

OZMOTİK DEHİDRASYON, MEKANİZMASI VE UYGULAMALARI

İnci Çınar*

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi / Received: 05.08.2008

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 15.09.2008

Kabul tarihi / Accepted: 21.10.2008

Özet

Ozmotik dehidrasyon tekniği, kurutma teknolojisinin ihtiyaç duyduğu enerji girdisinin azaltılması ve istenen niteliklerde ürün eldesi gibi avantajları sebebiyle son yıllarda artan popülerite kazanmıştır. Ozmotik dehidrasyon tek başına bir kurutma yöntemi olmayıp, asıl kurutma işlemi öncesinde, bir ön işlem olarak değerlendirilebilir. En basit ifade ile ozmotik dehidrasyon gıdada bulunan suyun belli bir kısmının, hipertonic (ozmotik) çözeltilere daldırma veya ozmotik ajanın direkt uygulanması ile kontrollü olarak uzaklaştırılması (difüzyonu) esasına dayanır.

Bu çalışmanın amacı popülerite kazanan ozmotik dehidrasyonun temel prensipleri, mekanizması ve gıda sektöründeki uygulamaları hakkında fikir verebilmektir.

Anahtar kelimeler: Ozmotik dehidrasyon, kütle transferi, model, difüzyon, rehidrasyon.

OSMOTIC DEHYDRATION, MECHANISM AND APPLICATIONS

Abstract

Osmotic dehydration technique has gained popularity due its advantages such as lowering the energy input requirement during drying and providing production of processed foods having pre-defined properties. Osmotic dehydration can be considered as a pre-dehydration step prior to final drying rather than being a full drying operation. Osmotic dehydration can simply be defined as controlled removal of water (diffusion) from food either by immersion of foodstuff in hypertonic (osmotic) solutions of sugar/salt or by direct addition of the osmotic agent.

The aim of this study is to review the basic principles of osmotic dehydration, its mechanism and applications in food sector.

Keywords: Osmotic dehydration, mass transfer, model, diffusion, rehydration.

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author ;

✉ icinar@ksu.edu.tr, ☎ (+90) 344 219 1578, 📠 (+90) 344 219 1526

GİRİŞ

Gelişen ve değişen dünyamızda çalışan nüfusun artması, tüketicinin işlenmiş hazır ürünlere talebini ve üründen beklentilerini (doğal, kimyasal katkı ve kalıntı içermeyen, dayanıklı, hijyenik, besleyici değeri ve duyuşsal özellikleri yüksek, organik, fonksiyonel vs) büyük ölçüde arttırmıştır. Bu gelişmeler ışığında, gıda sektörü ürünün orijinal özelliklerinde değişmelere yol açan her tür prosesi optimize etme yolunda ilerlemeye başlamış, piyasada rekabet gücü yüksek ürünlerin özelliklerini de bu iki temel talep oluşturmaya başlamıştır. Geleneksel üretim tekniklerinin yerini daha gelişmiş, amaca hizmet eden, işletme maliyeti ve ürün kalitesini gözetken modifiye ve/veya yeni teknikler almaya başlamıştır.

Kurutma teknolojisi gıdaların işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulanacak kurutma tekniğinin başarısı kurutmada kullanılacak tekniğin, ekipmanın ve kurutma parametrelerinin optimum kullanılması ile mümkün olacak, bu şekilde duyuşsal kalite, vitaminler, mikroelementler ve aroma bileşenleri daha iyi korunacak ve muhtemel oksidasyonlar kontrol altına alınacaktır.

Bir kurutma ön işlem tekniği olarak ozmotik dehidrasyon konsepti ilk kez Ponting ve ark. (1) tarafından ortaya atılmış ve 90'lı yıllarda artan bir şekilde ilgi görmeye başlamıştır. Ozmotik dehidrasyon sadece suyu uzaklaştırmakla kalmaz, aynı zamanda ürüne istenen duyuşsal, besinsel ve kimyasal içeriği sağlamak amacıyla antioksidanlar, preservativefler, vitamin ve mineraller, su aktivitesi düşürücü ajanların da eklenmesi için bir taşıyıcı ortam oluşturur. Ayrıca diğer bir açıdan ozmotik dehidrasyon konvektif kurutma veya dondurma için gereken enerji girdilerini azaltan bir ön işlem olarak düşünülebilir (2, 3).

Ozmotik dehidrasyondan beklenen fayda daha çok endüstriyel ölçekte üretim yapılabilmesi ve işleme maliyetlerini düşürmesi yönünde olmasına rağmen dehidrasyon prosesinin ve ürün kalitesinin optimizasyonu mutlaka sağlanmalıdır. Bu açıdan ozmotik dehidrasyon mekanizmaları ve ürünün dehidrasyon sonrası işleme ve depolamadaki davranışları çok iyi belirlenmeli ve ısı- kütle transfer temelleri araştırılmalıdır.

OZMOTİK DEHİDRASYON VE MEKANİZMALARI

Ozmotik dehidrasyon gıdalardan suyun uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla, gıdanın hipertonic ozmotik çözeltiye daldırılması veya ozmotik ajanın (şeker veya tuz) gıdaya doğrudan ilavesi şeklindeki bir uygulamadır. Ozmotik dehidrasyon ile genelde orta nem düzeyinde ürünler elde edilir. Dehidrasyon oranına bağlı olarak stabil bir işlenmiş ürün elde edilebileceği gibi diğer işlem basamakları için bir ön işlem olarak ta uygulanabilir (4).

Ozmotik dehidrasyon kütle transferine dayanan dinamik periyottan sonra, su ve şeker/tuz arasındaki denge prensibi ile karakterize edilir. Yani proses süresince suyun dokudan uzaklaştırılması ve şeker/tuzun girişi sağlanırken her iki komponent arasında su aktivitesi dengesi oluşmasıyla (net transferin sıfır olduğu denge durumu) dehidrasyon sona erer. Ozmotik dehidrasyon parametreleri, şeker/tuz çeşidi ve konsantrasyonu ürün kalitesi üzerine son derece etkilidir.

Ozmotik dehidrasyon sırasında oluşan üç temel transfer gıdadaki suyun difüzyon yoluyla ozmotik çözeltiye taşınımı, ozmotik ajanın gıda içine taşınımı ve gıda çözünenlerinin ozmotik çözeltiye taşınımı olarak özetlenebilir (3, 5). Ozmotik dehidrasyonun mekanizması tam olarak bilinmemekle beraber sıklıkla kullanılan iki yaklaşım makroskopik ve mikroskopik kütle transfer mekanizmalarıdır (6). Panades ve arkadaşları (7) ise bu mekanizmaları difüzyon ve kapilarite teorisi olarak özetlemiştir. Bu yaklaşımda, transfer mekanizmalarından difüzyon konsantrasyon gradientine, kapilarite teorisi ise basınç gradientine bağlı hidrodinamik mekanizma ile açıklanmıştır.

Makroskopik yaklaşıma göre, hücresel yapıda ve yarı geçirgen özellikte hücre duvarına sahip tarımsal ürünler hipertonic çözeltilerin içine daldırıldıkları zaman, ürünle çözelti arasındaki ozmotik basınç farkı sebebiyle, üründeki su difüzyonla ozmotik çözeltiye geçer. Difüzyonun itici gücü konsantrasyon ve basınç farkıdır, bu fark ne kadar büyükse geçiş, belli bir seviyeye kadar, o oranda hızlı gerçekleşir (4). Suyun çözeltiye difüz etmesi sırasında eş zamanlı olarak çözünenlerden de ürüne ozmotik ajan geçer. Hücre duvarının yarı geçirgen özelliği sayeye

sinde su ve ozmotik ajanın yanında, organik asitler, tuzlar, mineraller gibi diğer çözünen maddeler de ozmotik çözeltiye geçer. Hücre yapısı korunduğu sürece su ve çözünen maddelerin geçişlerini sağlayan ana mekanizma ozmozdur ve geçiş dirençli hücre duvarıdır (2).

Rastogi vd (5) ozmotik dehidrasyon mekanizmasını açıklarken ürünün içinde üniform olmayan bir konsantrasyon gradientinin olduğunu varsayarak ozmotik dehidrasyonun ürün yüzeyinden merkezine doğru ilerleyen bir dehidrasyon yüzü ile gerçekleştiğini ve efektif difüzyon katsayısının yüzeyde orta kısımdan daha yüksek iken, merkeze yakın noktalarda ozmotik çözeltiyle temas olmadığı için daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Mikroskopik yaklaşımda ise gıdanın hücre seviyesindeki kütle transfer mekanizmaları apoplazmatik (hücreler arası boşluktaki transfer), simplazmatik (yakın iki hücre arasındaki kanallarla gerçekleşen transfer) ve transmembran (hücre içi ve dışı arasında hücre duvarından olan transfer) akışlar şeklinde gerçekleşir (4, 8). Mikroskopik yaklaşımda gıdanın ozmotik çözelti ile temasında, ozmotik ajanın hücre içi ve hücrelerarası transferi, gıdanın ve çözeltinin özelliklerine, su ve ajan arasındaki kimyasal potansiyel farkına ve dehidrasyon parametrelerine göre gerçekleşir. Dehidrasyon sırasında gıdada görülen kimyasal kompozisyon değişimleri büzülme, porozite düşüşü, hücre parçalanması gibi yapısal değişikliklere de yol açar.

Literatürde bahsi geçen diğer bir mikroskopik yaklaşım mekanizması ise hidrodinamik mekanizma (HDM)'dir. Bu mekanizmada aynı ozmotik dehidrasyon koşulları altında farklı gıdaların farklı su efektif difüzyon katsayıları vermeleri, gıdanın bünyesindeki porlar içinde oluşan kapilar basıncın farklı olması ile açıklanır ve bu basınç ozmotik dehidrasyonun itici gücünü oluşturur (4).

Ozmotik Dehidrasyon Oranını Etkileyen Faktörler

Suyun gıdadan uzaklaştırılma hızı ozmotik çözeltinin konsantrasyon ve sıcaklığı, kontak süresi, karıştırma, gıdanın şekil ve büyüklüğü, gıda/çözelti oranı ve vakuma bağlı olarak değişir (4, 5, 9, 10). Dehidrasyon oranı ozmotik ajanın molekül ağırlığı ve konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Ancak meyve şekeri üretiminde olduğu gibi ozmotik ajanın gıdaya nüfuz etmesi istendiğinde molekül ağırlığı düşük ajanlar seçilmelidir. Kısaca başarılı bir ozmotik

uygulama için gıdanın yapısal özellikleri (difüzivite, porozite), çözeltinin özellikleri (viskozite, difüzivite, yoğunluk) ve işleme parametreleri (sıcaklık, süre, basınç/vakum varlığı, karıştırma, konsantrasyon) dikkate alınarak optimize edilmelidir.

Ozmotik dehidrasyon sırasında gıdada meydana gelen değişimler ısı ve kütle transferini etkilemektedir. Gıda hücre yapısını koruduğu sürece suyun uzaklaşma oranı ozmotik ajanın penetrasyon oranından yüksektir. Birçok dehidrasyon işlemi sırasında su kaybı ve tuz/şeker kazanımı ozmotik dehidrasyonun ilk saati içinde en yüksektir, sonra hızla azalır ve 3 saatten sonra büyük oranda kaybolur. Artan ozmotik çözelti konsantrasyonu suyun difüzyonunu artırırken çözünen madde difüzyonunu azaltır. Yine sabit dehidrasyon koşullarında, ozmotik çözeltinin hazırlanmasında kullanılan tuz veya şekerin molekül büyüklüğü arttıkça suyun uzaklaştırılması kolaylaşırken çözünen madde kayıpları azalır (2). Yüksek konsantrasyon ve/veya yüksek molekül ağırlığındaki ozmotik çözelti bu etkisini gıda yüzeyinde bir bariyer oluşturarak sağlar. Karıştırmanın derecesi ozmotik dehidrasyon üzerinde belirgin bir etki yapmadığı halde, özellikle dehidrasyonun ilk saati içindeki karıştırma işlemi dehidrasyon etkinliğini arttırmaktadır. Dehidrasyon etkinliği ayrıca gıdanın yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Ayrıca, ozmotik çözeltilerin hazırlanmasında birbiriyle antagonistik etkide olan çözücülerden de yararlanılması mümkündür (2, 7, 11).

Dehidre edilecek ürünün porozite özellikleri (hücre içi ve hücrelerarası hacmi ve boşlukları) dehidrasyon oranı ve çözücü kazanımı için çok önemlidir. Aynı dehidrasyon koşullarında ozmotik dehidre edilen farklı ürünler, tamamen farklı dehidrasyon oranı ve çözücü kazanımı gösterebilir (12).

Gıdaya uygulanan ön işlemler (haşlama, dondurma-çözme, sülfatlama, asitlendirme vb.) dehidrasyonda su kaybı/madde kazanımı üzerine etkilidir. Yine termal olmayan ön işlemlerden ultra yüksek hidrostatik basınç, puls (vurgulu) elektrik alan ve ultrason uygulamalarının da hücre geçirgenliğini artırarak dehidrasyonu kolaylaştırdığı ve özellikle saniye ile ifade edilebilen kısa süreli puls elektrik alanı uygulamasının gıda matrisini değiştirmeden dehidrasyon sağladığı belirtilmiştir (13). Vakum uygulamaları da yine sıklıkla kullanılmakta ve vakum (P_1) ile gıda bünyesindeki gazlar uzaklaştırılmakta, atmosferik basınca (P_2) dönüldüğünde ise gaz çıkışıyla oluşan boşluklar hidrodinamik akış yardımıyla ozmotik dehidrasyon sıvı

sı tarafından kolayca doldurulmaktadır. Gıdaya penetre olan ozmotik dehidrasyon sıvısının miktarı ise gıdanın efektif porozitesi, uygulanan sıkıştırma (kompresyon) oranı (P_2/P_1) ve gıdada basınç etkisiyle oluşan hacim değişmelerinin fonksiyonu olan matematiksel ifade ile hesaplanabilmektedir (8, 14, 15). Gıda porozitesi arttıkça daha fazla ozmotik dehidrasyon sıvısı doku içine girmekte ve dehidrasyon süresi kısalmaktadır. Yine Rastogi ve Knorr (13) yaptıkları çalışmada ozmotik dehidrasyon öncesinde uygulanan yüksek hidrostatik basıncın dehidrasyon etkinliğini arttırdığını, bu etkinin ise basınç altında hücre duvarının yarı geçirgen yapısının tamamen geçirgen hale dönmesi olduğunu belirtmişler, su ve ozmotik ajan difüzyon katsayılarını Fick'in ikinci difüzyon yasası esasıyla seri açılımında serinin ilk terimi kullanılarak analitik olarak hesaplanmıştır.

Gıdaya uygulanan diğer bir ön işlem gıdanın yenilebilir bir kaplama materyali ile kaplanmasıdır. Böyle bir kaplama materyali ozmotik dehidrasyon sırasında ozmotik ajanın hücre içine girişinde bariyer oluştururken suyun çıkışını güçleştirmez (10). Lenart ve Dabrowska (16, 17) elma dilimlerini %2'lik düşük metoksilli pektin ile kaplayarak kurutmuş, Jamet ve Larios (18) ise papaya dilimlerini yenilebilir çitosanla kaplamış ve ozmotik dehidrasyon sırasında kaplanmış elma ve papayalarda suyun uzaklaştırılma oranının kaplanmamışlardan yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Khin ve ark. (3) elma küplerini maltodekstrinle kapladıktan sonra ozmotik dehidre etmişler ve kaplamanın elmadan su ve şeker kaybına yol açtığını bu kaybın kaplamada kullanılan maltodekstrin konsantrasyonu ve sonrasındaki kurutma sıcaklık ve süresiyle orantılı olarak arttığını bildirmişlerdir.

Ozmotik Dehidrasyonun Modellenmesi

Ozmotik dehidrasyonun modellenmesi çalışmalarında kullanılan iki yaklaşım makroskopik ve mikroskopik kütle transfer mekanizmalarıdır (6). Bunlardan sıklıkla kullanılan makroskopik yaklaşımda gıdanın homojen olduğu varsayılarak kütle denkliği, difüzyon ve geri dönüşsüz termodinamik yasalar kullanılarak modellenir. Mikroskopik yaklaşımda ise hücre seviyesinde gıdanın kütle transfer mekanizmaları (apoplazmatik, simplazmatik ve transmembran) incelenerek modelleme yapılır. Mikroskopik yaklaşımda gıdanın ozmotik çözelti ile temasında, ozmotik ajanın hücre içi ve hücrelerarası

transferi, gıdanın ve çözeltinin özelliklerine, su ve çözünen arasındaki kimyasal potansiyel farkına ve dehidrasyon parametrelerine göre gerçekleşir.

Kaymak-Ertekin ve Sultanoğlu (9) elma dilimlerinin modellenmesinde Azuara ve arkadaşları tarafından geliştirilen modeli kullanmışlar ve su kaybı ile ozmotik ajan kazanımını denge konumundaki su kaybı ve ozmotik ajan kazanımına göre nümerik olarak hesaplamışlardır. Panades ve arkadaşları (7) guavanın atmosferik basınçta ve vakum altında ozmotik dehidrasyonu sırasında ana etkili mekanizmaların sırasıyla difüzyon ve HDM olduğunu saptamışlar, sıcaklığın dehidrasyona etkisini Arrhenius eşitliği ile ifade etmişlerdir. Çalışmada atmosferik koşullarda sıcaklık etkisinin daha fazla olduğunu gözlemişlerdir. Difüzyon Fick'in difüzyon yasası ile HDM ise ozmotik ajan kazanımı ve su kaybının ampirik eşitliklerle ifade edilmiştir.

Literatürde bu modellerin dışında termodinamik modellerden de bahsedilmektedir. Ancak termodinamik modellerin gıda ve çözeltinin biyo-fiziksel özelliklerine (hücre duvarı elastikliği ve boş hacim fraksiyonu, membran geçirgenliği vb.) ihtiyaç duyan modeller olmaları kullanım alanlarını sınırlamaktadır (9).

Ozmotik dehidrasyon sırasında su hücreden dışarı taşındığından suyun sağladığı gerilim ve turgor basıncı azalır, bu ise üründe büzüşmelere yol açar. Bu bakımdan ozmotik dehidrasyon sırasında oluşan büzüşmeler ve bu büzüşmelerin dehidrasyon oranına etkileri de modellemede diğer bir konudur (19).

Son yıllarda sözü edilen diğer bir sistematik yaklaşım ise SAFES (gıda mühendislik sistemlerine sistematik yaklaşım) olarak ifade edilmektedir. Bu yaklaşımda ozmotik dehidrasyonun tüm basamakları gözden geçirilerek birer birim işlem olarak ele alınıp modellenmektedir. Böylece sistem hakkında özelden genele bilgi edinilmektedir (20).

Ozmotik çözeltinin su aktivitesi değerlerinin ölçümüne dayanan modeller ise dehidrasyon sırasındaki kütle transferlerinin kimyasal potansiyel farkı ile gerçekleştiği ve buna karşılık gelen su aktivitesi değerlerinin hesaplanması esasına dayanır (21). Ozmotik dehidrasyon sırasında gerçekleşen kütle transferleri çözeltinin su aktivitesi değerini düşürür ancak konuyla ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu açıdan Prothon ve arkadaşları (22) yaptıkları çalışmada GAB modelinin su aktivitesi-su içeriği ilişkisini iyi yansıttığını göstermişlerdir.

SONUÇ

Ozmotik dehidrasyon işletme maliyetini azaltması ve tüketici ihtiyaç ve beğenisine cevap verebilecek niteliklerde ürün sağlaması sebebiyle birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu açıdan bu makalede son yıllarda popüleritesi artan ozmotik dehidrasyon hakkında temel ve güncel bilgiler sunulmuştur. Tek başına bir işleme tekniği olmayıp, asıl işlemden önceki ara işlem basamağı olarak değerlendirilen ozmotik dehidrasyon endüstriyel çaplı üretimler için bir alternatiftir. Bu teknikle elde edilecek yarı işlenmiş ve orta nem düzeyine sahip ürünler geniş yelpazede kullanım alanı bulacaktır.

Uygulama kolaylığı sağlayan ampirik modellerden ziyade ısı ve kütle prensibi temellerine dayanan termodinamik ve/veya difüzyon modelleri kullanılarak ozmotik dehidrasyon parametreleri belirlenmesi, parametre duyarlılık analizleri (sensitivity analysis) ve proses optimizasyonu çalışmaları konuyla ilgili bilgileri zenginleştirecektir.

KAYNAKLAR

- Ponting JD, Walters CG, Forrey RR, Jackson R, Stanley WL. 1966. Osmotic Dehydration of Fruits. *Food Tech*, 20:125-128.
- Torreggiani D, Bertolo G. 2004. Present and future in process control and optimization of osmotic dehydration. *Adv Food Nutr Res*, 48:174-238.
- Khin MM, Zhou W, Yeo SY. 2007. Mass transfer in the osmotic dehydration of coated apple cubes by malto-dextrin as the coating material and their textural properties. *J Food Eng*, 81:514-522.
- Derossi A De Pilli T, Severini C, McCarty MJ. 2008. Mass transfer during osmotic dehydration of apples. *J Food Eng*, 86:519-528.
- Rastogi NK, Angersbach A, Knorr D. 2000. Evaluation of mass transfer mechanism during osmotic treatment of plant materials. *J Food Sci*, 65: 1016-1021.
- Le Maguer M, Yao Z. 1995. Mass transfer during osmotic dehydration at cellular level. *In Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications*, G.V. Barbosa-Canovas and J. Welte-Chanes (eds). Technomic Publisher, Lancaster, PA. pp. 325-350,
- Panades G, Castro D, Chiralt A, Fito P, Nunez M, Jimenez R. 2008. Mass transfer mechanisms occurring in osmotic dehydration of guava. *J Food Eng*, 87: 386-390.
- Fito P, Andres A, Chiralt A, Pardo P. 1996. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *J Food Eng*, 49:297-302.
- Kaymak-Ertekin, Sultanoğlu M. 2000. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. *J of Food Eng*, 46:243-250.
- Lazarides HN, Mitrakas GE, Matsos KI. 2007. Edible coating and counter-current product/solution contacting: a novel approach to monitoring solids uptake during osmotic dehydration of a model food system. *J Food Eng*, 82:171-177.
- Moreira R, Chenlo F, Torres MD, Vazquez G. 2007. Effect of stirring in the osmotic dehydration of chesnut using glycerol solutions. *J Food Eng*, 40:1507-1514.
- Torreggiani D. (1995). Technological aspects of osmotic dehydration in foods. *In Food Preservation by Moisture Control: Fundamentals and Applications*, G.V. Barbosa-Canovas and J. Welte-Chanes (eds). Technomic Publisher, Lanchester, PA. pp. 281-304,
- Rastogi NK, Angersbach A, Knorr D. 2000. Synergistic effect of high hydrostatic pressure pretreatment and osmotic stress on mass transfer during osmotic dehydration. *J Food Eng*, 45:25-31.
- Fito P. 1994. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *J Food Eng*, 49:115-127.
- Fito P, Chiralt A, Barat JM, Martinez-Monzo J. 2000. Vacuum impregnation in fruit processing. *In Trends in Food Engineering*, J.E. Lozano, G.V. Barbosa-Canovas, E. Parada-Arias and M.C. Anon (eds). Aspen Publishers, Gaithersburg, MD. pp.149-163
- Lenart A, Dabrowska R. 1997. Osmotic dehydration of apples with polysaccharide coatings. *Polish J Food Nutr Sci*, 47(6):105-112.
- Lenart A, Dabrowska R. 1998. Mass transfer during osmotic dehydration of apple with pectin coatings. *In Drying 98*, C.B. Akritis, D. Marinos-Kouris and G.D. Saravacos (eds), Ziti Editions, Thessaloniki, Greece. pp. 903-910
- Jamet AA, Larios OMC. 2001. Chitosan film effects on papaya osmotic dehydration. *In Preceedings of the International Congress on Engineering and Food*, ICEF 8, J Welte-Chanes, GV Barbosa-Canovas and JM Aguilera (eds), Technomic Publisher, Lanchester, PA. 2:1330-13319. Toğrul IT, İspir A. 2007. Effect on effective diffusion coefficients and investigation of shrinkage during osmotic dehydration of apricot. *Energy Conservation and Management* (in press).
- Barrera C, Betoret N, Heredia A, Fito P. 2007. Application of SAFES (systematic approach to food to food engineering systems) methodology to apple candying. *J Food Eng*, 83:193-200.
- Sereno AM, Hubinger MD, Comesana JE, Correa A. 2001. Prediction of water activity of osmotic solutions, *J Food Eng*, 49:103-114.
- Prothon F, Ahrne LM. 2004. Application of Guggenheim, Anderson and De Boer model to correlate water activity and moisture content during osmotic dehydration of apples, *J of Food Eng*, 61:467-470.