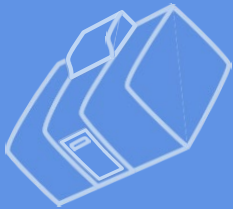
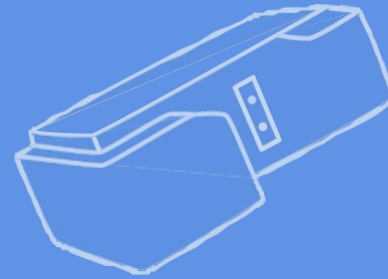


Yeni başlayanlar için

# Partikül Analizi Rehberi





## ÖNSÖZ

Partikül analizinin büyüleyici dünyasına hoş geldiniz! Bu alanın dünyasında, çok sayıda terim ve kavram genellikle kullanıcıları şaşırtarak kafa karışıklığına ve hayal kırıklığına yol açar. Korkmayın! Bu mini el kitabında, partikül analizinin etrafındaki gizemleri çözmek için kısa ve aydınlatıcı bir rehber sunuyoruz.

Bu sayfalar içinde, nanoskaladan mikroskalaya kadar uzanan altı önemli konu üzerinden bir yolculuğa çıkıyoruz. Burada, en yaygın kullanılan parametreleri derinlemesine inceliyoruz ve bunları net ve açıklayıcı bilgilerle destekliyoruz. Misyonumuz, size partikül analizi hakkında temel bir anlayış kazandırmak ve karmaşık kavramları zahmetsizce anlaşılır hale getirmektir.

Her zaman popüler olan lazer kırınımından dinamik ışık saçılması, dinamik ve statik görüntü analizi ve ışık engelleme gibi en son tekniklere kadar hiçbir detayı atlamıyoruz. Amacımız, test raporlarını çözümlmek ve ölçüm prosedürlerinin karmaşıklıklarını anlamak için ihtiyaç duyduğunuz bilgiyi sağlamaktır.

Bu el kitabı, partikül analizinin engellerini aşmak isteyen cihaz kullanıcıları için hazırlanmıştır. İster deneyimli bir uzman olun, ister bu alanda hevesli bir yeni başlayan, umarız bu kaynak, bu aydınlatıcı yolculukta güvenilir bir arkadaşınız olur.

Bu sayfalardaki içgörülerini kucaklayın ve partikül analizi dünyasının önünüzde açılmasına izin verin. Bu heyecan verici maceraya birlikte çıkalım!

# İÇERİK TABLOSU

## Bölüm A. Partikül Analizinin Temel Kavramları

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 01. Partikül nedir? .....                                                              | 13 |
| 02. Partiküller boyutlarına göre nasıl ayırt edilir? .....                             | 14 |
| 03. Partikül boyutu dağılımı nedir? .....                                              | 16 |
| 04. Partikül boyutu dağılımı nasıl tanımlanır? .....                                   | 17 |
| 05. Farklı dağılım türleri arasındaki farklar nelerdir? .....                          | 18 |
| 06. Eşdeğer küresel çap nedir? .....                                                   | 19 |
| 07. Neden eşdeğer küresel çap kullanıyoruz? .....                                      | 21 |
| 08. Aritmetik ortalama, medyan ve mod nasıl belirlenir? .....                          | 22 |
| 09. D50 nedir? .....                                                                   | 24 |
| 10. D[4,3] ve D[3,2] nedir? .....                                                      | 25 |
| 11. Partikül boyutu analizi için hangi yöntemler kullanılabilir? .....                 | 27 |
| 12. Farklı partikül boyutlandırma yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları .....    | 28 |
| 13. Frekans ve kümülatif dağılımlar nedir? .....                                       | 32 |
| 14. Tekrarlanabilirliği nasıl hesaplarız? .....                                        | 33 |
| 15. Tekrarlanabilirlik neden bu kadar önemlidir? .....                                 | 34 |
| 16. Yeniden üretilebilirlik nedir? .....                                               | 35 |
| 17. Yeniden üretilebilirlik neden bu kadar önemlidir? .....                            | 36 |
| 18. Tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik arasındaki farklar nelerdir? .....   | 37 |
| 19. Tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirliği etkileyen faktörler nelerdir? ..... | 38 |
| 20. Tekrarlanabilirlikte kabul edilebilir hata aralıkları nelerdir? .....              | 39 |
| 21. Doğruluk nedir ve nasıl hesaplarız? .....                                          | 40 |
| 22. Sertifikalı referans malzemesi (CRM) nedir? .....                                  | 41 |
| 23. Çalışma standardı nedir? .....                                                     | 42 |
| 24. Mesh ve mikron arasındaki ilişki nedir? .....                                      | 43 |

### BÖLÜM A

P12

Partikül Analizinin Temel Kavramları

### BÖLÜM B

P44

Lazer Kırınımı ile Partikül Boyutu Analizi

### BÖLÜM C

P74

NanoPartikül Boyutu ve Zeta Potansiyel Analizi

### BÖLÜM D

P12

Statik ve Dinamik Görüntü Analizi

### BÖLÜM E

P101

Toz Karakterizasyonu

### BÖLÜM F

P115

Optik Partikül Sayımı ve Boyutlandırması



## Bölüm B. Lazer Kırınımı Partikül Boyutu Analizi

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 25. Mie saçılma teorisi ve Fraunhofer kırınım teorisi nedir? .....                           | 45 |
| 26. Lazer kırınımı Partikül boyutu ile ölçüm nasıl yapılır? analizörü? .....                 | 46 |
| 27. Hangi malzemeler lazer kırınımı Partikül boyutu ile analiz edilebilir? analizörü? .....  | 48 |
| 28. Numune alma için kaç yöntem vardır? .....                                                | 49 |
| 29. Islak yöntem kullanıldığında Partiküller nasıl dağıtılır? .....                          | 50 |
| 30. Kuru yöntem kullanıldığında Partiküller nasıl dağıtılır? .....                           | 51 |
| 31. Gizlenme nedir? .....                                                                    | 52 |
| 32. Uygun bir gizlenme aralığı nasıl seçilir? .....                                          | 53 |
| 33. Arka plan sinyali nedir? .....                                                           | 54 |
| 34. Arka planı etkileyen faktörler nelerdir? .....                                           | 55 |
| 35. Yarı iletken lazerin avantajları ve dezavantajları nelerdir? .....                       | 56 |
| 36. Helyum-neon lazerin avantajları ve dezavantajları nelerdir? .....                        | 57 |
| 37. Kırılma indisi ve absorpsiyon katsayısı nedir? .....                                     | 58 |
| 38. Kırılma indisinin lazer kırınımı Partikül boyutu üzerindeki etkisi nedir? analizi? ..... | 59 |
| 39. Farklı analiz modları arasındaki farklar nelerdir? .....                                 | 60 |
| 40. Yaygın olarak kullanılan ortamlar ve gereksinimler nelerdir? .....                       | 61 |
| 41. Lazer kırınımı için kullanılan suyun gereksinimleri nelerdir? .....                      | 62 |
| 42. Çözünürlük nedir ve nasıl doğrulanır? .....                                              | 63 |
| 43. Çözünürlüğü etkileyen faktörler nelerdir? .....                                          | 64 |
| 44. Neodimyum mknatis tozu ölçerken nelere dikkat etmeliyiz? .....                           | 65 |

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 45. Yüzey aktif madde nedir? .....                                                                                         | 66 |
| 46. Çevrimiçi Partikül boyutu analizörü nedir? .....                                                                       | 67 |
| 47. Çevrimiçi, hat içi, hat üzeri ve çevrimdışı analizler arasındaki farklar nelerdir? .....                               | 68 |
| 48. Çevrimiçi Partikül boyutu analizörleri ile laboratuvar Partikül boyutu analizörleri arasındaki farklar nelerdir? ..... | 70 |
| 49. Çevrimiçi Partikül boyutu analizöründeki merceği, kuru yöntem kullanırken nasıl koruruz? .....                         | 71 |
| 50. Sprey Partikül boyutu analizörü nedir? .....                                                                           | 72 |
| 51. Sprey Partikül boyutu analizörü genellikle ne için kullanılır? .....                                                   | 73 |

## Bölüm C. NanoPartikül Boyutu ve Zeta Potansiyeli Analizi

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 52. Brown hareketi nedir? .....                                | 75 |
| 53. Dinamik ışık saçılması (DLS) nedir? .....                  | 76 |
| 54. DLS geri saçılma tekniği nedir? .....                      | 77 |
| 55. Z-ortalama ve polidispersite indeksi (PDI) nedir? .....    | 79 |
| 56. Zeta potansiyeli nedir? .....                              | 81 |
| 57. Elektroforetik ışık saçılması (ELS) nedir? .....           | 82 |
| 58. Faz analizi ışık saçılması (PALS) nedir? .....             | 84 |
| 59. Moleküler ağırlık nedir ve neden bu kadar önemlidir? ..... | 85 |
| 60. Statik ışık saçılması (SLS) nedir? .....                   | 86 |

## Bölüm D. Statik ve Dinamik Görüntü Analizi

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 61. Partikül görüntü analizi nedir?.....                                                                                            | 88  |
| 62. Partikül şekli neden bu kadar önemlidir? .....                                                                                  | 89  |
| 63. Statik ve dinamik görüntü analizi nedir? .....                                                                                  | 90  |
| 64. Statik görüntü analizinin avantajları nelerdir? .....                                                                           | 91  |
| 65. Dinamik görüntü analizinin avantajları nelerdir? .....                                                                          | 92  |
| 66. Görüntü ikileştirmesi nedir? .....                                                                                              | 93  |
| 67. Kalibrasyon katsayısı nedir? .....                                                                                              | 94  |
| 68. Dinamik görüntü analizinde neden koruyucu sıvı kullanılır?<br>ıslak yöntem? .....                                               | 96  |
| 69. Bir parçacığın projeksiyon alanını ve konturunu nasıl hesaplayabiliriz? .....                                                   | 97  |
| 70. Panoramik mod nedir?.....                                                                                                       | 98  |
| 71. Partikülleri görüntü analizi ile nasıl karakterize edebiliriz? .....                                                            | 99  |
| 72. Görüntü analizi ve lazer kırınımı Partikül boyutu analizi ile elde edilen ölçüm sonuçları<br>arasındaki farklar nelerdir? ..... | 100 |

## Bölüm E. Toz Karakterizasyonu

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 73. Toz karakterizasyonu nedir? .....                                      | 102 |
| 74. Hacim ve sıkıştırılmış yoğunluk nedir ve nasıl ölçülür? .....          | 103 |
| 75. Sıkıştırılabilirlik ve Hausner oranı nedir? .....                      | 104 |
| 76. Bir tozun gerçek ve iskelet yoğunlukları nedir ve nasıl ölçülür? ..... | 105 |
| 77. Dinlenme açısı, düşme açısı ve fark açısı nedir?.....                  | 106 |

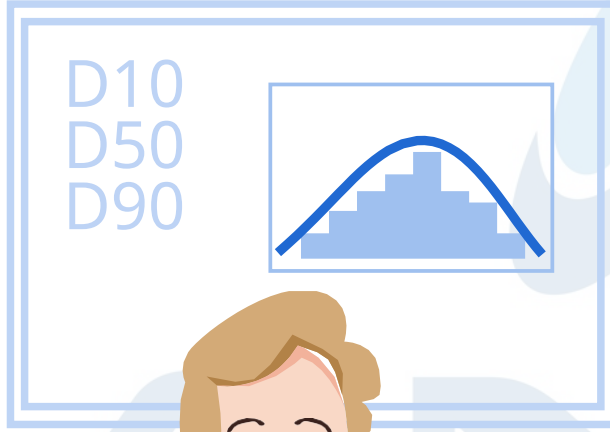
|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 78. Dinlenme açısını nasıl ölçeriz? .....              | 107 |
| 79. İç sürtünme açısını nasıl ölçeriz? .....           | 109 |
| 80. Spatula açısı nedir? .....                         | 110 |
| 81. Akışkanlık nedir? .....                            | 111 |
| 82. Tozun hangi özellikleri akışkanlığı etkiler? ..... | 113 |
| 83. Su basma kapasitesi nedir?.....                    | 114 |

## Bölüm F. Optik Partikül Sayımı ve Boyutlandırma

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 84. Optik Partikül sayacı nedir? .....                                                                                  | 116 |
| 85. Işık soğurması ve ışık saçılması tekniklerinin birleşiminin avantajları nelerdir?.....                              | 117 |
| 86. Partikül sayısını nasıl hesaplayabiliriz ve Partikül boyutunu nasıl ölçeriz<br>bir optik Partikül sayacı ile? ..... | 118 |
| 87. Düz üst lazer ışını nedir? .....                                                                                    | 120 |
| 88. Düz üst lazer ışınının avantajları nelerdir? .....                                                                  | 121 |
| 89. Optik Partikül sayımı ve boyutlandırma için lazer ışını şekillendirme gerekli midir? .....                          | 122 |
| 90. Numune akış hızının ölçüm üzerindeki etkisi nedir? doğruluk?.....                                                   | 124 |
| 91. Işık soğurması ve lazer kırınımı teknikleri arasındaki farklar nelerdir?.....                                       | 125 |
| 92. Optik Partikül sayacı en çok hangi alanda uygulanır? .....                                                          | 126 |
| 93. Yüksek viskoziteli numuneleri optik Partikül sayacı ile nasıl ölçeriz? .....                                        | 127 |



## Partikül Analizinin Temeli



### 01

#### PARTİKÜL NEDİR?

Partikül (eski metinlerde “korpusül” olarak da geçer), büyük ya da küçük, mikroskopik veya daha küçük ölçekte bir bütünün küçük ve ayırık bir parçası olarak tanımlanır. Bir parçacık fizikçisi, bir nötron, proton veya elektronu parçacık olarak kabul eder; hatta kuarklar ya da leptonlar gibi daha küçük bileşenlere baktığında daha küçük varlıkları da parçacık olarak değerlendirir. Fiziksel bilimlerde, partikül; hacim, yoğunluk veya kütle gibi fiziksel veya fiziksel kimyasal özelliklerle tanımlanabilen küçük ve yerel bir nesnedir. Fizikte partikül, belirli bir şekle ve boyut aralığına sahip bir geometrik varlık olarak değerlendirilir.

Partiküller arasındaki boyut farkı, son derece küçük elektronlardan nanometrelere, mikronlara ve nihayetinde kaba tozlara kadar devasa bir boyuttadır. Makroskopik düzeyde her partikül katı olmak zorunda değildir. Örneğin havadaki su damlacıkları, sıvıda yağ damlacıkları ve gaz kabarcıkları da partikül olarak kabul edilir.

Ayrıca “partikül” ve “partikül madde (PM)” terimleri, çevre koruma alanında sıklıkla kullanılır ve havada asılı duran partikülleri ifade ettiğini belirtmek gerekir.

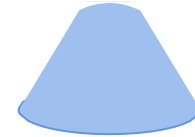
Geniş anlamda, boyuttan bahsederken, partiküler makroskopik, mikroskopik ve atom altı olarak sınıflandırılabilir. Makroskopik partiküller, çıplak gözle görülebilen en büyük partiküllerdir. Mikroskopik partiküller, onları görmek için en azından bir mikroskop gerektirecek kadar küçük parçacıklardır.



Elektronlar



Kabarcıklar



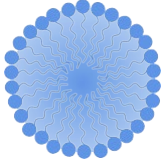
Toz



Damlacıklar

## 02

### PARTİKÜLLER BOYUTLARINA GÖRE NASIL AYIRT EDİLİR?



Micelle (Nanopartikül)



Silica sphere (Alt-mikron partikül)



Carbide (Mikropartikül)



Kömür partikülü ( Mikropartikül) \*Örnektir Gerçek boyut temsil etmez

Boyutlarına göre partikülleri ayırt etmeye dayanan daha doğru bir tanım şu şekildedir:

İlk grup, boyutları 1nm'den küçük olan partikülleri içerir ve bu kategoriye örnek olarak boyutları 0.3nm ile 3Å arasında değişen su molekülleri verilebilir.

Sonraki grup, genellikle 1 ile 100nm boyut aralığındaki nanomalzemelerdir, doğada bulunan demir oksit, demir sülfür, gümüş ve altın gibi örnekler verilebilir. Ayrıca, üretilmiş nanopartiküller de vardır, bunlar şu alanlarda kullanılmaktadır: çizilmeye dayanıklı gözlük camları, yoğun pigmentler, çatlamaya dirençli boyalar, demir dekstran enjeksiyonları, kendi kendini temizleyen camlar, ısıya duyarlı polimerler, güneş hücreleri için seramik kaplamalar ve monoklonal antikorlarla kaplanmış nanopartiküller.

Alt mikron (submikron) partiküllerin boyut aralığı 0.1 ile 1µm arasındadır. Bu grup; deniz suyundaki çeşitli türdeki partikül maddeleri, ultra ince killer, pigmentler ve ince kalsiyum karbonatları içerir.

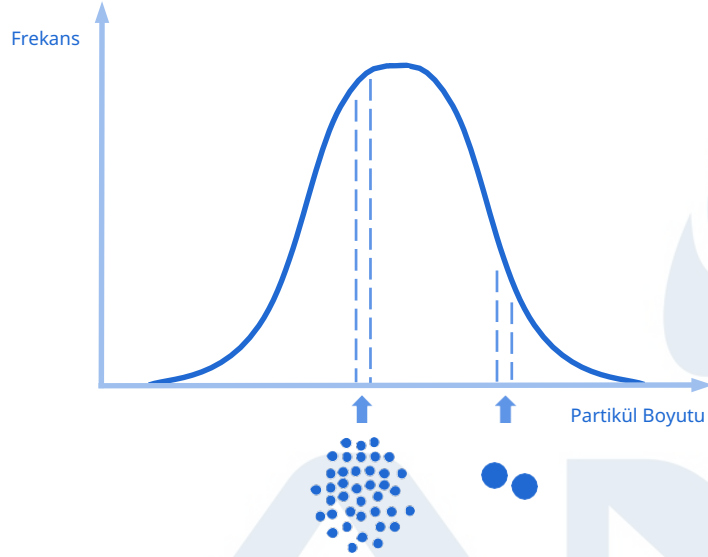
En büyük grup, boyutları 1 ile 100µm arasında değişen mikropartikülleri içerir; bunlar arasında mineraller, çimento, farmasötik ürünler (ilaçlar), boyalar, tonerler, pil bileşenleri ve 3D baskı malzemeleri bulunmaktadır.

Kaba partiküller, alçı, dolgu maddeleri, şeker, kahve ve mikrokristalin selüloz gibi maddeleri içerir. Boyutları 100 ile 1000µm arasındadır.

Son olarak, ince partiküllerin aglomerasyonu olarak kabul edilebilecek granüller vardır; bunlar arasında farmasötik granülleri, ekstrüde plastikler, pirinç ve gübreler bulunur. Granüllerin boyutları genellikle 1000µm'den büyüktür.

## 03

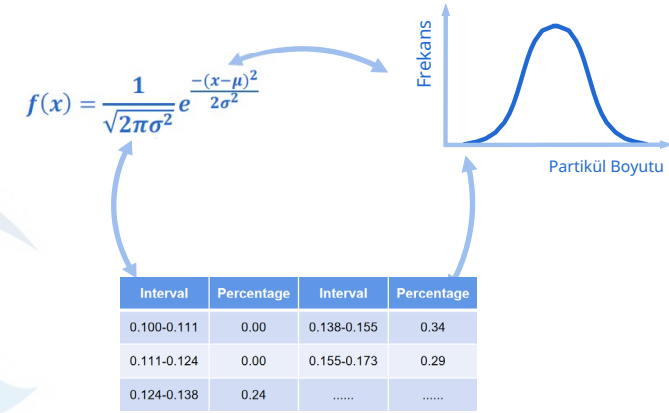
### PARTİKÜL BOYUT DAĞILIMI NEDİR?



Partikül boyut dağılımı, farklı partikül boyut aralıklarındaki partiküllerin oranlarını tanımlar ve bu dağılım; grafik, histogram ya da tablo gibi çeşitli biçimlerde sunulabilir. Partikül boyut dağılımı; sayı dağılımı, alan dağılımı ve hacim dağılımı gibi farklı dağılım türlerine dayalı olarak gösterilebilir. Partikül boyut dağılımı, akışkanlık, yüzey alanı, taşınabilirlik, çıkarma (ekstraksiyon) ve çözünme davranışı, reaktivite, aşındırıcılık ve hatta tat gibi ürünlerin özelliklerini etkileyen istatistiksel bir kavramdır.

## 04

### PARTİKÜL BOYUT DAĞILIMI NASIL TANIMLANIR ?



Genellikle, partikül boyut dağılımı aşağıdaki üç yöntemle gösterilebilir:

#### Fonksiyon

Partikül boyut dağılımı, normal dağılım fonksiyonu, log-normal dağılım fonksiyonu ve Rosin-Rammler (R-R) dağılım fonksiyonu gibi matematiksel fonksiyonlar biçiminde sunulmaktadır.

#### Grafik

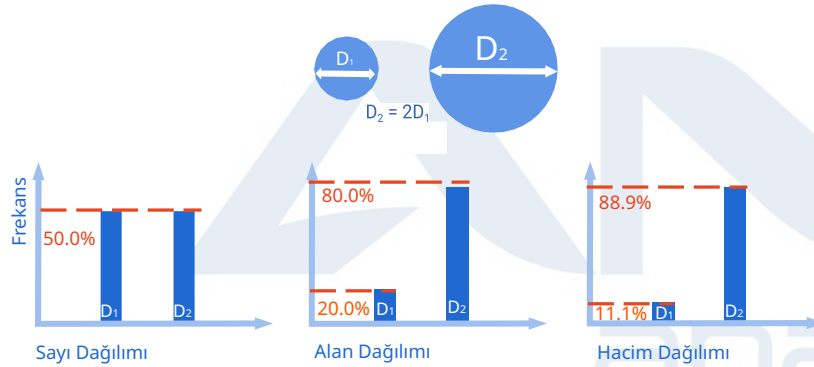
Kümülatif dağılım eğrisi, frekans dağılım eğrisi ve histogramlar, örneğin partikül boyutunun nasıl dağıldığını tanımlamak için yaygın olarak kullanılır.

#### Tablo

Yüzdelere ve bunlara karşılık gelen partikül boyut aralıkları tabloda listelenmiştir ve bu partikül boyut dağılımına hızlı ve sezgisel erişim sağlar. Kümülatif dağılım tablosu ve frekans dağılım tablosu da bu kapsamda yer alır. Tablo, partikül boyut dağılımını göstermek için en yaygın kullanılan biçimdir.

## FARKLI DAĞILIM TÜRLERİ ARASINDA FARKLILIKLAR NELERDİR?

Partikül boyut dağılımı, üç farklı şekilde gösterilebilir ve bunlara dağılım türleri denir. Lazer difraksiyon partikül boyut analizi için en yaygın kullanılan dağılım türü hacim dağılımıdır, çünkü ölçülen hacimdir. Ölçüm teknolojisi kullanılan dağılım türünü kısıtlar. Örneğin, partikül projeksiyonlarının tanımlandığı ve projeksiyon alanlarının hesaplandığı görüntü analizinde alan dağılımı elde edilirken, lazer kırınım partikül boyut analiz cihazının aldığı sinyal, partikülün hacmini yansıtır. Dağılım türleri farklı olduğunda, sonuçlar büyük ölçüde değişir. İki partikül olduğunu varsayalım ve bu iki partikül eşit sayıda bulunsun. Çapları  $D_1 = 1\mu m$  ve  $D_2 = 2\mu m$  olup, bu 2'ye 1 çap oranını verir. O zaman hangi dağılım türünün kullanıldığına bağlı olarak sonuçlar aşağıda gösterildiği gibi farklılık gösterecektir.

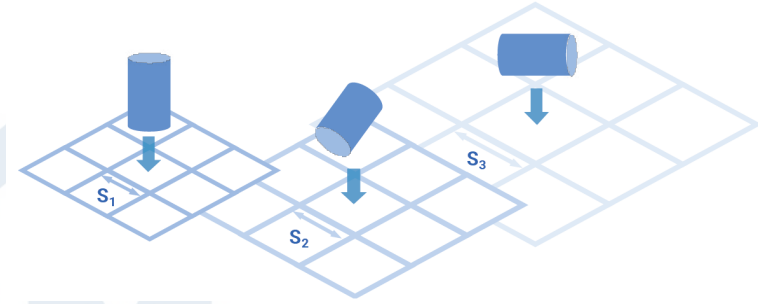


Çap oranı 2'den 1'e, 3'ten 1'e çıktıkça, sayı dağılımı %50/%50 sabit kalacakken, D1'in alan ve hacim dağılımlarındaki yüzdesi dramatik bir şekilde azalacaktır.

## EŞDEĞER KÜRESEL ÇAP NEDİR?

Çoğu durumda ölçülen partiküllerin şekli düzensizdir. Bu durum, farklı ölçüm yöntemleri kullanıldığında elde edilen verilerin, istatistiklerin ve analizlerin birbiriyle tutarlı olmasını zorlaştırır. Sadece mükemmel derecede küresel, gözeneksiz, düzgün yüzeyle, elektriksel olarak nötr ve tek boyut dağılımına sahip partiküller, tüm tekniklerle benzer sonuçlar verir. Bu nedenle, eşdeğer küresel çap ilkesi tanıtılmıştır. Eşdeğer küresel çap, düzensiz şekilli bir partikülün fiziksel, optik veya elektriksel özellik bakımından aynı özelliğe sahip bir kürenin çapı olarak tanımlanır. Örnek olarak, bazı tipik eşdeğer küresel çaplar aşağıda gösterilmiştir.

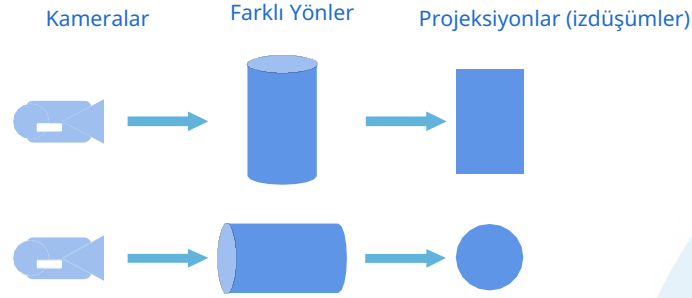
- **Elek (sieve)-eşdeğer çap:** Bir partikülün elekten geçebildiği küresel çap olarak tanımlanır. Yani, bu elek-eşdeğer çap, partikülün belirli bir elek göz açıklığından geçebilmesini sağlayan kürenin çapıdır. Eğer partikül mükemmel küresel ise bu çap ( $S_1$  çapı), elek-eşdeğer çapla aynıdır. Ancak, partiküller mükemmel küresel değilse, partikülün yönelimi elek-eşdeğer çapı üzerinde önemli ölçüde etkili olur. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere, düşme yönüne göre elek-eşdeğer çap değişiklik gösterebilir.



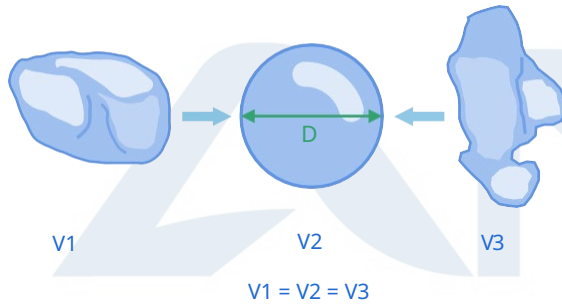
- **Alan-eşdeğer çap:** Bir parçacığın izdüşüm alanı ile aynı alana sahip bir kürenin çapı olarak tanımlanır. Alan-eşdeğer çapı, özellikle görüntü analizinde yaygın olarak kullanılır. Görüntü analizinde partiküller rastgele yönelimlerde yakalandığı için, aynı partikül farklı ölçümlerde farklı alan-eşdeğer çaplara sahip olabilir.



Ancak, ölçümler çok sayıda partikül üzerinde yapıldığı ve sonuçlar ortalama alınarak değerlendirildiği için, bu rastlantısal hataların etkisi büyük ölçüde ortadan kalkar.



● **Hacim-eşdeğer çap:** Lazer kırınım (difraksiyon) teknolojisine dayanan partikül boyutu analizlerinde, genellikle partikül boyutu dağılımını sunmak için hacim-eşdeğer çapı kullanılır. Daha doğru bir tanım olan "lazer difraksiyon eşdeğer çapı", örnek partiküller lazer ışığıyla aydınlatıldığında oluşan saçılma desenine göre hesaplanır. Genellikle "hacim-eşdeğer çap" ve "lazer kırınım eşdeğer çapı" terimleri birbirinin yerine kullanılır. Her iki terim de, saçılma desenine dayanarak hesaplanan eşdeğer çapı ifade eder.



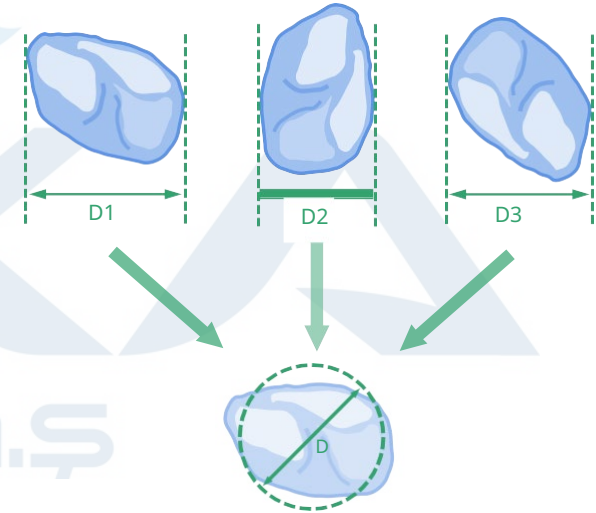
D: İki farklı partikülün hacim-eşdeğer çapı

● **Stokes çapı:** Bir partikülün Stokes çapı, yoğunluğu ve çökme hızı partikülünkiyle aynı olan bir kürenin çapıdır. Stokes çapı, "eşdeğer küresel çökme çapı" olarak da adlandırılır. Gravitasyonel (yerçekimiyle) ve santrifüj (merkezkaç kuvveti ile) çöktürme temelinde yapılan partikül boyutu analizinde, Stokes çapı kullanılarak elde edilen ölçüm sonuçları tercih edilmektedir. Gravitasyonel (yerçekimiyle) veya santrifüjlü (merkezkaç kuvvetle) çökelmeye dayalı partikül boyutu analizlerinde, Stokes çapı esas alınarak elde edilen ölçüm sonuçları tercih edilmektedir.

## 07

### NEDEN EŞDEĞER KÜRESEL ÇAP KULLANIYORUZ?

Mükemmel küreler için çap, boyutlarını tanımlamak için doğrudan kullanılabilir. Gerçek dünyadaki partiküller, düzensizlikleri ile karakterize edilir ve bu da geçerli bir şekilde kullanılacak ancak bazı zorluklarla karşılaşılabilecek birkaç farklı boyut tanımına yol açar. Eşdeğer küresel çap, farklı tekniklerle elde edilen sonuçların uyumlu hâle getirilmesi ve karşılaştırmaların kolaylaştırılarak tek bir referansla sunulabilmesi amacıyla geçerli bir temel olarak geliştirilmiştir. Aşağıda gösterilen D, eşdeğer küresel çaptır. Bu çap, lazerle etkileşim sırasında ölçülen en büyük ya da en küçük çap olmak zorunda değildir; bunun yerine, partikülün lazer ışınına göre tüm yönelimlerinin ortalaması alınarak elde edilen çap olabilir.



## ORTALAMA, MEDYAN VE MOD NASIL BELİRLENİR?

Medyan, en küçük değerden en büyük değere doğru sıralanan bir değerler listesindeki orta değerdir.

Mod, değerler listesinde en sık görülen-tekrarlanan değerdir.

Ortalama (aritmetik ortalama), listedeki değerlerin toplanması ve değerlerin toplamının listedeki değer sayısına bölünmesiyle hesaplanır. Bu en iyi şekilde aşağıdaki formülü ile açıklanmaktadır:

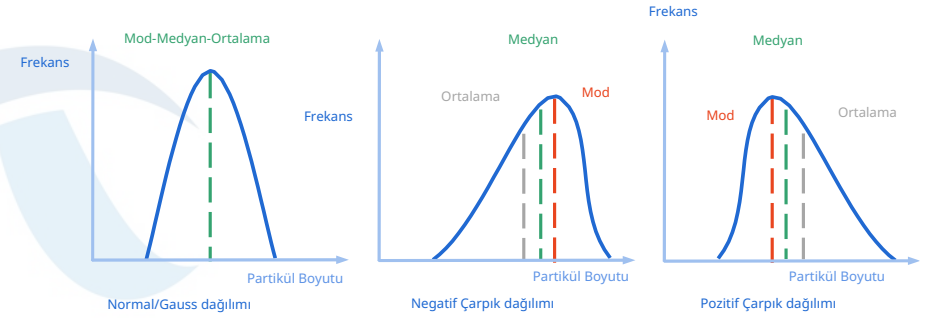
Ortalama ( $\bar{x}$ ),  $x_1, x_2, \dots, x_n$  gibi bir dizi değer, toplamının  $n$  (değer sayısı) ile bölünmesiyle tanımlanır:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

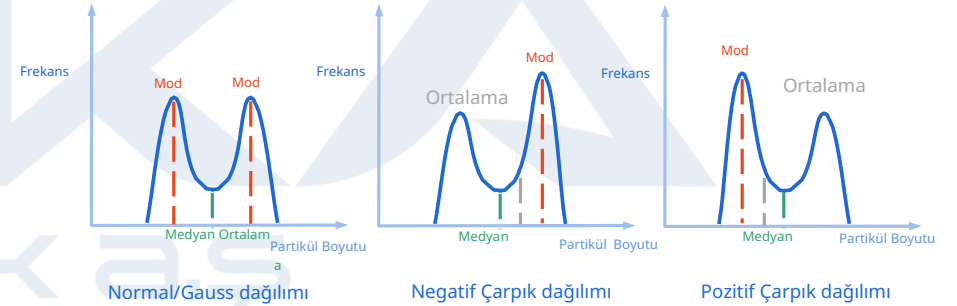
Aşağıda gösterilen normal/Gauss dağılımından, ortalama, medyan ve modun, hepsinin aynı değere sahip olduğu görülebilir. Ayrıca, bir normal/Gauss dağılımında, ortalamaya yakın değerler, ortalamadan uzak değerlere göre daha sık görülür. Yani:

ortalama değer = medyan değer = mod değeri = D50 değeri = %50 değeri.

Negatif ve pozitif çarpıklığa (skewness) sahip dağılımlarda, mod ve ortalama değerleri medyandan farklılık gösterir.



Aşağıda, çift tepe (bimodal) dağılım için normal/Gauss dağılımı ile negatif ve pozitif çarpıklık gösteren dağılımlar gösterilmiştir.



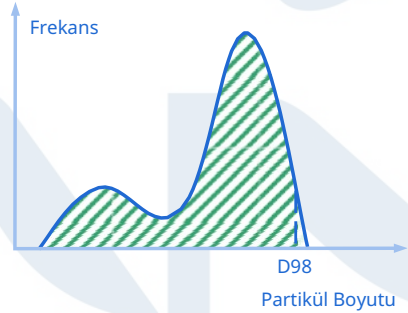
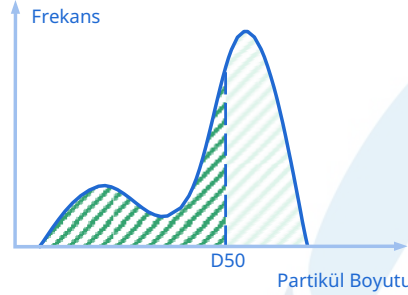


## 09

### D50 NEDİR?

Bir Partikül boyutu dağılımının D50'si, %50'lük kümülatif frekansa karşılık gelen partikül boyutunu ifade eder. D50, tozun kalitesini değerlendirmek için tipik bir parametredir. Örneğin, bir örneğin D50'si hacim dağılımına göre 5µm ise, bu, 5µm'den küçük partiküllerin hacminin toplam örnek hacminin %50'sini oluşturduğu anlamına gelir ve benzer şekilde, 5µm'den büyük partiküllerin hacmi de %50'dir. D50, matematiksel istatistikte medyan olarak adlandırdığımız şey olarak tanınacaktır.

Benzer şekilde önemli parametreler olan D10 ve D90'ın tanımı da verilebilir. Bazı üretim endüstrileri, örneğin D98 ve D99 gibi belirli tipik değerlere odaklanır; bu değerler, örneğin kaba ucunu belirtmek için yaygın olarak kullanılır.



## 10

### D[4,3] VE D[3,2] NEDİR?

D[4,3] ve D[3,2], sırasıyla hacim ağırlıklı ve alan ağırlıklı ortalama sonuçlara dayanan partikül boyutlarının ortalama çaplarıdır. Farklı ortalama çaplar, farklı tekniklerle sonuçları karşılaştırmak için kullanılır. Örneğin, hacim bazlı lazer difraksiyon yönteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, D[4,3] hacim ağırlıklı ortalama sonucu tercih edilir. Ancak, bir görüntü analiz sisteminden kaynaklanan ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, D[3,2] alan ağırlıklı ortalama sonucu öncelik kazanır.

Farklı ağırlıklandırmalara dayanan ortalama çapın hesaplaması aşağıda gösterilmiştir:

$$D[a,b] = \frac{\sum n \cdot d^a}{\sum n \cdot d^b}$$

Sayı ağırlıklı ortalama çap: a=1, b=0

Alan ağırlıklı (Sauter) ortalama çap: a=3, b=2 Hacim ağırlıklı (De Brouckere) ortalama çap: a=4, b=3

Örneğin, çapları sırasıyla 1µm ve 10µm olan iki küre mevcuttur. Eğer sayı ağırlıklı ortalama çap gerekiyorsa, o zaman sayı ağırlıklı ortalama çap şudur:

$$D[1,0] = \frac{1 \times 1^1 + 1 \times 10^1}{1 \times 1^0 + 1 \times 10^0} = 5.5$$

## PARTİKÜL BOYUTU ANALİZİ İÇİN HANGİ YÖNTEMLER KULLANILABİLİR?

Bu durumda, ortalama çap sayıya göre ağırlıklandırılmış (number-weighted) nicel ilişkiyi yansıtır.

Diyelim sistemin ortalama çapının daha sistematik bir şekilde temsil edilmesi gerekiyor. Aşağıda gösterilen hacme göre ağırlıklandırılmış ortalama çap (volume-weighted mean diameter) kullanılmalıdır. Çünkü bu değer, büyük partiküllerin sistem hacminin %99,9'undan fazlasını kapladığını gösterir.

$$D[4,3] = \frac{1 \times 1^4 + 1 \times 10^4}{1 \times 1^3 + 1 \times 10^3} = 9.991$$

Partikül boyutunun belirlenmesinde en yaygın kullanılan teknikler şunlardır:

Lazer Kırınımı (LD - Laser Diffraction)  
Statik ve Dinamik Görüntü Analizi (SIA, DIA)  
Dinamik Işık Saçılması (Dynamic Light Scattering)

Partikül boyutu analizine yönelik diğer yaklaşımlar şunlardır:

Yerçekimi (gravitasyonel) Sedimentasyon ile Partikül Boyutu Analizi  
Elek Analizi  
Coulter Prensibi  
Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)  
Işık Engeleme (LO - Light Obscuration)  
Ultrasonik Sönümleme-Soğurma (Extinction)  
Uçuş Süresi (TOF - Time of Flight)  
Fisher Alt Elek Boyutlandırıcı (Fisher Sub-Sieve Sizer)

## FARKLI PARTİKÜL BOYUTU ANALİZİ YÖNTEMLERİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI NELERDİR?

|                         |                                                                                                                                                                           |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lazer kırınımı          | Avantajlar: kullanımı basit, hızlı analiz, geniş ölçüm aralığı, iyi tekrarlanabilirlik ve doğruluk, isteğe bağlı örnekleme yöntemleri (ıslak/kuru/çevrimiçi/düşük hacim). |
|                         | Dezavantajlar: Tepe noktaları birbirine yakın olan çift tepe (bimodal) dağılımlar için düşük çözünürlük, nanopartiküller için daha az uygun.                              |
| Statik görüntü analizi  | Avantajlar: morfoloji analizi, uygun maliyet , görüntüler nettir.                                                                                                         |
|                         | Dezavantajlar: küçük partiküller için uygun değil (<2µm), daha karmaşık kullanım, daha yavaş analiz hızı.                                                                 |
| Dinamik görüntü analizi | Avantajlar: morfoloji analizi, kullanımı basit, hızlı analiz, iyi tekrarlanabilirlik ve doğruluk, büyük partiküller için uygundur.                                        |
|                         | Dezavantajlar: küçük partiküller için uygun değil (<2µm), temsil edicilik örnek kalitesine bağlıdır.                                                                      |
| Dinamik ışık saçılması  | Avantajlar: geniş ölçüm aralığı, hızlı analiz, kullanımı basit, nanopartiküller için mükemmel.                                                                            |
|                         | Dezavantajlar: partikül boyutu dağılımı geniş olduğunda ölçüm hataları oluşabilir, sadece saydam numunelerde uygulanabilir                                                |

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yerçekimi sedimentasyonu     | Avantajlar: sürekli ölçüm yapılabilir, uygun maliyet, geniş ölçüm aralığı.                                                                                                                                                                       |
|                              | Dezavantajlar: uzun ölçüm süresi, küresel olmayan partiküllerin boyutunu küçültür, 1µm'den küçük partiküller için uygun değil.                                                                                                                   |
| Eleme                        | Avantajlar: kullanımı kolay, uygun maliyet.                                                                                                                                                                                                      |
|                              | Dezavantajlar: küçük partiküler için uygun değil (<38µm), ölçüm sonuçları operatör yöntemlerine bağlıdır, eleme delikleri zamanla bozulur, <100µm partiküler için uzun ölçüm süresi.                                                             |
| Coulter prensibi             | Avantajları: partikül sayımı sayesinde bimodal dağılımda piklerin daha yüksek çözünürlüğü, hızlı analiz, iyi tekrarlanabilirlik, hücre analizi için uygundur.                                                                                    |
|                              | Dezavantajlar: küçük ve geniş partikül boyutu dağılımına sahip partiküller için uygun değil, farklı boyutlardaki partiküllerin ölçümü için açıklığın (diyaframın) değiştirilmesi gerekir, bakımı basit değildir, düzenli kalibrasyon gerektirir. |
| Taramalı elektron mikroskobu | Avantajlar: ultra ince partiküller için yüksek doğrulukta ölçüm, yüzey dokusuna sahip partiküller için net görüntü, yüksek çözünürlük, nanopartikülleri karakterize etmek için standart bir teknik.                                              |
|                              | Dezavantajlar: temsil ediciliği düşüktür (az sayıda partikül analiz edilebilir), cihaz oldukça pahalıdır.                                                                                                                                        |
| Işık engelleme               | Avantajlar: partikül sayımı yapabilir, hızlı analiz, sıvı veya gazda düşük konsantrasyona sahip numune için ölçüm mümkündür.                                                                                                                     |
|                              | Dezavantajlar: küçük partiküller için uygun değil, numune tanıtımı karmaşıktır, düzenli kalibrasyon gerektirir.                                                                                                                                  |
| Ultrasonik sönümleme         | Avantajlar: Seyreltme gerektirmeden yoğun süspansiyonlarda ölçüm yapılabilir, online ölçüm de mevcuttur.                                                                                                                                         |
|                              | Dezavantajlar: geniş partikül boyutu dağılımına sahip parçacıklar için ölçüm hataları, cihaz maliyeti yüksektir                                                                                                                                  |

01

Lazer difraksiyon tekniği, çoğu endüstriyel uygulama için en güvenilir teknik olarak geniş çapta kabul edilmektedir. Ölçümler hızlı, tekrarlanabilir, doğru, yeniden üretilebilir ve hassastır. Hem düzensiz hem de düzenli şekilli partiküllerin boyutunu doğru bir şekilde ölçer.

Bir partikülün yoğunluğundan veya gözenekliliğinden etkilenmez. Islak, kuru veya spreyleri laboratuvar ortamında veya online olarak ölçülebilir. Lazer kırınım yöntemi, dinamik görüntü analiziyle entegre edilebilir; özellikle şekil olarak çubuk benzeri ya da yönelimden etkilenen partiküllerin analizinde önemli avantajlar sunar. Bu kombinasyon, parçacıkların lazer kaynağına göre farklı yönelimlerinin neden olabileceği ölçüm hatalarını azaltır ve daha doğru, temsil edici sonuçlar elde edilmesini sağlar.

02

Statik ve dinamik görüntü analizi, lensleri veya diğer bileşenleri değiştirmeye gerek kalmadan geniş bir boyut aralığını kapsayan partikül boyutunu ölçmek için kullanılan bir ölçüm tekniğidir. Dinamik görüntü analizinde, ıslak ve kuru numuneler, minimum insan müdahalesi ile otomatik olarak ölçülebilir, kullanımı kolaydır ve hızlı analiz, iyi tekrarlanabilirlik, yeniden üretilebilirlik ve doğruluk sağlar.

## Farklı Boyutlandırma

03

Dinamik ışık saçılması (DLS) tekniği, esasen mikrondan küçük partikülleri ölçmek için kullanılır. Ancak, boyutları 3µm'den büyük olan partiküller için DLS uygun değildir; çünkü Brown hareketi (rastgele termal hareketi) hızı çok düşüktür. Hatta öyle ki, aslında partiküllerin çökme hızı (sedimentasyon), Brown hareketi hızından daha yüksek olur.

04

Yer çekimi sedimentasyon partikül boyutu analizi, Stokes yasasına dayanan bir tekniktir ve uygulanabilir olduğu uygulamalar için çok popüler bir yöntem olmuştur. Partikül boyutunun hesaplanması için malzemenin yoğunluğu gereklidir. Bu nedenle, malzemenin çökmediği düşük yoğunluklu emülsiyonlar veya hızlı çöken çok yoğun malzemeler için bu yöntem uygun değildir. Boyutları 2µm'den küçük olan partiküller için bu teknik, baskın Brown hareketi nedeniyle sınırlıdır.

## Partikül Yöntemleri

05

Coulter prensibi, neredeyse mono-dağıtılmış süspansiyonlar olan kan hücrelerinin boyutlandırılması için geliştirilmiştir. Partikül sayısı ve hacim bazı partikül boyutu verilebilse de, farklı örnekler ölçülürken delikler (orifisler) değiştirilmelidir. Bu nedenle işlem zordur. Ayrıca, kalibrasyon düzenli olarak yapılmalıdır.

06

Işık engeleme, esasen ilaç laboratuvarları ve silikon çip üretim tesisleri gibi temiz oda tesislerinde küçük miktarlarda kontaminasyonu ölçmek için kullanılan bir partikül sayma yöntemidir. Uçak yakıtlarındaki kontaminasyon seviyesinin tespiti de önemli bir uygulamadır. Temelde, sürekli kalibrasyon gerektiren ve çoğu endüstriyel uygulama için uygun olmayan düşük konsantrasyon tespit tekniğidir.

07

Eleme (elek), farklı boyut aralıklarına sahip partikülleri ayırmak için kullanılan eski bir tekniktir, kullanımı kolay ve ucuzdur. Ancak, ölçüm sonucu büyük ölçüde insan hatalarından etkilenir.

08

Taramalı elektron mikroskobu, ayrıntılı örnek hazırlığı gerektirir ve yavaştır. Partiküllerin net görüntüleri sağlansa da, partiküller manuel olarak analiz edildiği için, aynı örnek üzerinde operatörden operatöre büyük değişkenlik olabilir, ve gözlem alanı büyük ölçüde değişir, bu da kötü temsil edilebilirliğe yol açar.

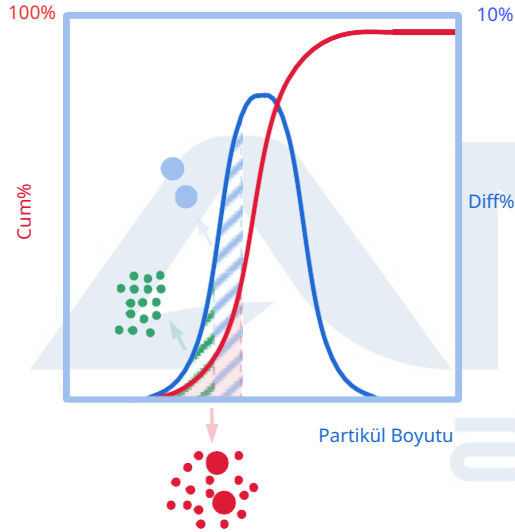
09

Ultrasonik sönümleme, esasen seyreltilmemiş (seyreltme gerektirmeyen) örneklerin tespiti için online bir sistemde kullanılır. Gerçekte, bazı uygulamalar için çalışabilir, ancak çok pahalıdır. Doğru çalışması için, bulunması zor ve bazen mevcut olmayan 13 farklı parametre ile ayarlanması gerekir.

# 13

## FREKANS VE KÜMÜLATİF DAĞILIMLAR NEDİR ?

**Frekans dağılımı**, aralık dağılımı veya diferansiyel dağılım olarak da bilinir. Bu, bir partikül boyutu bandındaki partiküllerin yüzdesini tanımlar; örneğin, 1 ile 2µm arasındaki partiküller gibi. **Kümülatif dağılım**, integral dağılım olarak da bilinir. Bu, belirli bir partikül boyutu değerinden daha büyük veya daha küçük olan partiküllerin yüzdesini tanımlar ve bu değer, aralık (frekans) dağılımlarının kümülatif (birikimli) toplanmasıyla hesaplanabilir. Aşağıdaki kırmızı eğri, sol eksene karşılık gelen kümülatif dağılım eğrisini temsil eder. Kırmızı alandaki partiküller, frekans dağılım eğrisinin altındaki yeşil ve mavi alanlardaki partiküllerle eşdeğerdir.



# 14

## TEKRARLANABİLİRLİĞİ NASIL HESAPLARIZ?

Lazer kırınımı partikül boyutu analizinde, tekrarlanabilirlik, aynı ölçüm koşulları altında kısa bir süre içinde aynı örneğin birden fazla ölçümü arasındaki ölçüm farkını ifade eder. Tekrarlanabilirlik aşağıdaki koşullarla karakterize edilir:

Ölçümler, aynı ölçüm prosedürü izlenerek, aynı ölçüm koşulları altında ve aynı yerde gerçekleştirilmelidir.

- Ölçümler, aynı operatör tarafından gerçekleştirilmelidir.
- Numune aynı olmalıdır.
- Ölçümler için kullanılan partikül boyutu cihazı aynı olmalıdır.
- Ölçüm, kısa bir süre içinde tekrarlanmalıdır.

D50 gibi her boyut kanalı için tekrarlanabilirliğin hesaplaması aşağıda gösterilmiştir:

$$\delta = \frac{\sigma}{x} = \frac{1}{x} \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{n - 1}}$$

burada n, ölçüm sayısını (genellikle  $n \geq 10$ ) ifade eder,  $x_i$  her bir bireysel ölçüm sonucudur,  $x$  ölçüm sonuçlarının ortalamasıdır,  $\delta$  standart sapmadır.

## 15

### TEKRARLANABİLİRLİK NEDEN BU KADAR ÖNEMLİDİR?

Birden fazla ölçümün tekrarlanabilirliği, bir partikül boyutu cihazının çalışma durumunu veya ölçüm prosedürünün geçerliliğini tanımlamak için kullanılan önemli bir göstergedir. İyi bir tekrarlanabilirlik, lazer kaynağı, dedektörler, sinyal iletim sistemi, kontrol sistemi, sirkülasyon ve dağıtım sistemi ile yazılım dahil olmak üzere tüm ölçüm sisteminin iyi bir çalışma durumunu gösterir. Ayrıca, örnek ölçümü için iyi bir ölçüm prosedürünün kullanıldığını da doğrulayabilir.

Diğer bir deyişle, cihazın çalışma durumu stabildir, çalışma ortamı cihazın çalışması için uygundur ve cihaz ölçüm için yeterlidir.

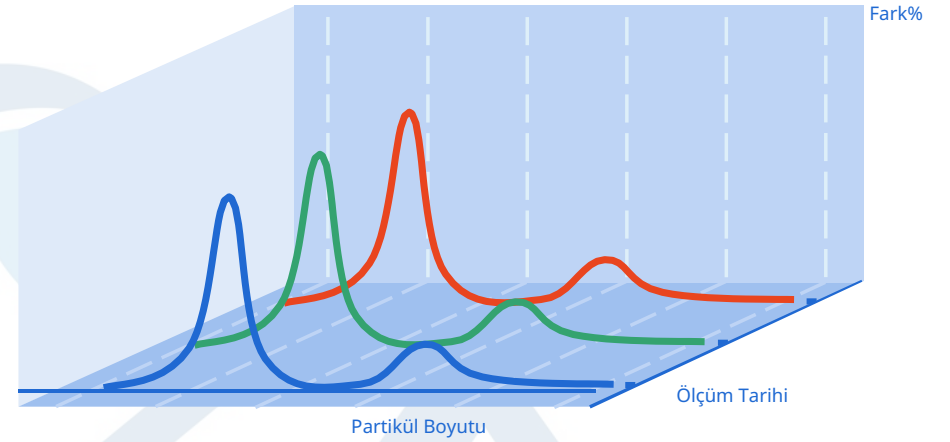
Tekrarlanabilirlik ideal değilse, bir sistem denetimi gereklidir. Yukarıda belirtilen bileşenlerin ve sistemlerin denetiminin yanı sıra, çalışma ortamının seçimi de önemlidir. Giriş voltajı, güneş ışığı, dış titreşim ve elektromanyetik parazit gibi çevresel faktörler, cihazın çalışma durumunu etkiler.

Sorunsuz bir çalışma için, cihazın kötü tekrarlanabilirliğe neden olabilecek yukarıda belirtilen dış faktörlerden izole edilmesi gerekir.

Ayrıca, ölçülecek örneğe uygun doğru bir ölçüm prosedürü benimsenmelidir; bu, doğru çözücüde (ıslak ölçüm) veya doğru basınçta (kuru ölçüm) olmalıdır. Dikkate alınması gereken diğer faktörler arasında karışım seçimi, yüzey aktif madde seçimi, ölçüm süresi, ultrasonikasyon süresi ve ultrasonikasyon gücü yer alır. Nanopartiküllerin ölçümü için, seçilen ortamdaki zeta potansiyellerinin dikkate alınması gerekir.

## 16

### YENİDEN ÜRETİLEBİLİRLİK NEDİR?



Yeniden üretilebilirlik, ölçümlerin tutarlılığını gösterir; burada örnek, ölçüm süresi, operatör, ölçüm yeri, ölçüm için kullanılan cihaz ve parti örnekleme gibi en az bir ölçüm koşulu değiştirildikten sonra ölçülecektir. Yeniden üretilebilirlik hesaplaması, tekrarlanabilirlik için kullanılanla aynıdır.



## YENİDEN ÜRETİLEBİLİRLİK NEDEN BU KADAR ÖNEMLİDİR?

Lazer kırınımı partikül boyutu analizi için, Üretilebilirlik testinin uygulanması şunlar için kullanılabilir:

Cihazın uzun vadeli çalışmasının stabilitesinin değerlendirilmesi.

Numune alma yönteminin stabilitesinin değerlendirilmesi.

İşlem adımlarının standartlaştırılmasının değerlendirilmesi.

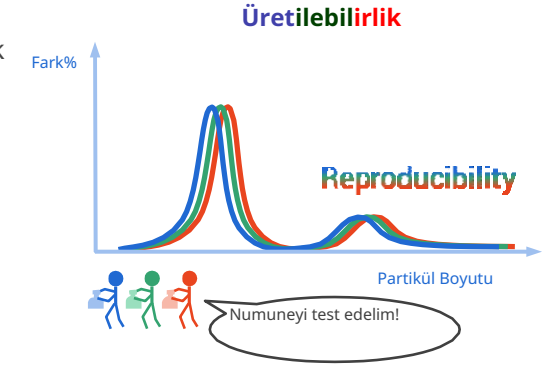
Ölçüm tutarlılığının değerlendirilmesi.

Çalışma ortamının ölçüm üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi. Üretilebilirlik testi, ölçüm sırasında değişmeyen nitelikli ve stabil referans malzemelerin kullanılmasını gerektirir. Bu referans malzemeler veya standartlar, normalde bilindiği gibi, belirlenen koşullar altında saklanmalıdır. Kullanıcılar, analizör tedarikçisinden satın alabilir veya iyi bir üne sahip bir standart tedarikçisinden doğrudan sipariş edebilir. Referans malzemeler, son kullanma tarihinden önce kullanılmalıdır. Her üç ayda bir tekrarlanabilirlik testi yapılmalıdır. Tekrarlanabilirlik kabul edilebilir hata aralığında ise, cihazın çalışma durumu onaylanır; aksi takdirde, bir sistem denetimi gereklidir..

## TEKRARLANABİLİRLİK VE YENİDEN ÜRETİLEBİLİRLİK ARASINDAKİ FARKLAR NELERDİR?

Benzerlik, tekrarlanabilirlik ve tekrar edilebilirlik, numune üzerinde yapılan çoklu ölçümlerden elde edilir. Ancak, tekrarlanabilirlik, cihazın mevcut çalışma durumu ve çalışma ortamının stabilitesini yansıtan aynı ölçüm koşulları ile karakterize edilir.

Buna karşılık, Üretilebilirlik testinde ölçüm koşulları farklıdır; bu test, cihazın çalışmasının uzun vadeli stabilitesini, numune alma yönteminin stabilitesini ve operatörün ölçüm sonuçları üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılır. Tekrarlanabilirlik ve tekrar edilebilirlik testleri düzenli olarak yapılmalı, cihazın düzgün çalıştığından emin olunmalıdır.





## 19

### TEKRARLANABİLİRLİĞİ VE YENİDEN ÜRETİLEBİLİRLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER NELERDİR?

Tekrarlanabilirlik veya Üretilirlik ideal değilse, aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır:

#### Cihazın çalışma durumu

Lazer kaynağı, dedektörler, sinyal iletim sistemi, kontrol sistemi, sirkülasyon ve dağıtım sistemi ve yazılım dahil olmak üzere tüm sistemin çalışma durumu.

#### Ölçüm prosedürü

Arka plan sinyali, karartma seviyesi, ölçüm parametreleri, ortam sıcaklığı, dağıtıcı madde türü ve dozu, çözücü türü, ultrasonikasyon süresi ve gücü ve numune hücresinin temizliği.

#### Toplu Numune Alma

Örnekleme yöntemi, işlem hattından örnek alma ve laboratuvar ortamında hazırlama, örneğin yeniden homojenleştirilmesi gibi.

#### Çalışma ortamı

Giriş voltajı, sıcaklık, dış titreşim kaynağı ve elektromanyetik parazit.

#### Numunenin özellikleri

Kırılganlık, numunenin çözünürlüğü ve partiküllerin genişleme veya topaklanma olasılığı.

## 20

### EKRARLANABİLİRLİKTE KABUL EDİLEBİLİR HATA ARALIKLARI NELERDİR?

IS 13320: 2020'ye göre, tekrar edilebilirlik testi için altı ardışık ölçüm yapılmalıdır. D10, D50 ve D90'ın ortalama değerleri hesaplanmalıdır. Kabul edilebilir hata aralıkları şunlardır:

#### D10'un

her bir ölçülen değeri ortalama değerden

**±%2'**den

fazla sapmamalıdır

#### D50'nin

her bir ölçülen değeri ortalama değerden

**±%1.5'**den

fazla sapmamalıdır

#### D90'ın

her bir ölçülen değeri ortalama değerden

**±%3'**den

fazla sapmamalıdır

## 21

### DOĞRULUK NEDİR VE NASIL HESAPLARIZ?

Lazer kırınımı ile partikül boyutu analizinde, bir doğruluk testi; sertifikalı referans malzemenin ölçüm sonucu ile nominal değeri arasındaki tutarlılığı tanımlar. Doğruluk testi için, her bir sertifikalı referans malzeme en az üç kez ayrı ayrı ölçülmelidir. Her test, yeterli ve uygun numune konsantrasyonu sağlanarak gerçekleştirilmelidir ki bu, temsil edici sonuçların elde edilebilmesi açısından önemlidir.

ISO 13320:2020'ye dayanarak, doğruluk testi için kabul sınırı "U<sub>lim</sub>" aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$U_{lim} = \pm CF \sqrt{u_{crm}^2 + u_p^2}$$

burada u<sub>p</sub>, lazer kırınım sistemleri için maksimum kabul edilebilir cihaz belirsizliği değerini; CF ise kapsama (güvenlik) faktörünü temsil eder. u<sub>p</sub> ve CF aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. u<sub>crm</sub>, sertifikalı referans malzemenin beraberinde verilen talimatlarda yer alır. Kapsama faktörü, belirli bir standart sapma aralığında verilerin güven düzeyini tanımlar ve bu değer, uygulama alanına göre değişebilir. Örneğin, metroloji alanında belirsizlik %95 güven aralığında ifade ediliyorsa, kapsama faktörü genellikle 2 olarak alınır.

| Parametre | u <sub>p</sub> | CF* |
|-----------|----------------|-----|
| D10       | 2%             | 2-3 |
| D50       | 1.5%           | 2-3 |
| D90       | 2.5%           | 2-3 |

\*CF'nin değeri, istenen güven düzeyine dayalı olarak 2 ile 3 arasındadır.

## 22

### SERTİFİKALI REFERANS MALZEME (CRM) NEDİR ?

## Sertifikalı Referans Malzeme

Doğru partikül boyutu

İyi stabilite

Yüksek derecede yuvarlaklık

Yüksek monodispersite (tekdüzellik)

Sertifikalı referans malzeme, cihazların kalibrasyonu veya performans doğrulaması amacıyla kullanılan, tipik değerleri referans malzeme üreticileri tarafından belirlenmiş standart bir malzemedir. Bu değerler; sayım, lazer kırınımı, eleme ya da sedimentasyon (çökelme) gibi yöntemlerle belirlenebilir. Bu nedenle, kullanıcıların sonuçları ile referans malzeme sağlayıcılarının spesifikasyonları arasında bazen küçük farklılıklar olabilir.

Sertifikalı referans malzeme yalnızca doğru partikül boyutuna sahip olmakla kalmamalı, aynı zamanda:

Belirli bir süre boyunca stabil olmalıdır (örneğin: 1 yıl),

Düşük varyasyon katsayısına sahip yüksek monodispersite göstermelidir,

%95–98 oranında yuvarlaklık gibi yüksek şekil bütünlüğü sunmalıdır.

## 23

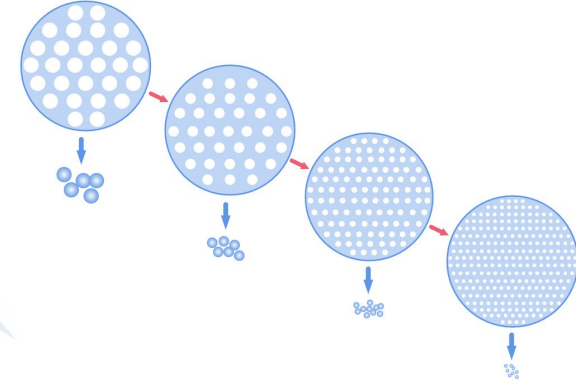
### ÇALIŞMA STANDARTI NEDİR?

Çalışma standardı, aynı zamanda kurumiçi standart veya ikincil standart olarak da bilinir. Bu standart, referans malzeme üreticileri tarafından sağlanan sertifikalı referans malzemelere (CRM) bir alternatif olarak kullanılır. Çalışma standardı, cihaz kalibrasyonu, performans doğrulaması, tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik testi, doğruluk testi ve cihaz demonstrasyonu için kullanılır. Sertifikalı referans malzemelerine kıyasla, çalışma standartları çok daha uygun maliyetlidir ancak muhtemelen aynı düzeyde doğruluk sağlayamazlar. Buna karşın, üretimleri daha kolaydır ve ISO gerekliliklerini karşılayacak şekilde hazırlanabilirler.



## 24

### MESH ile MİKRON ARASINDAKİ İLİŞKİ NEDİR ?



Mesh, bir filtre elek yüzeyinde lineer inç başına düşen açıklık sayısını ifade eder. Yani, bir filtre elek yüzeyinde bir inç (2,54 cm) boyunca bulunan açıklık (gözenek) sayısı anlamına gelir. Örneğin, bir filtrede bir inçte (2,54 cm) 50 açıklık varsa, bu filtrenin mesh değeri 50'dir. Mesh değeri ne kadar büyükse, filtrelenen partiküller o kadar küçük olacaktır. Bir başka deyişle, mesh değeri büyüdükçe, yani açıklık sayısı arttıkça, elekten geçen partikül boyutu küçülür. Farklı mesh eleklerinde açıklık boyutu değişkenlik gösterir. Farklı standartlar tarafından tanımlanan mesh ve mikron arasındaki çeşitli ilişkiler mevcuttur. En yaygın kullanılan standartlar ASTM standardı, ISO standardı ve Tyler standardıdır. Tyler standardına dayanan mesh ve mikron arasındaki ilişki aşağıda listelenmiştir.

| MESH | MICRONS | MESH | MICRONS | MESH | MICRONS | MESH  | MICRONS |
|------|---------|------|---------|------|---------|-------|---------|
| 20   | 850     | 70   | 212     | 270  | 53      | 1000  | 13      |
| 25   | 710     | 80   | 180     | 325  | 45      | 1250  | 10      |
| 30   | 600     | 100  | 150     | 400  | 38      | 1670  | 8.5     |
| 35   | 500     | 120  | 125     | 450  | 32      | 2000  | 6.5     |
| 40   | 425     | 140  | 106     | 500  | 28      | 5000  | 2.5     |
| 45   | 355     | 170  | 90      | 600  | 23      | 8000  | 1.5     |
| 50   | 300     | 200  | 75      | 700  | 20      | 10000 | 1.3     |



## Lazer Kırınım Parçacık Boyut Analizi



25

### MIE SAÇILMA TEORİSİ NEDİR VE FRAUNHOFER KIRILMA TEORİSİ?

Mie saçılma teorisi, homojen küreler tarafından ışığın saçılmasını doğru bir şekilde tanımlayan Maxwell'in elektromanyetik denklemlerine Mie çözümüdür. Mie teorisinde, parçacığın ve ortamın kırılma indeksleri ve absorpsiyon katsayıları gibi parametreler Partikül boyutunu hesaplamak için kullanılır. 1970'lerdeki bilgisayarlar, yalnızca daha basit Fraunhofer yaklaşımı ile kırınım verilerini hesaplayacak kadar güçlüydü. Mie, bilgisayarın evrimi ile 1980'lerden beri yaygın olarak kullanılmaktadır ve Mie teorisi, ışık saçılma deseni ve Partikül boyutu dağılımı için titiz bir çözümdür. Mie teorisi ile elde edilen sonuçlar, tüm optik özelliklerin kullanılması ve dikkate alınması nedeniyle doğrudur. Bu nedenle, Mie teorisini kullanarak yapılan Partikül boyutu ölçümü, boyutları sub -mikron ile milimetre seviyeleri arasında değişen Partiküller için daha güvenilir ve sağlam sonuçlar sunar. Bu nedenle, Mie saçılma teorisi modern lazer kırınım Partikül boyutu analizörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Öte yandan, Fraunhofer kırılma teorisi, Mie saçılma teorisinin basit bir yaklaşım ifadesidir ve belirli bir dalga boyunda bir nesnenin

boyutuna bağlı olarak maksimum ve minimum ışık saçılma açılarını tanımlar. Ancak, optik özellikler hakkında herhangi bir bilgi gerektirmez ve Partiküller büyük ve opak olduğunda, küçük ışık kırınım saçılma açıları ile ölçüm için tercih edilir.

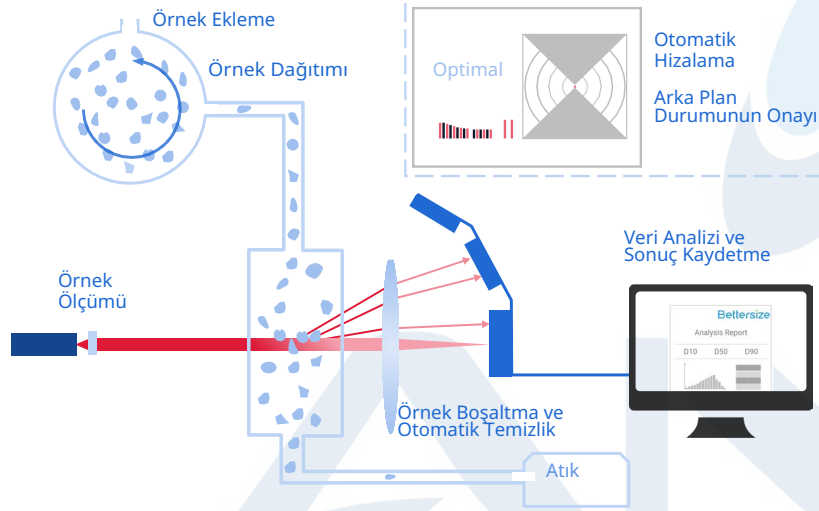


Bettersize'den gelen lazer kırınım Partikül boyutu analizörleri, Partikül boyutu analizi için hem optik teorileri sunar; Mie varsayılan olarak kullanılırken, Fraunhofer, Partikül boyutları 25 mikronun üzerinde olduğunda doğru ölçüm için kullanılır.

## 26

### DİFRAKSİYON PARTİKÜL BOYUTU ANALİZÖRÜ LAZER ÖLÇÜM NASIL YAPILIR?

Lazer difraksiyon Partikül boyutu analizinde, ölçüm aşağıdaki sırayla gerçekleştirilir:



#### Otomatik Hizalama

Bu, odaklanmış lazerin Fourier lensinden geçmesini sağlayan ve ileri dedektörün merkezine denk gelen bir ayar fonksiyonudur. Hizalama, lazer ışığı ileri dedektörün merkezine mükemmel bir şekilde çarparak ulaşana kadar otomatik olarak gerçekleştirilecektir. Hizalandıktan sonra, dedektörler temel ölçüm için doğru saçılma ışık sinyalini alacaktır. Hizalamadan önce, örnek hücresinin ölçüm ortamı ile tamamen doldurulması ve ıslak yöntem kullanıldığında kabarcıkların ve kirlerin ortadan kaldırılması gerekir. Kuru yöntem kullanıldığında ölçüm bölgesine gaz eklenmelidir.

#### Arka Plan Durumunun Onayı

Yüksek bir arka plan sinyali, optik veya elektriksel gürültülerden kaynaklanabilir; örneğin, kirli örnek hücrelerinden veya saf ortamlardan kaynaklanan optik gürültü. Bu gürültülerin etkisini sıfırlamak için, arka plan sinyali ölçümden önce ölçülmeli ve böylece ölçüm tamamlandığında toplam ışık saçılma sinyalinden çıkarılabilir.

#### Örnek Tanıtımı

İyi bir arka plan onaylandıktan sonra, örnek dağıtım modülüne tanıtılabilir (veya önceden dağıtılmış örnek).

#### Örnek Dağıtımı

Dağıtım modülüne girdikten sonra, örnek ıslak yöntemde karıştırma ve ultrasonikasyon kullanılarak dağıtılacaktır. Basınç ayarlanacak ve kuru yöntemde çarpışmalar ve kesme kuvveti sağlanacaktır.

#### Örnek Ölçümü

Tamamen dağılmış bir örnek, lazer ışınlamasının gerçekleştiği örnek hücreğine taşınacaktır. Bir lazer kaynağı, monokromatik ve koherent lazer ışığı demeti yayar. Bu lazer ışını daha sonra filtrelenir, genişletilir ve paralel ışınlar sağlamak için paralelleştirir. Eğer Partiküller ışın demetinin optik yolundaysa, ışıkla saçılma şeklinde etkileşime gireceklerdir. Işık ışınlarının bir kısmı, ana eksene göre belirli açılarda dışarıya saçılır. Daha büyük Partiküller, daha küçük saçılma açılarında daha fazla ışık saçar, daha küçük Partiküller ise daha büyük saçılma açılarında daha fazla ışık saçar.

#### Veri Analizi ve Sonuç Kaydetme

Saçılan ışıklardan kaynaklanan sinyaller dedektörler tarafından alınabilir ve analiz edilmek üzere bilgisayara iletebilir, böylece sistem bir Partikül boyutu dağılımı üretebilir.

#### Örnek Tahliyesi ve Otomatik Temizlik

Ölçümden sonra, örnek tahliye edilecek ve otomatik temizlik etkinleştirilecektir.

## 27

### LAZER DİFRAKSİYON PART İKÜL BOYUTU ANALİZÖRÜ HANGİ MALZEMELER BİRİ TARAFINDAN ANALİZ EDİLEBİLİR ?

Kuru tozlar, sıvı süspansiyonlar ve sıvı/Partikül spreyleri, bir lazer difraksiyon Partikül boyutu analizörü ile analiz edilebilir. Kuru toz, bir Venturi cihazının varlığı nedeniyle ölçüm bölgesine emilen kuru dağıtım modülü kullanılarak tanıtılabilir. Alternatif olarak, kuru toz doğrudan ıslak dağıtım modülüne eklenebilir veya sıvı süspansiyon olarak hazırlanabilir. Ancak, ön koşul, kuru tozun ortamda çözünmez olması ve ortamla reaksiyona girmemesidir. Bazı malzemeler, ıslak dağıtım modülü veya kuru dağıtıcı aracılığıyla tanıtılabilir. Hangi birinin kullanılacağı, her iki ölçüm setinin tekrarlanabilirliği ve doğruluğuna bağlıdır.

## 28

### ÖRNEKLEME İÇİN KAÇ YÖNTEM VAR?

Lazer difraksiyon Partikül boyutu analizi, çok sayıda maddenin Partikül boyutudağılımını test ederek ve analiz ederek karakterize eden bir süreçtir. Temsilive ikna edici ölçüm sonuçları, makul bir örnekleme sürecinden ayrılamaz. Buna göre, örnekleme ilk ve önemli kısmıdır. Örnekleme, "laboratuvar örneğin (10ng) büyük miktarda örnekten (10n kg) ve ardından bir ölçüm örneği (10n mg) laboratuvar örneğinden elde edilmesidir.

#### Süreç Akışından Laboratuvar Örneği Elde Etme:

Süreçten örnek almanın en iyi yöntemi, örneği bir silo veya varil gibi statik bir yığın yerine akan bir toz akışından almaktır. Tek olasılık statik bir toz yığınıysa, örnekler yığın veya varil içindeki farklı pozisyonlardan ve farklı derinliklerden alınmalı ve karıştırılarak temsili bir laboratuvar örneği elde edilmelidir.

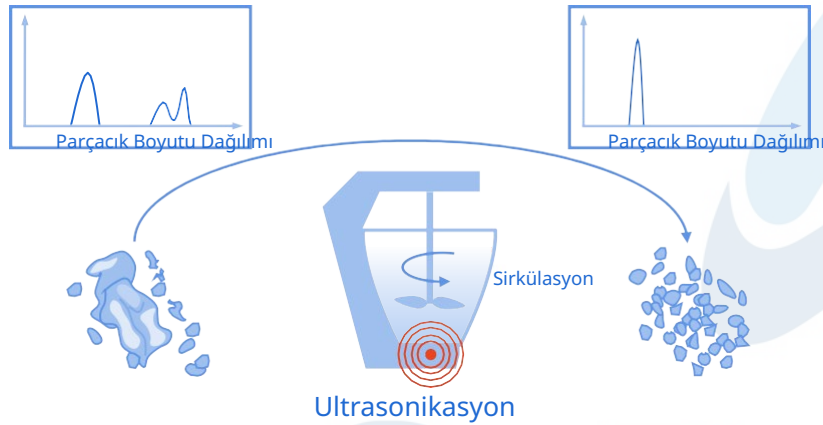
#### Test Örneği Elde Etme:

Kullanıcılar, laboratuvar örneğinden temsili bir örneği elde etmek için bir döner riffler kullanabilirler. Döner riffler, laboratuvar örneğini, orijinal laboratuvar örneğinin karakteristik bileşimiyle tam olarak örtüşen birçok fraksiyona bölen bir cihazdır. Her fraksiyon test örneği olarak kullanılabilir. Fraksiyon aşırıysa, tüm alt örneğin tek bir ölçüm için kullanılmasını sağlamak için döner riffler ile tekrar bölünmesi gerekir. Örnek, vida kapaklı sağlam bir cam kavanozda tutuluyorsa, laboratuvar örneğinden örnek almak için bir spatula veya kaşık kullanılabilir. Ancak, kavanozun, kavanozdaki tozun geri homojenizasyonu için (yüzde 70 veya daha az) karıştırılabilmesi için en az %30 boş olması gerekir. Karışım, kavanozdan örnek alınmadan önce ardışık olarak yedi kez yapılmalıdır. Kavanoz asla sallanmamalıdır, çünkü titreşim, kullanıcının kavanozun üst kısmından kaba Partiküller örnekleme sinenden olan tabakalaşma yaratır. Bu temsili olmayacak ve daha büyük bir Partikül boyutu analizi üreten bir teste yol açacaktır.



## 29

### PARTİKÜLLAR NE ZAMAN DAĞILIR? ISLAK YÖNTEM KULLANILDIĞINDA?

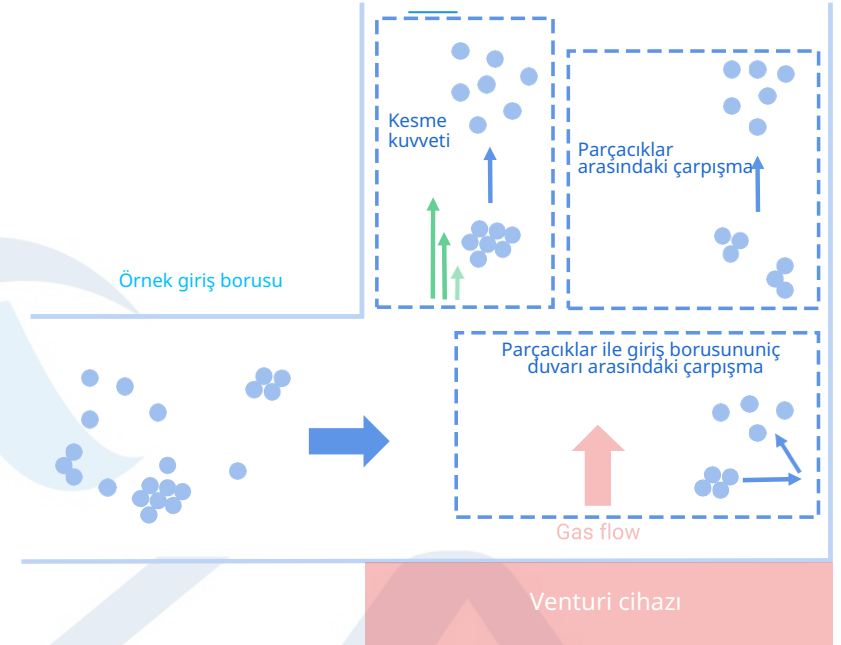


Lazer difraksiyon Partikül boyutu analizinde, yanlış sonuçlar, özellikle Partiküller ince olduğunda, süspansiyonda aglomerasyon nedeniyle oluşabilir. Bu nedenle, ölçümden önce örneğin tam olarak dağılması gereklidir.

Islak yöntem kullanıldığında örneğin dağılması için üç etkili yöntem mevcuttur. Aglomeratların birincil dağılması, karıştırma bıçağı içeren ıslak bir akış yolu aracılığıyla süspansiyonun döndürülmesiyle sağlanabilir. Ayrıca, değişken ultrasonik seviyeleri aglomerasyonu önlemede yardımcı olabilir. Üçüncü olarak, bazı sistemlerde, sirkülasyon tankının aşağıya eğimi ve daha yüksek pompa hızı, ıslak akış yolunda daha yüksek özgül ağırlığa veya daha büyük Partikül boyutuna sahip Partiküllerin çökmesini etkili bir şekilde önleyebilir, bu da tam bir dağılma ve dolayısıyla Partiküllerin istatistiksel olarak iyi bir temsiliyi sağlar. Sıvı yüzeyinde yüzen Partiküller için, yüzey gerilimini düşürmek amacıyla uygun şekilde seyreltilmiş bir yüzey aktif madde gerekli olabilir. Böylece Partiküller suya emilebilir.

## 30

### PARTİKÜLLAR NE ZAMAN DAĞILIR? KURU YÖNTEM KULLANILDIĞINDA?



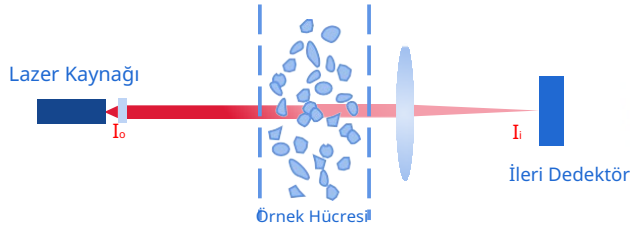
Islak ortamda çözülen veya aglomerasyona uğrayan ya da ortamla reaksiyona giren örnekler genellikle kuru yöntem kullanılarak analiz edilir. Örnekler, bir Venturi cihazının yardımıyla basınçlı hava ile ölçüm alanına dağılır ve taşınır. Toz halindeki örneğin dağılması, örnek Partiküller arasındaki çarpışma, örnek Partiküller ile örnek giriş tüpünün iç duvarı arasındaki çarpışma ve örnek aglomeratlarını ayıran kesme kuvveti ile sağlanabilir. Kuru koşullarda üretilen ve uygulanan örnekler için, kuru yöntem kullanarak yapılan bir ölçüm, ölçüm hataları ile ilişkili potansiyel faktörleri önler. Kuru yöntem, belirli bir örnekleme sistemi varlığında küçük hacimli örnekler ve değerli örnekler için de uygulanabilir ve on miligramlık örneklerle ölçüm yapılmasına olanak tanır.



## 31

### GÖLGELENME " OBSTRÜKSİYON" NEDİR?

Gölgelenme, ölçüm bölgesindeki Partiküller tarafından saçılan ve emilen ışığın oranını ifade ederken, iletim gölgelenme çıkarıldığında toplam ışığı ifade eder. Gölgelenme, süspansiyonun konsantrasyonunu gösterir. Gölgelenmenin hesaplaması aşağıda gösterilmiştir. Ayrıca Partikül boyutu dağılımının hesaplamasını da etkiler.



$$\text{Obstrüksiyon} = (I_0 - I_1) / I_0$$

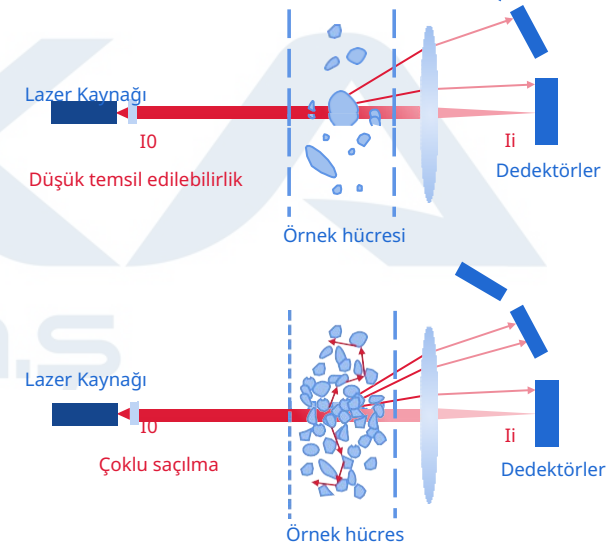
I<sub>0</sub> Lazer ışık yoğunluğu

I<sub>1</sub> ana dedektör tarafından alınan ışık yoğunluğu

## 32

### DOĞRU GÖLGELENME ARALIĞI NASIL SEÇİLİR ?

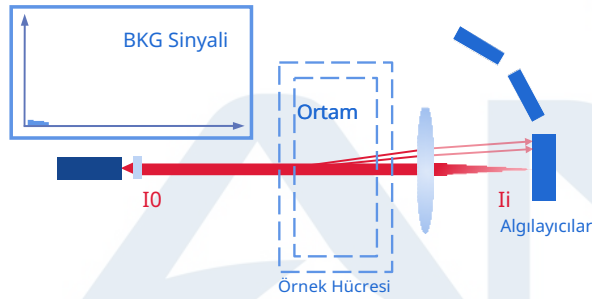
Genel olarak, lazer difraksiyon Partikül boyutu analizi, akış akımındaki örneğin gölgelenmesi %10 ile %15 arasında olduğunda gerçekleştirilir. Uygun bir çalışma gölgelenmesi, istatistiksel temsil edilebilirliği etkileyen çok az Partikül ile çok fazla Partikül arasında, bu da çoklu saçılmaya ve dolayısıyla Partikül sonuçlarının küçülmesine yol açar. Diğer bir deyişle, gölgelenme %10 ile %15 arasında ayarlanırsa, çoklu saçılma önlenir ve örnekleme temsil edilebilirliği garanti edilebilir. Küçük Partiküller gölgelenme üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptir. Aynı hacimdeki örnekler için, daha küçük Partikül boyutu dağılımlarına sahip örnekler daha fazla Partikül içerir, bu da daha yüksek gölgelenmelere yol açar ve dolayısıyla gölgelenme üst önerilen gölgelenme limitinden yüksekse çoklu saçılma potansiyeli vardır. Deneyime göre, büyük Partiküller için uygun gölgelenmeler, ölçüm sırasında daha küçük Partiküller için olandan daha yüksektir.



# 33

## ARKA PLAN SİNYALİ NEDİR

Arka plan sinyali hem optik hem de elektriksel sinyallerden oluşur. Optik gürültü, ölçüm sırasında alakasız maddeler tarafından oluşturulan bir dış sinyalden oluşur. Bir lazer difraksiyon Partikül boyutu analizöründe, arka plan sinyali, sıvı veya hava olabilen ortamdan gelen optik girişim ve örnek hücresinin temizliği ile oluşur; örneğin, hücre penceresinde var olabilecek az sayıda safsızlık, sinyal diyagramının sol tarafında düşük yoğunlukta sinyaller oluşturur. Bu arka plan sinyalleri, Partikül boyutu analizinden önce ölçülmeli ve daha sonra ölçüm sinyalinden çıkarılmalıdır, bu da ölçüm doğruluğunu artırır.



Normal arka plan sinyali aşağıdaki koşullarla karakterize edilir:

- Normal arka plan, kanalın 20 biriminden daha azını kaplamalıdır.
- Daha yüksek sinyaller, sinyal diyagramının en sol tarafında görünmelidir.
- Arka plan sinyalinin yoğunluğu oldukça düşük olmalıdır.
- Sinyal yoğunluğu soldan sağa doğru sıralı olarak azalır.
- Sinyallerde dişli görünüm olmamalıdır, çünkü bu kötü hizalamayı gösterebilir.

# 34

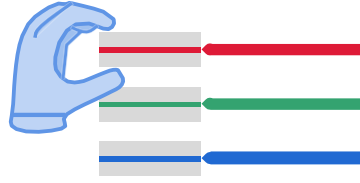
## ARKA PLAN ETKİLEYEN FAKTÖRLER NELERDİR?

Anormal arka plan sinyallerinin nedenleri çeşitlilik gösterir. Örneğin, optik sistem hizalaması gerçekleştirilemeyebilir; örnek hücresinin iç yüzeyine veya lensin yüzeyine yapışmış safsızlıklar olabilir; örnek hücresi, ortam ile çalışma ortamı arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle buğulu hale gelir ve bu da örnek hücresinde yoğunlaşmaya neden olur; ortam saf değildir; lazer kaynağının çalışma durumu ideal değildir; lens veya örnek hücresi çizilmiştir. Sorun giderme, önce örnek hücresinin incelenmesi, ardından lazer kaynağı ve lensin kontrol edilmesi ve son olarak hizalama sisteminin kontrol edilmesi ile başlamalıdır.

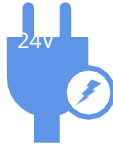


## 35

### YARI İLETKEN LAZERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI NELERDİR?



-Hafif ve Kullanışlı



-Birden Fazla Dalga Boyu



-Düşük Enerji Tüketimi

-Düşük Arıza Oranı

Yarı iletken lazer, lazer diyodu (LD) olarak da bilinir, monokromatik ve koherent bir lazer ışını yaymak için elektrik kullanarak pompa kaynağı olarak işlev görür. Lazer diyotları genellikle küçük boyut ve ağırlığa sahiptir, bu da onları kullanmayı kolaylaştırır. Düşük voltajda sabit bir akım ile çalıştırılan lazer diyotları, güvenli bir şekilde çalıştırılabilir ve düşük arıza oranı ve enerji tüketimine sahiptir. Bu avantajlar nedeniyle, lazer diyodu çeşitli endüstrilerde yaygın olarak uygulanan güvenilir bir lazer kaynağı olarak bilinir. Partikül boyutu analizörünün ölçüm aralığını genişletmek ve ölçüm doğruluğunu optimize etmek için farklı türde lazer diyotları mevcuttur: daha uzun dalga boyuna sahip kızılötesi veya kırmızı ışık ve daha kısa dalga boyuna sahip yeşil veya mavi ışık.

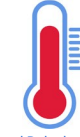
İlk günlerde, lazer diyotlarının performansları sınırlıydı ve çalışma sıcaklıklarından etkilendi, ayrıca ışın sapması daha büyüktü. Bu nedenle, yayılan lazer ışınının yönlülük, koherens ve monokromatiklik gibi özellikleri sınırlıydı. Yarı iletken endüstrisi yıllar içinde hızla gelişirken, lazer diyotu performansı önemli ölçüde iyileşti. Günümüzde lazer diyotu, analizör üretiminde lazer kaynağı olarak yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Lazer diyotunu lazer kaynağı olarak kullanırken, sabit bir akım sağlanmalı ve sabit bir çalışma sıcaklığı garanti edilmelidir; bu, kararlı bir çıkış gücü sağlar.

## 36

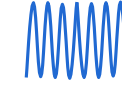
### HELYUM-NEON LAZERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI NELERDİR?



Yüksek kolimasyon



Termel Dalgalanmalardan Bağımsız



Yüksek Stabilité



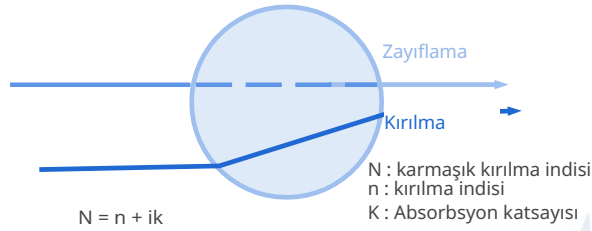
Düşük Maliyet

He-Ne lazer, en erken, en olgun ve en yaygın kullanılan lazer cihazlarından biridir. Kazanım ortamı, yaklaşık 10:1 oranında helyum ve neon gaz karışımından oluşur. Gaz karışımında, helyum atomları temel durumdan daha yüksek enerji seviyelerine uyarılır ve bu, kazanım ortamında foton emisyonuna izin veren uyarılmış foton emisyonunu tetikler. Bir He-Ne lazer cihazı, uzun bir koherens uzunluğuna sahip monokromatik bir lazer yayar ve dalga boyu sapması birkaç nanometreye kadar kontrol edilebilir. He-Ne lazer cihazının performansı termal dalgalanmalardan bağımsızdır ve optik bir boşluğun varlığı, yayılan lazer ışınının kolimasyonunu sağlar (sapma açısı yalnızca birkaç miliradyandır). He-Ne lazer, iyi monokromatiklik, koherens ve kolimasyon gerektiren endüstrilerde, özellikle hassas ölçüm cihazları üretiminde yaygın olarak uygulanmaktadır.

Ancak, güç kaynağı için doğrudan yüksek voltaj akımı gereklidir, bu da cihazın arıza oranını artırır. Dalga boyunun tutarlılığı nedeniyle, He-Ne lazerin uygulama alanı kısıtlıdır. He-Ne lazerin dalga boyu, yeşil ve mavi lazerlerden daha büyüktür, bu da alt mikron Partikülleri ölçme yeteneğini düşürür. He-Ne lazerin hizmet ömrü, yarı iletken lazerin hizmet ömründen çok daha kısadır ve kullanımı da cihazın büyük hacmi ile sınırlıdır.

## 37

### KIRILMA İNDİSİ VE SOĞURMA KATSAYISI NEDİR ?



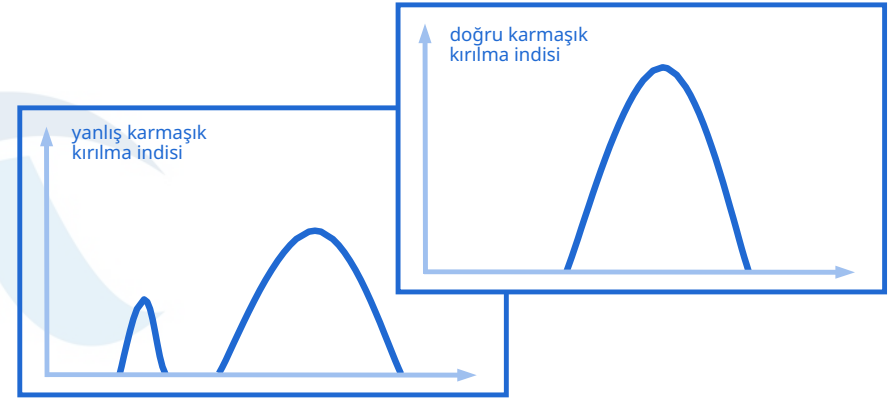
Kırılma indisi, ışık ışınlarının bir ortamdan diğerine geçerken, örneğin sudan cama geçerken ne kadar büküldüğünü tanımlar. Kırılma indisi, iki ortamda ışık hızının oranı ile hesaplanabilir. Işık bir vakumda hareket ettiğinde ve ardından bir malzeme içinde yayıldığında, malzemenin kırılma indisi, vakumdaki ışık hızı ile malzemedeki ışık hızı oranı ile hesaplanabilir. Bu durumda, malzemenin kırılma indisine mutlak kırılma indisi de denir.

Soğurma katsayısı, bir malzeme içindeki ışık demetinin penetrasyonunölçen bir değerdir. Lazer difraksiyon Partikül boyutu analizinde, dar bir lazer ışını Partikülleri ısıttığında, ışık Partiküller içinde yayıldığında emilebilir ve bu da zayıflamaya neden olur. Zayıflama derecesi, Partikülmalzemesine bağlıdır. Genel olarak, malzeme ne kadar koyu olursa, soğurma katsayısı o kadar büyük olur. Örneğin, kömürün soğurma katsayısı 1.0, camın ise 0.0 değerinde olacaktır.

Partikül boyutu dağılımının hesaplanması için, örnek malzemenin soğurma katsayısına ek olarak hem ortamın hem de örneğin kırılma indeksleri gereklidir. Bu iki parametre, gerçek bir kısmı (kırılma indisi) ve bir hayali kısmı (soğurma katsayısı) birleştiren karmaşık kırılma indeksinde kullanılır.

## 38

### LAZER DİFRAKSİYON PARTİKÜL BOYUTU ANALİZİ KIRILMA İNDİSİNİN ETKİSİ NEDİR?



Mie teorisine dayanan lazer difraksiyon Partikül boyutu analizi, karmaşık kırılma indeksinin önemli bir rol oynadığı ölçüm sonucunun doğruluğunu garanti eder. Boyutu, onlarla etkileşen ışık kaynağının dalga boyuna yaklaşan küçük Partiküller için, küçük farklılıklara sahip karmaşık kırılma indeksleri tamamen farklı ölçüm sonuçları üretebilir. Yeni malzemelerin, kompozit malzemelerin ve karışık malzemelerin gelişimi ile karmaşık kırılma indeksinin belirlenmesi zordur. Bu nedenle, Partikül boyutu analizinden önce karmaşık kırılma indeksinin ölçülmesi, ölçüm sonucunun güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlar.

## 39

### FARKLI ANALİZ MODLARI ARASINDAKİ FARKLAR NELERDİR?

Üç analiz modu, yani genel mod, çok zirveli mod ve R-R modu, Partikül boyutu dağılımının hesaplanması için analiz yazılımında yaygın olarak yazılmaktadır.

#### GENEL MOD

Genel mod, mono-dağıtılmış ve çok dağıtılmış örnekler de dahil olmak üzere çoğu parçacığın analizi için uygundur. Genel mod, genellikle analiz yazılımında varsayılan olarak ayarlanır.

#### ÇOK ZİRVELİ MOD

Çok zirveli mod, analiz için yüksek çözünürlük gerektiğinde kullanılır. Çok zirveli mod, parçacık boyutu dağılımları benzer olan örneklerle daha duyarlıdır.

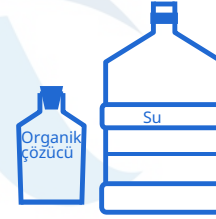
#### R-R MODU

R-R modu, yalnızca bazı alanlarda, örneğin çimento üretiminde kullanılan sabit bir analiz modudur.

## 40

### EN YAYGIN KULLANILAN ORTAMLAR NELERDİR VE GEREKSİNİMLER?

Islak yöntemle Partikül boyutu analizi için en yaygın kullanılan ortam sudur, ardından mutlak etanol gibi organik çözücüler gelir. Kuru yöntem için genellikle basınçlı azot ve hava ortam olarak uygulanır. Ortamın rolü, Partiküllerin ölçüm sırasında eşit şekilde dağılmasını sağlamaktır.



Sıvı ortam için, aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

- Ortam saf ve saf olmamalıdır.
- Ortamda dağılan numune şişmiş veya büzüşmüş olmamalıdır; ortam numuneye karşı inert olmalıdır.
- Ortam, parçacıklarla iyi karışabilirliğe sahip olmalıdır; başka bir deyişle, yüzey ıslatma etkisi belirgin olmalıdır.
- Ortamın varlığında, parçacıklar iyi dağılır.
- Ortam ile çalışma ortamı arasındaki sıcaklık farkı, numune hücrelerinde yoğunlaşma olasılığını azaltmak için mümkün olduğunca küçük olmalıdır.



Gazlı ortam için gereklilikler, ortamın saf, kuru, toksik olmayan, kokusuz ve uygun maliyetli olmasıdır. Gaz basıncı normalde 4 bara kadar ayarlanabilir ancak bazen 6 bara kadar ayarlanabilir olmalıdır. Ufalanabilir malzemeler için basıncın 0,5 bara kadar kontrol edilmesi gerekebilir.

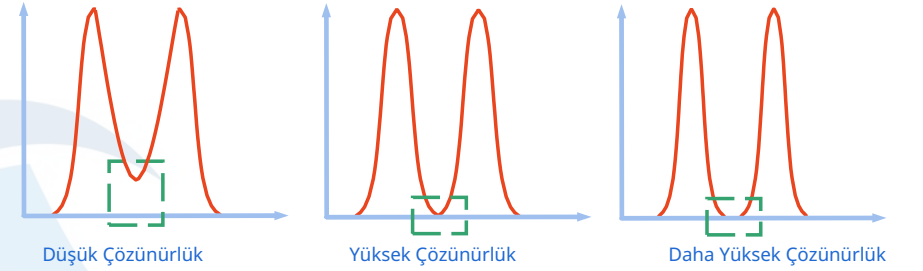
41

## LAZER KIRINIMI PARÇACIK BOYUTU ANALİZİ İÇİN KULLANILAN SUYUN GEREKLİLİKLERİ NELERDİR?

Uygulamanın talebine göre, damıtılmış su, arıtılmış su, deiyonize su, temiz musluk suyu ve kuyu suyu Partikül boyutu ölçümü için ortam olarak kullanılabilir. Hangi tür suyun ölçüm için kullanıldığı önemli değildir, su safsızlık içermemelidir. Su sıcaklığı, örnek hücresinin buğulanmaması için mümkün olduğunca oda sıcaklığına yakın olmalı, özellikle de noktası sıcaklığından yüksek olmalıdır. Musluk suyu veya kuyu suyu ortam olarak kullanıldığında, kullanılmadan önce laboratuvar içinde en az 24 saat bekletilmelidir. Bunun nedenleri, safsızlıkların çökeceği ve su sıcaklığının laboratuvar oda sıcaklığına daha yakın olacağıdır, özellikle uzun bir depolama süresinden sonra.

42

## ÇÖZÜNÜRLÜK NEDİR VE NASIL DOĞRULANIR?



Lazer difraksiyon Partikül boyutu analizinde, çözünürlük, iki yakın komşu zirvenin ayırt edilme derecesini değerlendirmek için kullanılır. Tekrar edilebilirlik ve yeniden üretilebilirlik önemli faktörler olduğu gibi, çözünürlük de bir cihazın performansı ile ilgili önemli bir göstergedir. Şu anda, çözünürlüğü doğrulamak için sertifikalı referans standartları kullanılmamaktadır. Ancak, çözünürlük doğrulaması için aşağıdaki yöntem uygulanabilir: nominal değerleri beşten büyük olan iki referans standardı eşit oranlarda karıştırılır ve Partikül boyutu analizörü ile ölçülür. Eğer Partikül boyutu dağılım grafiğinde iki ayrı zirve gösteriliyorsa, yüksek çözünürlük onaylanabilir ve cihaz nitelikli kabul edilir; Eğer iki zirve ayrılmışsa ve temel çizgi netse (ince örneğin kaba ucundan ayrılabilmesi), bu, cihazın daha yüksek bir çözünürlük sergilediğini gösterir. Aksi takdirde, çözünürlük nispeten düşüktür.

analitik a.ş



## 43

### ÇÖZÜNÜRLÜK ETKİLEYEN FAKTÖRLER NELERDİR? ?

Bir lazer difraksiyon Partikül boyutu analizörünün çözünürlüğünü etkileyen birçok faktör vardır:

#### Fotodetektör sayısı

Uygun aralıkta, logaritmik olarak yerleştirilmiş fotodetektör sayısı ne kadar fazlaysa, çözünürlük o kadar yüksektir.

#### evrik algoritma

İyi bir evrik algoritma daha yüksek bir çözünürlüğe yol açar.

#### Dağılım modu

Çok zirveli moda dayanan ölçüm sonucu, tek zirve modeline dayanan ölçüm sonucundan daha yüksek bir çözünürlüğe sahiptir.

#### Fourier merceği

Daha az sapmaya sahip Fourier merceği, daha yüksek bir çözünürlüğe yol açar.

## 44

### NEODİMYUM MİKNATIS TOZUNU ÖLÇERKEN NE ZAMAN FARKINDA OLMALIYIZ??

Neodimiyum mıknatıs, NdFeB, NIB veya Neo mıknatıs olarak da bilinen, motor, sensör, bilgisayar ve mikrodalga bileşenleri üretiminde yaygın olarak kullanılan nadir toprak mıknatısıdır. Neodimiyum mıknatıs tozunu ölçerken, örneğin manyetik olduğunu ve Partiküllerin çok kolay bir şekilde aglomere olabileceğini dikkate almak gerekir. Bu nedenle, neodimiyum mıknatıs tozu, manyetizmanın neden olduğu aglomerasyon fenomenini yüksek hızlı hava akışı varlığında aglomeraların anlık dağılımı ile aşan kuru yöntem kullanılarak ölçülmelidir. De-aglomerasyon derecesi, kullanılan hava basıncına bağlıdır. Bazı malzemeler yalnızca 2 bar basınca ihtiyaç duyarken, diğerleri tam dağılım için daha yüksek basınç gerektirebilir. Böylece, dağıtılmış neodimiyum mıknatıs örneği doğru bir şekilde ölçülebilir.

Neodimiyum mıknatıs tozu havaya maruz kaldığında yanıcı olduğundan, ölçüm sırasında bazı önlemler alınabilir:

Ortam olarak inert gaz veya azot gazı kullanılmalıdır.

Neodimiyum mıknatıs Partiküllerinin tüplerin iç duvarına yapışmasını önlemek için, pürüzsüz polietilen tüpler uygulanmalıdır.

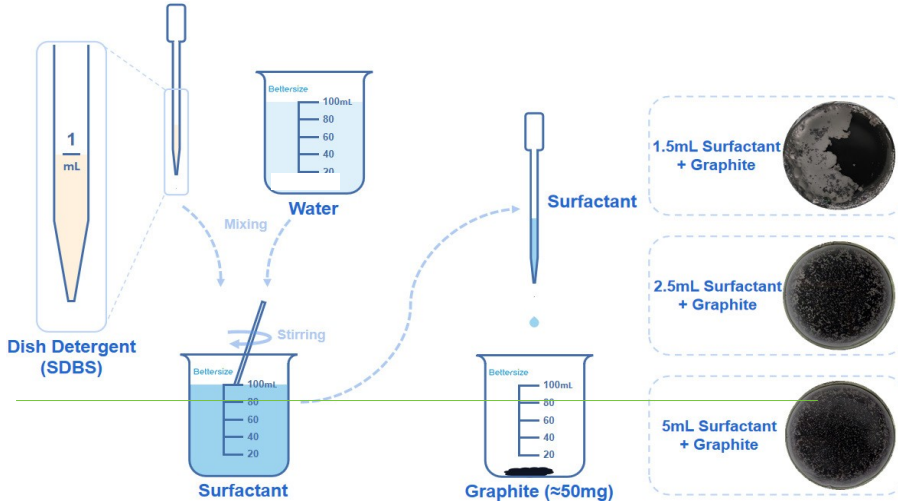
Ölçülen Partikülleri toplamak için bir su filtreli elektrikli süpürge gereklidir.

analitik a.ş

# 45

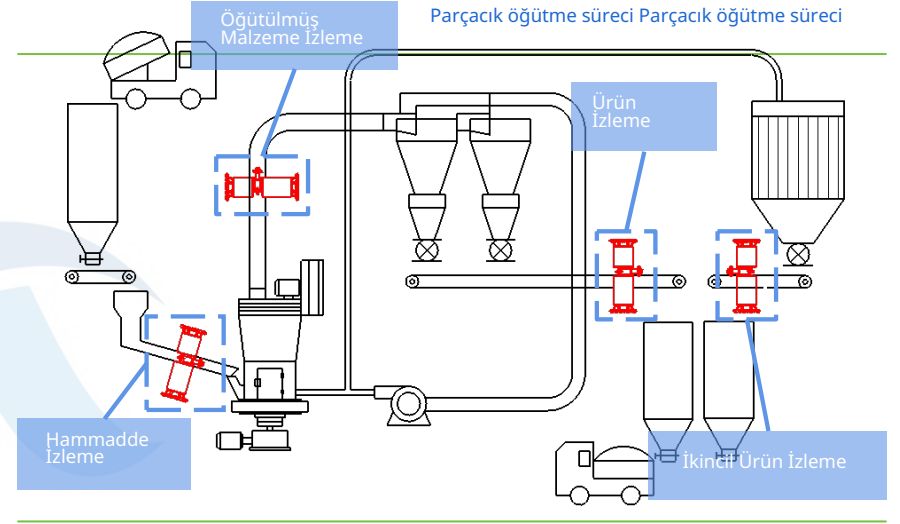
## YÜZEY AKTİF MADDE NEDİR?

Yüzey aktif madde, ortamın yüzey gerilimini önemli ölçüde azaltan ve dolayısıyla Partiküllerin ıslanma davranışlarını veya yük durumlarını iyileştiren bir maddeyi ifade eder. Yüzey aktif maddeler, Partiküllerin aglomere olmasını önlemek için yaygın olarak dağıtıcı ajan olarak kullanılır. Sodyum heksametafosfat ve sodyum pirofosfat, suda kolayca aglomere olabilen Partiküllerin ayrılması için lazer difraksiyon Partikül boyutu analizinde yaygın olarak kullanılır. Alkylbenzen sülfonatından yapılan bir yüzey aktif maddenin uygulanması ince grafit Partiküllerinin suda tam dağılmasını sağlar ve bu da ölçüm prosedürünü kolaylaştırır. Alkylbenzen sülfonatu, sabun veya deterjandan elde edilebilen bir madde olarak kolayca temin edilebilir. Aşağıdaki şemada, bulaşık deterjanından sodyum dodecyl benzen sülfonatu (SDBS) ile yüzey aktif maddenin hazırlanması ve farklı miktarlarda yüzey aktif madde ekledikten sonra grafitin dağılma etkisi gösterilmektedir.



# 46

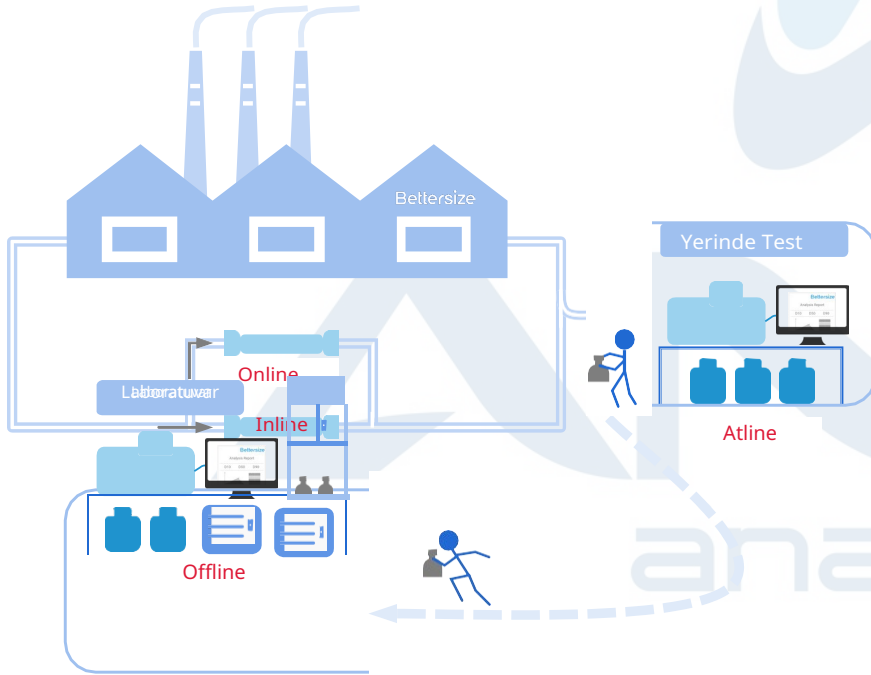
## Online PARTİKÜL BOYUTU ANALİZÖRÜ NE DİR?



Online bir Partikül boyutu analizörü, genellikle bir süreç döngüsüne entegre edilmiş Online bir algılama sistemi olarak kullanılır ve bir sürecin kalite denetimi veya veri izleme işlemlerine yardımcı olan gerçek zamanlı ölçüm sonuçları sağlar. Çevrimiçi Partikül boyutu analizörü ile birleştirildiğinde, süreç kontrol sistemi anormal süreç durumu ile geri bildirim kontrolü sağlar, ürünün standart sapmasını azaltır ve daha az atık veya daha az geri dönüştürülmüş ürün üretir. Online Partikül boyutu analizörü, süreç kontrolünü optimize etmek için özelleştirilmiş ölçüm aralığına sahip sürekli gerçek zamanlı ölçüm sağlar.

## ONLINE, ARASINDAKİ FARKLAR NELERDİR? INLINE, ATLINE VE OFFLINE ANALİZLERİ?

Lazer difraksiyon Partikül boyutu analizi, online, inline, atline ve offline ölçümler olarak sınıflandırılabilen farklı işleme yerlerinde gerçekleştirilebilir.



### Çevrimiçi

Örnek, işlem hattından istatistiksel olarak temsil edici bir şekilde çıkarılır ve bir örnek giriş tüpü aracılığıyla ölçüm alanına sunulur. Ölçüm koşulları, işlem hattının koşullarına benzer. Ölçümden sonra, örnek atık olarak boşaltılabilir veya işlem hattına geri sunulabilir. Bu yöntem, havada veya suda yüksek Partikül yoğunluğuna sahip yoğun faz akışı için öncelikle kullanılır.

### Inline

Partikül boyutu analizörü, Partikül boyutu analizinin işlem koşulları altında uygulandığı işlem hattına entegre edilmiştir. Ölçümden sonra, örnek akış boyunca sürekli olarak ileriye hareket eder. Bu, gerçek zamanlı Partikül boyutu analizi için orijinal yöntemdir ve yalnızca havada veya suda çok düşük Partikül yoğunluğuna sahip süreçler veya uygulamalar üzerinde, ince faz akışı olarak adlandırılan uygulamalar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

### Atline

Örnek, işlem hattından çıkarılır ve çevresindeki bir lazer difraksiyon Partikül boyutu analizörüne manuel veya otomatik olarak sunulur. Ölçüm, proses mühendisleri tarafından gerçekleştirilir. Ölçümden önce örnek tekrar hazırlanabilir. Bu, ardışık olarak izlenmesi gereken birden fazla işlem hattının bulunduğu uygulamalar için ideal bir yöntem olabilir, ancak optimizasyon için geri bildirim kontrolü olmadan.

### Offline

Örnek, işlem hattından çıkarılır ve işlem hattından uzaktaki laboratuvar ortamında bir lazer difraksiyon Partikül boyutu analizörü ile ölçülür. Ölçümden önce örnek tekrar hazırlanabilir.

## 48

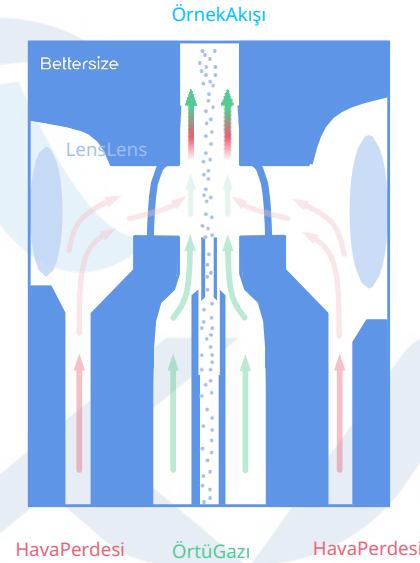
### ONLINE VE LABORATUVARDAKİ PARTİKÜL BOYUTU ANALİZÖRLERİ LABORATUVAR ARALARINDAKİ FARKLAR NELERDİR ?

Online bir Partikül boyutu analizörü, bir işlem döngüsüne entegre edilmiş bir cihazdır, oysa laboratuvardaki Partikül boyutu analizörü, belirli bir örnek dolaşımı ve dağıtım sistemine sahip ayrı bir birimdir. Aralarındaki farklar aşağıda listelenmiştir.

| Alet              | Çevrimiçi parçacık boyutu analizörü                                                                                                                                                                               | Laboratuvar parçacık boyutu analizörü                                                      |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zamanında         | Gerçek zamanlı izleme ve kontrol ile ürün kalitesini sağlama.                                                                                                                                                     | Gecikmeli ölçüm ve operatörlere gecikmeli geri bildirim.                                   |
| Örnek Hazırlama   | Otomatik örnekleme, örnek dağıtımı ve atık olmadan örnek geri dönüşü.                                                                                                                                             | Manuel örnekleme, örnek hazırlama ve atık ile örnek dağıtımı.                              |
| Otomasyon         | Tam otomatik gözetimsiz ölçüm.                                                                                                                                                                                    | Manuel örnek hazırlama ve örnek tanıtımı.                                                  |
| Ölçüm Hassasiyeti | Ölçüm hassasiyeti kötü bir çalışma ortamından etkilenir, bu nedenle analizörün yeri, optimum kurulum noktasını değerlendirirken performans için kritik öneme sahiptir. Optik yapı da ölçüm hassasiyetini etkiler. | Ölçüm hassasiyeti, iyi tasarlanmış optik ve analiz sistemi nedeniyle daha yüksek olabilir. |

## 49

### ONLINE PARTİKÜL BOYUTU ALIZÖRÜNDEKİ MERCEĞİ KİRLENMEDEN NASIL KORUYABİLİRSİNİZ?



Online Partikül boyutu analizinde örnekleri tanıtmak için kuru yöntem kullanıldığında,

lenslerin örnek Partikülleri veya tozdan kaynaklanan kirlenmeden korunması esastır. Koruma, bir örtü gazı ve çift hava perdesi kullanımı gibi iki farklı yöntemle sağlanır.

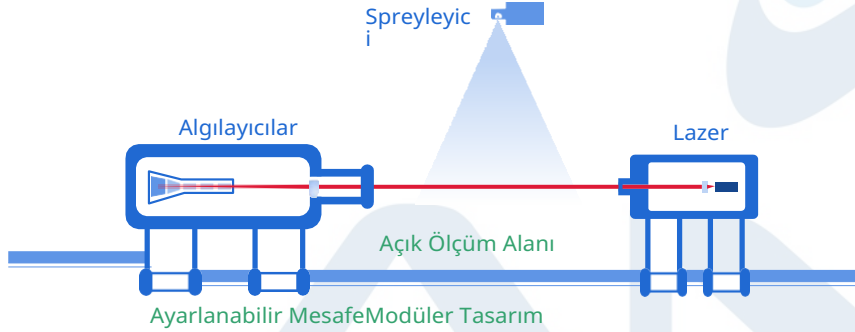
Örtü gazı, örnek memesi çevresel kanalından salınır ve bu, örnek jetine germe ve odaklama kuvveti sağlar, Partiküllerin optik lenslere hareketini kısıtlar.

Çift hava perdesi sisteminin etkisi, pozitif stres bölgeleri oluşturmaktır. Hava perdesinin uygulanması, lenslerin tamamen korunmasını ve örneğin ölçüm bölgesinden doğru bir şekilde geçmesini sağlar. Sonuç, bu nedenle, örnek Partikülleri veya toz tarafından lenslerin az veya hiç kirlenmemesi ile daha hassastır.

## 50

### SPREY PARTİKÜL BOYUTU ANALİZÖRÜ NEDİR?

Bir spreyl Partikül boyutu analizörü, askıda bulunan Partiküllerin, örneğin spreyl damlacıklarının ölçümü için kullanılan bir lazer difraksiyon Partikül boyutu analizörüdür. Spreyl Partikül boyutu analizörü, açık ölçüm alanı, ölçüm esnekliğini artıran modüler tasarımı, çeşitli uygulamalar için uygun olan korozyona dayanıklı yüzeyi ve zorlu çalışma ortamlarında kullanım imkanı sağlayan dayanıklı yapısıyla karakterizedir.



## 51

### SPREY PARTİKÜL BOYUTU ANALİZÖRÜ NEDİR? GENEL OLARAK NE İÇİN KULLANILIR?

Bir spreyl Partikül boyutu dağılımı, farmasötik spreyl, pestisit spreyl ve motor yanma verimliliği araştırmalarında önemli bir parametredir; bu, atomizatör tasarımının optimize edilmesi, spreyl basıncı kontrolü ve spreyl etkisinin değerlendirilmesinde yardımcı olur. Spreyl damlacığının Partikül boyutu dağılımının önemini göstermek için bazı örnekler: Pestisit damlacıklarının boyutu, optimal biyoyararlanım için 150 ile 300µm arasında olmalıdır. İnhalasyon yoluyla alınan ilacın damlacık boyutu, akciğerlere etkili bir şekilde inhalasyon yapılabilmesi için 10µm'dan daha az olmalıdır ve tıbbi etkisini gösterir. Dizel motorlardaki dizel damlacıkları, yanma verimliliğini artırmak ve karbon emisyonlarını azaltmak için 100µm'dan daha az olmalıdır.

Spreyl Partikül boyutu analizörü genellikle su spreyleri, yakıt spreyleri, güzellik spreyleri, atmosferik izleme, inhalasyon yoluyla alınan ilaçlar, agrokimyasallar, rutin atomizatörler, yakıt enjeksiyon sistemleri ve spreyl granülasyonu gibi alanlarda kullanılır.



## Nano partikül ve Zeta Potansiye Analizi

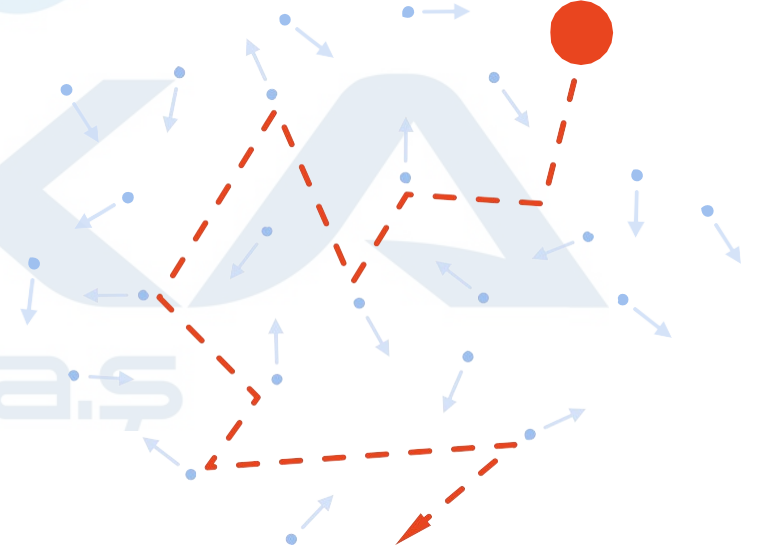


52

### BROWNIAN HAREKET NEDİR?

Brownian hareket, termal dalgalanmalar nedeniyle Partiküller ve çözücü molekülleri arasındaki öngörülemez çarpışmalar nedeniyle sıvı veya gaz halindeki akışkanlarda askıda bulunan Partiküllerın rastgele hareketini ifade eder.

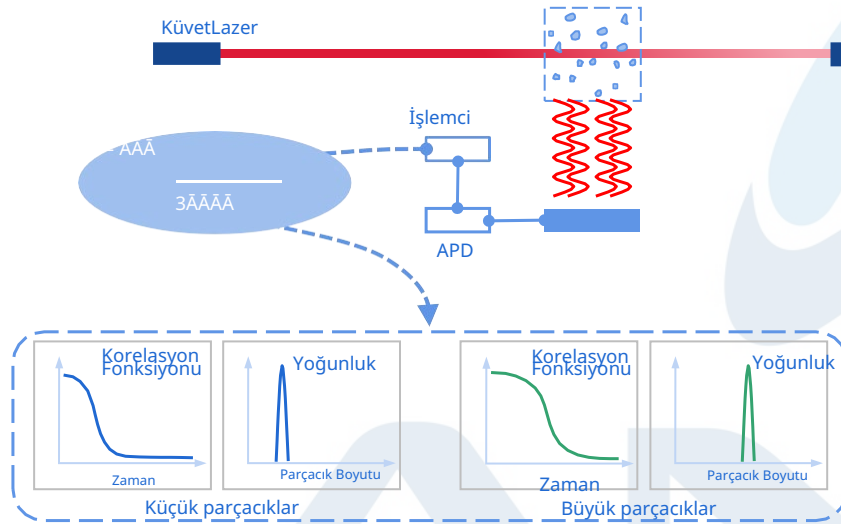
Brownian hareket genellikle güneş ışığı altında sıvıda gözlemlenebilen polen gibi küçük Partiküllerın hareketleriyle gösterilir. Brownian hareketin önemli bir özelliği, küçük Partiküllerın hızlı hareket etmesi, büyük Partiküllerın ise yavaş hareket etmesidir. Bu nedenle, Partiküllerın difüzyon davranışları Partikül boyutunu hesaplamak için kullanılabilir.





# 53

## DİNAMİK IŞIK SAÇILMASI (DLS) NEDİR ?

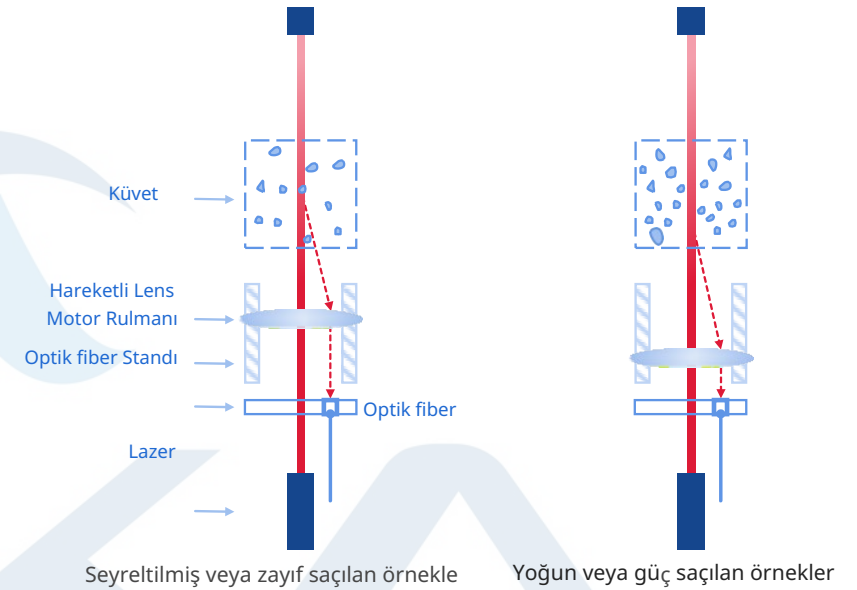


Dinamik ışık saçılması (DLS), foton korelasyon spektroskopisi (PCS) veya yarı elastik ışık saçılması (QELS) olarak da bilinen, örneklerin Partikül boyutunu nanoşkalada karakterize etmek için kullanılan bir tekniktir.

Bir DLS kurulumunda, özel bir küvette homojen olarak dağılmış nanopartiküller koherent bir lazer ışını ile aydınlatılır. Saçılma yoğunluğu, Brown hareketi geçiren Partiküllerin sürekli rastgele yürüyüşü nedeniyle zamanla dalgalanır. Foton dedektörü, saçılan ışıktaki foton sayısını belirler ve korelatör, otokorelasyon fonksiyonunu hesaplar. Korelasyon fonksiyonuna matematiksel bir algoritma uygulayarak, örneğin Partikül boyutu dağılımı elde edilir.

# 54

## DLS GERİ SAÇILMA TEKNİĞİ NEDİR?



Geleneksel dinamik ışık saçılması analizi, seyreltilmiş örneklerden kaynaklanan saçılan ışık sinyallerini alan 90° dedektör kullanıyordu. Vurgu, daha yoğun örneklerin güçlü Partikül etkileşimlerine sahip olacağı ve çoklu saçılma yaratacağı için seyreltmeye yapıldı, bu da tekniği kullanılamaz hale getiriyordu. Bu nedenle, çoğu uygulamada, analizden önce zahmetli örnek hazırlığı gerekliydi, bu da rahatsız edici bir işlem ve kolloidal stabilitenin potansiyel olarak bozulmasına yol açıyordu.

## Z-ORTALAMA VE POLİDİSPERSİTE İNDİSİ (PDI) NEDİR?

Son yıllarda, genellikle 160° ile 175° arasında büyük bir açıda saçılan sinyalleri tespit edebilen bir DLS geri saçılma tekniği kullanılabilir hale geldi.

DLS geri saçılma teknolojisi, optimal tespit pozisyonu için akıllı ayarlama yapılmasını sağlar. Lensin hareket ettirilmesiyle, tespit noktası merkezden küvet duvarına ayarlanabilir, bu da farklı tür ve konsantrasyondaki örneklerin tespit edilmesine büyük ölçüde olanak tanır.

DLS geri saçılma teknolojisinin geleneksel 90° kurulumuna göre avantajları, çok düşük konsantrasyona sahip örnekler için daha yüksek tespit hassasiyetini içerir. Ayrıca, artık çoklu saçılmayı önlemek için optik elemanların akıllı ayarlamalarını yapmak ve dolayısıyla tozdan kaynaklanan parazitleri sınırlamanın yanı sıra yoğunlaştırılmış örnekleri analiz etme yeteneği mümkündür.

Z-ortalama, DLS ile ölçülen Partiküllerin topluluğunun yoğunluk ağırlıklı ortalama hidrodinamik boyutudur.

Z-ortalama, bir ISO yöntemi, yani cumulants yöntemi ile belirlenen bir hidrodinamik boyuttur. Cumulants yöntemi için, korelasyon fonksiyonu aşağıdaki ifade ile çözülür:

$$\ln G_1(\tau) = \ln A - \Gamma \cdot \tau + \left(\frac{\mu_2}{2!}\right) \cdot \tau^2 - \left(\frac{\mu_3}{3!}\right) \cdot \tau^3$$

burada A, sinyal-gürültü oranını temsil eden korelasyon fonksiyonunun kesişim noktasıdır ve  $\Gamma$ , denkleme  $\Gamma=q$  olarak yerleştirilebilen ortalama azalım oranıdır.

Tüm Partiküllerin ortalama difüzyon katsayısı  $D$ 'yi hesaplamak için 2D.  $D$ , daha sonra ortalama Partikül boyutu  $D_H$ 'yi, yani Z-ortalama ortalama hidrodinamik çapını üretmek için Stokes-Einstein denkleminde yerleştirilir.

$$\bar{D} = \frac{k_B T}{3\pi\eta \bar{D}_H}$$

Dinamik ışık saçılması için Z-ortalama, yoğunluk ağırlıklı ortalama boyut olan ortalama Partikül boyutunu sunmak için kullanılır.

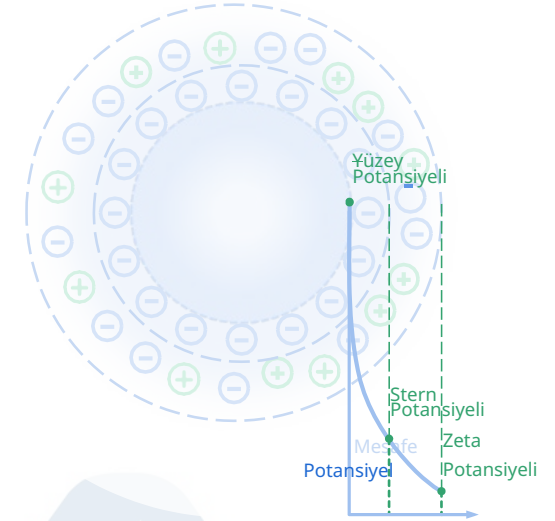
PDI (Polidispersite İndeksi),  $PDI = \mu_2 / \Gamma$  ile tanımlanır 2, dağılımın genişliğini gösterir.

Bir kural olarak, farklı örnekler için aşağıdaki PDI'ler gösterilmektedir.

| Örnek Türü             | PDI         |
|------------------------|-------------|
| Mono-dağıtılmış Örnek  | 0 - 0.05    |
| Dar-dağıtılmış Örnek   | 0.05 - 0.08 |
| Orta-dağıtılmış Örnek  | 0.08 - 0.7  |
| Geniş-dağıtılmış Örnek | > 0.7       |

DLS, Partikül boyutu dağılımları nispeten dar olan örnekler için uygun bir tekniktir. PDI'si 0.7'den büyük olan örnekler için DLS ölçümü uygulanabilir olmayabilir.

Partiküller, su bazlı sistemlerde yüzeylerinde yük taşır ve Stern düzlemi adı verilen sağlam bir iç katman ve dış kayma düzlemi oluşturan karşı iyonlarla çevrilidir. Elektrostatik potansiyel, Partikül yüzeyinde maksimuma ulaşır ve buna yüzey potansiyeli denir. Stern düzlemi, iyonların güçlü bir şekilde bağlandığı elektriksel çift katmanın iç bölgesinde yer alır. Elektrostatik potansiyel,



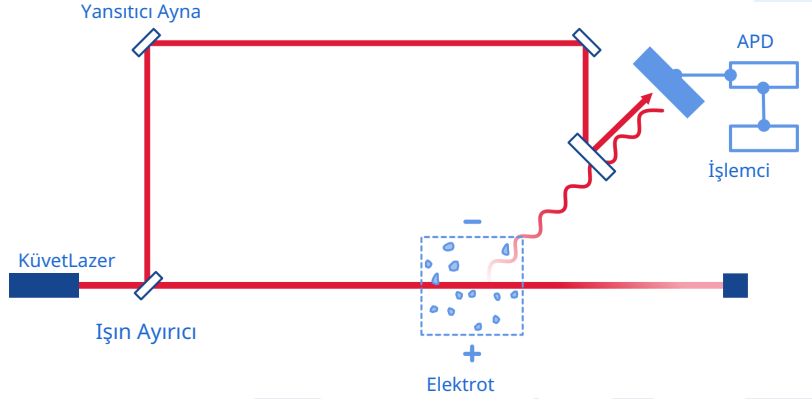
Stern düzlemi, Stern potansiyeli olarak adlandırılır. Kayma düzlemi, pozitif ve negatif iyonların sayısının eşit olduğu çemberi tanımlar ve böylece Partikül-sıvı arayüzünde bir elektro-kimyasal denge sağlanır. Bu bölgede elektrostatik potansiyel zeta potansiyeli olarak adlandırılır. Zeta potansiyeli, dağıtım ortamı ile Partikül katmanına bağlı sıvının durağan katmanı arasındaki potansiyel farkı olarak değerlendirilebilir.

Daha yüksek zeta potansiyeline sahip bir kolloidal sistem, daha kararlı olma eğilimindedir ve agregat oluşturma olasılığı daha düşüktür, oysa daha düşük zeta potansiyelleri, Van der Waals kuvvetleri nedeniyle Partiküllerin flokülasyonuna ve koagülasyonuna yol açar. Zeta potansiyelinin ölçülmesi, seramikler, boyalar, mürekkepler, ilaçlar, su arıtma, gıda ve içecek emülsiyonları gibi birçok alanda yaygın olarak uygulanan kolloidal sistemin stabilitesini değerlendirmek için avantajlı bir yöntemdir.

57

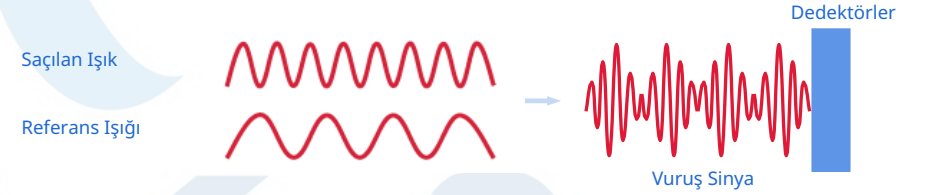
## ELEKTROFORETİK IŞIK SAÇILMA (ELS) NEDİR?

Elektroforetik ışık saçılması (ELS), saçılan ışıktaki Doppler kaymalarına dayalı olarak çözeltide askıda bulunan Partiküllerin zeta potansiyelini ölçmek için kullanılan bir ışık saçılma tekniğidir.



59

Lazer ışını, ışın ayırıcı aracılığıyla bir gelen ışın ve bir referans ışınına ayrılır. Örnek Partikülleri, gelen ışın tarafından aydınlatılırken, referans ışını PZT'den geçer, bu da piezoelektrik etkiyi sağlar, ve yansıtıcı ayna ile birleşerek 12°'lik ileri açıda tespit edilen saçılan ışıkla birleşir. Yüklü Partiküller, elektrik alanına maruz kaldıklarında elektroforez deneyimler. Sonuç olarak, saçılan ışığın frekansı, gelen ışığın frekansına göre Doppler etkisi nedeniyle kayar. Ayrıca, frekans kaymasının büyüklüğü elektroforetik hızla ilişkilidir.



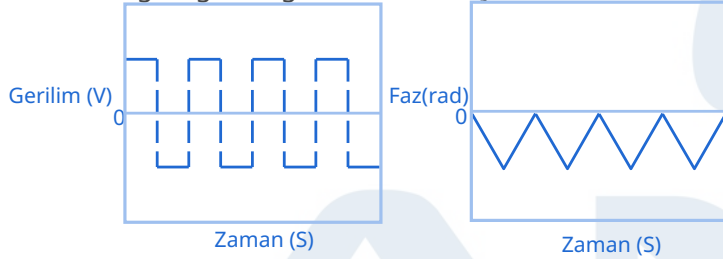
Bir dedektör, saçılma sinyallerini tespit etmek için ileriye yerleştirilmiştir; bu sinyallerle frekans kayması ve elektroforetik hareketlilik elde edilir. Henry'nin denklemi kullanılarak, zeta potansiyeli ve dağılımı elektroforetik hareketliliğe dayalı olarak elde edilebilir.

analitik a.ş

# 58

## FAZ ANALİZİ IŞIK DAĞILIMI NEDİR? (PALS)?

Lazer Doppler elektroforezi (LDE), elektroforetik ışık dağılımında (ELS) elektroforetik hareketliliği ve zeta potansiyelini ölçmek için yaygın olarak kullanılır. Son zamanlarda, frekans kayması yerine faz kaymasını ölçerek sinyal dalgalarını analiz etmek için daha hassas bir teknik olan faz analizi ışık dağılımı (PALS) geliştirilmiştir. PALS, özellikle düşük elektroforetik hareketlilik örnekleri için daha doğru sonuçlar sağlayabilir. ELS ölçümünde yüklü Partiküllerin elektroforez yönlerini değiştirmek için örneğe alternatif bir voltaj uygulanır. PALS, dağılmış ışığın fazlarındaki değişimi zamanla tespit etmek için kullanılır. Faz grafiğinin eğimi, frekans kayması f ile orantılıdır.



Elektroforetik hareketlilik  $\mu$  ile frekans kayması  $f$  arasındaki ilişki aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu = \frac{\lambda}{n \sin \theta} \cdot \frac{1}{E} \cdot \Delta f$$

Henry'nin denklemi, elektroforetik hareketlilik  $\mu$  ve zeta potansiyeli  $\zeta$  ile ilgilidir:

$$\mu = \frac{2\varepsilon_r\varepsilon_0\zeta}{3\eta} f(\kappa\alpha)$$

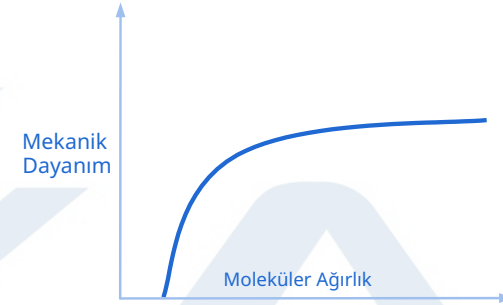
burada  $\varepsilon_0$ , bir vakumda çözücünün dielektrik sabiti,  $\varepsilon_r$ , göreceli dielektrik sabit,  $\eta$ , çözücünün viskozitesi,  $f(\kappa\alpha)$  Henry fonksiyonu,  $\kappa$ , ters Debye uzunluğu,  $\alpha$ , Partikül yarıçapı ve  $\kappa\alpha$ , elektriksel çift katmanın kalınlığı ile Partikül yarıçapı arasındaki oranı ifade eder.

# 59

## MOLEKÜLER AĞIRLIK NEDİR VE NEDEN BU KADAR ÖNEMLİ?

Moleküler ağırlık (Mw), bir maddenin molekülünün ağırlığıdır. Makromolekül, binlerce ile milyonlar arasında değişen yüksek moleküler ağırlığa sahip çok büyük bir moleküldür. En yaygın makromoleküller doğal polimerler, proteinler ve polipeptitlerdir.

Araştırmacılar, polimerlerin ve diğer makromoleküllerin ürün performanslarını önemli ölçüde etkileyen moleküler ağırlığın ölçümüne yakından ve dikkatli bir şekilde yaklaşmaktadır. Aşağıdaki şekil, mekanik dayanımın polimerlerin moleküler ağırlığına bağlılığına bir örnek göstermektedir.



Moleküler ağırlık bağımlılığına bir diğer örnek, polimerik biyomalzemelerdir. İlaç salım sistemleri hazırlarken, hızlı ilaç salımı elde etmek için düşük moleküler ağırlığa sahip polimerler seçilmelidir. Gecikmeli salım için, daha büyük moleküler ağırlığa sahip polimerler gereklidir.

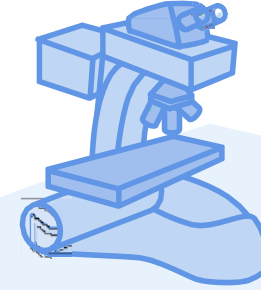
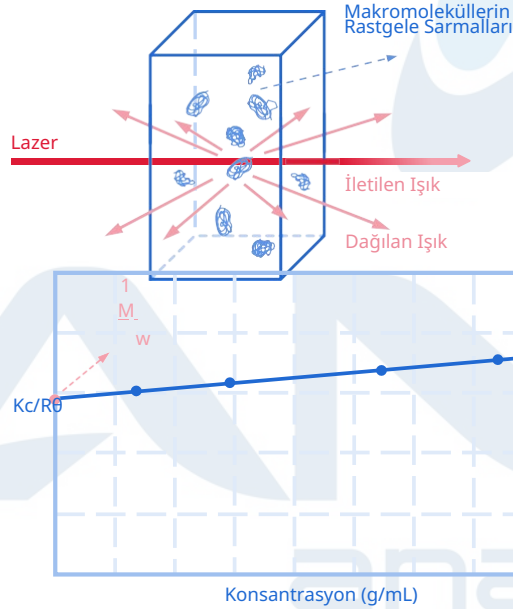
Statik ışık dağılımı (SLS), bir sıvı çözeltideki Partiküllerin ağırlık ortalaması moleküler ağırlığını hesaplamak için ortalama dağılım yoğunluklarını ölçen bir tekniktir. Bir lazer ışını çözeltideki makromolekülleri aydınlatıldığında, makromoleküller ışığı her yöne dağıtır.

Dağılım yoğunluğu ile bir makromolekülün moleküler ağırlığı arasındaki ilişki, basitleştirilmiş Rayleigh denklemi ile tanımlanır:

$$\frac{Kc}{R_\theta} = \frac{1}{M_w} + 2A_2c$$

Cihaz, farklı örnek konsantrasyonlarındaki çözeltilerdeki makromoleküllerin dağılım yoğunluklarını toplar. Debye grafiği,  $Kc/R_\theta$  değerlerini konsantrasyonlara karşı çizerek ve doğrusal olarak uyarlayarak oluşturulur. Doğrusal uyumun eğimi, ikinci virial katsayısı  $A_2$ 'yi hesaplamak için kullanılır. Doğrusal uyumun Y eksenindeki kesişim noktası

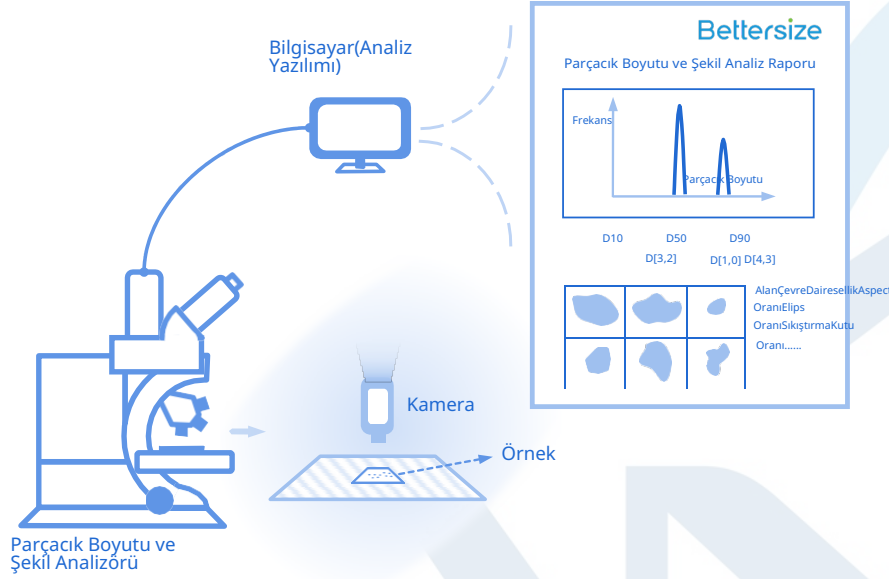
ise moleküler ağırlığın tersini verir.





# 61

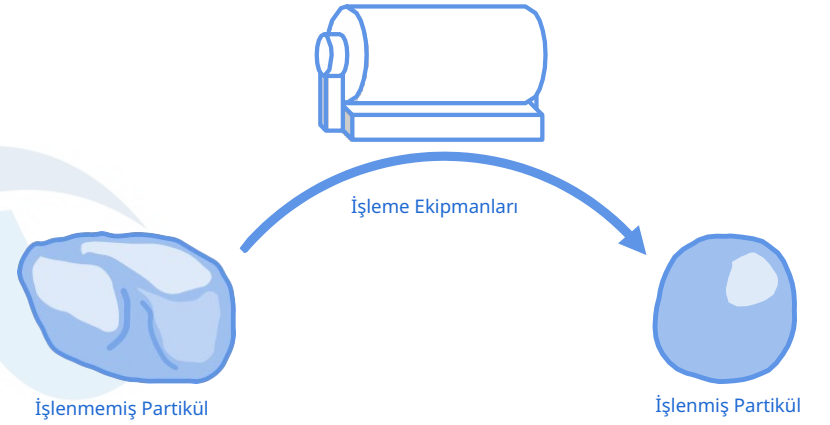
## PARTİKÜL GÖRÜNTÜ ANALİZİ NEDİR?



Partikül görüntü analizi, belirli kameralar kullanılarak elde edilen yakalanan görüntüye dayalı olarak Partikül boyutu ve Partikül şekil parametrelerini belirlemek için bir tekniktir. Partikül görüntü analizindeki kritik adım, sayılan piksellerden iki boyutlu resimler sağlayan yakalanan görüntülerin işlenmesidir. Elde edilen veriler, görüntü ikileştirilmesi, resim kalitesinin artırılması ve Partikül tanımlaması sağlamak için kullanılır. İşlenmiş resim daha sonra bir bilgisayar tarafından algoritmalar yardımıyla otomatik olarak analiz edilerek gözlemlenen örneğin Partikül boyutu dağılımı ve ilgili Partikül şekil parametrelerini verir.

# 62

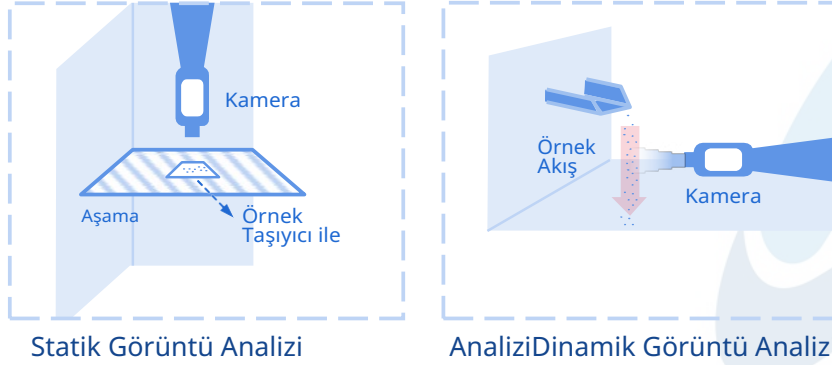
## PARTİKÜL ŞEKLİ NEDEN BU KADAR ÖNEMLİ?



Partikül şekli, ürünlerin işlenmesini ve performansını önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Bu nedenle, bu parametreyi ölçmek kritik öneme sahiptir. Partikül şekli, bilimsel ve endüstriyel araştırmalarda istenen performansa göre değiştirilebilir, bu da ürün kalitesini ve performansını artırır. İşte bazı örnekler. Mürekkeplerin ve kozmetiklerin üretiminde, daha iyi yansıma ve adsorpsiyon için plaka şeklindeki Partiküller önceliklidir; Kauçuk dolgu maddelerinde, aşınma direncine ve dayanıklılığa faydalı olan granüler Partiküller istenir; Plastik filtrelerde darbe dayanımını artırmak için uzun Partiküller gereklidir; Patlayıcı üretiminde yaygın olarak kullanılan pürüzsüz küresel Partiküller, böylece stabiliteyi artırır; Aşındırıcılar için çokgen şekilli Partiküller, öğütme verimliliğini artırmak için gereklidir.

## 63

### STATİK VE DİNAMİK GÖRÜNTÜ ANALİZİ NEDİR?



Statik ve dinamik görüntü analizi, Partikül boyut dağılımını ve Partikül şekil parametrelerini, analiz yazılımı tarafından işlenen elde edilen resme yapılan Partikül projeksiyonlarına göre belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Statik ve dinamik görüntü analizleri arasındaki fark, örnek ile kameranın lensi arasındaki göreceli harekettir. Statik görüntü analizinde, örnek taşıyıcı üzerinde statik olarak yerleştirilmiştir ve bunun üzerinde görüntü yakalamak için bir kamera kurulmuştur. Dinamik görüntü analizinde, Partiküller net bir şekilde yakalanmak için kameranın odak düzleminden geçer. Her iki görüntü analizi için de farklı Partikül boyut aralıklarına sahip Partiküllerin görüntü edinimi için farklı büyütmeleme sahip kameralar mevcuttur.

## 64

### STATİK GÖRÜNTÜ ANALİZİ AVANTAJLARI NELERDİR ?

Statik görüntü analizinde, Partiküller bir mikroskop slaytı kullanılarak sabitlenir ve slaytı tutan aşama, Partiküllerin net bir şekilde yakalanabilmesi için manuel olarak değiştirilebilen veya otomatik olarak programlanabilen bir optimal konum aramak üzere ayarlanabilir. Statik görüntü analizi, maliyet etkinliği ve net görüntü ile karakterizedir. Ayrıca, diğer tekniklere kıyasla yüksek büyütme ile daha fazla Partikül net bir şekilde yakalanabilir. Bunun nedeni, Partiküllerin hepsinin odak düzleminde sabitlenmiş olmasıdır, bu da alan derinliğini dikkate almaktan kaçınır.

## 65

### DİNAMİK GÖRÜNTÜ ANALİZİNİN AVANTAJLARI NELERDİR ?

Dinamik görüntü analizi, Partikül boyutunu ve şeklini analiz etmek için etkili bir yöntemdir ve Partiküllerin kısa maruz kalma süresi ile yüksek hızlı veri toplama sisteminin birleşimi sayesinde hızlı sonuçlar sağlar. Doğru ölçümler yapmak, çok kısa bir süre içinde birçok parçacığın analizi temelinde mükemmel tekrarlanabilirlik sağlayan otomatik bir analiz sistemi kullanarak basit bir işlem ile kolaydır. Dinamik görüntü analizinde, örnekler otomatik bir besleme sistemi yardımıyla ölçüm bölgesine otomatik olarak taşınır; bu, kuru yöntem için hava dağıtımı ile titreşimli bir besleyici ile sağlanır. Islak sistem kullanıldığında, sıvı içindeki Partikülleri dağıtmak ve ölçüm bölgesine taşımak için otomatik bir sıvı dolaşım sistemi çalışır; burada daha sonra analiz edilirler.

## 66

### GÖRÜNTÜ BENİRİZASYON NEDİR?

Görüntü benirizasyon "çiftleme", renkli veya gri tonlamalı orijinal yakalanan görüntüleri, küçük siyah ve beyaz piksellerden oluşan dijital ikili görüntülere dönüştüren bir süreçtir. Görüntü benirizasyon, görüntü analizinin temelidir partikül tanımlama için kullanılan görüntü işleme sürecindeki ana adımdır.



Ölçüm sistemi, otomatik görüntü ikileştirme ve çift eşik görüntü benirizasyon olarak adlandırılan iki görüntü çiftleme yöntemi sunar. Otomatik görüntü benirizasyon, benirizasyon eşik değerinin orijinal görüntüye dayalı olarak otomatik olarak formüle edildiği bir benirizasyon eşik belirleme yöntemidir. Otomatik görüntü benirizasyona ek olarak, kullanıcıların belirli bir piksel değeri aralığındaki pikselleri vurgulamak için çift eşik görüntü benirizasyonu kullanmalarına izin verilir. Çift eşik görüntü benirizasyonda, yalnızca piksel değerleri minimum eşikten büyük veya ona eşit ve maksimum eşikten daha düşük olan pikseller parlak pikseller olarak tanımlanacaktır. Diğer pikseller karanlık pikseller olarak tanınacaktır. Aşağıda bir örnek gösterilmektedir. Benirizasyon süreci, değiştirilmiş eşiklerle değişir.

"Bettersize" piksel değeri = 195  
"Instruments" piksel değeri = 125  
Siyah piksel değeri = 0  
Beyaz piksel değeri = 225

Maksimum eşik = 200  
Minimum eşik = 190

Maksimum eşik = 130  
Minimum eşik = 120



Kalibrasyon katsayısı, görüntüdeki bir pikselin bir kenarının gerçek uzunluğunu ifade eder. Pikselin alanı, piksellerin hepsinin kare olması nedeniyle kolayca hesaplanabilir. Partikül boyutu ve çeşitli Partikül şekil parametreleri, uzunluk ölçümü ve alan hesaplaması ile ilişkilidir. Bu nedenle, kalibrasyon katsayısı, Partikül boyutu ve şekil analizi için hayati öneme sahiptir.

Genel kalibrasyon prosedürü aşağıda açıklanmıştır:

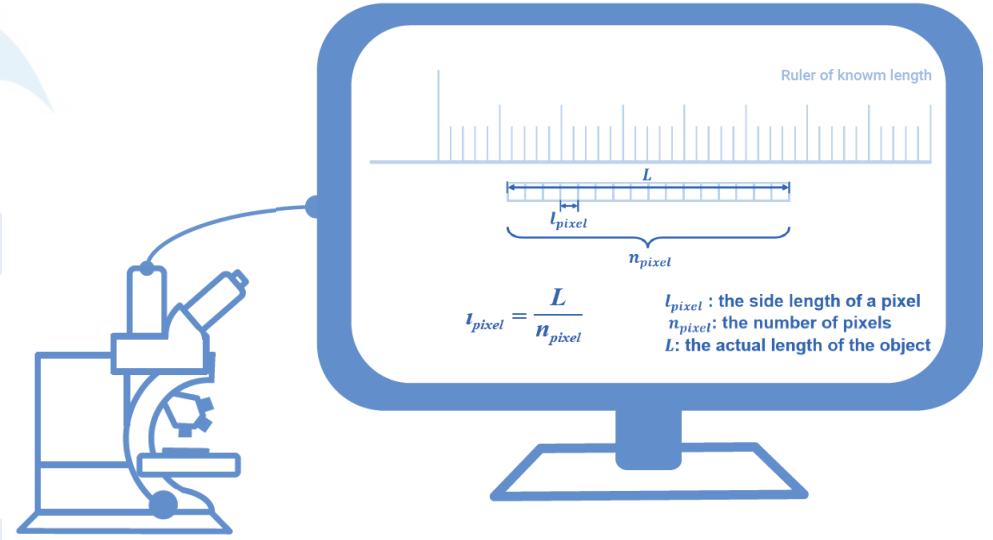
Kullanıcılar, bilinen uzunlukta bir nesnenin (örneğin, bir cetvel) fotoğrafını çekmeli ve bilinen uzunluktaki tam nesneyi içeren bir görüntü elde etmelidir.

- Kullanıcılar, bilinen uzunluk için bir doğru parçası çizmelidir ve bunu vurgulamalıdır. Doğru parçasının genişliği bir pikseldir.

Doğru parçasındaki piksel sayısı yazılım tarafından otomatik olarak hesaplanacaktır.

Kullanıcılar, doğru parçasının gerçek uzunluğunu yazılıma girmelidir. Bu nedenle,

bir pikselin bir kenarının gerçek uzunluğu elde edilebilir; yani, kalibrasyon katsayısı.



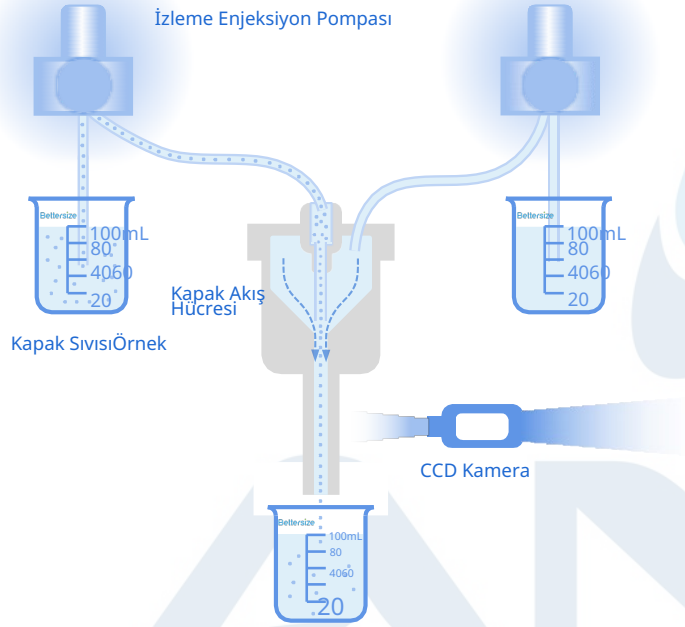
$$l_{pixel} = \frac{L}{n_{pixel}}$$

burada  $l_{pixel}$  bir pikselin gerçek uzunluğu,  $L$  nesnenin gerçek uzunluğu ve  $n_{pixel}$  piksel sayısıdır.

Kalibrasyon prosedüründen, elde edilen kalibrasyon katsayısının yalnızca aynı kamerayla aynı büyütme altında çekilen fotoğraflara uygulanabilir olduğu bilinmektedir. Fotoğraf distorsiyonu, görüntü kalitesi sıkıştırması ve kamera değiştirme gibi herhangi bir işlem kalibrasyon katsayısını değiştirecektir.

68

## DİNAMİK GÖRÜNTÜ ANALİZİNDE ISLAK YÖNTEM KULLANILDIĞINDA NEDEN KAPLAMA SIVISI UYGULANIR? ?

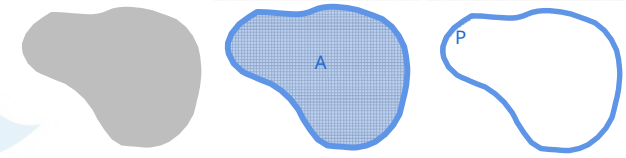


Dinamik görüntü analizinde, ıslak yöntem kullanıldığında, kaplama sıvısı örnek akışına germe ve odaklama kuvveti sağlamak için kullanılır. Kaplama sıvısının varlığında, örnek akışı kameraların odak düzleminde "kilitlenir", bu sayede örnek Partikülleri net bir şekilde yakalanabilir ve Partikül boyutu ve şekil analizinin doğruluğu sağlanır. Kaplama sıvısı kullanılmadığında, örnek akışının odak dışı kalması nedeniyle bulanık Partikül görüntüleri oluşacak ve bu da yanlış Partikül tanımlaması ve analiz sonucu ile sonuçlanacaktır.

69

## BİR PARTİKÜLÜN PROJEKSİYON ALANINI VE ŞEKLİNİ NASIL HESAPLARIZ?

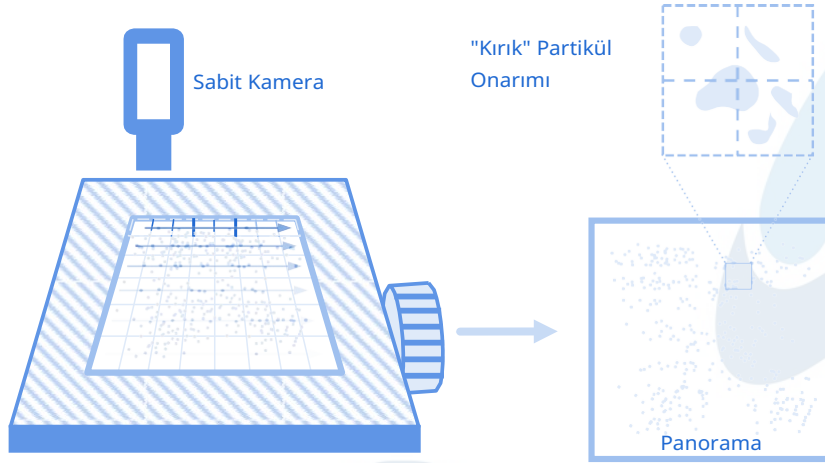
Bu durumda alan, bir partikülün projeksiyon alanını ifade eder. Bir partikülün projeksiyon alanı, piksel sayısını bir pikselin alanı ile çarparak hesaplanabilir. Bir pikselin alanı kalibrasyon katsayısı yardımıyla hesaplanabilir. Bir Partikül projeksiyonunun çevresi, projeksiyon konturunun toplam uzunluğunu ifade eder. Çevre, bir algoritmanın yardımıyla eğri uydurma kullanılarak kontur temsili aracılığıyla hesaplanabilir.



A: Partikülün projeksiyon alanı  
P: projeksiyon konturunun uzunluğu

70

## PANORAMİK MOD NEDİR?



Panoramik mod, bireysel görüntüleri bir panoramaya birleştirmek için kullanılan bir analiz modudur; burada sahnenin hareketi yazılım tarafından kontrol edilir. Analizden önce, kullanıcıların analiz yazılımını kullanarak tarama alanını ayarlamalarına izin verilir. Yaygın statik görüntü analizine kıyasla, sahne adım adım hareket eder ve bireysel görüntüler, seçilen alan tamamen taranana kadar her adımda CCD kamerası tarafından alınır. Elde edilen bireysel görüntüler daha sonra algoritmalar yardımıyla bir panoramaya birleştirilir. Panoramik modun ana avantajı, taşıyıcı üzerindeki tüm örneğin, kenar Partikülleri de dahil olmak üzere, doğru sayım ve analizinin yapılabilmesidir. Partikül sayılarının sayımındaki doğruluk, otomotiv ve ilaç endüstrilerinde önemlidir. Ayrıca, aşırı boyutlu Partiküllerin ölçümü de bu teknikle erişilebilir durumdadır.

71

## GÖRÜNTÜ ANALİZİNDE PARTİKÜLLARI NASIL KARAKTERİZE EDERSİNİZ ?

Partiküller, aşağıdaki gibi çeşitli ilgili Partikül şekil parametreleri kullanılarak karakterize edilebilir:

|                   |                    |             |
|-------------------|--------------------|-------------|
| Alan eşdeğeri çap | Çevre eşdeğer Çapı | Dairesellik |
| Elips oranı       | Sıkıştırma oranı   | Aspect      |
| Kutu oranı        | Düzelik            | Martin çapı |
| Konveklilik       | Konkavlık          | Düzensizlik |

Kalite kontrolü ve bilimsel araştırmalar için faydalı olan hayati parametrelerdir.

## GÖRÜNTÜ ANALİZİ VE LAZER DAĞILIM PARTİKÜLLERİ TARAFINDAN ELDE EDİLEN ÖLÇÜM SONUÇLARI BOYUT ANALİZİ ARALARINDAKİ FARKLAR NELERDİR ?

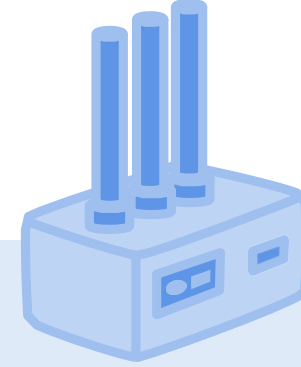
Lazer dağılım Partikül boyutu analizi ile elde edilen ölçüm sonucu, dedektör dizilerine yakalanan Partiküllerin dağılmış sinyallerine dayanmaktadır. Teorik bir sinyal yoğunluğu dağılımını hesaplamak için ters bir algoritma uygulanır ve bu ölçülen ile karşılaştırılır. Teorik ve ölçülen sinyal yoğunluğu dağılımları arasındaki farkı tanımlamak için kalıntı adı verilen bir indeks kullanılır. En küçük kalıntı değerine sahip teorik sinyal yoğunluğu dağılımı ölçüm sonucu olarak kabul edilir. Buna karşılık, görüntü analizi ile elde edilen ölçüm sonucu, algoritmalar yerine gerçek Partikül projeksiyonlarının yakalanan görüntülerine dayalı olarak hesaplanır. Lazer dağılım Partikül boyutu analizi, küçük mikro düzey Partiküllerin analizi için uygun olan sinyal-eşdeğer çaplar verirken, görüntü analizi alan-eşdeğer çaplar sağlar, bu nedenle büyük Partiküllerin ölçümü mümkündür.

PART

Z

## Karakterizasyonu

PARTİKÜL ANALİZİNE  
YENİ BAŞLAYANLAR İÇİN REHBER





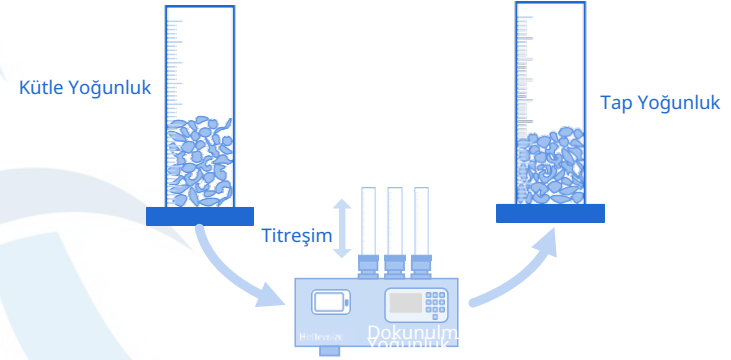
## 73

### TOZ KARAKTERİZASYONU NEDİR?

Toz karakterizasyonu, toz özelliklerinin çeşitli teknikler veya cihazlar kullanılarak ölçülmesini kapsayan terimdir. Tozlar, Partikül boyutu ve şekli gibi çeşitli parametrelerle tanımlanabilen katı Partiküllerden oluşur. Ancak, toz özellikleri yalnızca Partiküllerin özellikleriyle tanımlanamaz çünkü yalnızca bireysel Partiküllerla ilgilenmekle kalmaz, aynı zamanda tozların Partiküller arasında hava içerdiğini ve bu Partiküllerin da akışkanlık, sıkıştırılabilirlik ve yoğunluk gibi toz özelliklerine katkıda bulunan gözenekler içerebileceğini belirtmek gerekir. Toz karakterizasyonu, en önemli ve ilgili endüstrilerden biri olan ilaç, katkı maddeleri ve boyaların üretiminde önemlidir çünkü nihai ürünlerinin performansı, Partikül özelliklerinden büyük ölçüde etkilenmektedir.

## 74

### YIĞIN VE SIKIŞTIRILMIŞ YOĞUNLUK NEDİR? NASIL ÖLÇERİZ?



Yığın yoğunluğu, yığın tozunun yığın hacmine bölünmesiyle elde edilen yığını ifade eder. Yığın yoğunluğu aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$\rho_B = \frac{M}{V_B}$$

burada  $\rho_B$  kütle yoğunluğudur, M gram cinsinden kütledir ve  $V_B$  mililitre cinsinden kütle hacmidir. Kütle hacmi, Partikül katısının, Partiküller arası boşlukların ve Partiküllerdeki gözeneklerin hacimlerini içerir.

Yığın yoğunluğu, toz Partiküllerinin mekansal düzeninden büyük ölçüde etkilenir. sıkıştırılmış yoğunluk değeri, toz Partiküllerini yeniden düzenleyen düzenli bir titreşim üreten bir kabın mekanik olarak vurulmasıyla belirlenebilir ve böylece Partiküller arası boşlukların hacmi azaltılır. Bu nedenle, daha az boşlukla, sıkıştırılmış yoğunluk yığın yoğunluğundan daha büyüktür.

Sıkıştırılmış yoğunluğun hesaplanması, belirli bir zaman diliminde düzenli bir titreşimden sonra bir sıkıştırılmış yoğunluk test cihazı kullanılarak gerçekleştirilebilir.

## 75

### SIKIŞTIRILABİLİRLİK VE HAUSNER ORANI NEDİR?

Sıkıştırılabilirlik ve Hausner oranı, toz malzemenin akışkanlığını göstermek için kullanılan hacimsel yoğunluk ve vurma yoğunluğu kullanılarak hesaplanabilir.

Sıkıştırılabilirliğin hesaplanması:

$$\text{Compressibility} = \frac{\rho_T - \rho_B}{\rho_T} \times 100$$

Hausner oranının hesaplanması:

$$\text{Hausner Ratio} = \frac{\rho_T}{\rho_B}$$

burada  $\rho_T$  vurma yoğunluğudur ve  $\rho_B$  hacimsel yoğunluktur.

Bir tozun akışkanlığı, sıkıştırılabilirlik veya Hausner oranına dayanarak karakterize edilebilir. Bir malzemenin daha düşük sıkıştırılabilirliği veya daha düşük Hausner oranı, daha iyi akış özelliklerini gösterir. <10 sıkıştırılabilirlik veya <1.11 Hausner oranı "mükemmel" akış olarak kabul edilirken, >38 sıkıştırılabilirlik veya >1.60 Hausner oranı "çok kötü" akış olarak kabul edilir.

| Akışkanlık   | Sıkıştırılabilirlik | Hausner Oranı |
|--------------|---------------------|---------------|
| Mükemmel     | <10                 | 1.00-1.11     |
| İyi          | 11-15               | 1.12-1.18     |
| Orta         | 16-20               | 1.19-1.25     |
| Geçer        | 21-25               | 1.26-1.34     |
| Kötü         | 26-31               | 1.35-1.45     |
| Çok Kötü     | 32-37               | 1.46-1.59     |
| Çok Çok Kötü | >38                 | >1.60         |

Bir toz malzemenin akışkanlığı, sıkıştırılabilirlik, Hausner oranı ve dinlenme açısını birleştirerek değerlendirilebilir. Ayrıca, malzemenin akışkanlığını bireysel parametreler aracılığıyla tahmin etmek de mümkündür.

## 76

### BİR TOZUN GERÇEK VE İSKELET YOĞUNLUKLARI NEDİR? NASIL ÖLÇÜLÜR?

İskelet yoğunluğu ve gerçek yoğunluk, gözenekli Partiküllerin yüzey ve iç yapılarıyla ilgili parametrelerdir. İskelet yoğunluğu, gözenekli Partiküllerin kütlesinin, açık gözenekleri hariç tutan Partiküllerin hacmine oranıdır. Gerçek yoğunluk, açık ve kapalı gözeneklerin gözenekli Partiküllerin hacminin hesaplanmasında dikkate alınmadığı mutlak yoğunluk olarak da bilinir. İskelet yoğunluğunun ölçümü, Boyle'un Yasası'nın hacim-basınç ilişkisine dayanan bir gaz piknometresi veya sıvı piknometre kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, bir piknometre yardımıyla elde edilen yoğunluğa piknometrik yoğunluk da denir. İskelet yoğunluğu, gözenekli Partiküllerin kapalı gözenek veya sızdırmaz gözenek içermediği durumda yalnızca gerçek yoğunluğa eşittir.



Boyle yasası, sabit bir sıcaklıkta ideal bir gazın sıkıştırılması ve genişlemesi ile ilgili ilişkiyi gösterir ve belirli bir gaz miktarının basıncının hacmi ile ters orantılı olarak değiştiğini belirtir, aşağıda gösterildiği gibi:

$$P = \frac{1}{V}$$

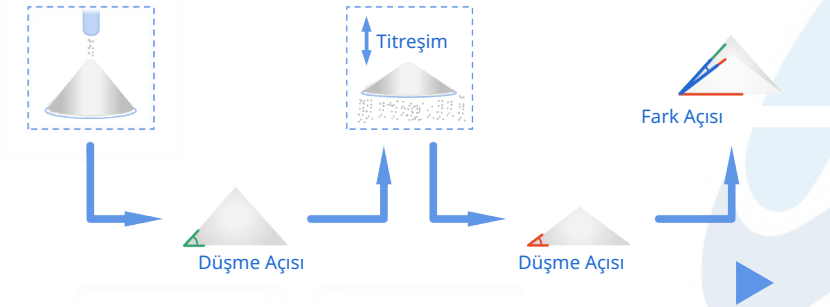
burada P gaz basıncı ve V gaz hacmidir.

Gerçek gazlar, yeterince düşük basınçlarda Boyle yasasına uyar, ancak P,V çarpımı daha yüksek basınçlarda biraz azalır, burada gaz ideal davranıştan sapmaya başlar.

77

## AKMA AÇISI NEDİR, DÜŞME AÇISI VE FARK AÇISI NEDİR?

Toz Fiziksel Özellikler  
Test Cihazı



Düşme açısı, toz Partiküllerının belirli koşullar altında yatay bir yüzeye serbestçe düştükten sonra bir toz konisinin eğimli tarafı ile yatay düzlem arasındaki açıyı ifade eder. Düşme açısı, toz akışkanlığının önemli bir göstergesidir. Düşme açısı ne kadar küçükse, akışkanlık o kadar iyi olur. Genellikle sürtünme açısı ile düşme açısının yaklaşık olarak eşit olduğu varsayılır. Sorgum gibi bazı malzemeler için, iki açının büyüklükleri farklı olabilir.

Düşme açısı, akma açısı ölçüldükten ve toz yığını düzenli mekanik titreşimlere maruz bırakıldıktan sonra elde edilen azalan açıdır. Titreşim sırasında, partiküller eğimli yüzey boyunca toz yığınının aşağı kayar ve bu da düşme açısı adı verilen azalan bir eğim açısıyla sonuçlanır. Fark açısı, düşme açısının akma açısından çıkarılmasıyla hesaplanır. Fark açısı, toz taşabilirliğini değerlendirmek için kullanılabilen birkaç parametreden biridir. Fark açısı ne kadar büyükse, taşabilirlik o kadar iyi olur.

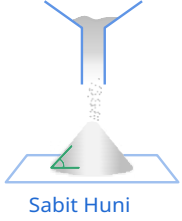
78

## DÜŞME AÇISI NASIL ÖLÇÜLÜR?

Bir malzemenin düşme açısı, malzemenin nihai uygulamasına bağlı olarak çeşitli yöntemlerle elde edilebilir. Düşme açısının değeri, Partikül boyutu dağılımı, Partikül şekli ve Partikül yüzey sürtünmesi gibi farklı faktörlerden etkilenir. Sabit huniler, dairesel platformlar, eğik kutular ve döner silindir yöntemleri, düşme açısını belirlemek için yaygın olarak uygulanan dört yöntemdir.

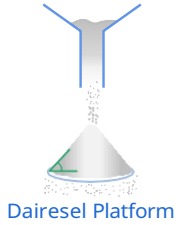
Yukarıdaki yöntemlere ek olarak, düşme açısı alternatif ölçüm teknikleriyle de erişilebilir, örneğin iç huni yöntemi. Aynı toz örneği için ölçüm sonuçları, farklı ölçüm yöntemleri uygulandıktan sonra değişir. Bu nedenle, uygulamaya bağlı olarak düşme açısının belirlenmesi için uygun bir ölçüm yöntemi seçmek kritik öneme sahiptir.

## İÇSEL SÜRTÜNME AÇI NASIL ÖLÇÜLÜR?



## Sabit hunili yöntem

Toz, bir huniden dökülerek bir platforma yerleştirilir ve bir koni oluşturur. Belirlenen yükseklik veya taban belirlenen genişlik ulaşıldığında, toz dökme işlemi durdurulur. Bu durumda, toz konisinin eğik tarafı ile yatay düzlem arasındaki açı, akma açısıdır. Ölçüm sırasında, huni yüksekliği yavaş ve istikrarlı bir şekilde artar, düşen partikülün ölçüm sonuçları üzerindeki etkisini kademeli olarak azaltır.



## airesel platform yöntemi

Toz, bir huniden dökülerek belirli bir çapı olan dairesel bir platforma yerleştirilir. Düşen Partiküller tarafından bir koni oluşur. Toz Partikülleri dairesel platformun kenarına doğru düşmeye başladığında, toz konisinin eğik tarafı ile yatay düzlem arasındaki açı, dinlenme açısıdır.



## Eğik plaka yöntemi

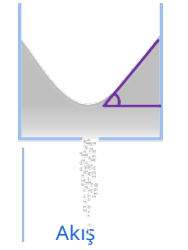
Toz Partikülleri düz bir plaka üzerinde düzleştirilir, ardından düz plakanın bir tarafı yukarı kaldırılır. Toz Partikülleri eğik plaka boyunca aşağı kaymaya başladığında, eğik plaka ile yatay düzlem arasındaki açı, akma açısıdır.



## Dönen silindir yöntemi

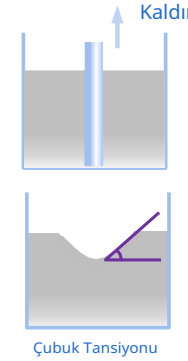
Toz, şeffaf bir silindire yerleştirilir. Silindir belirli bir hızda dönerken, tozun eğik tarafı görünür. Eğik taraf ile yatay çizgi arasındaki açı, dinlenme açısıdır.

İçsel sürtünme açısı, iç toz katmanları arasındaki sürtünme özelliğini gösterir. Tozun iç kısmındaki herhangi bir nokta, yakınındaki Partiküllerin neden olduğu etkileşimden etkilenir ve bu da kayma Partikülleri arasında sürtünmeye yol açar. İçsel sürtünme açısının ölçümü aşağıdaki yöntemlerle gerçekleştirilebilir.



## Akış testi

Toz Partikülleri, alt kısmında tozun kaçtığı bir delik bulunan bir silindire dökülür. Eğik taraf ile yatay çizgi arasındaki açı, içsel sürtünme açısı olarak tanımlanır.



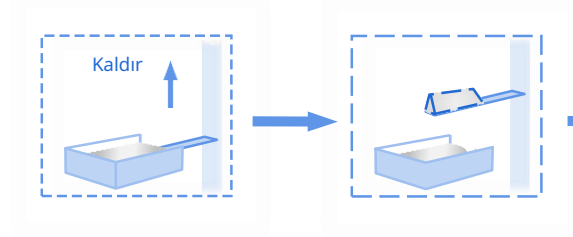
## Çubuk tansiyon testi

Bir çubuk, toz Partikülleriyle çevrili silindirik bir kabın ortasına dikey olarak yerleştirilir. Toz yüzeyi düz bir yüzeydir. Ardından çubuk yukarı kaldırılır ve eğik taraf ile yatay çizgi arasında bir açı oluşturur; bu açı içsel sürtünme açısı olarak tanımlanır.

## 80

### SPATULA AÇISI NEDİR?

Diyeim ki bir spatula tozla kaplı ve ardından spatula dikey olarak yukarı kaldırılıyor. Bu noktada, spatuladaki tozun eğimli tarafı ile yatay düzlem arasındaki açı 1 olarak adlandırılır. Daha sonra, spatulada bir titreşim oluşturmak için dış bir kuvvet uygulanır ve bu da açı 2'yi elde eder. Bu iki açının ortalaması spatula açısı olarak adlandırılır. Spatula açısı ne kadar küçükse, akışkanlık o kadar iyi olur. Genel olarak, spatula açısı, dinlenme açısından daha büyüktür.



## 81

### AKIŞKANLIK NEDİR?

Akışkanlık, tozun yerçekimi altında akış özelliklerini tanımlamak için kullanılır. Akışkanlık, akma açısı, sıkıştırılabilirlik veya spatula açısı gibi yalnızca bir parametre kullanılarak basitçe değerlendirilebilir. Ancak, akışkanlık, toz karakterizasyonu ile ilişkili birçok parametrenin ağırlıklı toplamı olarak daha titiz bir şekilde ifade edilebilen çeşitli indekslerle ilgili bir özelliktir.

Akma açısı, sıkıştırılabilirlik, spatula açısı, uniformite ve kohezyon temelinde Carr indeksleri yöntemi, toz akışkanlığını değerlendirmek için daha kapsamlı bir yöntemdir. Uniformite, D60'ın D10'a bölünmesiyle hesaplanabilir. Kohezyon, belirli bir süre boyunca örneğin titreşimi sonrasında her elekteki toz kütlesinin ölçülmesiyle belirlenir.

## AKIŞKANLIK TOZUN HANGİ ÖZELLİKLERİ ETKİLER ?

Carr İndeksleri Akışkanlık Tablosu

| Angle of Repose           |           | Compressibility |       | Angle of Spatula |          | Uniformity* |          | Cohesion* |       |
|---------------------------|-----------|-----------------|-------|------------------|----------|-------------|----------|-----------|-------|
| Degree                    | Index     | %               | Index | Degree           | Index    | No.         | Index    | %         | Index |
| ≤25                       | 25        | ≤5              | 25    | ≤25              | 25       | 1           | 25       | -         | -     |
| 26-29                     | 24        | 6-9             | 24    | 26-30            | 24       | 2-4         | 24       | -         | -     |
| 30                        | 22.5      | 10              | 22.5  | 31               | 22.5     | 5           | 22.5     | -         | -     |
| 31                        | 22        | 11              | 22    | 32               | 22       | 6           | 22       | -         | -     |
| 32-34                     | 21        | 12-14           | 21    | 33-37            | 21       | 7           | 21       | -         | -     |
| 35                        | 20        | 15              | 20    | 38               | 20       | 8           | 20       | -         | -     |
| 36                        | 19.5      | 16              | 19.5  | 39               | 19.5     | 9           | 19.5     | -         | -     |
| 37-39                     | 18        | 17-19           | 18    | 40-44            | 18       | 10-11       | 18       | -         | -     |
| 40                        | 17.5      | 20              | 17.5  | 45               | 17.5     | 12          | 17.5     | -         | -     |
| 41                        | 17        | 21              | 17    | 46               | 17       | 13          | 17       | -         | -     |
| 42-44                     | 16        | 22-24           | 16    | 47-59            | 16       | 14-16       | 16       | -         | -     |
| 45                        | 15        | 25              | 15    | 60               | 15       | 17          | 15       | ≤6        | 15    |
| 46                        | 14.5      | 26              | 14.5  | 61               | 14.5     | 18          | 14.5     | 6-9       | 14.5  |
| 47-54                     | 12        | 27-30           | 12    | 62-74            | 12       | 19-21       | 12       | 10-29     | 12    |
| 55                        | 10        | 31              | 10    | 75               | 10       | 22          | 10       | 30        | 10    |
| 56                        | 9.5       | 32              | 9.5   | 76               | 9.5      | 23          | 9.5      | 31        | 9.5   |
| 57-64                     | 7         | 33-36           | 7     | 77-89            | 7        | 24-26       | 7        | 32-54     | 7     |
| 65                        | 5         | 37              | 5     | 90               | 5        | 27          | 5        | 55        | 5     |
| 66                        | 4.5       | 38              | 4.5   | 91               | 4.5      | 28          | 4.5      | 56        | 4.5   |
| 67-89                     | 2         | 39-45           | 2     | 92-99            | 2        | 29-35       | 2        | 57-79     | 2     |
| 90                        | 0         | ≥45             | 0     | ≥99              | 0        | ≥35         | 0        | ≥79       | 0     |
| Evaluation of Flowability |           |                 |       |                  |          |             |          |           |       |
| Degree                    | Very Good | Fairly Good     | Good  | Normal           | Not Good | Bad         | Very Bad |           |       |
| Sum of Indices            | 90-100    | 80-89           | 70-79 | 60-69            | 40-59    | 20-39       | 0-19     |           |       |

Akışkanlık, Partikül boyutu dağılımı, Partikül şekli, yoğunluk ve elektrostatik durum gibi birçok faktörden etkilenir; bunlar arasında Partikül boyutu dağılımı ve Partikül şekli en önemli unsurlardır. Örneğin, araştırmalara göre, boyutları 100µm'den küçük olan Partiküllerin oranındaki azalma, akışkanlığın artmasına yardımcı olmaktadır.

\* Kullanımın uniforme veya kohezyon ile belirlenmesi, toz örneğinin ortalama hacimsel yoğunluğu ve eleme çapına dayanmaktadır.



Floodability, tozun yerçekimini aşmasından sonra sıçrama özelliklerini tanımlamak için kullanılan bir göstergedir. Akışkanlık gibi, Carr indeksleri tablosuna göre, floodability dört parametreyi temsil eden dört indeksin toplamı aracılığıyla değerlendirilebilir: akışkanlık, düşme açısı, fark açısı ve dağılım. Aşağıdaki tablo, parametre değerlerinin karşılık gelen indekslere nasıl dönüştüğünü göstermektedir.

Floodability Carr İndeksleri Tablosu

| Flowability |       | Angle of Fall |       | Angle of Difference |       | Dispersibility |       |
|-------------|-------|---------------|-------|---------------------|-------|----------------|-------|
| Value       | Index | Degree        | Index | Degree              | Index | %              | Index |
| ≥60         | 25    | ≤10           | 25    | ≥30                 | 25    | ≥50            | 25    |
| 59-56       | 24    | 11-19         | 24    | 29-28               | 24    | 49-44          | 24    |
| 55          | 22.5  | 20            | 22.5  | 27                  | 22.5  | 43             | 22.5  |
| 54          | 22    | 21            | 22    | 26                  | 22    | 42             | 22    |
| 53-50       | 21    | 22-24         | 21    | 25                  | 21    | 41-36          | 21    |
| 49          | 20    | 25            | 20    | 24                  | 20    | 35             | 20    |
| 48          | 19.5  | 26            | 19.5  | 23                  | 19.5  | 34             | 19.5  |
| 47-45       | 18    | 27-29         | 18    | 22-20               | 18    | 33-29          | 18    |
| 44          | 17.5  | 30            | 17.5  | 19                  | 17.5  | 28             | 17.5  |
| 43          | 17    | 31            | 17    | 18                  | 17    | 27             | 17    |
| 42-40       | 16    | 32-39         | 16    | 17-16               | 16    | 26-21          | 16    |
| 39          | 15    | 40            | 15    | 15                  | 15    | 20             | 15    |
| 38          | 14.5  | 41            | 14.5  | 14                  | 14.5  | 19             | 14.5  |
| 37-34       | 12    | 42-49         | 12    | 13-11               | 12    | 18-11          | 12    |
| 33          | 10    | 50            | 10    | 10                  | 10    | 10             | 10    |
| 32          | 9.5   | 51            | 9.5   | 9                   | 9.5   | 9              | 9.5   |
| 31-29       | 8     | 52-56         | 8     | 8                   | 8     | 8              | 8     |
| 28          | 6.25  | 57            | 6.25  | 7                   | 6.25  | 7              | 6.25  |
| 27          | 6     | 58            | 6     | 6                   | 6     | 6              | 6     |
| 26-23       | 3     | 59-64         | 3     | 5-1                 | 3     | 5-1            | 3     |
| ≤23         | 0     | ≥64           | 0     | 0                   | 0     | 0              | 0     |

| Evaluation of Floodability |           |             |                |           |             |
|----------------------------|-----------|-------------|----------------|-----------|-------------|
| Degree                     | Very High | Fairly High | Tends to Flush | May Flush | Won't Flush |
| Sum of Indices             | 80-100    | 60-79       | 40-59          | 25-39     | 0-24        |

PARTİKÜL ANALİZİNE

YENİ BAŞLAYANLAR İÇİN REHBER





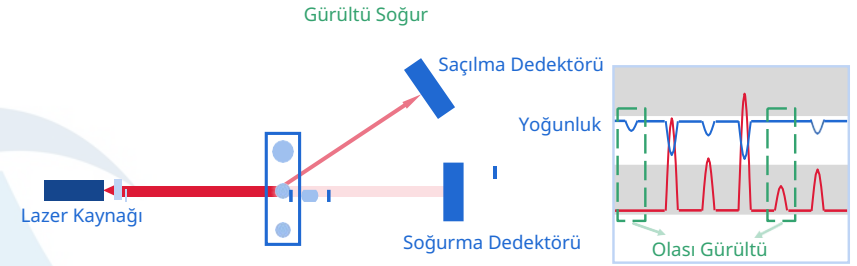
84

## OPTİK PARTİKÜL SAYACI NEDİR?

Optik Partikül sayacı, ışık soğurması veya ışık saçılması teknolojisini uygulayarak Partikül sayımı ve boyutlandırma için kullanılan bir cihazdır. Bir Partikül aydınlatılmış alandan geçtiğinde, ışık kısmen engellenecek veya saçılacak, bu da ışık yoğunluğunda bir azalma veya saçılan ışık sinyalinde bir artışa neden olacak ve bu sinyal dedektörler tarafından yakalanacaktır. Partikül sayımı, ışığın saçılması veya engellenmesi nedeniyle oluşan pozitif veya negatif darbelerin miktarının hesaplanmasıyla gerçekleştirilebilir. Bir dizi referans malzemedan elde edilen standart bir kalibrasyon eğrisi, tespit edilen Partikül yüksekliklerini kalibrasyon eğrisine yerleştirerek Partikül boyutlandırmayı sağlar.

85

## IŞIK SOĞURMA VE IŞIK SAÇILMASI TEKNİKLERİNİN BİRLEŞİMİNİN AVANTAJLARI NELERDİR?

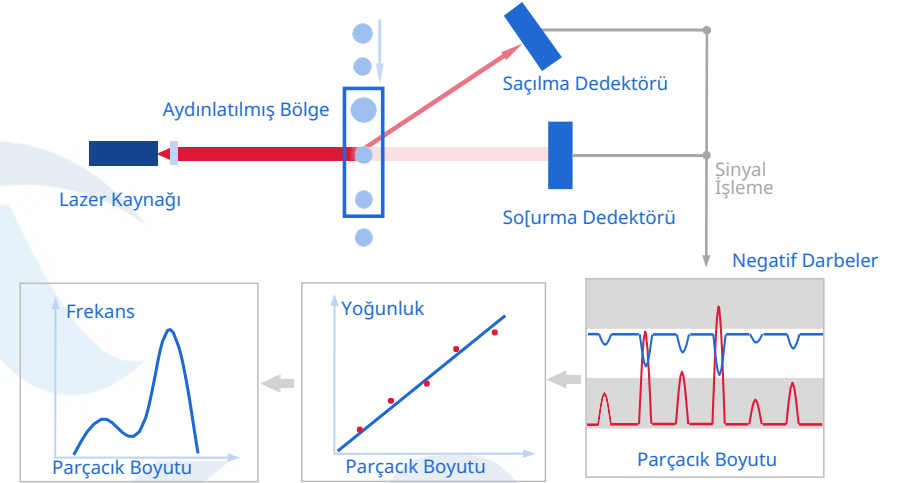


Işık soğurma ve ışık saçılma teknolojilerinin birleşimi, ölçüm doğruluğunu artırır. Bir Partikül aydınlatılmış alandan geçtiğinde, lazer engellenecek ve bu da ışık yayılımı yönünde zayıflamaya neden olacak, bu durum soğurma dedektörü tarafından tespit edilecek ve sinyal diyagramında ardından negatif bir darbe oluşacaktır. Aynı anda, ışık belirli bir açıyla saçılacaktır. Bu nedenle, saçılan ışık sinyali saçılma dedektörü tarafından alınacak ve pozitif bir darbe üretecektir; bu, soğurma dedektöründeki aynı Partikül tarafından oluşturulan negatif darbeye karşılık gelir. Aynı Partikül için, pozitif ve negatif darbe sinyalleri sinyal diyagramında aynı x-koordinatına karşılık gelir. Bu nedenle, bu iki koordinatlı darbe sinyali birbirini doğrulayabilir ve doğrulanmamış diğer darbeler, sinyalin gürültü olarak değerlendirileceği olasılığını işaret eder. Işık soğurma teknolojisi, 1µm'ye kadar yüksek çözünürlükle Partikül sayımı ve boyutlandırma sağlar. 1µm'den daha küçük ince Partiküller için lazer saçılması daha hassastır, bu nedenle ışık saçılmasının uygulanması ölçüm aralığını genişletir.

## OPTİK PARTİKÜL SAYACI İLE PARTİKÜL SAYISI NASIL HESAPLANIR VE PARTİKÜL BOYUTU NASIL ÖLÇÜLÜR?

Optik Partikül sayımı hem ışık soğurması hem de lazer saçılma tekniklerini kullanır. Sıvı içindeki Partiküller, ölçüm bölgesinden geçerken lazer ışığını periyodik olarak keser, bu da kesilme sırasında soğurma dedektöründe bir gölge oluşturur ve bu da akımda bir değişikliğe neden olur ve dolayısıyla negatif bir darbe oluşturur. Negatif darbelerin sayısı ve gücü, Partiküllerin sayısını ve Partikül boyut dağılımını gösterir. Küçük Partiküller için daha düşük ışık soğurma sinyalleri oluşturulur. Partikül boyutu  $1\mu\text{m}$ 'den küçük olduğunda, soğurma sinyalleri tespit edilemeyecek kadar düşüktür. Buna karşılık, lazer ışığı saçılma yöntemi, saçılan ışığı yakalamak için bir dedektör kullanır. Lazer ışığı saçılması, Partiküllerin lazerle etkileşimleri nedeniyle oluşan akım değişikliğini izleyerek çalışır.

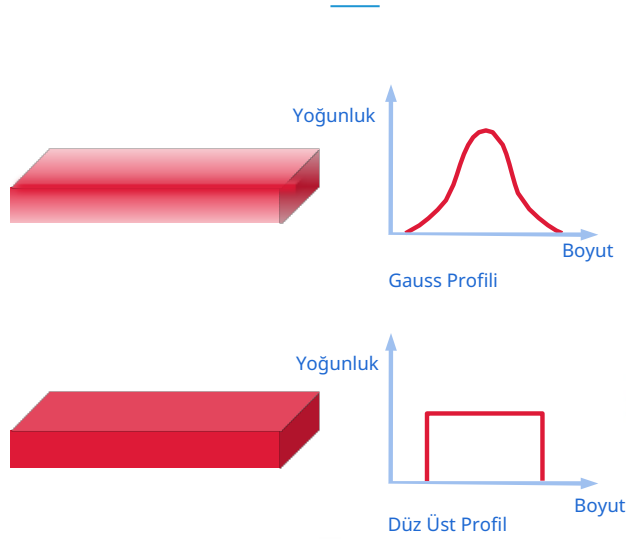
Partikül sayımı, pozitif ve negatif darbelerin aynı anda görüldüğü ve örtüştüğü pozisyonun miktarını hesaplamakla başlar; bu durum ışık saçılması ve ışık engellemesi nedeniyle oluşur. Sinyal diyagramında belirli bir pozisyonda yalnızca pozitif veya negatif bir darbe sinyali üretildiğini varsayalım. Eşik değerine dayanarak, algoritma burada sinyalin gürültü mü yoksa geçerli bir sinyal mi olarak değerlendirileceğini belirlemek için çalışır. Partikül sayımı ile aynı anda, tek bir partikülün darbe yüksekliği kalibrasyon eğrisi ile karşılaştırılacak ve Partikül boyutu elde edilecektir; bu, bir dizi referans malzemenin darbe yüksekliklerine dayanarak gösterilmektedir. Lazer difraksiyon Partikül boyutu analizine kıyasla, optik Partikül sayıcısından elde edilen Partikül boyut dağılımı, ters algoritma yerine kalibrasyon eğrisine bağlıdır.



Darbe Sinyali Analizi Kalibrasyon Eğrisi Partikül Boyut Dağılımı

87

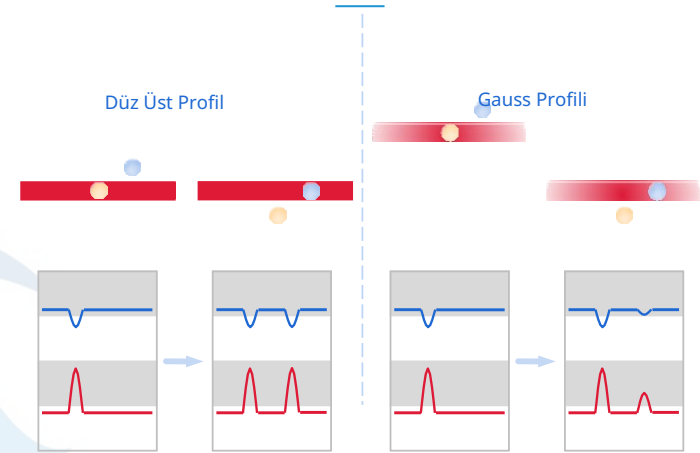
## DÜZ ÜST LASER IŞINIDIR NE?



Düz üst lazer ışını, lazerin kesitinde ışık yoğunluğu dağılımının homojen olduğu ve kenarlarda keskin bir düşüş gösteren bir lazer ışınıdır. Lazer uygulamasına göre, ışık yoğunluğu profili değiştirilebilir. Bir örnek, ışık yoğunluğunun merkezi ekseninde maksimuma ulaştığı ve lazer ışınının kenarında sıfıra ulaşana kadar yavaşça azaldığı bir Gauss lazer ışınıdır. Butür bir lazer esasen lazer kesimi için kullanılır. Optik Partikül sayımı için, düz üst lazer ışınının varlığında sayım doğruluğu artar. Düz üst lazer ışınının üretilmesi, başlangıçtaki Gauss lazer ışınının düz üst lazer ışınına dönüştürülebilmesi için bir optik ışın şekillendirici kullanılarak gerçekleştirilebilir.

88

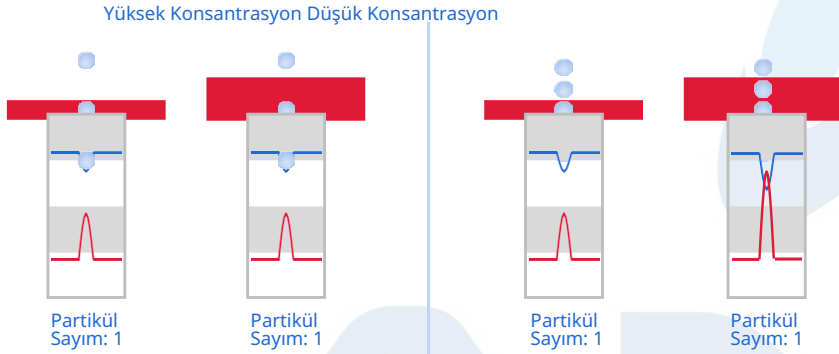
## DÜZ ÜST LASER IŞINI AVANTAJLARI NELERDİR ?



Optik Partikül sayıcıda kullanılan düz üst lazer ışını, lazer ışınından geçen Partiküllerin homojen aydınlatılmasını sağlayarak, homojen dağıtılmış ışık yoğunluğuna sahip bir lazer ışını sağlar. Işık yok etme yöntemi, Partikül boyutu  $1\mu\text{m}$ 'den büyük olan Partiküller için uygundur;  $1\mu\text{m}$ 'den küçük Partiküller için lazer saçılması önceliklidir. Gauss lazer ışınının "kanatlarının" ışık yoğunluğu nispeten düşüktür. Bu nedenle, bu konumda küçük bir Partikül aydınlatıldığında, karşılık gelen saçılan ışık sinyali muhtemelen tanımlanamaz. Bu sorun, lazer ışınının kesitinde aynı Partikül boyutuna sahip Partiküllerin aynı şekilde ışınlandığı, sabit darbe sinyalleri sağlayarak, sayım doğruluğunu artırarak ve ölçüm aralığını genişleterek düz üst lazer ışını kullanılarak çözülebilir. Ayrıca, saf bir Gauss lazer ışınının kesitinde iki aynı Partikül farklı konumlarda aydınlatıldığında darbe sinyalleri farklıdır ve bu da Partikül boyutu analizinde hatalara yol açar. Gauss ışınlarına kıyasla, düz üst ışınların uygulanması daha doğru ve öngörülebilir sonuçlar sunar.

## OPTİK PARTİKÜL SAYIMI VE BOYUTLANDIRMAŞI İÇİN LAZER IŞINI ŞEKİLENDİRME GEREKLİ MİDİR?

Şekillendirilmiş ışın kesiti, Partikül sayımı ve boyutlandırmasında önemli bir rol oynamaktadır. Yüksekliği genişliğinden çok daha küçük olan dikdörtgen şekilli kesit tercih edilmektedir. Aşağıda, farklı kesit şekillerine sahip iki lazer ışını gösterilmektedir.

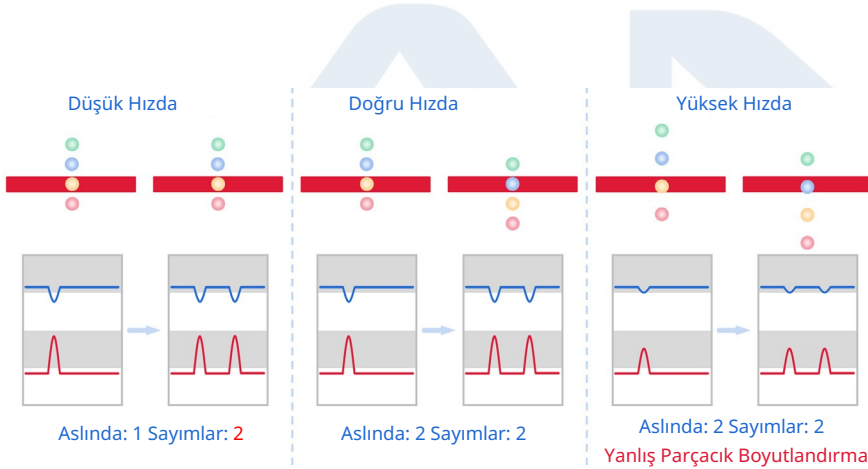


Düşük konsantrasyon durumunda, Partiküller ölçüm bölgesinden geçerken, farklı kesit şekillerinin sayım doğruluğu üzerindeki etkisi önemsizdir çünkü örnek akışı boyunca Partiküller arasındaki mesafe görece büyüktür. Ancak, örnek konsantrasyonu yüksekse, örnek akışındaki Partiküller sıkı bir şekilde düzenlenmiştir. Dikdörtgen şekilli kesitin yüksekliğinin Partikül boyutuna eşit olduğunu veya biraz daha küçük olduğunu varsayalım, Partikül lazerle aydınlatıldığında bir darbe sinyali üretilir ve Partikül sayımı ve boyutlandırması doğru olur. Aksine, dikdörtgen şekilli kesitin yüksekliği, örneğin, Partikül boyutunun iki katına eşit olursa, iki sıkı yerleştirilmiş Partikül aynı anda aydınlatıldığında bir sayım hatası meydana gelebilir ve bu da daha yüksek yoğunlukta bir darbe sinyali ile sonuçlanır. Diğer bir deyişle, üretilmesi gereken iki darbe sinyali şimdi üst üste bindi. Bu nedenle Partikül sayısı 1 olarak tanınacaktır. Partikül boyutu da yüksek yoğunluktan dolayı yanlış hesaplanacaktır. Dikdörtgen şekilli kesitin genişliğinin, Partikül boyutunun üst ölçüm sınırına eşit veya daha büyük olduğunu belirtmek önemlidir; bu, büyük Partiküllerin tespitinde ışık soğurulmasını etkili kılar.

90

## ÖRNEK AKIŞIN ETKİSİ NEDİR? HIZI ÖLÇÜM DOĞRULUĞU ÜZERİNDE?

Yanlış bir örnek akış hızı, Partikül sayımı ve boyutlandırma sonuçlarını etkileyecektir. Eğer akış hızı çok düşükse, Partiküller ölçüm bölgesinde kalabilir, bu da aynı partikülün tekrar tanımlanmasına yol açar ve dolayısıyla bir sayım hatası meydana gelir. Yüksek akış hızında, dedektörün frekans yanıtında sorunlar olacaktır. Partikül aydınlatılan alandan çıktığında, karşılık gelen yanıt sinyali hücre içindeki kısa yanıt süresi nedeniyle maksimum değerine ulaşmamıştır. Bu durumda, Partikül boyutu hesaplaması için kullanılan darbe sinyali, düşük sinyal yüksekliği nedeniyle gerçek Partikül boyutunu yansıtamaz. Optik bir Partikül sayıcı için akış hızı sınırı, normal hızda ve değişken hızda Partikül sayımı sonuçları arasındaki ölçüm hatası  $\pm 5\%$  olduğunda belirlenebilir. Hatanın izin verilen büyüklüğü arttıkça, cihazın performansı daha iyi olacaktır.



91

## ARASINDAKİ FARKLAR NELERDİR? IŞIK SÖNÜMÜ VE LAZER KIRILMASI TEKNİK?

Optik bir Partikül sayıcıda, Partiküller örnek akışında bir boyutta bir düz çizgi halinde birbiri ardına sıkı bir şekilde düzenlenmiştir. İdeal bir durumda, Partiküller aydınlatılan alana bireysel olarak girecek ve bir darbe sinyali, Partikül boyutu hesaplaması için uygulanacak sinyal yüksekliğine sahip bir parçacığa karşılık gelecektir. Lazer kırılması Partikül boyutu analizöründe, Partiküller dağıtım sisteminde döner ve lazer ışını ile aydınlatılır, bu da sayısız tekil sinyalin üst üste binmesiyle oluşturulan bir sinyal diyagramına yol açar. Optik Partikül sayıcısında, yalnızca belirli bir açıdaki saçılan sinyal alınacaktır. Buna karşılık, fotodetektörler lazer kırılması Partikül boyutu analizöründe belirli yerlerde büyük miktarlarda düzenlenmiştir.

Tek bir Partikül için, teorik olarak üretilen saçılan sinyallerin çoğu alınabilir, bu da tek bir partikülün sinyal diyagramını oluşturur. Birçok Partikül aynı anda bir lazer ışını ile aydınlatıldığında, görüntülenen sinyal diyagramı, tekil Partiküllerin sayısız sinyali ile entegre edilir. Bu koşullar altında, Partikül boyutu hesaplaması bir kalibrasyon eğrisi kullanılarak gerçekleştirilemez. Bunun yerine, ters algoritma bir çözümdür; burada Partikül boyutu dağılımı, varsayıma dayalı teorik ışık yoğunluğu dağılımı ile ölçülen ışık yoğunluğu dağılımı karşılaştırılarak elde edilebilir. Artık kabul edilebilir aralıkta olduğunda, varsayım ölçüm sonucu olarak kabul edilebilir.

92

## OPTİK PARTİKÜL HANGİ ALANDA UYGULANIR? EN ÇOK HANGİSİNDE UYGULANIR?

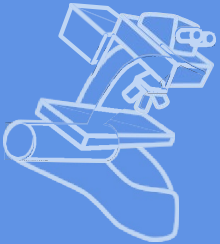
Su kalitesini izlemek için, suda dağılmış çözünmez Partiküllerin sayısını tespit etmek için bir optik Partikül sayacı kullanılır. İlaç endüstrisinde, optik Partikül sayacı da yaygın olarak kullanılmaktadır, özellikle ampullerde. Yağ emülsiyonunun tespiti PFAT5'e dayanır çünkü fazla büyük Partiküller kılcal tıkanmalara yol açabilir. Sodyum klorür infüzyonundaki çözünmez Partiküller, pirojenik reaksiyonlara veya flebitise neden olabilir. Optik Partikül sayacı kullanarak PFAT5'in belirlenmesi gereklidir. Sayacın bir diğer önemli uygulaması, yağlayıcı ve hidrolik yağlardaki kirleticilerin kantitatif analizidir. Kirleticiler tarafından oluşturulan Partiküllerin varlığı bir dizi arızaya yol açar. Optik Partikül sayacı kullanarak çeşitli standartlara dayalı kirlenme seviyesi değerlendirmesi, ekipmanın stabil uzun vadeli çalışması için hayati öneme sahiptir.

93

## OPTİK PARTİKÜL SAYACIYLA YÜKSEK VİSKOZİTELİ NUMUNELERİ NASIL ÖLÇERİZ?

Çözünmez Partiküller içeren su gibi düşük viskoziteli numuneler, yardımcı bir besleme sistemi olmadan doğrudan bir optik Partikül sayacına tanıtılabilir. Yüksek viskoziteli numuneler için, pozitif ve negatif basınçlı bir yardımcı besleme sistemi, numune tanıtımı için faydalıdır. Yüksek viskoziteli numunelerde kabarcıkları çıkarmak için negatif basınç modu kullanılır. Numunelerin dar bir yol üzerinden ölçüm bölgesine tanıtılması için pozitif basınç gereklidir, bu da yüksek viskoziteye rağmen stabil ve sürekli bir numune akışı sağlar.







Yazarlar: Qingyun Dong, Wenjian Zhou, Zhibin Guo, Dongrui Hou  
Resimleyen: Wenjian Zhou

# Bettersize

BETTER PARTICULATE SOLUTIONS

Bettersize Instruments Ltd.  
Adres: No. 9, Ganquan Yolu, Jinquan Sanayi  
Park, Dandong, Liaoning, Çin  
Posta Kodu: 118009  
Tel: +86-415-6163800  
Faks: +86-415-6170645

<https://www.bettersizeinstruments.com>  
[info@bettersize.com](mailto:info@bettersize.com)

Bettersize Inc.  
Adres: Suite K-2, 3188 Airway Ave, Costa Mesa,  
CA 92626,  
Amerika Birleşik  
Devletleri  
Tel: +1 833-699-7493(BOYUT)

Wiki Sitemizi Ziyaret Edin:



Resmi YouTube  
Kanalımızı Ziyaret Edin:



Feragatname: Bu kitabı kullanarak veya erişerek, Feragatname ile herhangi bir nitelik veya sınırlama olmaksızın kabul etmiş olursunuz. Bu kitabın içindeki bilgilerin doğru olmasını sağlamak için titiz bir özen gösterilmiştir, Bettersize Instruments Ltd, burada yer alan hatalardan veya bu materyalin kullanımıyla bağlantılı olarak oluşabilecek zararlardan sorumlu değildir. Bu kitapta yer alan bilgiler genel bilgi olarak sunulmaktadır ve doğruluğu, eksiksizliği veya doğruluğu konusunda açıkça veya dolaylı olarak herhangi bir temsil veya garanti verilmemektedir. Bu, yasal bir teklif veya sözleşmenin parçasını oluşturmaz. Bettersize Instruments Ltd, broşürde belirtilen içeriği önceden bildirimde bulunmaksızın ve şirkete karşı herhangi bir sonraki sorumluluk olmaksızın değiştirme, değiştirme, ekleme ve silme hakkını saklı tutar. Telif Hakkı: © 2023 Bettersize Instruments Ltd. | Tüm Hakları Saklıdır