

Usage Possibilities of Mathematical Modelling in Drying Technology

Yagmur Erim Kose
Department of Food Engineering,
Faculty of Engineering, University of Van Yuzuncu Yil, Van, Turkey
E-mail: yagmurerim@yyu.edu.tr

Abstract

Drying, which is one of the oldest preservation methods, is controlled application of heat for evaporation a substantial portion of the water contained in the food. Accurate analysis of the parameters of simultaneous heat and mass transfer mechanisms in the drying process is very important for in terms of design and process modelling.

Modelling is based on a physical process of identifying and established mathematical equivalence principlebe solved numerically on computers. The success of the model depend on accurate knowledge of the process parameters. By implementing of modelling, the difficulty of the trial and error studies resulted by empirical phases is being eliminated; the loss of man power and energy is being reduced to minimum; fast and practical approach on pre-design, optimization and process control is obtained.

In this review, the drying processes and the heat and mass transfer mechanisms were discussed in detail. The most used mathematical models in the drying technology were given and the importance of the models in terms of drying technology, were summarized.

Keywords: Drying Technology, Heat and Mass Transfer, Mathematical Modelling.

Matematiksel Modellemenin Kurutma Teknolojisinde Kullanım Olanakları

Özet

Kurutma teknolojisi en eski gıda muhafaza yöntemlerinden biri olup; gıdanın içerdiği suyun önemli bir kısmının buharlaştırılarak uzaklaştırılması için kontrollü ısı uygulaması olarak tanımlanmaktadır. Kuruma prosesinde eşzamanlı ısı ve kütle transfer mekanizmalarına ait parametrelerin doğru bir şekilde irdelenmesi, bu prosese ait süreç tasarımının ve modellemenin yapılabilmesi için oldukça önemlidir.

Modelleme, mevcut olan bir fiziksel işlemin matematiksel olarak tanımlanması ve kurulan matematiksel denklemlerin bilgisayarda sayısal olarak çözümlenmesi ilkesine dayanır. Kurulan modelin başarısı ise, fiziksel işlemi tanımlayan parametrelerin doğru olarak ortaya konulabilmesine bağlıdır. Modellemeyle beraber deneysel aşamaların getirdiği deneme yanılma çalışmalarının güçlüğü ortadan kalkacak, işgücü ve enerji kayıpları en aza indirgenecek, ön tasarım, optimizasyon ve işlem kontrolünde hızlı ve pratik bir yaklaşım sağlanacaktır.

Bu derlemede kurutma prosesi ve bu proses boyunca gerçekleşen ısı ve kütle transfer mekanizmaları detaylıca ele alınarak kurutma teknolojisinde en çok kullanılan matematiksel modellere yer verilmiş ve modellemenin kurutma teknolojisi açısından önemine değinilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kurutma teknolojisi, ısı ve kütle transferi, matematiksel modelleme

1.Giriş

Günümüzde çok çeşitli gıda muhafaza yöntemleri olmasına rağmen; kurutma gıdadaki mevcut suyu gıdanın bozulmasına imkân vermeyecek güvenli sınırlara kadar indirdiğinden kesin bir koruma yöntemi olarak görülmekte ve sık tercih edilmektedir. Kurutma işlemi daha az iş gücü ve daha az

ekipman gerektirdiği gibi, kurutulmuş gıdaların taşınması ve depolanmasında da daha az masraf yapılmaktadır (Cemeroğlu ve ark., 2003). Geçmişte olduğu gibi günümüzde de en sık kullanılan kurutma yöntemi güneşte kurutmadır. Fakat bu yöntemde hijyenik koşullar kontrol edilemediği gibi uzun süre güneş altında bekletilerek kurutulan ürünler çeşitli böcek, kuş ve benzeri canlıların zararına maruz kalarak kaliteleri düşmekte ve pazar değerleri azalmaktadır. Bu sebeple günümüzde çok çeşitli yapay kurutma yöntemleri geliştirilerek kurutma süresi büyük oranda kısaltılmakta, hijyenik koşullar altında temiz ve kaliteli ürünler elde edilmektedir (Özbilir 2006). En çok uygulanan yapay kurutma yöntemleri; kontakt, konvektif, dielektrik, ışınım, donmalı ve ozmatik kurutmadır (Özgül 2007).

Kurutma işlemi gıda endüstrisinde en sık tercih edilen proses olmasına rağmen enerji tüketimi oldukça yükündür. Birçok sanayileşmiş ülkede kurutma işlemleri için tüketilen enerjinin payı endüstri için tüketilen enerjinin % 7-15'i gibi önemli bir paya sahip olup çoğunlukla ısı verim % 25 ile % 50 arasında değişmektedir. Tahmini verilere göre, kurutma işlemi için harcanan toplam enerji tarımsal ürünlerdeki enerji ihtiyacının % 60'ından fazlasıdır (Güngör ve ark., 2013).

Çevre kirliliği ve ulusal ekonomi açısından enerjiyi etkin olarak kullanan bir proses tasarımının oldukça önemli olduğu bugünlerde, yenilikçi ve uygulanabilir teknolojilerin kullanılmasıyla önemli miktarda enerji tasarrufu yapmak mümkündür (Özgül 2007). Bu da sistemin uygulamaya vereceği cevabın önceden öngörülebilmesine yani matematiksel olarak modellenmesine bağlıdır (Sakin 2005). Prosesin matematiksel olarak modellenmesi ve tasarlanması kurutucu çalışma koşullarının doğru kavranmasını sağlayacağı gibi hammaddenin kurutulması sırasındaki enerji tüketimini de azaltacaktır. Çünkü kurulan model; kurutma işlemi, işlem sırasında ürün ile kurutucu ortamı arasındaki etkileşimi, üründe meydana gelen değişimleri sayısal olarak tanımlayabilme olanağı sağlayacak, proses tasarımı ve optimizasyonunda dayanak noktası olacaktır.

2.Kurutma

2.1. Kurutmanın Temelleri

Kurutma yöntemleri genel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Birinci grup yöntemin esası, kurutulacak maddedeki suyun uzaklaştırılması amacıyla gerekli ısının transfer şekline dayanmakta olup, aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

- Konveksiyon kurutma (sıcak hava ile kurutma); kurutucu yüzey ile herhangi bir temas olmaksızın, sıcak havanın kurutulacak maddenin içinden, üzerinden ve arasından geçirilmesi ile gerçekleşen kurutma yöntemidir.
- Kondüksiyon kurutma; buharlaştırma için gerekli olan ısının, sıcak bir yüzeyden kurutulacak olan maddeye iletilmesi ile gerçekleşen kurutma yöntemidir.
- Radyasyon kurutma; ısının elektromanyetik dalgalar aracılığıyla kurutulacak olan maddeye transfer edilmesi ile gerçekleşen kurutma yöntemidir (Kutlu ve ark., 2015).

İkinci grup kurutmada ise, ısıtma işlemi güneş enerjisinin kullanım şekline göre sınıflandırılmıştır:

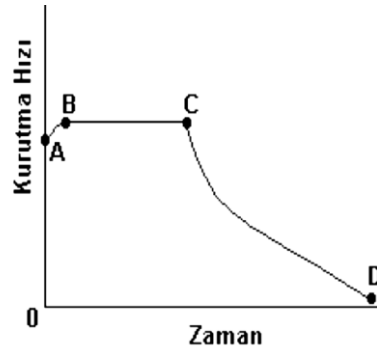
- Doğal sistemler; direkt olarak güneş ışınlarından yararlanılarak gerçekleştirilen kurutma yöntemi olup, genellikle meyve, sebze ve tahıl ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır.
- Pasif sistemler; sistemde ek enerji olmaksızın gerçekleştirilmektedir.
- Aktif sistemler; ek enerjinin varlığında gerçekleşen kurutma şeklidir (İsaeva 2007).

Kurutulacak maddedeki suyun uzaklaştırılması için duyulan enerji gereksinimi, gıdada bulunan suyun tipine (serbest su, adsorbe su, bağlı su) bağlı olduğu kadar, kurutulacak olan ürüne de bağlıdır (Evranoz & Çataltaş 1989). Ayrıca kullanılan kurutucu havanın sıcaklığı, basıncı ve özgül nemi kuruma şartları açısından önemli rol oynamaktadır (İsaeva 2007).

2.2. Kuruma Evreleri

Şekil 1'de görüldüğü gibi, kuruma olayının gerçekleşmesi sırasında üç evre ile karşılaşmaktadır (Özbilir 2006):

- Materyalin ısınma evresi (AB)
- Sabit hızla kuruma evresi (BC)
- Azalan hızla kuruma evresi (CD).



Şekil 1. Zamana bağlı nem oranı ve kuruma hızı değişimleri (Köni 2007)

Şekil 1’de kuruma başlangıcında görülen AB eğrisi ısınma evresi olarak adlandırılır. Bu evrede kurutulacak ürünün ve kurutma ortamının sıcaklığı dengeye gelir, kuruma hızı giderek artış gösterir ve evrenin sonunda kuruma hızı en yüksek değerine ulaşır gibi görünür (Güner 1991). Ancak bu anlamlı bir durumdur ve gıda kurutma işlemlerinde bu bölge ihmal edilmektedir (Geankopolis 2011).

BC eğrisi sabit hızla kuruma evresi olarak adlandırılır. Bu evrede tamamen dış hava koşullarınca kontrol edilen buharlaşma olayı başlar. Bu buharlaşma kurutulacak materyalin yüzeyinde bulunan ince su tabakasının gerçekleşir. Bu evre boyunca, yüzeyden buharlaşan suyun hızı ile materyal yüzeyine iletilen suyun hızı birbirine eşittir (Özbilir 2006). Bu bölge çok kısa olmakta ve gıda ürünlerinin kurutulması sırasında sabit hızla kuruma görülmemektedir (Kutlu ve ark., 2015). Sabit hız döneminin sonunda suyun serbest yüzey olarak davranma eğilimi durmuştur ve artık kuruma hızını buhar basıncı farklılıklarının dışında kalan diğer faktörler kontrol etmektedir (Gürses 1986). Bu evreden sonra asıl kurutma işleminin gerçekleştiği evre olarak bilinen azalan hızla kuruma evresi (CD) başlar ve ilk kuru nokta (kritik nokta) oluşur (C noktası).

D noktasında ise ürünün yüzeyi artık tamamen kurudur ve ikinci azalan hız periyodu başlar (Geankopolis 2011). Azalan hızla kuruma evresi sonunda, materyal ile çevrenin sıcaklığı eşit duruma gelir.

2.3. Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler

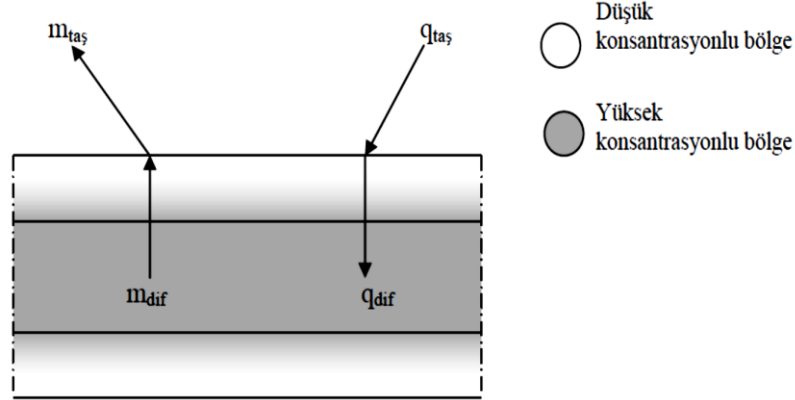
Isı ve kütle transfer hızına etki eden faktörler kurutma hızını da direkt olarak etkilemektedir. Bu faktörler sırasıyla aşağıda verilmiştir;

- Kurutulan materyalin fiziksel özellikleri: Ürünün büyüklüğü ve sahip olduğu ilk şekil, ürünün kurutucu sistemdeki konumu ve yerleştiriliş şekli, yüzey alanı ve kalınlığı kurutma hızına etki eden temel faktörlerdir (Sarsılmaz 1998).
- Kurutulan materyalin kimyasal özellikleri: Çözülmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürerek buharlaşmayı güçleştirir (Ayan 2010). Dolayısıyla şeker, tuz gibi küçük moleküllü çözülmüş maddelerce zengin bir gıdanın oldukça zor kuruduğu görülür. Aynı şekilde nişasta ve pektin içeren gıdaların da kuruması zordur. Çünkü bu bileşenler suyu içinde tutarak jel oluşturur (Kutlu ve ark., 2015).
- Kurutucu havanın hızı: Yüksek hızda hava ile kurutmada gıdanın kuruması kısa sürede gerçekleştiğinden kurutma işlemlerinde yüksek hızda hava ile kurutma tercih edilmektedir (Dadalı 2007). Ayrıca kurutulacak olan parçacıklar küçüldükçe, kuruma hızı artmaktadır. Çünkü parçacıklar küçüldükçe; yüzey alanı artacak, kalınlığı azalacaktır (Cemeroglu ve ark., 2003).
- Kurutucu havanın sıcaklığı: Kurutucu havanın sıcaklığının artması ile beraber ürün içindeki nem difüzyonu artacak ve ısı ve kütle transferini doğrudan etkileyecektir (İsaeva 2007).
- Kurutucu havanın özgül nemi: Kurutma havasının özgül nemi ısı ve kütle transferini etkilemektedir (İsaeva 2007).

2.4. Kurutmada Isı ve Kütle İletimi

Kurutma; eşzamanlı ısı ve kütle transfer olaylarının gerçekleştiği karmaşık bir süreçtir. İlk etapta çevresinde mevcut olan kurutucu sıcak hava ile teması geçen gıda maddesi ısınmaya başlar (Krokida ve ark., 2002). Bu mekanizma kurutucu sıcak havadan kurutulan gıdanın yüzeyine taşınım (konveksiyonla) gerçekleşen ısı transferi (q_{taş}) ve ürünün iç kısmında difüzyonla (kondüksiyonla)

gerçekleşen ısı transferi (q_{dif}) şeklindedir (Çerçi & Kavak Akpınar 2015). Kütle (nem) transferi için temel mekanizmalar ise, ısı transferinin tam tersi bir yol izler. Bu mekanizma gıdadaki suyun yüzeye difüzyonu (m_{dif}), yüzeyde buharlaşması ve nihayetinde su buharının hava akımıyla yüzeyden taşınımı ($m_{taş}$) uzaklaştırılmasıdır (Çınar 2006). Kurutma prosesi boyunca ortamın sıcaklığı ve nem oranı, gıdanın yüzey alanı ve basınç faktörleri ısı ve kütle transferini etkilemektedir.



Şekil 2. Kurutma sürecinde eşzamanlı ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi (Kaya 2008)

3.Kurutma Teknolojisinde Kullanılan Matematiksel Modeller ve Önemi

Model, gerçek dünyadaki bir sistemin, bir sürecin veya bir olgunun nasıl işlediğinin matematiksel olarak algılanabilmesi için ilgili olduğu bilim dalının kavram ve kanunlarına bağlı olarak ifade edilmesidir (Mutlu 2006). Deneysel çalışmaların sınırlı sayıda kaldığı, deneysel çalışma yapmanın imkânsız olduğu veya pratik ve ekonomik olarak çok sayıda deneyin yapılması gerektiği halde yapılamadığı durumlarda matematiksel modellerden yararlanılmaktadır (Devres & Pala 1993).

Kurutma işlemlerinde kullanılan matematiksel modeller yeni bir süreç dizayn edilmesinde veya geliştirilmesinde ve gıda maddeleri için en uygun kurutma koşullarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Babalıs & Belessiotis 2004). Kurutma modellerinin en önemli karakteristikleri hareket, yapısal ve termodinamik kabuller, malzeme özelliği, ölçüm metotları, model çözümü ve modelin değerlendirilmesidir (Kamışlı 2002).

Modelleme kurutma koşullarını en açıklayıcı şekilde belirten matematiksel eşitliklere dayanmaktadır (Cesur 2013). Bu amaçla en basit şekliyle ısı transferi kondüksiyonda Fourier yasası ve konveksiyonda Newton'un soğuma yasası, kütle transferi ise Fick difüzyon yasası ile ifade edilir (Çınar 2006).

Kurutma süreci için pek çok matematiksel model geliştirilmesine rağmen, kullanım kolaylığı ve az veri gereksinimi nedeniyle ince tabaka kurutma modelleri en çok tercih edilenleridir (Özdemir & Devres 1999). Bu modeller ürünün tek kat tabaka şeklinde kurutulduğunu öngörür ve böylece sıcaklığın homojen bir şekilde dağıldığını kabul eder. İnce tabaka kurutma modelleri teorik, yarı teorik ve ampirik (deneysel) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Kılıç 2014).

Teorik modeller; nem transferi için içsel dirençle ilgilenirken, gıda kurutma sürecinde daha çok kullanılan yarı teorik ve ampirik modeller ise gıda maddesi ile ortam arasındaki dış dirençle ilgilenir (Özdemir & Devres 1999, Cesur 2013). Teorik modeller Fick'in ikinci yasasından türetilirken, yarı teorik modeller Fick yasasının yanı sıra Newton'un soğuma kanunundan türetilmektedir. Ampirik modeller ise deney koşullarına bağlı olup, yarı teorik modellere benzer özellik gösterir (Kutlu 2015). Kurutulacak olan gıdaya bağlı olarak kullanılan model de değişiklik göstermektedir. Modelleme ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; araştırmacıların daha çok meyve, sebze ve tahıl ürünlerinin kurutulmasında en uygun modelin belirlenmesi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Farklı gıda maddelerine en iyi uyum sağlayan modeller

GIDA	BELİRLENEN UYGUN MODEL	KAYNAK
Balkabağı	Midilli ve ark.	Kavak Akpınar, 2005
Cennet elması	Logaritmik Model	Çalışkan ve Dirim, 2015
Elma	Midilli ve ark.	Mengeş ve ark., 2005
Limon	Page Modeli	Yoğurtçu, 2014
Pathcan	Midilli ve ark.	Ertekin ve Yıldız, 2003
Kuşburnu	Page Modeli ve Logaritmik Model	Şen, 2010
Zeytin küspesi	Henderson ve Pabis Modeli	Vega-Galvez ve ark., 2010
Dut	Logaritmik Model	Doymaz, 2004
Kırmızı biber	Midilli ve ark.	Darvishi ve ark., 2014
Mısır	Page Modeli ve Midilli ve ark.	Yılmaz, 2010
Kolza tohumu	Page Modeli	Duc ve ark., 2011
Bulgur	Logaritmik	Kamışlı, 2002
Pirinç	Page Modeli	Basunia ve Abe, 2001

Literatürde kullanılan modeller incelendiğinde gıdaların kurutulmasına en iyi uyum sağlayan modelin Page Modeli ve Midilli ve ark. Modeli olduğu görülmektedir. Ayrıca son yıllarda doğrusal olmayan ve karmaşık sistemlerin modellenmesinde gösterdiği başarı sebebiyle birçok alanda yapay sinir ağı yaklaşımı (YSA) kullanılmaktadır. Köni (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, kesikli akışkan yataklı ekme mayası kurutma sürecinin modellenmesinde YSA başarı ile kullanılmıştır. Şevik ve ark. (2014) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise mantarın güneş destekli ısı pompalı bir kurutucuda kuruma davranışları YSA kullanılarak modellenmiştir.

Modelleme sayesinde önceden hazırlanan çeşitli üretim ve analiz senaryoları ile yatırım planlaması, üretim akışı ve kontrolü hassas sınırlarda sağlanacak (Devres & Pala 1993) ve böylece enerjiyi oldukça yoğun olarak kullanan kurutma işlemi dahaiyi tasarlanmış ve boyutları küçültülmüş kurutucular ile gerçekleştirilecektir. Bu sayede işlem maliyetinde tasarruf mümkün olabilecektir (Bingöl & Devres 2009). Zaman, enerji ve işgücü kayıpları en aza indirilecek, yüksek kapasiteli üretim sırasında hatalı ürün riskine girmeden kaliteli üretim yapmak mümkün olacaktır (Sakin 2005).

Ayrıca modellemenin en büyük avantajlarından biri de kişileri modelleme sırasında sistem veya süreci tam olarak anlamaya zorlaması olmaktadır (Devres & Pala 1993). Böylece kurutma sürecinde yapılacak matematiksel modelleme ile gıdaların kurutma ortamı ile birlikte transfer özellikleri de (ısı iletkenliği, ısı difüzyonu, nem difüzyonu, interfaz ısı ve kütle transfer katsayıları) tam olarak kavranacak ve farklı ürünlere uygulanan farklı kurutma işlemlerinde deneme-yanılma yöntemine gidilmeden optimum kurutma parametreleri belirlenerek (Bingöl & Devres 2009) yeni bir süreç dizaynında veya geliştirilmesinde yarar sağlayacaktır.

4. Sonuç

Kurutma prosesi, gıdaları korumak amacıyla insanlık tarihi kadar eski bir geçmişe sahip olan tekniklerden bir tanesidir. Günümüzde kurutma işlemi direkt güneş ışığı altında gerçekleştirildiği gibi, kontakt, konvektif, ışınım, dielektrik, donmalı ve ozmatik kurutma gibi çeşitli yöntemlerle de gerçekleştirilebilmektedir.

Enerji tüketiminin minimum seviyede olduğu doğal kurutma sistemlerinde elde edilen ürün kalitesi düşük, kuruma süresi uzundur. Kurutulmuş yüksek kaliteli ürün ve kısa kurutma süresi talebi ise beraberinde kurutma işleminin enerji ve yatırım masraflarında artışı getirir. Bu sebeple yapay kurutma sistemlerinde büyük miktarda enerji tüketilmekte ve sanayide kurutma işlemi ekonomik olarak yürütülememektedir. Bundan dolayı son yıllarda sanayi alanında kurutucu dizayn edilmesinde, uygun

süreç ve kurutma koşullarının belirlenmesinde, optimum şartların oluşturulmasında matematiksel modellemelerden büyük oranda yararlanılmaktadır. Literatürde gıda ürünlerinin kuruma davranışını önceden tahmin edebilmek için geliştirilen çeşitli teorik, yarı teorik ve ampirik modeller mevcuttur. Yapılan bu çalışma ile mevcut modeller arasından, farklı sıcaklıklarda kurutulan farklı örneklerin kuruma davranışlarının açıklanmasında Page ve Midilli ve ark. modellerinin öne çıktığı görülmektedir.

Kaynaklar

- Ayan, H. (2010), 'Güneşte ve Yapay Kurutucuda Kurutulmuş Domates (*Lycopersitcum esculentum*) Üretimi ve Proses Sırasındaki Değişimlerin Belirlenmesi', *Master Thesis*, Ankara University, Ankara.
- Babalıs, S.J. & Belessiotis, V.G. (2004), 'Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs', *Journal of Food Engineering*, **65**, 449-458.
- Basunia, M.A. & Abe, T. (2001), 'Thin-layer solar drying characteristics of rough rice under natural convection', *Journal of Food Engineering* **47**, 295-301.
- Bingöl, G. & Devres, Y.O. (2009), Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri *PhD Thesis*, İstanbul Sanayi Odası- İstanbul Teknik Üniversitesi Doktora / Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi.
- Cemeroğlu, B., Karadeniz, F. & Özkan, M. (2003), 'Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi' Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları: 28, 541 s., Ankara.
- Cesur, Ö. (2013). 'Kurutma Metodları ve Şartlarının Nar Tanesinin Kurutma Kinetiği ve Kalitesi Üzerine Etkisi', *Master Thesis*, Harran University, Şanlıurfa.
- Çalışkan, G. & Dirim, S.N. (2015), 'Freeze Drying Kinetics of Persimmon Puree' *Gıda* **40** (1), 9-14.
- Çerçi, K.N. & Kavak Akpınar, E. (2015), 'Güneş Altında Kurutma Prosesinde Biberin Konvektif Isı Transfer Katsayısının Belirlenmesi' 12. Ulusal tesisat Mühendisliği Kongresi; 8-11 Nisan 2015, İzmir, 1659-1665.
- Çınar, İ. (2006), 'Gıda Kurutma Teknolojisinde Matematik Modellerin Kullanımı' Türkiye 9. Gıda Kongresi; 24-26 Mayıs 2006, Bolu, 805-806.
- Darvishi, H., Rezaeiasl, A., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G. & Khodaei, J. (2014), 'Study of the drying kinetics of pepper' *J Saudi Soc Agri Sci*, **13**, 130-138.
- Dadalı, G. (2007), 'Bamya ve ıspanağın mikrodalga tekniğini kullanarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi', *Master Thesis*, Yıldız Teknik University, İstanbul.
- Devres, Y.O. & Pala, M. (1993), 'Gıda Sanayiinde Matematiksel Modellemenin Önemi ve Uygulama Alanları', *Gıda* **18** (3), 173-181.
- Doymaz, I. (2004), 'Pretreatment Effect on Sun Drying of Mulberry Fruits (*Morus Alba L.*)' *Journal of Food Engineering*, **65**, 205-209.
- Duc, L. A., Han, J. W. & Keum, D. H. (2011), 'Thin Layer Drying Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus L.*)' *Journal of Stored Products Research*, **47**, 32-38.
- Ertekin, C. & Yaldız, O. (2003), 'Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model' *Journal of Food Engineering* **63**, 349-359.

- Evranuz, Ö. & Çataltaş, İ.(1989), ‘Gıda İşleme Mühendisliği’, İnkılap Kitabevi, İstanbul.
- Geankoplis, C.J. (2011), ‘*Taşınma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri*’ Sinan Yapıcı (Çeviren), İzmir Güven Kitabevi, İzmir, Türkiye.
- Güngör, A., Hepbaşlı, A. & Günerhan, H. (2013), ‘Gaz Tahrikli Isı Pompalarının Kurutmada Kullanımının Deneysel İncelenmesi’, Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. 17-20 Nisan 2013, İzmir, 1231-1244.
- Güner, M. (1991), ‘Kurutmanın Bilimsel Temelleri, Kurutma Modelleri ve Güneşli Kurutucular’, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1205, Derlemeler: 48, Ankara.
- Gürses, Ö.L. (1986), ‘Gıda İşleme Mühendisliği’ 2. Ziraat fakültesi yayınları Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 963 Ders Kitabı : 282.
- İsaeva, J. (2007), ‘Kayısı Kurutmanın Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması’, *PhD Thesis*, Yıldız Teknik University, İstanbul.
- Kavak Akpınar, E. (2005), ‘Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits’ *Journal of Food Engineering* **73**, 75–84.
- Kaya, A., (2008), ‘Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi’ *PhD Thesis*, Karadeniz Teknik University, Trabzon.
- Kamışlı, F. (2002), ‘Sert Buğdaylardan Yapılmış Bulgurun Tepsili Kurutucuda Kurutulması’, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* **6-3**, 76-82.
- Kılıç, E.E., (2014), ‘Konvektif Koşullarda Kurutulan Sebze ve Meyvelerin Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi’ *Master Thesis*, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş.
- Köni, M. (2007), ‘Fermentasyon Ürünleri Kurutma Proseslerinin Matematiksel Modellenmesi ve Kontrolü’ *phD Thesis*, Kocaeli University, Kocaeli.
- Kutlu, N., İşçi, A. & Şakıyan Demirkol, Ö. (2015), ‘Gıdalarda İnce Tabaka Kurutma Modelleri’, *Gıda* **40** (1): 39-46.
- Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B. & Marinos-Kouris, D. (2002), ‘Drying Kinetics of Some Vegetables’ *Journal of Food Engineering*, **59**, 391-403.
- Mengeş, H.O., Ertekin, C. & Aydın, C. (2005), ‘Elma Dilimlerinin Konveksiyonla Kurumasına Uygun Kurutma Modelinin Belirlenmesi’, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* **1**(3), 229-236.
- Mutlu, M. (2006), ‘Matematik Modelleme ve Gıda Mühendisliğinde Kullanımı’, Türkiye 9. Gıda Kongresi; 24-26 Mayıs 2006, Bolu. 31-32.
- Özbilir, V. (2006), ‘Konya Bölgesi’ nde Yetiştirilen Havucun Kontrollü Şartlar Altında Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi’ *Master Thesis*, Selçuk University, Konya.
- Özgül, K. (2007), ‘Ürünlerin kuruma karakteristik değerlerinin belirlenmesi’ *Master Thesis*, Selçuk University, Konya.
- Özdemir, M., Devres, Y.O. (1999), ‘The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting’ *Journal of Food Eng*, **42**, 225-233.
- Sakin, M. (2005), ‘Fırında kek pişirme işleminin eşzamanlı ısı ve kütle transferi olarak modellenmesi’, *PhD Thesis*, Ege University, İzmir.

- Sarsılmaz, C. (1998), 'Güneş Enerjisi Destekli Kayısı Kurutma Sistemi', PhD Thesis, Fırat University, Elazığ.
- Şen, E. (2010), 'Kuşburnu meyvesinin vakum ve mikrodalga tekniği ile kurutulması ve kuruma özelliklerinin belirlenmesi', Master Thesis, Gaziosmanpaşa University, Tokat.
- Şevik, S., Aktaş, M., Özdemir, M.B. & Doğan, H. (2014), 'Güneş Destekli Isı Pompalı Bir Kurutucuda Mantarın Kuruma Davranışlarının Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Modellenmesi' *Tarım Bilimleri Dergisi*, **20**, 187-202.
- Vega-Galvez, A., Miranda, M., Diaz, L.P., Lopez, L., Rodriguez, K. & Di-Scala, K. (2010), 'Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of the drying curves of the olive-waste cake', *Bioresour Technol*, **101**, 7265-7270.
- Yoğurtçu, H. (2014), 'Mikrodalga Fırında Limon Kurutma: Kinetiği ve Modellenmesi', *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **26** (1), 27-33
- Yılmaz, S. (2010), 'Mısırın Dinlendirmeli Kuruma Davranışının İncelenmesi', *Master Thesis*, Trakya University, Edirne.