

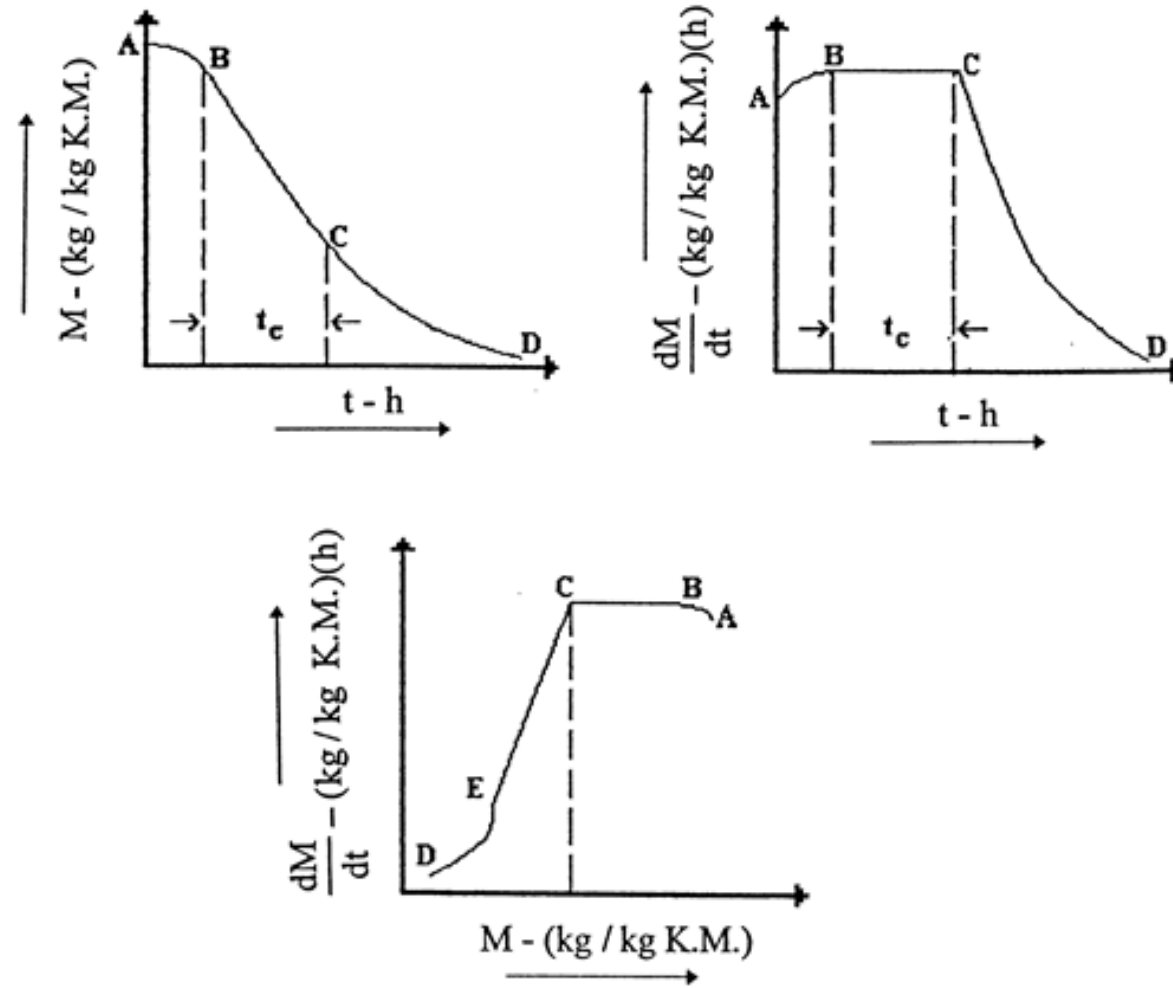
6. BÖLÜM:

Kurutmayla İlgili Teorik Bilgiler II

Sabit ve Azalan Hızla Kuruma Evreleri, Teorik ve Yarı Teorik Modeller, Kalın Tabaka Halinde Kurutma İlkeleri

Sabit Hızla Kuruma Evresi

- Öncelikle üründen su tabakası buharlaşmaya başlar. Ürünün özelliklerine bağlı olmayan bu buharlaşma tamamen dış koşullarca belirlenir ve nem materyalin yüzeyinden, herhangi bir serbest su tabakasının yüzeyinden buharlaşan suyla aynı davranışı göstererek buharlaşır.
- Yüzeydeki serbest su tabakası sabit bir kuruma hızıyla buharlaşırken devamlı olarak hücre aralarındaki hava boşluklarının meydana getirdiği kılcal borularla beslenir. Bir başka ifadeyle, sabit hızla kuruma evresi (SHE) süresince, suyun yüzeye iletim hızı ile yüzeyden buharlaşma hızı birbirine eşit olmaktadır.



Sabit sıcaklık ve nemde elde edilen kuru madde değişimleri

- Sabit hızla kuruma evresi (SHE) süresi boyunca, kuruyan materyalin iç kısımlarından yüzeye doğru süren nem taşınması nedeniyle, iç katmanlardaki nem miktarı giderek azalmaktadır.
- Ortaya çıkan bu yeni durum nedeniyle, kurumakta olan materyalin yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak ayrılan suya eşit miktarda su, artık iç kısımlardan yüzeye ulaşamaz. Bunun sonucunda, materyal yüzeyinin tamamen serbest suyla kaplı olma durumu sona erer. Bu anda materyalin sahip olduğu nem düzeyine Birinci Kritik Nem ve kuruma eğrilerinde bu durumu belirleyen noktaya Birinci Kritik Nokta (BKN) adı verilmektedir.

- Sabit hızla kuruma evresi (SHE), ısınma evresinin (IE) sona erdiği nokta ile birinci kritik nokta (BKN) arasında yer almaktadır.
- Sabit hızla kurumada, materyalin fiziksel özellikleri kuruma hızını etkilemediği ve kuruma tamamen çevre koşullarınca belirlendiği için bu evrede kuruma hızını hesaplamak oldukça kolaydır.
- Sabit hızla kuruma evresinde (SHE) kuruma hızı üzerine, havanın akış hızı, kurutulacak materyalin toplam yüzey alanı, materyalin ıslak yüzeyi ile hava arasındaki sıcaklık ve nem farkı gibi faktörler etkili olmaktadır.

Azalan Hızla Kurutma Evresi

- Birinci kritik nokta (BKN) değerinden sonra kuruma eğrisinin eğimi, azalan yönde hızla değişmektedir. Bu noktadan itibaren kuruma hızının zaman içinde giderek azaldığı bir başka evre başlamaktadır. Bu evre, birim zaman aralıklarında buharlaşan nem miktarının, bir önceki zaman dilimine göre azalma göstermesi nedeniyle, Azalan Hızla Kuruma Evresi (AHE) şeklinde ifade edilmektedir.
- Kapilarite ile yüzeye taşınan su zamanla azalmakta ve yüzeyden buharlaşan miktarı karşılayamadığı için yüzeyin ıslak kalması zorlaşmaktadır. Bu andan itibaren "Azalan Hızla Kuruma Evresi (AHE)" başlamış olmaktadır.

- Bu evrede kendi içerisinde iki aşamada gerçekleşmektedir. Yüzeydeki su filmi kaybolmaya başlayınca, kuruma hızı da ıslak alan miktarı ile orantılı olarak azalma göstermektedir. Bu evreye "1. azalan hızla kuruma evresi" adı verilmektedir.
- Bu evre sonunda, suyun materyalin iç kısımlarından yüzeye iletim hızı, yüzeyden meydana gelen buharlaşma hızından az olduğu için, materyalin yüzeyini tamamen kaplayan ince su tabakası ortadan kalkmaktadır. Bu andan itibaren kuruma hızı daha da yavaşlamakta ve "2. azalan hızla kuruma evresi" başlamaktadır.

- Bu evre sonunda materyalin sıcaklığı ile çevrenin sıcaklığı eşit hale gelmektedir. Azalan hızla kuruma evresi (AHE) sırasında, kuruma hızı değişiminin doğrusallıktan sapmaya başladığı noktaya ikinci kritik nokta (İKN) ve materyalin bu andaki nem değerine ise "ikinci kritik nem" adı verilmektedir.
- Azalan hızla kuruma evresinde (AHE), buharlaşma materyalin içerisinde olduğundan, meydana gelen su buharı yüzeye difüzyonla ulaşmaktadır.

- Yüzeye yakın olan kısımlar hem doğrudan doğruya yüzeye; hem de kılcal borucuklara su verdiklerinden iç katmanlara göre daha fazla su kaybetmektedirler. Bundan dolayı kuruyan materyalin dış yüzeyinde kabuk bağlama, büzülme ve hatta çatlama görülebilmektedir.
- Azalan hızla kuruma evresinde (AHE), kuruma hızının hesaplanması, sabit hızla kuruma evresine (SHE) göre daha karmaşıktır. Çünkü bu evrede yalnızca materyalin yüzeyinden konveksiyonla ısı ve kütle iletimi söz konusu değildir. Bu evrede, ürün içerisindeki ısı ve kütle difüzyonunun da dikkate alınması gerekmektedir.

Kurutma Modelleri

➤ Teorik Modeller:

- Teorik modeller, her türlü madde ve koşullar için uygulanabilmekte, ancak çözümü için gereken eşitliklerin birçok parametre ve karmaşık bir yapı içermesi, bu tür modellerin kullanımını sınırlamaktadır.
- Bu yöntemle elde edilen eşitlikler yalnızca, deneme yapılan materyal ve deneme koşulları için geçerli olmakta, başka koşullarda kullanılamamaktadır.

- Azalan kuruma evresinde kuruma olayını açıklayabilmek için çeşitli teoriler geliştirilmiş bulunmaktadır.
- Bu teorilerin birinde materyalin içinde oluşan nem iletimi, Newton'un soğuma ile ilgili yasasına benzetilmiştir. Söz konusu yasa, materyal ile çevre arasındaki sıcaklık farkının çok büyük olmaması şartıyla sıcaklığı değişmez kabul edilen bir ortam içine konulan bir materyalin sıcaklığındaki değişim miktarının, materyal ve çevre sıcaklıkları arasındaki farkla orantılı olduğunu belirtmektedir. Bu yasa matematiksel olarak şu eşitlikle ifade edilmektedir:

$$\frac{dT}{dt} = -k(t_0 - t_m)$$

- Nem içeriği değişmez kabul edilen bir ortam içinde bulunan herhangi bir materyalin neminde meydana gelen değişim, söz konusu yukarıdaki eşitlikten yararlanılarak aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla belirlenebilmektedir:

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_d) \quad \text{veya} \quad \frac{dM}{d(M - M_d)} = -k dt \quad \text{Söz konusu diferansiyel denklemin çözümüyle;}$$

$$\frac{(M - M_d)}{(M_0 - M_d)} = \exp^{-kt} \quad \text{denklemini elde edilmektedir.}$$

Bu eşitliklerde;

- t_0 : Ortam havasının sıcaklığı °C,
- t_m : Materyalin sıcaklığı °C,
- dM/dt : Kurutma hızı,
- M : t anındaki ürünün nemi,
- M_d : Ürünün denge nemi,
- k : Kurutma sabiti, h^{-1}
- $(M-M_d/M_0-M_d)$: Ayrılabilir nem oranı

- Eşitlik, kurutma işlemlerinde çok yaygın olarak kullanılan bir eşitliktir ve "Logaritmik Kurutma Denklemi" olarak tanımlanmaktadır.
- Eşitlikte yer alan kuruma sabiti k' nin değeri, kuruma havası sıcaklığına, nemine ve kurutmada kullanılan havanın hızına bağlı olup, farklı koşullar için deneysel verilerden yararlanılarak bulunabilmektedir.
- Ayrılabilir nem oranı (ANO), kuruma sırasında, herhangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının $(M-M_d)$, üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına (M_0-M_d) oranıdır.

➤ Yarı Teorik Modeller:

- Yarı teorik modeller daha az karmaşık olmakla birlikte içerdikleri parametrelerin yalnızca ele alınan ürünlerle ilgili olması kullanımını kısıtlamaktadır.
- Bu modeller içinde en yaygın kullanım alanı bulunan eşitlik “logaritmik kurutma” denklemi olarak tanımlanmaktadır.

$$N_t - N_d / N_o - N_d = \exp (-kt)$$

- Eşitlikte (N_o) başlangıç nemini, (N_t) t anındaki nemi, (N_d) ise denge nemini ifade etmektedir. Eşitliğin sol tarafında yer alan kısmı, kurutmanın farklı t anlarındaki Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerlerini vermektedir. k ise kuruma sabiti olarak adlandırılmakta ve kurutulacak ürün ve kurutma şartlarına göre deneysel verilerden yararlanılarak belirlenmektedir.

Kalın Tabaka Halinde Kurutma İlkeleri:

- Kurumakta olan ürünün oluşturduğu tabakanın kalınlığı, bir tane kalınlığını aştığında, ince tabaka formundaki kuruma için geliştirilen eşitlikler yetersiz kalır.
- Bunun en önemli nedeni, kurutma havası özelliklerinin, kalın ürün tabakasından geçerken sürekli olarak değişime uğramasıdır. Kalın tabaka formundaki ürün yığınının kurummasına ilişkin olarak geliştirilen yöntemler, ürün tabakasının hareketli ve hareketsiz olmasına göre de farklılık gösterir.