

5. BÖLÜM:

Kurutmayla İlgili Teorik Bilgiler

Kurutma Teorisi, Kurumanın Statiđi ve Kinetiđi, İnce Tabaka Halinde Kurutma İlkeleri

Kurutma Teorileri

- Nem içeren katı maddelerin kuruma hızları genel olarak birbirinden açık şekilde ayrılabilen iki veya bazen 3 bölümden oluşur.
- Sabit kuruma hız periyodunda katı yüzeyindeki suyun hava akımına buharlaşmasını gaz film transfer katsayısı kontrol etmektedir. Buna karşılık azalan hız periyodunda su buharının katı bünyesinden yüzeye transfer mekanizması daha farklıdır.
- Gözeneksiz katılar genel olarak düzenli bir nem dağılım diyagramına sahiptirler.

➤ Difüzyon Teorisi

- Difüzyon yavaş kuruyan materyallerin karakteristik davranışıdır. Katı yüzeyinden havaya su buharının kütle transferi direnci genellikle ihmal edilir ve bütün kuruma hızını katıdaki difüzyon kontrol eder. Böylece yüzeydeki nem içeriği denge değerindedir veya denge değerine çok yakındır. Sıcaklıkla difüzyon katsayısı arttığından, katıdaki sıcaklığın artmasıyla kuruma hızı artar.
- Difüzyon teorisine göre katının iç kısımlarındaki suyun yüzeye hareketi katı içi difüzyonla gerçekleşir. II. Fick kanununa uyan buhar veya sıvıların transferinde bu tip difüzyon kontrollü kütle transferinin olduğu varsayılır.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial L^2} \right)$$

- Burada C, A ve B' den oluşan karışımdaki bileşenlerden herhangi birinin bileşimidir.
- Yassı tabakaların kurutulmasında azalan hız periyodu için aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{M - M_e}{M_c - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-\alpha\beta} + \frac{1}{9} e^{-9\alpha\beta} + \frac{1}{25} e^{-25\alpha\beta} + \dots \right)$$

Burada;
 $\beta = Dt/L^2$
 $\alpha = (\pi/2)^2$

M, t anındaki nem içeriği

M_c , Kritik nem içeriği

M_e , Denge nem içeriği şeklinde tanımlanır.

➤ **Kapilar Teorisi**

- Gözenekli katılarda katı içerisindeki sıvının yüzey hareketi, difüzyonla kütle transferinden ziyade kapilar hareketle meydana gelir. Kapilar teoriye göre katı madde değişik büyüklük ve şekillerde gözenek ve kanallara sahiptir. Bu durumda katı gözeneklerindeki sıvı kanallardan hareket ederek yüzeye ulaşır.

$$t_f = \frac{P_s d \lambda (M_c - M_e)}{h_t (t - t_s)} \ln \frac{(M_c - M_e)}{(M - M_e)}$$

- Burada; t_f , azalan hız periyodundaki kuruma zamanı, P_s , katının yoğunluğunu ifade etmektedir.

➤ Krischer teorisi

- Değişik gözenekli ortamlarda ısı ve kütle transferini analiz eden Krischer, kurutmada ısı transferinin rolünü açıklayan ilk bilim adamlarındandır ve O'nun çalışmaları geliştirilen kurutma teorilerinin çoğu için temel oluşturmuştur.
- Krischer, nemi yüzeye ulaştıran etkinin difüzyonel etki ile kapiler etkinin toplamı olduğunu düşünmüş ve buhar fazındaki hareketin difüzyonla, sıvı fazdaki hareketin ise kılcal boru etkisi ile olduğunu ve her iki fazda hareketin tek yönlü olduğunu kabul etmiş. Henry'nin yazmış olduğu sıcaklık ve nem içeriği arasındaki lineer bağıntıyı kullanarak sıcaklık ve nem yoğunluğunu zamanın bir fonksiyonu olarak ifade etmiştir. Ancak, teorinin kurutma zamanını doğru bir biçimde hesaplayabilmesi için gözenekli cismin iki fiziksel özelliğinin bilinmesi gerekir. Bunlardan birincisi kapiler geçirgenlik, ikincisi difüzyonal direnç katsayısıdır. Bu iki katsayı genellikle gözenekli cisimde gözeneklerin yapısına, sıcaklığına ve nem dağılımına bağlıdır.

➤ Philip ve DeVries Teorisi

- Krischer teorisine benzer bir yolu izleyen Philip ve DeVries, gözenekli ortamda sıvı ve buhar hareketinde sıcaklık gradyanlarının etkisini açıklayan bir denklem grubu türetmiştir.
- Bu teori daha sonraları nemlendirme ısısının ve duyulur ısı transferinin katılması ve sıvı ve buhar fazlarında nem içeriğinin değişimlerinin ayırdedilmesiyle DeVries tarafından geliştirilmiştir.
- Kolay algılanabilir fiziksel temeline rağmen difüzyon denklemlerine benzeyen denklemlerinin katsayılarının hem dikkatli deneyler sonucu saptanabilmesi hem de bu yaklaşımla gerçek kurutma koşullarındaki kurutma olayını açıklamanın zorluğu bu teorinin çok fazla rağbet görmemesinin başlıca nedenleridir.

Kurumanın Statiđi

Hava ile materyal arasındaki nem dengesinin, zamanın dikkate alınmaksızın incelenmesidir.

Nem dengesi iki olayla gerçekleşebilmektedir:

- Desorpsiyon (materyalin çevre havasına nem vermesi)
- Sorpsiyon (materyalin çevreden nem alması)

- Denge durumunda, havada bulunan su buharının kısmi basıncı (P_b) ile ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ($P_{\ddot{u}}$) birbirine eşittir.
- Materyalin yüzey sıcaklığı yaklaşık çevre havası yaşı termometre havası sıcaklığına eşit olduğundan, ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ($P_{\ddot{u}}$) ile havanın yaşı termometre sıcaklığındaki su buharının kısmi buhar basıncı (P'_{b}) eşit alınabilmektedir.
- Bu nedenle denge durumunda materyalin ulaştığı nem (N_d), havanın kısmi buhar basıncına yani bağıl nemine (ϕ) bağlıdır.

Kurumanın Kinetiđi

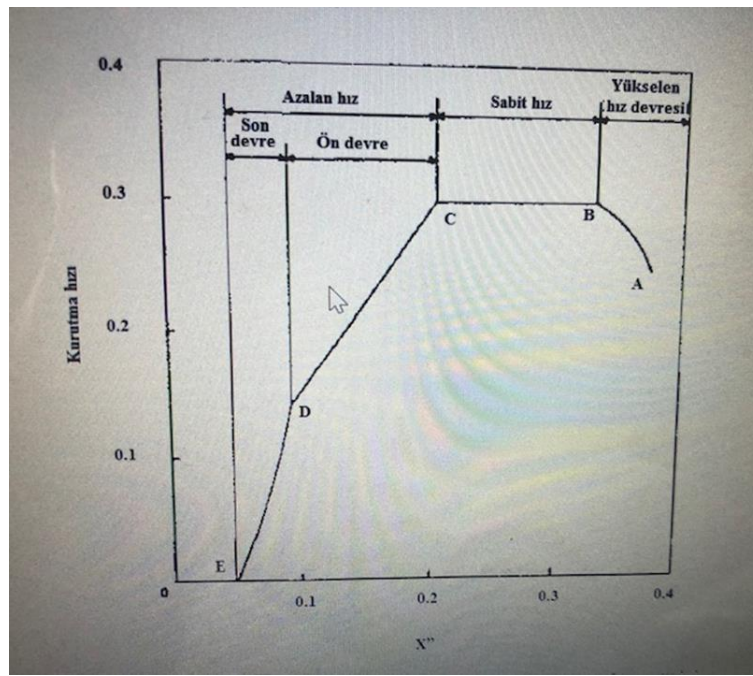
- Materyal ile çevresindeki hava arasındaki nem alışverişinin, kuruma sürecinde geçen zaman dikkate alınarak incelenmesidir.
- Herhangi bir materyalin kuruması kinetik açıdan incelenirken, materyalin nemi ile kuruma süresi, kuruma hızı ile materyal nemi, kuruma hızı ile kuruma süresi ve materyal sıcaklığı ile nemi arasındaki ilişkiler dikkate alınır. Kuruma süreci içinde üç karakteristik evreyle karşılaşılmaktadır. Bu evreler, materyalin ısınma evresi (IE), sabit hızla kuruma evresi (SHE) ve azalan hızla kuruma evresi (AHE) şeklinde adlandırılabilir.

İnce Tabaka Halinde Kurutma İlkeleri

- İnce tabaka kuruma kuramı, kurutulacak ürünün yalnızca bir tanesinin kalınlığına sahip olacak şekilde serilmesiyle elde edilen, kuramsal bir ürün tabakasını belirtir.
- Kurutma havasının bu tabakanın içinden geçerken sıcaklık ve nem değerlerinde bir değişikliğin olmadığı kabulünün yapılabilmesini sağlamaktadır. Tarım ürünlerinin ince tabaka halinde kurutulması sırasında ısı ve kütle iletimi sabit ve azalan kuruma evreleri için ayrı ayrı incelenir.

➤ Sabit Hızda Kuruma Evresi

- Sabit hızda kuruma evresi, ürünün içerdiği nem kritik nem değerlerinden daha fazla olduğunda görülebilir.
- Sabit hızda kuruma evresi süresince; kuruma hızının, kurutma havasının sıcaklığından, bağıl neminden ve hızından etkilendiği, ürünle ilgili unsurlardan etkilenmediği, ürün yüzey sıcaklığının, kurutma havasının yaş termometre sıcaklığına eşit olduğu, ürün yüzeyindeki su buharı basıncının, yüzey sıcaklığına eşit sıcaklıktaki doymuş buhar basıncına eşit olduğu kabul edilir.



- Bu evre sırasında, ürün yüzeyi ince bir su filmiyle kaplı ve sıvı üzerinden kurutma havası akışı gerçekleştiği için buharlaştırmalı serinletme işlemi gibi düşünülebilir.
- Buharlaşma sıvı yüzeyinden olur ve faz değişimi için gerekli enerji, sıvının buharlaşma gizli ısısıdır. Yüzeye yakın sıvı moleküllerinin çarpışmaları sonunda moleküllerin enerjisi yüzey bağlanma enerjisini yenebilmek için gerekli enerjinin üzerine çıkar ve buharlaşma olur.

➤ Azalan Hızla Kuruma Evresi

- Bu kuruma evresinde, materyalin yüzeyinden konveksiyonla ısı ve kütle iletiminin yanı sıra ürün içindeki ısı ve kütle difüzyonunun da dikkate alınması gerekmektedir.
- Azalan hızla kuruma evresiyle ilgili teorik ve yarı teorik kuruma modellerinin geliştirilmesi sırasında, işlemleri biraz daha kolaylaştırmak amacıyla, bazı ön kabuller yapılır. Bu kabuller aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilir;
 - Ürün içindeki nem dağılımı tek düzedir,
 - Kuruma, madde içindeki nemin su ve buhar fazında difüzyonu sonucu oluşur,
 - Difüzyon, nem konsantrasyonu farkı, sıcaklık konsantrasyonu farkı, buhar basınçları konsantrasyonu farkı gibi etkenlere bağlıdır,
 - Kurutma havasının özellikleri (sıcaklık, hız, bağıl nem) kuruma süresince değişmez,
 - Ürün ince bir tabaka şeklinde serilir.

- Bu model kurutma mekanizmasını difüzyon modeline göre daha iyi bir biçimde tanımlamasına rağmen matematiksel formülasyonu oldukça karmaşıktır. Dolayısıyla elde edilen kurutma hızı her madde için değişik olup ayrıca uygulamaları da o nispette zordur.
- Peck modelinde katının içinde oluşan kurutma mekanizmasına ilaveten yüzeyde dış etkenlerden meydana gelen, diğer faktörler de göz önünde tutulmuştur.
- Kılcal akım mekanizmasının kurutma hızını kontrol ettiği varsayılmış, yüzeyde Newton soğutma bağıntısı yardımı ile meydana gelen kurutmaya engel olan etkenlerin, katının içindeki engellemeye neden olan oran matematiksel olarak bulunmuştur.
- Sonuçlar değişik sıcak hava yaş ve kuru termometre sıcaklık farklarını parametre olarak alan genelleştirilmiş kuruma eğrileri biçiminde verilmiştir. İnce katıların düşük sıcaklıkta kurutulduğu durumlarda bu model oldukça tatmin edici sonuçlar vermiştir.