

## SERT BUĞDAYDAN YAPILMIŞ BULGURUN TEPSİLİ KURUTUCUDA KURUTULMASI

### DRYING OF BULGUR MADE FROM HARD WHEAT IN TRAY DRYER

Fethi KAMIŞLI

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Elazığ

**ÖZET:** Ülkemizde bulgurun kurutulması genellikle toprak ve beton sergi yerlerinde bez, kağıt vb. örtüler üzerinde sıcaklıklarının çok sıcak olmadığı bir dönemde (yaz sonu-son bahar başlangıcı) doğal ortamda yapılmaktadır. Bu çalışmada sert buğdaydan (Doğu Anadolu bölgesinde Çankırı olarak adlandırılır) yapılmış bulgur tepsili kurutucuda farklı hava hızlarında ve sıcaklıklarında kurutularak bulgurun kuruma dinamiği incelendi. Kurutmada kullanılan hava hızının ve sıcaklığının kuruma hızı üzerindeki etkisi araştırıldı. Deneysel verilere uyan matematiksel modelin logaritmik model olduğu görüldü. Bu bulgur için önerilen logaritmik kurutma modeline ait kuruma sabiti ve kurumaya tabi tutulan madde sabitleri bulundu. Önerilen kurutma modeli ile deneysel verilerin uyum içerisinde olduğu gözlemlendi.

**ABSTRACT:** In Turkey drying of bulgur usually carries out in thin-layer on the fabric or paper covers over soil or concrete place in mild weather conditions (end of summer-beginning of fall) in natural ambient. In this study, dynamics of drying of bulgur made from hard wheat (it is called Çankırı in eastern part of Turkey) is examined at different air velocity and air temperature. The effect of velocity and temperature of air used in this study on drying is examined. It is observed that the mathematical model in good agreement with the experimental data is logarithmic model. For this bulgur the constant of thin-layer drying and material constants of selected logarithmic model is determined. It is also observed that experimental data is in good agreement with logarithmic model for drying.

### GİRİŞ

Tahıl tanelerinin kurutulması ile ilgili araştırmaların birçoğu tanelerin tabaka şeklinde kurutulması yönündedir. Kurutma prosesinin ya da tek bir taneden nemin uzaklaştırılması için matematiksel modeller geliştirilmeye çalışıldı. Difüzyon modelleri son yıllarda popüler olmaya başladı ve hiç şüphesiz bu modeller kuruma prosesini anlamada kavramsal temelleri oluştururlar.

Nemli malzemelerin kurutulması kurutulan malzemenin içerisinde kütle ve ısı transferi olaylarının birlikte olduğu komplike bir işlemdir. Bu taşınım olayları üzerinde çalışmak için, fiziksel ve mühendislik prensipleri göz önüne alınarak sistemin modellenmesi yapılmalıdır. Bu modelleme işlemi ısı ve kütle transferi denklemlerinin doğru bir şekilde yazılması ve uygun sınır koşullarının tatbik edilmesiyle sonuçlanan diferansiyel denklemin çözülmesiyle gerçekleştirilebilir (LOZANO ve ark., 1983). Besin endüstrisinde kurutma işlemlerinin modellenmesi endüstriyel prosesler için pratik ve ekonomik öneme sahiptir. Kurutma modellerinin en önemli karakteristikleri hareket, yapısal ve termodinamik kabuller, malzeme özelliği ölçüm metotları çözümü ve modelin değerlendirilmesidir (SIMAL ve ark., 1994).

Katılarda suyun taşınması kurutma esnasında farklı mekanizmalarla ısı ve kütle transferinin birlikte olduğu komplike bir işlemdir (SARAVACOS, 1986). Kütle transferindeki deneysel sonuçların analizi genel olarak Fick kanununa uyar (FUSCO ve ark., 1991). Hesaplanan difüzyon katsayısında tüm taşınım ve ürün karakteristikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Birçok araştırmacı farklı matematiksel modellerle besinlerin kurutulması üzerinde çalışmışlardır (FUSCO ve ark., 1991, HONG ve ark., 1986, SUAREZ ve VIOLLAZ, 1991). Bir model en az sınırlayıcı kabuller içermelidir (malzeme büzülmesi, enerji ve kütle transferi, çok boyutlu taşınım uygulanabilme gibi). Aynı kurutma modeli farklı besin ya da kurutma şartlarına aynı hassasiyetle uygulanamaz (SIMAL ve ark., 1993).

Kuruma esnasında tarımsal ürünlerdeki büzülmenin nem difüzyonu ile birlikte meydana geldiği gözlemlenebilen bir olaydır. Bu olay kütle difüzyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir ve bu nedenle nem

uzaklaştırma oranı üzerinde de etkiye sahiptir (MISRA ve ark., 1980). Büzülme olayı üzerindeki bir çalışma kurutma prosesinin daha iyi anlaşılması için önemlidir (SUAREZ ve ark., 1991). Besinlerin kurutulmasında matematiksel model kurmak için büzülmenin etkisini hesaba katmak gerekir. Sebzelerde büzülmenin hacmi özellikle kurumanın ilk basamaklarında uzaklaştırılan suyun hacmine yakındır (SUZIKI ve ark., 1976). Kurutma prosesleri sıklıkla izotermal şartların var olduğu varsayımı ile modellenmektedir. Bu kabul besin ürünlerindeki su kaybı esnasında ısı transferinin çok hızlı bir şekilde meydana geldiği anlamına gelir (YOSHIDA ve ark., 1990).

Taneler ince tabaka halinde kurutulduğu zaman kurutma yataklarının mühendislik analizi, tanelerin kuruma karakteristikleri üzerine kurulmuştur. Tanelerin kuruma karakteristikleri göz önünde bulundurularak Hukil (HUKILL, 1947) tarafından derin yataklar için kurutma prosesi analizi geliştirilmiştir. Araştırmalar göstermiştir ki nemin uzaklaştırılma miktarı, tanenin herhangi bir t anında sahip olduğu nem miktarı (M) ile hava ile dengede bulunan tanenin dinamik denge nem miktarı ( $M_E$ ) arasındaki farkla orantılıdır. Kuru temel üzerinden yukarıdaki ifade eşitlik şeklinde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{dM}{dt} = -k (M - M_E) \quad (1)$$

Burada k kuruma sabitidir. Bu eşitlik integre edildiğinde aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{M - M_E}{M_0 - M_E} = \exp(-kt) \quad (2)$$

Burada  $M_0$  orijinal (başlangıçtaki) nem miktarı ve t kuruma zamanıdır ( $M - M_E$ ) / ( $M_0 - M_E$ ) fraksiyonu boyutsuz nem oranı olarak bilinir.

Bu model tanelerin yüzeyindeki nem difüzyonuna karşı tüm direnç üzerinde yoğunlaşır. Eşitlik (2) Simmonds ve ark. (SIMMONDS ve ark., 1954) tarafından yapılan çalışma temel alınarak çıkartılmıştır. Bu eşitlik buğday ve buna benzer ürünlerin kurutulması sırasında geçerli olabileceği düşünüldü. Eşitlik (2) Newtonun soğuma kanunu andırımından teorik olarak çıkartılabileceği bazı araştırmacılar (SIMMONDS ve ark., 1953) tarafından önerilmiştir.

Kurutma işleminde, tane içerisindeki su molekülleri yüzeye doğru hareket eder ve kurutma havası tarafından yüzeyden soğurular ve hava tarafından buhar olarak uzaklaştırılır. Hangi durumda molekül tane içerisinde yüzeye doğru hareket eder ve hangi noktadan yüzeyden buharlaştığını tam olarak belirtmek mümkün değildir.

Gözenekli bir ortam için standart kurutma teorisi Sherwood (SHERWOOD, 1932) tarafından geliştirilmiştir. Bu teoriye göre su molekülleri tane içerisinde yüzeye doğru difüzenir ve su konsantrasyonundaki (c) zamanla değişim, nem gradiyentindeki değişimle orantılıdır. Bu değişim için matematiksel ifade aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (3)$$

x yönünde akım meydana gelir. Burada D yayınlılık sabiti (diffusivity) ve t zamandır. Bu uzun dikdörtgen bir kanatçıktan transfer edilen ısı miktarını andırır. Bununla beraber yapılan bazı çalışmalarda gözenekli yapıdaki maddeler için bile Eşitlik (3) ün geçerliliği hakkında şüpheler ortaya atılmıştır.

Tane içi biyolojik olarak aynı olmayan maddelerin düzensiz bölümlerinden meydana geldiği bilinmektedir ve suyun bu tane içerisinde düzenli olarak difüzenmesi kabulü, olayı oldukça basitleştirir. Bununla beraber Hukil (HUKILL, 1947) ve diğer bazı araştırmacılar küçük tanelerin büyük tanelere göre daha hızlı kurduğunu deneysel olarak gözlemlemişlerdir. Thournborg (THOURNBURG, 1956) aynı taneden farklı şartlarda farklı nişasta moleküllerinin oluştuğunu gözlemledi. Ayrıca hızlı kurutmada nişasta jelinin geçirgenlik

dahil fiziksel özellikleri çeşitli yollarla modifiye edilen nişasta jelinin fiziksel özelliklerinden büyük oranda farklılık gösterir. Miles ve Remmenga (MILES ve REMMENGGA, 1953) nem konantrasyonunun bir mısır tanesinden başka bir mısır tanesine göre değiştiğini gösterdiği. Whistler ve Spencer (WHISTLER ve SPENCER, 1958) sıcak hava akımında kurutulmuş mısır nişastası granüllerinde parça ve yarıkların oluştuğunu ifade etti. Parçalanma ve yarıklık sayısı kuruma hızına ve sıcaklığına bağlıdır. Van Rest ve Isaacs (VAN REST ve ISAACS, 1968) buğday ve mısır tanelerinin kuruma mekanizmasını incelediler ve Eşitlik (2) deki sabitleri deneysel verileri kullanarak elde ettiler.

Eşitlik (2) deki k kuruma sabitinin sıcaklığa bağıllığı Arrhenius tipi bir Eşitlikle verileceği teorik olarak ispatlanmıştır (VAN REST ve ISAACS, 1968). Sıcaklığa bağlı kurutma sabiti aşağıdaki ifade ile verilmektedir.

$$k = a \exp\left(-\frac{b}{T}\right) \quad (4)$$

Burada a ve b kurutulacak maddeye özgü sabitlerdir ve T mutlak sıcaklıktır.

Ross ve White (ROSS ve WHITE, 1972) logaritmik modeli kullanarak iki tip mısırın (beyaz ve sarı) kuruma karakteristiklerini incelemiştir. Eşitlik (2) ve buna bağlı olan Eşitlik (4) deki sabitler deneylerde kullanılan iki tip mısır için bulunmuştur ve bunların karşılaştırılması yapılmıştır. Bu araştırmacılar sarı mısır için buldukları sabitler beyaz mısır için buldukları sabitlerden farklı olduğunu gözlemlemiştir.

Ülkemizde bulgurun kurutulması genellikle toprak ve beton sergi yerlerinde bez, kağıt vb. örtüleri üzerinde hava sıcaklığının çok yüksek olmadığı bir dönemde (yaz sonu- son bahar başlangıcı) doğal ortamda yapılmaktadır. Açık alanda yapılan kurutmada ürün iklim ve çevre koşulları etkisi altında kalmakta böcek vb. hayvanların zararına uğramaktadır. Bu çalışmada amaç, bulgurun bir kurutucuda kuruma karakteristiğinin incelenmesidir. Bu amaçla tepsili bir kurutucuda bulgur kurutuldu. Deneysel verilere uyan bir matematiksel model arandı. Ancak logaritmik modelin bu deneysel verilere uyduğu görüldü. Sert buğdaydan (Doğu Anadolu'da Çankırı olarak bilinir) yapılan bulgura ait ince tabaka kuruma katsayısı ve buna bağlı a ve b sabit sayıları belirlendi.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Hacim olarak bir kısım sert buğday ve iki kısım su olmak üzere bir kap içerisine önce su konulup kaynama sıcaklığına kadar ısıtıldı. Kaynama sıcaklığına kadar ısıtıldı. Kaynama sıcaklığına kadar ısıtılan su içerisine önceden miktarı belirlenen buğday ilave edildi. Kabin üst kısmındaki su tamamen yok olana kadar haşlama işlemine devam edildi. Haşlama işlemi tamamlandıktan sonra bulgur süzülür ve iki saat oda sıcaklığında bir bez üzerinde bekletildi. Bekletilmiş olan bulgur kurutmada kullanılmak üzere naylon poşetlere konuldu ve hava almayacak şekilde poşetler iyice kapatıldı. Her bir poşete 1000 g bulgur konuldu (bu miktar yaklaşık olarak tepsili kurutucuda bulunan dört tepsinin kapasitesine eşittir). Bulgurla doldurulmuş poşetler buzdolabında muhafaza edildi.

## DENEYSEL YÖNTEM

Hangi hava sıcaklığında ve hızında çalışma yapılacaksa deney düzeneği o hava sıcaklığına ve hızına ayarlandı. Belirli zaman aralıklarında hava sıcaklığı ölçülerek (kuru termometre sıcaklığı) sistemin kararlı hale gelip gelmediği kontrol edildi. Sistemin kararlı hale gelmesi için gerekli süre yaklaşık yarım saattir. Sistem kararlı hale geldiğinde tepsilerin darası alınıp üzerlerine toplam 1000 g bulgur konuldu ve terazide okunan rakam kayıt edildi. Her 10 dakikada bir tepsili kurutucunun üzerinde bulunan teraziden ağırlık kaybı okunarak kayıt edildi. Buna paralel olarak kurutma bölgesine giren ve çıkan havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları da kayıt edildi. Çalışılan sıcaklıkta ve hava hızında sabit tartıma gelene kadar (zamanla ağırlık değişimi gözlenmeye kadar) kurutma işlemine devam edildi.

Bu çalışmada ısıtıcıya giren elektrik akımı aynı tutulup, hava hızı değiştirilerek üç farklı sıcaklık elde edildi. Havanın çizisel hızı 1.70 m/s olduğunda kurutma bölgesine giren havanın kuru termometre sıcaklığı

38°C ve yaş termometre sıcaklığı 20°C olurken, ısıtıcıya giren elektrik akımı aynı kalmak koşulu ile havanın çizgisel hızı 0.58 m/s olduğunda kurutma bölgesine giren havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları sırasıyla 58°C ve 27°C ve havanın çizgisel hızının 0.29 m/s düşürüldüğünde havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları sırasıyla 80°C ve 35°C dir. Burada verilen her bir sıcaklık için kuruma karakteristikleri incelendi.

Sonuçların doğruluğunu kontrol etmek için her bir deney belirlenen hava sıcaklığında ve hızında üç kez tekrarlandı ve sonuçların birbirinden çok farklı olmadığı gözlemlendi. Verilen sonuçlar tekrarlanan deneylerin ortalama değerleridir.

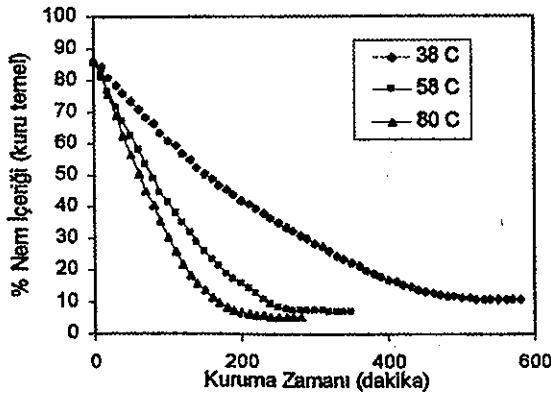
Hava hızının kuruma hızı üzerindeki etkisini incelemek için hava hızı sabit tutulup, ısıtıcıya giren elektrik akımı değiştirilecek aynı kuru termometre sıcaklıkları (38°C ve 58°C) elde edildi ve bu sıcaklıklarda deneyler yapıldı.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

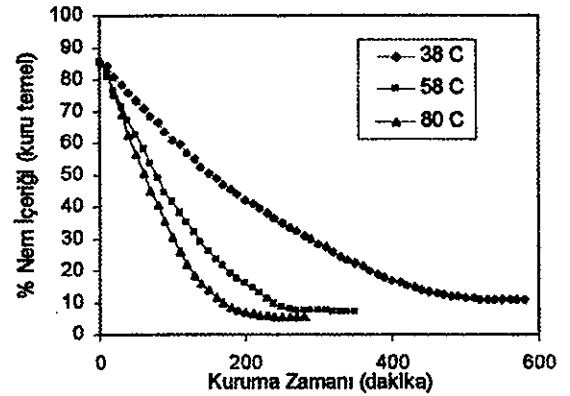
Çeşitli sıcaklıklarda % nem (kuru madde bazında) içeriği zamanın fonksiyonu olarak Şekil 1 de grafiğe geçirilmiştir. Şekil 1 de görüldüğü gibi bulgurun kurutulması sırasında kuruma evrelerinin üçüde gözlenmektedir. Isınma evresi çok dar bir aralıkta gerçekleştiğinden bu evre tam olarak gözlenmemektedir.

Tarımsal ürünlerin kurutulmasında genellikle kurutmanın son evresi olan azalan kuruma hızı evresi, kuruma hızını kontrol ettiği halde, bulgurun kurutulmasında sabit kuruma hızı evresi ve azalan kuruma hızı evresinin birlikte olduğu gözlenmektedir. Bulgurun tarımsal ürünlerden farklılık göstermesinin nedeni, buğdayın haşlanması sırasında soğurduğu (absorbe ettiği) sudan kaynaklanmaktadır. Bilindiği gibi sabit hızda kuruma evresinde bulgurun yüzeyinden suyun buharlaşma hızı, suyun bulgur tanesi içinde yüzeye yükselme hızına eşittir. Kuruma su buharının katı yüzeyden durgun bir film tabakası içinden geçerek ana hava akımına katılmasıyla gerçekleşir. Bulgur yüzeyinden hava akımına olan kütle aktarımı, hava akımından bulgur yüzeyine olan ısı aktarımına bağlıdır.

Azalan kuruma hızı evresinde ise bulgur tanesinin içinde bulunan su, yüzeye difüzyonla ulaşır. Suyun bulgur tanesi içinde yüzeye çıkma hızı suyun yüzeyden buharlaşma hızının altına düşer. Bu noktadan itibaren bulgur tanesinin dış yüzeyinde büzülen bir kabuk oluşur. Bu evrede kuruma hızının hesaplanmasında ürünün nem dağılımı ile birlikte sıcaklık dağılımının da göz önünde bulundurulması gerekir.



Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda boyutsuz nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 1. Farklı sıcaklıklarda bulgurun % nem içeriğinin (kuru temel üzerinde) zamanla değişimi.

Şekil 1 de farklı sıcaklıklarda kuru madde bazında % nem miktarı zamanın fonksiyonu olarak grafiğe geçirilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi nem miktarı zamanın fonksiyonu olarak eksponensiyel bir şekilde azalmaktadır. Bulgurun kurutulması esnasında görülen bu durum kuruma için önerilecek modelin logaritmik model olduğunu gösterir. Bu nedenle bulgurun kurutulması için Eşitlik (2) ile verilen logaritmik model önerildi.

Şekil 2 de farklı sıcaklıklarda boyutsuz nem içeriğinin zamana bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 2 de görüldüğü gibi ve aynı zamanda beklendiği gibi sıcaklığın artmasıyla kuruma hızı artmaktadır Şekil 2 deki boyutsuz nem oranı karşı zaman yarı logaritmik sıklarda grafiğe geçirildiğinde Şekil 3 elde edildi. Yani

boyutsuz nem oranının logaritması alınırken zaman olduğu gibi grafiğe geçirildi. Şekil 3 de elde edilen doğruların eğiminden her bir sıcaklık için  $k$  (kuruma sabiti) değerleri bulundu. Bu işlemler sonunda bulunan  $k$  değerleri Eşitlik (2) deki  $k$  nın değerleridir. Çünkü Eşitlik (2) deki  $k$  nın değerini bulmak için Eşitlik (2) nin her iki tarafının logaritması alınır ve boyutsuz nem miktarının logaritmasına karşılık  $t$  (zaman) grafiğe geçirildiğinde her bir sıcaklık için  $k$  değeri elde edilir.

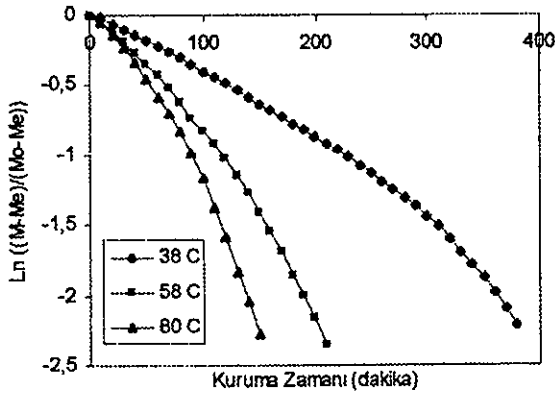
Şekil 3 ile Eşitlik (2) nin karşılaştırılmasında şu sonuç rahatlıkla çıkarılabilir. "Bulgurun kurutulması için kullanılan logaritmik model doğru bir seçimdir." Eşitlik (4) deki  $k$  ile sıcaklık arasındaki ilişki göz önüne alınarak sıcaklığın tersi ile logaritma  $k$  değerleri grafiğe geçirildiğinde Eşitlik (4) deki  $a$  ve  $b$  sabitleri bulunur. Sert buğdaydan yapılmış bulgur için kuruma sabiti ve  $a$  ve  $b$  değerleri Çizelge 1 de verilmiştir.

Çizelge 1. Sert Buğdaydan Yapılmış Bulgur İçin Kuruma Sabiti ve Maddeye Özgü Sabitler.

Sıcaklık (K)	Kuruma Sbt. (k)	a (1/dk)	b (K/dk)
311	0.0055	1.0013	0.0004
331	0.0110		
353	0.0152		

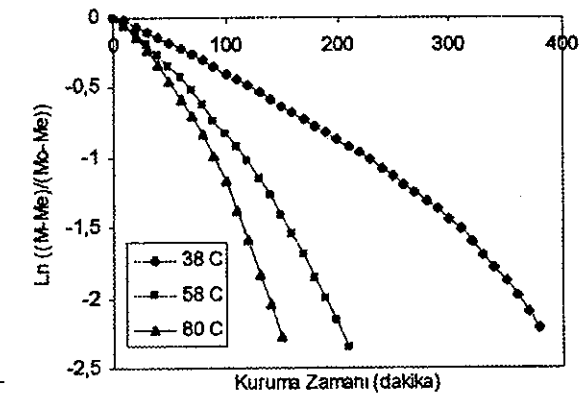
Dinamik denge nemi ile sıcaklık arasındaki ilişki Şekil (4) de verilmiştir. Şekil 4 de görüldüğü gibi ve beklendiği gibi sıcaklık dinamik denge nemi azalmaktadır.

Hava hızının kuruma hızı üzerindeki etkisini araştırmak için hava sıcaklığı sabit kalmak şartıyla çizgisel hava hızı değiştirildi ve boyutsuz nem içeriği



Şekil 3. Boyutsuz nem içeriğinin zamanla değişiminin yarı logaritmik skalada gösterimi

zamanın fonksiyonu olarak aynı sıcaklıkta iki farklı hava hızlarında grafiğe geçirildi (Şekil 5). Hava hızı arttıkça kuruma hızı da buna bağlı olarak artacağı beklenildiği halde deney sonuçlarından da görüldüğü gibi bulgurun kuruma hızı hava hızıyla ihmal edilecek seviyede değişmektedir.

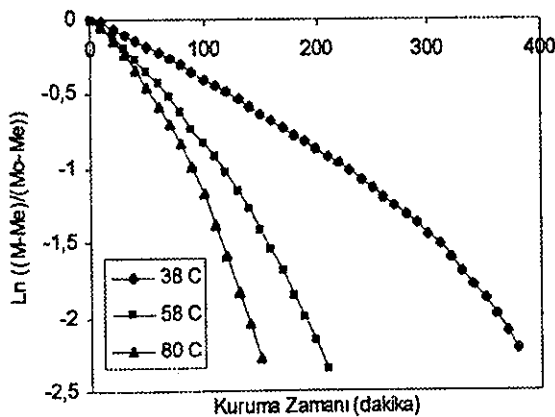


Şekil 4. Dinamik denge nem içeriğinin sıcaklıkla değişimi.

Bu araştırmada, çalışılan hava hızı aralıklarında, hava hızının kuruma hızı üzerinde etkisinin yok denecek kadar az olduğu görüldü. Dinamik denge nemi sıcaklıkta azaldığı gözlemlendi. Deneysel verilerin önerilen logaritmik model ile uyum içinde olduğu gözlemlendi. Kuruma hızının hava hızından (çalışılan aralıktaki) bağımsız olduğu gözlenirken, sıcaklığa büyük oranda bağlı olduğu gözlemlendi. Özellikle kurumanın başlangıcında yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça kuruma hızının arttığı gözlemlendi.

## SONUÇLAR

Bu araştırmada çalışılan hava hızı aralıklarında, hava hızının kuruma hızı üzerinde etkisinin yok denecek kadar az olduğu görüldü. Dinamik denge nemi sıcaklıkta azaldığı gözlemlendi. Deneysel verilerin önerilen logaritmik model ile uyum içinde olduğu gözlemlendi. Kuruma hızının hava hızından (çalışılan aralıktaki) bağımsız olduğu gözlenirken, sıcaklığa büyük oranda bağlı olduğu gözlemlendi. Özellikle kurumanın başlangıcında yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça kuruma hızının arttığı gözlemlendi.



Şekil 5. Sabit sıcaklıkta hava hızının kuruma süreci üzerindeki etkisi

**KAYNAKLAR**

- FUSCO, A.J., AVANZA, J.R., AGUERIC, R.J. ve GABITTO, J.F., 1991. A diffusional model for drying with volume change, *Drying Technology*, 9: 397-417.
- HONG, V.C. BAKSHI, A.S. ve LABUZA, T.P., 1986. Finite element modeling of moisture transfer during storage of mixed multicomponent dried food, *J. Food Sci.*, 51: 554-559.
- HUKILL, W.V., 1947. Basic principles in drying corn and grain sorghum, *Agricultural Engineering* 28 (8) 335-338, 340.
- LOZANO, J.G., ROTSEIN, E. ve URBICAIN, M.J., 1983. Shrinkage, porosity, and bulk density of foodstuffs at changing moisture content, *J. Food Sci.*, 48: 1497-1502.
- MILES, S.R. ve REMMENA, E.E., 1953. Relations of kernel, cob, and ear moisture in dent corn, *Station Bulletin* 599, Purdue.
- MISRA, R.N. ve YONG, J.H., 1980. Numerical solution of simultaneous moisture diffusion and shrinkage during soybean drying, *Trans. ASAE.*, - : 1277-1282.
- ROSS, I.I. ve WHITE, G.M., 1972. Thin layer drying Characteristics of white corn, *Trans. ASAE.*, - : 175-179.
- SAVARACOS, G.D., 1986. Mass transfer properties in foods, in *Engineering Properties of Foods* (Edited by M.A. Rao ve S.S. H. Rizvi ) Chap. 3., Dekker, New York.
- SHERWOOD, T.K., 1932. The drying of solids, *Ind. & Eng. Chem.*, 24: 307.
- SIMAL, S., ROSSELLO, C., BERNA, A. ve MULLET, A., 1994. Heat and mass transfer model for potato drying, *Chem. Eng. Sci.*, 49: 3739-3744.
- SIMAL, S., BERNA, A., MULLET, A. ve ROSSELLO, C., 1993. A method for the calculation of the heat transfer coefficient in potato drying, *J. Sci. Food Agric.*, 63: 365-367.
- SIMMONDS, W.H.C., WARD, G.R. ve McEVEN, E., 1953. The drying of wheat grain. Part I. the mechanism of drying, *Trans. I. Chem. Eng.*, 31: 265.
- SIMMONDS, W.H.C., WARD, G.R. ve McEVEN, E., 1954. The drying of wheat grain Part III. interpretation in terms of its biological structure, *Trans. I. Chem. Eng.*, 32: 115.
- SUAREZ, C. ve VIOLLEZ, P.E., 1991. Shrinkage effect on drying behaviour of potato slabs, 13: 554-559.
- SUZUKI, K., KUBOTA, K., HASEGAWA, T. ve HOSAKA, H., 1976. Shrinkage in dehydration of root vegetables, *J. Food Sci.*, 41: 1189-1193.
- THOURNBURG, W.L., 1956. An electron microscope examination of the formation of starch granules in corn endosperm, *Ph. D. thesis* Purdue Univ.
- VAN REST, D.J. ve ISAACS, G.W., 1968. Exposed-layer drying rate of grain, *Trans. ASAE*:- 236-239.
- YOSHIA, M., IMAKOMA, H. ve OKAZAKI, M., 1990. Characteristic functions for the drying of non-hygroscopic porous slab with a constant body temperature, *J. Chem. Eng. Japan*, 23: 58-63.
- WHISTLER, R.L. ve SPENCER, W.W., 1958. Effect of drying on the presence of cavities in corn starch granules, *Cereal Chem.*, 35: 331.