

## DÖNER KURUTUCU

(Deney No: 4a)

### *Deneyin Amacı*

- Kurutma sırasında meydana gelen kütle ve ısı aktarımı olaylarını incelemek.
- Kurutulacak malzemenin kurutma karakteristiğini ve kurutucunun çalışma verimliliğini belirlemek.

### *Teori*

Bir katının kurutulması genel olarak katı içindeki küçük miktardaki suyun ya da uçucu sıvıların uzaklaştırılarak katının sıvı bileşiminin azaltılması olarak tanımlanmaktadır. Katıların kurutulması amacıyla döner kurutucular, tepsili kurutucular, tünel kurutucular, flash kurutucular vb. gibi değişik şekillerdeki cihazlar kullanılmaktadır.

Döner kurutucular, serbest akan tanecikli malzemelerin konveyörler (taşıyıcı bantlar) veya tepsiler içinde kurutulması zor olduğu durumlarda kullanılır. Döner kurutucularda kurutulacak malzeme, kurutucu tüp içerisindeki kanatçıklar yardımıyla besleme noktasından çıkış bölgesine doğru ilerlerken, kurutucu gaz akımı da paralel ya da ters yönde katı ile temas ettirilerek katının nemi uzaklaştırılır. Kurutma mekanizması genel olarak gaz akımından katı yüzeyine konveksiyonla ısı transferi, katı içerisinde kondüksiyonla ısı transferi ve katıdan dış ortama nem transferi basamaklarını içerir.

Tüpün dönmesi ve kanatçıkların hareketi nedeniyle gaz ile temas eden katı yüzeyi kurutucu boyunca yenilenir. Bu nedenle döner kurutucularda kurutma hızı tepsili veya tünel kurutuculardaki kurutma hızından daha yüksektir. Gaz ile daha büyük katı yüzey alanı temas etmesinden kaynaklanan bu yüksek kurutma hızı gaz doymamış halde tutulabilirse bir avantajdır. Bu nedenle gazın kurutucuya verilmeden önce ısıtılması gerekir. Bazı durumlarda kurutucu içine yerleştirilen tüplerden buhar geçirilip gaz ısıtılarak doymamış sıcaklığına ulaşması önlenir.

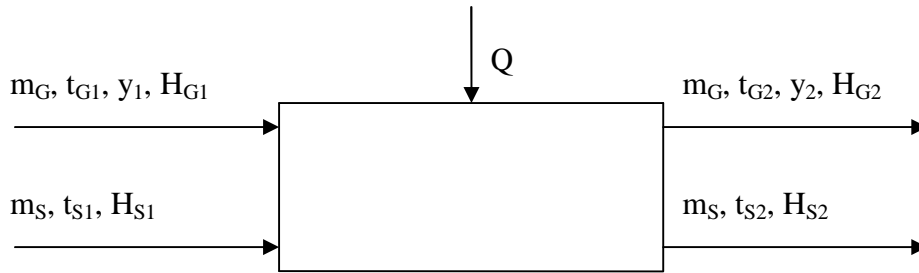
Katının kurutucu içerisindeki hareketi üç farklı mekanizma tarafından kontrol edilir. Birincisi, kurutucunun dönmesi sırasında katı taneciklerin kanatların hareketi ile kaldırılıp yeniden düşmesidir. Her düşmede tanecik kurutucu içerisinde  $X = D \cdot s$  kadar yol alır. Burada,

D kurutucu çapı ve s kurutucunun eğimidir. Eğer kurutucunun uzunluğu L, dönüş hızı N (rpm) ise, bir taneciğin kurutucudaki kalış süresi  $\frac{L}{D.s.N}$  ile orantılıdır. İkinci mekanizma ise kurutucu duvarına çarpan tanelerin diğer tanecikler üzerine yuvarlanmasıdır. Böylece kanatçıklar tarafından kaldırılmamış tanecikler kurutucu tabanında ileri doğru hareket ederler. Bu harekete “Kiln Action” adı verilir ve katı tanelerinin hareketini önemli ölçüde etkiler. Üçüncü mekanizma gaz hareketi nedeniyle meydana gelir. Eğer kurutucu gaz sisteme beslemeyle aynı yönde verilirse (paralel akış) katı tanelerinin hareketini hızlandırır. Ters akımla çalışan kurutucularda ise yavaşlatır.

Kurutucularda kütle ve ısı aktarımı olayları incelenirken, kurutucu giriş ve çıkışındaki miktarları değişmediği için hesaplamalarda kolaylık sağlaması nedeniyle inert (kuru) gaz ve kuru katı temel alınır. Bu durumda gaz ve katıdaki nem derişimleri de inert madde bazında tanımlanmalıdır. Eğer katıdaki nem oranı x, gazdaki nem oranı y ile gösterilecek olursa inert madde temeline göre nem oranları:

$$X = \frac{x}{1-x} \left[ \frac{\text{kgnem}}{\text{kgkurukati}} \right] \quad Y = \frac{y}{1-y} \left[ \frac{\text{kgnem}}{\text{kgkurugaz}} \right]$$

şeklinde tanımlanır. Bu tanımlar kullanılarak aşağıda blok diyagramı verilen kurutucu için madde denklikleri yazılacak olursa  $m_G$  ve  $m_S$  sabit olduğundan,



Şekil 1. Döner Kurutucu Blok Diyagramı

$$m_S X_1 + m_G Y_1 = m_S X_2 + m_G Y_2 \quad (1)$$

$$m_S (X_1 - X_2) = m_G (Y_2 - Y_1) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada;

$m_s$  : Kuru katı akış hızı, *kg kuru katı/s*

$m_g$  : Kuru gaz akış hızı, *kg kuru gaz/s*

Paralel akımla çalışan bu kurutucu için enerji denkleğini vermeden önce bazı tanımların verilmesi gerekmektedir.

#### Rutubetli Katının Entalpisi

$$H_S = C_D(t_S - t_R) + XC_0(t_S - t_R) \quad (3)$$

#### Rutubetli Gazın Entalpisi

$$H_G = C_B(t_G - t_R) + Y[C_A(t_G - t_R) + \lambda_0] \quad (4)$$

hava ve su buharından oluşan karışım için referans sıcaklık  $t_R$  0°C seçilirse, bu eşitlik;

$$H_G = [1005 + 1864Y]t + 2502300Y \quad (5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Şimdi yukarıda ele alınan kurutucu için enerji denkliği yazılabilir.

$$M_{S_1}H_{S_1} + M_{g_1}H_{g_1} = M_{S_2}H_{S_2} + M_{g_2}H_{g_2} + Q \quad (6)$$

Yukarıdaki eşitliklerde;

$M_s$  : Nemli katının akış hızı, *kg/s*

$M_g$  : Nemli gazın akış hızı, *kg/s*

$C_A$  : Buharın ısı kapasitesi, *J/kg.K*

$C_B$  : Kuru buharın ısı kapasitesi, *J/kg.K*

$C_D$  : Kuru katının ısı kapasitesi, *J/kg.K*

$C_0$  : Nemin sıvı haldeki ısı kapasitesi, *J/kg.K*

$t_S$  : Katının sıcaklığı, °C

$t_G$  : Gazın sıcaklığı, °C

$t_R$  : Referans sıcaklık, °C

$Q$  : Kurutucuda net ısı kaybı, *J/s*

$\lambda$  : Buharlaştırma gizli ısı, *J/kg*

#### ***Deney Düzenegi***

Deney düzenegi, SSE37M model döner kurutucu ve aksesuarlarından oluşmaktadır. Kurutucu esas olarak kelebek vanalı besleme hunisi, gaz besleme fanı, gaz besleme ısıtıcısı, siklon ayırıcı, ürün toplama kabı, döner kurutucu tüpü ve motorundan oluşmaktadır.

Cihazın ön tarafına yerleştirilmiş bulunan panoda kurutucu tüpünü döndüren motorun, fanın ve ısıtıcının açma kapama düğmeleri yer almaktadır. Bu düğmeleri kullanırken deneysel yöntem kısmında verilen sıralamaya dikkat edilmelidir.

Döner kurutucu tüpü 76 dişli bir çarka sahiptir. Bu çarkın zincirine bağlı motor dişlilerinden herhangi birine göre hız ayarlanmaktadır. Eğer çark motorun 38 dişli çarkına bağlanırsa kurutucu tüpünün dönme hızı 17,5 rpm, 17 dişli çarkına bağlanırsa dönme hızı 7,83 rpm olur.

Ayrıca gerekli eğimi vermek üzere kurutucunun monte edildiği taban üzerinde iki vida bulunmaktadır. Bu vidalar ile tüpe 0° ile 4° arasında bir açıyla eğim verilebilir. Düşük besleme şartlarında 2°'lik bir açı verilmesi halinde tüp 41mm'ye eşdeğer bir yükseklik farkı kazanır. 4°'lik bir açı verilmesi halinde tüp 89 mm'ye eşdeğer bir yükseklik farkı kazanmış olur.

Cihazın önemli aksesuarlarından biri hava akış hızını belirlemek üzere kullanılan orifis levhalarıdır. Fanın hemen girişine monte edilen bu orifis levhaları için Tablo 1'de hava akış hızı, orifis çapına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Orifis çapına göre yaklaşık hava akış hızları

Orifis Çapı mm	Kurutucu Tüpündeki Hava Akış Hızı m/s
34.0	4.60
29.5	2.55
<b>23.0</b>	<b>1.53</b>
19.5	1.02
16.5	0.70

Hava giriş fanına bağlı ısıtıcının hemen üzerinde besleme hunisinden önce hava giriş sıcaklığını ölçmek için bir termometre, hava çıkış sıcaklığını ölçmek için ikinci bir termometre ( daldırmalı tip) bulunmaktadır.

Tüpün çıkışında camdan yapılmış ve yaylı bir sistem üzerine oturtulmuş toplama kapları ile hava akımıyla sürüklenen katı tanecikleri tutmak için bir siklon ayırıcı yer almaktadır. Tüp çıkışında, tüp içerisinde birikimin olup olmadığını kontrol için ayrıca bir gözetleme camı monte edilmiştir.

Sistem bu haliyle paralel akımla çalışmaya uygundur. Ancak besleme hunisi ve siklon yer değiştirilirse ters akımla da çalıştırılarak, bu iki farklı şartlarda kurutucu performansının karşılaştırılması mümkündür.

### ***Deneyel Yöntem***

Planlanan deneysel çalışmayı yapabilmek için deney tarihinden en az 3 gün önce deney sorumlusu öğretim üyesi ile deneyi tartışmanız gerekmektedir. Görüşme öncesinde aşağıda yazılı olan 3 maddenin gerçekleştirilmiş olmasına dikkat ediniz.

- Laboratuvarda bulunan deney düzeneğini inceleyiniz.
- Deney düzeneğinin akım şemasını oluşturunuz.
- Deneysel çalışmanın nasıl yapılacağı ile ilgili detaylı bir deneysel yöntem öneriniz ve ders sorumlusu ile tartışınız.

### ***Hesaplamalar***

- Ölçülen ıslak ve kuru termometre sıcaklıklarını kullanarak laboratuvar havasının mutlak nemini bulunuz. Islak ve kuru termometre sıcaklıklarını ölçen “Higrometre” cihazının çalışma prensibini anlatınız.
- Zamana karşı ölçülen kurutucu giriş ve çıkış sıcaklıkları verilerinden, hava-rutubet diyagramı yardımıyla malzemeden uzaklaştırılan toplam nem miktarını bulunuz. (Adyabatik doyurma yapıldığı kabul edilebilir. Neden?)
- Kurutucudan önce ( $m_1$ ) ve sonra ( $m_2$ ) numune miktarını tartınız. Kurutucudan çıkan numuneden aldığınız örneğin etüve konmadan ( $m_3$ ) ve etüvden sonra ( $m_4$ ) yapılan tartımlar yardımıyla kurutucuda malzemeden uzaklaştırılan toplam nem miktarını belirleyiniz.
- Yaş malzemeden alınan örneğin etüve konmadan önce ( $m_5$ ) ve etüvden çıkarıldıktan sonra ( $m_6$ ) tartımlarını kullanarak nem oranını bulunuz. Bu veri yardımıyla kuru katı temele göre besleme hızını hesaplayınız.
- Yukarıda bulmuş olduğunuz değerler ışığında kurutucunun çalışma verimini hesaplayınız.
- Havanın giriş ve çıkış sıcaklıklarından ortalama kurutucu sıcaklığını belirleyerek bu sıcaklıktaki suyun buharlaşma gizli ısısı yardımıyla kurutucuya verilmesi gerekli ısı miktarını hesaplayınız.

### ***Kaynaklar***

- Foust, A.S., Wenzel, L.A., Clump, C.W., Maus, L., Andersen, L.B., Principles of Unit Operations, John Wiley and Sons, 1980.
- Mc Cabe, W.L., Smith, J.C. and Harriott, P., Unit Operations of Chemical Engineering, 6<sup>th</sup> Ed., McGraw-Hill Inc., 2001.

- Geankoplis, C.J., Transport Processes and Separation Process Principles, 4<sup>th</sup> Ed., Prentice Hall, 2003.
- Himmelblau, D.M., Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 7<sup>th</sup> ed., Prentice Hall, 2004.

Deney Adı : Döner Kurutucu

Grup No :

Grup Üyeleri :

Deney Tarihi :

### VERİLER

Laboratuvar havasının kuru termometre sıcaklığı,  $T_k$  :  
Laboratuvar havasının yaş termometre sıcaklığı,  $T_w$  :  
Kurutulacak katı malzemenin besleme akış hızı :  
Kurutulacak malzemeden alınan örneğin ağırlığı,  $m_1$  :  
Orifis çapı, mm :  
Hava akış hızı, m/s :

Zaman (t), s	Havanın Giriş Sıcaklığı, °C	Havanın Çıkış Sıcaklığı, °C

Deney süresince her iki toplama kabında toplanan malzemenin toplam kütlesi,  $m_2$  :  
Kurutucudan çıkan numuneden alınan örneğin etüve konmadan önceki kütlesi,  $m_3$  :  
Kurutucudan çıkan numuneden alınan örneğin etüvden sonraki kütlesi,  $m_4$  :  
Kurutulacak (yaş) malzemeden alınan ve etüve konulan örneğin kütlesi,  $m_5$  :  
Etüvden çıkan kurutulmuş malzemeden alınan örneğin kütlesi,  $m_6$  :

*Sorumlu Öğretim Üyesi*

#### NOT :

- Veri kağıdı tükenmez kalem ile doldurulacak ve grup üyeleri tarafından ayrı ayrı imzalanacaktır.
- Veri kağıdı deney sonrası ilgili öğretim üyesine imzalatılacak ve orijinal kopyası deney raporuna eklenecektir.
- Çalışılan deney düzeneği temizlendikten ve cihazın kapatılması için laboratuvar görevlisine haber verildikten sonra laboratuvar terk edilecektir.
- Deney raporlarınızın teslim tarihi en geç deneyi yaptığınız günün bir hafta sonrasındır.