T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRMIZI BİBER, ELMA ve PIRASANIN KURUTULMASINDA İNFRARED KURUTMA TEKNİĞİNİN KULLANILMASI

Hazırlayan
Şahin NASIROĞLU

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Habib KOCABIYIK

Eylül-2007
ÇANAKKALE

KIRMIZI BİBER, ELMA ve PIRASANIN KURUTULMASINDA İNFRARED KURUTMA TEKNİĞİNİN KULLANILMASI

T.C. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Hazırlayan

Şahin NASIROĞLU

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Habib KOCABIYIK

Eylül-2007

ÇANAKKALE

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Şahin NASIROĞLU tarafından **Yrd. Doç. Dr. Habib KOCABIYIK** yönetiminde hazırlanan **"KIRMIZI BİBER, ELMA ve PIRASANIN KURUTULMASINDA İNFRARED KURUTMA TEKNİĞİNİN KULLANILMASI"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Yrd. Doç. Dr. Gıyasettin ÇİÇEK

Yönetici

.....	.....
Yrd. Doç. Dr. Sarp K. SÜMER	Yrd. Doç. Dr. Habib KOCABIYIK
Jüri Üyesi	Danışman

_____

Prof. Dr. Mehmet Emin ÖZEL

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda bana her türlü desteği veren, çalışmalarımı sabırla ve özveriyle yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Habib KOCABIYIK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın denemelerinin yapılmasında katkıda bulunan Ziraat Mühendisi Dilvin TEZER'e ve Ziraat Mühendisi Murat IŞIKTEPE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Şahin NASIROĞLU

ÖZET

Bu çalışmada kırmızı biber, elma ve pırasanın kuruma eğrileri ve kuruma hızı üzerine infrared lamba gücünün ve hava hızının etkileri değerlendirilmiş ve kuruma zamanı, özgül enerji tüketimi, renk (L, a, b, ΔE, kroma, hue açısı), büzülme, rehidrasyon oranı ve askorbik asit (C vitamini) gibi bazı parametreler üzerine infrared lamba gücü ve hava hızının etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışma için infrared lambalarla çalışan bir kurutma düzeneği geliştirilerek tarım ürünlerinden kırmızı biber, elma ve pırasa dilimleri 3 farklı hava hızında ve 3 farklı infrared lamba gücünde (1,0; 1,5; 2,0 m/s hava hızı ve 300, 400 ve 500 W infrared lamba gücü) kurutularak denemeler gerçekleştirilmiştir.

Ürün kurutma süresi değerleri 1,0 - 2,0 m/s kurutma hava hızı aralığında ve 300, 400 ve 500 W infrared lamba güçlerinde sırasıyla kırmızı biber için 315-455 dak, 213-297 dak, 196-230 dak, elma için 198-274 dak, 171-261 dak, 137-170 dak ve pırasa için ise 305-341 dak, 195-244 dak, 183-241 dak değerleri arasında değişmiştir.

Ürün kuruma süresi hava hızının artmasıyla artmış, infrared lamba gücünün artmasıyla azalmıştır.

Kırmızı biber, elma ve pırasa dilimlerin kurutulmasında infrared lamba gücünün artırılmasıyla her üç ürün kuruma hızı artış göstermiştir.

Özgül enerji tüketim değerleri kırmızı biber, elma ve pırasa dilimleri için 1,0 - 2,0 m/s kurutma hava hızı aralığında ve 300, 400 ve 500 W infrared lamba güçlerinde sırasıyla kırmızı biber için 16,62-27,31 MJ/kg, 17,02-21,27 MJ/kg, 17,65-19,51 MJ/kg, elma için 13,67-19,00 MJ/kg, 16,42-24,21 MJ/kg, 15,81-19,50 MJ/Kg ve pırasa için 19,18-19,15 MJ/kg, 15,01-22,56 MJ/kg, 18,02-25,84 MJ/kg değerleri arasında değişmiştir.

Ürünün kurutulması için gerekli özgül enerji tüketimlerinin genel olarak hava hızının artmasıyla arttığı ve özgül enerjinin kuruma zamanı ve infrared lamba gücünün optimizasyonuna bağlı olduğu söylenebilir.

Ürün büzüşme katsayıları kırmızı biberde sabit infrared lamba gücünde hava hızının artmasıyla azalmış, pırasada ise düzgün bir değişim değeri elde edilememiştir. Aynı ürünlerin rehidrasyon değerlerinin kırmızı biberde hava hızının artırılmasıyla düştüğü, infrared lamba gücünün artırılmasıyla yükseldiği görülmüş, elma dilimlerinde ise hız ve gücünün değişmesiyle rehidrasyon değişimlerinde

tekdüze değişkenlikler görülmemiştir.

Ürünlerin kurutma öncesi ve sonrasında yapılan renk ölçümlerinde, renk değerleri arasında küçük farklılıklar olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnfrared kurutma, kuruma eğrisi, kuruma hızı, özgül enerji, rehidrasyon, kırmızı biber, pırasa, elma

ABSTRACT

In this study; the effect of infrared power and air velocity on dry chracteristics and drying rate of red pepper, apple and leek slices were determined. Also, effect of infrared power and air velocity on drying time, specific consumption power, color (L, a, b, ΔE, croma, hue angle), shrinkage, rehidration rate, vitamin C parametters were examined.

This drying study has been realized red pepper, apple and leek sileces drying at the different drying air velocity and infrared lamp power (1,0;1,5 and 2,0 m/s, 300, 400 and 500 W) a drying system model equiped with two incandescent lamp developed.

As a result of the experiments at the 300, 400, 500 W constant power values;

Drying time values for red pepper sileces were changing between 213-297 min, 213-297min, 196-230 min, drying time values for apple sileces were changed between 198-274 min, 171-261 min, 137-170 min, drying time values for leek sileces were changed between 305-341 min, 295-244 min, 183-241 min,

Product drying time increasing with increasing drying air volicity, decreasing With increasing infrared lamp power,

Drying air volicity of red pepper, apple and leek slices increased with incresing rate infrared power.

As a result of the experiments; at the 300, 400, 500 W constant power values;

Spesific energy consumption values for red pepper sileces were changed between 16,62-27,31 MJ/kg, 17,02-21,27 MJ/kg, 17,65-19,51Mj/kg. spesific energy consumption values for apple sileces were changed between 13,67-19,00 MJ/kg, 16,42-24,21 MJ/kg, 15,81-19,50 MJ/kg, specific energy consumption values for leek sileces were changed between 19,18-19,15 MJ/kg, 15,01-22,56 Mj/kg, 18,02-25,84 MJ/kg

Product specific energy consumption values increased with increasing drying air volicity, decreasing with increasing infrared lamp power. It can be said specific energy consumption depending on optimization of infrared power and drying time.

Shrikage constant of red pepper at the constant infrared power was

decreased with air velocity increasing, for leek slices don’t gouge changing in shrinkage. Rehidration rate of red pepper was deccreased with drying air velocity increasing, increased with lamp power increasing.

Before and after drying, color parameters of product were chaged little.

Key words: İnfrared drying, drying chracteristics, drying rate, specific energy consumption, rehydration, red pepper, apple, leek

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vii
1 GİRİŞ 1
1.1 Kurutma Teknikleri 2
1.2 Kurutma Sistem ve Tesislerin Sınıflandırılması 3
1.2.1 Konveksiyon tipi kurutucular 3
1.2.2 Kondüksiyon veya temas tipi kurutucular 4
1.2.3 Radyasyon tip kurutucular 5
1.3 İnfrared Kurutmanın Avantajları 5
2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 8
3 MATERYAL ve YÖNTEM 11
3.1 Materyal 11
3.1.1 Deneme düzeneği 11
3.1.2 Denemelerde kullanılan diğer alet ve cihazlar 12
3.2 Yöntem 12
3.2.1 Örneklerin hazırlanması 12
3.2.2 Kuruma kinetikleri 13
3.2.3 Özgül enerjinin belirlenmesi 13
3.2.4 Büzülme katsayısının belirlenmesi 14
3.2.5 Rehidrasyon özelliklerinin belirlenmesi 14
3.2.6 Renk parametrelerinin belirlenmesi 15
4 ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA 16
4.1 Kuruma Süresi ve Kuruma Kinetikleri 16
4.1.1 Kuruma süresi 16
4.1.2 Kuruma kinetikleri 18
4.2 Özgül Enerji Tüketimi, Büzülme ve Rehidrasyon 27
4.3 Renk Parametreleri 31

5 SONUÇ 35
6 . KAYNAKLAR 37
ÖZGEÇMİŞ 41
TABLO DİZİNİ 42
ŞEKİL DİZİNİ 43

1 GİRİŞ

Genel olarak tarım ürünlerinin kurutulması nemin üründen uzaklaştırılmasıdır. Tarım ürünlerine uygulanan kurutmanın birçok amacı vardır. Bunlardan en önemli olanı ürünün bozulmadan uzun süre depolanmasıdır.

İnsanların beslenmesinde önemli yere sahip olan tarımsal ürünlerin depolanmasını sağlayan kurutma işlemi insanlığın ilk kullandıkları tekniklerden biridir. Günümüzde ürünlerin kurutma işlemi güneş ışığı altında olabileceği gibi, kontakt, konvektif, ışınım, dielektrik, donmalı ve ozmotik kurutma gibi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilmektedir (Karabayır, 2006).

Ülkemizde kurutma işlemi birçok üründe geleneksel olarak güneş altında ve açık atmosfer koşullarında yapılmaktadır. Doğal bir kurutma yöntemi olan güneş altına yayarak kurutma işlemi sonucunda da, sebzelerde söz konusu olan kalite özelliklerine ulaşılmaktadır. Fakat bu yöntem ürünlerin uzun süreler içinde kurutulmasına olanak verdiği için ve dış ortamdan doğrudan olarak etkilendiğinden, yerini alternatif kurutma yöntemlerine bırakmıştır. Bu yöntemler genel olarak sıcak hava ile kurutma, vakumla kurutma, güneş kolektörleri yardımıyla kurutma ve mikro dalga ile kurutma olarak sıralanabilir (Kavak-Akpınar ve Biçer, 2002).

Günümüzde çeşitli yöntemlerle kurutma yapabilen kurutma tesisleri çeşitli bölgelerde bulunmaktadır. Bu tür tesis ve sistemlerin yardımıyla çok çeşitli meyve ve sebzeleri istenilen ticari nem oranlarına düşürülmekte ve istenilen kalitede kurutma yapılabilmektedir. Ülkemizde ürünlerin büyük bir kısmı özellikle meyve ve sebzelerimiz halen güneş altında açık havada kurutulmaktadır. Ekonomik açıdan dış pazarda ve de iç pazarda meyvelerin bu şekilde kurutulması sonucu kalite ve değer kaybı gibi sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bu durum kurutma tesis ve sistemlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Başlıca ihracat ürünlerimizin başında gelen kurutulmuş meyveler, dünyaca ünlü sultaniye çekirdeksiz kuru üzüm, fındık, incir ve kayısı gibi ürünlerdir. Bunlar ihracatta da ekonomik olarak önemli bir yer tutmaktadır.

Ülkemizde yetişen her cins üzüm, erik, kayısı, zerdali, şeftali, dut, vişne, kiraz, elma, armut, incir, sert kabuklu meyvelerden ceviz, badem, fındık vb ürünler kurutulmaktadır. Sebzelerden bamya, patlıcan, biber, fasulye, kabak, soğan sarımsak,

hemen her çeşit tat ve koku veren maydanoz, nane, kekik, defne, ıhlamur gibi bitkiler, tüm tahıllar, baklagiller, çeltik ve mısır gibi ürünlere kurutma işlemi uygulanmaktadır. Ülkemizde meyve ve sebze üretim ve ihracat değerleri aşağıdaki Tablo 1.'de verilmiştir (Karabayır, 2006).

Tablo 1. Yıllara göre kurutulmuş sebze ihracatı
(M=Miktar'. Ton, D= değer; 1,000 Dolar)

	2002		2003		2004		2005	
	M	D	M	D	M	D	M	D
Domates	8 194	20 321	10 390	26 616	10 397	28 004	14 489	39 624
Mantar	47	1 425	44	1 016	19	1 071	27	1 423
Pırasa	218	686	325	1 101	191	833	189	856
Kabak	45	261	51	295	69	371	116	588
Patlıcan	60	297	57	268	70	444	66	406
Bamya	9	69	9	93	7	76	11	150
Soğan	220	63	37	122	68	205	45	117
Diğer	816	1 168	327	780	505	1 341	265	926
Toplam	9 609	24 290	11 240	30 291	11 326	32 345	15 208	43 910

1.1 Kurutma Teknikleri

Kurutma; Kurutma işlemi gazlardan, sıvılardan veya katılardan su veya diğer sıvıların çıkarılmasıdır. Bununla birlikte kurutma terimi daha çok katı maddelerden ısıl yöntemlerle su veya uçucu diğer maddelerin giderilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır.

Bir katı maddenin kuruması esnasında aynı anda iki işlem oluşur;

- Sıvının buharlaştırılması için ısının kurutulan maddeye transfer edilmesi işlemi,

- Sıvı ve buhar geçişi olarak gerçekleşen nem transfer işlemidir.

Gerekli olan ısı aşağıda sıralanan yöntemlerle verilebilir:

Isı İletimi (Kondüksiyon) : Kurutulacak olan cismin ısı üreten ısı kaynağına temas edilerek ürün bünyesindeki nemin buharlaştırılması için gerekli ısı ürüne taşınarak kurutma sağlanır.

Isı taşınımı (Konveksiyon): Gerekli olan ısı hava aracılığıyla ürün üzerine taşınarak gerekli kurutma sağlanır.

Radyasyon (Işınım): Kurutulacak olan ürün bünyesindeki nemin uzaklaştırılması için gerekli olan ısı infraruj ışını kaynağından gerekli ısıyı alarak gerekli kurutma sağlanır (Güngör, 1997; Topbaş, 1992).

1.2 Kurutma Sistem ve Tesislerin Sınıflandırılması

1.2.1 Konveksiyon tipi kurutucular

Bu tip kurutucular zaman zaman direkt tip kurutucular olarak da isimlendirilebilir. Çünkü buharlaşmayı sağlayan akışkan genellikle hava veya sıcak gazlar, kurutulacak malzeme üzerine doğrudan çarptırılır veya temas ettirilir ve buharlaşan nem ortamdan bu hava veya gaz akımı yoluyla uzaklaştırılır; Bunlar;

- Kurutma odaları; Kurutmanın en basit metodu, kurutulacak malzemeyi içerisinde sıcak hava dolaştırılan bir oda veya kapalı bölme içerisine koymaktır. Bu yöntem tuğla, bina inşaat malzemeleri, ahşap levhalar, sentetik elyaf levhalar, dökümhane toprağı, vb. geniş hacimli malzemelerin kurutulması için uygundur.

- Kabin tipi kurutucular veya tepsili kurutucular; Bu tür kurutucular, boyalar pigmentler, kimyasal maddeler, gıda maddeleri, seramik eşyalar, tekstil ürünleri ve peynir gibi çok geniş alana yayılmış malzemelerin kurutulması amacıyla kullanılabilir. Delikli kurutma rafların sayesinde kurutma havası ürün yüzeyiyle teması artırarak kurutma verimi artırılmış olur.

- Bantlı kurutucular; Bu kurutucuda, atmosfere ya tamamen ya da kısmen açık veya tünel benzeri bir çatı ile tamamen üzeri örtülmüş bir konveyör bulunmaktadır. Kurutulacak malzeme bant üzerine serilir ve tünel boyunca yürütülür. Sıcak kurutucu gazlar kurutucunun bir ucundan diğer ucuna gönderilebileceği gibi, bant elek gibi çok ince delikli bir yapıya sahip olduğu için aşağıdan yukarıya veya tam tersi olmak üzere malzeme içerisinden de geçirilebilir.

- Tünel kurutucular; Bu tip kurutuculara, bantlı kurutucular benzer fakat kurutulacak malzeme bir taşıyıcı üzerine istiflenir ve kurutma tüneli boyunca hareket ettirilir. Bir araba üzerinde malzeme kuruduğunda kurutucudan itilmek suretiyle dışarıya alınır.

- Döner kurutucular; Bu tür kurutucular iç kısımda pek çok sayıda raf benzeri savurucu kanatçıklar bulunan bir yatay silindirden oluşur. Bu silindir, merkezinden geçen bir eksene göre dönme hareketi yapmasına imkân veren tekerleklerden oluşan ve genellikle kurutucunun çıkış kısmı olan alt ucuna doğru hafif bir şekilde azalan bir eğime sahip bir yatağa yerleştirilmiştir. Kurutucu silindir içerisinde kanatçıklar vasıtasıyla ürün karışarak kurutma havasıyla teması sağlanır.

- Düşey silindir kurutucular; Düşey bir silindir içerisine yerleştirilmiş çok sayıda ortak eksenli tepsi veya raftan oluşan bu kurutucuda kurutulacak malzeme en üst rafa beslenir, itelenmek ve aynı zamanda bir döner tırmık veya kazıyıcı vasıtasıyla alt üst edilmek suretiyle karıştırılır, harmanlanır. Malzeme bir kez karıştırıldığında ortak eksenli rafta bulunan yarıktan alt rafa iner.

- Sprey kurutucu; Kurutulacak olan **s**ıvı veya karışım sıcak gazların dolaştığı bir oda içerisine atomize edilerek sıcak hava ile teması sağlanır.

- Hava süpürmeli döner değirmenler; Kurutulacak ürün değirmenler sayesinde pülverize edilerek sıcak hava temasıyla kurutma sağlanır.

- Pnomatik veya flaş tip kurutucular; Kurutma havası bir ısıtıcıda ısıtıldıktan sonra kurutucu tabanından kurutucuya girerek pnomatik etkisiyle ürünün kurutularak dışarı atılmasını sağlar (Güngör, 1997; Topbaş, 1992).

1.2.2 Kondüksiyon veya temas tipi kurutucular

Kütlesel temas aracılığıyla ısı taşınımı olmaktadır, ısı taşınımı dolaylı olmaktadır.

- Düz yüzeyli kurutucular; Isı taşınımı düz bir yüzeyden sağlanmaktadır, kurutulacak malzeme iki düz sıcak yüzey arasında preslenerek kurutulması veya yapışması sağlanır. Mobilya sanayi lam kaplama vb.

- Film kurutucular; Kurutulacak malzeme buharla ısıtılan dönen bir silindir üzerine beslenir veya pres türü bir besleyici vasıtasıyla sıvanır, Buharla ısıtılan silindirin ürün üzerinden geçmesiyle kuruması sağlanır.

- Silindir kurutucular; Ürün hareketli ısı kaynağı sabit silindir olarak tasarlanmıştır. Ürünün silindir arasından geçmesiyle kuruması sağlanır.

- Vakum kurutucular; Ürün dış atmosfere kapalı sızdırmazlığı sağlanmış bir

kabin içerisine konularak vakum pompaları aracılığıyla ürün bünyesindeki su buharı alınmaktadır.

- **Dondurmalı kurutucular**; Kurutulacak ürün dondurularak yüksek vakumlu odaya yerleştirilip ürün bünyesindeki suyun buhar fazına geçmesi sağlanır (Güngör, 1997; Topbaş, 1992).

1.2.3 Radyasyon tip kurutucular

Kurutulacak olan ürünün, bünyesindeki nemin atılması için gerekli olan ısı infrarüj ışın kaynağından gerekli ısıyı alarak kurutma sağlanır. Radyasyon yöntemi ile birim yüzeye transfer edilen ısı yükü konveksiyon yöntemi ile yapılan ısı transfer yükünde fazladır. Bu tür kurutucular ürün yükleme ve alma yöntemleri yapısal olarak konveksiyon ve temas tip kurutuculara benzemektedir (Güngör, 1997; Topbaş, 1992).

1.3 İnfrared Kurutmanın Avantajları

Isının ışıkla taşınma şekli olup, güneş ışıklarının bir kısmına verilen addır. İnfrared ışıklarının diğer ışıklardan (sarı, mavi şekli vb.) farkı ise ısıyı diğerlerinden daha fazla taşıyabilmesidir. İnfrared ışınları turuncu renginde olup 0,76-300 mikrometre dalga boyu aralığındadır.

İnfared'in en büyük özelliği havayı ısıtmadan yani havayı aracı olarak kullanmadan doğrudan ürünü ısıtmasıdır.

Diğer kurutma tekniklerinde ana enerji kaynağı olarak fosil yakıtları kullanıldığından doğrudan ürün üzerine verilmesi sakıncalı olacağından kurutma işlemi için gerekli olan ısı enerjisi birincil enerji kaynağından ikincil bir enerji kaynağına aktarılarak kurutma sağlanır. İkincil enerji kaynağının sürekli olarak kurutma sıcaklığında tutulması için ek bir enerji, zaman ve işçilik vb girdilerle maliyet yükselmektedir. Fakat infrared ışık enerji kaynağı birincil enerji kaynağı durumundadır ve doğrudan ışık tarafından görülen yüzeylere ısı transferi olduğundan diğer ısıtma sistemlerine göre infrared ışığı ile yapılan kurutmaya ekonomik üstünlük kazandırmaktadır.

Fosil enerjisi kaynaklı taşınım ve iletimle yapılan kurutmada enerji kaynağı

çevresel kirlenmelere sebebiyet vererek küresel ısınma vb. sonuçlar doğurmaktadır, buna karşın infrared enerji kullanarak yapılan kurutma sisteminde tüketilen ana enerji kaynağı elektrik enerjisi olması sebebiyle çevreye herhangi bir olumsuz etki yapmamaktadır.

Meyve ve sebzeler, insan beslenmesinde yaşamsal gerekliliği olan protein ve vitaminlerin karşılanmasında büyük rol oynamaktadır. Genel olarak tüketimi taze ve kurutulmuş olarak yapılmaktadır. Kırmızı biber ülkemiz için başlıca temel tarım ürünlerinin içinde yer almaktadır. Gerek kurutulmuş gerekse yaş ürün olarak tüketimi ve ihracatı büyük boyuttadır.

Meyve ve sebzelerin kurutulması önemli süreç olarak görülmektedir. Kurutma, yöntem olarak çoğu bölgede güneş altı açık havada yapılmakta, meyve ve sebzenin cinsine göre farklı süreçlerde tamamlanmaktadır. Bu klasik yöntem bazı temel dezavantajları beraberinde getirmektedir. Bu dezavantajlar; kurutma alanına serilmiş olan ürünlerin tekdüze olarak kurutulamaması, kurutma için geniş alanlara ihtiyaç duyulması, alanın kontrol zorluğu, uzun kurutma süresi, yüksek işçilik girdileri, iklimsel olumsuzlukları, alanın ve ürünün çevresel kirlenmelerden korunamaması olarak sıralanabilir.

Güneş ışınlarının farklı dalga boylarında olması kurutulan ürünün kimyasal yapısını, rengini ve gıda hijyenini değiştirmektedir (Öztekin ve diğ., 1999, Doymaz ve Pala, 2002, Ergün ve Tarhan, 2006). Bu olumsuzluklar nedeniyle bazı araştırmacılar tarafından bazı kurutma teknikleri (sıcak hava ile kurutma vb) geliştirilmiştir. Kurutma işlemi süreç olarak büyük enerji ihtiyacına gerek duyan bir işlemdir, bu nedenle yeni kurutma sistemlerinin geliştirilmesi, yeni kurutucu tasarımlarının yapılması, yeni enerji kaynaklarının kullanımının araştırılması, enerji girdilerinin düşürülmesi, çevresel kirlenme etkisi olmayan yöntemlerin araştırılması gerekmektedir. Bazı üstünlüklerinden (kurutma süresi, enerji kullanım etkinliği vb.) dolayı infrared ısı kaynaklarının kurutma amacıyla kullanılabileceği ifade edilmiştir (Strumillo ve Kurda, 1986; Lewis, 1996.).

İnfrared kurutma teknolojisi geleneksel kurutma teknolojisinden daha yüksek enerji etkinliği, daha kısa kurutma süresi ve daha iyi ürün kalitesine sahiptir. Choa ve Chou (2003) ve Sandu (1986) infrared kurutmanın kırsal alanlar için düşük maliyetli bir kurutma yöntemi olduğunu belirtmiş ve düşük yatırım maliyeti, kolay kurulum,

ısıtma ve kurutmada yüksek hız, basit ekipman gereksinimi gibi bazı avantajlara sahip olduğunu ifade etmektedirler. İnfrared kurutma son yıllarda dikkate alınmaya başlanmıştır. İnfrared kaynaklarla çeşitli tarım ve gıda maddelerinin kurutulmasına yönelik çok sayıda deneysel çalışma yapılmıştır bunlar; soğan (Mongpraneet ve diğ., 2002); havuç ve sarımsak (Baysal ve diğ., 2003); elma dilimleri (Nowak and Lewicki, 2004); çeltik (Das ve diğ., 2004a, 2004b); havuç ve patates (Hebbar ve diğ., 2004); soğan dilimleri (Jain and Pathare, 2004); çeltik (Amaratunga ve diğ., 2005); armut, havuç, tatlı mısır (Pan ve diğ., 2005); tatlı patates (Lin ve diğ., 2005); elma dilimleri (Togrul, 2005); soğan dilimleri (Sharma ve diğ., 2005a, 2005b; Kumar ve diğ., 2006; Pathare ve Sharma, 2006); şeftali (Wang ve Sheng, 2006); muz dilimleri (Nimmol ve diğ., 2007); ve tatlı patates dilimleri (Lin ve diğ., 2007).

Bununla beraber yapılan literatür araştırma çalışmalarında, kırmızı biberin ve pırasanın infrared ısı kaynakları ile kurutulmasına yönelik herhangi bir çalışma bulunamamıştır.

Bu çalışmada;

- Kırmızı biber, elma ve pırasının infrared enerji ile kurutulması,
- Kırmızı biber, elma ve pırasanın kuruma eğrileri ve kuruma hızı üzerine infrared güç ve hava hızının etkilerinin değerlendirilmesi;
- Kuruma zamanı, özgül enerji tüketimi ve renk (L, a, b, ΔE, kroma, hue açısı), büzülme, rehidrasyon oranı, askorbik asit (C vitamini) gibi bazı parametreler üzerine infrared güç ve hava hızının etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışma yapılırken önceki yapılan benzer çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalar özet olarak aşağıda verilmiştir.

Olgun (1997) yaptığı çalışmada fındığın güneş enerjisi ve konveksiyon yöntemleriyle kurutulması sağlanarak iki ayrı kurutma yönteminde elde edilen kurutma sürelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Deney sonucunda fındığın güneşte kurutma süresini normal şartlarda 72 h olarak elde ederken, ek ön konveksiyon ısıtma ile fındığın kurutma süresini 28 h olarak elde etmiştir.

Doymaz ve Pala (2002) kırmızı biberin kurutulması için yapmış oldukları çalışmada, kurutmaya verilmeden önce değişik oranda çözücü kimyasallar emdirilerek kurutma sonucu ürün karakteristiklerini incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda %2 ethyl oleate ve %5 K_2CO_3 oranında ve 50 ^oC kurutma sıcaklığında ürün renk kalitesinin uygun olduğu görülmüştür.

Mongpraneet ve diğ., (2002) uzun dalga infrared enerjisinden yararlanarak vakum ve konveksiyon kurutma yöntemlerini kullanarak soğan kurutma çalışmalarında, soğanın kurutma karakteristiklerini, rehidrasyon özelliklerini, büzülmesi ve renk gibi kalite kriterlerini incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda 10,1 g su/g kuru madde den 0,05 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar konveksiyon tip kurutmada rehidrasyon potansiyelinin yükseldiği, büzülmenin sabit kaldığı ve renk değerlerinin düştüğü görülmüştür.

Durmuş ve Kurtbaş (2002) Elazığ yöresinde kayısıların havalı güneş kollektörleriyle kurutulması ve kollektör verimi saptaması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada havalı güneş kolektörü ondülin yüzey profilli yeni bir tip olarak tasarlanarak kurutma ortamındaki hava güneş enerjisi ile ısıtılarak ürün kurutulması sağlanmıştır. Kurutma hava debisi ve sıcaklığı değiştirilerek; kurutma hızının kurutucu hava hızına, kollektör performansının da kurutucu hava sıcaklığına ürünün et kalınlığına ve temas eden yüzey büyüklüğüne bağlı olduğu görülmüştür.

Kavak-Akpınar ve diğ. (2003) konveksiyon yöntemiyle kurutma yapan siklon tip kurutucuyla elma dilimlerinin kurutulması ve kuruma eğrilerinin matematiksel modelinin literatür değerleri ile karşılaştırılması üzerine çalışma yapmışlardır. Siklon tip kurutucuda 60, 70 ve 80 ^oC kurutma havası sıcaklığında 1,0 ve 1,5 m/s kurutma havası hızında 12,5 ve 8 mm ürün tabaka kalınlığında denemeler yapmışlar. 12,5 mm

ürün kalınlığında kuruma süresini 280- 540 dak arasında, 8 mm ürün kalınlığında ise kuruma süresini 180- 320 dak olarak elde etmişler.

Koç ve diğ. (2003) kırmızı biberin kurutulması için güneş enerjisi ile çalışan bir kurutucu tasarımı yapmış ve konveksiyonel olarak kırmızı biber kurutmada güneş kolektörünün performansını incelemişlerdir. Çalışmada kurutma hava hızı 1,25 m/s olarak ayarlanmış ve ürün nem oranı %20'nin altına düşene kadar kurutma işlemi yapılarak Kolektör verimin %45, sistemin kurutma verimi ise %31 olarak bulunmuştur.

Hebbar ve diğ. (2004) sebzelerin kurutulması için infrared ve sıcak havalı kombine olarak çalışan kurutucu tasarımını amaçlamışlar. Bu çalışmada kombine kurutmada 80 C^o kurutma havası sıcaklığında ve 1m/s kurutma hava hızında diğer yöntemlere göre kurutma süresinin %48 azaldığı ve aynı zamanda enerji tasarrufunun diğer koşullara göre %63 azaldığı görülmüştür.

Das ve diğ. (2003) bu çalışmada kurutmada kurutulacak ürün tepsisi titreşimi sağlanarak infrared ışınlarıyla çeltik tanelerinin kurutma performansları incelenmiştir. Deney sonucunda kurutma hızının enerji kaynağının ürüne olan mesafesine, yakınlığına, birim alan enerji yoğunluğuna göre düştüğü görülmüştür.

Akosman ve Kalender, (2004) soya fasulyesinin tepsili konveksiyon tip kurutma yöntemiyle kurutma karakteristiğini araştırmışlar. 30-50 ^oC kurutma sıcaklığı ve 0,5, 1,0 ve 1,5 m/s kurutma hava hızlarında kurutma denemeleri gerçekleştirmişlerdir. Kurutma hızının, hava hızı ve kurutma sıcaklığının yükselmesiyle arttığı görülmüştür.

Nowak ve Lewicki (2004) eşit etki değerine sahip konveksiyonel ve infrared kurutucu kullanarak elma dilimlerinin kurutma karakteristikleri incelemişlerdir. Bu çalışmada kurutma kinetiğinin infrared kaynağının mesafesine ve hava hızına bağlı olduğu görülmüştür.

Sharma ve diğ., (2005a) infrared ve konveksiyon yöntemiyle soğan dilimlerinin değişik hız ve farklı infrared güç değerleri altında kuruması ile ürün kuruma kinetiği incelenmiştir. 300, 400 ve 500 W infrared gücünde, 35, 40 ve 45 ^oC kurutma sıcaklığında ve 1,0 m/s, 1,25 m/s ve 1,5 m/s kurutma hava hızında denemeler yapılmıştır. 300 ve 400 W güçte, 35-45 ^oC de ve 1,0 ve 1,5 m/s hızda yapılan denemelerin, diğer enerji, sıcaklık ve hızda yapılan denemelere nazaran

kurutma sürelerinin 2,25 kat düştüğü görülmüştür

Sacilik ve Elicin, (2006) ince dilimlenmiş organik elmaların konveksiyon yöntemiyle kurutularak kurutma karakteristikleri incelenmiştir. 5 ve 9 mm kalınlığında elma dilimlerinin 40, 50 ve 60 ^{o}C kurutma havası sıcaklığında konveksiyon kurutma denemeleri yapılmış. Ürün kuruma karakteristikleri üzerine kurutma hava sıcaklığı ve ürün dilim kalınlığının etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Wang ve Sheng (2006) çalışma infrared sonrası mikrodalga yöntemiyle şeftali kurutulmasını amaçlamaktadır. Çalışmada mikrodalga ve infrared enerjilerinin artmasıyla şeftalinin dehidrasyon oranın yükseldiği, sistem enerji tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir.

3 MATERYAL ve YÖNTEM

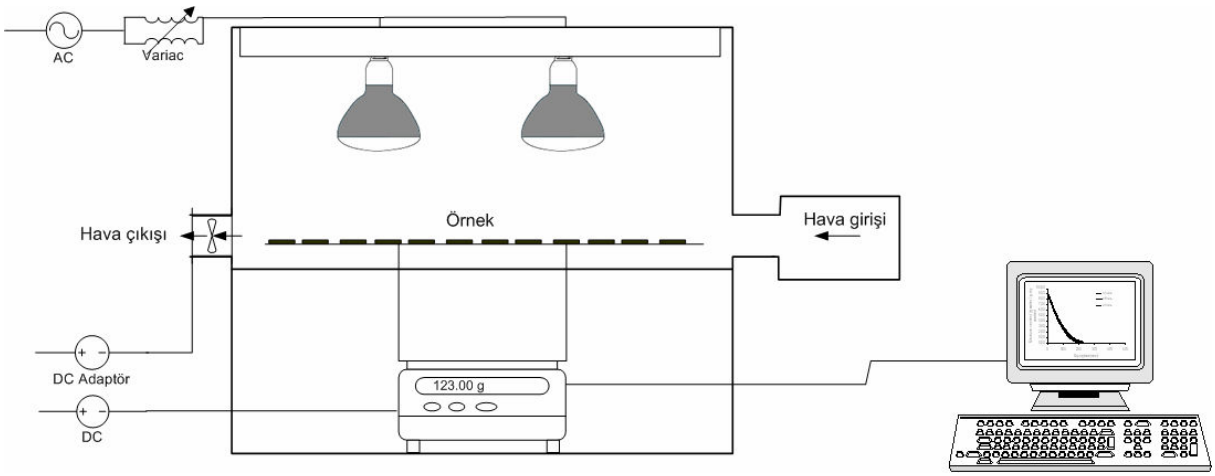
3.1 Materyal

Ülkemizde üretimi yapılan ticari değeri yüksek ve aynı zamanda değişik yöntemlerle kurutma işlemi uygulanan üç ürün (Kırmızı biber, elma, pırasa) deneme materyali olarak seçilmiştir. Kurutma için seçilen bu ürünler bölgesel bir marketten alınarak deneme zamanına kadar +4 ^{o}C de muhafaza edilmiştir.

3.1.1 Deneme düzeneği

Bu çalışma için geliştirilen kurutma düzeneği, kurutma kabini 500 x 300 x 500 mm boyutlarında ve 2 mm et kalınlığında iç kısmı ışık yansıtıcı alüminyum folyo ile kaplanmış ürün yüklenmesi ve kontrol için tek kapılı olarak imalatı yapılmıştır (Şekil 1). İnfrared ısı kaynağı olarak 250 W gücünde 2 adet infrared lamba kurutma yüzeyine 20 cm aralıkta kabin tavanına montaj yapılmıştır. Lambalardan farklı infrared güç değerleri elde etmek için lamba enerji besleme hattına bir voltaj değiştirici bağlanmıştır. Üründen buharlaştırılan nemin uzaklaştırılması için 3 adet doğru akımla çalışan fan kullanılmıştır. Fanların sağlamış olduğu hava akımının hızını değiştirmek için bir adet doğru akım adaptörü kullanılmıştır.

Kurutma sırasında örnekler için taşıma platformu olarak tel ızgaradan yapılmış bir adet kurutma tepsisi kullanılmıştır. Kurutma tepsisi, kurutma sırasında örneğin kütle kaybının belirlenmesi için dijital bir terazi üzerine yerleştirilmiştir. Kurutma sırasında örnekte meydana gelen ağırlık değişiminin kaydedilmesi için Balint (Precisa Instruments AG) bilgisayar programı kullanılmıştır.



Şekil 1. Ürün kurutma düzeneği

3.1.2 Denemelerde kullanılan diğer alet ve cihazlar

1. Boyutsal ölçümler için 0,01 hassasiyetli dijital kumpas,
2. Ortam sıcaklık, neminin ve kurutma havası sıcaklık ve neminin ölçülmesi için HOBO H08Temp/RH/2x External Channel ölçüm probu ve BoxCar 3.7 bilgisayar yazılımı,
3. Hava hızının ayarlanması için SILVA marka Alba Windwatch Model hava hızı ölçer kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

Denemeler 300, 400 ve 500 W infrared lamba gücünde ve 1,0, 1,5 ve 2,0 m/s hava hızında gerçekleştirilmiştir. Tüm denemelerde giriş hava sıcaklığı ortalama 20±2 ^{o}C olarak tespit edilmiş ve giriş havasına herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmamıştır. Her denemeden önce kurutma koşullarının sağlanması amacıyla kurutucu 10 dakika boşta çalıştırılmıştır.

3.2.1 Örneklerin hazırlanması

Kurutma denemesi başlamadan önce deneme için alınan örnek ürün laboratuar ortamına alınmış ve ortam sıcaklığına ulaşmasının sağlanması için 2-3 saat bekletilmiştir. Ürünlerin ilk nem içerikleri yaş esasa (yb) göre belirlenmiş (AOAC, 1990) ve kırmızı biber için %90 (yb), elma için %80 (yb) ve pırasa için %90 (yb)

olarak tespit edilmiştir.

Kurutma denemesi için laboratuar ortamına alınan ve ortam sıcaklığına ulaşan örnekler keskin bıçaklarla kırmızı biber ve elma 20x20± 0.5 mm dikdörtgen şekilli, pırasa ise 6±0.5 mm dilim şeklinde eşit büyüklükte parçalara ayrılmışlardır. Kurutma öncesi ve sonrası kalite farklılığının gözlenmesi için kırmızı biber ve elma parçalarından 10 tane seçilmiş ve numaralandırılmıştır. Dilimlenmiş örnekler tekdüze bir şekilde kurutma tepsisine (400x250 mm) yerleştirilmiştir.

3.2.2 Kuruma kinetikleri

Kuruma zamanı; örneklerin ilk nem içeriklerinden son nem içeriklerine kadar ulaşıncaya kadar geçen süre olarak tarif edilmiştir. Örnekler için hedeflenen kurutma sonrası nem içerikleri; kırmızı biber için %12 (yb), elma için %12 (yb) ve pırasa için %12 (yb) dir.

Değişik araştırıcılar kırmızı biberin %10-14 (yb) nem içeriğine kadar ticari amaçlar için kurutulması gerektiğini önermişlerdir (Öztekin ve ark., 1999; Doymaz ve Pala, 2002; Kavak-Akpınar ve ark., 2003).

Örneklerin kuruma hızı; birim zamanda örnekten uzaklaştırılan su miktarı olarak tarif edilmiştir (Mongpraneet ve diğ., 2002; Sharma ve diğ., 2005b).

3.2.3 Özgül enerjinin belirlenmesi

Özgül enerji tüketimi örneklerin kuruması sırasında, örneklerden birim miktarda suyu uzaklaştırmak için gerekli enerji miktarı olarak tarif edilmiş, MJ/kg olarak ifade edilmiştir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Das ve diğ., 2004a; Wang ve Sheng, 2006; Varith ve diğ., 2007).

$$E_s = \frac{E_T}{W_R}$$

Burada;

E_s : Özgül enerji tüketimi (MJ/kg),

E_T : Toplam enerji (MJ),

W_R : Örnekten uzaklaştırılan suyun kütlesi (kg)

3.2.4 Büzülme katsayısının belirlenmesi

Kurutmadan önce ve sonra örneklerin hazırlanması sırasında numaralandırılan 10 tane örnek parçanın boyutları ölçülmüş ve kurutma öncesi ve sonrası hacimleri hesaplanmıştır. Kurutma öncesi ve sonrası boyutsal özelliklerinden yararlanarak örneklerin büzülme katsayıları aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$S = \frac{V_d}{V_f}$$

Burada,

S : Büzülme oranı,

V_d : Örneğin kurutma sonrası hacmi (mm^3)

V_f : Örneğin kurutma öncesi hacmi (mm^3)

Kırmızı biberin kurutma sonrasında düzgün bir geometrik şekle sahip olmamasından dolayı büzülme sadece kalınlık değişimi olarak ele alınmıştır. Pırasanın enine dilimlenmesi sonucu büzülme oranı incelenmemiştir.

3.2.5 Rehidrasyon özelliklerinin belirlenmesi

Kurutulmuş gıda maddelerinin kalite parametrelerinden birisi de rehidrasyon özelliğidir. Kurutulmuş örneklerden alınan 10 g örnek 100 ml lik beher içerisindeki 50 ml hacmindeki ve 45 ^oC saf su içerisine bırakılmış ve 5 h izotermik koşullarda bekletilmiştir. 5 h sonra beherden alınan örneklerin üzerinde bulunan su kağıt havlu ile alınmış ve örneğin tekrar ağırlığı tartılmıştır. Rehidrasyon öncesi ve sonrası ağırlıklardan yararlanarak kurutulmuş örneklerin rehidrasyon katsayıları aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir (Kim ve Telodo, 1987, Kaymak ve Ertekin, 2002, Sharma ve diğ., 2005a).

$$R_R = \frac{M_R}{M_D}$$

Burada,

R_R : Rehidrasyon oranı,

M_D : Kuru örneğin ağırlığı (g)

M_R : Nemlendirilmiş örneğin ağırlığı (g)

3.2.6 Renk parametrelerinin belirlenmesi

Kurutma öncesi ve sonrası örneklerin renk ölçümleri Minolta CR-200 Chroma Meter (Minolta Co., Osaka, Japonya) renk ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Boyut ölçümleri için numaralandırılmış 10 adet parçanın kurutma öncesi ve sonrasında L (aydınlık), +a (kırmızılık) ve +b (sarılık) değerleri ölçülmüştür.

Ölçülen bu renk değerlerinden yararlanarak örneklerin toplam renk değişimi (ΔE), Kroma (C), hue açısı ve R (a/b) değerleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplamıştır.

$$\Delta E = \sqrt{(L_f - L_d)^2 + (a_f - a_d)^2 + (b_f - b_d)^2}$$

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$Hue\ açıue = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$R = \frac{a}{b}$$

4 ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1 Kuruma Süresi ve Kuruma Kinetikleri

4.1.1 Kuruma süresi

Kırmızı biber, elma ve pırasa dilimlerinin ilk nem içeriklerinden (biber için 9,00 g su/g kuru madde, elma için 7,50 g su/g kuru madde, pırasa için 9,00 g su/g kuru madde) güvenli bir şekilde depolanabilmesi için gerekli nem içeriğine (biber için 0,18 g su/g kuru madde, elma için 0,18 g su/g kuru madde, pırasa için 0,18 g su/g kuru madde) kadar 300, 400 ve 500 W infrared lamba gücünde ve 1,0, 1,5 ve 2,0 m/s hava hızında yapılan kurutma denmeleri sonucunda elde edilen kuruma süreleri Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Ürünlerin kuruma süreleri (dak)

İnfrared lamba gücü	Hava hızı	Kırmızı biber	Elma	Pırasa
300 W	1,0 m/s	315	198	305
	1,5 m/s	392	203	329
	2,0 m/s	455	274	341
400 W	1,0 m/s	213	171	195
	1,5 m/s	238	200	233
	2,0 m/s	297	261	244
500 W	1,0 m/s	196	137	183
	1,5 m/s	200	164	229
	2,0 m/s	230	170	241

Kurutma denemelerinde en kısa kuruma süresi; kırmızı biber dilimleri için 1,0 m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde 196 dak, elma dilimleri için 1,0 m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde 137 dak, pırasa dilimlerinde ise 1,0 m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde 183 dak olarak elde edilmiştir. En uzun kurutma süresi; kırmızı biber dilimleri için 2,0 m/s hava hızında ve 300 W infrared lamba gücünde 455 dak, elma dilimleri için 2,0 m/s hava hızında

ve 300 W infrared lamba gücünde 274 dak, pırasa dilimlerinde ise 2,0 m/s hava hızında ve 300 W infrared lamba gücünde 341 dak olarak elde edilmiştir.

İnfrared lamba gücünün ve hava hızının değişimi kuruma süresini etkilemiştir. Hava hızının sabit tutulduğu koşullarda kuruma süresi infrared lamba gücünün artmasıyla kısalmıştır. Bununla beraber infrared lamba gücünün sabit olduğu koşullarda hava hızının artmasıyla kurutma süresi uzamıştır. Hava hızının artmasıyla kuruma ortamındaki ürünün yüzeyine temas eden hava miktarı artmış ve ürünün yüzeyinde soğumaya neden olmuş ve böylece kuruma süresinin artmasına sebep olmuştur. Kuruma süresi üzerine infrared lamba gücü ve hava hızının etkilerinin regrasyon analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ürünlerin kuruma sürelerinin belirlenmesi için eşitlikler geliştirilmiştir (Tablo 3.)

Tablo 3. İnfrared lamba gücü ve hava hızı ile kuruma süresi arasındaki ilişki

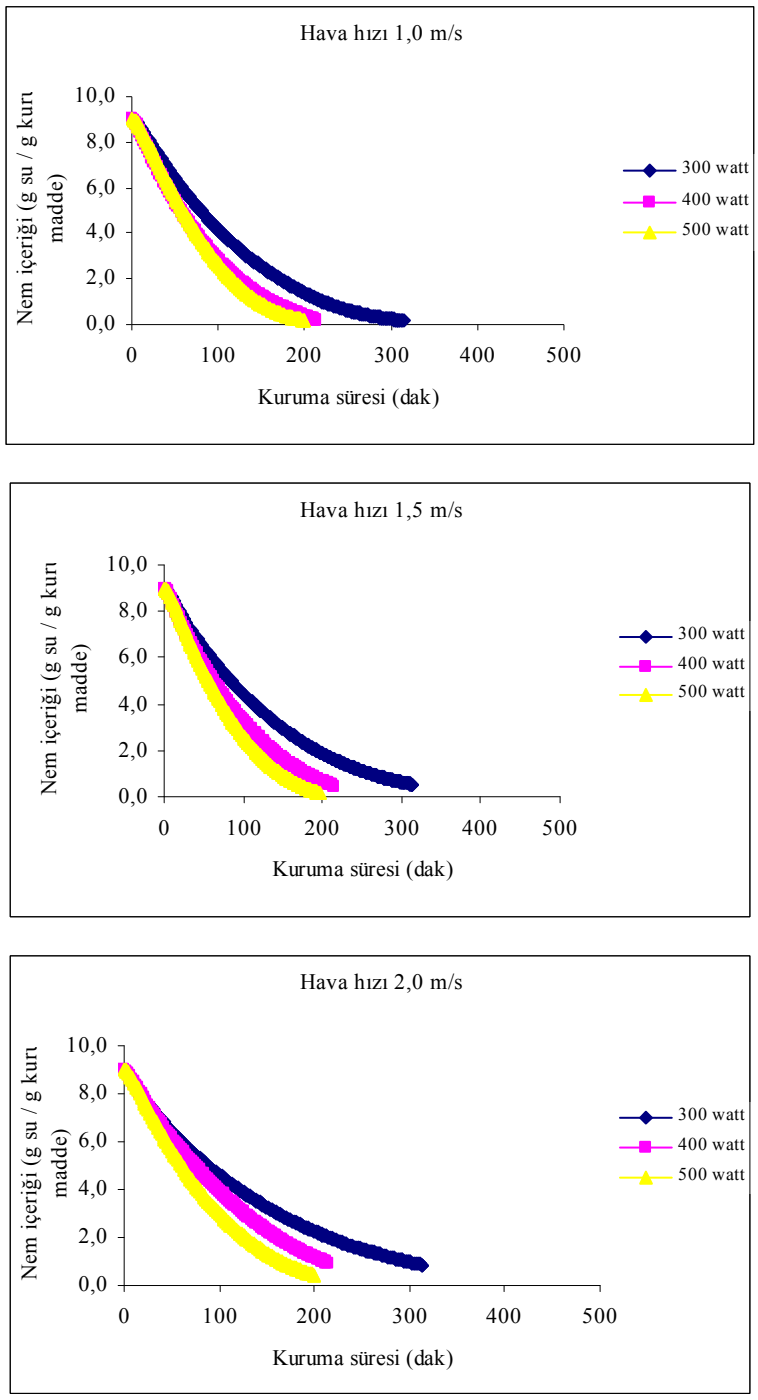
Ürün	**Model $Y=a+bX_1+cX_2$**	**R^2**
Kırmızı biber	$509 - 0{,}892IP + 86{,}3v$	0,7107
Elma	$234 - 0{,}34IP + 66{,}3v$	0,6197
Pırasa	$399 - 0{,}537IP + 47{,}7v$	0,6069

IP: infrared lamba gücü (W); *v*: hava hızı (m/s); R^2: Regrasyon katsayısı.

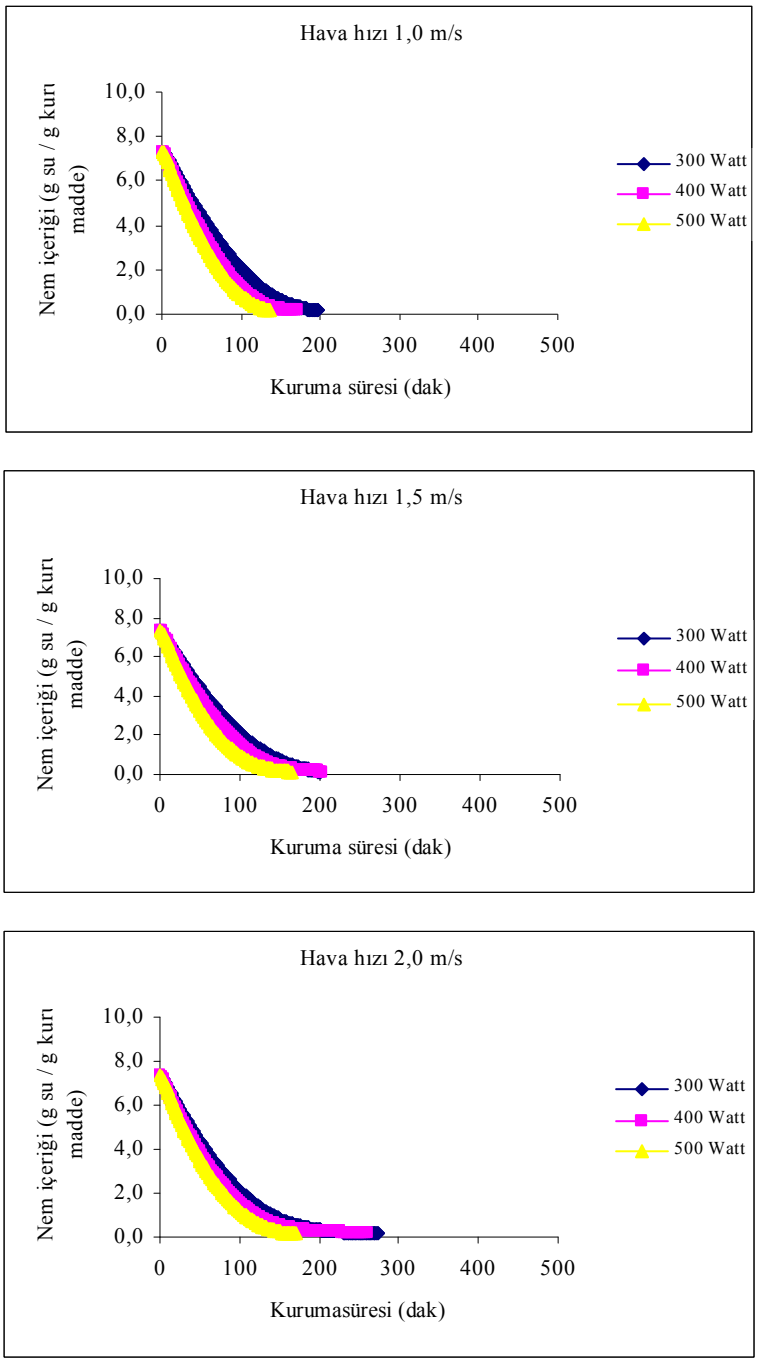
Sharma ve diğ. (2005b) 300, 400 ve 500 W infrared güçte soğan dilimlerinin kuruması için gerekli zamanı sırasıyla 540, 420 ve 240 dak olarak elde etmişlerdir. Das ve diğ. (2004) üç çeltik çeşidi için, Afzal ve Abe (1999) patates için, Sharma ve diğ. (2005b) ve Pathare ve Sharma (2006) soğan dilimleri için infrared radyasyon yoğunluğu ya da infrared gücün artmasıyla kuruma süresinin kısaldığını belirtmişlerdir. Kooli ve diğ. (2007) açık hava koşullarında ve kapalı ortam (greenhouse) koşullarında kırmızı biberin kurutma zamanını sırasıyla 117 h (5 gün) ve 72 h (3 gün) olarak elde etmişlerdir. Sıcak havalı kurutucu kullanarak iki kurutma sıcaklığında kırmızı biberin kurutulması için yapılan bir çalışmada %87,25 (wb) ilk nem içeriğinden %10 (wb) son nem içeriğine ulaşıncaya kadar gerekli zaman 160 ve 300 dak olmuştur (Kavak-Akpınar ve diğ., 2002). Doymaz ve Pala (2002) sıcak havalı kurutucuda kırmızı biber ve dilimlerinin kuruma hızını artırmak için değişik çözeltiler kullanmışlar ve kuruma zamanının 3,34 ile 26,50 h arasında değiştiğini saptamışlardır.

4.1.2 Kuruma kinetikleri

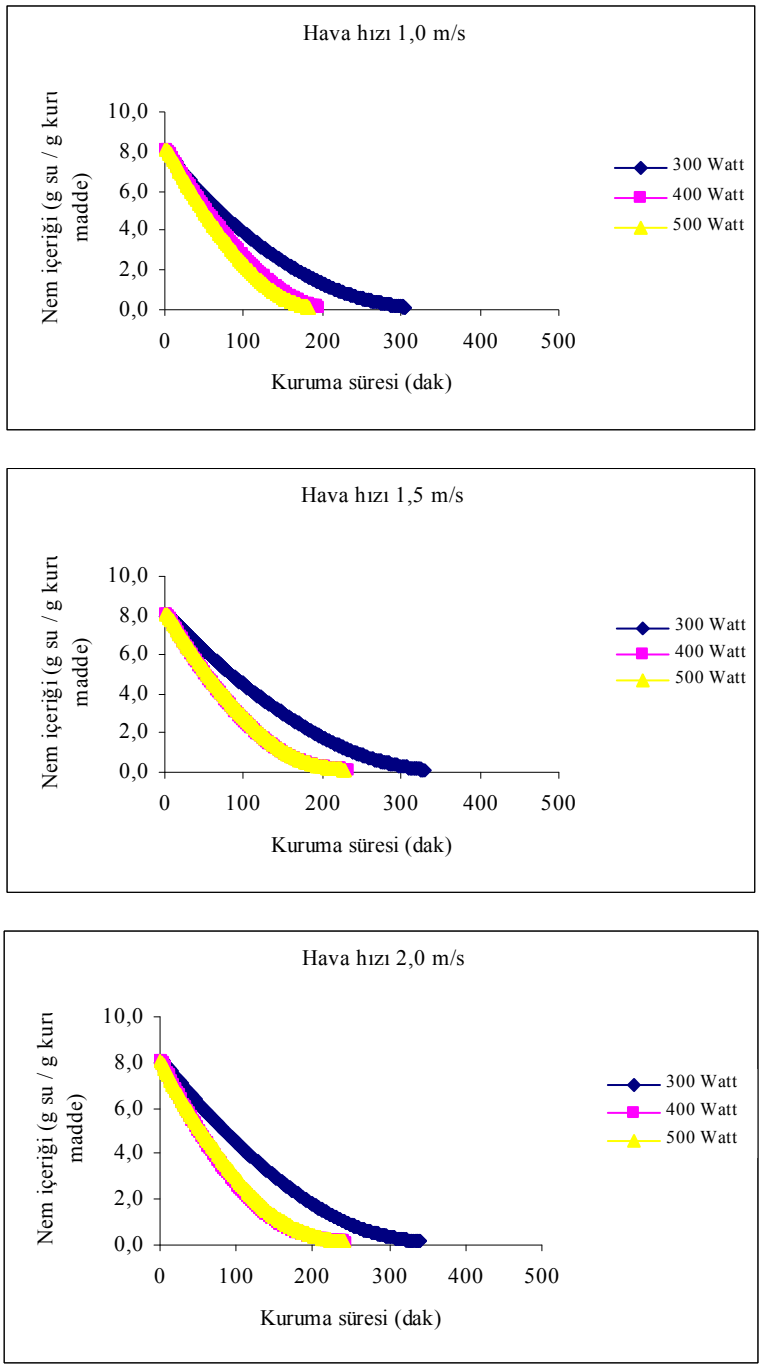
Kırmızı biber, elma ve pırasanın kuruma eğrileri (ürün nem içeriği- kuruma süresi) Şekil 2, Şekil 3. ve Şekil 4 ‘de verilmiştir.



Şekil 2. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında kırmızı biberin nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

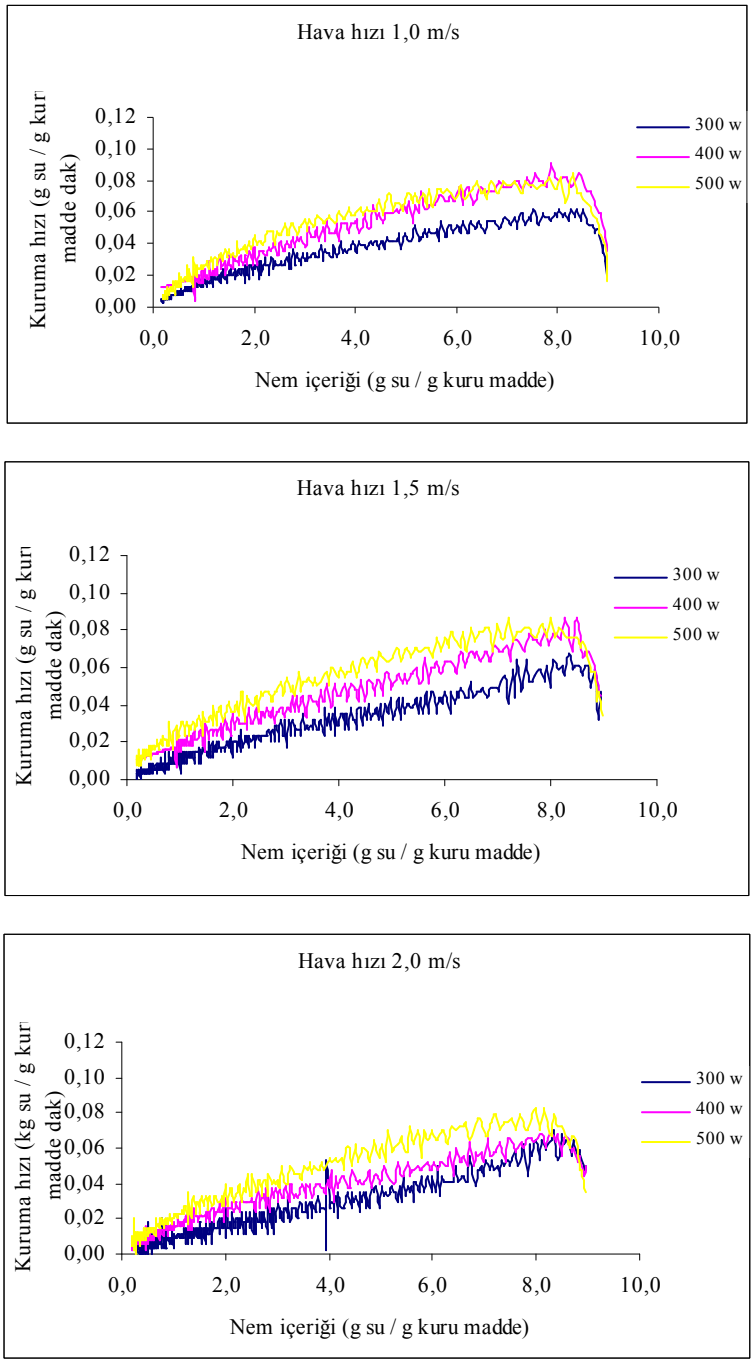


Şekil 3. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında elmanın nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



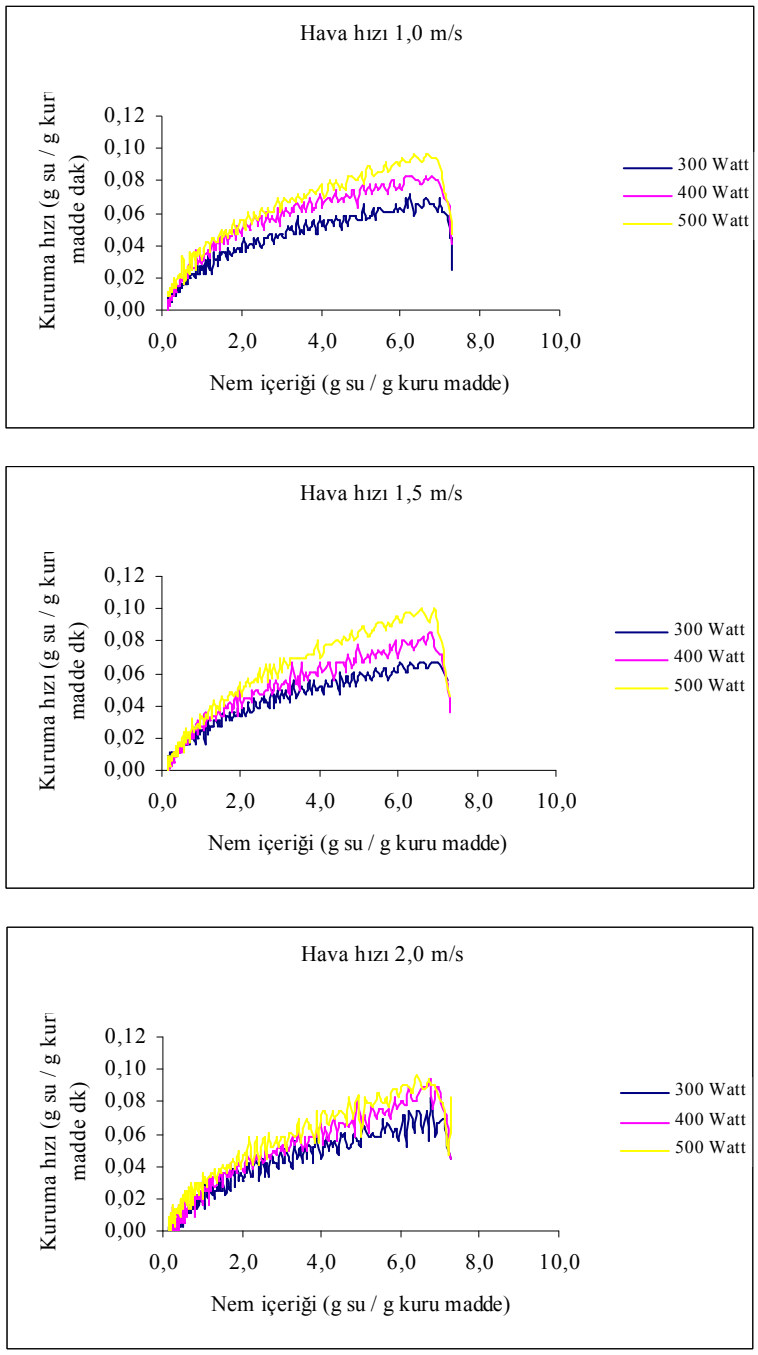
Şekil 4. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında pırasanın nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

Kırmızı biberin kuruması sırasında kuruma hızının ürününün nem içeriği ile değişimi Şekil 5.'de görülmektedir. İnfrared lamba gücünün ve hava hızının farklı kombinasyonları altındaki bütün kuruma denemelerinde kırmızı biberin kuruma hızı, kurumanın başlangıcında kısa süreli bir artış göstermesine rağmen daha sonra azalan bir eğilim göstermektedir. Sabit hızda bir kuruma eğilimi meydana gelmemiştir. İnfrared lamba gücü kırmızı biberin kuruma hızını etkilemiştir. Sabit tutulan bir hava hızında infrared lamba gücü artarken kuruma hızı da artış göstermiştir.



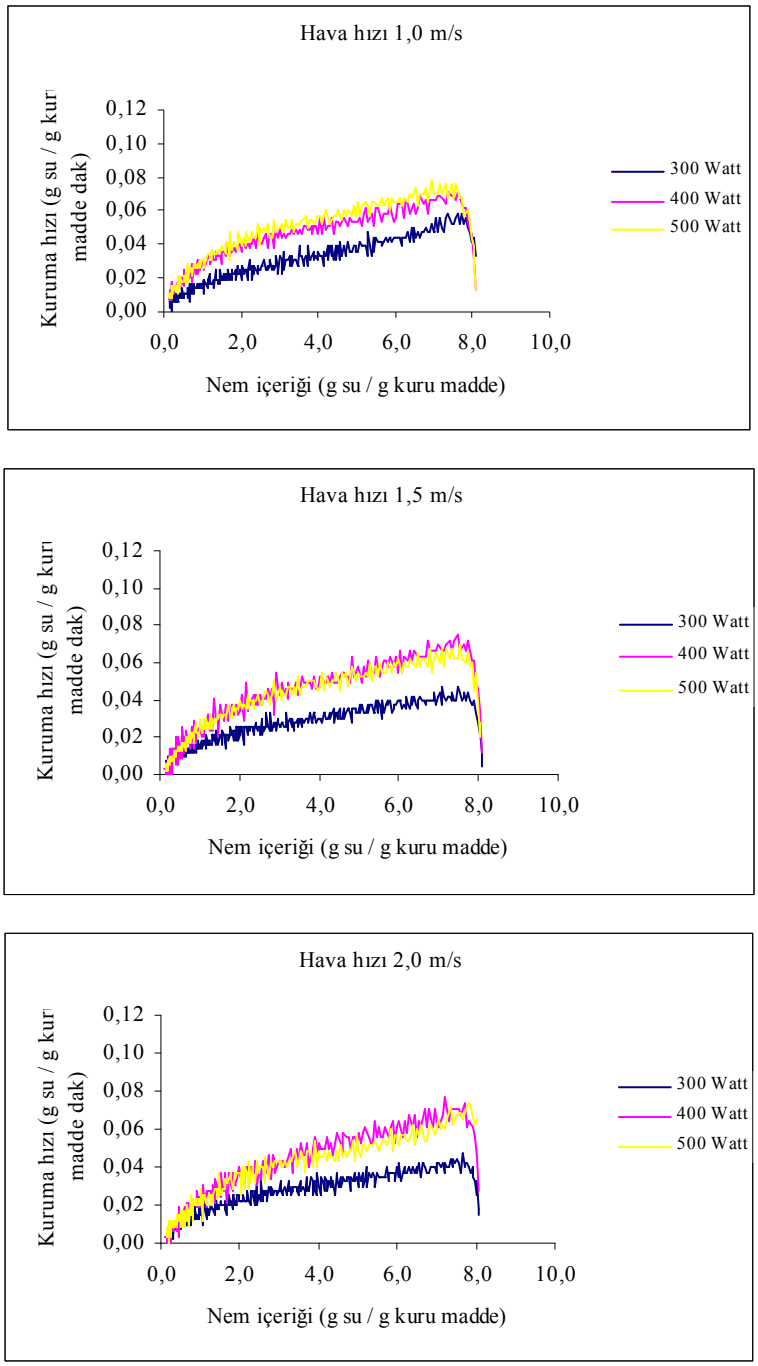
Şekil 5. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında kırmızı biberin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi

Elma dilimlerinin kuruması sırasında kuruma hızının ürününün nem içeriği ile değişimi Şekil 6.'de görülmektedir. İnfrared lamba gücünün ve hava hızının farklı kombinasyonlar altındaki bütün kuruma denmelerinde elma dilimlerinin kuruma hızı kurumanın başlangıcında kısa süreli bir artış göstermesine rağmen azalan oranlı bir eğilim göstermektedir. Kurumanın son aşamalarında özellikle ürün nem içeriğinin 0,02 g su/g kuru madde den daha düşük nem içeriklerinde kuruma hızı bütün infrared lamba gücü değerlerinde birbirine yakın olmuştur. 2,0 m/s hava hızında üç farklı infrared lamba gücünde elde edilen kuruma hızı değerleri ve eğilimleri çok yakın olmuştur. Elma dilimlerinin kurutulmasında sabit hızda bir kuruma eğilimi meydana gelmemiştir. İnfrared lamba gücü elma dilimlerinin kuruma hızını etkilemiştir. Sabit tutulan bir hava hızında infrared lamba gücü artarken kuruma hızı da artış göstermiştir.



Şekil 6. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında elmanın kuruma hızının nem içeriği ile değişimi

Pırasa dilimlerinin kuruması sırasında kuruma hızının ürününün nem içeriği ile değişimi Şekil 7.'de görülmektedir. Kırmızı biber ve elma dilimlerinin kuruma hızına benzer şekilde infrared lamba gücünün ve hava hızının farklı kombinasyonları altındaki bütün kuruma denemelerinde pırasa dilimlerinin kuruma hızı kurumanın başlangıcında kısa süreli bir artış göstermesine rağmen azalan oranlı bir eğilim göstermiştir. Ayrıca kırmızı biber ve elma dilimlerinde olduğu gibi hiçbir kombinasyonda sabit hızda bir kuruma eğilimi meydana gelmemiştir. İnfrared lamba gücünün pırasa dilimlerinin kuruma hızına etkisi incelendiğinde kırmızı biber ve elma dilimlerinden biraz farklı olduğu gözlenmiştir. Sabit tutulan bir hava hızında infrared lamba gücü artarken kuruma hızı da artış göstermiş fakat 400 ve 500 W infrared lamba gücünde elde edilen kuruma hızları birbirine çok yakın değerde ve eğilimde olmuştur.



Şekil 7. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında pırasanın kuruma hızının nem içeriği ile değişimi

Novak ve Lewicki (2004) elma dilimleri için, Mongpraneet ve diğ. (2002) soğan için, Das ve diğ. (2004) üç çeltik çeşidi için, Afzal ve Abe (1999) patates için, Sharma ve diğ. (2005a) ve Pathare ve Sharma (2006) soğan için ve Wang ve Sheng (2006) şeftali için kuruma periyodu ve infrared radyasyon yoğunluğu ya da infrared gücün artmasıyla kuruma hızının arttığını belirtmişlerdir.

4.2 Özgül Enerji Tüketimi, Büzülme ve Rehidrasyon

Kırmızı biber, elma ve pırasa dilimlerinin ilk nem içeriklerinden güvenli bir şekilde depolanabilmesi için gerekli nem içeriğine kadar 300, 400 ve 500 W infrared lamba gücünde ve 1,0, 1,5 ve 2,0 m/s hava hızında yapılan kurutma denmelerinde örnekten suyun uzaklaştırılması için gerekli özgül enerji miktarı Tablo 4.'de verilmiştir.

Tablo 4. Ürünlerin kurutulmasında özgül enerji tüketimi (MJ/kg)

İnfrared lamba gücü	Hava hızı	Kırmızı biber	Elma	Pırasa
300 W	1,0 m/s	16,62	13,67	19,18
	1,5 m/s	23,45	14,04	17,39
	2,0 m/s	27,31	19,00	19,15
400 W	1,0 m/s	17,02	16,42	15,01
	1,5 m/s	19,40	18,50	20,27
	2,0 m/s	21,27	24,21	22,56
500 W	1,0 m/s	17,65	15,81	18,02
	1,5 m/s	17,87	19,64	21,57
	2,0 m/s	19,51	19,50	25,84

Kırmızı biberin kurutulması sırasında suyun üründen uzaklaştırılması için ihtiyaç duyulan en yüksek özgül enerji tüketim 2,0 m/s hava hızında 300 W infrared lamba gücünde 27.31 MJ/kg , en düşük özgül enerji tüketimi 1,0 m/s hava hızında ve 300 W infrared lamba gücünde 16.62 MJ/kg olarak elde edilmiştir. Elma dilimlerinin kurutulmasında en yüksek özgül enerji tüketim 2,0 m/s hava hızında 400 W infrared lamba gücünde 24,21 MJ/kg, en düşük özgül enerji tüketimi 1.0 m/s hava hızında

300 W infrared lamba gücünde 13,67 MJ/kg olmuştur. Pırasa dilimlerinde ise en yüksek özgül enerji tüketim 2,0 m/s hava hızında 500 W infrared lamba gücünde 25,84 MJ/kg, en düşük özgül enerji tüketimi ise 1,0 m/s hava hızında ve 400 W infrared lamba gücünde 15,01 MJ/kg olarak elde edilmiştir.

Özgül enerji tüketimi üzerine infrared lamba gücü ve hava hızının etkileri üzerine regrasyon analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ürünlerin kurutulmasında tüketilen özgül enerji değerlerinin belirlenmesi için eşitlikler geliştirilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. İnfrared lamba gücü ve hava hızı ile özgül enerji tüketimleri arasındaki ilişkiler

Ürün	**Model $Y=a+bX_1+cX_2$**	**R^2**
Kırmızı biber	$19,80 - 0,0206IP + 5,60v$	0,74
Elma	$3,97 + 0,0137IP + 5,60v$	0,67
Pırasa	$5,74 + 0,0162IP + 5,11v$	0,87

IP: infrared lamba gücü (W); *v*: hava hızı (m/s); R^2: Regrasyon katsayısı.

Kırmızı biber dilimlerinin kuruma sırasında tekdüze bir şekil değişimi göstermemesinden dolayı genişlik ve uzunluk ölçümleri yapılamamıştır. Bu nedenle kırmızı biber dilimlerinin büzüşme katsayılarının değerlendirilmesinde sadece biber dilimlerinin kalınlık değişimlerinden yararlanılmıştır. Kırmızı biber ve elma parçalarının büzüşme katsayıları Tablo 6'da verilmiştir. Ön denemelerde pırasa parçalarının dairesel kesimlerinden dolayı kurutma sonrası oluşan şekil değişimleri anlamlı bir geometrik şekli vermediği için büzüşme özellikleri incelenmemiştir.

En büyük büzüşme katsayısı diğer bir deyişle en az şekil değiştirme kırmızı biber dilimleri için 1,0 m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde 0,263, elma dilimleri için 1,0 m/s hava hızında ve 400 W infrared lamba gücünde 0,286 olarak tespit edilmiştir. En düşük büzüşme katsayısı yani en fazla şekil değiştirme kırmızı biber için 2,0 m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde 0,162, elma dilimleri için 2,0 m/s hava hızında ve 300 W infrared lamba gücünde 0,200 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 6. Kırmızı biber kalınlık değişimi ve elma dilimleri büzüşme katsayıları (S)

İnfrared lamba gücü	Hava hızı	Kırmızı biber	Elma
300 W	1,0 m/s	0,212±0,049^{b}	0,255±0,0478^{a}
	1,5 m/s	0,203±0,071^{bc}	0,271±0,0477^{a}
	2,0 m/s	0,192±0,071^{bc}	0,253±0,0377^{a}
400 W	1,0 m/s	0,212±0,058^{b}	0,286±0,0471^{a}
	1,5 m/s	0,211±0,051^{b}	0,285±0,0469^{a}
	2,0 m/s	0,208±0,037^{bc}	0,242±0,0331^{a}
500 W	1,0 m/s	0,263±0,048^{a}	0,256±0,0646^{a}
	1,5 m/s	0,226±0,064^{ab}	0,270±0,0607^{a}
	2,0 m/s	0,162±0,024^{c}	0,200±0,0419^{a}

*Aynı kolonda aynı harfle işaretlenmiş rakamlar arasında $p<0,05$ için istatistiksel fark yoktur

Kırmızı biber dilimlerinin büzüşme katsayıları ele alındığında 300 W ve 400 W infrared lamba gücündeki bütün hava hızı koşullarında yapılan kurutma denemelerinde elde edilen ürün kalınlık değişimlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. İnfrared lamba gücünün sabit olduğu koşullarda büzüşme değeri hava hızının artmasıyla azalmaktadır yani hava hızının artmasıyla biber dilimlerinin kalınlık değişimi artmaktadır. Elma dilimlerinde ise bütün kurutma koşullarının istatistiksel olarak büzüşme katsayıları üzerine herhangi bir etkisi görülmemiştir.

Farklı kurutma koşullarında kurutulan kımızı biber ve elma parçalarının rehidrasyon oran Tablo 7'de görülmektedir. Pırasa dilimlerinin rehidrasyon özellikleri incelenmemiştir. En yüksek rehidrasyon değeri; kırmızı biber parçaları için 1,0 m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde 3,78, elma parçaları için 2,0 m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde 3,74 olarak belirlenmiştir. En düşük rehidrasyon değeri; kırmızı biber parçaları için 2,0 m/s hava hızında ve 300 W infrared lamba gücünde 2,10, elma parçaları için 1,0 m/s hava hızında ve 300 W infrared lamba gücünde 3,02 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 7. Kırmızı biber ve elma dilimlerinin rehidrasyon değerleri

İnfrared lamba gücü	Hava hızı	Kırmızı biber	Elma
300 W	1,0 m/s	3,73±0,01[a]	3,02±0,0478[b]
	1,5 m/s	2,66±0,02[d]	3,22±0,0478[b]
	2,0 m/s	2,10±0,05[g]	3,28±0,0478[b]
400 W	1,0 m/s	3,75±0,02[a]	3,58±0,0478[b]
	1,5 m/s	2,73±0,02[c]	3,47±0,0478[b]
	2,0 m/s	2,28±0,03[f]	3,48±0,0478[b]
500 W	1,0 m/s	3,78±0,02[a]	3,49±0,0478[b]
	1,5 m/s	2,83±0,03[b]	3,72±0,0478[b]
	2,0 m/s	2,40±0,02[e]	3,74±0,0478[b]

*Aynı kolonda aynı harfle işaretlenmiş rakamlar arasında $p<0,05$ için istatistiksel fark yoktur

Kırmızı biber rehidrasyon değerleri infrared lamba gücü ve hava hızının değişiminden etkilenmiştir. İnfrared lamba gücünün artmasıyla rehidrasyon katsayısı artarken hava hızının artmasıyla rehidrasyon oranında azalma görülmüştür. Elma parçalarında ise kırmızı biberde olduğu gibi infrared lamba gücünün artmasıyla rehidrasyon oranı artış göstermiştir. Fakat kırmızı biberdekinin tersine hava hızının artmasıyla elma parçalarının rehidrasyon değeride artış göstermiştir.

Taze ve kurutulmuş örneklere ait C-vitamini değerleri Tablo 8 ’de verilmiştir. elma parçalarının C-vitamini özellikleri incelenmemiştir.

Kırmızı biber dilimleri için 2,0 m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde 138,2 mg/100 g kuru madde değeriyle, pırasa dilimleri için 1,0 m/s hava hızında ve 300 W infrared lamba gücünde 185,1 mg/100 g kuru madde değeriyle en yüksek C-vitamini değerleri elde edilmiştir. En düşük C- Vitamin değerleri; kırmızı biber parçaları için 1,5 m/s hava hızında ve 400 W infrared lamba gücünde 30,85 mg/100 g kuru madde, pırasa dilimleri için 1,0 m/s hava hızında ve 400 W infrared gücünde 95,97 mg/100 g kuru madde olarak tespit edilmiştir.

Tablo 8. Kırmızı biber ve pırasanın C-vitamini değerleri (mg/100g)

İnfrared lamba gücü	Hava hızı	Kırmızı biber	Pırasa
300 W	1,0 m/s	134,82	185,1
	1,5 m/s	106,04	123,4
	2,0 m/s	123,82	138,8
400 W	1,0 m/s	135,51	95,97
	1,5 m/s	30,85	138,82
	2,0 m/s	122,68	107,97
500 W	1,0 m/s	101,09	123,4
	1,5 m/s	69,84	164,53
	2,0 m/s	138,20	107,07
	Taze	315,80	319,13

4.3 Renk Parametreleri

Gıda ve tarımsal materyallerin kalite parametrelerinden biriside renk özellikleridir. Çok fazla renk değişimleri ürün kalitesini etkileyerek pazarlamayı olumsuz şekilde etkileyecektir. Üç farklı infrared lamba gücü (300, 400 ve 500 W) ve üç değişik hava hızındaki (1,0, 1,50 ve 2,0 m/s) kurutma koşullarında kurutulan kırmızı biber ve elma parçalarının ve ayrıca kurutma öncesi kırmızı biber ve elma parçalarının L (parlaklık), a (kırmızı/yeşil), b (sarı/mavi) renk değerleri Tablo 9 ve Tablo 10'da verilmiştir. Pırasa parçalarının renk değerleri incelenmemiştir.

Kırmızı biberde, 300 W infrared lamba gücünde ve 1,0 ve 2,0 m/s hava hızı koşullarında kurutulan parçaların L(parlaklık) değeri kurutma öncesi taze ürünün parlaklığından daha düşük olmuş, diğer kurutma koşullarının hepsinde L değeri kurutma öncesi değerden yüksek olmuştur. Farklı koşullarda kurutulmuş kırmızı biber parçalarının a ve b değerlerinin hepsinin kurutma öncesi biber parçalarının değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Kırmızı biberin en yüksek L değeri 2,0 m/s hava hızında ve 400 W infrared lamba gücünde 39,16, en yüksek a değeri 1,0 m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde 45,41, en yüksek b değeri ise 1,0

m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde 21,41 olarak belirlenmiştir. En düşük L, a, b değerleri yani taze ürünün L, a, b değerlerine en yakın ise 300 W infrared lamba gücü ve 1,0 m/s hava hızının kullanıldığı kuruma koşullarında elde edilmiştir.

Tablo 9. Farklı kurutma koşullarında kırmızı biber parçalarının L, a, b değerleri

İnfrared lamba gücü	Hava hızı	L	a	b
300 W	1,0 m/s	34,82 ±2,91^{d}	38,11 ±5,02^{c}	14,85 ±3,84^{de}
	1,5 m/s	36,91±2,74^{abcd}	41,96 ±6,95^{abc}	18,18 ±6,91^{abcd}
	2,0 m/s	35,77 ±2,92^{cd}	39,99 ±5,17^{bc}	16,27 ±3,91^{bcde}
400 W	1,0 m/s	37,00 ±1,50^{abcd}	41,02 ±2,27^{abc}	16,61 ±2,07^{bcde}
	1,5 m/s	38,80 ±2,65^{ab}	43,74 ±3,72^{ab}	18,49 ±2,65^{abcd}
	2,0 m/s	39,16 ±2,35^{a}	45,00 ±5,29^{ab}	19,83 ±4,52^{ab}
500 W	1,0 m/s	36,86 ±1,79^{abcd}	45,41± 3,22^{a}	21,41 ±3,09^{a}
	1,5 m/s	37,21 ±2,45^{abcd}	43,66 ±3,47^{ab}	19,24 ±2,84^{abc}
	2,0 m/s	37,66 ±3,02^{abc}	40,10 ±4,97^{bc}	15,49 ±3,55^{cde}
Taze	-	36,12 ±2,21^{bcd}	36,90 ±4,43^{c}	13,26 ±3,48^{e}

*Aynı kolonda aynı harfle işaretlenmiş rakamlar arasında $p<0,05$ için istatistiksel fark yoktur

Elma parçalarında, 500 W infrared lamba gücünde ve 1,5 m/s hava hızı koşullarında kurutulan parçaların L (parlaklık) değeri kurutma öncesi taze ürünün parlaklığından daha düşük olmuş, diğer kurutma koşullarının hepsinde L değeri kurutma öncesi değerden yüksek olmuştur. Farklı koşullarda kurutulmuş elma parçalarının a değerlerinin hepsinin kurutma öncesi elma parçalarının a değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Kurutulmuş elma parçalarının b değeri ise 400 W infrared lamba gücü ve 2,0 m/s hava hızı koşulları hariç diğer tüm kurutma koşullarında elde edilen kurutma öncesi elma parçalarının b değerinden yüksek olmuştur. Elma parçalarının en yüksek L değeri 2,0 m/s hava hızında ve 300 W infrared lamba gücünde 87,70, en yüksek a değeri 1,50 m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde 6,15 ve en yüksek b değeri ise 1,0 m/s hava hızında ve 300 W infrared lamba gücünde 28,40 olarak belirlenmiştir.

Tablo 10. Farklı kurutma koşullarında elma parçalarının L, a, b değerleri

İnfrared lamba gücü	Hava hızı	L	a	b
300 W	1,0 m/s	81,64±3.558^{c}	1,18±2.610^{c}	28,40±3.679^{d}
	1,5 m/s	85,88±3.439^{b}	-1,74±0.991^{e}	23,37±4.551^{bc}
	2,0 m/s	87,70±1.927^{a}	-1,01±0.987^{de}	20,72±2.922^{cd}
400 W	1,0 m/s	81,83±3.122^{b}	2,82±2.271^{b}	26,62±3.017^{ab}
	1,5 m/s	80,98±3.807^{bc}	3,80±2.866^{b}	25,68±3.409^{ab}
	2,0 m/s	87,03±2.978^{a}	-0,18±1.722^{cd}	19,28±2.353^{d}
500 W	1,0 m/s	82,66±4.322^{b}	3,10±2.433^{b}	23,48±4.168^{bc}
	1,5 m/s	76,04±4.093^{d}	6,15±2.881^{a}	26,12±5.841^{ab}
	2,0 m/s	85,84±2.372^{a}	1,12±1.928^{c}	21,01±3.069^{cd}
Taze	**-**	78,95±1.821^{c}	-6,49±1.150^{f}	19,97±3.114^{d}

*Aynı kolonda aynı harfle işaretlenmiş rakamlar arasında $p<0,05$ için istatistiksel fark yoktur

Üç farklı infrared lamba gücü (300, 400 ve 500 W) ve üç değişik hava hızındaki (1,0, 1,5 ve 2,0 m/s) kurutma koşullarında kurutulan kırmızı biber ve elma parçalarının ve ayrıca kurutma öncesi kırmızı biber ve elma parçalarının ΔE, Kroma, hue açısı, R(a/b) değerleri Tablo 11 ve Tablo 12'de verilmiştir.

Kurutulmuş kırmızı biber parçalarında en düşük toplam renk değişimi (ΔE) 1,0 m/s hava hızında ve 300 W infrared lamba gücünde elde edilmiştir. İnfrared lamba gücünün ve hava hızının artmasıyla toplam renk değişimi artış göstermiştir (Tablo 11). Kurutulmuş kırmızı biber parçalarının R(a/b) değerlerinin tümü yaş kırmızı biber parçalarının değerlerinden düşük olmuş, R(a/b) değerinin tersine bütün kuruma koşullarında kurutulan biber parçalarının kroma ve hue açısı değerleri kurutma öncesi değerlerden yüksek olmuştur.

Tablo 11. Farklı kurutma koşullarında kırmızı biber parçalarının ΔE, kroma, hue açısı, R(a/b) değerleri

İnfrared lamba gücü	Hava hızı	ΔE	Kroma	Hue Açısı	R (a/b)
300 W	1,0 m/s	4,79 ± 2,29^{e}	40,93 ±6,09^{cd}	20,99 ±2,27^{bc}	2,63 ±0,29^{ab}
	1,5 m/s	5,99 ±2,39^{de}	45,84 ±9,19^{abc}	22,72 ±4,02^{ab}	2,46 ±0,46^{bc}
	2,0 m/s	5,18 ± 1,63^{e}	43,20 ±6,23^{bcd}	21,82 ± 2,49^{bc}	2,53 ±0,35^{abc}
400 W	1,0 m/s	7,36 ±2,62^{cde}	44,26 ±2,86^{bcd}	21,97 ±1,41^{bc}	2,49 ±0,17^{abc}
	1,5 m/s	8,75 ± 3,64^{bcd}	47,49 ±4,45^{ab}	22,82 ± 1,23^{ab}	2,38 ±0,14^{bc}
	2,0 m/s	8,97 ± 3,81^{bcd}	49,22 ±6,60^{ab}	23,45 ± 2,81^{ab}	2,34 ±0,36^{bc}
500 W	1,0 m/s	9,98 ±4,97^{abc}	50,22 ±4,20^{a}	25,12 ±1,74^{a}	2,14 ±0,18^{c}
	1,5 m/s	10,76 ± 6,16^{ab}	47,72 ±4,28^{ab}	23,66 ±1,66^{ab}	2,29 ±0,19^{bc}
	2,0 m/s	12,87 ±3,47^{a}	43,01 ±5,93^{bcd}	20,88 ±1,89^{bc}	2,64 ±0,25^{ab}
Taze	-	-	39,25 ±5,34^{d}	19,43 ±2,63^{d}	2,89 ±0,44^{a}

*Aynı kolonda aynı harfle işaretlenmiş rakamlar arasında $p<0,05$ için istatistiksel fark yoktur

Kurutulmuş elma parçalarında toplam renk değişimi (ΔE) değerleri 9,25 ile 15,71 arasında değişiklik göstermiş ve en yüksek toplam renk değişim değeri 1,5 m/s hava hızında ve 500 W infrared lamba gücünde elde edilmiştir (Tablo 12). Kurutulmuş elma parçalarının kroma, hue açısı, R(a/b) değerlerinin hepsi yaş elma parçalarının değerlerinde yüksek olmuştur.

Kırmızı biber ile karşılaştırıldığında kurutulmuş elma parçaları kuruma sırasında kırmızı biberden daha fazla renk değiştirmiştir.

Tablo 12. Farklı kurutma koşullarında elma parçalarının ΔE, kroma, hue açısı, R(a/b) değerleri

İnfrared lamba gücü	Hava hızı	ΔE	Kroma	Hue açısı	R (a/b)
300 W	1,0 m/s	11,45±2,324^{bcd}	28,53±3,748^{a}	85,46±2,69^{abc}	0,032±0,0906^{fg}
	1,5 m/s	10,52±1,455^{cd}	23,45±4,523^{bc}	85,35±2,44^{abc}	0,032±0,0476^{def}
	2,0 m/s	11,50±1,287^{bcd}	20,77±2,911^{cd}	87,00±2,68^{a}	-0,049±0,0523^{efg}
400 W	1,0 m/s	12,32±2,474^{bc}	26,84±3,194^{ab}	83,95±3,70^{bcd}	0,10±0,0761^{cde}
	1,5 m/s	13,52±3,24^{b}	26,06±3,742^{ab}	82,02±5,17^{b}	0,142±0,0924^{c}
	2,0 m/s	9,25±1,238^{d}	19,34±2,427^{d}	86,35±2,79^{ab}	-0,017±0,0811^{g}
500 W	1,0 m/s	12,13±2,745^{bc}	23,75±4,399^{b}	82,83±4,42^{cd}	0,122±0,0844^{cd}
	1,5 m/s	15,71±1,19^{a}	26,90±6,206^{ab}	77,23±4,26^{e}	0,227±0,0751^{b}
	2,0 m/s	11,68±0,377^{bc}	21,12±3,051^{cd}	84,70±3,00^{bcd}	0,054±0,0967^{efg}
Taze	-	-	21,01±3,244^{cd}	71,97±1,90^{f}	-0,325±0,0365^{a}

*Aynı kolonda aynı harfle işaretlenmiş rakamlar arasında $p<0,05$ için istatistiksel fark yoktur

5 SONUÇ

Kırmızı biber, elma ve pırasanın kuruma eğrileri ve kuruma hızı üzerine infrared lamba gücünün ve hava hızının etkileri değerlendirilmiş ve kuruma zamanı, özgül enerji tüketimi, renk (L, a, b, ΔE, kroma, hue açısı), büzülme, rehidrasyon oranı ve askorbik asit (C vitamini) gibi bazı parametreler üzerine infrared lamba gücü ve hava hızının etkilerinin araştırıldığı denemler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1,0, 1,5 ve 2,0 m/s kurutma hava hızında yapılan kurutma denemelerinde kuruma süresi değerleri kırmızı biber için 300 W infrared lamba gücünde 315-455 dak arasında, 400 W infrared lamba gücünde 213-297 dak arasında, 500 W infrared lamba gücünde 196-230 dak arasında değişmiştir. Elma için kuruma süresi 300 W infrared lamba gücünde 198 - 274 dak arasında, 400 W infrared lamba gücünde 171-261 dak. arasında, 500 W infrared lamba gücünde 137-170 dak arasında değişmiş ve

pırasa için 300 W infrared lamba gücünde 305-341 dak. arasında, 400 W infrared lamba gücünde 195-244 dak. arasında, 500 W infrared lamba gücünde 183-241 dak arasında değişmiştir.

Ürün kuruma süresi hava hızının artırılmasıyla artış göstermiş, infrared lamba gücünün artırılmasıyla azalmıştır. Tüm ürünlerde kuruma hızı infrared lamba gücünün artırılmasıyla artış göstermiştir.

Özgül enerji tüketim değerleri 1,0 - 2,0 m/s kurutma hava hızlarında ve 300, 400, 500 W infrared lamba güçlerinde kırmızı biber için sırasıyla 16,62-27,31 MJ/kg, 17,02-21,27 MJ/kg, 17,65-19,51 MJ/kg, elma dilimleri için 13,67-19,00 MJ/kg, 16,42-24,21 MJ/kg, 15,81-19,50 MJ/Kg ve pırasa için 19,18-19,15 MJ/kg, 15,01-22,56 MJ/kg, 18,02-25,84 MJ/kg değerleri arasında değişmiştir.

Ürünün kurutulması için gerekli özgül enerji tüketimlerinin genel olarak hava hızının artmasıyla arttığı ve özgül enerjinin kuruma zamanı ve infarared lamba gücünün optimizasyonuna bağlı olduğu söylenebilir.

Kırmızı biber ve elma ürün büzüşme katsayıları ise kırmızı biberde sabit infrared lamba gücünde hava hızının artmasıyla azalmış, pırasada ise düzgün bir değişim değeri elde edilememiştir. Aynı ürünlerin rehidrasyon değerlerinin kırmızı biberde hava hızının artırılmasıyla rehidrasyonun düştüğü, infrared lamba gücünün artmasıyla rehidrasyon değerinin yükseldiği görülmüş, elma dilimlerinde ise hız ve gücün değişmesiyle rehidrasyon değişmelerinde tekdüze değişkenlikler görülmemiştir.

Kurutulmuş ürünlerin renk parametreleri incelendiğinde kurutulmuş ürünlerin renk değerlerinin değiştiği ve kurutma öncesi ve sonrası renk değerlerinin farklı olduğu saptanmış fakat renk değerlerinde çok fazla bir değişim gözlenmemiştir.

6 . KAYNAKLAR

Afzal T.M. ve Abe T. 1999. Some fundamental attributes of far infrared radiation drying of potato. Drying Technology 17(1-2), 137-155.

Akosman, C. ve Kalender, M. 2004. Soya Fasulyesinin Kuruma Karakteristiklerinin Tepsili Kurutucuda İncelenmesi. *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 16(2), 243-251*

Kavak-Akpınar, E., Bicer, Y. ve Yıldız, C. 2002. Thin Layer Draying of Red Pepper *Journal of Food Engineering 59, 99-104*

Kavak-Akpınar, E. ve Biçer, Y. 2002 Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Siklon Tip Bir Kurutcunun Kullanılabilirliği *Mühendis ve makina 2002(515)*

Kavak-Akpınar, E. ve Bicer, Y. 2003. Modeling and experimental study on drying of apple slices in a convection cyclone dryer *Jounal of Food Process Engineering 26, 515-541*

Amaratunga, K.S.P., Pan, Z., Zheng, X. ve Thompson, J.F. 2005. Comparison of drying characteristics and quality of rough rice dried with infrared and heated air. *ASAE Paper No.056005 St. Joseph, Mich.: ASAE.*

Baysal, T., Icier, F., Ersus, S. ve Yıldız, H. 2003. Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic. *Eur. Food Res. Technol. 218, 68-73.*

Choa, K.J. ve Chou, S.K. 2003. Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science and Technology 14, 519-528.*

Das, I.,Das, S.K. ve Bal, S. 2003. Draying Performance of a batch type vibration aided infrared dryer *Journal of Food Engineering. 64, 129-133*

Doymaz, İ., ve Pala, M. 2002. Hot-air drying characteristics of red pepper *Journal of Food Engineering 55, 331-335*

Durmuş, A. ve Kurtbaş, İ. 2002 Yeni tasarlanan havalı kollektör yardımı ile Elazığ Yöresi kayısılarının kurutlması ve kollektör verimi *Balıkesir ün.IV. Mühendislik- Mimarlık Sempozyumu*

Ergüneş, G. ve Tarhan, S. 2006. Color retention of red pepper by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying. *Journal of Food Engineerin*g *76, 446-452.*

Güngör, A. 1997 Endüstriyel Kurutma sistemleri *Kongre-Teskon97*

Hebbar, H., Vishwanathan, K.H. ve Ramesh, M.N. 2004. Development of combined infrared and hat air dryer for vegetables *Journal of Food engineering 65, 557-563*

Jain, D. ve Pathare, P.B. 2004. Selection and evaluation of thin layer drying models for infrared radiative and convective drying of onion slices. *Biosystems Engineering 89, 289-296*.

Karabayır, C. 2006 Kurutulmuş Sebzeler *Başbakanlık DTM ANKARA*

Kaymak-Ertekin, F. 2002. Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. *Journal of Food Science 67 (1)168-175.*

Kım, M. H. and Toledo, R.T., 1987. Effect of osmotic dehydration and high temperature fluidized bed drying on properties of dehydrated rebbit eye blueberries. *Journal Of Food Science* 52, 480-489.

Koç, A.B., Toy, M., Hayoğlu, İ. ve Vardin, H. 2003. Kırmızı biber kurutmada kullanılan güneş enerjili bir kurutucu performansı *HR. Ü. Z.F. Dergisi 8(2) 57-65*

Kooli, S., Fadhel, A., Farhat, A. ve Belghith, A. 2007. Drying of red pepper in open sun and greenhouse conditions mathematical modeling and experimental validation. *Journal of Food Engineering 79, 1094-1103.*

Krokido, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B., ve Kouris, D. 2002. Draying Kinetics Of some vegetables *Journal of food engineering* 59, 391-403

Kumar, D.G.P., Hebber, H. U. ve Ramesh, M.N. 2006. Suitability of thin layer models for infrared-hot air drying of onion slices. *LWT 39, 700-705.*

Lewis, M.J. 1996. Physical Properties of Food and Food Processing Systems. *Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.*

Lin, Y.P., Lee,T.Y., Tsen J.H. and Kıng, V.A.E. 2007. Dehydration of yam slices using FIR-assisted freeze drying. Journal of Food Engineering 79, 1295-1301.

Lin, Y.P., Lee, T.Y., Tsen, J.H. ve Kıng, V.A.E. 2005. Effects of far-infrared radiation on the freeze-drying of sweet potato. *Journal of Food Engineering 68, 249-255.*

Mongpraneet, S., Abe, T. ve Tsurusaki, T. 2002. Far Infrared – vacuum and-convection Draying of Welsh Onion. *American Society of Agricultural Engineering*

45(5) 1529-1535

Nowak, D. ve Lewicki, P. P. 2004. Infrared draying of apple slices *Innovative Food science and Emerging Technologies 5, 353-360*

Olgun, H. 1997. Fındığın üç sistemde güneş enerjisi ile kurutulması *TÜBİTAK*

Özden, Ç. 2005. Kuru kayısı, incir, üzüm üretim ihracatı *Başbakanlık DTM Ankara*

Öztekin, S., Bastencelik, A. ve Soysal, Y. 1999. Crop drying programme in Turkey. *Renewable Energy 16, 789-794.*

Pan, Z., Olson, D.A., Amaratunga, K.S.P., Olsen, C.W, Zhu, Y. ve Mchugh T.H. 2005. Feasibility of using infrared heating for blanching and dehydration of fruits and vegetables. *ASAE Paper No.056086 St. Joseph, Mich.: ASAE*.

Pathare, P.B. ve Sharma, G.P. 2006. Effective moisture diffusivity of onion slices undergoing infrared convective drying. *Biosystems Engineering 93(3), 285-291.*

Sacilik, K. ve Elicin, A.K. 2006. The Thin layer drying characteristics of organic apple slices *Journal of Food Engineering 73(3) 281-289*

Sandu, C. 1986. Infrared radiative drying in food engineering: a process analysis. *Biotechnology Process 2, 109-119.*

Sharma, G.P., Verma, R.C. ve Pathare P.B. 2005a. Thin layer infrared radiation of onion slices *Journal of Food Engineering 67(2004) 361-366*

Sharma, G.P., Verma, R.C. and Pathare, P.B. 2005b. Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices. *Journal of Food Engineering* 71, 282-286.

Strumillo, C. ve Kurdo, F.T. 1986. Drying: Principles, Applications and Design, *Gordon and Breach Science Publishers, New York.*

Toğrul, H. 2005. Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices. *Journal of Food Engineering 71, 311-323.*

Topbaş, M.,A. 1992, *Endüstri Fırınları Kitabı Yıldız Tek.Ün.*

Varith, J., Dıjkanaraukkul, P., Acharıyavırıya, A. ve Acharıyavırıya, S. 2007. Combined microwave-hot air drying of peeled logan. *Journal of Food Engineering 81, 459-468.*

Wang, J. ve Sheng, K. 2006. Far infrared and microwave drying of peach. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 39, 247-255*.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Şahin NASIROĞLU

Doğum Yeri ve Yılı : Doğanşehir-MALATYA/1971

Adres : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı-ÇANAKKALE

Eğitim Durumu:

1991–1995: Lisans- Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

1986-1989: Doğanşehir Lisesi / DOĞANŞEHİR-MALATYA

Mesleki Deneyim

1995-1997 : Karyer Isı San.Tic.Ltd.Şti. / İSTANBUL- Üretim Mühendisi

1997-1999 : Yedek Subay/ Askerlik Hizmeti

1999-2000: Çiltuğ Isı San A.Ş/ G.ANTEP- Şantiye Şefi

2000-2001: Nesa İnş.San.Tic.Ltd. Şti./ ANKARA- Şantiye Şefi

2001-…....: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı Mühendislik Kadrosu

TABLO DİZİNİ

Tablo 1. Yıllara göre kurutulmuş sebze ihracatı 2

Tablo 2. Ürünlerin kuruma süreleri (dak) 16

Tablo 3. İnfrared lamba gücü ve hava hızı ile kuruma süresi arasındaki ilişki 17

Tablo 4. Ürünlerin kurutulmasında özgül enerji tüketimi (MJ/kg)..... 27

Tablo 5. İnfrared lamba gücü ve hava hızı ile özgül enerji tüketimleri arasındaki ilişkiler 28

Tablo 6. Kırmızı biber kalınlık değişimi ve elma dilimleri büzüşme katsayıları (S) 29

Tablo 7. Kırmızı biber ve elma dilimlerinin rehidrasyon değerleri 30

Tablo 8. Kırmızı biber ve pırasanın C-vitamini değerleri (mg/100g)..... 31

Tablo 9. Farklı kurutma koşullarında kırmızı biber parçalarının L, a, b değerleri..... 32

Tablo 10. Farklı kurutma koşullarında elma parçalarının L, a, b değerleri 33

Tablo 11. Farklı kurutma koşullarında kırmızı biber parçalarının ΔE, kroma, hue açısı, R(a/b) değerleri 34

Tablo 12. Farklı kurutma koşullarında elma parçalarının ΔE, kroma, hue açısı, R(a/b) değerleri 35

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1. Ürün kurutma düzeneği 12

Şekil 2. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında kırmızı biberin nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 18

Şekil 3. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında elmanın nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 19

Şekil 4. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında pırasanın nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 20

Şekil 5. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında kırmızı biberin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi 22

Şekil 6. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında elmanın kuruma hızının nem içeriği ile değişimi 24

Şekil 7. Farklı infrared lamba gücü ve farklı hava hızlarında pırasanın kuruma hızının nem içeriği ile değişimi 26