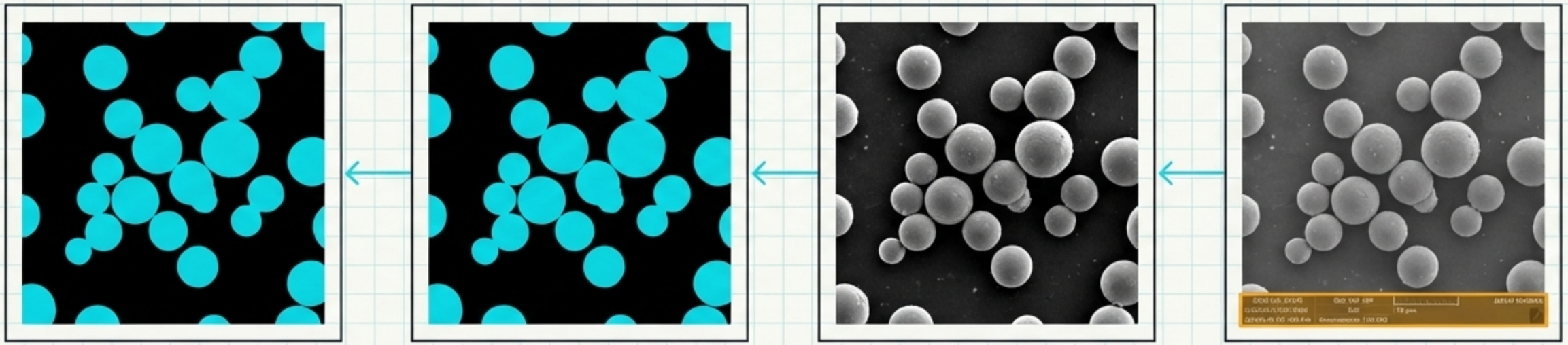


التقدير النظري لأصغر جسيم:
يُعمل كمرشح مكاني (Spatial Filter) لاستبعاد الخلفية والضوضاء الناتجة عن التصوير.
(مثال: استبعاد أي جسم يقل عن 50 nm).

NotebookLM

المعالجة الخوارزمية الصامتة

فور إدخال المتغيرات، تخضع الصورة لمعالجة آلية دقيقة تضمن نقاء البيانات قبل استخراج التقارير.



اقتصاص الشريط المعلوماتي

تعزيز التباين

العزل الهيكلي للجسيمات (Segmentation)

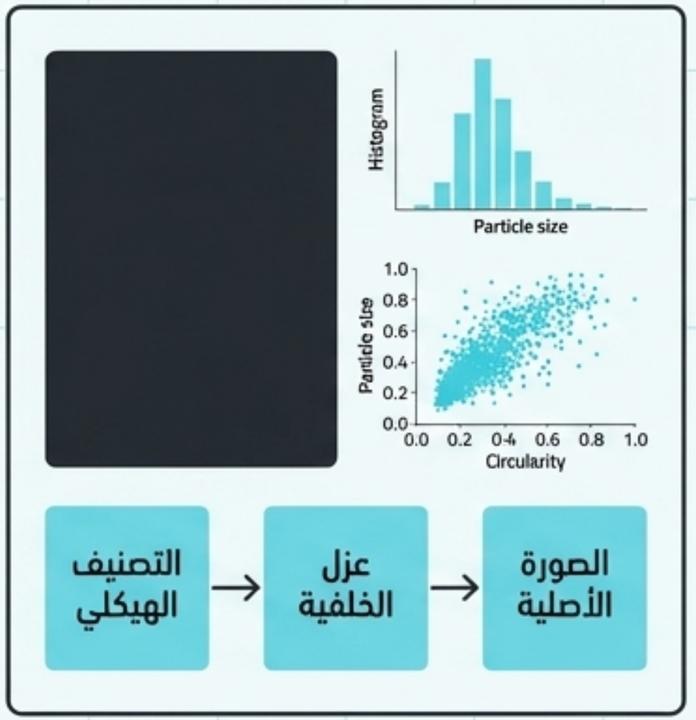
التصحيح المورفولوجي

NotebookLM

هيكلية المخرجات الثلاثية

```
[ANALYSIS COMPLETED]
----------------------
الحجم (القطر) :µm
المتوسط = 15.24
الانحراف المعياري = 3.12
D10 = 11.50
D50 = 15.10
D90 = 19.80
معامل التشتت (PDI) = 0.084
----------------------
إجمالي الجسيمات: 1250
```

التقرير الإحصائي الوصفي: مقاييس النزعة المركزية والتشتت للحجم (D90, D50, D10) ومعامل التشتت (PDI).



اللوحة البيانية البصرية (Visual Canvas): مراحل العزل، المدرج التكراري للتوزيع الحجمي، ومخطط التصنيف.

المعرف	القطر (µm)	المساحة (µm²)	الاستدارة	التصنيف
1	14.50	165.13	0.92	كروي
2	15.80	196.07	0.89	بيضاوي
3	13.20	136.85	0.95	كروي
4	16.10	203.58	0.91	كروي
5	12.70	126.68	0.94	كروي
...	...	...	...	...

CSV

جدول البيانات الخام (CSV): قياسات دقيقة لكل جسيم على حدة (يُستخرج من الشريط الجانبي في Colab).

NotebookLM

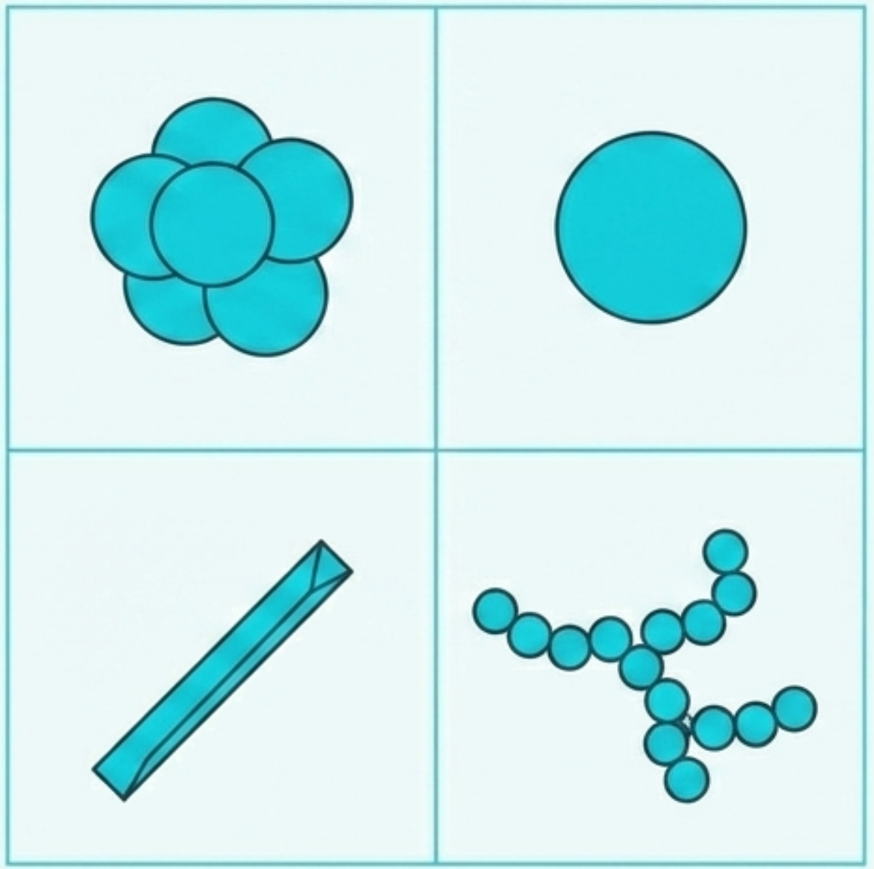
المصفوفة التشخيصية: التصنيف المورفولوجي (Class)

جسيم أولي (Primary Particle):
جسيم منتظم، يقترب من الشكل الكروي المستقل.

تكتل متراص (Compact Agglomerate):
اندماج جسيمات في كتلة شبه منتظمة ذات مسامية منخفضة.

تكتل متفرع (Branched Agglomerate):
عناقيد وسلاسل عشوائية ناتجة عن التلبد القوي.

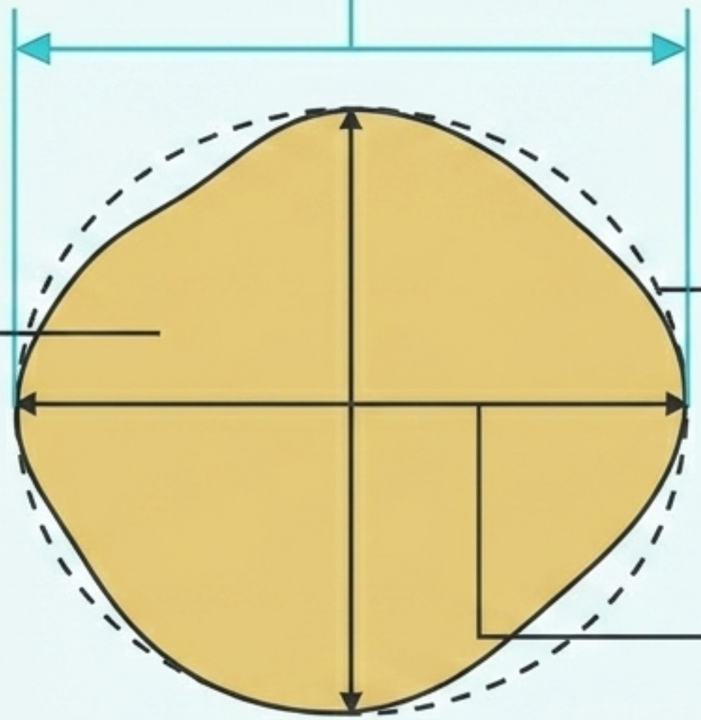
شوائب/أسلاك (Artifact/Wire):
أشكال عصوية أو شاذة تُستبعد خوارزمياً من التوزيع الحجمي.



NotebookLM

التشريح الهندسي للجسيم النانوي (دليل CSV)

(قطر فيريت): Feret Diameter
القطر الفرجاري - المسافة القصوى بين خطين متوازيين يماسان الحواف الخارجية. المعيار الذهبي للجسيمات غير الكروية.



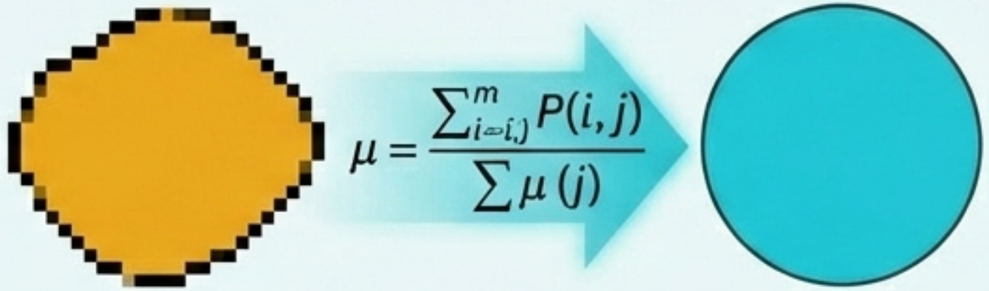
(القطر المكافئ): Eq Diameter
قطر دائرة افتراضية تمتلك مساحة مطابقة لمساحة الجسيم المقاس.

(المساحة المقطعية): Area
المساحة المسقطة للجسيم للجسيم (μm^2).

Aspect Ratio (نسبة الاستطالة):
المحور الطولي مقابل العرضي (تقترب من 1 للكروية، وتتجاوز 5 للأسلاك).

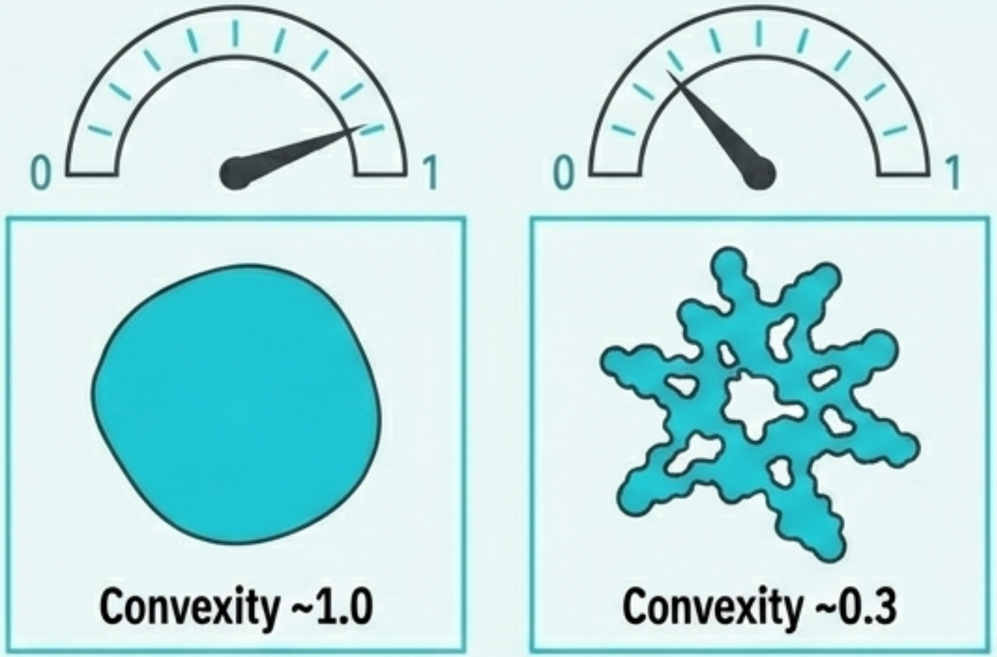
NotebookLM

مؤشرات السلامة الهيكلية المتقدمة



Pixelated
(Haralick Factor Correction)

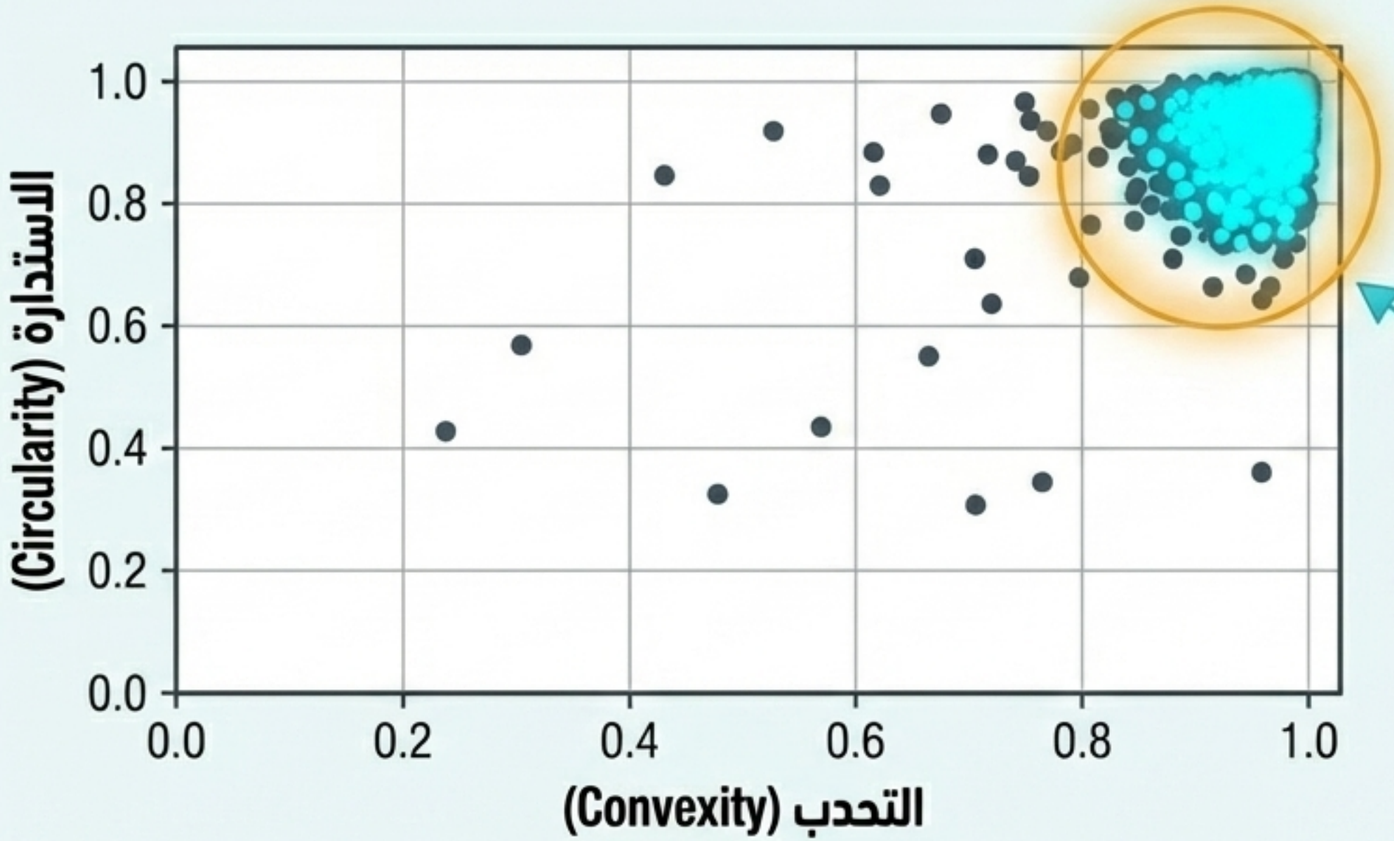
الاستدارة المصححة (Circularity_corrected):
مؤشر (0 إلى 1) يعبر عن التطابق مع الدائرة المثالية.
تستخدم الأداة معامل (Haralick) لتصحيح تشوهات الحواف (Pixelation) الناتجة عن دقة التصوير.



التحدب المورفولوجي (Convexity):
مؤشر (0 إلى 1) يعكس كثافة بنية الجسيم وخلوه من الفجوات الغائرة.
(التكتلات المتفرعة تمتلك قيماً منخفضة).

NotebookLM

الرؤية التحليلية: مخطط التشتت ثنائي الأبعاد



إثبات إحصائي قوي لمدى كفاءة عملية التشتيت (Dispersion) ومنع التلبد (Flocculation) في العينات الكيميائية.

The Holy Grail
التشتيت المثالي

التمركز العالي للجسيمات في الربع العلوي الأيمن (اقتراب الاستدارة والتحدب من القيمة 1) يثبت معملياً نجاح تشتيت العينة الكيميائية وخلوها من التكتلات.

NotebookLM

المنهجية المعتمدة لصياغة الأوراق العلمية

المدرجات التكرارية:
يُوصى منهجياً باعتماد متغير قطر فريت (Feret_Diameter) (Feret_Diameter_um) كمعيار رئيسي عند رسم المدرجات التكرارية للتوزيع الحجمي.

إثبات التشتيت:
استخدام تحليل التشتت ثنائي الأبعاد (الاستدارة مقابل التحدب) كدليل قاطع لدعم جودة تحضير العينة الكيميائية.

الشفافية المنهجية:
الإشارة إلى استخدام معالجة بايثون ومعامل Haralick في قسم 'المواد وطرق البحث'[2] لتعزيز رصانة القياسات المورفولوجية.

NotebookLM