

Gıda Maddelerinin Kurutulması Sırasında Kuruma Kinetiğini Kontrol Eden Faktörler ve Kalite Üzerine Etkileri

Dr. Özgül EVRANUZ

TÜBİTAK-MAE Beslenme ve Gıda Tek. Araştırma Böl. Gebze - KOCAELİ

ÖZET

Gıda maddelerinin kurutulması için en uygun kurutucu tipinin ve proses koşullarının saptanmasında, kuruma süresine bağlı olarak, gıda maddesinin nem miktarında ve sıcaklığında gözlenen değişimlerin ölçülmesi gereklidir. Proses kinetiğinin kalite üzerine etkisi, gıda maddesi tarafından tutulan suyun özellikleriyle ilgilidir. Bu makalede, gıda maddesi tarafından tutulan suyun özellikleri, gıda maddesinin nem içeriğine bağlı olarak toplam buharlaşma ısısının değişimi, denge nemi, su aktivitesi, kuruma mekanizmaları ve kurutma koşullarının kalite üzerine etkileri üzerinde durulmuştur.

FACTORS CONTROLLING THE DRYING KINETICS OF FOOD PRODUCTS AND THEIR EFFECTS ON THE QUALITY

ABSTRACT

Selection of an efficient dryer system and evaluation of optimum drying conditions are accomplished by measuring the changes in the moisture content and the temperature of the product during drying. The effects of process kinetics on the quality of the final product depend on the properties of water held by the product. In this article, the properties of water held by the product, the variation of total heat of vaporization as a function of moisture content, equilibrium moisture content, water activity, drying mechanisms and the effects of processing conditions on the quality are emphasized.

GİRİŞ

Gıda maddelerinin içerdiği nemin, kontrolü koşullarda buharlaştırılması işlemine kuruma denir. Gıda maddelerinin kurutulmasının birinci ve en önemli amacı, dayanma süreleri kısa olan ürünlerin dayanma sürelerini artırmaktır. Nem içerikleri belirli bir miktarın altına düşürülmüş olan gıda maddeleri, normal atmosfer koşullarında, kimyasal, enzimatik ve mikrobiyolojik bozulmalara karşı daha dayanıklıdır. Kurutulan pek çok gıda maddesinin hacmi de önemli oranda azaldığından taşıma ve

depolamada kolaylık sağlanır. Bunlardan başka, gıda maddeleri ham madde, ara madde veya mamul maddeye istenilen fiziksel veya kimyasal özelliklerin kazandırılması için de kurutulurlar. Son olarak, gıdaların dondurulması işleminde olduğu gibi, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla da kurutma işlemi yapılmaktadır.

Gıda maddelerinin kurutulması sırasında, aynı anda bir çok fiziksel, kimyasal, mekanik, biyokimyasal ve mikrobiyal olaylar oluşmakta ve bu olaylar son ürünün kalite özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle her gıda maddesi için uygun kurutma koşulları, kurutma işlemi sırasında gıda maddesinde gözlenen değişimler saptanıp, proses kinetiğini kontrol eden faktörlerin etki dereceleri hesaplandıktan sonra belirlenir.

Kurutma işlemi sırasında, gıda maddelerinde gözlenen değişimler, gıda maddesinde bulunan nem miktarına, sıcaklığa ve gıda maddesinin hangi nem seviyesinde ve hangi sıcaklıkta, ne süre kaldığına bağlıdır. Ürünün, nem miktarı - sıcaklık - süre ilişkisi, kullanılan kurutucu tipine göre de değiştiğinden, proses kinetiğini kontrol eden faktörlerin etki derecelerinin ölçülmesi, en uygun kurutucu tipinin tasarımı veya seçimini sağlar (THIJSEN, 1979).

Kinetik teriminden de anlaşılacağı gibi, proses kinetiği, kurutma süresine bağlı olarak, kurutulan ürünün ortalama nem içeriğinde, kalite özelliklerinde ve ortalama sıcaklığında gözlenen değişimlerin tümünü kapsar. Proses kinetiğinin incelendiği çalışmalarda temel yaklaşım, sistemi oluşturan hammadde, kurutucu ve kuru ürünün her birinin özelliklerinin belirleyerek kuruma modelinin çıkarılmasıdır. Bu makalede, kuruma kinetiğini kontrol eden hammadde özellikleri ve kurutma işleminin fiziksel yönü üzerinde durulmaktadır.

Gıda Maddeleri Tarafından Tutulan Suyun Özellikleri

Gıda maddelerinde bulunan su, gıda maddesinin tekstürel yapısını belirler, duyuşal, fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini

maddeleri % 60 - 98 su içerirler. Kurutulmuş gıda maddelerinin nem içeriği % 5 - 25 arasında değişir. Kurutulmuş dayanıklı hale getirilmiş gıda maddelerinde, kuru ürünün nem seviyesi, gıda bileşenlerinin su tutma özellikleriyle yakından ilgilidir (LABUZA, 1977; KAREL, 1984)

Gıda maddelerinde bulunan su, gıda maddesinin organik ve inorganik bileşenleri için uygun bir çözücü ve gıda bileşenlerinin, ortam koşullarının (sıcaklık, ışık, O₂ veya CO₂ konsantrasyonu) etkisi altında parçalanarak veya birbirleriyle reaksiyona girerek, gıda maddesinin kalite özelliklerinin bozulmasına neden olan reaksiyonları için uygun bir ortamdır. Yüksek nemli gıda maddelerinde, ayrıca, mikrobiyal bozulmalar da gözlenir (TROLLER, 1980; ANAG NOSTOPOULOS, 1979; KAREL, 1984).

Gıda maddelerinde su, gözenekli kapiller boruların iç yüzeylerine adsorbe olmuş halde bulunmaktadır. Gıda maddelerinde bulunan suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılmasının, katı maddeyle su arasındaki bağın tipine göre belirli bir zorluğu vardır. Genel olarak, gıda maddesinin termodinamik özellikleri, X - ışınlarıyla yapılan incelemeler, infrared ve nükleer magnetik rezonans spektroskopisi, refraktif indeks ve donma noktası ölçümleri ve gıda maddesinin molekül yapısı, gıda maddesinde üç tip bağlı su bulunduğunu göstermiştir (ROCKLAND, 1969; LABUZA, 1977). Bunlar :

1. Karboksil ve amino grupları gibi, iyonik gruplara bağlı su molekülleri,
2. Hidroksil ve amid gruplarına hidrojen bağıyla bağlı su molekülleri,
3. Gözenekler arasında bulunan bağlı olmayan serbest su. Bağlı olmayan su içinde çözülmüş halde bulunan gıda bileşenleri ve kapiler güçler, Raoult yasasına uygun olarak, serbest suyun buhar basıncını düşürürler.

Bu sıralamada, sayılan üç tip suyun gıda maddesinden uzaklaştırılması sırasında karşılaşılan güçlük, yukardan aşağıya doğru azalmaktadır. Böylece, kurutma sırasında, gıda maddesinden en önce uzaklaştırılan su serbest sudur. Daha sonra, hidrojen bağı su ve en

sonra da iyonik bağı su, gıda maddesinden uzaklaştırılır (HELDMAN VE SINGH, 1978).

Gıda maddelerinin su tutma özellikleri birbirlerinden farklı ve her biri için karakteristiktir. Her gıda maddesinin su tutma özelliği, sopsiyon izoterm eğrileriyle belirlenir. Gıda maddelerinin sorpsiyon özelliklerinin belirlenmesi sırasında ölçülen iki değer, su aktivitesi ve denge nemidir.

Su Aktivitesi ve Denge Nemi

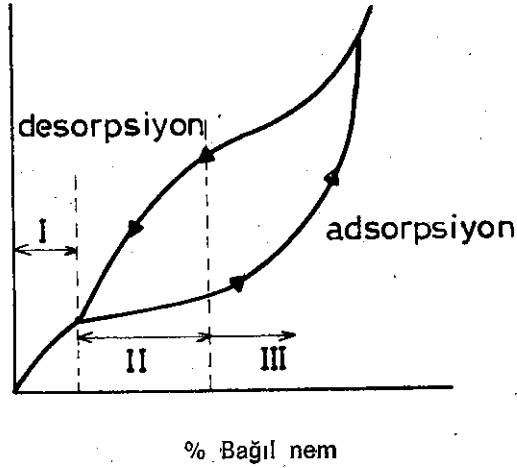
«Su aktivitesi» gıda maddeleri tarafından tutulan suyun özelliğini gösteren bir terimdir ve gıda maddesinin içerdiği suyun buhar basıncının (p), aynı sıcaklıkta saf suyun buhar basıncına (P₀) oranı olarak tanımlanır. Nem içeriği belli bir gıda maddesi, sıcaklığı ve bağıl nemi sabit bir ortamda, yeterli bir süre bekletilirse, havadaki su buharı basıncıyla, gıda maddesi tarafından tutulan suyun buhar basıncı arasındaki farka bağlı olarak, gıda maddesi nem alır veya nem verir. Denge halinde, gıda maddesinde gözlenen ağırlık değişimi durur. Bu durumda, gıda maddesi tarafından tutulan suyun buhar basıncı, havadaki su buharı basıncına eşittir. İçinde bulunduğu havayla denge halinde bulunan gıda maddesinin içerdiği nem miktarına «denge nemi», denge halindeki gıda maddesini çevreleyen havanın bağıl nemine de «denge bağıl nemi» denir. Denge bağıl nemi ve su aktivitesi arasındaki ilişki, $a_w = \frac{\text{(Denge bağıl nemi)}}{100}$ şeklindedir.

Kurutma işlemi sırasında, denge nemi, kurutma sıcaklığına ve kurutmada kullanılan havanın bağıl nemine bağlı olarak kuru ürünün içerebileceği en az su miktarını gösterir.

Gıda Maddelerinin Sorpsiyon Özellikleri

Sabit sıcaklıkta gıda maddesinin denge nemiyle, gıda maddesini çevreleyen havanın denge bağıl nemi arasındaki ilişki, gıda maddesinin sorpsiyon özelliğini verir. Herhangi bir gıda maddesinin, sıcaklığı ve bağıl nemi sabit bir ortamda, sahip olacağı nem miktarı, gıda maddesinin bileşimine ve suyun gıda maddesi tarafından nasıl tutulduğuna bağlıdır. Şekil 1 de tipik bir sorpsiyon izotermi gösterilmektedir.

Nem
Miktarı



Şekil 1. Genel bir sorpsiyon izotermi

Şekil 1'de gösterilen sorpsiyon izoterm eğrisi, gıda maddesinin su tutma özelliğine bağlı olarak başlıca üç kısımda incelenir. I. bölgede, kapillerler içinde adsorbe edilen suyun tek sıra molekül tabakası halinde bulunduğu kabul edilmektedir. II. bölgede bu tabaka üstüne ilave molekül tabakalarının adsorplandığı, III. bölgede ise, maddenin gözenekleri içinde su kondansasyonunun oluştuğu ve dolayısıyla gıda maddesinde bulunan suda çözünür maddelerin çözüldüğü belirtilmektedir (LABUZA, 1968). Teorik olarak gösterilen bu bölgelerin sınırları kesin olmayıp, genel olarak bu bölgeler birbiri içine girmiş halde bulunurlar.

Gıda maddelerinin sorpsiyon özellikleriyle ilgili diğer bir konu «histeresis» olarak bilinir. Buna göre, gıda maddesini içinde bulunduğu ortamdan nem olarak denge haline ulaştığı zaman sahip olduğu denge nem miktarı, içinde bulunduğu ortamda buharlaşarak denge haline ulaştığı zaman sahip olduğu denge nem miktarından farklıdır. Kurutma işlemi sırasında, gıda maddesi için, desorpsiyon sonucu ulaşılan denge nem miktarı önemlidir.

Gıda maddelerinin sorpsiyon özellikleri, kurutma işlemi sırasında gerekli enerji gereksiniminin hesaplanmasında, ambalajlama ve depolama konularında karşılaşılan sorunların çözümünde önemlidir. Bu nedenle, gıda madde-

lerinin su tutma özelliklerinin belirlenmesi veya matematiksel yöntemlerle hesaplanması çok incelenen araştırma konularından birisidir (LABUZA, 1968; LABUZA, 1975; CHIRIFE ve IGLESIAS, 1978; PRIOR, 1979; CRAPISTE ve ROTSTEIN, 1982). Gıda maddeleri için sorpsiyon izotermi tanımlayan çeşitli bağıntılar önerilmiştir. Bunlardan en çok bilineni Brunauer - Emmett Teller tarafından önerilen ve BET eşitliği olarak bilinen bağıntıdır. BET eşitliği aşağıda gösterildiği gibi tanımlanır (DE SUP CHUNG ve CHANG, 1984; HELDMAN ve SINGH, 1978). :

$$\frac{P}{M(P_0 - P)} = \frac{1}{M_m} + \left(\frac{S-1}{M_m S} \right) \frac{P}{P_0}$$

BET eşitliğinde

- P = gıda maddesi tarafından tutulan suyun buhar basıncı, mm Hg
P₀ = aynı sıcaklıkta saf suyun buhar basıncı, mm Hg
M = gıda maddesinin nem içeriği, g su/g kuru madde
M_m = tek sıra su molekülü adsorplanması durumunda, gıda maddesinin içerdiği nem miktarı, g su/g kuru madde

$$S = \text{enerji sabiti, } \frac{E_1 - L}{RT}$$

- E₁ = su moleküllerinin tek sıra halinde
L = kondansasyon gizli ısısı, kJ/kg
R = gaz sabiti, kJ/kg °K
T = mutlak sıcaklık, °K

BET eşitliğine göre, absisi P/P₀, ordinatı P/M (P-P₀) olan doğrunun eğimi (S-1)/M_m S ve kesim noktası 1/M_m S'dir. Böylece gıda maddesinin tek sıra su molekülü adsorpladığı zaman içerdiği nem miktarı hesaplanabilmektedir. Genel olarak, BET eşitliğinin, % 40 bağıl neme kadar, gıda maddesinin denge nemini doğru olarak gösterdiği kabul edilmektedir. (DE SUP CHUNG ve CHANG, 1982).

Gıda maddesi tarafından adsorplanan tek sıra su molekülünün buharlaştırılması, için ge-

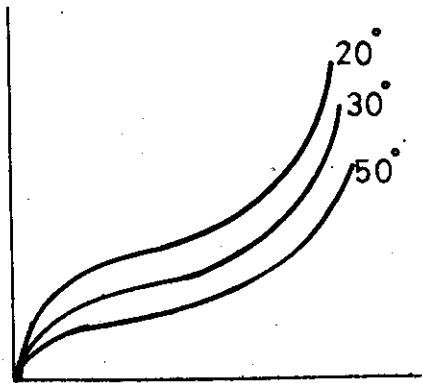
rekli enerji termodinamik bağıntılardan bulunur. Gıda maddesinin kimyasal yapısında değişikliğe neden olmaksızın, 1 mol suyun uzaklaştırılabilmesi için gerekli enerji aşağıda gösterilen bağıntıdan yararlanılarak bulunur :

$$-Q_s = -RT \ln \frac{P}{P_0} = -RT \ln a_w \quad (1)$$

Yukarıda eşitliğe göre, katı maddeyle su arasındaki bağ ne kadar kuvvetliyse, P/P_0 oranı o kadar küçük ve dolayısıyla Q_s (desorpsiyon enerjisi) o kadar büyük olur. Yüksek nemli gıdalarda P/P_0 oranı bir değerine yakın olduğundan $Q_s \approx 0$ olmaktadır. Gıda maddelerinde bulunan suyun buharlaştırılması sırasında, desorpsiyon ısısının, suyun buharlaşma gizli ısısına ek olarak sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle, kuruma süreci içinde, gıda maddesindeki nem miktarı azaldıkça, kalan suyun buharlaştırılması için gerekli enerji miktarı, desorpsiyon ısısı kadar artmaktadır (LABUZA, 1968).

Gıda maddeleri için, desorpsiyon enerjisinin hesaplanmasında, sorpsiyon izoterm eğrilerinden yararlanılır. Genel olarak, gıda maddesi tarafından adsorplanan su miktarı sıcaklık yükseldikçe azalır (BANDYOPADHYAY ve Ark. 1980). Şekil 2'de sıcaklığın, sorpsiyon özelliğine etkisi gösterilmiştir.

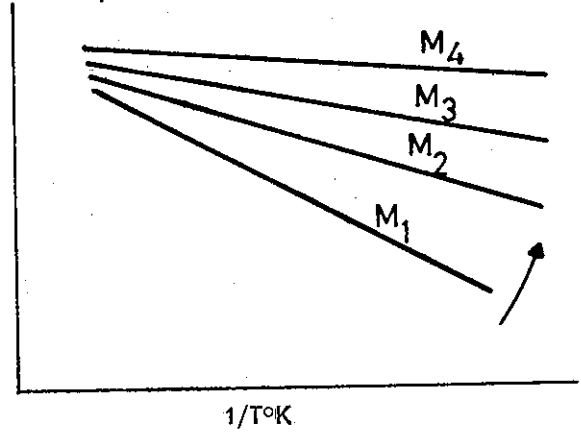
Su
Miktarı



Şekil 2. Sıcaklığın sorpsiyon üzerine etkisi

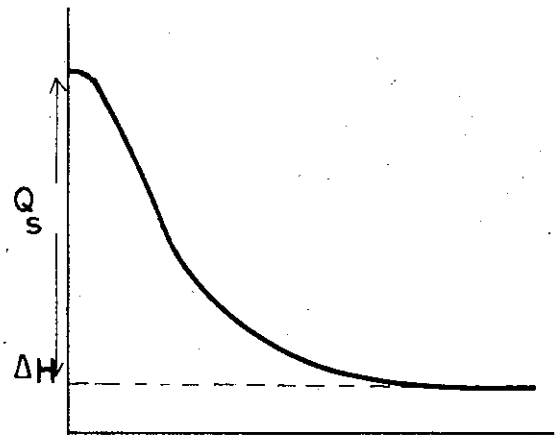
Herhangi bir gıda maddesi için Şekil 2'de gösterilen ilişki elde edildikten sonra, sorpsiyon ısısını hesaplamak mümkündür. Bunun için, sabit nem miktarlarında, su aktivitesine karşı mutlak sıcaklığın tersi çizilir. Elde edilen doğrunun eğimi, (1) eşitliğine göre, $-Q_s/R$ 'dir. Aynı işlem, değişik nem seviyeleri için tekrar edildiğinde, Şekil 3'te gösterilen doğrular bulunur. Şekil 4'te hesapla bulunan sorpsiyon ısısı, nemin fonksiyonu olarak çizilmiştir. Şekil 4'te de görüldüğü gibi düşük nem seviyesinde, sorpsiyon ısısı yüksektir. Nem içeriği arttıkça sorpsiyon ısısı azalır ve buharlaşma için gerekli ısı, suyun buharlaşma gizli ısısına eşit olur.

$\ln a_w$



Şekil 3. Sorpsiyon ısısının (Q_s) hesabı.

toplam
sorpsiyon
ısısı



Şekil 4. Gıda maddesinin nem içeriğiyle ilgili olarak toplam sorpsiyon ısısının değişimi

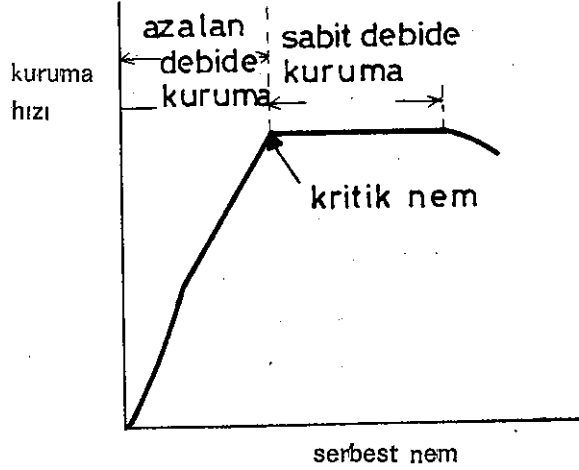
Kuruma Kinetiği

Gıda maddelerinin kurutulabilecekleri maksimum sıcaklıklar ve kuruma özellikleri birbirinden farklıdır. Herhangi bir kurutma işleminin fiziksel yönünün araştırıldığı çalışmalarda, kurutma koşullarına bağlı olarak, kurutulan gıda maddesinin neminde ve sıcaklığında gözlenen değişimler saptanır. Kurutmada kullanılan havanın sıcaklığı, bağıl nemi, hızı ve ürüne göre akım yönü, ısı ve kütle transfer olaylarını etkileyen etmenlerdir (VAN ARSDEL, 1973).

Katı maddelerin kurutulması sırasında, kurumanın başlıca iki aşamada gerçekleştiği gözlenir. Birinci aşamada kuruma debisi sabit olup, ürünün yüzey sıcaklığı, kurutma havasının ıslak termometre sıcaklığındadır. İkinci aşamada, kuruma debisi, sürekli olarak azalmakta ve sistem dengeye ulaştığı zaman, buharlaşma durmaktadır. Denge halinde, gıda maddesinin su aktivitesi, kurutmada kullanılan havanın bağıl nemine eşittir. Azalan debide kuruma peri-

yodu sırasında, ürünün yüzey sıcaklığı artmaya başlar ve ürün kurudukça, sıcaklık kurutma havasının kuru termometre sıcaklığına yaklaşır. Sabit debide kuruma periyodundan, azalan debide kuruma periyoduna geçişte gıda maddesinin sahip olduğu nem, «kritik nem miktarı» olarak bilinir. Kritik nem miktarı, kuruma hızına, kurutulan maddenin büyüklüğüne ve kütle transfer mekanizmasına göre değişir (HELDMAN ve SINGH, 1978; BRENNAN ve Ark., 1976). Şekil 5'de tipik bir kuruma eğrisi gösterilmektedir.

Sabit debide kuruma periyodunda, buharlaşmaya neden olan itici güç, kuruyan yüzeydeki buhar basıncıyla, kurutma havasındaki buhar basıncı veya ısı transferi açısından, kurutma havasının sıcaklığıyla, kuruyan yüzeyin sıcaklığı arasındaki farktır. Kuruma debisi sabit olduğu zaman, ısı transfer debisi, kütle transfer debisine eşit olacağından, kuruma eğrisi aşağıda verilen bağlantıyla tanımlanır (CHARM, 1971; BRENNAN ve Ark. (1976).



Şekil 5. Tipik bir kuruma eğrisi

$$\frac{dM}{dt} = -k_m A (H_s - H_A) = -\frac{h_c A}{L} (T_A - T_s) \quad (2)$$

Yukarıda eşitlikte

dM

$\frac{dM}{dt}$ = kuruma debisi, g su kaybı/saat

M = ürünün nem miktarı, g su/g kuru
 t = süre, saat

madde

A = kurutulmuş yüzey alanı, m^2

T_s = kuruyan yüzeydeki sıcaklık, $^{\circ}C$

T_A = kurutma havasının sıcaklığı, $^{\circ}C$

H_s = yüzey sıcaklığında, havanın mutlak nemi, kg su buharı/kg kuru hava

H_A = kurutma termometre sıcaklığında havanın mutlak nemi, kg su buharı/kg kuru hava

k_m = kütle transfer katsayısı, kg kuru hava/ m^2 . saat

h_c = ısı transferi katsayısı, kcal/ m^2 .saat. $^{\circ}C$

L = yüzey sıcaklığında buharlaşma gizli ısı, kcal/kg

Genel olarak azalan hız periyodu, birinci azalan hız periyodu ve ikinci azalan hız periyodu olarak iki kısımda incelenir. Tüm azalan hız periyodunda, nemin katı içinden yüzeye hareketi kuruma debisini etkileyen en önemli etmendir. Bu periyotta, kurutma havasının hızının kuruma üzerine etkisi azalmaktadır (BRENNAN ve Ark. 1976).

Azalan hız periyodunda, nemin katı içinden yüzeye hareketini açıklayan çeşitli teoriler vardır (PERRY ve CHILTON, 1973). Genel olarak, kuruma debisini hesaplamak için Fick'in difüzyon yasasından yararlanılır. Buna göre

$$\frac{dm}{dt} = D \left\{ \frac{d^2M}{dr^2} - \frac{i}{r} \frac{dm}{dr} \right\} \quad (3)$$

Yukarıda eşitlikte i , sabit olup, sonsuz ince bir tabaka için $i = 0$, sonsuz silindir için, $i = 1$ ve küre için, $i = 2$ dir. Ayrıca r , ürünün karakteristik boyutu (kalınlık veya çap), D , difüzyon katsayısı (m^2 /saat)'dir. (3) eşitliği, değişik geometrik şekiller için çözülerek, her biri için ayrı kuruma debisi eşitlikleri bulunur (PERRY ve CHILTON, 1973; BRENNAN ve Ark. 1976).

Gıda maddelerinin kompleks ve heterojen yapılarından dolayı, bu bölümde anlatılan, basit teorik bağıntıların uygulama alanı kısıtlıdır. Bu nedenle daha karmaşık matematik modeller önerilmektedir (FORNELL ve Ark. 1980).

Kuruma süresinin hesaplanabilmesi için, buharlaşma debisini gösteren eşitliklerin integreasyonu gerekir. (2) eşitliği integre edilerek sabit debide kuruma süresi bulunur :

$$t_c = \frac{(M_o - M_c) L}{(T_A - T_s) h_c A}$$

Yukarıdaki eşitlikte, t_c , sabit debide kuruma süresini (saat) göstermektedir. Görüldüğü gibi, kuruma kinetiğini kontrol eden faktörler, 1) kuruyan ürünün yüzey alanı, 2) kuruyan yüzeyle hava arasındaki sıcaklık veya bağıl nem farkı, 3) ısı veya kütle transfer katsayısıdır (PERRY VE CHILTON (1973), kuruma debisinin hesaplanması sırasında ısı transfer katsayılarının kullanımını önermektedir. Önerilen ısı transfer katsayısı, genel olarak aşağıda gösterilen bağıntıyla gösterilmiştir :

$$h_c = \frac{a G^n}{D_c^m}$$

Yukarıdaki eşitlikte G = hava hızı, kg/saat, m^2 , D = sistemin karakteristik boyutu, m , a , n ampirik sabitleridir. Bu eşitliğe göre, sabit debide kuruma periyodu sırasında, hava hızı ve sistemin boyutları, kuruma debisini etkileyen iki önemli etmendir.

Azalan debide kuruma periyodu süresinin hesabı için, (3) eşitliği integre edilir. Elde edilen bağıntılar sadeleştirildikten sonra, yarı kalınlığı d olan sonsuz ince tabaka için azalan debide kuruma süresi :

$$t = \frac{4 d^2}{\pi^2 D} \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \frac{M_o - M_c}{M - M_c} \right)$$

Çapı r , olan sonsuz silindir için azalan debide kuruma süresi :

$$t = \frac{r^2}{5.78 D} \ln \left(\frac{0.692 (M_o - M_e)}{(M - M_e)} \right)$$

Çapı R olan küre için azalan debide kuruma süresi :

$$t = \frac{R^2}{D^2 \cdot \pi^2} \ln \left(\frac{6 (M_o - M_e)}{\pi^2 (M - M_e)} \right)$$

bulunur. (HELDMAN VE SINGH, 1978).

KURUMA Kinetiğinin Kuru Ürün Kalitesine

Etkisi

Kuru ürünün kalitesini gösteren kriterler çok çeşitlidir. Her şeyden önce, kurutulan gıda maddesinin nem içeriği, güvenli bir depolama için, yeterli derecede düşük olmalıdır. Bundan başka, ürün, kurutma sırasında, yüksek sıcaklığın etkisi altında bozulmuş olmamalı, orijinal rengini ve görünüşünü korumalıdır. Kaliteli bir kuru üründe aroma ve besin kaybı en az düzeyde olmalı, ürün yabancı veya kötü kokulu olmamalıdır. Ayrıca, kurutulan ürünün cinsine göre, hacim ağırlığı, akışkanlık veya yüzeyin çatlak olmaması v.b. kalite özelliklerine de dikkat edilmelidir. Kuru ürünün kalitesi, kurutma koşullarından etkilenir. Genel olarak, kurutma işlemi sırasında, üründe gözlenen kalite değişimleri şöyle sıralanabilir (VAN ARSDEL, 1978; BRENNAN VE ARK, 1976).

1. Suda çözünen maddelerin yüzeye veya merkeze doğru hareketi,
2. Büzülme,
3. Kabuk bağlama,
4. Kuru üründe su alma özelliğinin olmaması,
5. Uçucu bileşenlerin kaybı,
6. Enzimatik olmayan kararım ve oksidasyon reaksiyonları,
7. Enzimatik reaksiyonlar,
8. Mikrobiyolojik üremeler.

Yukarıda sayılan ilk dört özellik, gıda maddesinin tekstürel yapısını belirler. Uçucu bileşenlerin kaybının önlenmesi, gıda maddesinin

orijinal tad ve kokusunun muhafazası açısından önemlidir. Enzimatik olan veya olmayan reaksiyonlarla, mikrobiyolojik değişimler, gıda maddesini tüketilemez hale getiren ve besin değerini azaltan reaksiyonlardır. Bu reaksiyon hızlarına karşı, kuruma debisinin optimize edilebilmesi için, 1) kuruma işlemi sırasında, süre -sıcaklık - nem değişiminin (kuruma kinetiğinin), 2) belirli bir sıcaklık ve nemde, bozulma reaksiyonlarının hız sabitlerinin bilinmesi gerekir. Kuruma süresi, istenmeyen bozulma reaksiyonunun tamamlanması için gereken süreden kısa olmalıdır. Herhangi bir reaksiyonun hız sabiti, sıcaklığa ve gıda maddesinin içerdiği nem miktarına göre değişir. Hız sabitinin sıcaklığa bağımlılığı, Arrhenius bağıntısından bulunur (EV RANUZ, 1987). Çizelge'de bazı reaksiyonlar için hesaplanan aktivasyon enerjileri gösterilmektedir.

Çizelge 1. Bazı reaksiyonlar için hesaplanan aktivasyon enerjileri

Reaksiyon	Aktivasyon enerjisi kcal/mol
Difüzyon reaksiyonları (suyun buharlaşması)	0 - 8
Enzimatik reaksiyonlar	10 - 15
Hidroliz	15
Lipid oksidasyonu	10 - 25
Enzimatik olmayan kararım	25 - 50
Protein denatürasyonu	80 - 120

Kaynak (LABUZA, 1972)

Çizelge 1'de görüldüğü gibi suyun buharlaşması için hesaplanan aktivasyon enerjisi, diğer bozulma reaksiyonları için hesaplanan aktivasyon enerjilerinden küçüktür. Sıcaklıkta ki artışın reaksiyon hızına etkisi, aktivasyon enerjisi büyük olduğu zaman, daha fazla olduğuna göre kurutma işlemi sırasında uygulanan sıcaklık artırıldığı zaman bozulma reaksiyonlarındaki hız artışı, suyun buharlaşma hızındaki artıştan fazla olmaktadır. Bu nedenle her gıda maddesi için, kurutma işlemleri sırasında uygulanabilecek en yüksek sıcaklıkların deneysel olarak bulunması gerekir.

Çeşitli gıda saklama yöntemleri arasında, gıda maddelerinin kurutulmuş olarak saklanması, örneğini muhafaza etmektedir. Bu nedenle, bu konuda yapılacak A + G çalışmalarının belirli bir düzen içinde devamı sağlanmalıdır. Kurutma işlemi bir unit operasyon olarak değil, ürün cins ve çeşidinin seçimi, ürünün kurutmaya hazırlanması, kurutulması, depolanması ve tü-

ketimi aşamaları göz önünde bulundurularak bir bütün halinde incelenmelidir. Böylece, kurutma işlemiyle ilgili ilerlemeler yanında, ürünün kurutulmaya hazırlanması veya kuru ürünün depolanması konularında sağlanan gelişmeler, tüketiciye ulaşan kuru gıda maddelerinin daha kaliteli olmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- ANAGNOSTOPOULOS, G. 1979. Water activity in food. *Journal of Food Science*, No 59: 6 - 7.
- BANDYOPADHYAY, S., WEISSER, H., LONCIN, M. 1980. Water adsorption isotherms of foods at high temps. *Lebensmittel - Wissenschaft und Technologie* 13: 182-185.
- BRENNAN, J.G., BUTTERS, J.R., COWELL, N.D., LILLY, A.E.V. 1976. *Food Engineering Operations*. 2nd Edn. Applied Science Publishers. London.
- CHARM, S.E. 1971. *The Fundamental of Food Engineering*, AVI Publ. Co. Westport, C.T.
- CHIRIFE, J., IGLESIAS, H.A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 - a review *Journal of Food Protection* 13: 159 - 174.
- CRAPISTE, G.H., ROTSTEIN, E. 1982. Prediction of sorptional equilibrium data for starch - containing foodstuffs. *Journal of Food Science* 47: 1501 - 1507.
- DE SUP CHUNG VE CHANG D.I. 1982. Principles of food dehydration. *Journal of Food Protection* 45 (5) 475 - 478.
- EVARANUZ, Ö. 1987. Gıda işleme ve muhafazasında kaliteyi etkileyen etmenler ve son tüketim tarihinin saptanması. *Gıda Sanayi*, Sayı 1: 12 - 16.
- FORNELL, A., BIMBENET, J.J.; ALMIN, Y. 1980. Experimental study and modelization for air drying of vegetable product. *Lebensmittel. Wissenschaft und Technologie* 14: 96 - 100.
- GINZBURG, A.S. 1981. The forms of energy of moisture binding in foods as a basis for choosing rational methods for processing and storage, in *Water Activity: Influences on Food Quality* L.B. Rockland G.F. Steward (Eds) Academic Press.
- HALL, C.W. 1980. *Drying and Storage of Agricultural Crops*. AVI Publishing Co, Inc.
- HELDMAN, D., SINGH, R.P. 1981. *Food Process Engineering*, 2nd Edn. AVI Publ. Co., Westport, Connecticut.
- KAREL, M. 1984. Advances in food dehydration. *ZFL* 1: 6, 8, 10 - 12, 14 - 16.
- LABUZA, T.P. 1968. Sorption phenomena in foods. *Food Technology* 22 (3): 15 - 17, 20, 22, 24.
- LABUZA, T.P. 1972. Nutrient losses during drying and storage of dehydrated foods. *CRC. Critical Reviews in Food Technology*, 3 (2): 217 - 240.
- LABUZA, T.P. 1975. Interpretation of sorption data in relation to the state of constituent water. pp. 155 - 172 in R.B. Decker (Ed) *Water Relations of Foods*. Academic Press, London.
- LABUZA, T.P. 1977. The properties of water in relation to water binding in foods: a review. *Journal of Food Processing and Preservation* 1: 167 - 190.
- PERRY, R.H., CHILTON, C.H. (Eds) 1973. *Chemical Engineers Handbook* 5th Ed. MCGRAW HILL.
- PRIOR, E.A. 1979. Measurement of water activity in food: a review. *Journal of Food Protection* 42 (8) 668 - 674.
- ROCKLAND, L.B. 1969. Water activity and storage stability. *Food Technology* 23 (10): 11 - 21.
- SINGH, R.P., HELDMAN, D.R. 1984. *Introduction to Food Engineering*. Academic Press. Inc.
- THJSSËN, H.A.C. 1979. Optimization of process conditions during drying with regard to quality factors. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 12: 308 - 317.
- VAN ARSDEL, W.B., COPLEY, M.J., MORGAN, A.I. (Eds) 1973. *Food Dehydration*, Vol. 1. AVI Publ. Co. Inc. Westport, Connecticut.