

Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon (Emdirme) Tekniği İle Muamele İşleminin Kivi Dilimlerinin Kuruma Kinetiği Üzerine Etkisi

Ceren Karacaoğlu¹, Oğuz Gürsoy², Yusuf Yılmaz² ✉

¹Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Burdur
²Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Burdur

Geliş Tarihi (Received): 05.04.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 11.07.2016

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): yusufyilmaz@mehmetakif.edu.tr (Y. Yılmaz)

☎ 0 248 213 27 22 📠 0 248 213 27 04

ÖZ

Vakum impregnasyon (VI) tekniği kurutma teknolojisinde enerji tasarrufu sağlamak amacıyla ön işlem olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Ultrasonikasyon işlemi ise amaç meyve ve sebzelerin porlarının açılarak kütle transfer hızını arttırmaktır. İki tekniğin birlikte kullanılması son ürün bileşimini ve kalitesini artırarak yeni ürün geliştirme ve raf ömrünü uzatmak gibi avantajlar sağlayabilir. Bu çalışmanın amacı kurutma öncesi uygulanan ultrasonikasyon destekli VI işleminin kivi dilimlerinin kuruma kinetiği üzerine etkisinin araştırılmasıdır. Çalışmada, ultrasonikasyon destekli VI işleminin etkisinin belirlenmesi için kurutma öncesi ön işlem olarak atmosfer basıncı altında daldırma işlemi ile vakum impregnasyon işlemleri tek başına uygulanmıştır. Çalışmada, 6 mm kalınlığında kesilmiş kivi dilimleri ön işlemler sırasında %61.8 Brix değerine sahip çözelti ile muamele edilmiştir. Otuz dakikalık ön işlem sonunda, meyve dokusundaki suyun şuruba transferi gerçekleşmiş ve daldırma işlemi için %4.21 olan kütle transfer (%) değeri, VI işlemi için %5.50 ve ultrasonikasyon destekli VI işlemi için ise %6.63 olarak hesaplanmıştır. Uygulanan ön işlemlerden sonra kivi dilimleri 60°C sıcaklıkta konveksiyonel kurutucuda kurutulmuştur. Kurutma işlemlerine ait matematiksel modeller belirlenmiştir. Uygulanan ön işlemlere ait kurutma işlemleri sonrası her üç ön işlem için de uygun matematiksel modellemenin Henderson-Pabis ile Newton modelleri olduğu saptanmıştır. Kurutma işlemi sırasında yapılan renk analizinde ise daldırma ve VI işlemlerinde ortak bir kinetik reaksiyon derecesi saptanmazken ultrasonikasyon destekli VI işleminde kivi dilimlerine ait CIE L*, a*, b* renk değerlerinin değişiminin sıfırdan dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, VI işlemi ile birlikte eş zamanlı uygulanan ultrasonikasyon işleminin, kivi dilimleri gibi ürünlere kurutma ön işlemi olarak uygulanmasının, VI işlemine kıyasla impregnasyon çözültisi ve ürün arasındaki kütle transfer hızını artırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Daldırma yöntemi, Vakum impregnasyon, Ultrasonikasyon, Kurutma kinetiği, Renk degradasyonu

Effect of Ultrasound Assisted Vacuum Impregnation Treatment on Drying Kinetics of Kiwi Slices

ABSTRACT

Vacuum impregnation (VI) has been frequently used as a pre-treatment in drying technology to provide energy saving. The aim of ultrasonication process is to increase mass transfer rates by opening pores in fruits and vegetables. Simultaneous use of these two pre-treatments may improve the quality and composition of a final product while providing some advantages like the development of a new product and extended shelf life. The aim of this study was to determine the effect of ultrasound assisted VI pre-treatment on drying kinetics of kiwi slices. To determine its effect, immersion at atmospheric pressure and vacuum impregnation processes were also used separately as pre-drying treatments. In this study, kiwi slices with a thickness of 6 mm were treated with impregnation solutions at 61.8% Brix value during pre-treatments. At the end of a thirty minute long pre-treatment, water from the fruit tissues was transferred into the syrup, and mass transfer ratios were 4.21% for immersion process, 5.50% for VI process and

6.63% for ultrasound assisted VI process. After pretreatments, kiwi slices were dried in a convection drier at 60°C. Drying processes were determined by mathematical modeling. For drying processes of all pre-treated kiwi slices, Henderson-Pabis and Newtonian models were best fitted mathematical models. Color analyses of dried kiwi slices revealed that the degree of reaction kinetics for color changes was fluctuating for samples pre-treated with immersion and VI processes; however, color changes in the CIE L*, a*, b* values of kiwi slices followed a zero degree reaction kinetics. Results indicated that simultaneous application of VI process with ultrasonication increased the mass transfer rates between impregnation solution and kiwi slices.

Keywords: Immersion method, Vacuum impregnation, Ultrasonication, Drying kinetics, Color degradation

GİRİŞ

Kivi (*Actinidia deliciosa*) meyvesinin ana vatanı Çin olup, asmaya benzer bir ağaçta yetişmektedir. Kivinin kültür çeşitlerinin çoğunun meyveleri küçük bir limon veya tavuk yumurtası büyüklüğünde olup, dış kabuğu kaba dokulu, tüylü ve kahverengimsi yeşil renklidir. Kivi meyvesinin meyve eti, yeşil renkte, sulu, yumuşak, çilek veya üzümü andırır ve lezzeti tatlımsı mayhoştur. Kivi meyvesinde özellikle yüksek oranda C vitamini (175 mg/100 g), A, B₁, PP ve B₂ vitaminleri ile protein, kalsiyum, fosfor, demir gibi mineraller de vardır. Meyve suyunun pH'si genellikle 3.3-3.8 arasındadır. Kivinin C vitamini içeriği elmadan ortalama olarak 10 kat, portakaldan ise 3 kat fazla olup, 60 mg olan günlük C vitamini ihtiyacını rahatlıkla karşılamaktadır [1]. Ülkemizde kivi üretimi 1988 yılında başlatılan adaptasyon deneme çalışmaları sonucunda Karadeniz, Marmara ve Ege Bölgelerinde rahatlıkla kivi yetiştiriciliğinin yapılabileceği ortaya konulmuştur. Bu bölgeler arasında Doğu Karadeniz Bölgesi'nin, bitkinin ekolojik istekleri bakımından diğer bölgelerden daha uygun olduğu görülmüştür. Karadeniz Bölgesi'nde Artvin, Ordu, Giresun, Kocaeli, Trabzon ve Rize illerinde kivi üretilmektedir. Türkiye'de en çok kivi Yalova'da yetiştirilmektedir [2].

Kurutma meyve ve sebzelerin %80-95 oranlarındaki su içeriğinin %10-20'ye düşürülerek uzun süre dayanmasını sağlama işlemidir. Kurutma sırasında tat, görünüş, renk ve besin değeri gibi kalite özellikleri mümkün olduğunca az değişmeli, ayrıca pişirilmek üzere su ilave edildiğinde taze iken içerdikleri miktara yakın su alabilmelidir. Kurutmanın amacı depolama sırasında gıdanın bozulmasını önlemek, kalite özelliklerini korumak, ürün hacmini azaltarak taşıma ve depolama sıralamasında kolaylık sağlamaktır [3].

Kurutma öncesi meyve ve sebzelere uygulanabilecek ön işlemler arasında atmosferik basınç altında daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon işlemleri önemli yer tutmaktadır. Daldırma işlemi, ozmotik dehidrasyon uygulamalarının arasında en bilineni ve uygulaması kolay olanıdır. Ozmotik dehidrasyon bitki dokusunun hipertonic çözeltiye daldırılarak belli miktar suyunu almak için kullanılan bir işlemdir. Enerji tasarrufu ve kalitede sağladığı avantajlardan dolayı gıda işleminin tamamlayıcı bir basamağı olarak ozmotik dehidrasyonun popüleritesi günden güne artmaktadır. Genellikle ozmotik dehidrasyon doğal olarak yavaştır, bundan dolayı son ürünün kalitesini etkilemeden kütle geçişini artıracak yöntemler kullanılmalıdır [4]. Vakum

impregnasyon işlemi, ozmotik dehidrasyon işlemi hızlandıran bir teknolojidir. Ozmotik dehidrasyon, ozmotik çözelti içerisinde bitki dokusundan suyun belli oranlarda uzaklaştırılması için kullanılan yaygın bir yöntemdir ve dondurma, dondurarak kurutma, mikrodalga kurutma, havalı kurutma, vakumlu kurutma gibi muhafaza yöntemlerine tabi tutulan meyve ve sebzelere besinsel, duyuusal ve fonksiyonel özelliklerini geliştirmek ve bütünlüklerini korumak için uygulanan ön işlemdir [5].

Vakum impregnasyon kalite geliştirme sırasında gıdaların gözenekli dokularının hasarını en aza indirmek, rengini, doğal lezzetini ve aromasını korumak gibi avantajlarının yanı sıra ısıya duyarlı gıda bileşenlerini koruması açısından da önemli bir yöntemdir. Gıdaların normal havayla veya vakum altında kurutulması sırasında taze meyve dokusunun ve uçucu lezzet bileşenlerinin korunması açısından vakum impregnasyon önemli bir yöntemdir. Yeni ürün geliştirmede ürünün gözenekli yapısından yararlanarak katkı maddelerinin penatre edilmesiyle ürün kalitesini artırma ve raf ömrünü uzatma sağlanabilir. Vakum impregnasyon da uygulanan vakum sayesinde gözeneklerdeki gazın dışarı atılmasıyla oksidatif esmerleşme ve meyve parçalarının rengindeki solmanın önlenildiği gözlemlenmiştir. Vakum impregnasyon uygulamasında uygulama etkinliğini etkileyen faktörler söz konusudur. Bu faktörler; hammadde dokusu, şekli ve büyüklüğü, vakum impregnasyon çözeltisinin türü, çözeltinin sıcaklığı, konsantrasyonu ve bileşimi, vakum süresi ve zamanı, atmosferik basıncın süresi ve çözelti/örnek oranıdır [6].

Ultrasonikasyon, saniyede 20.000 veya daha fazla titreşim gerçekleştiren ses dalgaları ile enerji meydana getirilmesi olarak tanımlanabilir [7]. Ses enerjisi bir ortama sürekli dalga-tipi bir hareket oluşturarak girdiğinde, ortamda boylamsal dalgalar oluşmakta ve ortamda bulunan partiküller üzerinde bir tür sıkışma ve gevşeme hareketi yaratmaktadır. Uygulanan ses dalgasının büyüklüğü ve kullanılan frekansa bağlı olarak bir seri fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etkiler gerçekleşebilir. Yüksek şiddetli ultrasonikasyon uygulanan sıvıda yüksek basınç ve düşük basınçlı dalgalar oluşur. Düşük basınçlı dalga oluşumu sırasında, ultrasonik dalgalar küçük vakum baloncuklar meydana getirirler ve bu baloncuklar daha fazla enerji absorblayamayacak hacme ulaştıklarında, yüksek basınçlı dalga oluşumu ortaya çıkar ve bu sırada içe doğru patlarlar. Bu olaya kavitasyon adı verilir.

Kavitasyon sırasında lokal sıcaklık 4000K ve basınç 1000 atmosferin üzerine çıkabilir [7].

Bu çalışmanın amacı, kurutma öncesinde uygulanan ön işlemlerden ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon işleminin kivi dilimlerinin kurutma kinetiği üzerine etkisinin belirlenmesi ve bu işlemin atmosferik basınç altında daldırma ve vakum impregnasyon işlemleri ile karşılaştırılmasıdır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Hammedde

Karadeniz Bölgesi kökenli kivi meyveleri Burdur'daki bir dağıtıcıdan temin edilmiştir. Kivi meyvelerinin kabukları keskin bir bıçak ile manuel olarak ayrılmış ve sonrasında kalınlığı 6mm olacak şekilde dilimlenmiştir.

Vakum İmpregnasyon Çözeltisi

Vakum impregnasyon çözeltisi olarak suda çözünür kuru madde içeriği (Briks) %61.8 olacak sakaroz çözeltisi hazırlanmıştır. Briks değerleri Atago marka refraktometre (PAL-3 model, Tokyo, Japonya) ile belirlenmiştir. İmpregnasyon için hazırlanan sakaroz çözeltisi 35°C sıcaklıkta kullanılmıştır.

Toplam Kuru Madde İçeriği

Bu çalışmada kivi meyvelerinin kuru madde içeriği, püre haline getirilmiş kivi örneklerinin etüvde 95°C sıcaklıkta sabit tartıma ulaşıncaya kadar (4-5 saat) kurutulması yoluyla belirlenmiştir [8].

Daldırma İşlemi

Meyve/şurup oranı ağırlıkesasına göre 1/4 olarak kullanılmıştır. Yaklaşık 100 mg kivi dilimi örneği 400 mL impregnasyon çözeltisi içine tam olarak daldırılacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu işlem 30 dakika boyunca uygulanmıştır. Beşer dakika arayla impregnasyon çözeltisinin suda çözünür kuru madde içeriği refraktometre ile belirlenmiş ve meyve örneğine transfer olan sakaroz miktarı hesaplanmıştır. Daldırma işlemi bittikten sonra meyve örnekleri impregnasyon çözeltisinden süzülerek ayrılmıştır. Ön işlemde geçirilmiş kivi dilimleri darası alınmış kurutma teline dizilmiş ve tekrar tartılmıştır. Tartım işleminin ardından

örnekler 60°C sıcaklığa önceden ayarlanmış doğal konveksiyonel bir etüve kurutma için yerleştirilmiştir.

Vakum İmpregnasyon İşlemi

Meyve/şurup oranı 1/4 olacak şekilde kivi dilimleri ve vakum impregnasyon çözeltisi vakum uygulanabilecek bir kap içerisine (Re-Va, RV-261, İzmir, Türkiye) yerleştirilmiştir. Vakum impregnasyon çözeltisindeki meyvelerin şurup içinde kalması için tel üzerine ağırlıklar yerleştirilmiştir. Ölçülen basınç olarak 78 kPa vakum uygulanmıştır. Vakum beşer dakika arayla kesilerek vakum impregnasyon çözeltisine meyveden geçen su miktarı takip edilmiştir. Vakum uygulamasına 30 dakika boyunca devam edilmiştir. İşlem sonrasında meyve örnekleri vakum impregnasyon çözeltisinden süzülerek ayrılmıştır. Ön işlemde geçirilmiş kivi dilimleri darası alınmış kurutma teline dizilmiş ve tekrar tartılmıştır. Tartım işleminin ardından örnekler 60°C sıcaklığa önceden ayarlanmış doğal konveksiyonel bir etüve kurutma için yerleştirilmiştir.

Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon İşlemi

Meyve/şurup oranı 1/4 olacak şekilde kivi dilimleri ve vakum impregnasyon çözeltisi vakum uygulanabilecek bir kap içine yerleştirilmiştir. Vakum impregnasyon çözeltisi içindeki meyvelerin şurup içinde kalması için tel üzerine ağırlıklar yerleştirilmiştir. Kap daha sonra, sonikasyon gücü %100 olarak ayarlanmış 40 kHz frekansta çalışan ultrasonik su banyosunda (WUC-D06H model, Daihan Scientific Co. Ltd., Güney Kore) 20 dakika boyunca ultrasonikasyona maruz bırakılmıştır. Ultrasonikasyon uygulaması sırasında örneklere 78 kPa vakum basıncı kullanılmıştır. Vakum beşer dakika arayla kesilerek vakum impregnasyon çözeltisinden meyve örneğine geçen çözünmüş madde miktarı takip edilmiştir. Vakum uygulamasına toplam 30 dakika devam edilmiştir. İşlem sonrasında kivi dilimleri vakum impregnasyon çözeltisinden süzülerek ayrılmıştır. Ön işlemde geçirilmiş kivi dilimleri darası alınmış kurutma teline dizilmiş ve tekrar tartılmıştır. Tartım işleminin ardından örnekler 60°C sıcaklığa önceden ayarlanmış doğal konveksiyonel bir etüve kurutma için yerleştirilmiştir.

Her üç işlem için kütle transfer oranı (Eşitlik 1) ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$\text{Kütle Transfer Oranı (\%)} = \frac{M_0 - M_s}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

Bu eşitlikteki M_0 , Vİ çözeltisinin başlangıçtaki briks değerini; M_s ise Vİ çözeltisinin işlem sonrası briks değerini göstermektedir.

Renk Değişiminin Belirlenmesi

Bu çalışmada kivi dilimleri kurutulurken renk değişimleri de gözlemlenmiştir. Kurutma sırasında her yarım saatte

bir kivi örneklerinin belirlenen kısımlarından kolorimetre (CR-400 model, Konica-Minolta Sensing Americas Inc., New Jersey, ABD) yardımıyla CIE L*, a*, b* değerleri ölçülerek renk değişimlerinin reaksiyon dereceleri saptanmıştır.

Matematiksel Modelleme

Kurutma ön işlemleri için matematiksel modelleme de Tablo 1'de verilen modellerle kullanılmıştır.

Tablo 1. Bazı ince tabaka kurutma modelleri [9].

Modeller	Matematiksel Denklemler
Henderson-Pabis	$MR=a\exp(-kt)$
Newton	$MR=\exp(-kt)$
Page	$MR=\exp(-kt^n)$
Modifiye Page	$MR=\exp(-kt)^n$
Logaritmik	$MR=a\exp(-kt)+c$

Henderson-Pabis Modeli (Eşitlik 2) Fick'in İkinci Yasası'nın basitleştirilmiş şeklidir.

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = a \exp(-kt) \quad (2)$$

Newton Modeli (Eşitlik 3), Henderson-Pabis Modeli'ne çok benzemekle beraber Newton'un Soğutma Yasası'na paralel bir model olarak kabul edilmiştir. Bu model temel olarak bir sıvı içerisinde daldırılmış bir gövdeden ısı akışı ile düşük sıcaklıklarda tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır.

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp(-kt) \quad (3)$$

Page Modeli (Eşitlik 4), 1949 yılında Page, Newton Modeli'nde kurutma süresini daha iyi açıklayabilmek için 't' üs ekleyerek yeni bir model geliştirerek yeni bir model oluşmasını sağlamıştır.

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp(-kt^n) \quad (4)$$

Modifiye Page Modeli (Eşitlik 5), Page Modeli'ndeki 'k' üstel ekleyerek geliştirilmiş bir modeldir.

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp((-kt)^n) \quad (5)$$

Logaritmik Model (Eşitlik 6), kurutma mekanizmasını tanımlamak için yaygın olarak kullanılan denklemdir [16].

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = a \exp(-kt) + c \quad (6)$$

BULGULAR ve TARTIŞMA

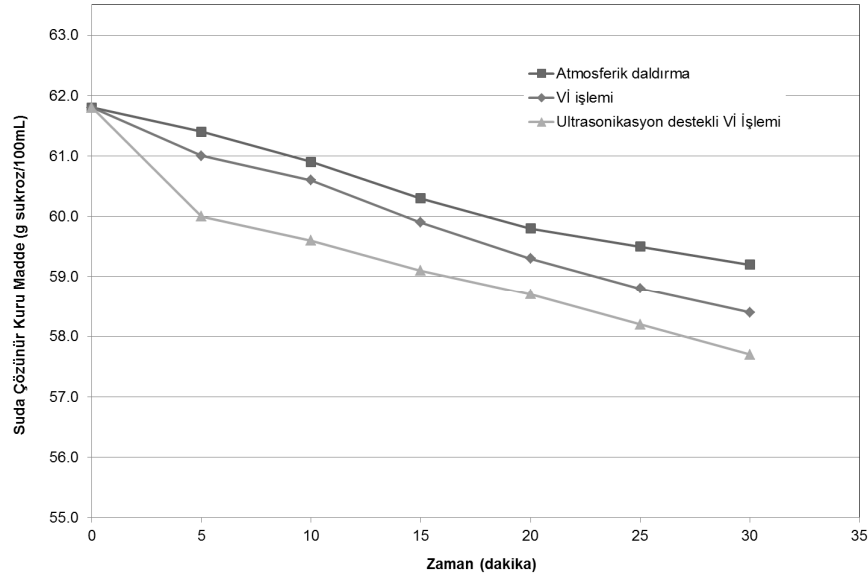
Çalışmada kullanılan kivi dilimlerinin kuru madde içerikleri %15.55, ortalama nem içerikleri ise %84.45 olarak bulunmuştur. Kivi meyvelerinin kuru madde içerikleri çeşide, iklime ve olgunluğa bağlı olarak değişebilmekte olup, Darıcı ve ark. [10]'un, yaptığı bir

çalışmada kivi kuru maddesinin yaklaşık %13.75 olduğu rapor edilmiştir. Bostan ve ark. [11], ise yaptığı bir çalışmada kivi meyvesinin yetiştirme ve diğer ekolojik faktörler göz önünde bulundurulduğunda meyvenin kuru madde içeriğinin %15.38 ile %16.41 arasında değişim gösterdiğini saptamıştır. Çalışmada kullanılan kivilerin kuru madde içerikleri literatürde rapor edilenle değerlerle uyumlu bulunmuştur.

Çalışmada kurutma öncesi uygulanacak üç ön işlem kullanılmıştır ve impregnasyon çözeltisi olan sakaroz çözeltisinin briks değeri %61.8'e ayarlanmıştır. Ön işlemler 30 dakika boyunca şurup içindeki meyve dilimlerine uygulanmıştır. Meyve gözenek yapısındaki gaz ile Vİ çözeltisindeki çözünmüş maddenin yer değiştirmesi hedeflenmiştir. Otuz dakikalık toplam ön işlem sırasında, beşer dakika aralıklarla takip edilen Vİ çözeltinin briks değerlerindeki azalma Şekil 1'de verilmiştir. Vakum impregnasyon işlemi, atmosferik daldırma işlemi ile kıyaslandığında şuruba olan su geçişini arttırmıştır. Ultrasonikasyon destekli Vİ uygulaması ise şuruptaki sakarozun meyve dokusuna geçişini hızlandırmıştır. Otuz dakikalık ön işlem sonunda, meyve dokusundaki suyun şuruba transferi gerçekleşmiş ve şurubun briks seviyesi atmosferik daldırma, Vİ ve ultrasonikasyon destekli Vİ işlemleri için sırasıyla %59.2, 58.4 ve 57.7 olmuştur. Şurubun briks seviyelerindeki bu azalma, meyve dilimlerinin kuru madde içeriklerinin artması anlamına gelmektedir.

Bir ozmotik dehidrasyon yöntemi olan daldırma yöntemi kütle geçişi açısından yavaş kalsa da gıda maddesinin fonksiyonel özelliklerinin pek değişmemesini, son ürünün kalitesinin gelişmesini ve enerji tasarrufunu destekler nitelikteki bir işlemdir. En önemli avantajı ise gıda maddesinin kurutma öncesinde su aktivitesini düşürerek mikrobiyal bozulmasını önlemesidir [12]. Fito ve ark. [13], ozmotik dehidrasyon sıvısı içine tam daldırmanın meyve örneklerinin kütle transferini hızlandırdığını rapor etmiştir. Yazarlar, kütle transfer hızının üründen ürüne değişebildiğini bildirmekle birlikte, daldırma için 5-15 dakikanın yeterli olabileceği bildirmişlerdir. Vİ yöntemi daldırma yöntemine kıyasla madde transferinde daha başarılı bir yöntem olup, sebebi vakumun meyve gözeneklerindeki gazın boşaltılmasında etkin rol oynaması ve çözünmüş madde ile yer değişimi sırasında hidrodinamik hareketi desteklemesidir [13]. Ultrasonikasyon destekli Vİ uygulamasında ise vakumdan önce uygulanan ultrasonikasyon meyve gözenek yapısındaki gaz hareketini kolaylaştırmakta ve böylece vakumla birleştiğinde etkinliğini arttırabilmektedir.

Bu çalışmada ultrasonikasyon işlemi ayrı bir ön işlemde ziyade, vakumla birlikte eş zamanlı olarak kivi dilimlerine uygulanmıştır. Çalışma bulgularına göre, ön işlemler sonucunda en çok kütle geçişi görülen uygulama ultrasonikasyon destekli Vİ uygulaması olmuştur. Daldırma işlemi için %4.21 olan kütle transfer oranı, Vİ ve ultrasonikasyon destekli Vİ işlemleri için sırasıyla %5.50 ve 6.63 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Üç farklı ön işleme maruz bırakılmış kivi dilimlerinin içinde bulunduğu impregnasyon çözeltisinin suda çözünür kuru madde değerlerinin zamana bağlı değişimi

Kütle geçişi ve kurutma etkinliğini etkileyebilecek faktörler arasında, daldırma yöntemi dışında diğer iki yöntemde vakum süresi, uygulanan vakum basıncı, ultrasonikasyon hızı ve süresi oldukça önemli sayılabilir [7]. Vakum impregnasyon ile ilgili yapılan çalışmalarda VI çözeltisinin konsantrasyonu, çözelti sıcaklığı, vakum basıncı ve süresi, atmosferik basıncın süresi ele alınmıştır. Carcel ve ark. [14], elmaların ultrasonikasyon desteği ile ozmotik kurutulması üzerine yaptıkları çalışmalarında yüksek yoğunluklu ultrasonikasyonun sakaroz çözeltisi (30°C, 30°Briks) içindeki elma örneklerinin kütle transferleri üzerinde önemli ölçüde etkisi olduğunu saptamıştır. 20 kHz frekansa ve 11.5 W/cm² enerjiye sahip prob sistemi ile gerçekleştirilen ultrasonikasyon uygulamasının, su difüzyonu katsayısını %117, kuru madde difüzyon katsayısını %137 oranında artırdığı belirlenmiştir.

Moreira ve ark. [15] ise, 25°C sıcaklıkta vakum impregnasyon çözeltisinin elma dilimleri üzerine etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak ürünlerin nem içeriğinde, örnek ağırlığında ve hacminde net değişimler olduğunu saptamıştır. Mujica-Paz ve ark. [16], izotonik solüsyon hazırlayarak mango, elma, papaya, muz, şeftali ve kavun dilimlerinde farklı basınç (8135-674 mbar) ve sürelerin (3-45 dakika) etkilerini araştırmıştır. Elma için 674 mbar ve 50 Briks, kavun için ise 593 mbar ve 57 Briks uygun bulunmuştur. Basınç ve sürelerin tüm meyveler üzerinde önemli etkiye sahip olduğu ve genellikle daha yüksek vakumda impregnasyon çözelti hacminin arttığı gözlenmiştir. Hawkins ve ark. [17] elma halkalarına ön işlem olarak laktoz, maltodekstrin ve

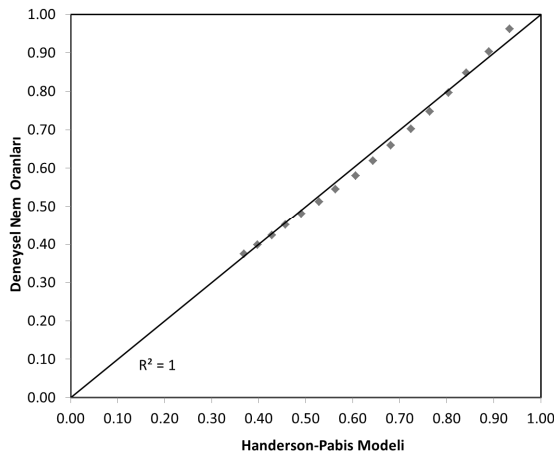
sakarozu birleştirerek uygulamıştır. Depolama sırasında askorbik asidin alınması ve renk kararlılığına bakıldığında sakaroz uygulanan elma halkalarının daha stabil kaldığı gözlenmiştir. Aynı zamanda kurutma sırasında yapısal hasarın daha az olduğu rapor edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada uygulanan ön işlemlerde kütle transfer hızı göz önüne alındığında en etkili yöntemin ultrasonikasyon destekli VI yöntemi olduğu saptanmıştır. Daldırma, VI ve ultrasonikasyon destekli VI ön işlemlerinin uygulandığı kivi dilimlerinin kurutma kinetiği modelleri Tablo 2'de verilmiştir. Uygun matematiksel model belirlenmesinde deneysel veriler kullanılarak Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (RMSE) ve ki-kare değerleri hesaplanmış (Tablo 2) ve sonuçlar üç ön işlem için de Henderson-Pabis ve Newton modellerinin uygun olduğunu göstermiştir.

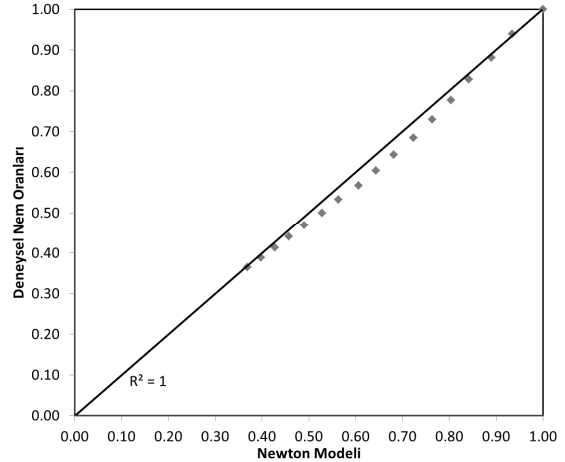
Daldırma işlemi uygulanan kivi dilimlerinin kurutulması için en uygun matematiksel modellerin Henderson-Pabis ile Newton modelleri olduğu saptanmıştır (Tablo 2). Bu ön işlemde ki-kare, RMSE ve R² değerleri sırasıyla 0.0003, 0.0599 ve 0.9953 olarak hesaplanmıştır. Ki-kare ve RMSE değerleri en küçük, R² değeri ise 1'e en yakın olan modeller en uygun modellerdir. Benzer şekilde VI ve ultrasonikasyon destekli VI işlemleri uygulanan kivi dilimlerinin kurutulması için de en uygun matematiksel modellerin Henderson-Pabis ve Newton matematiksel modellerinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 2-4).

Tablo 2. Üç farklı ön işlem uygulanan kivi dilimlerinin 60°C sıcaklıkta kurutulmasına ait matematiksel modellere ait katsayılar ve parametreler

Model	Sabitler ve Katsayılar	Ki-kare	RMSE	R ²
Daldırma yöntemi				
Henderson-Pabis	k=0.0021 a=1.0239	0.0003	0.0599	0.9953
Newton	k=0.0021	0.0007	0.0889	0.9953
Page	k=0.1282 c=0.3693	0.0499	0.7288	0.0588
Modifiye Page	k=0.1282 c=0.3693	0.0415	0.6558	0.0588
Logaritmik	k=0.3161 a=1.2167 c=0.3693	0.0164	0.4300	0.2596
Vİ işlemi				
Henderson-Pabis	k=0.0022 a=1.0070	0.00032	0.0598	0.9962
Newton	k=0.0022	0.00024	0.0535	0.9962
Page	k=0.1292 c=0.3439	0.0621	0.8182	0.0685
Modifiye Page	k=0.1292 c=0.3439	0.0550	0.7613	0.0685
Logaritmik	k=0.3334 a=1.2950 c=0.3439	0.0148	0.4284	0.4626
Ultrasonikasyon destekli Vİ işlemi				
Henderson-Pabis	k=0.0022 a=1.0108	0.0008	0.0271	0.9988
Newton	k=0.0022	0.0001	0.0353	0.9988
Page	k=0.1421 c=0.3569	0.0550	0.7792	0.0736
Modifiye Page	k=0.1421 c=0.3569	0.0465	0.7068	0.0736
Logaritmik	k=0.3628 a=1.3785 c=0.3569	0.0161	0.4420	0.2721

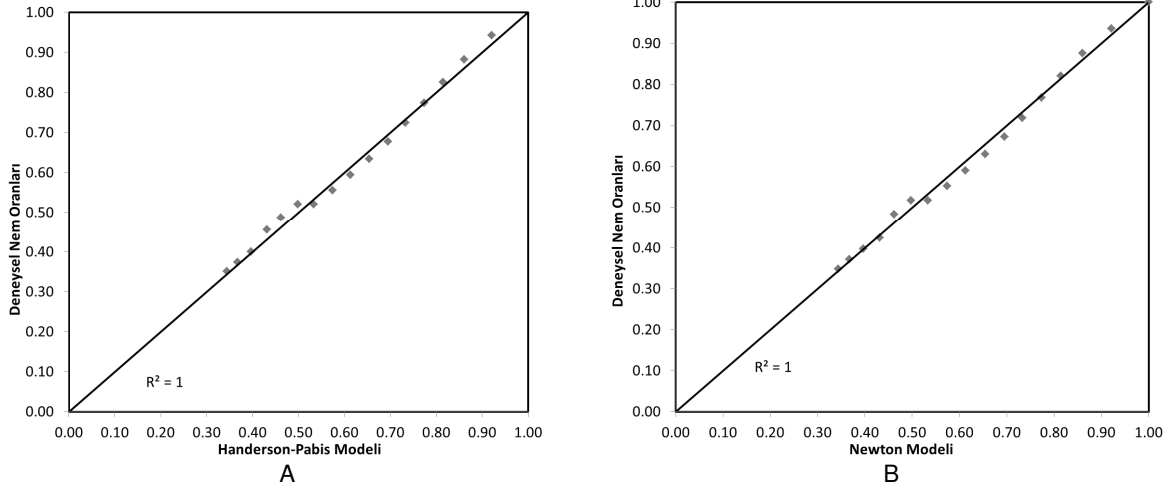


A

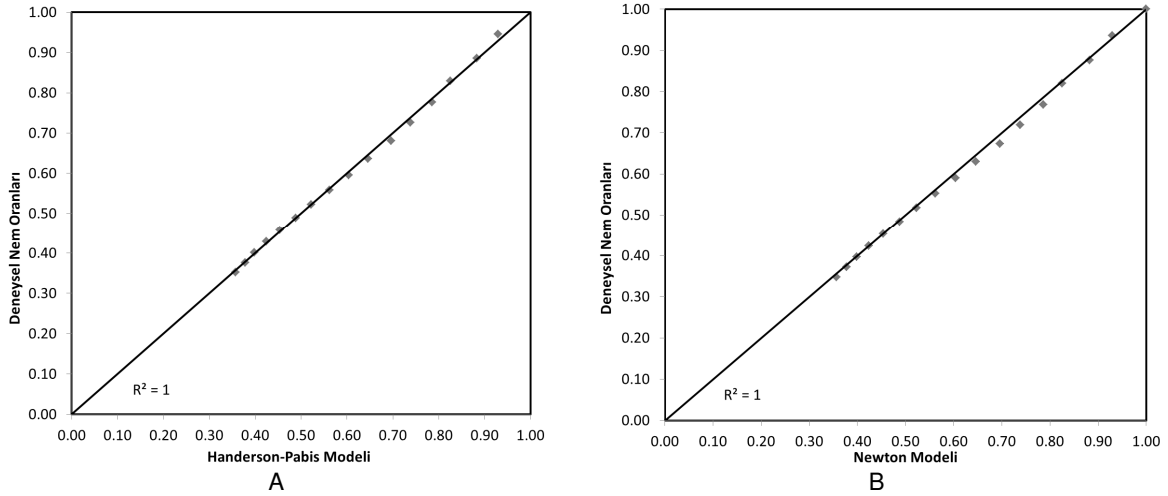


B

Şekil 2. Daldırma işlemi uygulanan kivi dilimlerinin 60°C sıcaklıkta kurutulmasına ait, uygun matematiksel modeller (A, Henderson-Pabis ve B, Newton modelleri) ile deneysel nem oranları arasındaki ilişki



Şekil 3. Vakum impregnasyonu işlemi uygulanan kivi dilimlerinin 60°C sıcaklıkta kurutulmasına ait, uygun matematiksel modeller (A, Henderson-Pabis ve B, Newton modelleri) ile deneysel nem oranları arasındaki ilişki



Şekil 4. Ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyonu işlemi uygulanan kivi dilimlerinin 60°C sıcaklıkta kurutulmasına ait, uygun matematiksel modeller (A, Henderson-Pabis ve B, Newton modelleri) ile deneysel nem oranları arasındaki ilişki

Gıdaların kurutulmasında kullanılan matematiksel modellerin gıdanın türü ve özellikleri ile kurutma koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Mengeş ve ark. [18] vişne kurutma üzerine yaptıkları bir çalışmada kurutma havası sıcaklığı (60, 70 ve 80°C) ve hızının (1, 2 ve 3 m/s) vişnenin kuruması üzerine önemli etkisinin olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, artan kurutma havası sıcaklığının efektif difüzyon katsayısını artırdığı görülmüş, bu değer 1.216×10^{-10} ile 1.429×10^{-09} m²/s arasında değişmiştir. Aktivasyon enerjisi de 100.78 ile 103.94 kJ/mol değerleri arasında hesaplanmıştır. Bu verilere göre en etkin matematiksel modellemenin Midilli ve diğerlerinin modeli olduğu rapor edilmiştir.

Polatoğlu ve ark. [19], kızılcık meyvesinin kurutulması üzerine yaptıkları çalışmada konvektif tip kurutucuda, 50, 60 ve 70°C hava sıcaklıklarında ve 0.4, 0.7 ve 1 m/s hava hızlarında, 90 W gücünde mikrodalga kurutucuda ve güneşte doğal kurutma prosesleri süresince kuruma davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada konvektif tip

kurutucuda kızılıçığın kurutulmasını tanımlayan en uygun modelin "Modifiye Henderson-Pabis", mikrodalga kurutucuda "Logaritmik" ve güneşte kurutmada ise "Difüzyon Yaklaşımı" olduğu belirlenmiştir.

Özel [20] balkabağının 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta %20 bağıl nemde ve 1 m/s hava hızında kurutulmasıyla ilgili yaptığı bir çalışmada, deneysel veriler ile teorik modellerden elde ettiği verileri karşılaştırılmış ve deneysel verilere en uygun matematiksel modellerin Page, Difüzyon Yaklaşım ve Midilli modeli olduğunu tespit etmiştir. Doğanürk [21] 50°C sıcaklıkta sarımsak dilimlerinin kurutulması üzerine yaptığı bir çalışmada deneysel verilere en iyi uyum veren modellerin 'Page' ve 'Modifiye Page' modelleri olduğunu belirtmiş ve 60 ile 70°C sıcaklıktaki değerlere göre ise en iyi uyum sağlayan matematiksel modelin 'Logaritmik' modelin olduğunu rapor etmiştir. Jokic ve ark. [22], elma dilimleri üzerine yaptıkları bir çalışmada ön işlem olarak önce elma dilimlerini %0.5 askorbik asit, %0.3 L-sistein, %0.1

4-heksil çözeltisine maruz bırakmıştır. Elma dilimleri daha sonra 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta hava akım hızı 1.5 m/s olan bir kurutucuda kurutulmuştur. Deneysel veriler ile yapılan hesaplamalar sonucunda bu üç sıcaklık değeri için en uygun matematiksel modelin Page modeli olduğu saptanmıştır.

Literatürde kivi dilimlerinin kurutulması ile ilgili değişik çalışmalar mevcuttur. Simal ve ark. [23], yaptıkları bir çalışmada kivi dilimlerini 30-90°C sıcaklık değerlerinde kurutmuşlar ve 3 farklı matematiksel modelden en uygun olanını Page modeli olarak belirlemiştir. Mohammadi ve ark. [24], kivi kurutma üzerine yaptıkları bir çalışmada kivi dilimlerini 4 mm kalınlığında keserek 40, 50, 60, 70 ve 80°C sıcaklıklarında 1.5 m/s kurutma havası hızında kurutma işlemlerine tabi tutmuşlardır. Kurutma işlemleri ardından en uygun matematiksel modelin Midilli modeli olduğunu rapor etmişlerdir (R^2 değeri: 0.999319, RMSE değeri: 0.032536 ve ki-kare değeri: 0.001119). Huirem ve ark. [25], kivileri 5 mm kalınlığında dilimleyerek 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta 630 mmHg vakum altında kurutmuşlar ve kurutma işlemine en uygun matematiksel modelin R^2 , ki-kare ve RMSE değerleri sırasıyla 0.938, 0.0076 ve 0.0806 olan Page modeli olduğunu bildirmişlerdir.

Garavand ve ark. [26], yaptıkları bir çalışmada 40, 60 ve 80°C sıcaklıkta konvektif tip bir kurutucuda %20, 40 ve 60 bağıl nem oranına sahip 2 m/s hızda kurutma havasına domatesleri maruz bırakarak kurutmuşlardır. Yüzde 20 bağıl neme sahip kurutma havasıyla işlem gören domateslerin kurutma kinetiğine ait en uygun matematiksel modeli Midilli ve diğerlerinin modeli olarak rapor etmişlerdir (R^2 : 0.999, RMSE: 0.00409). Benzer şekilde %40 ve %60 bağıl neme sahip kurutma havasıyla işlem gören domateslerin kurutma kinetiğine ait en uygun matematiksel modeli de Midilli ve diğerlerinin modeli olarak bildirmişlerdir.

Ultrasonikasyon yöntemi, gıda muhafaza yöntemi (mikrobiyal veya enzim inaktivasyonu) olarak kullanılabildiği gibi gıda işleme sırasında ön işlem olarak

da kullanılabilir. Bu yöntem gıdaların raf ömrünü uzatması yanı sıra güvenilir, besinsel ve duyuşal açıdan daha kaliteli gıdaların üretilmesine olanak sağlayabilir [7]. Nowacka ve ark. [27] yaptıkları bir çalışmada 35 kHz frekansta çalışan ultrasonik bir banyo içerisinde 10, 20 ve 30 dakika süre ile elma küplerini ultrasonikasyona maruz bırakmıştır. Elma küpleri 70°C sıcaklıkta ve 1.5 m/s hava hızında konveksiyonel yöntemle kurutularak ultrasonikasyonun etkisi belirlenmiştir. Ön işlem görmemiş elma küplerine kıyasla ultrasonikasyona maruz kalmış elma küplerinin kuruma süresinde %31 azalma olduğu saptanmıştır. Ultrasonikasyona maruz bırakılan elma küplerinin boyutlarında kurumayla beraber %11 oranında küçülme gerçekleşmiştir. Kurutulmuş ürünün gözeneklerinde ön işlem görmeyen elma küplerine oranla iyileşme olduğu belirlenmiştir. Francisca ve ark. [28] yaptıkları bir çalışmada çilek dilimlerine kurutma öncesi ön işlem basamağı olarak ultrasonikasyon uygulamışlar ve çilek dilimleri damıtılmış su veya sakaroz (%50, w/w) olmak üzere iki farklı çözeltiye batırılmıştır. Ozmotik dehidrasyon işlemine göre ultrasonikasyon ön işlemi uygulanan örneklerin kuruma sürelerinde azalma gözlenmiştir. Hücre bozulma ve çökmeleri ultrasonikasyon destekli ozmotik dehidrasyon işleminde en düşük seviyeye indirilmiştir.

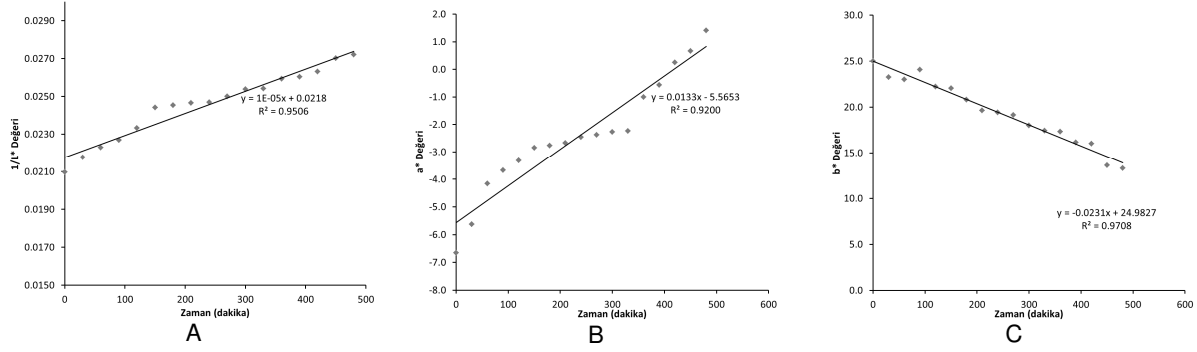
Bu çalışmada kivi meyvesinin kurutma sırasındaki renk değişimleri incelenmiştir. CIE L^* , a^* ve b^* değerlerinin zamana bağlı değişimleri ve reaksiyon dereceleri Tablo 3'te verilmiştir.

Daldırma yöntemi için L^* renk değerlerine ait R^2 sonuçlarına göre en uygun reaksiyon kinetiği derecesinin ikinci derece olduğu görülmektedir. L^* renk değerine ait ikinci derece reaksiyonun kinetik grafiği Şekil 5A'da verilmiştir. Daldırma yöntemiyle işlem gören kivi dilimleri için a^* ve b^* renk değerlerine ait R^2 sonuçlarına göre ise, en uygun reaksiyon kinetiği derecelerinin sıfırncı derece olduğu görülmektedir (Şekil 5B ve 5C).

Tablo 3. Üç farklı ön işleme maruz bırakılan kivi dilimlerinin 60°C sıcaklıkta kurutulması sırasında CIE L^* , a^* ve b^* renk değerlerindeki değişime ait reaksiyon derecelerinin determinasyon katsayıları (R^2)

Reaksiyon Kinetiği Derecesi	L^*	a^*	b^*
Daldırma yöntemi			
0.Derece	0.9217	0.9200**	0.9708**
1.Derece	0.9374	0.7371	0.9518
2.Derece	0.9506**	0.1115	0.9145
Vİ işlemi			
0.Derece	0.9303**	0.9514**	0.7349
1.Derece	0.9098	0.5086	0.9621
2.Derece	0.8827	0.0406	0.9769**
Ultrasonikasyon destekli Vİ işlemi			
0.Derece	0.9663**	0.9706**	0.9906**
1.Derece	0.9659	0.1500	0.9534
2.Derece	0.9632	0.0010	0.8598

** : R^2 değeri en yüksek olan değerleri ifade etmektedir.

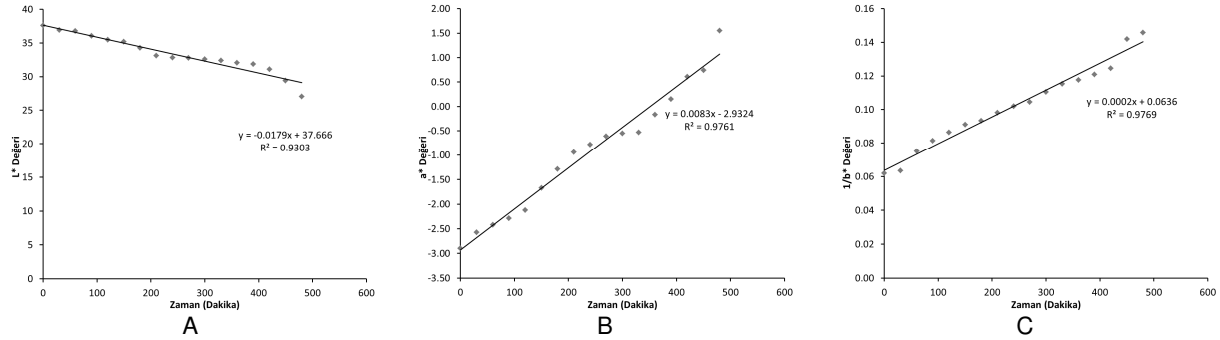


Şekil 5. Daldırma yöntemi uygulanan kivi dilimlerinin 60°C sıcaklıkta kurutulması sırasında L* renk parametresi (A), a* renk parametresi (B) ve b* renk parametresindeki (C) değişimlere ait reaksiyonun derecelerinin belirlenmesi

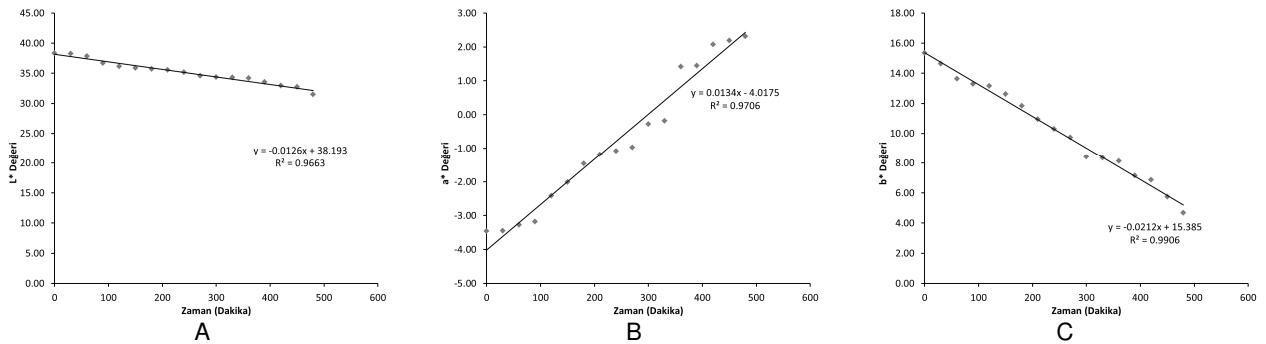
Vakum impregnasyon yöntemine maruz kalan kivi dilimleri için renk değerlerindeki değişimler Şekil 6'da gösterilmiştir. L* değerlerine ait R² sonuçlarına göre (Tablo 3) en uygun reaksiyon kinetiği derecesinin sıfırıncı derece reaksiyon kinetiği olduğu görülmektedir (Şekil 6A). Renk parametrelerindeki değişimler incelendiğinde, a* değerlerine ait R² sonuçlarına göre en uygun reaksiyon kinetiği derecesinin sıfırıncı (Şekil 6B), ancak b* değerlerine ait R² sonuçlarına göre ise en

uygun reaksiyon kinetiği derecesinin ikinci derece (Şekil 6C) olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada ilk kez kullanılan ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemine maruz bırakılan ve 60°C sıcaklıkta kurutulan kivi dilimleri için ise, L*, a* ve b* değerlerine ait R² sonuçlarına göre en uygun reaksiyon kinetiği derecesinin sıfırıncı derece olduğu belirlenmiştir (Şekil 7A, B ve C).



Şekil 6. Vakum impregnasyon yöntemi uygulanan kivi dilimlerinin 60°C sıcaklıkta kurutulması sırasında L* renk parametresi (A), a* renk parametresi (B) ve b* renk parametresindeki (C) değişimlere ait reaksiyonun derecelerinin belirlenmesi



Şekil 7. Ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi uygulanan kivi dilimlerinin 60°C sıcaklıkta kurutulması sırasında L* renk parametresi (A), a* renk parametresi (B) ve b* renk parametresindeki (C) değişimlere ait reaksiyonun derecelerinin belirlenmesi

Demiray [29], domates kurutulması üzerine yaptığı bir çalışmada kurutma sonrası renk analizlerinde L*, a* ve b* değerleri için uygun reaksiyon kinetiklerini hesaplamış ve sırasıyla L* ve b* renk değerinin birinci

dereceden a* renk değerinin ise sıfırıncı dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğunu saptamıştır. Tülek ve ark. [30], Trabzon hurması üzerine yaptıkları çalışmada kurutma sonrası renk karakteristiklerinin

reaksiyon derecelerini hesaplamış, L^* , a^* , b^* değerlerinin birinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğunu rapor etmiştir.

Mohammadi ve ark. [31], 4 mm kalınlığındaki kivi dilimlerini farklı sıcaklıklarda (40, 50, 60, 70 ve 80°C) 1 m/s kurutma havası hızında kuruttukları çalışmalarında, 60°C sıcaklıkta yapılan kurutma işlemine ait L^* değeri için birinci dereceden reaksiyon kinetiğine, a^* değeri için sıfırıncı dereceden reaksiyon kinetiğine ve b^* değeri için de birinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğunu bildirmişlerdir. Maskan [32] ise, yaptığı çalışmada 5.5 mm kalınlığındaki kivi dilimlerini 60°C sıcaklıkta, 1.29 m/s hava hızında iki farklı kurutucuda kurutma işlemine tabi tutmuştur. Çalışmada mikrodalga ile kurutma işlemi boyunca yapılan renk analizleri sonucunda L^* , a^* , b^* değerlerine ait reaksiyon kinetiği dereceleri belirlenmiştir. L^* ve b^* değerlerine ait değişimler birinci dereceden reaksiyona uygun bulunmuş iken, a^* değerine ait değişimin sıfırıncı derece reaksiyona uygun olduğu rapor edilmiştir. Yine aynı çalışmada sıcak havayla kurutulan kivi dilimlerinin L^* , a^* , b^* değerlerine ait reaksiyon kinetikleri belirlenmiştir. Sonuçta L^* ve a^* değerlerindeki değişimlerin sıfırıncı dereceden reaksiyon kinetiğine, b^* değerine ait değişimin ise birinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğu rapor edilmiştir.

SONUÇ

Çalışma sonuçları impregnasyon çözeltisinden kivi dilimlerine gerçekleşen kütle transferi açısından kıyaslandığında ultrasonikasyon destekli Vİ işleminin diğer iki yöntemle kıyasla kütle transfer oranına daha fazla katkıda bulunduğunu göstermiştir. Kurutma işlemlerine ait matematiksel modellemelere göre, uygulanan üç ön işlem için de en uygun modelin Henderson-Pabis ve Newton modelleri olduğu görülmüştür. Uygulanan ön işlemlerin kivi dilimlerinin kurutma kinetiği üzerine etkisinin olmadığı, ancak kütle transferi oranını değiştirdiği belirlenmiştir. Kurutma sırasında yapılan renk analizlerinde daldırma ve vakum impregnasyon işlemlerine ait CIE L^* , a^* , b^* renk değerleri için ortak bir reaksiyon kinetiği gözlemlenmezken, ultrasonikasyon destekli Vİ işlemi için L^* , a^* , b^* değerlerinin değişiminin sıfırıncı dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Kivi_\(bitki\)?oldid=16650556](https://tr.wikipedia.org/wiki/Kivi_(bitki)?oldid=16650556). Erişim Tarihi: 29 Nisan 2016.
- [2] Ordu Ticaret Borsası, www.ordutb.org.tr Üretim Desenimizdeki Yeni Motif; Kivi. Erişim Tarihi: 1 Mayıs 2016.
- [3] Çınar, İ., 2009. Osmotik dehidrasyon mekanizması ve uygulamaları. *Gıda* 34 (5): 325-329.
- [4] Eroğlu, E., Yıldız, H., 2011. Gıdaların osmotik kurutulmasında uygulanan yeni tekniklerin, enerji verimliliği bakımından değerlendirilmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 6(2): 41-48.
- [5] Us, F., 2006. Osmotik kurutma. Türkiye 9. Gıda Kongresi (24-26 Mayıs 2006, Bolu) Bildiriler Kitabı,

- Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No:33, Sayfa 65-68, Ankara.
- [6] Öztürk, A., Bozbıyık, N.K., Yılmaz, Y., 2012. Vakum İmpregnasyon Tekniğinin Meyve ve Sebze Ürünlerinde Kullanımı. www.gidaderneği.org/arşiv/kongreler/ulusal/kongreler/ 11. Gıda Kongresi.
- [7] Sayın, L., Tamer, C.E., 2014. Yüksek hidrostatik basınç ve ultrasonun gıda koruma yöntemi olarak kullanımı. Uludağ Üniversitesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi* 28(1): 83-94.
- [8] Cemeroğlu, B., Acar, J., 1986. Meyve Sebze İşleme Teknolojisi, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 582s.
- [9] Kutlu, N., İşçi, A., Demirkol, 2015. Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri. *Gıda* 40(1): 39-46.
- [10] Darıcı, S., Şen, S., 2012. Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, Bildiriler Kitabı Sayfa: 51-58, İzmir.
- [11] Bostan, S.Z., Günay, K., 2014. 'Hayward' (*Actinidia deliciosa* Planch) kivi çeşidinin meyve kalitesi üzerine rakım ve yöneyin etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi* 3(1): 13-22.
- [12] Albak, F., Belibağlı, K.B., 2010. Osmotik dehidrasyon tekniğinin sakız kabağında kullanımı. *Akademik Gıda* 8(2): 6-10.
- [13] Fito, P., 1994. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering* 22: 313-328.
- [14] Carcel, J.A., Benedito, J., Rosello, C., Mulet, A., 2007. Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering* 78(2): 472-479.
- [15] Talens P., Martinez N., Fito P., Chiralt A., 2002. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwi fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 3(2): 191-199.
- [16] Mujica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., Lopez-Malo, A., Plaou, E., Welti-Chanes, J., 2003. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: Effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering* 57: 305-314.
- [17] Hawkes, J., Flink, J.M., 1978. Osmotic concentration of fruits slices prior to freeze dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation* 2: 265-284.
- [18] Mengeş, H.O., Ertekin, C., 2007. Vişne Kurutmada Kurutmanın Çeşitli Modellerle Açıklanması. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 21(42): 4-10.
- [19] Polatoğlu, B., Beşe, A.V., 2012. Konvektif, mikrodalga ve güneşte kurutma prosesleri ile kızılıklık meyvesinin kuruma kinetiğinin incelenmesi ve matematiksel modellenmesi. Onuncu Ulusal Kimya Kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul.
- [20] Özel, Ö.F., 2010. Balkabağının Farklı Kurutma Şartlarındaki Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- [21] Doğan Türk, M., 2016. Taşköprü Sarımsağındaki Allisin'in Degradasyon Kinetiği Üzerine Farklı

- Kurutma Sıcaklıklarının Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. Burdur.
- [22] Jokic, S., Lukinac, J., Velic, D., Bilic, M., Magric, D., Planinic, M., Optimization of drying parameters and color changes of pretreated organic apple slices. Department of Process Engineering, Faculty of Food Technology, University J.J. Strossmayer of Osijek, Osijek, Hırvatistan.
- [23] Simal, S., Femenia, A., Garau, M.C., Rossello, C., 2005. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering* 66: 323–328.
- [24] Mohammadi, A., Rafiee, S., Djomeh, Z.E., Keyhani, A., 2008. Kinetic models for colour changes in kiwifruit slices during hot air drying. *World Journal of Agricultural Sciences* 4(3): 376-383.
- [25] Huiem, B., Shakya, B.R., 2015. Thin layer drying kinetics of kiwifruits (var. Monty). *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)* 4(5): 1736-1746.
- [26] Garavand, A.T., Rafiee, S., Keyhani, A., 2011. Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of tomato influence of air dryer conditions. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies* 2: 147-160.
- [27] Nowacka, M., Wictor, A., Sledz, M., Jurek, N., Rajchert, D.W., 2012. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *Journal of Food Engineering* 113(3): 427–433.
- [28] Francisca, N., Garcia, J., Oliveira, I.P., Gallão, M.I., Weller, C.L., Rodrigues, S., Fernandes, F.A., 2010. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: Effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. *Journal Drying Technology* 28(2): 294-303.
- [29] Demiray, E., 2009. Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, β -Karoten, Askorbik asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- [30] Tülek, Y., Demiray, E., 2014. Farklı sıcaklık ve ön işlemlerin Trabzon hurmasının renk ve kuruma karakteristiklerine etkisi. *Tarım Dergisi* 20: 27-37.
- [31] Mohammadi, A., Rafiee, S., Djomeh, Z.E., Keyhani, A., 2009. Moisture content modeling of sliced kiwifruit (cv. Hayward) during drying. *Pakistan Journal of Nutrition* 8(1): 78-82.
- [32] Maskan, M., 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering* 48: 169-175.
-